ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ & ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Μεθοδολογίες για την κατασκευή ελεύθερου, δομημένου, αντικειμενοστρεφούς κώδικα για την υλοποίηση πρωτοκόλλων επικοινωνιών

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

του

Στυλιανίδη Β. Νικόλαου

26 Σεπτεμβρίου 2006

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ & ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Μεθοδολογίες για την κατασκευή ελεύθερου, δομημένου, αντικειμενοστρεφούς κώδικα για την υλοποίηση πρωτοκόλλων επικοινωνιών

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

του

Στυλιανίδη Β. Νικόλαου

Συμβουλευτική Επιτροπή: Ηλίας Κουκούτσης
Μιχάλης Θεολόγου
Ελευθέριος Καγιάφας

Εγκρίθηκε από την επταμελή εξεταστική επιτροπή την ____/____/________.

Ηλίας Κουκούτσης Αν. Καθηγητής	Ελευθέριος Καγιάφας Καθηγητής	Μιχάλης Θεολόγου Καθηγητής
Γεώργιος Στασινόπουλος Καθηγητής	Ευστάθιος Συκάς Καθηγητής:	Ανδρέας Σταφυλοπάτης Καθηγητής
	Παναγιώτης Δεμέστιχας Επ. Καθηγητής	

....

(Νικόλας Β. Στυλιανίδης)
Διδάκτωρ Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διατριβή προτείνεται μία μεθοδολογία και περιγράφεται η αρχιτεκτονική μίας πρότυπης βιβλιοθήκης ελεύθερου και πλήρως αντικειμενοστρεφούς κώδικα για την υλοποίηση των πρωτοκόλλων προτύπου **O**pen **S**ystems **I**nterconnection -(**Διασύνδεση ανοιχτών συστημάτων**)- (OSI) [5] και της στοίβας **I**nternet **P**rotocol -(**Πρωτόκολλο διαδικτύου**)- (IP) [61], στο πεδίο του λογισμικού. Συγκεκριμένα προτείνεται μια μεθοδολογία υλοποίησης πρωτοκόλλων (σε λογισμικό επίπεδο) και παρουσιάζεται ένα σύνολο προγραμματιστικών τεχνικών για την υπερκέραση των προβλημάτων που εμφανίζονται κατά τη σύνταξη, σε γλώσσα προγραμματισμού, των επιθυμητών μεθόδων και λειτουργιών.

Η ραγδαία εξέλιξη των δικτύων υπολογιστών και τηλεπικοινωνιών και η ουσιαστική ενοποίησή τους στην τρίτη γενιά κινητής τηλεφωνίας, δημιουργεί την ανάγκη για παροχή, καινούριων υπηρεσιών και εμπλουτισμό των ήδη υπαρχόντων. Η φάση σχεδίασης των προσφερόμενων υπηρεσιών κάθε πρωτοκόλλου ακολουθείται από τη φάση αξιολόγησης. Κατά τη φάση αυτή, διερευνούνται οι εσωτερικές διαδικασίες του στρώματος όπως: ***(α)*** το συντακτικό και γραμματική, ***(β)*** τη μηχανή καταστάσεων, ***(γ)*** ο έλεγχος εγκυρότητας δεδομένων, αλγόριθμοι ανάκτησης, κ.λ.π. Ανεξάρτητα του πεδίου εφαρμογής του πρωτοκόλλου (υλικό ή λογισμικό), η φάση αξιολόγησης λαμβάνει χώρα στα πλαίσια λογισμικών εφαρμογών. Το λογισμικό χαρακτηρίζεται από ένα σύνολο πλεονεκτημάτων σε σχέση με το υλικό, τα οποία, το καθιστούν αρκετά ελκυστικό, έτσι ώστε να χρησιμοποιείται κατά τη φάση αξιολόγησης. Τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά του είναι: ***(α)*** η ταχύτερη ανάπτυξη, ***(β)*** η απλούστερη ανίχνευση λαθών, ***(γ)*** η παρακολούθηση της κατάστασης του επιπέδου και ***(δ)*** το χαμηλότερο κόστος. Η αξιολόγηση των διαδικασιών του πρωτοκόλλου, καθώς και των παρεχόμενων υπηρεσιών, οφείλει να διαρκεί σύντομο χρονικό διάστημα και να είναι αξιόπιστη ως προς τις στατιστικές μετρήσεις. Η δημιουργία των εικονικών σεναρίων και διασυνδέσεων πρέπει να προσφέρεται από τα κατάλληλα εργαλεία. Τα εργαλεία ανάπτυξης συνεισφέρουν τα απαραίτητα μέσα στους μηχανικούς τηλεπικοινωνιών, για ουσιαστική και πλήρη αξιολόγηση της υπηρεσίας.

Abstract

The current thesis is deploying a collection of modules for software implementation of protocol layers based on OSI [5] specification and the IP [61] stack. 3G mobile networks integrate new and advanced features, interconnecting mobile users with computer networks. These features apply on the enhancement of current protocol stacks and applications, or on the creation of completely new services. Each feature must be thoroughly tested before the final release. The current thesis suggests a curtain methodology for protocol implementation (software domain). The programming techniques, which help to overcome common programming problems, are illustrated.

The design phase of new features is followed by the evaluation and testing phase. During this phase, a variety of evaluation tests are applied, in order to verify the accurate outcome of the procedures and methods offered by these new features. Such procedures and methods are: ***(a)*** data parsing, ***(b)*** state machines, ***(c)*** data integrity verification algorithms, etc. The evaluation procedures are implemented in software because of their main advantages, which are: ***(a)*** fast implementation, ***(b)*** simple error condition observation, ***(c)*** effortless implementation of layer monitoring mechanisms, and ***(d)*** low cost. The evaluation of protocol procedures must take short time and must output reliable results. In order to succeed that, telecommunication engineers must be supplied with proper software tools. These tools are, a collection of classes, specifically designed for telecommunication applications, composing a basic library of protocol components such as: ***(a)*** schedulers, ***(b)*** queues, ***(c)*** loggers, ***(d)*** parsers, etc.

Περιεχόμενα

Κατάλογος Σχημάτων

Κεφάλαιο 1

Πρόλογος

Η δομή των δικτύων διαφέρει ανάλογα με τις λειτουργίες που επιτελούν. Η δε πολυπλοκότητα τους αυξάνεται ανάλογα με τις υπηρεσίες που προσφέρουν. Με σκοπό τη μείωση της πολυπλοκότητας, αλλά και την όσο το δυνατό ανώδυνη και ευκολότερη σύνδεση ετερογενών συστημάτων, ξεκίνησε στις αρχές της δεκαετίας του ΄80 μία προσπάθεια για την τυποποίηση της δόμησης των διαφορετικών μορφών δικτύων . Τα ετερογενή αυτά συστήματα καθορίζονται ως ***Ανοικτά Συστήματα***, και οι διαδικασίες που χρησιμοποιούνται για τη διασύνδεσή τους περιγράφονται στο πρότυπο OSI.

Το πρότυπο OSI αποτελείται από προκαθορισμένα στρώματα, τα οποία ονομάζονται επίπεδα, και ανήκει στην κατηγορία των προτύπων **με το νόμο**[1]. Κάθε διαφορετικό επίπεδο, στο πρότυπο OSI, χαρακτηρίζεται από συγκεκριμένους κανόνες και αρχές και έχει στόχο την παροχή υπηρεσιών στο πιο πάνω επίπεδο. Το πρότυπο αυτό κυριαρχεί στα δίκτυα υπολογιστών και τηλεπικοινωνιών και έχει χαρίσει τις τεχνικές υλοποίησής του σε πολλές αρχιτεκτονικές συστημάτων. Διαθέτει επτά επίπεδα, τα οποία υλοποιούνται με τη χρήση λογισμικού ή με τη χρήση υλικού. Η διαχωριστική γραμμή που χωρίζει το πεδίο υλοποίησης στο επίπεδο του λογισμικού ή του υλικού δεν είναι προκαθορισμένη και εξαρτάται από τεχνο-οικονομικούς παράγοντες, παράγοντες διαθέσιμης υποδομής και παρεχόμενων υπηρεσιών.

Ο προκαθορισμός της φύσης των επιπέδων που δύναται να αποτελούν ένα σύστημα έχει περιορίσει τον άναρχο σχεδιασμό των δικτυακών συστημάτων και μονάδων. Η τυποποίηση θέτει τις βάσεις και περιγράφει τις αρχές που πρέπει να διέπουν τη φάση σχεδίασης. Η περιγραφή του χαρακτήρα του συστήματος και των υποσυστημάτων εισάγει μία κοινή γλώσσα επικοινωνίας μεταξύ των επιστημόνων, με αποτέλεσμα την επιτάχυνση της φάσης σχεδίασης και προδιαγραφής του συστήματος.

Ο προσδιορισμός των υπηρεσιών που οφείλει να παρέχει κάθε επίπεδο του μοντέλου OSI διευκολύνει σε μεγάλο βαθμό τη σχεδίαση και τη χρησιμοποίηση πρωτοκόλλων στο πλαίσιο των ανοικτών συστημάτων. Οι υπηρεσίες που καθορίζονται στο πρότυπο δεν είναι περιοριστικές ως προς το συ-

[1] ***de jure***

νολικό πλήθος των υπηρεσιών που θα παρέχει η τελική μορφή του υπό σχεδίαση πρωτοκόλλου. Προσδιορίζουν, όμως, ότι η τομή των δύο συνόλων υπηρεσιών θα ισούται με το σύνολο των υπηρεσιών που προσδιορίζεται από το πρότυπο OSI. Οι τυποποιήσεις που στηρίζονται στον κανόνα αυτό και είναι στις αρχικές τους φάσεις σχεδίασης, αποτελούν υβριδικές περιπτώσεις των κατηγοριών **εκ των πραγμάτων**[2] και ***de jure***. Η τυποποίηση, ακολούθως, με ένα διεθνή οργανισμό απλουστεύεται και διευκολύνεται καθώς αφορά μόνο στην καινούρια προδιαγραφή.

Η πιο πάνω περιγραφή αποτελεί κοινή τεχνική όλων των οργανισμών, μεγάλων ή μικρών, κατά τη φάση ανάπτυξης συστημάτων και υπηρεσιών. Ο ισχυρός ανταγωνισμός μεταξύ των εταιρειών πάροχων υπηρεσιών επιβάλλει τη γρήγορη ανάπτυξη συστημάτων. Η ταχύτητα ανάπτυξης και διάθεσης των υπηρεσιών στην καταναλωτική αγορά διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην επιβίωση και διατήρηση της εύρυθμης λειτουργίας των εν λόγω εταιρειών. Αποτέλεσμα του γεγονότος αυτού είναι η ύπαρξη ενός μεγάλου αριθμού ***de facto*** προτύπων σε αντίθεση με τα νόμιμα και διεθνώς αποδεχτά πρότυπα ***de jure***.

Η παρούσα διατριβή αφορά στη διερεύνηση και στον καθορισμό κανόνων και αρχών ως προς τον σχεδιασμό και υλοποίηση, σε επίπεδο λογισμικού, πρωτοκόλλων επικοινωνιών στα πλαίσια των επιπέδων του μοντέλου αναφοράς OSI. Η προτεινόμενη μεθοδολογία, η αρχιτεκτονική της βιβλιοθήκης που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της διατριβής, καθώς και η πιλοτική εφαρμογή (Σύστημα προσομοίωσης χρηστών και ελέγχου κόμβων πυρήνα δικτύου $3^{ης}$ γενιάς τηλεπικοινωνιών) ολοκληρώνονται σε ένα πλήρως αντικειμενοστρεφές περιβάλλον. Η φιλοσοφία της σχεδίασης έχει ως στόχο την πλήρη εγκατάλειψη του δομημένου προγραμματισμού[3]. Αντ' αυτού, παρέχονται οι τεχνικές και τα εργαλεία για το μετασχηματισμό προτύπων που στηρίζονται στο δομημένο προγραμματισμό σε συστήματα πλήρως αντικειμενοστρεφή.

[2] ***de facto***
[3] ***Structured programming***

Κεφάλαιο 2

Πρωτοτυπία της διδακτορικής εργασίας - Συνοπτική περιγραφή διδακτορικής διατριβής

2.1 Πρωτοτυπία της διδακτορικής εργασίας

Η διδακτορική εργασία του υποψηφίου διδάκτορα Στυλιανίδη Νικόλα αφορά στον καθορισμό μίας πρωτότυπης μεθοδολογίας για την υλοποίηση πρωτοκόλλων επικοινωνιών και στην ανάπτυξη μίας πρωτότυπης βιβλιοθήκης λογισμικού για τη δημιουργία συστημάτων προσομοίωσης δικτύων και πρωτότυπων κόμβων επικοινωνιών. Η προτεινόμενη μεθοδολογία και η βιβλιοθήκη λογισμικού παρέχουν τα κατάλληλα εργαλεία για την υλοποίηση συστημάτων επικοινωνιών, τα οποία χαρακτηρίζονται από: ***(α)*** τη γρήγορη φάση ανάπτυξης και αποσφαλμάτωσης του πηγαίου κώδικα προγραμματισμού, ***(β)*** την ταχύτητα εκτέλεσης των λογισμικών βιβλιοθηκών έτσι ώστε να ικανοποιούνται τα κριτήρια των συστημάτων πραγματικού χρόνου, και ***(γ)*** την επεκτασιμότητα και την επαναχρηστικότητα των παραγομένων λογισμικών βιβλιοθηκών.

Οι τυπικές μέθοδοι, οι οποίες αναφέρονται σε επόμενο κεφάλαιο, επιτυγχάνουν την προδιαγραφή και την περιγραφή πρωτοκόλλων και συστημάτων σε ένα επίπεδο αφαίρεσης ανεξάρτητο της γλώσσας προγραμματισμού και του συστήματος εγκατάστασης της εφαρμογής. Η υλοποίηση της προδιαγραφής και της περιγραφής των δομοστοιχείων και των συστημάτων σε εφαρμογές λογισμικού, απαιτεί την ανάπτυξη πηγαίου κώδικα με τη χρήση γλωσσών προγραμματισμού. Η αυτόματη μετάφραση μίας προδιαγραφής σε γλώσσα προγραμματισμού, όπως υπόσχονται κάποια εμπορικά και μη εργαλεία τυπικών μεθόδων, έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή μη βέλτιστου πηγαίου κώδικα, ο οποίος όταν μεταγλωττιστεί δεν αποφέρει τα επιθυμητά αποτελέσματα. Επιπλέον, η εξέλιξη και βελτιστοποίηση των εσωτερικών διαδικασιών των δομοστοιχείων και των συστημάτων περιορίζεται από το ρυθμό εξέλιξης των προσφερόμενων εργαλείων μετάφρασης των προδιαγραφών. Επιπλέον, για την πλήρη περιγραφή ενός συστήματος ή δομοστοιχείου είναι απαραίτητη η χρησιμοποίηση πολλών διαφορετικών τυπικών μεθόδων. Ως παράδειγμα αναφέρεται η παρούσα τάση σύζευξης της **U**nified **M**odeling **L**anguage -(**Ενοποιημένη γλώσσα μοντελοποίησης**)- (UML) και της **S**pecification and **D**escription **L**anguage -(**Γλώσσα περιγραφής προδιαγραφής**)- (SDL) για την προδιαγραφή κλάσεων και των μεθόδων των κλάσεων αντίστοιχα.

Η αποφυγή της χρήσης εργαλείων μετάφρασης των προδιαγραφών σε γλώσσες προγραμματισμού δεν μπορεί φυσικά να αποτελεί κανόνα στην υλοποίηση και ανάπτυξη πηγαίου κώδικα με άναρχο τρόπο. Η αναρχία και η απουσία μεθόδων ανάπτυξης είναι βέβαιο ότι οδηγεί σε χαοτικές υλοποιήσεις, οι οποίες χαρακτηρίζονται από υψηλό κόστος όσον αφορά στο χρόνο της ανάπτυξης, του ελέγχου και της αποσφαλμάτωσης. Επιπρόσθετα, προσαρμόζοντας με άναρχο τρόπο τον πηγαίο κώδικα στις επί μέρους υλοποιήσεις των δομοστοιχείων και των συστημάτων έχει ως αποτέλεσμα ***(α)*** τη μείωση του βαθμού επαναχρηστικότητας του πηγαίου κώδικα, ***(β)*** την αύξηση του χρόνου υλοποίησης, ***(γ)*** την αδυναμία διατήρησης εκδόσεων των υλοποιήσεων, ***(δ)*** την επανάληψη και τη μεταφορά σφαλμάτων κ.λ.π.

Η πρωτότυπη μεθοδολογία και η πρωτότυπη βιβλιοθήκη λογισμικού προδιαγράφουν και υλοποιούν τα χαρακτηριστικά τους ακολουθώντας το αντικειμενοστρεφές μοντέλο προγραμματισμού, το οποίο χαρακτηρίζεται από αυστηρές μεθόδους προδιαγραφής των δεδομένων και των συναρτήσεων που τα επεξεργάζονται. Η οπτική γωνία της σχεδίασης προσανατολίστηκε ***(α)*** προς το γενικό μοντέλο του προβλήματος για τη δημιουργία μίας πλήρως ορισμένης, συμπαγούς, εύκαμπτης, εύχρηστης και ευκόλως επεκτεινόμενης βιβλιοθήκης λογισμικού, και ***(β)*** προς στον καθορισμό ενός πρωτότυπου μοντέλου σχεδίασης και υλοποίησης εφαρμογών, το οποίο στηρίζεται στην εν λόγω βιβλιοθήκη. Η πρωτότυπη βιβλιοθήκη λογισμικού αποτελείται αποκλειστικά από κλάσεις αντικειμένων, οι οποίες προσθέτουν χαρακτηριστικά, όπως: ***(α)*** την απόκρυψη πολυπλοκότητας, ***(β)*** την ευχρηστία, ***(γ)*** την επεκτασιμότητα, και ***(δ)*** την επαναχρηστικότητα. Έχει δοθεί δε ιδιαίτερη προσοχή και προσπάθεια στη σχεδίαση της πρωτότυπης βιβλιοθήκης λογισμικού, έτσι ώστε να μετατρέπονται ορθά και εύκολα οι προδιαγραφές που στηρίζονται σε δομημένα μοντέλα σχεδίασης (οι οποίες εφαρμόζονται σε λειτουργικά συστήματα που ακολουθούν το μοντέλο της δομημένης αρχιτεκτονικής), σε μοντέλα αντικειμενοστρεφούς αρχιτεκτονικής.

2.2 Συνοπτική περιγραφή

Η συνοπτική περιγραφή της διδακτορικής διατριβής έχει σκοπό την παρουσίαση σύντομων περιλήψεων των κεφαλαίων που απαρτίζουν το κείμενο. Η συγκέντρωση των κυριότερων σημείων που περιγράφονται στα κεφάλαια θα διευκολύνει την ανάγνωση και τη γρήγορη πλοήγηση στις επιμέρους παραγράφους όταν ο αναγνώστης κρίνει αναγκαίο.

- ***Αντικειμενικός σκοπός της ερευνητικής εργασίας.*** Διάκριση τομέων και πεδίων εφαρμογής της μεθοδολογίας για την υλοποίηση πολύ-στρωματικών διασυνδέσεων στα συστήματα ανοιχτής αρχιτεκτονικής. Περιγράφονται εν συντομία οι διαφορές μεταξύ των τηλεπικοινωνιακών κόμβων και των συστημάτων προσομοίωσης δικτύων. Σημειώνονται τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της ανάπτυξης στα πεδία του υλικού και του λογισμικού, σε ενσωματωμένα και μή συστήματα. Τέλος, αναφέρονται τα πεδία και οι τομείς εφαρμογής της βιβλιοθήκης.

- ***Τυποποιημένες μέθοδοι προδιαγραφής πρωτοκόλλων.*** Το κεφάλαιο αυτό αποτελεί ένα συνοπτικό σημείωμα για τις τυποποιημένες τεχνικές περιγραφής πρωτοκόλλων όπως έχουν αναπτυχθεί από τη δεκαετία του ΄60 μέχρι σήμερα. Παρουσιάζονται οι σημαντικότερες και οι δημοφιλέστερες τεχνικές. Επιδεικνύονται δε, τα μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα έκαστης εξ΄ αυτών. Αναφέρονται, επίσης, τα εργαλεία που έχουν αναπτυχθεί για την υποστήριξη των τεχνικών που προτείνονται.

- ***Δομή των πρωτοκολλικών επιπέδων.*** Διερευνούνται οι εσωτερικές διαδικασίες και οι προσφερόμενες υπηρεσίες του δομικού στοιχείου της στοίβας, το πρωτόκολλο. Η περιγραφή αφορά στα γενικά στοιχεία που συνθέτουν ένα τυχαίο επίπεδο πρωτοκόλλου. Το κεφάλαιο αυτό χρησιμοποιείται ως πλοηγός κατά τη φάση σχεδίασης της βιβλιοθήκης, καθώς τα στοιχεία που περιγράφονται υλοποιούνται ως ανεξάρτητες κλάσεις στα πλαίσια της δομικής μονάδας.

- ***Εισαγωγή στη βιβλιοθήκη.*** Οι εφαρμογές λογισμικού εξαρτώνται άμεσα από την αρχιτεκτονική του λειτουργικού συστήματος που τις φιλοξενεί. Η εύστοχη επιλογή της μεθοδολογίας σχεδίασης λογισμικού έχει ως αποτέλεσμα τη βελτίωση της απόδοσης των εσωτερικών διεργασιών τόσο της εφαρμογής, όσο και του συστήματος. Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται περιληπτικά οι γενικές αρχές της βιβλιοθήκης όσον αφορά στις τεχνικές προγραμματισμού. Παρουσιάζονται συνοπτικά τα βασικά υλικά με τα οποία οικοδομούνται κοινές προγραμματιστικές δομές (λίστες, δέντρα, πίνακες, μαθηματικές βαθμίδες, κ.λ.π.) και οι μονάδες που δημιουργούνται για να ολοκληρώσουν το περιεχόμενο της αρχιτεκτονικής της βιβλιοθήκης. Τέλος, δίνονται μερικά παραδείγματα της χρήσης των μονάδων κατά τη φάση της υλοποίησης.

- ***Οργάνωση της βιβλιοθήκης λογισμικού.*** Κάθε βιβλιοθήκη ακολουθεί μία τυπική οργάνωση. Η οργάνωση περιγράφεται από τους κανόνες, τις αρχές, τις εξαιρέσεις και τις προτάσεις. Στο κεφάλαιο αυτό καθορίζονται οι προαναφερθείσες έννοιες και παρουσιάζεται σχηματικά και περιφραστικά η δόμηση των αρχείων και των κλάσεων. Η οργάνωση αποσκοπεί στην κατασκευή μιας εύχρηστης βιβλιοθήκης, η οποία θα αναπτύσσεται και θα εξελίσσεται εύκολα και γρήγορα. Η αξία που προσφέρει ο ολοκληρωμένος κώδικας χρήσης και ανάπτυξης της βιβλιοθήκης αυξάνεται στην περίπτωση που οι υπηρεσίες που παρέχει απευθύνονται σε περισσότερους του ενός προγραμματιστή. Η δε αρχιτεκτονική ελεύθερου κώδικα προγραμματισμού είναι δυνατό να εκτινάξει το ρυθμό ανάπτυξης και εξέλιξης των υπηρεσιών που προσφέρονται.

- ***Κλάσεις των εργαλείων ανάπτυξης λογισμικού.*** Η βιβλιοθήκη διακρίνεται, όσον αφορά στις υλοποιημένες κλάσεις, σε δύο μεγάλες ενότητες. Η πρώτη περιγράφεται στο κεφάλαιο αυτό και αφορά στις κλάσεις βασικών στοιχείων. Τα βασικά στοιχεία δεν είναι προσανατολισμένα στην υλοποίηση πρωτοκόλλων και βρίσκουν εφαρμογή σε μία μεγάλη ποικιλία λογισμικών θεμάτων. Προσφέρουν κυρίως λύσεις σε κοινά προβλήματα ανάπτυξης, όπως για παράδειγμα: ***(α)*** χειρισμός σφαλμάτων εκτέλεσης, ***(β)*** υποδοχείς αντικειμένων, ***(γ)*** δομές δεδομένων, ***(δ)*** μαθηματικές σχέσεις, κ.λ.π. Οι κλάσεις αυτές χρησιμοποιούνται ως αυτοτελείς οντότητες ή μπορούν να αποτελέσουν βάσεις ανώτερων κλάσεων που ανήκουν στη δεύτερη ενότητα.

- ***Κλάσεις πρωτοκόλλου βιβλιοθήκης.*** Η δεύτερη ενότητα περιέχει κλάσεις που αφορούν αποκλειστικά σε αρχιτεκτονικές για την υλοποίηση πρωτοκολλικών στοιβών. Οι κλάσεις που περιγράφονται εδώ στηρίζονται στη δομή των πρωτοκόλλων, όπως αυτή παρουσιάζεται σε προηγούμενο κεφάλαιο. Η βιβλιοθήκη προσφέρει μία ομάδα βασικών κλάσεων, οι οποίες προσφέρονται ως βάσεις για την υλοποίηση των λειτουργιών των πρωτοκόλλων. Κάθε βασική κλάση υλοποιεί τις κοινές μεθόδους που οφείλει να προσφέρει, ανάλογα με τον τύπο του στοιχείου που αποτελεί. Στην εισαγωγή του κεφαλαίου αυτού περιγράφεται η μεθοδολογία που έχει εφαρμοστεί για τη δημιουργία της κλάσης πυρήνα. Ο πυρήνας αποτελεί την τομή των λειτουργιών των στοιχείων και αφορά στη διασύνδεση των στοιχείων που ανήκουν στο πρωτόκολλο, καθώς και στη διασύνδεση των πρωτοκολλικών στρωμάτων της στοίβας.

- ***Πιλοτική υλοποίηση και εφαρμογή.*** Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται, η εφαρμογή των μεθόδων και της αρχιτεκτονικής που προτείνεται στην παρούσα διδακτορική διατριβή. Παρουσιάζεται η τοπολογία του προς αξιολόγηση δικτύου, η αρχιτεκτονική του συστήματος όσον αφορά στο υλικό, στον οδηγό υλικού και στο λογισμικό. Απεικονίζονται, επίσης, σε κατάλληλα σχεδιαγράμματα, η συνδεσμολογία των πρωτοκόλλων και των στοιβών που έχουν υλοποιηθεί. Περιγράφονται μερικά από τα σημαντικότερα σενάρια προσομοίωσης που πραγματοποιήθηκαν στα εργαστήρια της **SIEMENS** στο Μόναχο (τομέας τηλεπικοινωνιών, τμήμα μεταγωγής πακέτου) και έχουν δημοσιευτεί σε περιοδικά [1] και σε συνέδρια [2] [3] [4].

- ***Συμπεράσματα.*** Το κεφάλαιο αυτό περιέχει τον επίλογο της διατριβής. Παρουσιάζονται τα κύρια και επιμέρους πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της βιβλιοθήκης. Γίνεται, επίσης, μία σύντομη αναφορά στις μελλοντικές επεκτάσεις (π.χ. μετάφραση οκτάδων σε στοιχεία πληροφορίας και αντίστροφα) και ολοκληρώσεις (ανεξαρτησία από λειτουργικά συστήματα και αρχιτεκτονικές υπολογιστικών μονάδων, γραφικό περιβάλλον σχεδίασης, κ.λ.π.).

- ***Παράρτημα Α: Αρχιτεκτονική ανοιχτών συστημάτων OSI.*** Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται αναφορά στα συστήματα που ακολουθούν την αρχιτεκτονική του προτύπου OSI. Περιγράφονται, επίσης, οι γενικές αρχές επικοινωνίας προσφέροντας ένα γενικό μοντέλο σε μία προσπάθεια γενίκευσης του προβλήματος και ανίχνευσης των κοινών στοιχείων της αρχιτεκτονικής. Τέλος, δίνεται η περιγραφή των επτά επιπέδων της αρχιτεκτονικής και οι προσφερόμενες υπηρεσίες.

Κεφάλαιο 3

Αντικειμενικός σκοπός της ερευνητικής εργασίας - Εισαγωγή στην εργασία

3.1 Κίνητρα ερευνητικής εργασίας

Η δημιουργία μίας μεθοδολογίας υλοποίησης τηλεπικοινωνιακών πρωτοκόλλων και κατ΄ επέκταση τηλεπικοινωνιακών συστημάτων, σκοπεύει στην απλοποίηση της διαδικασίας υλοποίησης των συστημάτων και των μονάδων που τα αποτελούν. Η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε απευθύνεται τόσο σε μή εξειδικευμένους, όσο και στους πλέον έμπειρους προγραμματιστές λογισμικού και σε τηλεπικοινωνιακούς μηχανικούς. Η αρχιτεκτονική της σχεδίασης ακολουθεί τις αρχές της αντικειμενοστρεφούς σχεδίασης λογισμικών εφαρμογών, διότι ***(α)*** επιτυγχάνεται η απόκρυψη από τον προγραμματιστή ένα μέρους από τις πολύπλοκες λειτουργίες των συστημάτων και υποσυστημάτων, και ***(β)*** διευκολύνεται η προδιαγραφή της αρχιτεκτονικής, τόσο στο επίπεδο των εσωτερικών παραμέτρων και των υπολογιστικών μεθόδων των συστημάτων, όσο και στο επίπεδο της διασύνδεσης αυτών.

Η επιλογή της γλώσσας προγραμματισμού ***C++*** πρακτικά αποτελεί μονόδρομο, όσον αφορά στην υλοποίηση συστημάτων πραγματικού χρόνου, τα οποία μπορούν να λειτουργούν σε περισσότερα του ενός λειτουργικά συστήματα. Φυσικά, όπως συμβαίνει με τα περισσότερα ισχυρά εργαλεία, ο μεγάλος βαθμός ελευθερίας που παρέχει η ***C++*** στον προγραμματιστή αποτελεί ταυτόχρονα την αχίλλειο πτέρνα των υλοποιήσεων. Η παραμικρή απροσεξία, παράληψη ή απροσδιοριστία κατά την προδιαγραφή και υλοποίηση μπορεί να αποβεί μοιραία κατά την εκτέλεση της εφαρμογής. Όπως ορθά έχει διατυπώσει και ο δημιουργός της ***C++***, ***Η γλώσσα C++ αποτελεί ένα ισχυρό όπλο με το οποίο μπορείς να πυροβολήσεις το πόδι σου.***

Επομένως, ένα πολύ ισχυρό εργαλείο για τη σύνθεση των τηλεπικοινωνιακών συστημάτων και δομοστοιχείων[1] είναι ευέλικτες βιβλιοθήκες λογισμικού, οι οποίες αποτελούν στοιχειώδη τμήματα των ανωτέρω δομοστοιχείων και συστημάτων και απλοποιούν διαδικασίες όπως: *(α)* την επαλήθευση της ορθής λειτουργίας των συστημάτων, *(β)* την αποτίμηση και βελτιστοποίηση της ποιότητας και της ταχύτητας της εκτελέσιμης μορφής τους, και *(γ)* την αποσφαλμάτωση των διεργασιών τους. Οι βιβλιοθήκες αυτές περιέχουν ένα σύνολο εργαλείων, τα οποία εξυπηρετούν γενικές ανάγκες των υλοποιήσεων και μπορούν εύκολα να προσαρμοστούν στις επί μέρους απαιτήσεις της σχεδίασης. Η αναζήτηση μίας μεθοδολογίας ισχυρότερης τόσο από την άναρχη υλοποίηση, όσο και τη χρησιμοποίηση των εργαλείων, που συνήθως απαντώνται στην πράξη (μετάφρασης προδιαγραφών σε πηγαίο κώδικα), αποτέλεσε ένα ισχυρό κίνητρο για τον καθορισμό τόσο της προτεινόμενης μεθοδολογίας, όσο και της δημιουργίας της πρότυπης βιβλιοθήκης λογισμικού.

3.2 Γενική εισαγωγή στην υλοποίηση και εφαρμογή υπηρεσιών δικτύων (κόμβοι επικοινωνίας, προσομοιωτές)

Οι υπηρεσίες που προσφέρονται από τα πρωτόκολλα επικοινωνιών δεν έχουν αφηρημένη εφαρμογή και λειτουργία. Κάθε επίπεδο συνεισφέρει στην πολύ-στρωματική στοίβα τις λειτουργίες του για την ολοκλήρωση της υπηρεσίας ή των υπηρεσιών που προσφέρονται από την στοίβα. Οι στοίβες και οι λειτουργίες αυτών εφαρμόζονται σε συσκευές του δικτύου και ονομάζονται κόμβοι επικοινωνίας. Το είδος της στοίβας καθορίζει τη λειτουργία του κόμβου και αντίστροφα. Οι υπηρεσίες που προσφέρονται από τα πρωτόκολλα επικοινωνιών και τις αντίστοιχες στοίβες υλοποιούν: *(α)* τις λειτουργίες των πραγματικών δικτύων, ή *(β)* τις απαραίτητες οντότητες για την προσομοίωση δικτύων επικοινωνιών.

- ***Κόμβοι επικοινωνιών***. Οι κόμβοι επικοινωνιών συνδέονται στα δίκτυα επικοινωνιών και συντελούν συγκεκριμένο έργο. Μερικές τυπικές εφαρμογές είναι: *(α)* η δρομολόγηση πακέτων, *(β)* οι πύλες εισόδου και εξόδου σε υποδίκτυα, *(γ)* η παρακολούθηση και συντήρηση δικτύου, *(δ)* η διασύνδεση ετερογενών δικτύων, κ.λ.π. Η λειτουργικότητα και η αποδοτικότητα τους εξαρτάται από πολλούς παράγοντες αναλόγως της φάσης ανάπτυξης. Η σύνδεση τους στα πραγματικά δίκτυα επικοινωνίας πραγματοποιείται μετά τον εξονυχιστικό έλεγχο που εφαρμόζεται κατά τη φάση αξιολόγησης.

- ***Προσομοίωση δικτύων***. Η προσωμοίωση δικτύου σε πραγματικές συνθήκες ελέγχου επιτυγχάνεται με τη χρήση ειδικά προσαρμοσμένων συσκευών, οι οποίες διαθέτουν διαφορετική λειτουργικότητα σε σχέση με τους κόμβους επικοινωνίας, αλλά είναι σε θέση να προκαλέσουν κίνηση σηματοδοσίας και μετάδοση δεδομένων όμοια με αυτή του δικτύου που προσομοιάζουν. Σκοπό έχουν την επίτευξη υψηλών ρυθμών μετάδοσης σηματοδοσίας και δεδομένων, έτσι ώστε να προσομοιάσουν όσο το δυνατό καλύτερα ένα δίκτυο στον πραγματικό κόσμο.

[1] Modules

Η λειτουργία τους βρίσκει εφαρμογή κατά τη φάση ανάπτυξης των κόμβων, τη φάση αξιολόγησης της ανάπτυξης και κατά τη διάρκεια λειτουργίας τους στο δίκτυο.

3.2.1 Πεδία υλοποίησης υπηρεσίας

Κάθε υπηρεσία αποτελείται από κοινά χαρακτηριστικά, όπως μηχανές κατάστασης, στοιχεία σύνδεσης, μεταφραστές, σημεία εξυπηρέτησης, χρονοπρογραμματιστές, κ.λ.π. Το πεδίο υλοποίησης καθορίζεται απο παραμέτρους όπως: ***(α)*** το μέγεθος μνήμης για την αποθήκευση προσωρινών και πάγιων στοιχείων πληροφορίας, ***(β)*** την πολυπλοκότητα των αλγορίθμων που εφαρμόζονται από τις συναρτήσεις της υπηρεσίας, ***(γ)*** την κρισιμότητα λειτουργίας της υπηρεσίας σε πραγματικό χρόνο, ***(δ)*** το πεδίο υλοποίησης της υπηρεσίας του κατώτερου στρώματος, ***(ϵ)*** το κόστος σχεδίασης και υλοποίησης. Τα πιθανά πεδία υλοποίησης περιορίζονται σε: ***(α)*** λογισμικό, και ***(β)*** υλικό. Η χρήση του ενός δεν υπαγορεύει την κατάργηση του άλλου. Σε ένα σύστημα είναι δυνατόν και μερικές φορές αναπόφευκτο, να υλοποιούνται τμήματα της υπηρεσίας που αφορούν σηματοδοτικές διαδικασίες στο πεδίο του λογισμικού, και παράλληλα, λειτουργίες που καθορίζουν την ποιότητα της υπηρεσίας μεταφέρονται στο υλικό.

3.2.2 Πεδίο υλικού

Το υλικό αποτελεί μία αρχιτεκτονική κυκλωματικών διατάξεων, η οποία λειτουργεί ως αυτόνομη συσκευή ή ως μέρος κάποιου υλικού ελέγχου (προσωπικός υπολογιστής). Οι λειτουργίες που ολοκληρώνει ενσωματώνονται στα ολοκληρωμένα κυκλώματα που το αποτελούν. Οι δύο σημαντικότεροι τύποι ολοκληρωμένων κυκλωμάτων είναι: ***(α)*** **F**ield **P**rogrammable **G**ate **A**rrays (FPGA), και ***(β)*** **A**pplication **S**pecific **I**ntegrated **C**ircuit -(**Ολοκληρωμένο κύκλωμα είδιο ως προς την εφαρμογή**) (ASIC). Η υλοποίηση τμημάτων ή ολόκληρης της υπηρεσίας στο πεδίο του υλικού παρουσιάζει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα αξιόλογα αναφοράς. Τα μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα που παρουσιάζονται ειδικότερα για κάθε ολοκληρωμένο κύκλωμα σημειώνονται στην αρχή της παραγράφου σε παρένθεση.

- ***Πλεονεκτήματα***:
  - Η επεξεργασία των μηχανών που υλοποιούνται στο υλικό είναι πλήρως παράλληλες. Κάθε ανεξάρτητη μονάδα διαθέτει είσοδο σύγχρονου μηχανισμού (στην περίπτωση των σύγχρονων κυκλωμάτων).
  - Η επεξεργασία των μικροεντολών πραγματοποιείται ταχύτατα.
  - Η πρόσβαση στη μνήμη (εσωτερική, εξωτερική) καταναλώνει μικρή υπολογιστική ισχύ.
  - Οι υπηρεσίες ή συναρτήσεις που υλοποιούνται εξυπηρετούνται σε πραγματικό χρόνο.
  - Η ποιότητα της υπηρεσίας παρουσιάζει πολύ υψηλό δείκτη απόδοσης.

- (FPGA) Η ενσωμάτωση των μεθόδων στο ολοκληρωμένο είναι απλή διαδικασία και εφήμερη, καθώς τα περιεχόμενα διαγράφονται με την αποσύνδεση από την τροφοδοσία ηλεκτρικού ρεύματος.

- ***Μειονεκτήματα.***

  - Η σχεδίαση και ανάπτυξη υπηρεσιών προϋποθέτει την ύπαρξη εξειδικευμένων μηχανικών, οι οποίοι είναι δυσεύρετοι, με αποτέλεσμα να αυξάνουν το κόστος ανάπτυξης.
  - Τα εργαλεία ανάπτυξης είναι περιορισμένα και υπολείπονται σε λειτουργικότητα και παροχή υπηρεσιών των αντίστοιχων του λογισμικού.
  - Η κοινότητα των εξειδικευμένων μηχανικών είναι περιορισμένη, με αποτέλεσμα η διακίνηση της πληροφόρησης να είναι ανεπαρκής.
  - (ASIC) Η σχεδίαση και ολοκλήρωση των μηχανισμών είναι πολυδάπανη και μή αναστρέψιμη.
  - Η φάση ανάπτυξης είναι χρονοβόρα λόγω του υψηλού δείκτη δυσκολίας σχεδίασης στο πεδίο του υλικού.
  - Η φάση αξιολόγησης, αποτίμησης και ανίχνευσης λαθών πραγματοποιείται αποκλειστικά στο ολοκληρωμένο με τη βοήθεια εσωτερικών μνημών και διανυσμάτων κατάστασης.

3.2.3 Πεδίο λογισμικού

Οι λύσεις που προσφέρονται στο πεδίο του λογισμικού είναι ποικιλόμορφες και επιλέγονται αναλόγως της φάσης ανάπτυξης, της ποιότητας υπηρεσίας, το κόστος ανάπτυξης, της τεχνογνωσίας του ανθρώπινου δυναμικού, των διαθέσιμων εργαλείων ανάπτυξης, κ.λ.π. Οι εφαρμογές λογισμικού διακρίνονται σε μία ή και περισσότερες διεργασίες, οι οποίες, στα πλαίσια κάποιου λειτουργικού συστήματος (`Windows`, `UNIX`, `LINUX`), αναλαμβάνουν την ολοκλήρωση διαδικασιών με βάση το προγραμματιστικό μοντέλο. Τα λειτουργικά συστήματα διαθέτουν απαραίτητες και αναγκαίες διαδικασίες για την εκκίνηση, διαχείριση και τερματισμό των λογισμικών εφαρμογών (διαχείριση αρχείων, μνήμης, υλικού, διεργασιών, κ.λ.π.). Οι μέθοδοι υλοποίησης προγραμμάτων περιγράφονται με τη βοήθεια γλωσσών προγραμματισμού (`C`, `C++`, `Pascal`). Τα λειτουργικά συστήματα έχουν εφαρμογή σε δύο τύπους συστημάτων επεξεργασίας: ***(α)*** στα συστήματα ηλεκτρονικών υπολογιστών, και ***(β)*** στα ενσωματωμένα συστήματα.

3.2.3.1 Ενσωματωμένα συστήματα

Αποτελούνται κυρίως από μικροεπεξεργαστές τεχνολογίας **R**educed **I**nstruction **S**et **C**omputer (RISC) ή **C**omplex **I**nstruction **S**et **C**omputer -(**Υπολογιστής συνόλου σύνθετων εντολών**)- (CISC) και μία συλλογή περιφερειακών που ελέγχονται από τους μικροεπεξεργαστές. Οι εφαρμογές τους είναι ποικίλες και περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων: ***(α)*** ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές, ***(β)*** επιπαλάμιους υπολογιστές, ***(γ)*** συστήματα ελέγχου πλοήγησης, ***(δ)*** τηλεπικοινωνιακούς κόμβους, κ.λ.π. Ο προγραμματισμός τους απαιτεί εξειδικευμένη γνώση, η οποία εξαρτάται από το είδος του επεξεργαστή. Ο βαθμός δυσκολίας στη σχεδίαση και υλοποίηση εφαρμογών σε ενσωματωμένα συστήματα εξαρτάται κυρίως από το επίπεδο αφαίρεσης (πυρήνας) που χρησιμοποιείται στον επεξεργαστή για την ανάπτυξη προγραμματιστικού κώδικα. Η αυξημένη ζήτηση για την ανάπτυξη εφαρμογών ενσωματωμένων συστημάτων, έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των επιλογών όσον αφορά στα λειτουργικά συστήματα. Η τρέχουσα αγορά έχει να επιδείξει μία μεγάλη συλλογή από μικροπυρήνες και ενσωματωμένα λειτουργικά συστήματα, στα οποία αναπτύσσονται **R**eal **T**ime **O**perating **S**ystem -(**Λειτουργικό σύστημα πραγματικού χρόνου**)- (RTOS). Φυσικά η έννοια του πραγματικού χρόνου είναι υποκειμενική και εξαρτάται από τις χρονικές απαιτήσεις των επιθυμητών λειτουργιών, σε σχέση με την κατανάλωση επεξεργαστικής ισχύος από τον πυρήνα για την ολοκλήρωση των διεργασιών. Η τελική απόφαση για το είδος του επεξεργαστή και το λειτουργικό απαιτεί αρκετό χρόνο διερεύνησης των εμπλεκόμενων παραμέτρων. Το αποτέλεσμα, όμως, είναι θεαματικό και οι χρόνοι απόκρισης αρκετά ικανοποιητικοί.

- ***Μειονεκτήματα***:
  - Περιορισμένη σε αριθμό κοινότητα μηχανικών με εμπειρία στη σχεδίαση ενσωματωμένων συστημάτων.
  - Τα αξιόλογα εργαλεία ανάπτυξης έχουν υψηλό κόστος αγοράς και συντήρησης.
  - Απαιτεί μεγάλη επένδυση σε χρόνο για την εκπαίδευση μηχανικών.
  - Η αποσφαλμάτωση της εφαρμογής κρίνεται αρκετά δύσκολη.
- ***Πλεονεκτήματα***:
  - Υλοποίηση εφαρμογών με χαμηλό κόστος ανάπτυξης.
  - Δημιουργία συστημάτων πραγματικού χρόνου.
  - Ολοκλήρωση αυτόνομων ή ετερογενών συστημάτων.
  - Τα εργαλεία ανάπτυξης παρέχουν μεταγλωττιστές για τις προγραμματιστικές γλώσσες `C` και `C++`.

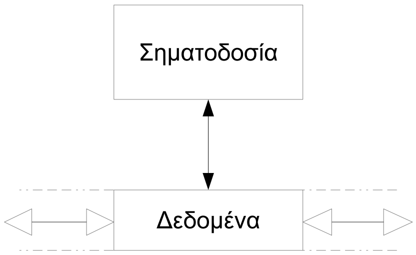
3.2.3.2 Συστήματα ηλεκτρονικών υπολογιστών

Τα συστήματα ηλεκτρονικών υπολογιστών είναι η πλέον κοινή και απλούστερη λύση για την υλοποίηση συστημάτων. Ο πυρήνας αποτελείται από ένα ή περισσότερα ολοκληρωμένα που υλοποιούν την **C**entral **P**rocessing **U**nit -(**Κεντρική μονάδα επεξεργασίας**)- (CPU) και ένα σύνολο περιφερειακών (μέσα αποθήκευσης, μνήμη τυχαίας προσπέλασης, συσκευές εισόδου, συσκευές εξόδου, κ.λ.π.). Η επεξεργασία των εντολών αποτελεί αποκλειστική ευθύνη του εγκατεστημένου λειτουργικού συστήματος. Η επιλογή του λειτουργικού εξαρτάται από παράγοντες, όπως: *(α)* αξιοπιστία, σταθερότητα, αποδοτικότητα, *(β)* κόστος αγοράς και συντήρησης, *(γ)* διάδοση της διανομής, *(δ)* αναπτυξιακά εργαλεία, *(ε)* τεκμηρίωση αρχιτεκτονικής και εσωτερικών διεργασιών, κ.λ.π.

- ***Μειονεκτήματα***:
  - Η απόδοση της εφαρμογής εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την αρχιτεκτονική του λειτουργικού.
  - Η ανάπτυξη πολύπλοκων εφαρμογών απαιτεί εξειδίκευση συγκρίσιμη με τις αναπτύξεις στα ενσωματωμένα συστήματα.
  - Λόγω του φόρτου εργασίας που αναλαμβάνουν, δύσκολα μπορούν να χαρακτηριστούν συστήματα πραγματικού χρόνου.
- ***Πλεονεκτήματα***:
  - Η κοινότητα των μηχανικών που αναπτύσσουν εφαρμογές στα λειτουργικά συστήματα είναι τεράστια.
  - Ικανοποιητική τεκμηρίωση όσον αφορά στην αρχιτεκτονική και τις μεθόδους ανάπτυξης εφαρμογών.
  - Ταχύτερη και απλούστερη σχεδίαση και ανάπτυξη εφαρμογών.
  - Απλή και εύκολη, σε σχέση με τις προηγούμενες αρχιτεκτονικές, αποσφαλμάτωση των εφαρμογών.
  - Η εξειδίκευση είναι απαραίτητη μόνο σε πολύπλοκες εφαρμογές.
  - Πληθώρα αναπτυξιακών εργαλείων και προγραμματιστικών γλωσσών σε αρκετά χαμηλό κόστος.

3.3 Πρωτότυποι κόμβοι επικοινωνιών

Ο τύπος της πλατφόρμας, η οποία θα υποδεχτεί την εφαρμογή κάποιου τηλεπικοινωνιακού κόμβου, διαφοροποιείται ανάλογα του είδους των υπηρεσιών που καλείται να παρέχει ο εκάστοτε κόμβος. Η πλατφόρμα υλικού μπορεί να αποτελείται από τα ακόλουθα ολοκληρωμένα κυκλώματα ελέγχου: *(α)* ενσωματωμένους μικροελεγκτές, *(β)* ενσωματωμένους μικροεπεξεργαστές, *(γ)* ολοκληρωμένα κυκλώματα προγραμματιζόμενης λογικής FPGA, *(δ)* ολοκληρωμένα κυκλώματα εξειδικευμένα για εφαρμογές ASIC, ή *(ε)* ένα ή περισσότερους εμπορικούς επεξεργαστές. Η εφαρμοσμένη πλατφόρμα λογισμικού διαφοροποιείται ανάλογα με την πλατφόρμα υλικού και μπορεί να αποτελείται από: *(α)* μικροπυρήνες λειτουργικού, *(β)* λειτουργικά συστήματα πραγματικού χρόνου, *(γ)* ενσωματωμένα λειτουργικά συστήματα, και *(δ)* εμπορικά λειτουργικά συστήματα. Οι λειτουργίες που καλύπτει ένας τηλεπικοινωνιακός κόμβος μπορούν να περιγραφούν με δύο γενικές διαδικασίες: ***(α)*** σηματοδοσία, και ***(β)*** μετάδοση δεδομένων (**σχήμα 3.1**). Οι σηματοδοτικές διαδικασίες, οι οποίες



Σχήμα 3.1: Σηματοδοσία και μονοπάτια δεδομένων

εφαρμόζονται σε κάθε επίπεδο της στοίβας διαστρωμάτωσης της υπηρεσίας που προσφέρεται από τον κόμβο, αναλαμβάνουν την εκκίνηση και την ολοκλήρωση όλων των απαραίτητων διεργασιών για την προετοιμασία των κατάλληλων μονοπατιών μετάδοσης δεδομένων. Η σηματοδοσία αποτελείται από πολύπλοκες διαδικασίες, των οποίων η υλοποίηση τους μπορεί να πραγματοποιείται (**σχήμα 3.2**) τόσο στο επίπεδο του υλικού (απλούστερες διαδικασίες), όσο στο επίπεδο του λογισμικού (σύνθετες και πολύπλοκες διαδικασίες). Η τελική απόφαση για το επίπεδο εφαρμογής

Λογισμικό	Σύνθετες και πολύπλοκες διαδικασίες σηματοδοσίας
Πλατφόρμα (Επεξεργαστής + λειτουργικό σύστημα)	Μικρής πολυπλοκότητας διαδικασίες σηματοδοσίας

Σχήμα 3.2: Επίπεδα υλοποίησης σηματοδοσίας

των σηματοδοτικών διαδικασιών μίας υπηρεσίας επηρεάζεται από παράγοντες όπως: ***(α)*** ο βαθμός πολυπλοκότητας, ***(β)*** το στάδιο ανάπτυξης, ***(γ)*** ο βαθμός επεκτασιμότητας των υπηρεσιών, ***(δ)*** το κόστος ανάπτυξης, ***(ε)*** ο χρόνος ανάπτυξης, ***(στ)*** η κρισιμότητα του χρόνου απόκρισης των διαδικασιών, κ.λ.π. Η τελική μορφή της υλοποίησης μίας υπηρεσίας ή τηλεπικοινωνιακού κόμβου επηρεάζεται από τα αποτελέσματα σύνθετων διαδικασιών όπως: ***(α)*** της σχεδίασης και της προδιαγραφής, ***(β)*** της προσομοίωσης, ***(γ)*** της πιλοτικής εφαρμογής, ***(δ)*** της αποσφαλμάτωσης, και ***(ε)*** του ελέγχου ορθής και αποτελεσματικής λειτουργίας.

Κεφάλαιο 4

Γενικά για τις τυποποιημένες μεθόδους για την προδιαγραφή πρωτοκόλλων και τα σχετικά εργαλεία ανάπτυξης

4.1 Καθορισμός, αξιολόγηση και πιστοποίηση υπηρεσίας

4.1.1 Καθορισμός υπηρεσίας

Η πολύπλοκη αυτή διαδικασία προσφοράς καινούριων υπηρεσιών περιλαμβάνει μία σειρά θεμάτων, τα οποία πρέπει να διερευνηθούν στη φάση του σχεδιασμού:

- Ο πλήρης καθορισμός της υπηρεσίας του στρώματος ως προς τα πιο πάνω επίπεδα. Η φάση αυτή εξαρτάται άμεσα από το επίπεδο στο οποίο θα εφαρμοσθεί το στρώμα. Η μορφή της πληροφορίας, το είδος της σύνδεσης και οι μηχανές αποφάσεων είναι μερικά μόνο από τα ζητήματα που θα αποφασισθούν στη φάση αυτή.

- Την ύπαρξη ή όχι της κατάλληλης υποδομής υπηρεσίας για την εξυπηρέτηση του καινούριου στρώματος που θα δημιουργηθεί. Αν δεν υπάρχει υποδομή κατάλληλη για να υποδεχθεί την υπηρεσία, είναι αναγκαία η δημιουργία μιας τέτοιας υποδομής.

- Ο καθορισμός του λεξικού της υπηρεσίας. Το λεξικό αποτελείται από μία συλλογή κωδικοποιημένων λέξεων με τις οποίες οι ομότιμες οντότητες επικοινωνούν και εκτελούν εντολές.

- Ο καθορισμός της μορφής κωδικοποίησης κάθε ξεχωριστής λέξης του λεξικού της υπηρεσίας.

- Τη διατύπωση των λειτουργιών που καλείται να ολοκληρώσει η υπηρεσία. Οι λειτουργίες επιλέγονται ανάλογα των λέξεων που ανταλλάζουν οι ομότιμες οντότητες.

Οι υπηρεσίες, και κατ΄ επέκταση τα πρωτόκολλα που τις προσφέρουν, καθορίζονται και τυποποιούνται με συγκεκριμένους οργανισμούς στον κόσμο, όπως: ***(α)*** **R**equest **F**or **C**omments (RFC), ***(β)*** **ITU** **T**elecommunication Standardization Sector -(**Διεθνής τηλεπικοινωνιακή ένωση - Τομέας τυποποίησης**)- (ITU-T), ***(γ)*** **I**nstitute of **E**lectrical and **E**lectronics **E**ngineers (IEEE), και ***(δ)*** **I**nternational **S**tandards **O**rganazation -(**Διεθνής οργανισμός τυποποίησης**)- (ISO). Η τελική διατύπωση και τυποποίηση της υπηρεσίας και της λειτουργίας των μηχανισμών που την αποτελούν, λαμβάνεται στα πλαίσια του οργανισμού και με βάση τα αποτελέσματα της αξιολόγησης της αποδοτικότητας της υπηρεσίας.

4.1.2 Αξιολόγηση υπηρεσίας

Η διαδικασία αξιολόγησης υπηρεσίας περιλαμβάνει ελέγχους πληρότητας και ορθότητας του λεξικού, του συντακτικού και των μεθόδων του επιπέδου.

- ***Λεξικό***. Το λεξικό του πρωτοκόλλου οφείλει να είναι πλήρες και λιτό. Οι λέξεις που το αποτελούν πρέπει να βρίσκουν εφαρμογή στις διαδικασίες του πρωτοκόλλου και να έχουν μοναδική έννοια. Σε αντίθετη περίπτωση, το σύστημα οδηγείται σε αβέβαιες και μή επιθυμητές καταστάσεις.

- ***Συντακτικό***. Η σχεδίαση οφείλει να οδηγείται πάντα στη διατύπωση συμπαγών συντακτικών με απλοποίηση, όπου είναι δυνατό, των κανόνων σύνταξης. Η ποιότητα και ευκρίνεια στη σύνταξη μειώνει την πιθανότητα λάθους μετάφρασης και μειώνει τον όγκο των μεταδιδόμενων σημάτων.

- ***Αρχές λειτουργίας***. Απαιτείται η επιβεβαίωση της εγκυρότητας των περιεχομένων του πρωτοκόλλου σε όλες τις πιθανές καταστάσεις και ακολουθίες εκτέλεσης ενός αντίστοιχου δυναμικού μοντέλου. Το μέγεθος του χώρου των καταστάσεων του μοντέλου εξαρτάται από το πλήθος των παράλληλων διεργασιών, το πλήθος και την έκταση των εσωτερικών μεταβλητών, τον τύπο των μηνυμάτων, και το είδος της επικοινωνίας. Τέλος, η αξιολόγηση αφορά ειδικότερα στη λογική ακολουθία των αρχών επικοινωνίας και στην επεξεργασία των δεδομένων.

4.2 Μέθοδοι προδιαγραφής και ανάλυσης της υπηρεσίας

Η ανάπτυξη πολύπλοκων συστημάτων αποτελεί μία μηχανική αρχή καθορισμού ακολουθίας εντολών, η οποία οδηγεί από την τυποποίηση στην ανάπτυξη. Συνδυάζει την αντίληψη των απαιτήσεων του συστήματος, την περιγραφή της υπηρεσίας, την κατάτμηση των λειτουργιών σε λογισμικό και υλικό, την πρόβλεψη αποδοτικότητας, και τέλος, τη σχεδίαση και ανάπτυξη των στοιχείων. Οι μεθοδολογίες χωρίς τυποποίηση οδηγούν σε απροσδιόριστες προδιαγραφές των επιθυμητών χαρακτηριστικών και αδυνατούν να παρέχουν επαρκή αποδεικτικά στοιχεία για την πληρότητα και συνέχεια της σχεδίασης και της ανάπτυξης. Ο έλεγχος σφαλμάτων πραγματοποιείται με τη χρήση κλασσικών δοκιμών, οι οποίες στηρίζονται σε ευρηστικές πλατφόρμες των οποίων η πληρότητα μειώνεται καθώς η πολυπλοκότητα του συστήματος αυξάνεται.

Σε αντίθεση με τις μεθόδους χωρίς τυποποίηση, ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη ενός συστήματος μπορεί να πραγματοποιηθεί με μαθηματικές τεχνικές για την προώθηση αυστηρών και αξιόπιστων μεθόδων. Η τεχνική αυτή ονομάζονται **F**ormal **M**ethod -(**Τυποποιημένη μέθοδος**)- (FM).

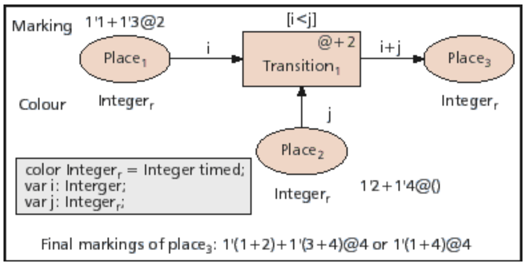
Η ανάγκη για την ύπαρξη εργαλείων ανάπτυξης τυποποιημένων μεθόδων, έχει οδηγήσει την έρευνα, όσον αφορά στην επιστήμη των υπολογιστών, στην περιγραφή και τυποποίηση των **F**ormal **D**escription **T**echniques -(**Τυποποιημένες τεχνικές περιγραφής**)- (FDT). Η έρευνα είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία αρκετών τυποποιήσεων και εργαλείων από τα οποία, στις επόμενες παραγράφους, θα αναφερθούν εν συντομία τα σημαντικότερα, τα οποία αντιπροσωπεύουν την αιχμή της τεχνολογίας στον τομέα των συστημάτων και πρωτοκόλλων επικοινωνιών.

4.2.1 *PetriNets*

Η μέθοδος ***Petri Net*** [6] αποτελεί μία τεχνική τυποποιημένων προτύπων με σκοπό την περιγραφή της συμπεριφοράς παράλληλων και κατανεμημένων συστημάτων. Η παρουσίαση της τεχνικής στην επιστημονική κοινότητα πραγματοποιήθηκε το έτος 1962. Στην παρούσα χρονική περίοδο υπάρχουν αρκετές παραλλαγές της τεχνικής αυτής, οι οποίες εφαρμόζονται στον καθορισμό, την εξακρίβωση και την αποτίμηση της απόδοσης σε κατανεμημένα παράλληλα συστήματα και πρωτόκολλα επικοινωνίας.

- ***Συντακτικό***. Ένα τυπικό ***Petri Net*** αποτελεί μία συλλογή χώρων (αναπαρίστανται με ελλείψεις και κύκλους), μεταβάσεων (ευθείες), ακμών (διανύσματα) και δειγμάτων, τα οποία σημειώνουν τις ταυτότητες των χώρων. Κάθε ακμή συνδέει ένα χώρο με ένα κανόνα μετάβασης και αντίστροφα. Ένας χώρος και μία μετάβαση, όσον αφορά στο σύστημα, αντιστοιχούν σε μία κατάσταση και μία ενέργεια. Η επαλήθευση μίας κατάστασης επιτρέπει την ενεργοποίηση μίας μετάβασης και τη μεταφορά των δειγμάτων σε προκαθορισμένους χώρους. Στη φάση επικύρωσης της λειτουργίας, η ενεργοποίηση παράλληλων μεταβάσεων αρχικοποιεί τις μεθόδους αναζήτησης όλων των πιθανών ακολουθιών εκτέλεσης. Σε αντίθεση, κατά τη φάση προσομοίωσης, το βήμα εκτέλεσης αποφασίζεται τυχαία ή διαδραστικά. Μία από τις σημαντικότερες και πλέον εφαρμόσιμες παραλλαγές των ***Petri Net***, η **C**olored **P**etri **N**ets (CPN) [20], χαρακτηρίζεται από ισχυρή διάλεκτο και αποτελεί μία υψηλού επιπέδου γλώσσα προδιαγραφής. Η προδιαγραφή εισάγει επιπλέον χαρακτηριστικά για τη σχεδίαση προτύπων που αφορούν, στην παράλληλη συμπεριφορά, στους τύπους μεταβλητών, στις συναρτήσεις και στην επεξεργασία δεδομένων προγραμματιστικών γλωσσών υψηλού επιπέδου. Επιπλέον, κάθε δείγμα μεταφέρει το προκαθορισμένο ή τυχαία κατανεμημένο χρονικό μήκος μίας μετάβασης.

- ***Επικοινωνία***. Η επικοινωνία αναπαριστάνεται με την ανταλλαγή δειγμάτων μεταξύ των χώρων που αποτελούν το δίκτυο, και αντιπροσωπεύουν διαφορετικές οντότητες επικοινωνίας. Η υποδοχή των δειγμάτων είναι δυνατό να ταυτιστεί με συγκεκριμένες καταστάσεις. Οι καταστάσεις αυτές σημειώνονται στις ακμές των μεταβάσεων και στις μεταβάσεις που συνδέουν. Η κατάσταση μίας μετάβασης (φραγμένη, ενεργοποιημένη) εξαρτάται αποκλειστικά από την τιμή του δείγματος υποδοχής. Η εικόνα αναπαριστά τα βασικά στοιχεία σύνταξης



Σχήμα 4.1: Τυπικός γράφος καταστάσεων και χρονικών μεταβάσεων

και σημασιολογίας του CPN. Η μετάβαση $Transition_1$ ενεργοποιείται τότε και μόνο όταν οι μεταβλητές i, j ικανοποιούν τη συνθήκη $i < j$. Οι πιθανές μεταβάσεις που υποστηρίζονται στο γράφο είναι: ***(α)*** η σήμανση του χώρου$_3$ (Place$_3$) με ένα δείγμα τιμής 5 ή δύο δείγματα 3 και 7 αντίστοιχα, και ***(β)*** η ενεργοποίηση των χρονικών δειγμάτων του χώρου$_1$ (Place$_1$) με την πάροδο δύο χρονικών μονάδων.

- ***Μειονεκτήματα***:
  - Η κατανόηση της φιλοσοφίας της τυποποίησης χαρακτηρίζεται αρκετά δύσκολη.
  - Απαιτεί αρκετή προσπάθεια για την κατανόηση της γλώσσας περιγραφής.
  - Οι μέθοδοι που υλοποιούνται από το χρήστη δύσκολα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ξανά στην παραγωγή κώδικα.

- ***Πλεονεκτήματα***:
  - Η χρήση γραφικών συμβόλων, παρόμοιων με τις γνωστές μηχανές πεπερασμένων καταστάσεων, συνθέτει μία ισχυρή γλώσσα προτύπων για την περιγραφή και τη διερεύνηση διαδικασιών επικοινωνίας.
  - Δημιουργεί συμπαγή και ακριβή συστήματα.
  - Ο δείκτης συνάφειας, όσον αφορά στην επικύρωση και αξιολόγηση απόδοσης συστημάτων, είναι αρκετά ψηλός.
  - Παρέχει τη δυνατότητα ενσωμάτωσης καινούριων μεθόδων.

- ***Εργαλεία ανάπτυξης***. Στον τομέα των τηλεπικοινωνιών, το πιο δημοφιλές εργαλείο ανάπτυξης είναι το σύστημα ***Design/CPN***. Υποστηρίζει ιεραρχική περιγραφή και ενσωματώνει τεχνικές βελτιστοποίησης μεταβάσεων, ελέγχου προτύπων για στατικά και δυναμικά χαρακτηριστικά, και τυποποιημένη ανάλυση και προσομοίωση. Η απουσία μεθόδων επικύρωσης χρονικών γράφων δυσχεραίνει την εφαρμογή διαδικασιών ελέγχου προτύπων. Η επέκταση του εργαλείου για την υποστήριξη **M**essage **S**equence **C**hart -(**Πίνακας ακολουθίας μηνυμάτων**)- (MSC.) αυξάνει τη συνάφεια του εργαλείου ως προς την προδιαγραφή πρωτοκόλλων επικοινωνίας. Το εργαλείο διατίθεται δωρεάν σε απλούς χρήστες και σε εταιρείες.

4.2.2 *ESTELLE*

Η μέθοδος **E**xtented **S**tate **T**ransition **M**achine **L**anguage (ESTELLE) [7] αποτελεί μία τεχνική τυποποιημένων προτύπων με σκοπό την προδιαγραφή παράλληλων και κατανεμημένων συστημάτων. Η τεχνική πιστοποιήθηκε από τον οργανισμό ISO το έτος 1989 και έχει αφοσιωθεί αποκλειστικά στην προδιαγραφή πρωτοκόλλων επικοινωνίας. Η τεχνική αυτή στηρίζεται στη θεωρία των μηχανών πεπερασμένων καταστάσεων για την επέκταση της επικοινωνίας, **E**xtending **C**ommunicating **F**inite **S**tate **M**achine (ECFSM). Είχε ως αποτέλεσμα δε, τη δημιουργία ενός προτύπου πλήρως περιεκτικού και συνεπούς. Η τυποποιημένη προδιαγραφή διαθέτει αυτοματοποιημένες διαδικασίες για τη μεταγλώττιση του προτύπου σε αυτόνομο εκτελέσιμο πρόγραμμα ή σε εκτελέσιμη βιβλιοθήκη, με σκοπό την προσομοίωση ή την εφαρμογή του προτύπου.

- ***Συντακτικό***. Μία τυπική προδιαγραφή ESTELLE αποτελεί ένα μοναδικό αρχείο συλλογής πεδίων. Ο πρώτος τομέας αποτελείται από τις δηλώσεις τύπων μεταβλητών, τύπων καναλιών, διαδικασίες, και συναρτήσεις. Τα κανάλια αντιστοιχούν σε δρομολόγια δύο κατευθύνσεων, μεταξύ δύο οντοτήτων, με σκοπό τη μεταβίβαση δεδομένων. Το πρότυπο περιγράφει την ιεραρχία στιγμιότυπων ενοτήτων. Κάθε ενότητα χαρακτηρίζεται από μία διασύνδεση για τη μετάδοση μηνυμάτων σε μορφή αρχέγονης επικοινωνίας. Η ενότητα αποτελεί το βασικό στοιχείο της προδιαγραφής. Η σύνθεση της ενότητας περιέχει: ***(α)*** τη επικεφαλίδα, με την οποία περιγράφεται η διασύνδεση της ενότητας και αρχικοποιεί το κατάλληλο κανάλι, και ***(β)*** το σώμα, με το οποίο περιγράφεται η εσωτερική δομή και ο λειτουργικός χαρακτήρας της ενότητας. Το σώμα περιέχει την τυποποιημένη προδιαγραφή της ενότητας, με σκοπό τη βελτίωση: ***(α)*** της περιγραφής λειτουργικότητας, ***(β)*** των δηλώσεων, και ***(γ)*** των πεπερασμένων μηχανών κατάστασης. Επίσης, περιγράφει, στον εξωτερικό κόσμο, τη συμπεριφορά του συστήματος. Ο κανόνας εφαρμόζεται επαναληπτικά σε κάθε υποσύστημα που αποτελεί την προδιαγραφή.

- ***Μειονεκτήματα***:

  ↬ Χρησιμοποιεί πολύπλοκους και δυσνόητους συμβολισμούς κειμένων.

- ***Πλεονεκτήματα***:

- Τα πρότυπα συστήματα περιγράφονται με τη βοήθεια των ECFSM.
- Υποστηρίζει τύπους δεδομένων και υπολογισμούς της γλώσσας ***Pascal***.

4.2.3 *LOTOS*

Η προδιαγραφή **L**anguage **O**f **T**emporal **O**rdering **S**pecifications (LOTOS) [21] πιστοποιήθηκε από τον οργανισμό ISO το έτος 1989. Αποτελεί μία κατοχυρωμένη τυποποιημένη τεχνική περιγραφής. Σε αντίθεση με άλλες τεχνικές, η προδιαγραφή αυτή υιοθετεί την αλγεβρική διαδικασία ως υποκατάστατο των μηχανών πεπερασμένων καταστάσεων. Στηριζόμενη στην ισχυρή θεωρητική της βάση, είναι σε θέση να ενσωματωθεί σε χρονολογικά ή στοχαστικά χαρακτηριστικά, με αποτέλεσμα την επέκταση των δυνατοτήτων της στην αξιολόγηση της απόδοσης δυναμικών συστημάτων. Η εμπλουτισμένη επέκταση βιβλιοθήκης, ***E-LOTOS***, υποστηρίζει χρονολογικά χαρακτηριστικά, μορφοποίηση, έλεγχο και μεγάλο βαθμό αφαίρεσης.

- ***Συντακτικό.*** Η προδιαγραφή αποτελείται από τη γλώσσα περιγραφής χαρακτήρα διαδικασιών και τη γλώσσα προδιαγραφής των αλγεβρικών τύπων δεδομένων. Οι ισχυροί λογικοί τελεστές που χρησιμοποιεί παρέχουν τη δυνατότητα προσομοίωσης κατανεμημένων συστημάτων και παράλληλων διεργασιών επικοινωνίας. Η προδιαγραφή ενός τυχαίου συστήματος αποτελείται από τα ακόλουθα τμήματα: ***(α)*** το τμήμα δηλώσεων, όπου χαρακτηρίζεται η συμπεριφορά των ασυνεχών ή σύγχρονων διασυνδέσεων των υποσυστημάτων, και ***(β)*** το τμήμα ορισμών, όπου περιγράφεται η συμπεριφορά κάθε στοιχείου του συστήματος (μεταβάσεις, ακολουθίες ενεργειών). Η διεργασία χαρακτηρίζεται από την τυποποιημένη διεπιφάνεια και μία συλλογή παραμέτρων. Η συμπεριφορά της διεργασίας είναι μία καθορισμένη ακολουθία ενεργειών ή μία τυχαία επιλογή μεταξύ ανταγωνιστικών συμπεριφορών, οι οποίες δηλώνονται κατά την ενεργοποίηση της διεργασίας. Η ενέργεια αποτελεί μία επικοινωνιακή δραστηριότητα.

```
specification go_back_N [Data_Ind] : no exit
    library
        NATURAL, BOOLEAN
    endlib

behaviour
            ARQ[Data_Ind](0, 4)
where
    process ARQ [Ind] (n, N : Nat) : noexit :=
        Ind!n; ARQ[Ind]((n+1)mod N,N)
    endproc
endspec
```

Σχήμα 4.2: Τυπική προδιαγραφή υπηρεσίας

- ***Επικοινωνία.*** Η επικοινωνία στηρίζεται στο σύγχρονο μοντέλο. Δύο ή και περισσότερες συνδεδεμένες διεργασίες οφείλουν να εκτελούν ζεύγη ενεργειών προς αποφυγή αδιεξόδων. Η σύγχρονη επικοινωνία ακολουθεί τους κανόνες των διαδικασιών με τη λήψη άμεσης επαφής[1]. Για την επίτευξη ασύγχρονης επικοινωνίας, απαιτείται η ενσωμάτωση ουρών. Η ενσωμάτωση κρίνεται πρακτικά ανέφικτη λόγω της πολυπλοκότητας του προτύπου.

- ***Μειονεκτήματα***:
  - Η επικοινωνία μεταξύ των οντοτήτων πραγματοποιείται σύγχρονα.
  - Η εννοιολογική απόσταση μεταξύ των τεχνικών κειμένων προδιαγραφής και της προσέγγισης του προτύπου είναι αρκετά σημαντική.
  - Η δήλωση των τύπων δεδομένων στο σύστημα προδιαγραφής είναι αρκετά δύσκαμπτη.
- ***Πλεονεκτήματα***:
  - Συνθετική προσέγγιση στην προδιαγραφή συστημάτων.
  - Υψηλός δείκτης αφαίρεσης.
  - Τεχνικές μείωσης προτύπων με βάση αλγόριθμους παρατήρησης ισοδυναμίας.
  - Οι στοχαστικές αλγεβρικές διεργασίες υποστηρίζουν τη θεωρητική διερεύνηση στην αξιολόγηση απόδοσης συστημάτων.
- ***Εργαλεία ανάπτυξης***. Η τυποποίηση σε μορφή κειμένου και ο ψηλός δείκτης αφαίρεσης καθιστούν την τεχνική αρκετά δύσκολη για την υιοθέτησή της από αναπτυξιακά περιβάλλοντα. Το πρόγραμμα ***Caesar/Aldebaran Development Tool*** αποτελεί την πληρέστερη εφαρμογή υποστήριξης της τεχνικής αυτής. Τα πιο εντυπωσιακά του πλεονεκτήματα αποτελούν: ***(α)*** η μετάφραση και προσομοίωση προδιαγραφών LOTOS, ***(β)*** η παραγωγή γραφικών μηχανών πεπερασμένων καταστάσεων από προδιαγραφές σε μορφή κειμένου, ***(η)*** η ελαχιστοποίηση προτύπων, ***(δ)*** η σύγκριση προτύπων με βάση τη συμπεριφορά, ***(ϵ)*** ο έλεγχος προτύπων, ***(στ)*** η επιβεβαίωση λογικών χρονικών εξισώσεων, ***(ζ)*** η παραγωγή σεναρίων ελέγχου, και ***(η)*** η μεταγλώττιση βιβλιοθηκών τύπων δεδομένων. Όσον αφορά σε προσομοιώσεις και αξιολόγηση απόδοσης, τα εργαλεία ***PEPE, TIPtool*** θεωρούνται τα σημαντικότερα και τα πιο διαδεδομένα. Υιοθετούν μία στοχαστική επέκταση των συμβολισμών LOTOS, χρονολογική ενέργεια (a, λ), η οποία εμφανίζεται με την πάροδο κάποιου εκθετικά κατανεμημένου χρονολογικού διαστήματος με μέση τιμή $1/\lambda$.

4.2.4 *SPIN*

Το εργαλείο **S**imple **P**romela **IN**terpreter (SPIN) είναι ευρέως διαδεδομένο και χρησιμοποιείται κυρίως στην προδιαγραφή, προσομοίωση και αποτίμηση πρωτοκόλλων επικοινωνίας. Χρησιμοποιεί

[1] Handshake

συμβολισμούς προδιαγραφής, μία γλώσσα όμοια με την C, **Pro**cess **Me**ta **La**nguage (PROMELA), η οποία αυξάνει το βαθμό εφαρμογής του εργαλείου κατά τις αρχικές φάσεις ανάπτυξης και διευκολύνει την ανάπτυξη κώδικα.

- ***Συντακτικό***. Η PROMELA αποτελεί μία συλλογή συμβολισμών κειμένου ECFSM, η οποία συνδέει τις δομές επεξεργασίας δεδομένων και την επικοινωνία μεταξύ διεργασιών. Οι διεργασίες αποτελούν τα βασικά στοιχεία του συστήματος. Η εσωτερική συμπεριφορά των διεργασιών περιγράφεται ως συλλογές από πιθανές μεταβάσεις (τομείς $if...fi$), οι οποίες ενεργοποιούνται μοναδικά ή ταυτόχρονα. Η ενεργοποίηση μίας μετάβασης οδηγεί: ***(α)*** στον τερματισμό (καταστάσεις που σημειώνονται end :), και ***(β)*** σε ατέρμονες ακολουθίες ενεργειών (η μετάβαση ανήκει σε κάποιο βρόγχο *do...od* ή ο τελεστής *goto* δηλώνει τη μετάβαση σε καινούρια κατάσταση). Οι συνθήκες ενεργοποίησης μπορεί να είναι: ***(α)*** μηνύματα αφίξεων ή αποστολές εντολών, ***(β)*** λογικές εκφράσεις που αφορούν σε τοπικές, σφαιρικές μεταβλητές ή στην κατάσταση των καναλιών, και ***(γ)*** χρονολογικά γεγονότα. Οι διεργασίες διαχειρίζονται μεταβλητές προκαθορισμένων τύπων, πίνακες και δομές. Τα μηνύματα δηλώνονται ως σταθερές συμβόλων. Η προδιαγραφή του τύπου του καναλιού αποτελείται από το χαρακτήρα του μήκους της αντίστοιχης ουράς εξυπηρέτησης και τη λίστα των στοιχείων πληροφορίας που συνθέτουν τη μονάδα δεδομένων.

- ***Επικοινωνία***. Οι διεργασίες επικοινωνούν μέσω καναλιών, τα οποία αποτελούν πρότυπα ουρών πεπερασμένου μήκους. Η τυπική επικοινωνία είναι ασύγχρονη και γίνεται σύγχρονη στην περίπτωση όπου το μήκος των καναλιών είναι μηδέν. Τα κανάλια μεταδίδουν δομημένα μηνύματα, τα οποία αποτελούνται από επικεφαλίδα και σώμα. Η μετάδοση πληροφορίας μπορεί, επίσης, να επιτευχθεί με τη χρήση στατικών μεταβλητών.

- ***Μειονεκτήματα***:
  - Η προδιαγραφή μίας πλήρους στοίβας πρωτοκόλλων είναι αδύνατη.
  - Δεν υπάρχει σαφής διαχωρισμός μεταξύ των παραγόντων αρχιτεκτονικής και λειτουργικότητας.
  - Οι υπηρεσίες δεν έχουν ιεραρχική δομή.

- ***Πλεονεκτήματα***:
  - Η δημιουργία προτύπων πρωτοκόλλων είναι εύκολη διαδικασία και οδηγεί σε συμπαγείς προδιαγραφές.
  - Μεγάλη ομοιότητα με τη γλώσσα προγραμματισμού C.
  - Η προδιαγραφή μεταφράζεται γρήγορα στη γλώσσα C.

4.2.5 *SDL*

Η μέθοδος SDL [8] αποτελεί τυποποιημένη συμβολική μέθοδο, η οποία αναπτύχθηκε και καθορίστηκε κατά τη χρονική περίοδο 1976 και 1992 από τον οργανισμό ITU-T. Η τελευταία έκδοση, SDL-2000, υποστηρίζει αντικειμενοστρεφή μοντέλα, απαραίτητα για τη σχεδίαση λογισμικών εφαρμογών. Χαρακτηρίζεται ως υψηλού επιπέδου γενικής χρήσεως γλώσσα περιγραφής συστημάτων επικοινωνίας πραγματικού χρόνου και εξαρτώμενα από γεγονότα. Ο αποτελεσματικός και πρωτοποριακός γραφικός τύπος της προδιαγραφής, της προσδίδει μεγάλη δημοτικότητα στα πανεπιστημιακά ιδρύματα και στον εταιρικό κόσμο.

- ***Συντακτικό.*** Η SDL βασίζεται στις μηχανές πεπερασμένων καταστάσεων[2]. Το σύστημα που περιγράφεται σε μία προδιαγραφή αποτελεί ουσιαστικά μία ECFSM, καθώς αποτελείται από ένα σύνολο παράλληλων διεργασιών, οι οποίες επεκτείνονται από μεταβλητές και δεδομένα και επικοινωνούν ανταλλάζοντας σήματα ελέγχου, δομημένα μηνύματα ή πεπερασμένου μήκους ασύγχρονα κανάλια. Ο καθορισμός του συστήματος διαχωρίζει τους παράγοντες λειτουργικότητας και δόμησης. Η προδιαγραφή του συστήματος πραγματοποιείται με: ***(α)*** τη δημιουργία δομικών μονάδων, ***(β)*** τη δημιουργία καναλιών για τη διασύνδεση των μονάδων, και ***(γ)*** τη δήλωση των σημάτων μετάδοσης στα μονοπάτια επικοινωνίας. Οι διεργασίες χαρακτηρίζονται από ένα πεπερασμένο αριθμό μακροσκοπικών καταστάσεων ελέγχου, οι οποίες συνδέονται με πεπερασμένο αριθμό μεταβάσεων. Οι μεταβάσεις ενεργοποιούνται με την έλευση κάποιου σήματος, την άφιξη χρονικού γεγονότος ή με την επικύρωση κάποιας συνθήκης κατάστασης μεταβλητής. Η μέθοδος, επίσης, υποστηρίζει αρχές απροσδιοριστίας για την περιγραφή της ανακρίβειας του περιβάλλοντος και επικύρωση του συστήματος σύμφωνα με όλες τις πιθανές εκδοχές.

- ***Τύποι δεδομένων.*** Οι διεργασίες χειρίζονται τοπικές μεταβλητές και παραμέτρους πολλαπλών τύπων δεδομένων. Η αντίληψη για τους τύπους δεδομένων βασίστηκε σε αξιοματικές δηλώσεις αφαιρετικών τύπων δεδομένων[3], και καθορίστηκε από ένα σύνολο πιθανών τιμών και ενεργειών που δύναται να πραγματοποιηθούν σε αυτές. Λόγω της πολυπλοκότητας της ADT, η SDL παρέχει ένα σύνολο προκαθορισμένων τύπων δεδομένων και γεννητόρων τύπων. Επίσης, τα εργαλεία υποστήριξης της τεχνικής είναι συμβατά με την **A**bstract **S**yntax **N**otation 1 -(**Συμβολισμός αφηρημένης σύνταξης αρ.1**)- (ASN.1) (τυπικός συμβολισμός τύπων δεδομένων για τη δομή των μονάδων δεδομένων).

- ***Επικοινωνία.*** Η επικοινωνία σε μονοπάτια δύο κατευθύνσεων, που συνδέουν διεργασίες, είναι πάντα ασύγχρονη. Κάθε διεργασία διαθέτει μία ουρά εισόδου στην οποία εισάγονται τα σήματα του περιβάλλοντος ή άλλων διεργασιών, και ακολούθως επεξεργάζονται σειριακά.

[2] **F**inite **S**tate **M**achine -(**Μηχανή πεπερασμένων καταστάσεων**)- (FSM)
[3] **A**bstract **D**ata **T**ype (ADT)

Υποστηρίζεται, επίσης, και η σύγχρονη επικοινωνία μέσω κλήσεων απομακρυσμένων συναρτήσεων. Η χρήση του τελεστή αποθήκευσης (`SAVE`) έχει ως αποτέλεσμα τη λήψη σημάτων με τυχαία ταξινόμηση.

- ***Μειονεκτήματα***:
  - Πολύπλοκες σχεδιάσεις σε διαγράμματα SDL, είναι απαραίτητος ο έλεγχος της σύνταξης και η χρήση επιπλέον τυποποιημένων μεθόδων (LOTOS, CPN, SPIN).
  - Η έλλειψη ικανών ελεύθερων εργαλείων για την αποτίμηση της σχεδίασης οδηγεί την έρευνα στην εξεύρεση εναλλακτικών λύσεων (μεταφραστές SDL σε άλλους τύπους συμβολισμών).
  - Η φάση προσομοίωσης παρέχει ικανοποιητικά αποτελέσματα μόνο στις περιπτώσεις όπου τροφοδοτείται με επαρκή ποσοτικά στοιχεία.
  - Η προσομοίωση ευρύτερων συστημάτων απαιτεί τη χρήση συναρτήσεων και μεταβλητών της γλώσσας *C*.
- ***Πλεονεκτήματα***:
  - Η αντίληψη σχεδίασης που είναι προσανατολισμένη στα πρότυπα, καθώς και ο διαχωρισμός της δομής από τη συμπεριφορά, βοηθούν αρκετά στην περιγραφή αρχιτεκτονικών πρωτοκόλλων που ακολουθούν το πρότυπο OSI.
  - Η συμβατότητα με την ASN.1 και με πακέτα τύπου της γλώσσας *C* βοηθάει στην πληρέστερη περιγραφή των μηνυμάτων.
  - Φιλικοί, προς τον άνθρωπο, γραφικοί συμβολισμοί και σχεδίαση.
- ***Εργαλεία ανάπτυξης***. Η τεχνική προδιαγραφής υποστηρίζεται σε αρκετά εμπορικά και μή εργαλεία. Δύο από τα πιο δημοφιλή μή εμπορικά εργαλεία είναι: ***(α)*** το ***JADE***, η υλοποίηση του οποίου είναι εξ΄ ολοκλήρου στη γλώσσα προγραμματισμού ***JAVA***, και ***(β)*** το ***SITE***, το οποίο έχει τη δυνατότητα μεταγλώττισης των διαγραμμάτων σε γλώσσες όπως η ***JAVA*** και η ***C++***. Δυστυχώς, τα εργαλεία είναι σε πολύ πρώιμο στάδιο και αδυνατούν να υποστηρίζουν υλοποιήσεις συστημάτων με τα διαγράμματα της SDL. Από τα εμπορικά προϊόντα, το πιό σημαντικό είναι το εργαλείο της **Telelogic Tau**, ***SDT***. Το εργαλείο αυτό υποστηρίζει πλήρως την SDL-2000, τη χρήση και αυτόματη δημιουργία κώδικα *C* και ***C++*** και τη σύνδεση με εργαλεία δημιουργίας ελέγχων και εκτέλεσης. Ένα από τα μεγαλύτερα μειονεκτήματά του, είναι αυτό που θεωρητικά θα έπρεπε να είναι το μεγαλύτερο του πλεονέκτημα, η μετάφραση των διαγραμμάτων σε κώδικα ***C++***. Ο παραγόμενος κώδικας είναι δυσνόητος, πολύπλοκος, δύσκολα ξαναχρησιμοποιείται, και κάθε προσπάθεια για επέμβαση στην υλοποίηση οδηγεί είτε σε ατυχή αποτελέσματα, είτε σε σπατάλη χρόνου. Επιπλέον, η εκμάθηση του εργαλείου αυτού και η κατανόηση των λειτουργιών, σε ένα αρκετά ικανοποιητικό βαθμό, απαιτεί

αρκετή προσπάθεια ή/και παρακολούθηση ειδικών σεμιναρίων που πραγματοποιούνται από την εταιρεία προώθησης του προϊόντος. Τέλος, το κόστος αγοράς του και των βιβλιοθηκών του καθιστά ουσιαστικά απαγορευτική τη χρήση του από μικρούς οργανισμούς ή ερευνητικές ομάδες.

4.3 Μέθοδοι υλοποίησης

Η χρήση των τυποποιημένων τεχνικών περιγραφής επιταχύνει την σχεδίαση συστημάτων και εφαρμογών. Η συγκεκριμένη προσέγγιση, όμως, όσον αφορά στα πρωτόκολλα επικοινωνίας, δεν είναι αρκετά διαδεδομένη. Ένας σημαντικός παράγοντας του φαινομένου είναι το ισοζύγιο μεταξύ των πλεονεκτημάτων που προσφέρονται από τις συγκεκριμένες τεχνικές και το κόστος, σε χρήματα και χρόνο, που πρέπει να διαθέσουν οι χρήστες για την υιοθέτηση των μεθόδων.

Οι τυποποιημένες τεχνικές μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συγκεκριμένα σημεία ανάπτυξης συστημάτων. Είναι σε θέση να προδιαγράφουν, συστηματικά, συστήματα ψηλής αξιοπιστίας με μειωμένο κόστος και χρόνο κατά τη φάση σχεδίασης. Η ιστορία αρκετών επιτυχημένων συστημάτων έχει αποδείξει ότι οι τυποποιημένες τεχνικές προδιαγραφής δεν καταλύουν τη χρήση των τυπικών μεθόδων ανάπτυξης. Αντίθετα, οι τυπικές μέθοδοι ανάπτυξης πρέπει να χρησιμοποιούνται ως επέκταση των τυποποιημένων τεχνικών προδιαγραφής, με σκοπό την περιγραφή της συμπεριφοράς, την ανίχνευση των λαθών και τη σαφή τεκμηρίωση των συστημάτων.

4.3.1 Υλοποίηση με τη χρήση των υπαρχουσών μεθόδων

Τα αρνητικά σημεία των υπαρχουσών μεθόδων προδιαγραφής και σχεδίασης, οι οποίες χρησιμοποιούνται κατά τη φάση υλοποίησης συστημάτων, είναι τα ακόλουθα:

- Η χρήση των FDT, καθώς και των εργαλείων που τις υποστηρίζουν κρίνεται αρκετά πολύπλοκη. Η γλώσσα προδιαγραφής και η γλώσσα υλοποίησης δεν υπολοίπονται σε πολυπλοκότητα των κλασσικών γλωσσών προγραμματισμού.

- Ο παραγόμενος κώδικας (C, C++, Pascal, κ.λ.π.), λόγω της σχεδίασης των εργαλείων για την σχεδίαση γενικών συστημάτων, δεν είναι ο βέλτιστος δυνατός για τις πλατφόρμες εφαρμογής.

- Ο παραγόμενος κώδικας είναι δυσνόητος με αποτέλεσμα κάθε προσπάθεια παρέμβασης για τη βελτιστοποίηση των εσωτερικών διεργασιών να απαιτεί σημαντικό χρόνο. Αρκετές φορές ο χρόνος αυτός εξανεμίζει το χρονικό κέρδος που προσφέρεται από την γρήγορη παραγωγή κώδικα.

- Τα FDT δεν είναι σχεδιασμένα να παράγουν προγράμματα, τα οποία θα χρησιμοποιηθούν σε εμπορικές πλαρφόρμες για εφαρμογές, των οποίων ο χρόνος απόκρισης είναι κρίσιμος παράγοντας για την επιτυχία της υλοποίησης.

4.3.2 Υλοποίηση χωρίς μεθοδολογία κατά την ανάπτυξη

Η αποφυγή κάθε χρήσης εργαλείων μετάφρασης των προδιαγραφών σε γλώσσες προγραμματισμού δεν μπορεί φυσικά να αποτελεί κανόνα στην υλοποίηση και ανάπτυξη πηγαίου κώδικα με άναρχο τρόπο. Η αναρχία και η απουσία μεθόδων ανάπτυξης είναι βέβαιο ότι οδηγεί σε χαοτικές υλοποιήσεις, οι οποίες χαρακτηρίζονται από υψηλό κόστος όσον αφορά στο χρόνο της ανάπτυξης, του ελέγχου και της αποσφαλμάτωσης. Επιπρόσθετα, προσαρμόζοντας με άναρχο τρόπο τον πηγαίο κώδικα στις επί μέρους υλοποιήσεις των δομοστοιχείων και των συστημάτων έχει ως αποτέλεσμα:

- Τη μείωση του βαθμού επαναχρηστικότητας του πηγαίου κώδικα,
- Την αύξηση του χρόνου υλοποίησης.
- Την αδυναμία διατήρησης εκδόσεων των υλοποιήσεων.
- Την επανάληψη και τη μεταφορά σφαλμάτων κ.λ.π.

4.3.3 Υλοποίηση με την προτεινόμενη μεθοδολογία

Η προτεινόμενη μέθοδος υλοποίησης δεν αποκλείει τη χρήση των FDT. Οι κλάσεις τις βιβλιοθήκης, καθώς και η αρχιτεκτονική της επικοινωνίας των εργαλείων και των μονάδων, έχουν προδιαγραφεί με τη χρήση της UML και της SDL. Το προτεινόμενο σύστημα διαθέτει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Η μεθοδολογία, καθώς και η βιβλιοθήκη, έχουν σχεδιαστεί με τέτοιον τρόπο, ώστε ο χρήστης να χρησιμοποιεί ως κύριο εργαλείο την ιδιαίτερα ισχυρή και ευρέως διαδεδομένη γλώσσα προγραμματισμού C++.
- Τόσο ο κώδικας που περιέχει η βιβλιοθήκη, όσο και ο κώδικας που παράγεται από το προτεινόμενο σύστημα, είναι κατάλληλοι για εφαρμογές που χρησιμοποιούν ευρέως διαδεδομένες εμπορικές πλατφόρμες (Windows ή Linux σε προσωπικούς υπολογιστές). Ο κώδικας που προσφέρεται, επίσης, είναι πλήρως επισκέψιμος και τροποποιήσιμος από τον προγραμματιστή.
- Λόγω της ειδικής σχεδίασης της μεθοδολογίας και της βιβλιοθήκης λογισμικού για τις συγκεκριμένες πλατφόρμες λειτουργικών συστημάτων είναι δυνατή η εκτέλεση των προκυπτόντων προγραμμάτων σε πραγματικό χρόνο, δεδομένης μίας ελάχιστης, εύκολα επιτεύξιμης απόδοσης της πλατφόρμας υλικού.

Κεφάλαιο 5

Δομή των πρωτοκολλικών επιπέδων

5.1 Εισαγωγή

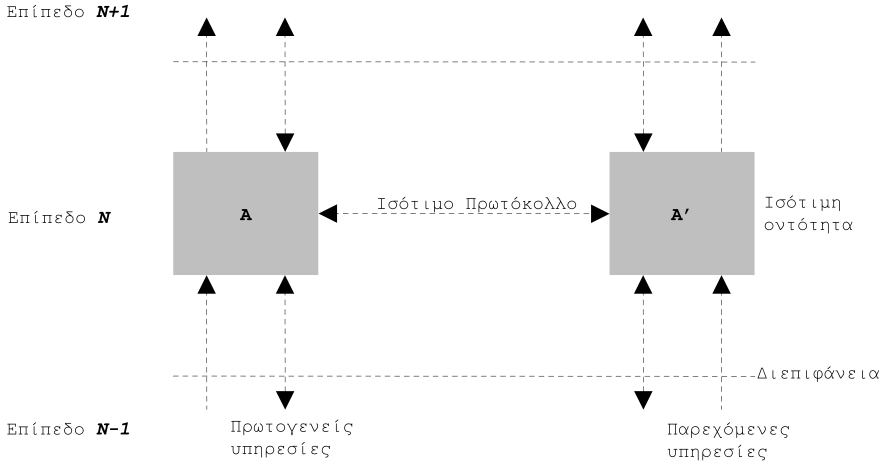
Στο παράρτημα Α΄, ***Αρχιτεκτονική ανοικτών συστημάτων***, δίνεται μία σύντομη περιγραφή της διαστρωμάτωσης των δικτύων, όπως αυτά εξελίχθηκαν τις τελευταίες δεκαετίες. Παρουσιάζεται η δομή του κάθε επιπέδου όπως, επίσης, και οι βασικές τους διαφορές σε θέματα αρχιτεκτονικής και παροχής υπηρεσιών. Η έννοια της ***διασύνδεσης*** διατυπώνεται πλήρως με σκοπό την κατανόηση των μεθόδων επικοινωνίας δύο οντοτήτων. Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται τα προβλήματα και οι δυσκολίες που παρουσιάζονται κατά την τυποποίηση, τον καθορισμό των παραμέτρων και την υλοποίηση ενός τυχαίου πρωτοκόλλου, το οποίο θα χρησιμοποιηθεί για την επικοινωνία δύο οντοτήτων. Διατυπώνεται το πρόβλημα των χρονικών περιθωρίων και η ανάγκη εύρεσης ταχύτατων διαδικασιών υλοποίησης. Τέλος, περιγράφονται οι γενικές αρχές που πρέπει να διέπουν το προτεινόμενο μοντέλο.

5.1.1 Χρονικοί περιορισμοί

Τα δίκτυα επικοινωνιών, είτε αυτά αναφέρονται στις τηλεπικοινωνίες, είτε σε δίκτυα υπολογιστών, χαρακτηρίζονται από τη ραγδαία εξέλιξη που παρουσιάζουν. Η ανάγκη για την παροχή καλύτερων υπηρεσιών στο χρήστη του δικτύου λειτουργεί ως καταλύτης στην ώθηση της εξέλιξης των δικτύων. Το είδος της υπηρεσίας καθορίζει και το βαθμό της εξέλιξης. Η εξέλιξη αυτή είναι δυνατό να αφορά σε ένα τμήμα του δικτύου ή ακόμη και στην υποδομή αυτού. Η υποδομή κάποιου δικτύου, λόγω του υψηλού κόστους και της χρονοβόρας διαδικασίας εγκατάστασης, αποφεύγεται όπου αυτό είναι δυνατό. Ακόμη και η τροποποίηση μερικών μόνο παραμέτρων σε ένα δίκτυο, ακολουθείται από την επίπονη διαδικασία της αντικατάστασης της διασύνδεσης επικοινωνίας ή του εμπλουτισμού των διεργασιών που αυτή επιτελεί. Θεωρώντας ότι οποιοδήποτε ***μοντέλο αναφοράς*** πρέπει να περιγράφει πλήρως μία ευρεία ομάδα καταστάσεων, στο υπόλοιπο μέρος του κεφαλαίου αυτού περιγράφεται ένα υποθετικό σενάριο στο οποίο, λόγω της απαίτησης των χρηστών κάποιου δικτύου, δημιουργείται η ανάγκη τυποποίησης συγκεκριμένων διαδικασιών, οι οποίες θα εξυπηρετήσουν τους χρήστες αυτούς.

5.1.2 Εισαγωγή ενός γενικού πρωτοκόλλου Α

Λόγω της φύσης της υπηρεσίας που θα προταθεί, δεν κρίνεται αναγκαία η επέμβαση στην υποδομή του δικτύου, διατηρώντας έτσι το ***υλικό*** μέρος του δικτύου ανέπαφο. Θεωρώντας, επίσης, ότι οι βασικές διαδικασίες αποκατάστασης της επικοινωνίας παραμένουν αναλλοίωτες και χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία, συντήρηση και καταστροφή του βασικού διαύλου σύνδεσης των οντοτήτων που επικοινωνούν στο δίκτυο, μειώνεται στο μικρότερο δυνατό βαθμό η πολυπλοκότητα της προσπάθειας καθορισμού των γενικών κανόνων τους οποίους θα ακολουθεί η υπηρεσία ***A***. Η εικόνα του δικτύου, καθώς και της υπηρεσίας, παρουσιάζονται στο **σχήμα 5.1**. Η φάση της μοντελοποίησης



Σχήμα 5.1: Τυχαία πρωτοκολλική στοίβα

και της σχεδίασης του τυχαίου πρωτοκόλλου βρίσκεται δεύτερη στην ιεραρχία της σχεδίασης του συστήματος. Η κατανόηση όλων των διαδικασιών, της υπηρεσίας που παρέχεται και των αρχών που διέπουν το επίπεδο, προηγείται της περιγραφής του σε γλώσσα μηχανής. Στις επόμενες ενότητες του κεφαλαίου αυτού, θα παρουσιαστούν τα βασικά στοιχεία και οι πρωτογενείς διαδικασίες που αποτελούν το τυχαίο επίπεδο.

5.2 Γενικές αρχές σχεδίασης πρωτοκόλλων

Οι αρχές, η μορφή και οι διαδικασίες που έχουν προσυμφωνηθεί μεταξύ των ισότιμων οντοτήτων του σχήματος 5.1 ονομάζονται πρωτόκολλο. Η προδιαγραφή του πρωτοκόλλου [9] αποτελείται από πέντε διακριτά μέρη: *(α)* τον τύπος υπηρεσίας, *(β)* το περιβάλλον εφαρμογής, *(γ)* το λεξιλόγιο, *(δ)* το συντακτικό, και *(ε)* τις αρχές λειτουργίας.

5.2.1 Τύπος υπηρεσίας

Ο σκοπός και η μορφή της υπηρεσίας του πρωτοκόλλου πρέπει να καθοριστούν πλήρως. Πρέπει, επίσης, να επιλεχθούν, αν κρίνεται απαραίτητο, οι κατάλληλοι αμυντικοί μηχανισμοί απέναντι στην εμφάνιση σφαλμάτων μετάδοσης όπως, επίσης, και η μορφή της μετάδοσης (Half-Duplex, Full-Duplex, κ.λ.π). Τέλος, τα μηνύματα πληροφορίας πρέπει να διαχωρίζονται από τα μηνύματα ελέγχου, καθορίζοντας, συγχρόνως, και τους κανόνες πιστοποίησης της ορθής αποστολής ή της λήψης πακέτων (Acknowledgement).

5.2.2 Περιβάλλον εφαρμογής

Λόγω της θέσης του πρωτοκόλλου στη στοίβα OSI, η επίγνωση της υπηρεσίας που παρέχεται από το κατώτερο στρώμα είναι απαραίτητη. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στη μέθοδο παράδοσης των πακέτων (προστασία από σφάλματα μετάδοσης, απώλεια, διπλότυπες εμφανίσεις ή ακόμη και αναδιάταξη της σειράς άφιξης των μηνυμάτων) και στις μεθόδους αποκατάστασης, συντήρησης και διαγραφής του καναλιού σύνδεσης.

5.2.3 Λεξιλόγιο

Το είδος των μηνυμάτων που υποστηρίζει το πρωτόκολλο μπορεί να διαχωριστεί σε δύο μεγάλα πεδία:

- ***Πεδίο πληροφορίας***[1]. Στο πεδίο αυτό ανήκουν πακέτα δεδομένων που αφορούν στο ανώτερο στρώμα και πρέπει να παραδοθούν με προσυμφωνημένες μεθόδους.

- ***Πεδίο ελέγχου***[2]. Στο πεδίο αυτό αναφέρονται τα μηνύματα σηματοδοσίας που αναλαμβάνουν την αποκατάσταση, συντήρηση και διαγραφή της σύνδεσης, το συντονισμό της μετάδοσης, κ.λ.π. Κάθε μήνυμα ελέγχου δύναται να διαθέτει ένα ή και περισσότερα στοιχεία πληροφορίας[3] εμπλουτίζοντας τη λειτουργικότητά του. Ας υποθέσουμε ότι μπορεί να αποδοθεί το λεξιλόγιο με το σύνολο M της σχέσης 5.1, όπου το σύμβολο **n** υποδηλώνει το πλήθος των μηνυμάτων.

$$M = \{x_1, \cdots, x_n\} \tag{5.1}$$

Θεωρούμε, επίσης, και το υποσύνολο I_E των διαφορετικών στοιχείων πληροφορίας της εξίσωσης 5.2, όπου το σύμβολο **m** υποδηλώνει το πλήθος των στοιχείων πληροφορίας.

$$I_E = \{y_1, \cdots, y_m\} \tag{5.2}$$

[1] User Plane
[2] Control Plane
[3] Information elements

Διατυπώνοντας τα δύο αυτά σύνολα, και καθορίζοντας τους απαραίτητους συνδυασμούς μεταξύ των δύο συνόλων, δίνουμε πλήρη περιγραφή του λεξιλογίου και του συντακτικού του πρωτοκόλλου.

5.2.4 Συντακτικό

Κάθε μήνυμα αποτελείται από δύο τμήματα, την επικεφαλίδα και το σώμα. Η επικεφαλίδα αποτελείται από στοιχεία όπως τον κωδικό αναγνώρισης του μηνύματος, το μέγεθος του πακέτου, τον αύξοντα αριθμό του πακέτου, κ.λ.π. Το σώμα περιλαμβάνει πολύτιμη πληροφορία, η οποία προσανατολίζεται κυρίως στον τύπο του μηνύματος και μπορεί να αφορά σε αριθμούς αναγνώρισης χρήστη, διευθύνσεις ισότιμων οντοτήτων ή ακόμη και απλό κείμενο.

5.2.5 Αρχές λειτουργίας

Έχοντας καθορίσει ουσιαστικά μία γλώσσα επικοινωνίας μεταξύ των οντοτήτων, απομένει να καθοριστούν οι ενέργειες που λαμβάνουν χώρα κατά την άφιξη ενός τυχαίου μηνύματος. Οι ενέργειες του πρωτοκόλλου είναι άμεσα εξαρτημένες από την κατάσταση στην οποία βρίσκεται το επίπεδο τη στιγμή της άφιξης του μηνύματος. Η περιγραφή των αρχών λειτουργίας μπορούν να αποδοθούν με τη χρήση διαγραμμάτων ροής ή μετάβασης καταστάσεων, αλγεβρικές εκφράσεις ή ψευδο-κώδικα.

5.3 Έλεγχος σφαλμάτων μετάδοσης

Ο αριθμός των σφαλμάτων που δημιουργούνται κατά τη μετάδοση των δεδομένων είναι αρκετές τάξεις μεγέθους μεγαλύτερος των σφαλμάτων των οποίων προκαλούνται από τις ελαττωματικές καταστάσεις που εμφανίζονται στο υλικό κάποιου υπολογιστικού συστήματος. Η πιθανότητα εμφάνισης σφάλματος δυαδικού ψηφίου[4] στα εσωτερικά κυκλώματα είναι συνήθως μικρότερη της τιμής 10^{-15}. Σε αντίθεση, η αντίστοιχη πιθανότητα σφάλματος σε μία σύνδεση οπτικής ίνας είναι στην τάξη των 10^{-9}, του ομοαξονικού καλωδίου στην τάξη των 10^{-6} και του τηλεφωνικού καλωδίου μεταξύ των τιμών 10^{-4} και 10^{-5}. Αναλόγως της γραμμής και των χαρακτηριστικών του δικτύου, η μεταδιδόμενη πληροφορία μπορεί να υποστεί αναδιάταξη, να παραμορφωθεί ή να διαγραφεί και, στις περιπτώσεις θορυβωδών γραμμών, να της προστεθούν καινούρια και ανεπιθύμητα δεδομένα. Τα σφάλματα αυτά προκαλούνται κυρίως λόγω: ***(α)*** της γραμμικής παραμόρφωσης (περιορισμοί εύρους μετάδοσης), και ***(β)*** της μη - γραμμικής παραμόρφωσης (αντίλαλος, λευκός θόρυβος, και κ.λ.π.).

[4] bit error

5.3.1 Ανίχνευση σφάλματος και ανάκτηση πληροφορίας

Μία γραμμή μεταφοράς μπορεί να εμφανίζει πολλών ειδών σφάλματα μετάδοσης. Τα πιο σημαντικά από αυτά (εμφανίζονται ως δεδομένα) είναι: ***(α)*** η εισαγωγή, ***(β)*** η διαγραφή, ***(γ)*** η αντιγραφή, ***(δ)*** η παραμόρφωση, και ***(ϵ)*** η αναδιάταξη δυαδικών ψηφίων. Η πιθανότητα εμφάνισής τους είναι σχεδόν αμελητέα στις περιπτώσεις χαμηλού ρυθμού μετάδοσης. Όσο ο ρυθμός αυξάνεται, η εμφάνισή τους γίνεται πιο συχνή παραπέμποντας στο ρητό ***μηδέν καλό αμιγές κακού***. Έχοντας επίγνωση της κατάστασης, είναι αναγκαία η εφαρμογή μεθόδων ανίχνευσης σφαλμάτων και ανάκτησης πληροφορίας. Για την επίτευξη του στόχου αυτού, κάθε μήνυμα εμπλουτίζεται με επιπλέον ικανή και αναγκαία πληροφορία ανίχνευσης και ανάκτησης. Κατά τη διαδικασία της λήψης, ο αποδέκτης ελέγχει τη συνοχή του μηνύματος και διαπιστώνει την αξιοπιστία των δεδομένων της περιεχόμενης πληροφορίας. Η διαπίστωση των ελαττωματικών δεδομένων προκαλεί τις απαραίτητες ενέργειες για την ανάκτηση της ορθής πληροφορίας. Υπάρχουν δύο τρόποι διόρθωσης των σφαλμάτων: ***(α)*** έλεγχος χωρίς ανάδραση, στον οποίο θεωρούμε ότι η πληροφορία που χρησιμοποιείται για την ανάκτηση των δεδομένων περιέχει τους απαιτούμενους πόρους για την ολοκλήρωση της διαδικασίας, και ***(β)*** έλεγχος με ανάδραση, ο οποίος προκαλεί την αναμετάδοση των ελαττωματικών μηνυμάτων. Σκοπός του ελέγχου σφαλμάτων είναι η μείωση του ρυθμού εμφάνισης ελαττωματικών μηνυμάτων σε ένα κανάλι μετάδοσης. Αν θεωρήσουμε ότι η πιθανότητα εμφάνισης ενός σφάλματος μετάδοσης είναι ίση με p και η διαδικασία ανίχνευσης έχει επιτυχία ίση με f, τότε ο ***ρυθμός παραμενόντων σφαλμάτων***[5] είναι ίσος με $p * (1 - f)$.

5.3.2 Τύποι διαδικασιών ανίχνευσης και διόρθωσης σφαλμάτων

Οι κωδικοποιήσεις διαχωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: ***(α)*** στην κωδικοποίηση τμήματος, και ***(β)*** στην κωδικοποίηση συνέλιξης. Στην πρώτη περίπτωση, οι λέξεις κωδικοποίησης είναι ίσου μήκους και η κωδικοποίηση κάθε πιθανού μηνύματος δεδομένων μπορεί να καθοριστεί στατικά. Στη δεύτερη των περιπτώσεων, οι λέξεις κωδικοποίησης εξαρτώνται από το παρόν μήνυμα και από ένα συγκεκριμένο αριθμό προηγούμενων μηνυμάτων. Περαιτέρω διαχωρισμός μεταξύ των κωδικοποιήσεων έχει ως αποτέλεσμα: ***(α)*** τις γραμμικές κωδικοποιήσεις, ***(β)*** τις κυκλικές κωδικοποιήσεις, και ***(γ)*** τις συστηματικές κωδικοποιήσεις. Πιο συχνές εφαρμογές στα πρωτόκολλα επικοινωνίας εμφανίζουν οι δύο πρώτες. Σε όλες τις περιπτώσεις, οι κωδικοποιημένες λέξεις έχουν μεγαλύτερο μήκος από τις λέξεις των δεδομένων. Αν υποθέσουμε ότι ο αριθμός των αρχικών δυαδικών ψηφίων έχει τιμή d και ο αριθμός των επιπλέον δυαδικών ψηφίων έχει τιμή e, τότε το κλάσμα $\frac{d}{d+e}$ αποκαλείται ρυθμός κωδικοποίησης[6].

Στις επόμενες παραγράφους δίνεται μία σύντομη περιγραφή των πιο συχνά εφαρμοζόμενων μεθόδων ανίχνευσης και διόρθωσης σφαλμάτων.

[5] residual error rate

[6] code rate

5.3.3 Έλεγχος ισοτιμίας

Στις περιπτώσεις που η εμφάνιση πολλαπλών σφαλμάτων δυαδικών ψηφίων ανά μήνυμα είναι θεωρητικά μικρή, ο έλεγχος ισοτιμίας καλύπτει πλήρως τις ανάγκες της διαδικασίας. Σε κάθε μήνυμα προστίθεται ένα και μόνο δυαδικό ψηφίο, το οποίο έχει ως αποτέλεσμα τη μετατροπή του συμπληρώματος ως προς 2 του αθροίσματος των ανεξάρτητων δυαδικών ψηφίων του μηνύματος, στην τιμή 1. Αν θέσουμε το $q = 1 - p$, η πιθανότητα μετάδοσης, χωρίς σφάλμα, μηνύματος μήκους n δυαδικών ψηφίων, το οποίο διαθέτει και ένα bit ισοτιμίας, είναι ίση με q^{n+1}. Η πιθανότητα εμφάνισης ενός και μοναδικού ελαττωματικού ψηφίου σε $n + 1$ ψηφία είναι ίση με τη διωνυμική πιθανότητα $(n + 1) * p * q^n$. Οι υποθέσεις αυτές είναι ικανές για να υπολογίσουμε το ρυθμό παραμενόντων σφαλμάτων της μεθόδου ισοτιμίας ενός ψηφίου η οποία είναι ίση με $1 - q^{n+1} - (n + 1) * p * q^n$.

5.3.4 Γραμμική κωδικοποίηση τμήματος

Έχει αναφερθεί ότι η πλειονότητα σε δυαδικά ψηφία μίας τυχαίας μεθόδου κωδικοποίησης καθορίζει την ικανότητα της μεθόδου κατά την ανίχνευση και τη διόρθωση σφαλμάτων μετάδοσης. Η πλειονότητα μπορεί να προσδιοριστεί ως ο αριθμός των ψηφίων που χρησιμοποιούνται επιπλέον των αναγκαίων για την κωδικοποίηση ενός ευκρινούς μηνύματος. Η κωδικοποίηση ενός από των (n) ομοίων μηνυμάτων απαιτεί $(log_2 n)$ ψηφία τα οποία υπόκεινται σε στρογγυλοποίηση προς τα άνω, δίνοντας μας τη μονάδα $(m = \lceil log_2 n \rceil)$. Τα ψηφία αυτά προστατεύονται προσθέτοντας (c) ψηφία και επιλέγοντας (n) κωδικούς από το πλήθος των $(2^{(m+c)})$, με τέτοιο τρόπο ώστε κάθε συνδιασμός δύο έγκυρων κωδικών να διαφέρει σε όσο το δυνατό περισσότερα ψηφία. Για να είμαστε σε θέση να διορθώσουμε όλα τα σφάλματα ψηφίων χρειαζόμαστε κωδικο-λέξεις που να έχουν απόσταση Hamming [10] ίση με τρία. Συγκεκριμένα, κωδικο-λέξεις μήκους (m) bits χρειάζονται κατ΄ ελάχιστο $(m + c + 1)$ λέξεις για να προστατευτούν από τα σφάλματα των bits. Η ελάχιστη τιμή του (c) δίνεται από την εξίσωση 5.3.

$$m + c + 1 = 2^c \tag{5.3}$$

5.3.5 Κυκλικοί έλεγχοι πλεονασμού

Η μέθοδος **C**yclic **Redundancy** **C**heck -(**Κυκλικός έλεγχος πλεονασμού**)- (CRC) αυτή στηρίζεται στην πρόσθεση σειρών από bits ελέγχου στις κωδικο-λέξεις μετάδοσης εξασφαλίζοντας ότι, στην απουσία σφαλμάτων κατά τη μετάδοση, η κωδικο-λέξη σε συνδυασμό με τα bits ελέγχου είναι διαιρετά με ένα προκαθορισμένο παράγοντα. Ο καθορισμός της μεθόδου διαίρεσης, καθώς και ο προκαθορισμένος παράγοντας καθορίζουν την έκταση των αναγνωρίσιμων σφαλμάτων μετάδοσης. Για την απλοποίηση των αλγεβρικών πράξεων που εφαρμόζονται στις κωδικο-λέξεις, καθορίζεται η απεικόνιση των κωδικών σε πολυώνυμα. Μία ακολουθία (N) bits μπορεί να απεικονιστεί ως ένα πολυώνυμο βαθμού $(N-1)$ όπως παρουσιάζεται στη σχέση 5.4.

$$\sum_{i=0}^{N-1} b_i * x^i \tag{5.4}$$

Η μεταβλητή (b) ισοδυναμεί με την τιμή του bit στη θέση (i) της ακολουθίας των bits στην κωδικο-λέξη. Π.χ. η κωδικο-λέξη 10011 απεικονίζεται με το πολυώνυμο $(x^4 + x + 1)$.

Δεδομένου της γραμμικής μορφής της μεθόδου, οποιοδήποτε πρότυπο σφαλμάτων $\boldsymbol{E}$, οφείλει την ισοτιμία του με μία έγκυρη κωδικο-λέξη $\boldsymbol{T}$. Αν το πολυώνυμο του μηνύματος συμβολιστεί με $\boldsymbol{P}$, και με $\boldsymbol{G}$ μία γεννήτρια πολυωνύμων βαθμού $\boldsymbol{r}$, τότε ο ρυθμός παραμενόντων σφαλμάτων $\boldsymbol{R}$ είναι βαθμού $r-1$ και καθορίζεται ως το υπόλοιπο της σχέσης 5.5.

$$\frac{P * x^r}{G} \tag{5.5}$$

Η δε κωδικο-λέξη προς μετάδοση παρουσιάζεται στην εξίσωση 5.6.

$$T = P * x^r - R \tag{5.6}$$

Με βάση τις πιο πάνω αρχές, αρκετές εργασίες που εστιάζονται στη θεωρία της ανίχνευσης και διόρθωσης σφάλματος έχουν δημοσιευθεί, καθώς και έξυπνες τεχνικές ταχύτατων υπολογισμών έχουν αναπτυχθεί. Ενδεικτικά αναφέρονται οι εργασίες των Berlekamp [11], Kuo [12], Peterson & Weldon [13] και MacWilliams & Sloane [14]. Η εργασία του Perez [17] παρουσιάζει μία πρότυπη μέθοδο για την κατασκευή πίνακα τιμών CRC. Μέθοδοι για τη δημιουργία τιμών που αφορούν σε CRC-16 και CRC-32 παρουσιάζονται στην εργασία των Griffiths & Stones [15]. Η δημιουργία τιμών CRC με τη μέθοδο καταχωρητών ολίσθησης παρουσιάζεται στις εργασίες των MacWilliams & Sloane [14], Adi [16] και Stallings [18].

5.4 Έλεγχος ροής

Στην απλούστερη μορφή του, το σύστημα ελέγχου ροής αναλαμβάνει την προσαρμογή του ρυθμού μετάδοσης στο ρυθμό απορρόφησης των δεδομένων από τον παραλήπτη. Συστήματα, μεγαλύτερης πολυπλοκότητας, είναι σε θέση να προστατεύσουν το μονοπάτι μετάδοσης από διαγραφές, εισαγωγές, αντιγραφές και αναδιατάξεις των δεδομένων. Οι βασικές αρχές του συστήματος στηρίζονται στις αναγκαίες λειτουργίες που καλείται να ολοκληρώσει. Οι λειτουργίες αυτές διακρίνονται στις: ***(α)*** έλεγχο ρυθμού μετάδοσης ως συνάρτηση του μέγιστου ρυθμού λήψης του αποδέκτη, ***(β)*** βέλτιστη εκμετάλλευση του μονοπατιού μετάδοσης, και ***(γ)*** αποφυγή συνδέσεων που παρακωλύουν τη μετάδοση.

Η διαδικασία της λήψης αποδεικνύεται περισσότερο χρονοβόρα από τη διαδικασία της αποστολής. Ο παραλήπτης καλείται να μεταφράσει τα δεδομένα, να πάρει αποφάσεις για τις αναγκαίες ενέργειες, να δεσμεύσει την απαραίτητη μνήμη για την αποθήκευση δεδομένων, και πιθανόν να δρομολογήσει την πληροφορία σε επόμενο παραλήπτη. Σε αντίθεση με τις προαναφερθείσες διαδικασίες, ο αποστολέας δραστηριοποιείται μόνο κατά τη διαδικασία μετάδοσης εφαρμόζοντας τεχνικές μικρού χρονικού κόστους. Η αρχαιότερη και λιγότερο αξιόπιστη μέθοδος ροής είναι σε θέση να επιλύσει τα προβλήματα συγχρονισμού αναφορικά με το ρυθμό μετάδοσης των μηνυμάτων. Η μέθοδος αυτή δε, χρησιμοποιεί διαδικασίες συναλλαγής πριν την αρχικοποίηση της διαδικασίας αποστολής δεδομένων. Δύο μηνύματα ελέγχου, ***παύση***[7] και ***επαναφορά***[8], χρησιμοποιούνται μεταξύ του αποστολέα και του παραλήπτη για την ολοκλήρωση των αρχών του συγχρονισμού. Ο παραλήπτης χρησιμοποιεί ένα μηχανισμό καταμέτρησης εισερχόμενων μηνυμάτων με τον οποίο αποφασίζει τη μετάδοση προς τον αποστολέα των μηνυμάτων ελέγχου ροής.

Η προαναφερθείσα μέθοδος εισάγει συγκεκριμένα προβλήματα λόγω του χρόνου μετάδοσης των μηνυμάτων μεταξύ των οντοτήτων και λόγω της πιθανής απώλειας των μηνυμάτων ελέγχου. Δύο από τα σημαντικότερα προβλήματα που πρέπει να επιλυθούν είναι: ***(α)*** η προστασία από σφάλματα υπερχείλισης, και ***(β)*** η προστασία από την απώλεια μηνυμάτων.

5.4.1 Παραθυρικά πρωτόκολλα

Η αποκατάσταση της κλήσης προϋποθέτει την από κοινού ενημέρωση (των ισότιμων οντοτήτων) του διαθέσιμου αποθηκευτικού χώρου που έχει δεσμευτεί από το μηχανισμό λήψης, όσον αφορά στα εισερχόμενα μηνύματα. Με την τεχνική αυτή, ο παραλήπτης πιστώνει τον αποστολέα με ένα προκαθορισμένο αριθμό εκκρεμών μηνυμάτων.

Αν θεωρήσουμε το μέγεθος της πίστωσης ίσο με W, τότε το μέγεθος $W - n$ αντιπροσωπεύει το υπόλοιπο της πίστωσης. Έστω ότι συμβολίζουμε με $a(t)$ το πλήθος των πιστωμένων μηνυμάτων που έχει λάβει ο παραλήπτης κατά το χρόνο t μετά την αρχικοποίηση, $m(t)$ το πλήθος των μηνυμάτων που έχουν αποσταλεί στον παραλήπτη, και $n(t)$ την τιμή του n κατά το χρόνο t. Το μέγιστο επιτρεπτό πλήθος μηνυμάτων των οποίων εκκρεμεί η απάντηση που μπορεί να μεταδώσει ο αποστολέας, δίνεται από τη σχέση 5.7.

$$W - n(t) + m(t) - a(t) \tag{5.7}$$

Αν θέσουμε τη σχέση αυτή μικρότερη ή ίση με το αρχικό μέγεθος της πίστωσης (W) καταλήγουμε στην ανισότητα 5.8.

$$m(t) - a(t) \leq n(t) \tag{5.8}$$

Στη μέθοδο μετάδοσης με τη χρήση παραθυρικών πρωτοκόλλων είναι απαραίτητη η προσοχή σε δύο παραμέτρους:

[7] pause
[8] resume

- ***Απώλεια μηνυμάτων***. Η μέγιστη τιμή της πίστωσης (W) ονομάζεται ***Μέγεθος Παραθύρου***. Κατά τη μετάδοση, η τρέχουσα πίστωση μεταβάλλεται μεταξύ του μηδενός και της τιμής (W), εξαρτώμενη από τις σχετικές ταχύτητες μεταξύ αποστολέα και παραλήπτη. Τα προβλήματα που προκύπτουν από την απώλεια, εισαγωγή, αντιγραφή ή αναδιάταξη των μηνυμάτων παραμένουν αδιαχείριστα.

- ***Χρονική περίοδος αναμονής***[9]. Η προστασία του αποστολέα από πιθανές απώλειες σημαντικών μηνυμάτων παρέχεται με την εισαγωγή της χρονικής περιόδου αναμονής. Ο αποστολέας συντηρεί την απαραίτητη πληροφορία για το χρόνο που παρέρχεται μεταξύ αποστολής και λήψης του μηνύματος αποδοχής. Θέτοντας χρονικά περιθώρια που εξαρτώνται από την ποιότητα της σύνδεσης, είναι σε θέση να αποφασίσει πότε θα λήξει τη διαδικασία αναμονής του μηνύματος αποδοχής, θεωρώντας ότι το συγκεκριμένο μήνυμα έχει απολεσθεί. Ο υπολογισμός του μεγαλύτερου πιθανού χρόνου μετάδοσης και επιστροφής ενός τυχαίου μηνύματος, δίνεται από την εξίσωση 5.9.

$$T_{worst} = \overline{T} + N * \sqrt{var(T)} \tag{5.9}$$

  Οι μεταβλητές $\overline{T}$ και $var(T)$ αντιπροσωπεύουν, αντίστοιχα, τη μέση τιμή και την τυπική απόκλιση του χρόνου T. Η τιμή της μεταβλητής N είναι συνήθως ίση με τη μονάδα και σπανίως υπερβαίνει την τιμή δύο. Στις περισσότερες περιπτώσεις, η συμπεριφορά του παραλήπτη στο ένα άκρο της σύνδεσης μπορεί να προσομοιωθεί με ένα σύστημα ουράς M/M/1. Σε ένα τέτοιο σύστημα μπορούμε να θεωρήσουμε ότι $var(T) = \overline{T}^2$ και να αντικαταστήσουμε το N ίσο με τη μονάδα, καταλήγοντας στην προσεγγιστική σχέση 5.10.

$$T_{worst} \approx 2 * \overline{T} \tag{5.10}$$

  Η διαγραφή μηνύματος λόγω σφάλματος πραγματοποιείται αποκλειστικά και μόνο από τον αποστολέα. Η διαδικασία της αναμετάδοσης ενεργοποιείται μόνο σε μία από τις δύο οντότητες. Συνήθως, αναλαμβάνει την εκκίνηση της αναμετάδοσης ο αποστολέας, λόγω της πληροφόρησης που έχει για την ανάγκη αποστολής καινούριων δεδομένων. Σημαντική, επίσης, παράμετρος για την αποδοχή ή όχι μιας απάντησης, η οποία δεν υπερβαίνει το χρόνο αναμονής, είναι η ταυτοποίηση του εισερχόμενου μηνύματος με την αίτηση που έχει αποσταλεί. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιούνται αριθμοί ταξινόμησης, οι οποίοι περιγράφονται στην επόμενη παράγραφο.

5.4.2 Αριθμοί ταξινόμησης

Στην περίπτωση των πρωτοκόλλων στα οποία κάθε αίτηση του αποστολέα ακολουθείται (για να γίνει αποδεχτή) από μία θετική απάντηση του παραλήπτη, παρουσιάζεται η ανάγκη ταυτοποίησης

[9] Timeouts

της απάντησης με την αντίστοιχη ερώτηση. Η ανάγκη αυτή προκύπτει από τη μορφή της μεθόδου αποστολής. Ο αποστολέας δεν περιμένει θετική απάντηση σε μία προηγούμενη αίτησή του για να εκκινήσει την επόμενη αποστολή μηνύματος. Η ταύτιση, λοιπόν, μίας θετικής απάντησης με μία αίτηση πραγματοποιείται με τη βοήθεια αριθμών ταξινόμησης. Ξεκινώντας από το μηδέν και έχοντας ως άνω όριο μία πεπερασμένη τιμή, ο αποστολέας σε κάθε αποστολή τοποθετεί στο μήνυμα ένα αριθμό ταξινόμησης τον οποίο και αυξάνει με το πέρας αυτής κατά ένα. Κατά τη λήψη της αίτησης, ο παραλήπτης συμπεριλαμβάνει στο μήνυμα αποδοχής τον αριθμό του μηνύματος που έχει παραλάβει. Με τη μέθοδο αυτή, ο αποστολέας ταυτίζει τις απαντήσεις με τις αιτήσεις.

- ***Αναδιάταξη μηνυμάτων***. Σε δίκτυα μεταφοράς δεδομένων, στα οποία τα μηνύματα δύναται να ταξιδέψουν διαμέσου διαφορετικών δρομολογίων μέχρι να φθάσουν στον προορισμό τους, παρουσιάζονται τα φαινόμενα της αντιγραφής και της αναδιάταξης μηνυμάτων. Η προφανής λύση, να αυξήσουμε το εύρος των αριθμών ταξινόμησης, δεν είναι δόκιμη αν αναλογιστούμε την περίπτωση της 16-bits κωδικοποίησης αριθμών ταξινόμησης για μήνυμα μήκους 128 bits που μεταδίδεται σε μία γραμμή ταχύτητας 9600bps. Οι διαθέσιμοι αριθμοί ταξινόμησης θα εκλείψουν μέσα σε περίπου 15 λεπτά. Η λύση στο πρόβλημα του εύρους των αριθμών ταξινόμησης βρίσκεται στον περιορισμό του μέγιστου αριθμού μηνυμάτων των οποίων εκκρεμεί η απάντηση.

- ***Μέγιστη τιμή παραθύρου μετάδοσης***. Για την εξασφάλιση της ορθής λειτουργίας του πρωτοκόλλου, με εύρος αριθμών ταξινόμησης M, είναι αναγκαία προϋπόθεση η εύρεση κατάλληλης τιμής παραθύρου μετάδοσης W. Αν όλα τα μηνύματα με λάθος αριθμό ταξινόμησης απορρίπτονταν από τον παραλήπτη, τότε η μέγιστη τιμή του παραθύρου μετάδοσης θα ήταν ίση με $M-1$. Αν το πρωτόκολλο υποστηρίζει αποστολή μηνυμάτων εκτός σειράς, τότε το μέγεθος του παραθύρου μετάδοσης δε μπορεί να υπερβαίνει την τιμή $\frac{M}{2}$.

5.4.3 Αρνητική απάντηση αίτησης

Η χρήση της θετικής απάντησης εφαρμόστηκε μέχρι στιγμής για τον έλεγχο της ροής μετάδοσης και όχι για τον έλεγχο σφαλμάτων. Στην περίπτωση απώλειας ή ολικής καταστροφής κάποιου μηνύματος, ο αποστολέας θα περιμένει μάταια, μέχρι το πέρας της χρονικής περιόδου αναμονής, για τη λήψη της θετικής απόκρισης στην αίτησή του. Αν η πιθανότητα σφάλματος μετάδοσης είναι αρκετά μεγάλη, προκαλείται μείωση της αποδοτικότητας του πρωτοκόλλου, εξαναγκάζοντας τον αποστολέα να παραμένει αδρανής μέχρι να διαπιστωθεί η απώλεια και όχι η καθυστέρηση του μηνύματος. Η χρήση αρνητικών απαντήσεων[10] είναι σε θέση να δώσει λύση, όχι όμως πλήρης, στο παρόν πρόβλημα.

Η αρνητική απάντηση χρησιμοποιείται από τον παραλήπτη σε περιπτώσεις που λαμβάνει κάποιο κατεστραμμένο μήνυμα στο κανάλι μετάδοσης. Με τη λήψη αρνητικής απάντησης, ο αποστολέας

[10] Negative acknowledgements

της αίτησης ενημερώνεται άμεσα για την απώλεια και αναμεταδίδει την αίτηση. Η μέθοδος της χρονικής περιόδου απάντησης χρησιμοποιείται για την αντιμετώπιση της πιθανής εξαφάνισης του μηνύματος (αίτηση ή απάντηση) κατά τη μετάδοση.

5.4.4 Συμφόρηση μετάδοσης

Στα πραγματικά δίκτυα επικοινωνιών, η μετάδοση κάποιου μηνύματος, από τον αποστολέα στον παραλήπτη, είναι πιθανό να εμπλέκει ενδιάμεσους κόμβους αναμετάδοσης. Θεωρούμε τη μετάδοση μεταξύ δύο κόμβων όπως παρουσιάζεται στο σχήμα **5.2**

Σχήμα 5.2: Σύνδεση δύο κόμβων

- ***Στατικός έλεγχος ροής***. Υπάρχουν δύο τρόποι καθορισμού ενός πρωτοκόλλου ελέγχου μετάδοσης μεταξύ των δύο κόμβων:
  - ***Κόμβος σε Κόμβο***[11]. Το μέγεθος του παραθύρου μετάδοσης υπολογίζεται ξεχωριστά για κάθε σύνδεση, με σκοπό τη βέλτιστη εκμετάλλευση των πόρων μετάδοσης. Στο σχήμα 5.2, η σύνδεση μεταξύ του αποστολέα και του ενδιάμεσου κόμβου είναι 1000 φορές ταχύτερη σε σχέση με τη σύνδεση μεταξύ του ενδιάμεσου κόμβου και του παραλήπτη. Αν ο αποστολέας επιχειρήσει να εκμεταλλευτεί πλήρως το κανάλι των 1Mbps, θα πνίξει με δεδομένα τον ενδιάμεσο κόμβο, λόγω αδυναμίας του δευτέρου να τα δρομολογήσει στο κανάλι των 1Kbps. Το απλό αυτό μοντέλο διαχείρισης των επί μέρους συνδέσεων αποτυγχάνει προφανώς στις περιπτώσεις που οι ενδιάμεσοι κόμβοι δε διαθέτουν ίσο χώρο αποθήκευσης, και οι ενδιάμεσες συνδέσεις δε χαρακτηρίζονται από τον ίδιο ρυθμό μετάδοσης.
  - ***Τερματικό σε Τερματικό***[12]. Το μέγεθος του παραθύρου, καθώς και η ταχύτητα μετάδοσης, εξαρτώνται αποκλειστικά από τον ασθενέστερο κόμβο που βρίσκεται στο δρομολόγιο αποστολής. Η μέθοδος αυτή ικανοποιεί πλήρως το μοντέλο του σχήματος 5.2, καθώς και άλλες απλές συνδέσεις. Σε πολύπλοκα δίκτυα παρουσιάζεται αντικειμενική δυσκολία πρόβλεψης των ιδανικών παραμέτρων. Η χωρητικότητα σε δεδομένα μίας σύνδεσης εξαρτάται τόσο από τα χαρακτηριστικά του υλικού, όσο και από το πλήθος των χρηστών που συναγωνίζονται για την κατάληψη πόρων μετάδοσης.

[11] Hop-by-Hop
[12] End-to-End

- ***Δυναμικός έλεγχος ροής***. Ο παραθυρικός δυναμικός έλεγχος ροής προσφέρει στο πρωτόκολλο τη δυνατότητα της αυτόματης προσαρμογής κατά τη μετάδοση. Μία απλή και κοινή μέθοδος είναι η εξαναγκαστική μείωση του μεγέθους του παραθύρου που επιβάλλεται στον αποστολέα όταν λήξει ο χρόνος αναμονής απάντησης κατά την αναμετάδοση μίας αίτησης. Ο αποστολέας επαναφέρει την αρχική τιμή του παραθύρου μόνο όταν σταματήσει το φαινόμενο. Η τεχνική αυτή διακρίνεται σε τρείς διαφορετικές παραλλαγές:
  - Σε μείωση κατά ένα της τιμής του παραθύρου για κάθε μία λήξη χρόνου αναμονής και αύξηση κατά ένα για κάθε θετική απάντηση.
  - Σε μείωση κατά το ήμισυ της τρέχουσας τιμής του παραθύρου για κάθε μία λήξη χρόνου αναμονής και αύξηση κατά ένα για κάθε N θετικές απαντήσεις.
  - Σε μείωση στην ελάχιστη τιμή του ενός για κάθε μία λήξη χρόνου αναμονής και αύξηση κατά ένα για κάθε N θετικές απαντήσεις.
- ***Έλεγχος ρυθμού μετάδοσης***[13]. Αλλάζοντας την οπτική γωνία με την οποία αντιμετωπίζουμε το πρόβλημα της συμφόρησης σε αυτή του διαχειριστή του δικτύου, μπορεί να εφαρμοστεί διαφορετική τεχνική αποφυγής συμφόρησης. Η μέθοδος του ελέγχου του ρυθμού μετάδοσης εστιάζει την προσοχή στην ποσότητα της κίνησης που εισέρχεται στο δίκτυο υπό συνθήκες υψηλού φόρτου μετάδοσης. Μία τυπική τεχνική ελέγχου του ρυθμού είναι ότι επιτρέπη στον αποστολέα να εισάγει δεδομένα στο δίκτυο με ένα καθορισμένο ρυθμό μετάδοσης οκτάδων(bytes) ανά δευτερόλεπτο.

5.5 Σύνοψη

Στο προηγούμενο και στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάστηκε συντόμως η φιλοσοφία των συστημάτων ανοιχτής αρχιτεκτονικής δικτύου και οι βασικές παράμετροι που αφορούν στη σχεδίαση των επιπέδων (πρωτοκόλλων) των συστημάτων OSI. Τα περισσότερα παραδείγματα δεν αφορούσαν συγκεκριμένα επίπεδα της αρχιτεκτονικής, διατηρώντας τη γενική μορφή των αρχών που διέπουν το σύστημα. Διατυπώθηκε η έννοια της ***υπηρεσίας*** που προσφέρει το κάθε επίπεδο στις ψηλότερες διαστρωματώσεις, προσφέροντας μία απαλή απόχρωση των ιδιαιτεροτήτων εκάστου επιπέδου. Τα δύο αυτά κεφάλαια αναφέρονται στην πρώτη φάση της διαδικασίας, που ονομάζεται ***σχεδίαση και καθορισμός των αρχών του πρωτοκόλλου***.

Ολοκληρώνοντας τη διατύπωση του λεξιλογίου, συντακτικού, τύπου υπηρεσίας, τον καθορισμό του περιβάλλοντος εφαρμογής, καθώς και των αρχών λειτουργίας, εισερχόμαστε στη φάση της υλοποίησης του πρωτοκόλλου. Η υλοποίηση μπορεί να γίνει σε υλικό ή σε λογισμικό, και έχει αρχικό στόχο τη διαπίστωση της ορθής λειτουργίας των αρχών που έχουν καθοριστεί, καθώς και

[13] Rate Control

την αξιολόγηση των επιλεγμένων τεχνικών μετάδοσης δεδομένων, της δρομολόγησης πακέτων, της αντιμετώπισης σφαλμάτων, κ.λ.π. Στην παρούσα διατριβή, η υλοποίηση θα πραγματοποιηθεί σε λογισμικό. Οι τεχνικές που θα αναπτυχθούν στα επόμενα κεφάλαια, αφορούν στη δημιουργία μίας βιβλιοθήκης λογισμικού για την υλοποίηση πρωτοκόλλων κατά το μοντέλο OSI. Κάθε ξεχωριστή παράμετρος σχεδιάζεται με τρόπο που συμφωνεί στις αρχές που αναπτύχθηκαν στο εισαγωγικό σημείωμα. Στόχος είναι η ταχύτητα της υλοποίησης και της αξιολόγησης, η βέλτιστη επιλογή αλγορίθμων, η επαναχρηστικότητα των επιμέρους οντοτήτων, και η ταχύτητα της εκτελέσιμης μονάδας.

Κεφάλαιο 6

Εισαγωγή στην προτεινόμενη μεθοδολογία σχεδίασης πρωτοκόλλων και συστημάτων και στην αντίστοιχη βιβλιοθήκη λογισμικού

Το κεφάλαιο αυτό θα χρησιμοποιηθεί ως εισαγωγικό σημείωμα για το μοντέλο λογισμικού που προτείνεται στην παρούσα διδακτορική διατριβή. Είναι απαραίτητο να τονιστεί ότι δεν εισάγεται στον κόσμο της πληροφορικής μία καινούρια γλώσσα προγραμματισμού. Η προσπάθεια και η μελέτη που έχει συντελεστεί αφορά στη βέλτιστη εκμετάλλευση μίας ήδη υπάρχουσας γλώσσας λογισμικού, της C++, και στην προσαρμογή της οπτικής γωνίας του προγραμματιστή στο πεδίο του αντικειμενοστρεφούς προγραμματισμού. Πρέπει, επίσης, να τονιστεί η σημασία που δίνεται στην προσπάθειασκαι το αποτέλεσμα της υλοποίησης ως υλικό δόμησης μελλοντικών σχεδιασμών και υλοποιήσεων δικτυακών εφαρμογών που ακολουθούν το μοντέλο OSI.

6.1 Γενικές αρχές του μοντέλου σχεδίασης

Η οπτική γωνία της σχεδίασης προσανατολίστηκε προς το γενικό μοντέλο του προβλήματος για τη δημιουργία μίας πλήρως ορισμένης, συμπαγούς, εύκαμπτης, εύχρηστης και ευκόλως επεκτεινόμενης βιβλιοθήκης λογισμικού όπως, επίσης, και στον καθορισμό ενός πρωτότυπου μοντέλου σχεδίασης και υλοποίησης εφαρμογών, το οποίο στηρίζεται στην εν λόγω βιβλιοθήκη. Η βιβλιοθήκη αποτελείται αποκλειστικά από κλάσεις αντικειμένων, οι οποίες προσθέτουν χαρακτηριστικά, όπως:

- ***Απόκρυψη πολυπλοκότητας.*** Οι κλάσεις περιγράφονται με επεξηγηματικά σημειώματα. Με τη χρήση της γλώσσας περιγραφής UML, προσφέρεται η εικόνα του μοντέλου παρουσιάζοντας τις δηλώσεις και τη χρησιμότητα τόσο των μεταβλητών, όσο και των συναρτήσεων που μπορεί να χρησιμοποιηθούν στη φάση της υλοποίησης.

- ***Ανεξάρτητη χρησιμοποίηση***. Οι κλάσεις που αποτελούν τη βιβλιοθήκη είναι αυτοτελείς και ανεξάρτητες με σκοπό την επιμέρους χρήση τους, όπως και όταν κρίνεται απαραίτητο.

- ***Εύκολη χρήση***. Η ολοκληρωμένη τεκμηρίωση των κλάσεων, καθώς και η απλοποίηση των μεθόδων που προσφέρονται, καθιστά την εισαγωγή τους σε εφαρμογές απλή και γρήγορη βελτιώνοντας το συνολικό χρόνο υλοποίησης.

- ***Απεξάρτηση από προβλήματα λογικής ή διαρροής μνήμης***. Όλες οι κλάσεις έχουν σχεδιαστεί και υλοποιηθεί με στόχο την πρόβλεψη πιθανών σφαλμάτων λογικής λόγω κακοδιαχείρισης, ακολουθώντας ένα αμυντικό μοντέλο προγραμματισμού, το οποίο είναι σε θέση να ακυρωθεί κατ΄ επιλογή του χρήστη. Το κοινότυπο πρόβλημα της ***διαρροής μνήμης*** λόγω της παράλειψης διαγραφής των περιεχομένων των δεικτών ή της εσφαλμένης χρήσης αυτών, απουσιάζει από όλες ανεξαιρέτως τις κλάσεις της βιβλιοθήκης, κάνοντας χρήση προγραμματιστικών τεχνικών που δεν εισάγουν σημαντικό χρονικό κόστος κατά την εκτέλεση του κώδικα.

- ***Επεκτασιμότητα***. Η βιβλιοθήκη ακολουθεί την αρχή προγραμματισμού ***ελεύθερου κώδικα***[1]. Ο πηγαίος κώδικας των κλάσεων προσφέρεται προς μελέτη, εμπλουτισμό και βελτιστοποίηση σε όλους τους ενδιαφερομένους, οι οποίοι δεν αρκούνται μόνο στη χρησιμοποίηση των υπάρχοντων τεχνικών και εργαλείων.

Η επιλογή της γλώσσας προγραμματισμού C++ έγινε με γνώμονα τα πλεονεκτήματα που προσφέρει, και τα οποία έχουν περιγραφεί στην εισαγωγή. Η βιβλιοθήκη εκμεταλλεύεται στο βέλτιστο βαθμό τα πλεονεκτήματα της γλώσσας, καθώς και όλων των νεοεισαχθέντων χαρακτηριστικών που ολοκληρώνουν οι καινούριοι μεταγλωττιστές (**S**tandard **T**emplate **L**ibrary -(**Βιβλιοθήκη τυποποιημένων προτύπων**)- (STL)). Η εξάρτηση με το λειτουργικό σύστημα εφαρμογής έχει περιοριστεί στο ελάχιστο με την τεχνική της ενθυλάκωσης όλων των χρησιμοποιούμενων συναρτήσεων του συστήματος **A**pplication **P**rogram **I**nterface (API) σε κλάσεις οι οποίες συντάσσονται προ μεταγλώττισης[2]. Με τη μέθοδο αυτή, δημιουργείται ένα περιβάλλον το οποίο βρίσκεται ένα επίπεδο πιο ψηλά από το λειτουργικό. Η αποδέσμευση της βιβλιοθήκης από το λειτουργικό σύστημα προσφέρει ένα αρκετά ισχυρό πλεονέκτημα, διευρύνοντας το κοινό των χρηστών που μπορούν να εκμεταλλευτούν τα εργαλεία της.

[1] Open Source
[2] Precompiled directives

6.2 Εργαλεία και μονάδες της βιβλιοθήκης

Η αρχιτεκτονική της βιβλιοθήκης βασίζεται στην έννοια της μονάδας (`pxUnit`) για την υλοποίηση τυχαίων πρωτοκολλικών επιπέδων. Κάθε πρωτόκολλο, χρησιμοποιώντας ορολογίες από το χώρο της τέχνης, αποτελεί μία ψηφιδωτή ζωγραφιά. Η σύνθεση των ψηφίδων ολοκληρώνει το έργο που επιθυμεί ο δημιουργός του.

6.2.1 Βασικά δομικά υλικά

6.2.1.1 Υλικά & εργαλεία σχεδίασης

Ο δημιουργός χρειάζεται μία συλλογή εργαλείων για την αποπεράτωση του έργου του. Η ποιότητα των εργαλείων είναι μία σημαντική παράμετρος, καθώς η εικόνα της σχεδίασης εξαρτάται άμεσα από το συντελεστή αυτής. Τα εργαλεία δεν περιγράφονται από συγκεκριμένο χαρακτήρα και οφείλουν να προσφέρουν πάντα το ίδιο αξιόπιστο αποτέλεσμα. Τα εργαλεία είναι ανεξάρτητα από τη μορφή της σχεδίασης.

Η βιβλιοθήκη περιγράφει μία συλλογή εργαλείων, από τα οποία μερικά προσφέρουν λύσεις σε προβλήματα υλοποιήσεων, όπως: ***(α)*** δομές δεδομένων, ***(β)*** προστασία προσβολής μνήμης, ***(γ)*** καταμέτρηση χρόνου, ***(δ)*** απεικονίσεις γραφικών, ***(ϵ)*** μαθηματικές σχέσεις, ***(στ)*** επικύρωση δεδομένων μετάδοσης, κ.λ.π. Εργαλεία χαρακτηρίζονται, επίσης, και οι δύο συμπληρωματικές κλάσεις για την καταγραφή στατιστικών και μηνυμάτων μετάδοσης.

6.2.1.2 Ψηφίδες εικόνας

Οι ψηφίδες καθορίζουν τη μορφή της σχεδίασης. Αποτελούν μικρές εικόνες σχεδίασης, συγκεκριμένου σχήματος, διαφορετικών, όμως, περιεχομένων. Οι ψηφίδες που περιγράφονται στη βιβλιοθήκη ονομάζονται ***μονάδες***. Το σχήμα τους είναι καθορισμένο, καθώς υλοποιούν συγκεκριμένες λειτουργίες του επιπέδου. Το περιεχόμενο τους προσαρμόζεται αναλόγως των αναγκών της εφαρμογής, διαφοροποιώντας το σχήμα της ψηφίδας. Η προσαρμογή του σχήματος επιτυγχάνεται με τη χρήση προτύπων κλάσεων και αφαιρετικών συναρτήσεων. Κάθε εικόνα (επίπεδο) αποτελείται από συγκεκριμένες ψηφίδες: ***(α)*** τη μονάδα υποδοχής και εξυπηρέτησης μηνυμάτων (ουρά), ***(β)*** τη μονάδα διαχείρισης συνδέσεων, και ***(γ)*** τη μονάδα δρομολόγησης χρονικών αιτήσεων. Ο δημιουργός σχεδιάζει κάθε μία μονάδα προσαρμόζοντας τη μορφή ανάλογα με τις ανάγκες. Οι ψηφίδες τότε συνδέονται από το επίπεδο. Η βασική σχεδίαση των μονάδων της βιβλιοθήκης μορφοποιείται τροποποιώντας τα πιο κάτω σημεία:

- ***Μετάφραση οκτάδων***. Αποτελεί τη λειτουργία μετάφρασης (σε λογικά στοιχεία πληροφορίας) των χορδών δεδομένων που δέχεται το πρωτόκολλο από τα κατώτερα στρώματα. Η ταξινόμηση των δεδομένων σε μία χορδή οκτάδων διαθέτει διαφορετικό χαρακτήρα ανάλογα με το πρωτόκολλο εφαρμογής. Διαφοροποιούνται, ακόμη, οι έλεγχοι της ακεραιότητας των δεδομένων, η λειτουργία της ανάκτησης πληροφορίας, καθώς και η λογική έννοια των μεταδιδόμενων στοιχείων πληροφορίας.

- ***Σύνθεση οκτάδων***. Η σύνθεση των χορδών οκτάδων έχει ακριβώς την αντίθετη έννοια όσων έχουν περιγραφεί πιο πάνω. Η λειτουργία εξαρτάται, επίσης, από τη λογική έννοια που προσδίδεται στα στοιχεία πληροφορίας, καθώς και από τη μέθοδο ταξινόμησης της πληροφορίας επί της χορδής.

- ***Interface Data Unit -(Μονάδα δεδομένων διασύνδεσης)- (IDU) επιπέδου και υπηρεσίας***. Τα επίπεδα οφείλουν να διαθέτουν προσωπικού χαρακτήρα μορφοποιημένες IDU. Ο χαρακτήρας του στοιχείου καθορίζεται από τη μορφή της υπηρεσίας που παρέχει στα ανώτερα στρώματα. Τα επίπεδα οφείλουν, επίσης, να γνωρίζουν τη μορφή της IDU που προσφέρεται από τα κατώτερα στρώματα (υπηρεσίες).

- ***Σημεία εξυπηρέτησης***. Κάθε πρωτόκολλο διαθέτει ένα και μόνο σημείο εξυπηρέτησης, το οποίο προσφέρεται στα ανώτερα και κατώτερα στρώματα ως πύλη εισόδου για την προώθηση μηνυμάτων, εντολών, ερεθισμάτων, κ.λ.π. Τα μηνύματα και τα ερεθίσματα εισάγονται σε μία ουρά εξυπηρέτησης (μονάδα συλλογής μηνυμάτων) μηνυμάτων και επεξεργάζονται ασύγχρονα από N πλήθος μηχανών εξυπηρέτησης. Το πλήθος αυτό μεταβάλλεται ανάλογα με τις ανάγκες της εφαρμογής και της πλατφόρμας υλοποίησης. Ο κάθε χρήστης οφείλει να ενεργεί κατάλληλες διαδικασίες αποτίμησης της ταχύτητας εξυπηρέτησης γεγονότων για κάθε επιπλέον μηχανή εξυπηρέτησης που προτίθεται να εισάγει στη μονάδα.

- ***Ουρές εξυπηρέτησης***. Το μοντέλο σχεδίασης εκμεταλλεύεται πλήρως την αρχιτεκτονική ασύγχρονης εκτέλεσης διεργασιών. Κάθε πρωτοκολλική στοίβα διαθέτει περισσότερες από μία ίνες εκτέλεσης διεργασιών. Η μετάδοση των IDU μεταξύ των επιπέδων πραγματοποιείται εισάγοντας το στοιχείο πληροφορίας στην αντίστοιχη ουρά εξυπηρέτησης. Η επεξεργασία, καθώς και η προώθηση της IDU, πραγματοποιείται από την περιεχόμενη μονάδα ουράς που διαθέτει το επίπεδο.

- ***Χρονο-προγραμματιστές***[3]. Η δρομολόγηση χρονικά εξαρτώμενων γεγονότων, καθώς και η επεξεργασία αναμετάδοσης σημάτων, διεκπεραιώνονται από την αντίστοιχη μονάδα χρονιστή που ανήκει στο πρωτόκολλο. Ο χρονο-προγραμματιστής αποτελείται από φύλλα χρονικών αιτήσεων που καθορίζουν την ελάχιστη χρονική ποσότητα του χρονομέτρου.

- ***Στοιχείο περιεχομένου***. Τα στοιχεία σύνδεσης όπως έχουν περιγραφεί σε προηγούμενη παράγραφο, αποτελούν, επίσης, ψηφίδες της μονάδας διαχείρισης συνδέσεων. Η μορφή των στοιχείων διαφοροποιείται ανάλογα με το πρωτόκολλο εφαρμογής. Τα μορφοποιημένα στοιχεία δηλώνονται στη μονάδα που τα διαχειρίζεται.

[3] Schedulers

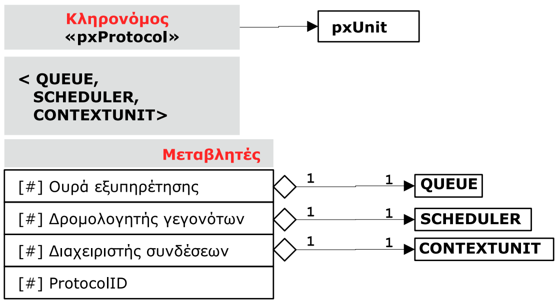
- ***Μηχανή κατάστασης***. Αποτελεί το νευρώνα κάθε επιπέδου. Δηλώνεται στα στοιχεία σύνδεσης υπό τη μορφή πλήρους εικονικής συνάρτησης. Η υλοποίησή της αφορά αποκλειστικά στην υπόσταση του επιπέδου. Η γενική δήλωση προσδιορίζει ως παράμετρο εισόδου μία και μόνο μεταβλητή, τύπου IDU επιπέδου. Η υλοποίησή της μπορεί να έχει τη μορφή μίας ή και περισσότερων συναρτήσεων, τη μορφή πινάκων συναρτήσεων, κ.λ.π.

6.3 Εφαρμογή των εργαλείων και μονάδων της βιβλιοθήκης

6.3.1 Διασύνδεση μονάδων

Οι μονάδες που έχουν περιγραφεί στις προηγούμενες παραγράφους, υλοποιούν όλες τις λογικές λειτουργίες του επιπέδου. Οι μεταφράσεις, οι διαχειρίσεις συνδέσεων, κ.λ.π., έχουν αφαιρεθεί από τα περιεχόμενα του πρωτοκόλλου. Το πρωτόκολλο, όπως περιγράφεται στην παρούσα διατριβή, αποτελεί αποκλειστικά μία συλλογή μονάδων. Ο διαφορετικός χαρακτήρας των μονάδων που το αποτελούν χρωματίζει τις υπηρεσίες που προσφέρει το επίπεδο. Η βιβλιοθήκη περιγράφει το πρωτόκολλο, χρησιμοποιώντας την κλάση **pxProtocol**. Η κλάση περιέχει όλα τα απολύτως απαραίτητα και αναγκαία στοιχεία για την ενθυλάκωση των μονάδων. Υλοποιεί, επίσης, τις απαραίτητες συναρτήσεις για τη διασύνδεση, επικοινωνία, διαχείριση, και τερματισμό των διαδικασιών που προσφέρονται από τις μονάδες.

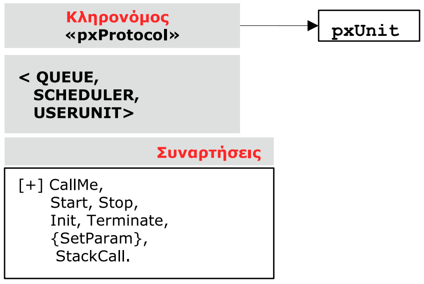
- ***Μεταβλητές***. Η κλάση αποτελείται από τις μονάδες **pxQueue**, **pxScheduler** και **pxContextUnit**.



Σχήμα 6.1: Μεταβλητές

Τα αντικείμενα των μονάδων συγκεκριμενοποιούνται κατά τη δημιουργία του αντικειμένου της κλάσης. Οι μεταβλητές είναι τυποποιημένες και η μορφή τους καθορίζεται κατά τη φάση των δηλώσεων. Οι μεταβλητές, λόγω της ιδιότητάς τους να ενεργούν ως παιδιά κάποιου πατέρα, εισάγονται στο δέντρο παιδιών του πρωτοκόλλου κατά τη δημιουργία του αντικειμένου αυτού. Αντίστοιχα, η αποσύνδεση των μονάδων από τον πατέρα πραγματοποιείται κατά την καταστροφή του αντικειμένου του επιπέδου. Η δε μεταβλητή ταυτότητας αφορά στο αναγνωριστικό του πρωτοκόλλου που δύναται να δηλώνεται με βάση τις προδιαγραφές.

- *Μέθοδοι*



Σχήμα 6.2: Συναρτήσεις

- `CallMe`. Η συνάρτηση υλοποιεί τη μέθοδο επικοινωνίας του επιπέδου με τον πατέρα (στοίβα), με τις ομότιμες οντότητες (πρωτόκολλα) και τα παιδιά του (μονάδες). Αποτελεί ουσιαστικά το σημείο πρόσβασης στις υπηρεσίες του πρωτοκόλλου. Ο τύπος της μονάδας κλήσης της συνάρτησης καθορίζει την ενέργεια που πραγματοποιείται. Οι κλήσεις από τις ομότιμες οντότητες προωθούνται στην ουρά εξυπηρέτησης. Οι κλήσεις που προέρχονται από τον πατέρα (στοίβα), επεξεργάζονται από τη συνάρτηση `{StackCall}`. Η υλοποίηση του σώματος της συνάρτησης προσαρμόζεται από τους χρήστες, ανάλογα με τις ανάγκες της εφαρμογής. Οι κλήσεις της μονάδας διαχείρισης χρηστών, προωθούνται στη στοίβα, η οποία καλείται να διανέμει τα μηνύματα ανάλογα με τη διάταξη των πρωτοκόλλων.
- `Start`, `Stop`. Προκαλούν εκκίνηση ή παύση, αντίστοιχα, των ασύγχρονων διαδικασιών κάποιας μονάδας του πρωτοκόλλου. Η παράμετρος κλήσης των συναρτήσεων καθορίζει την επιθυμητή μονάδα επεξεργασίας.
- `Init`, `Terminate`. Καλούνται, αντίστοιχα, για την αρχικοποίηση ή τον τερματισμό της λειτουργίας του επιπέδου. Ο καλών, δηλαδή η στοίβα, διατηρεί τον πλήρη έλεγχο των παιδιών της και είναι σε θέση να εκκινήσει ή να παύσει όλες τις εσωτερικές διαδικασίες τους. Οι συναρτήσεις έχουν χαρακτήρα εικονικό. Ο χρήστης είναι σε θέση να επαναπροσδιορίσει τις ενέργειες των συναρτήσεων όταν κρίνεται αναγκαία η εκτέλεση επιπλέον ενεργειών κατά την αρχικοποίηση η τον τερματισμό του επιπέδου.
- `{SetParam}`. Αμιγώς εικονική συνάρτηση, της οποίας το σώμα υλοποιείται από τους κληρονόμους της κλάσης. Η λειτουργία της αφορά στον καθορισμό επιπλέον παραμέτρων του επιπέδου από τη στοίβα. Για παράδειγμα, σε μία εφαρμογή στην οποία τα επίπεδα διαθέτουν ικανότητες απεικόνισης, η στοίβα καθορίζει τη θέση της απεικόνισης του κάθε πρωτοκόλλου.
- `StackCall`. Χειρίζεται τις κλήσεις του πατέρα, δηλαδή της στοίβας, όσον αφορά στην

εκκίνηση, τερματισμό και καθορισμό των παραμέτρων του πρωτοκόλλου.

6.3.2 Διασύνδεση επιπέδων

Η βιβλιοθήκη προσφέρει την κλάση `pxStack` ως βάση για την υλοποίηση πρωτοκολλικών στοιβών. Η κλάση προσφέρει μόνο τις αναγκαίες συναρτήσεις για την αρχικοποίηση και τερματισμό των επιπέδων. Κάθε πρωτοκολλική στοίβα μπορεί να θεωρηθεί ως μία ανεξάρτητη εφαρμογή. Τα περιεχόμενα και οι λειτουργίες της εξειδικεύονται κατά τη δήλωση των εφαρμογών. Ο αριθμός των επιπέδων, οι κωδικοί ανίχνευσης, οι παράμετροι αρχικοποίησης, η μέθοδος απεικόνισης των στατιστικών μετρήσεων, καθώς και η διάταξη των επιπέδων μέσα στη στοίβα, είναι άμεσα εξαρτώμενα από τη φύση αυτής. Η κλάση που προσφέρεται από τη βιβλιοθήκη είναι λιτή καθώς υλοποιεί μόνο δύο μεθόδους, και δηλώνει μία αμιγώς εικονική συνάρτηση για την προώθηση μηνυμάτων στα επίπεδα. Οι μέθοδοι αυτοί είναι οι ακόλουθοι:

- `Activate`, `DeActivate`. Καλούνται, αντίστοιχα, για την εκκίνηση και τον τερματισμό των εσωτερικών διαδικασιών των επιπέδων που ανήκουν στη στοίβα. Η εκκίνηση και ο τερματισμός πραγματοποιούνται με τη σειρά ταξινόμησης των επιπέδων στη δεντρική δομή των παιδιών της στοίβας. Οι συναρτήσεις δηλώνονται ως εικονικές και, όταν κρίνεται αναγκαίο, οι κληρονόμοι της κλάσης είναι σε θέση να συμπληρώσουν επιπλέον ενέργειες στις δύο αυτές διαδικασίες.
- `{ForwardMsg}`. Αμιγώς εικονική συνάρτηση για τη διαχείριση των μηνυμάτων και των ερεθισμάτων που δέχεται η στοίβα από τα πρωτόκολλα που περιέχει. Η δήλωσή της σημειώνει απλώς τα αναγκαία και ελάχιστα κενά που οφείλει να συμπληρώσει ο χρήστης, έτσι ώστε να επιτευχθεί η έγκυρη επικοινωνία μεταξύ των επιπέδων.

6.4 Οργάνωση της βιβλιοθήκης λογισμικού

6.4.1 Ιεράρχηση της βιβλιοθήκης

Το κεφάλαιο αυτό θα χρησιμοποιηθεί ως οδηγός πλοήγησης της παρούσης διδακτορικής διατριβής. Εδώ παρουσιάζεται, σε συντομία, η αρχιτεκτονική της βιβλιοθήκης και δίνεται μία λιτή περιγραφή των επιμέρους τομέων που την αποτελούν. Αποτελεί, ίσως, το σημαντικότερο κεφάλαιο της διατριβής. Αναφέρεται στις αρχές σχεδίασης της βιβλιοθήκες, στην αρχιτεκτονική, στη χρήση και στο σκοπό ύπαρξής της. Προτείνεται, ακόμη, μία μορφή ιεράρχησης των κλάσεων σε αρχεία και φακέλους[4], με σκοπό τη δημιουργία και την παρακολούθηση των εκδόσεων των κλάσεων που σχεδιάζονται και υλοποιούνται. Η βιβλιοθήκη οφείλει να ακολουθεί συγκεκριμένες αρχές αρχειοθέτησης, τις οποίες δε θα παραβιάσει ποτέ και χωρίς καμία απολύτως εξαίρεση. Ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη της παρούσης βιβλιοθήκης βασίζεται στα ακόλουθα:

[4] Directories

- ***Αρχή***. Αποτελεί μία ρητή εντολή της αρχιτεκτονικής της βιβλιοθήκης, η οποία δεν παραβιάζεται ποτέ. Η βιβλιοθήκη παραμένει πάντα πιστή στις αρχές της.
- ***Κανόνας***. Αποτελεί μία ρητή εντολή της αρχιτεκτονικής της βιβλιοθήκης, η οποία δύναται να παραβιαστεί μόνο σε εξαιρετικές περιπτώσεις.
- ***Εξαίρεση***. Περιγράφει την πιθανή περίπτωση να παραβιαστεί ένας κανόνας.
- ***Εισήγηση***. Αποτελεί μία συμβουλευτική πρόταση, η οποία μπορεί να παραβιαστεί. Το περιεχόμενο της αποσκοπεί πάντα στη βέλτιστη χρήση της βιβλιοθήκης.
- ***Περιορισμός***. Αναφέρεται πάντα σε καταστάσεις αδυναμίας της λειτουργίας της βιβλιοθήκης ή των κλάσεων αυτής.

6.4.1.1 Ιεράρχηση αρχείων

[**Αρχή**] **6.4.1** *Τα αρχεία υλοποίησης τόσο των χαρακτηριστικών, όσο και των μεθόδων των κλάσεων, αποθηκεύονται στο φάκελο* `\imp`.

[**Αρχή**] **6.4.2** *Οι δηλώσεις των κλάσεων, καθώς και οι ορισμοί των χαρακτηριστικών και μεθόδων αυτών, αποθηκεύονται στο φάκελο* `\inc`. *Το μονοπάτι του φακέλου αυτού πρέπει να δηλωθεί στο μεταγλωττιστή, ώστε να έχει επίγνωση της διεύθυνσης των αρχείων των ορισμών κατά τη μεταγλώττιση.*

[**Αρχή**] **6.4.3** *Οι πιθανές διαφοροποιήσεις στις υλοποιήσεις, στις δηλώσεις και στους ορισμούς, λόγω των απαιτήσεων του λειτουργικού συστήματος, αποθηκεύονται σε υποφακέλους με ονομασίες αντίστοιχες των λειτουργικών συστημάτων στα οποία έχουν εφαρμογή (π.χ.* `MSW` *για τα λειτουργικά συστήματα της* `Microsoft`*).*

[**Αρχή**] **6.4.4** *Η βιβλιοθήκη οφείλει να διατηρεί την ανεξαρτησία της τόσο από τους τύπους των μεταγλωττιστών, όσο και από τα λειτουργικά συστήματα.*

Η χρήση της βιβλιοθήκης για την ανάπτυξη εφαρμογών μπορεί να πραγματοποιηθεί με τρεις μεθόδους. Κάθε μία από τις μεθόδους παρουσιάζει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

- ***Χρήση της ιεραρχικής δομής αρχείων***. Αν συμπεριληφθεί σε μία εφαρμογή το μονοπάτι φακέλων της βιβλιοθήκης και ακολούθως εισάγουμε τη διεύθυνση των αρχείων κάθε απαραίτητης κλάσης. Με τον τρόπο αυτό, διατηρείται η μοναδικότητα των αρχείων της βιβλιοθήκης και δε μεταφέρονται αρχεία κάθε φορά με κίνδυνο την άστοχη παρακολούθηση διαφορετικών εκδόσεων. Σημαντικό μειονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι τα πιθανώς μεγάλα σε μήκος ονόματα των μονοπατιών των αρχείων.

- ***Αντιγραφή των αρχείων των κλάσεων***. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται συχνότερα από τους προγραμματιστές, λόγω του απλού μοντέλου ιεράρχισης των αρχείων (συνήθως τα αρχεία βρίσκονται σε ένα και μόνο φάκελο). Αρνητικό χαρακτηριστικό αυτής της μεθόδου είναι η δύσκολη και μερικές φορές αδύνατη παρακολούθηση της πορείας εξέλιξης της έκδοσης μίας κλάσης (συνήθως όταν πολλοί χρήστες χρησιμοποιούν τη βιβλιοθήκη ή μία κλάση χρησιμοποιείται από περισσότερες της μίας εφαρμογής).

- ***Χρήση των μεταγλωττισμένων βιβλιοθηκών***. Μία μεταγλωττισμένη βιβλιοθήκη δεν παρουσιάζει προβλήματα παρακολούθησης της εξέλιξης της έκδοσής της και μπορεί κάλλιστα να μεταφέρεται μεταξύ φακέλων, με σκοπό την καλύτερη εξυπηρέτηση του χρήστη.

6.4.1.2 Αρχεία κλάσεων

[**Κανόνας**] **6.4.1** *Κάθε κλάση αποτελείται από τα εξής αρχεία:* ***(α)*** *το αρχείο δηλώσεων (σώμα συναρτήσεων), και* ***(β)*** *το αρχείο ορισμών (η μορφή των συναρτήσεων και των κλάσεων).*

[**Εξαίρεση**] **6.4.1** *Το αρχείο μεταγλωττισμένης βιβλιοθήκης μπορεί να μη συμπεριλαμβάνεται στο φάκελο της κλάσης.*

[**Εισήγηση**] **6.4.1** *Κάθε κλάση ολοκληρώνεται κάνοντας χρήση των εξής αρχείων: (α) του αρχείου δηλώσεων, (β) του αρχείου ορισμών, (γ) του αρχείου περιγραφής της λειτουργίας*[5]*, και (δ) του αρχείου ιστορικής αναφοράς και εκδόσεων (στην περίπτωση όπου δε γίνεται χρήση κάποιας μεθόδου ελέγχου εκδόσεων).*

Όσον αφορά στον κανόνα 6.4.1, το περιεχόμενο των αρχείων δε χρίζει περαιτέρω ανάλυσης, λόγω της κοινότυπης μορφής και του τρόπου σύνταξης της γλώσσας προγραμματισμού. Πρέπει να γίνει, όμως, μία σύντομη περιγραφή για τα περιεχόμενα των αρχείων που δηλώνονται στην εισήγηση 6.4.1. Η ύπαρξη των αρχείων στοχεύει στην ομαλή και κατανοητή διάρθρωση του ορισμού της κλάσης, στην τεκμηρίωση των λειτουργιών αυτής, και στην έγκυρη ενημέρωση των εκδόσεών της.

Κοινό χαρακτηριστικό μεταξύ των κλάσεων που υλοποιούνται από τους προγραμματιστές είναι η σχεδόν ανύπαρκτη τεκμηρίωση των λειτουργιών αυτών. Το μειονέκτημα που δημιουργείται είναι προφανές. Ακόμη και στην απλή περίπτωση όπου ο σχεδιαστής της κλάσης είναι και ο χρήστης, η ύπαρξη έστω και της ισχνότερης επεξηγηματικής πρότασης προσανατολίζει το χρήστη. Ως επέκταση αυτού, ένα αρχείο τεκμηρίωσης μπορεί να αποτελείται από τις ακόλουθες παραγράφους:

- Σύντομη περίληψη του σκοπού σχεδίασης της κλάσης, περιγραφή του τρόπου κλήσης των συναρτήσεων.

- Στις περιπτώσεις όπου η ορθή λειτουργία της κλάσης απαιτεί συγκεκριμένη σειρά εκτέλεσης των συναρτήσεών της, να δίνεται μία περιγραφή της ακολουθίας.

[5] Documentation

- Περιγραφή των αλγορίθμων που εφαρμόζονται. Μπορεί, ακόμη, να καταγράφεται η εκτίμηση για τα μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα των αλγορίθμων.

Η πληρότητα του αρχείου εξαρτάται αποκλειστικά από την επαγγελματική συμπεριφορά του σχεδιαστή.

6.4.1.3 Ιεράρχηση κλάσεων

[**Αρχή**] **6.4.5** *Το δέντρο της ιεραρχίας των κλάσεων είναι εικονικό και δεν προσδιορίζει τη διάρθρωση του δέντρου των αρχείων.*

Η βιβλιοθήκη βασίζεται αποκλειστικά στο μοντέλο του αντικειμενοστρεφούς προγραμματισμού. Όλες οι απαραίτητες λειτουργίες της υλοποιούνται με τη βοήθεια κλάσεων. Οι κλάσεις αυτές χωρίζονται στις υποκατηγορίες: (α) βάσεις, (β) κληρονόμοι, (γ) χρήστες, και (δ) υβρίδια. Στην πρώτη υποκατηγορία ανήκουν κλάσεις οι οποίες βρίσκονται στα φύλλα του δέντρου ιεραρχίας. Εάν για παράδειγμα υπήρχε μία κλάση υλοποίησης πίνακα τύπου δεδομένων της γλώσσας, θα καταταγόταν στην ομάδα αυτή (**σχήμα 6.3**).

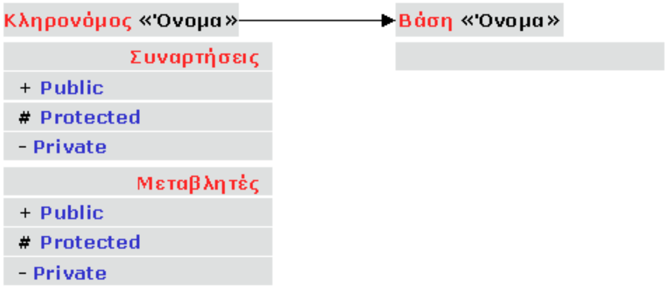
Σχήμα 6.3: Βάση

- ***Κληρονόμοι***. Κλάσεις οι οποίες κληρονομούν από τουλάχιστον μία κλάση της βιβλιοθήκης (**σχήμα 6.4**).

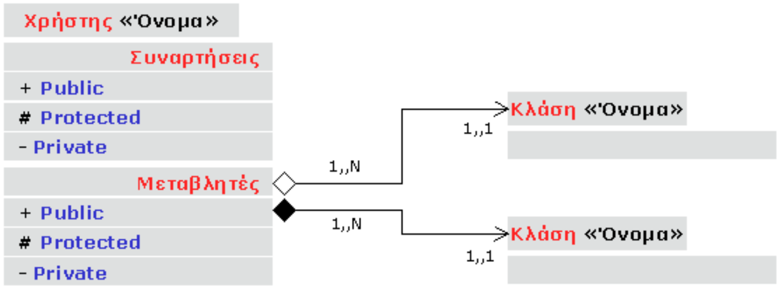
- ***Χρήστες***. Κλάσεις οι οποίες χρησιμοποιούν τουλάχιστον μία κλάση της βιβλιοθήκης (**σχήμα 6.5**).

- ***Υβρίδια***. Κλάσεις οι οποίες κληρονομούν από τουλάχιστον μία κλάση της βιβλιοθήκης και χρησιμοποιούν τουλάχιστο μία κλάση της (**σχήμα 6.6**).

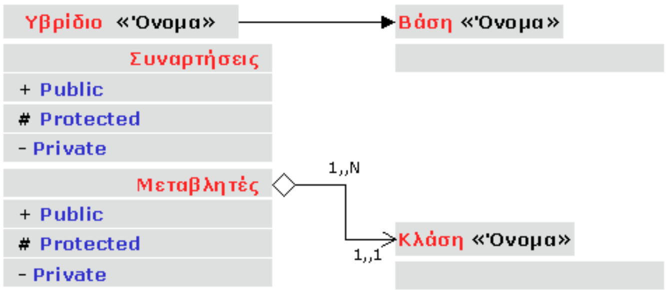
Οι πιο πάνω κλάσεις μπορούν να εμφανιστούν και στη μορφή πρότυπων κλάσεων. Στην περίπτωση αυτή, ένα επιπλέον πεδίο στην οπτική δήλωση των κλάσεων (UML) θα προσδιορίζει το είδος και το πλήθος των παραμέτρων που χρησιμοποιούνται από αυτές (**σχήμα 6.7**). Λόγω της φύσης της βιβλιοθήκης, το δέντρο ιεραρχίας διατηρεί μία σταθερή μορφή μόνο στα επίπεδα που αναφέρονται



Σχήμα 6.4: Κληρονόμος



Σχήμα 6.5: Χρήστης



Σχήμα 6.6: Υβρίδια

στις κλάσεις της βάσης και των υποδοχέων. Στα λοιπά επίπεδα η δομή επηρεάζεται άμεσα από την εφαρμογή που χρησιμοποιεί η βιβλιοθήκη.

[Κανόνας] 6.4.2 *Όλες οι κλάσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν και μέσω μεταγλωττισμένων βιβλιοθηκών (στατικές και δυναμικές βιβλιοθήκες).*

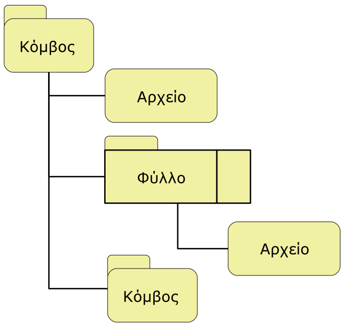
Η απουσία εξωτερικών μεταβλητών που συνδέονται κατά τη φάση της μεταγλώττισης διευκολύνουν τη χρήση μεταγλωττισμένων βιβλιοθηκών. Οι βιβλιοθήκες αυτές μειώνουν την πολυπλοκότητα της αρχιτεκτονικής και συμπιέζουν την πολυεπίπεδη δομή των αρχείων της κλάσης σε ένα επίπεδο.

Σχήμα 6.7: Υποδοχείς

[Εξαίρεση] 6.4.2 *Οι κλάσεις υποδοχείς δε μπορούν να μεταγλωττιστούν αυτούσιες, λόγω της απουσίας της απαραίτητης πληροφορίας για τη δομή της υποδοχής που θα επιλέξει ο χρήστης.*

6.4.2 Τμήματα βιβλιοθήκης

Η βιβλιοθήκη διακρίνεται σε τμήματα θεματικών περιοχών. Η διάκριση αυτή καθορίζει και την ιεραρχία των αρχείων που την αποτελούν. Λόγω του πλήθους των κλάσεων και των αρχείων της παρούσης βιβλιοθήκης, αλλά και της προοπτικής για περαιτέρω ανάπτυξη ανάλογα με τη χρήση που πρόκειται να υποστεί, η διάκριση κρίνεται απαραίτητη για τη διευκόλυνση της πλοήγησης και της επαναχρησιμοποίησης των κλάσεων της βιβλιοθήκης. Η βιβλιοθήκη αναπτύσσεται και οφείλει να διατηρεί τις αρχές και τους κανόνες αρχειοθέτησης, χαρακτηρίζοντας κάθε καινούρια κλάση ορθά και εύστοχα ταξινομώντας τα αρχεία στο σωστό κλαδί της δομής των φακέλων.



Σχήμα 6.8: Συμβολισμοί της δομής ιεραρχίας

[Αρχή] 6.4.6 *Ο κόμβος, ανεξαρτήτως του επιπέδου που βρίσκεται, πρέπει απαραίτητα να διαθέτει παιδιά-κόμβους ή παιδιά-φύλλα, έτσι ώστε να δικαιολογεί την ύπαρξή του.*

Στο **σχήμα 6.8**, διακρίνονται οι τρεις διαφορετικές μορφές στοιχείων που ανήκουν στη δομή του δέντρου ιεραρχίας.

- ***Αρχείο***. Έχει την ομότιμη έννοια με τα αρχεία του λειτουργικού συστήματος και είναι της μορφής ***.cpp, .c, .h, .dll, .lib, .txt, .ini***, κ.λ.π.
- ***Φύλλο***. Χαρακτηρίζεται η μονάδα η οποία διαθέτει αρχεία και καθόλου κόμβους ή φύλλα.
- ***Κόμβος***. Χαρακτηρίζεται η μονάδα η οποία διαθέτει τουλάχιστο ένα παιδί κόμβο ή φύλλο. Στα περιεχόμενα του δεν είναι απαραίτητη η ύπαρξη αρχείων.

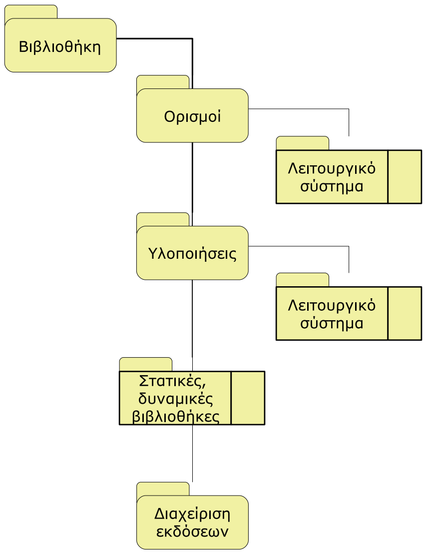
Στο **σχήμα 6.9**, για παράδειγμα, ο κόμβος ***Βιβλιοθήκη***, ο οποίος είναι και ο ψηλότερος σε ιεραρχία κόμβος της δομής, διαθέτει τους κόμβους: ***(α)*** ορισμοί, ***(β)*** υλοποιήσεις, ***(γ)*** στατικές, δυναμικές βιβλιοθήκες, και ***(δ)*** διαχείριση εκδόσεων.

- ***Ορισμοί***. Ο κόμβος περιέχει αρχεία ορισμών και δηλώσεων, στα οποία περιγράφονται τα χαρακτηριστικά και οι μέθοδοι των κλάσεων. Το επίπεδο αφαίρεσης των ορισμών και των δηλώσεων επιτρέπουν την πλήρη απεξάρτηση από το είδος του μεταγλωττιστή και του λειτουργικού συστήματος. Περιέχει, επίσης, φύλλα στα οποία αποθηκεύονται δηλώσεις και ορισμοί οι οποίοι έχουν εξάρτηση από το λειτουργικό σύστημα.
- ***Υλοποιήσεις***. Ο κόμβος περιέχει όλες τις υλοποιήσεις των κλάσεων που αποτελούν τη βιβλιοθήκη. Ακολουθώντας την ίδια αρχή που ακολουθεί ο κόμβος των ορισμών, περιέχει, ακόμη, φύλλα στα οποία αποθηκεύονται αρχεία υλοποιήσεων που εξαρτώνται από το λειτουργικό σύστημα.
- ***Στατικές, δυναμικές βιβλιοθήκες***. Στον κόμβο αυτό αποθηκεύονται, για μεταγενέστερη χρήση, οι μεταγλωττισμένες βιβλιοθήκες (στατικές και δυναμικές).
- ***Διαχείριση εκδόσεων***. Η διάρθρωση του κόμβου αυτού ακολουθεί πιστά τη διάρθρωση των κόμβων των ορισμών και των υλοποιήσεων. Τα αρχεία που περιέχονται στους υποκόμβους και στα φύλλα του κόμβου αυτού, περιέχουν όλη την πληροφορία για τις εκδόσεις των αρχείων της βιβλιοθήκης.

6.4.3 Επεκτασιμότητα

[**Αρχή**] **6.4.7** *Η βιβλιοθήκη δεν κρύβει ποτέ τα περιεχόμενα των βιβλίων.*

Η βιβλιοθήκη στηρίζεται στις αρχές του ***ανοικτού κώδικα***. Όλες οι κλάσεις που προσφέρονται, αλλά και αυτές που θα προστεθούν μελλοντικά, δεν κρύβουν κανένα σημείο του πηγαίου κώδικά τους. Η αρχή **6.4.7** ακολουθείται πιστά από την ακαδημαϊκή κοινότητα και έχει αποδειχτεί ένα ισχυρό όπλο ραγδαίας ανάπτυξης και αλματώδους βελτίωσης της επιστήμης της πληροφορικής. Ως παράδειγμα μίας πετυχημένης εφαρμογής της αρχής είναι η θεαματική διάδοση του λειτουργικού συστήματος LINUX. Η βιβλιοθήκη θέτει απλούς κανόνες και αρχές που πρέπει να ακολουθούνται



Σχήμα 6.9: Δομή κόμβων βιβλιοθήκης

κατά τη χρήση ή την προσθήκη υλικών. Οι αρχές και οι κανόνες της βιβλιοθήκης απευθύνονται κυρίως στον τρόπο ανάπτυξης ως μία προσπάθεια απόδοσης μίας πρώτης συντεταγμένης πορείας.

[**Αρχή**] **6.4.8** *Η πρόσβαση σε ένα αντικείμενο από περισσότερους του ενός χρήστη, επιβάλλει τον καθορισμό αρχών και κανόνων χρήσης.*

Στην προκειμένη περίπτωση και στο παρόν στάδιο, η βιβλιοθήκη αναπτύσσεται από ένα και μόνο προγραμματιστή. Το ίδιο άτομο, όμως, χρησιμοποιεί τις μεθόδους και τις λειτουργίες που προσφέρονται κατά τη φάση της ***αποτίμησης***, συνεπώς επιβάλλεται η εφαρμογή της αρχής **6.4.8**.

[**Περιορισμός**] **6.4.1** *Η δομή των κόμβων* ***Ορισμοί*** *και* ***Υλοποιήσεις*** *παραμένει αναλλοίωτη.*

Ο περιορισμός **6.4.1** είναι και ο μοναδικός που αναφέρεται στη δομή του δέντρου ιεραρχίας αρχείων. Τα περιεχόμενα των παιδιών του κόμβου υλοποιήσεις είναι σε θέση να εμπλουτίζονται με καινούριες κλάσεις ή ακόμη και να διαγράφονται από τη δομή.

Κεφάλαιο 7

Κλάσεις των εργαλείων ανάπτυξης λογισμικού

Το κεφάλαιο αυτό περιγράφει το σύνολο των κλάσεων που χρησιμοποιούνται για τη δήλωση των εργαλείων ανάπτυξης. Αυτό το τμήμα της βιβλιοθήκης προσφέρει βασικές λειτουργίες και επιλύει, με τρόπο κομψό και αποτελεσματικό, θεμελιακά προβλήματα που παρουσιάζονται κατά την ανάπτυξη των συστημάτων λογισμικού. Η αρχιτεκτονική των απογόνων ή των χρηστών των κλάσεων αυτών σκιαγραφείται με αρχές και κανόνες που απευθύνονται σε γενικής φύσεως προβλήματα που συνήθως αντιμετωπίζονται από τους προγραμματιστές κατά τη σχεδίαση και ανάπτυξη των προγραμμάτων. Δεν απευθύνεται συγκεκριμένα στις υλοποιήσεις πρωτοκόλλων. Κάθε προσπάθεια προσανατολισμού της συλλογής αυτής προς μία συγκεκριμένη κατεύθυνση πρέπει να θεωρείται άστοχη και άτοπη. Οι κλάσεις, που συμπεριλαμβάνονται στη συλλογή, έχουν σχεδιαστεί προσεκτικά, με σκοπό την εύρεση ικανοποιητικών λύσεων για μία μεγάλη ομάδα θεμάτων. Μερικές βασικές παράμετροι που λαμβάνονται σοβαρά υπόψιν κατά τη σχεδίαση και υλοποίηση είναι: ***(α)*** η προστασία από άκυρες περιοχές της μνήμης του συστήματος, ***(β)*** η ταχύτητα στην ανάπτυξη, και ***(γ)*** η ταχύτητα στην εκτέλεση.

Τα εργαλεία της ανάπτυξης λογισμικού που προσφέρονται από τη βιβλιοθήκη, διακρίνονται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες:

- ***Χειρισμός των σφαλμάτων εκτέλεσης***. Κατά την εκτέλεση των προγραμμάτων αποτελούν συνηθισμένο φαινόμενο οι παραβιάσεις συνθηκών με αποτελέσμα την απρόβλεπτη συμπεριφορά του συστήματος. Οι παραβιάσεις αυτές προκαλούνται από την αστοχία λογικών συνθηκών, την υπερχείλιση καταχωρητών, την παραβίαση ορίων μνήμης, κ.λ.π. Η βιβλιοθήκη προσφέρει μία συλλογή κλάσεων, οι οποίες, με τη χρήση ***ισχυρισμών***[1] και ***εξαιρέσεων***[2], θωρακίζουν την εκτέλεση της εφαρμογής και αναδεικνύουν πιθανές αστοχίες στη σχεδίαση.

[1] assertion
[2] exception

- ***Διαχείριση των πολυνηματικών[3] εφαρμογών***. Η βιβλιοθήκη, πιστή στις αρχές για ανεξαρτησία από λειτουργικά συστήματα, ακολουθεί το πρότυπο **P**ortable **O**perating **S**ystem **I**nterface (POSIX) [22] για τη διαχείριση πολυνηματικών διεργασιών και το συγχρονισμό της εκτέλεσης αυτών. Η βιβλιοθήκη επαναπροσδιορίζει τις δηλώσεις του προτύπου, με σκοπό το μετασχηματισμό της δομημένης αρχιτεκτονικής σε ένα αντικειμενοστρεφές σύνολο εργαλείων.

- ***Δομές δεδομένων***. Η θεωρία, καθώς και οι τεχνικές που έχουν αναπτυχθεί όσον αφορά στις δομές των δεδομένων, είναι αξιοσημείωτη λόγω της κρισιμότητας που χαρακτηρίζει το εν λόγω θέμα. Η ενότητα προσφέρει μία συλλογή από κλάσεις, οι οποίες ολοκληρώνουν τις πιο σημαντικές τεχνικές.

- ***Μικροεργαλεία***. Στην κατηγορία των μικροεργαλείων περιλαμβάνονται κλάσεις, οι οποίες λειτουργούν αυτόνομες ή χρησιμοποιούν ένα πεπερασμένο σύνολο φιλικών κλάσεων για να επιτελέσουν το έργο το οποίο καλούνται να ολοκληρώσουν. Ο χαρακτηρισμός της συλλογής (μικροεργαλεία) δεν απευθύνεται στην ποιότητα του έργου που προσφέρουν, αλλά στην έκταση των σχέσεων που αναπτύσσουν με τις υπόλοιπες κλάσεις.

[Κανόνας] 7.0.3 *Οι κλάσεις που περιλαμβάνονται στη συλλογή αυτή οφείλουν να υποστηρίζουν γενικού χαρακτήρα δεδομένα και τις μεθόδους επεξεργασίας αυτών.*

[Εισήγηση] 7.0.2 *Οι περισσότερες κλάσεις έχουν σχεδιαστεί και υλοποιηθεί χρησιμοποιώντας τις τεχνικές **template** που παρέχει ο μεταγλωττιστής της **C++** για τη δημιουργία πολυμορφικών κλάσεων. Κάθε πιθανή επέκταση των περιεχομένων του τομέα πρέπει να έχει ως αποτέλεσμα την παροχή κλάσεων πολυμορφικού χαρακτήρα.*

7.1 Διαχείριση σφαλμάτων εκτέλεσης

Ο όρος ***εξαίρεση*** προσδίδεται στις περιπτώσεις εμφάνισης ανώμαλων καταστάσεων κατά τη διάρκεια της λειτουργίας ενός προγράμματος. Μία ανώμαλη κατάσταση ή εξαίρεση, για παράδειγμα, θα μπορούσε να είναι η διαίρεση ενός τυχαίου αριθμού με το μηδέν ή η προσπάθεια ανάγνωσης/εγγραφής μίας άκυρης μνήμης. Η εμφάνιση μίας εξαίρεσης μπορεί να έχει ανεπιθύμητα αποτελέσματα για την ομαλή λειτουργία της εφαρμογής και να οδηγήσει σε αποσταθεροποίηση ή ακόμη και σε απώλεια/καταστροφή δεδομένων. Ο ορθός χειρισμός των εξαιρέσεων που προσβάλλουν την εφαρμογή έχει ως στόχο την ανάκτηση της ομαλής λειτουργίας, όταν είναι εφικτό, ή τον ομαλό τερματισμό της εφαρμογής έχοντας τις μικρότερες δυνατές απώλειες. Η ***C++*** διαθέτει στο οπλοστάσιό της συγκεκριμένους μηχανισμούς για την αντιμετώπιση των εξαιρέσεων.

Οι τρεις δεσμευμένες λέξεις `try`, `catch`, `throw` αποτελούν την ομάδα χειρισμού πιθανών εξαιρέσεων. Η δήλωση `try` ενθυλακώνει τις πιθανές για πρόκληση εξαιρέσεων γραμμές κώδικα και

[3] multithreading

προετοιμάζει το σύστημα με συγκεκριμένες εξόδους κινδύνου. Η δήλωση `catch` χρησιμοποιείται για την κατηγοριοποίηση των εξαιρέσεων και ενθυλακώνει τις επιθυμητές ενέργειες που πρέπει να εκτελέσει το πρόγραμμα σε κάθε περίπτωση. Τέλος, η δήλωση `throw` χρησιμοποιείται για τη βίαιη πρόκληση εξαίρεσης στην εφαρμογή. Η αντιμετώπιση των εξαιρέσεων από τη γλώσσα δεν καλύπτεται από γενικούς κανόνες. Αντιθέτως, παραμένει προσανατολισμένη στο λειτουργικό σύστημα στο οποίο εκτελείται η εφαρμογή.

```
void foo(){
    char * p = NULL;
    try{
        p[0] = 'a';
    }
    catch(char *str){
        printf("Char exception occurred\n");
    }
}
```

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιεί η βιβλιοθήκη για την αντιμετώπιση εξαιρέσεων απευθύνεται σε όλους τους μεταγλωττιστές ***C++***. Ειδικότερα, όμως, για τα συστήματα της ***Microsoft***, στα οποία υποστηρίζεται η τεχνική **S**tructured **E**xception **H**andling -(**Διαχείριση εξαιρέσεων δομημένης αρχιτεκτονικής**)- (SEH), οι κλάσεις της βιβλιοθήκης είναι σε θέση να δώσουν στο χρήστη, κατά την εμφάνιση κάποιας εξαίρεσης, λεπτομερής πληροφορία για το σημείο του κώδικα το οποίο προκάλεσε την εξαίρεση αυτή.

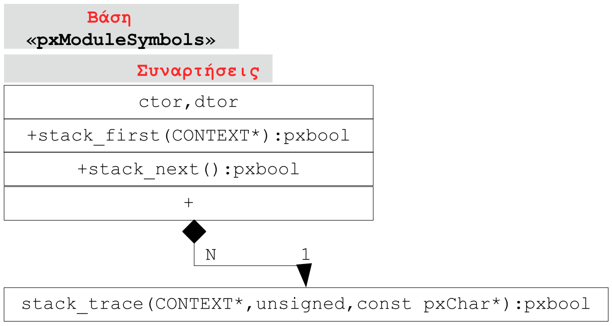
- ***Σκοπός***

  Η βιβλιοθήκη προσφέρει τρεις κλάσεις οι οποίες χρησιμοποιούνται για την αντιμετώπιση εξαιρέσεων. Η εφαρμογή της μεθόδου που προτείνεται στις κλάσεις αυτές έχει σκοπό την ταχεία ανίχνευση και επίλυση πιθανών σχεδιαστικών σφαλμάτων, κατά τη διάρκεια της φάσης ανάπτυξης, την προστασία από την εμφάνιση ανεπιθύμητων καταστάσεων, και τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας της εφαρμογής.

  - `pxSeTranslator`. Το λειτουργικό σύστημα χρησιμοποιεί μία συγκεκριμένη συνάρτηση, η οποία καλείται κατά την εμφάνιση κάποιας εξαίρεσης. Η κλάση αυτή δηλώνει στο σύστημα μία καινούρια συνάρτηση χειρισμού εξαιρέσεων στα πλαίσια της διεργασίας που την καλεί.

  - `pxException`. Η κλάση αυτή χρησιμοποιείται από την κλάση `pxSeTranslator` με σκοπό την ενημέρωση του χρήστη για τον τύπο της εξαίρεσης. Κατά την εμφάνιση κάποιας, εξαίρεσης πραγματοποιούνται τα ακόλουθα βήματα: ***(α)*** εκτελείται η συνάρτηση που έχει προκαθοριστεί από τη διεργασία, ***(β)*** ανακτάται ο κωδικός εμφάνισης της εξαίρεσης, ***(γ)*** τροφοδοτείται ο κωδικός στην κλάση `pxException`, και ***(δ)*** τυπώνεται ο τύπος της εξαίρεσης.

- pxModuleSymbols. Στις περιπτώσεις που η μεταγλώττιση πραγματοποιείται με υποστήριξη ***αποσφαλμάτωσης***[4], η κλάση ανακτεί πληροφορία για όλες τις συμβολικές αναφορές που περιγράφονται από το πρόγραμμα. Η πληροφορία αποτελεί μία βάση δεδομένων για την ταύτιση, κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης, των συναρτήσεων και των μεταβλητών με τα αρχεία εμφάνισής τους. Στις περιπτώσεις που η μεταγλώττιση πραγματοποιείται με τη μορφή Release, η κλάση δε μπορεί να προσφέρει τις υπηρεσίες της.



Σχήμα 7.1: Ορισμός της κλάσης pxModuleSymbols

- ***Περιγραφή των μεθόδων***

  Με σκοπό τη γρήγορη χρήση των μεθόδων, την απόκρυψη της πολυπλοκότητας και την τυποποίηση των μεθόδων αυτών, η βιβλιοθήκη επαναπροσδιορίζει τις μεθόδους του μεταγλωττιστή. Συγκεκριμένα:

  - ***Χρήση***. Η βιβλιοθήκη επαναπροσδιορίζει τις δηλώσεις try,catch στις αντίστοιχες PROTECTED_CODE_BEGIN, PROTECTED_CODE_CATCH_ALL, PROTECTED_CODE_END, οι οποίες διευκολύνουν τη χρήση της μεθόδου.

  - ***Χειρισμός της εξαίρεσης***. Η θωράκιση του κώδικα πραγματοποιείται με την ενθυλάκωση αυτού σε τομείς που προστατεύονται από τις προηγούμενες δηλώσεις. Η δήλωση της PROTECTED_CODE_CATCH_ALL έχει ως αποτέλεσμα την αναφορά της εξαίρεσης και, στην περίπτωση που το λειτουργικό σύστημα το επιτρέπει, την αποδόμηση της στοίβας εκτέλεσης και τη λεπτομερή αναφορά του μονοπατιού της. Κατά την αποδόμηση της στοίβας εκτέλεσης, ετοιμάζεται ο πίνακας με τις διευθύνσεις της πορείας που ακολούθησε το εκτελέσιμο από τη δήλωση PROTECTED_CODE_BEGIN μέχρι το σημείο που προκλήθηκε η εξαίρεση. Ο πίνακας ταξινομείται με τη μέθοδο ***LIFO***[5]. Τέλος, οι διευθύνσεις μεταφράζονται σε αρχεία και θέσεις και αναφέρονται οι παραβάσεις.

[4] debug
[5] Last In First Out

7.2 Διαχείριση των πολυνηματικών διεργασιών

Η πολυνηματικές διεργασίες που έχουν εισαχθεί στα λειτουργικά συστήματα, εμπλουτίζουν τους πυρήνες των συστημάτων με διαδικασίες δρομολόγησης γεγονότων, και έχουν ως αποτέλεσμα τη βέλτιστη εκμετάλλευση της ισχύος του επεξεργαστή. Η βιβλιοθήκη προσφέρει στους χρήστες τη δυνατότητα υλοποίησης συστημάτων, τα οποία λειτουργούν σε ένα πολυνηματικό περιβάλλον. Η σχεδίαση των εργαλείων που προσφέρονται ακολουθεί το πρότυπο POSIX threads, επιτυγχάνοντας με τον τρόπο αυτό την ανεξαρτησία από το λειτουργικό σύστημα. Η βιβλιοθήκη υλοποιεί, επίσης, μία ομάδα κλάσεων για το μετασχηματισμό του δομημένου μοντέλου του προτύπου σε ένα πλήρως αντικειμενοστρεφές μοντέλο. Η βιβλιοθήκη, παραμένοντας πιστή στις αρχές και τους κανόνες του αντικειμενοστρεφούς μοντέλου, υλοποιεί το μετασχηματισμό: οι συναρτήσεις του προτύπου POSIX που επεξεργάζονται δεδομένα μετασχηματίζονται σε αντικείμενα που ενθυλακώνουν ασύγχρονες διεργασίες. Η ομάδα των κλάσεων που προσφέρουν τις υπηρεσίες για τη δημιουργία πολυνηματικών εφαρμογών χωρίζεται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: ***(α)*** στις κλάσεις συγχρονισμού, και ***(β)*** στις κλάσεις δημιουργίας νηματικών διεργασιών.

- ***Κλάσεις συγχρονισμού***. Η εκτέλεση παράλληλων διεργασιών, οι οποίες επεξεργάζονται κοινά δεδομένα, δημιουργεί μία επιπλέον ανάγκη συγχρονισμού της επεξεργασίας. Το πρότυπο POSIX προδιαγράφει τα χαρακτηριστικά και τις μεθόδους των στοιχείων συγχρονισμού. Η βιβλιοθήκη μετασχηματίζει τα στοιχεία σε κλάσεις που προσφέρονται για άμεση ή έμμεση χρήση μέσω της τεχνικής της κληρονομικότητας των κλάσεων. Δύο από τις σπουδαιότερες κλάσεις αποτελούν: ***(α)*** η κλάση προστασίας παράλληλης πρόσβασης σε δεδομένα[6], και ***(β)*** η κλάση σηματοδότησης γεγονότων[7].

- ***Κλάσεις δημιουργίας νηματικών διεργασιών***. Στο αντικειμενοστρεφές μοντέλο, το οποίο έχει επιλεχθεί για την αρχιτεκτονική της βιβλιοθήκης, τα στιγμιότυπα των κλάσεων, τα αντικείμενα, μπορούν να χαρακτηριστούν και με βάση τις μεθόδους που υλοποιούν. Τα αντικείμενα τα οποία δεν δηλώνουν και δεν υλοποιούν κάποια νηματική διεργασία ονομάζονται **παθητικά**[8], ενώ τα αντικείμενα τα οποία δηλώνουν και υλοποιούν μία ή και περισσότερες νηματικές διεργασίες ονομάζονται **ενεργητικά**[9]. Για τη δήλωση κλάσεων των οποίων τα στιγμιότυπα έχουν ενεργητικό χαρακτήρα, η βιβλιοθήκη προσφέρει δύο κλάσεις με τον κατάλληλο βαθμό αφαίρεσης.

[6] mutex
[7] event
[8] passive
[9] active

7.2.1 Κλάσεις συγχρονισμού

Τα χαρακτηριστικά και οι μέθοδοι που προδιαγράφονται στο πρότυπο POSIX threads ενθυλακώνονται από τις κλάσεις τις βιβλιοθήκης, επιτυγχάνοντας με τον τρόπο αυτό την απόκρυψη της πολυπλοκότητας, καθώς και την απλούστευση της χρήσης των υπηρεσιών του προτύπου. Τα ακόλουθα αντικείμενα προσφέρονται για το συγχρονισμό των πολυνηματικών διεργασιών:

- `pxSpinlock`. Η συγκεκριμένη κλάση συγχρονισμού χαρακτηρίζεται από ταχύτατες διαδικασίες. Ο πηγαίος κώδικας που περιέχεται μεταξύ των συναρτήσεων `Lock` και `Unlock` προστατεύεται από τις παράλληλες προσβάσεις που πραγματοποιούνται από τις νηματικές διεργασίες. Η πιθανότητα, όμως, να προκαλέσει φαινόμενα κλειδώματος των νηματικών διεργασιών λόγω χρησιμοποίησής του σε αναδρομικές συναρτήσεις αποτελεί μεγάλο μειονέκτημα για τους μή έμπειρους χρήστες της βιβλιοθήκης.

- `pxMutex`. Η κλάση αυτή αποτελεί μία λιγότερο βίαιη μορφή της κλάσης `pxSpinlock`. Προστατεύει τον πηγαίο κώδικα που περιέχεται μεταξύ των συναρτήσεων `Lock` και `Unlock`, και παρέχει τη δυνατότητα χρησιμοποίησης των τεχνικών του σε αναδρομικές συναρτήσεις. Το μικρό, σε επεξεργαστική ισχύ, κόστος που εισάγει το καθιστούν πιο εύχρηστο σε σχέση με το αντικείμενο `pxSpinlock`.

- `pxCondition`. Η τελευταία μέθοδος συγχρονισμού υλοποιείται από την κλάση `pxCondition`. Χρησιμοποιείται για την αδρανοποίηση και την επανενεργοποίηση μίας νηματικής διεργασίας με βάση τη σηματοδότηση γεγονότων. Η χρήση του αντικειμένου βελτιώνει σημαντικά την απόδοση των πολυνηματικών διεργασιών, καθώς ο πυρήνας του λειτουργικού απελευθερώνει επεξεργαστική ισχύ από τις νηματικές διεργασίες, οι οποίες είναι αδρανείς και περιμένουν τη σηματοδότηση κάποιου γεγονότος.

7.2.2 Κλάσεις δημιουργίας νηματικών διεργασιών

Τα στιγμιότυπα των κλάσεων, τα αντικείμενα, που κληρονομούν από τις κλάσεις αυτές, είναι σε θέση να υλοποιήσουν μία ή και περισσότερες νηματικές διεργασίες. Η βιβλιοθήκη διαχωρίζει τα αντικείμενα αυτά σε δύο κατηγορίες: ***(α)*** στα αντικείμενα τα οποία διαθέτουν μία και μόνο νηματική διεργασία (κληρονομούν από την κλάση `pxThread`), και ***(β)*** στα αντικείμενα τα οποία μπορούν να εκκινήσουν περισσότερες της μίας νηματικές διεργασίες (κληρονομούν από την κλάση `pxMNThread`).

- `pxThread`. Αποτελεί μία αφηρημένη κλάση καθώς περιέχει μία πλήρως εικονική συνάρτηση. Ο κληρονόμος της κλάσης αυτής οφείλει να υλοποιήσει το σώμα της πλήρους εικονικής συνάρτησης {`LightWeightProcess`}. Ο πηγαίος κώδικας που θα συμπεριληφθεί στο σώμα της συνάρτησης, εκτελείται ασύγχρονα και επεξεργάζεται τα δεδομένα του στιγμιοτύπου της κληρονόμου κλάσης. Η συνάρτηση `Run` εκκινεί τη νηματική διεργασία. Αντίθετα, η συνάρτηση

Stop σηματοδοτεί την αίτηση για αλλαγή της κατάστασης του αντικειμένου από ενεργό σε αδρανές. Η υλοποίηση του σώματος της συνάρτησης {LightWeightProcess} οφείλει να παρακολουθεί την αλλαγή της κατάστασης του αντικειμένου με τη χρήση βρόγχου επανάληψης. Η κλάση αυτή βρίσκει αρκετές εφαρμογές στα πλαίσια των υπηρεσιών που παρέχονται από τη βιβλιοθήκη. Μερικά παραδείγματα εφαρμογής της αποτελούν: *(α)* η ουρά άφιξης γεγονότων με ένα εξυπηρετητή, *(β)* η ασύγχρονη καταγραφή στατιστικών μετρήσεων, *(γ)* η υλοποίηση χρονο-προγραμματιστών, κ.λ.π.

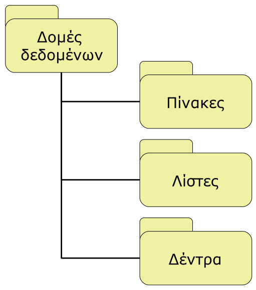
- pxMNThread. Η συσχέτιση ενός ή και περισσότερων αντικειμένων με περισσότερες της μίας νηματικής διεργασίας αποτελεί πάντα ένα μεγάλο πονοκέφαλο και μία πηγή σφαλμάτων ορισμού. Η υλοποίηση της αρχιτεκτονικής μίας τόσο σύνθετης και πολύπλοκης συσχέτισης, απαιτεί άριστες γνώσεις της γλώσσας προγραμματισμού και του λειτουργικού συστήματος. Η κλάση pxMNThread, που υλοποιεί η βιβλιοθήκη, απλουστεύει τη δημιουργία πολύπλοκων συσχετίσεων. Οι κληρονόμοι της κλάσης είναι σε θέση να εκκινήσουν ένα μεγάλο πλήθος νηματικών διεργασιών, με όμοια ή ανόμοια χαρακτηριστικά, οι οποίες είναι σε θέση να επεξεργάζονται τα στοιχεία ενός ή και περισσότερων αντικειμένων της κληρονόμου κλάσης. Η απλούστευση της συσχέτισης πραγματοποιείται με τη χρήση λογικών δηλώσεων κατά τη φάση σύνταξης του πηγαίου κώδικα της κληρονόμου κλάσης. Ένα απλό παράδειγμα παρουσιάζεται πιο κάτω:

```
BEGIN_SIGNAL_ASSOCIATION(CLASS)
    ASSIGN_SIGNAL(FUNCTION_0,ID_0)
    ASSIGN_SIGNAL(FUNCTION_1,ID_1)
END_SIGNAL_ASSOCIATION

DECLARE_SIGNAL_ASSOCIATION

INITIALIZE_SIGNALS
```

Η πιο πάνω δήλωση έχει ως αποτέλεσμα τη σύνδεση των συναρτήσεων FUNCTION_0 και FUNCTION_1 με τα αναγνωριστικά ID_0 και ID_1 αντίστοιχα. Η υλοποίηση του σώματος των συναρτήσεων πραγματοποιείται από την κληρονόμο κλάση. Μερικά παραδείγματα εφαρμογής της κλάσης αποτελούν: *(α)* η σχεδίαση ουράς άφιξης γεγονότων με πολλούς εξυπηρετητές, *(β)* η μονάδα ασύγχρονης δέσμευσης και αποδέσμευσης μνήμης, κ.λ.π.

7.3 Κλάσεις δομών δεδομένων

Η βιβλιοθήκη περιλαμβάνει μία συλλογή από κλάσεις με σκοπό την αποθήκευση, και σε μερικές περιπτώσεις, την ταξινόμηση συνόλων δεδομένων. Τα περιεχόμενα των κλάσεων καλύπτουν πλήρως τις τεχνικές των δομών που χρησιμοποιούνται από τις κλάσεις του πρωτοκόλλου της βιβλιοθήκης.



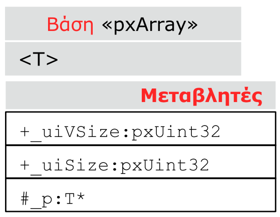
Σχήμα 7.2: Κόμβος των κλάσεων δομών δεδομένων

- ***Πίνακες***. Η βιβλιοθήκη προσφέρει δύο μορφές πινάκων. Ο μονοδιάστατος πίνακας αποτελεί μία προσπάθεια καθολικής υλοποίησης πίνακα περιεχομένων τυχαίου τύπου δεδομένων. Ο δισδιάστατος πίνακας ολοκληρώνει τις βασικές συναρτήσεις για το χειρισμό διανυσματικών ποσοτήτων στο πεδίο των δύο διαστάσεων.

- ***Λίστες***. Υλοποιούνται όλοι οι βασικοί αλγόριθμοι σχεδίασης λιστών, και κατ΄ επέκταση οι βασικοί αλγόριθμοι σχεδίασης ουρών. Οι ουρές χρησιμοποιούνται από τη βιβλιοθήκη σε κλάσεις όπως ***Ουρές μηνυμάτων***, ***Καταγραφή πληροφορίας***, κ.λ.π.

- ***Δέντρα***. Χρησιμοποιούνται κυρίως για ταχύτατη αναζήτηση στοιχείων. Λόγω του όγκου της πληροφορίας που δημιουργείται καθώς εκτελείται το πρόγραμμα, παρουσιάζεται η ανάγκη εφαρμογής αλγορίθμων ταξινόμησης και αναζήτησης. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στα ισοζυγισμένα δυαδικά δέντρα.

7.3.1 Πίνακες



Σχήμα 7.3: Πίνακας μίας διάστασης

- ***Σκοπός***

  Η αρχιτεκτονική του πίνακα επιτρέπει την αποθήκευση τυχαίου τύπου και πλήθους δεδομένων. Αποτελεί μία προσπάθεια θωράκισης των προσβάσεων εγγραφής και ανάγνωσης σε άκυρες περιοχές μνήμης. Ολοκληρώνει ένα μεγάλο πλήθος συναρτήσεων επεξεργασίας των περιεχομένων του πίνακα, οι οποίες χρησιμοποιούνται ανάλογα με τον τύπο των δεδομένων που επεξεργάζεται.

- ***Περιγραφή των μεθόδων***

  Ο κλάση περιέχει ένα δείκτη σε αντικείμενα της τυχαίου τύπου δήλωσης `T`. Η δέσμευση της επιθυμητής μνήμης λαμβάνει χώρα κατά τη δημιουργία ενός στιγμιοτύπου της κλάσης ή καλώντας τη συνάρτηση `Initiate`. Η κλήση της συνάρτησης `Terminate` αποδεσμεύει τη μνήμη και τερματίζει τη λειτουργία του πίνακα. Ορίζεται, επίσης, μία σειρά από τελεστές για την απλοποίηση κοινών λειτουργιών κατά την εκτέλεση. Μερικές από τις μεθόδους που υλοποιούνται μπορούν να κληθούν ανεξάρτητα του τύπου των δεδομένων που αποθηκεύονται από τον πίνακα (τελεστής θέσης `[index]`). Οι τελεστές `+`, `-`, `-=`, `+=`, `*`, αποκτούν νόημα μόνο στην περίπτωση που τα περιεχόμενα είναι πραγματικοί αριθμοί.

- ***Επέκταση***. Η κλάση `pxArray2D` είναι μία επέκταση της κλάσης `pxArray`. Χρησιμοποιείται για τη διαχείριση δεδομένων που βρίσκονται στο χώρο των δύο διαστάσεων. Αποτελεί μία ειδική μορφή μονοδιάστατου πίνακα με δήλωση `pxArray<pxArray<T>>`. Διαθέτει, επίσης, το πλεονέκτημα της αρχικοποίησης διαφορετικού μήκους γραμμών. Αποτελεί τη βάση για την υλοποίηση του μαθηματικού πίνακα.

7.3.2 Λίστες

Οι λίστες αποτελούν ειδικές περιπτώσεις σύνδεσης δεδομένων. Χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία συνόλων, τα οποία διαθέτουν το χαρακτηριστικό της δυναμικής αλλαγής του πλήθους των περιεχομένων τους. Το είδος των δεδομένων, καθώς και η φύση της συσχέτισής τους, καθορίζουν τη μορφή της λίστας. Η λίστα χαρακτηρίζεται από το πλήθος των συνδέσεων των κόμβων που την αποτελούν, και από τους αλγόριθμους εξυπηρέτησης και αναδιάταξης των στοιχείων. Οι λίστες τις βιβλιοθήκης είναι σε θέση να ενθυλακώσουν τυχαίου τύπου δεδομένα αποκρύπτοντας την πολυπλοκότητα της σχεδίασης και της υλοποίησης. Αυτό οφείλεται αποκλειστικά στη χρήση κλάσεων υποδοχής στοιχείων, οι οποίες αποτελούν τους κόμβους της λίστας. Η βιβλιοθήκη διαθέτει τριών ειδών λίστες: ***(α)*** την απλά συνδεδεμένη λίστα, ***(β)*** τη διπλά συνδεδεμένη λίστα, και ***(γ)*** τη λίστα πολλαπλών συνδέσεων. Όλες οι διαθέσιμες λίστες υλοποιούν μεθόδους για την ομαλή λειτουργία τους σε πολυνηματικές εφαρμογές.

- ***Απλά συνδεδεμένη λίστα***. Η κλάση `pxSingleLinkedList` προσφέρεται για την υλοποίηση απλά συνδεδεμένων λιστών. Χρησιμοποιεί την κλάση υποδοχέα `pxSingleLinkCarrier` για τη σύνδεση των στοιχείων που περιέχει. Η πιο κοινή χρήση της κλάσης αυτής αποτελεί η σχεδίαση ουρών (**L**ast **I**n **F**irst **O**ut (LIFO), **F**irst **I**n **F**irst **O**ut (FIFO)) και στοιβών.

- ***Διπλά συνδεδεμένη λίστα***. Η κλάση `pxSingleLinkedList` προσφέρεται για την υλοποίηση διπλά συνδεδεμένων λιστών. Η κλάση χρησιμοποιεί την κλάση υποδοχέα `pxDoubleLinkCarrier` για τη σύνδεση των στοιχείων που περιέχει. Η διατήρηση της πληροφορίας που διαθέτει κάθε στοιχείο όσον αφορά στα γειτονικά του στοιχεία, επιτρέπει την εύκολη πλοήγηση στη λίστα αυτή.

- ***Λίστα πολλαπλών συνδέσεων***. Η κλάση `pxMultiLinkedList` επιτρέπει τη σχεδίαση και υλοποίηση λιστών με γρήγορη αναζήτηση στοιχείων. Η κλάση αυτή χρησιμοποιεί την κλάση υποδοχέα `pxMultiLinkCarrier`, η οποία προσφέρει απεριόριστο αριθμό διασυνδέσεων.

7.3.2.1 Παραδείγματα εφαρμογών

- ***Κυκλική λίστα***.

  - ***Σκοπός***
    Η κλάση `pxCircList` υλοποιεί μία κυκλικά συνδεδεμένη λίστα κόμβων υποδοχής στοιχείων. Χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις εκείνες όπου τα στοιχεία προς εξυπηρέτηση δεν εξαρτώνται από συγκεκριμένες συνθήκες προτεραιότητας παρά μόνο από το χρόνο εμφάνισής τους.

  - ***Περιγραφή των μεθόδων***
    Η λίστα αρχικοποιείται σε ένα προκαθορισμένο αριθμό κόμβων, ο οποίος καθορίζεται από τη συχνότητα των αφίξεων και την ταχύτητα εξυπηρέτησης (ή δυναμικός αριθμός κόμβων βλ. Εισήγηση **7.3.1**). Καθορίζεται, επίσης, ο κόμβος στην ωρολογιακή θέση 12 ως η τυπική αρχή. Η διαδικασία της εγγραφής περιλαμβάνει τον έλεγχο διαθεσιμότητας του επόμενου κόμβου και ακολούθως την εισαγωγή του στοιχείου σε αυτόν. Αντίστοιχα, επιτυγχάνεται και η διαδικασία της ανάγνωσης. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στη μετακίνηση των δεικτών ανάγνωσης και εγγραφής. Ο δεύτερος προηγείται του πρώτου.

[**Εισήγηση**] **7.3.1** *Μία κληρονόμος κλάση θα μπορούσε να υλοποιεί κάποιο αλγόριθμο αυξομείωσης του μεγέθους με σκοπό τη βελτίωση της απόδοσης της μεθόδου εισαγωγής.*

- ***Βίαιη δέσμευση και αποδέσμευση στοιχείων***.

  - ***Σκοπός***
    Η κλάση `pxDoubleLinkedListEx` αποτελεί μία αποθήκη στοιχείων προκαθορισμένου

μεγέθους. Χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις εκείνες όπου, σε πολύ μικρά χρονικά, διαστήματα αναμένεται η δέσμευση και η αποδέσμευση μνήμης για την αποπεράτωση μίας λειτουργίας. Ο χρόνος που καταναλώνεται από το λειτουργικό σύστημα για τη διαδικασία αυτή έχει, σε αρκετές περιπτώσεις, σοβαρό αντίκτυπο στη χρονική απόκριση της εφαρμογής. Η αποθήκευση κάποιου πλήθους στοιχείων βελτιώνει τη συνολική απόδοση της εφαρμογής.

- ***Περιγραφή μεθόδων***

  Η κλάση αποτελείται από δύο στιγμιότυπα της κλάσης `pxDoubleLinkedList` (λίστα A και λίστα B). Η λίστα A αποτελείται από κόμβους οι οποίοι μπορούν να διαθέσουν στο χρήστη τα στοιχεία που περιέχουν. Η λίστα B αποτελείται από κόμβους οι οποίοι μπορούν να παραλάβουν στοιχεία. Σε κάθε διάθεση, ο κόμβος $\boldsymbol{X}$, αφαιρείται από τη λίστα A και τοποθετείται στη B. Η διαδικασία της παραλαβής, αντίθετα, περιλαμβάνει την αφαίρεση του κόμβου από τη B, την εισαγωγή του στοιχείου στον κόμβο, και ακολούθως την τοποθέτησή του στη λίστα A. Οι διαδικασίες της εξαγωγής και της εισαγωγής στοιχείων (`GetObject, ReleaseObject`) είναι ταχύτατες, καθώς απαιτείται μόνο η ανάθεση των δεικτών του κόμβου και του στοιχείου. Το μειονέκτημα της τεχνικής αυτής είναι η διατήρηση της μνήμης για τα στοιχεία, η οποία αποδεσμεύεται μόνο κατά την κλήση της συνάρτησης `Terminate`. Η κλάση διαθέτει, επίσης, τεχνικές για την προσάρτηση εξωτερικών λιστών και την άμεση δημιουργία επιπλέον στοιχείων.

7.3.3 Ταχεία ταξινόμηση

Μία εξαιρετική περίπτωση δομής δεδομένων χαρακτηρίζονται τα δέντρα αναζήτησης. Η γενική φιλοσοφία τους στηρίζεται στην ανάγκη για εύστοχη ταξινόμηση στοιχείων πληροφορίας, με σκοπό την ταχύτατη ανάκτηση. Ο χρόνος περάτωσης μίας διαδικασίας αναζήτησης επηρεάζει σε ένα μεγάλο βαθμό τη λειτουργία της εφαρμογής. Καθώς το μέγεθος μίας συλλογής δεδομένων αυξάνεται, το κόστος της αναζήτησης μεγαλώνει. Το πρόβλημα αυτό επιλύουν με πολύ αποτελεσματικό τρόπο οι δεντρικές δομές. Η αρχιτεκτονική τους βασίζεται στους κόμβους-παιδιά και στους κόμβους-πατέρες.

[**Αρχή**] **7.3.1** *Ο τυχαίος κόμβος παιδί μπορεί να έχει μόνο ένα πατέρα.*

Αντίθετα με τη δήλωση της αρχής **7.3.1**, ο πατέρας μπορεί να έχει `0-N` παιδιά, των οποίων το μέγιστο πλήθος καθορίζεται από τη δομή του δέντρου. Η επιστήμη της πληροφορικής έχει να επιδείξει αρκετές διαφορετικές δομές δέντρων, όπως: ***(α)*** δυαδικά, ***(β)*** τριαδικά, ***(γ)*** ψηφιακά, ***(δ)*** B ή B+ δέντρα, κ.λ.π. Η απόφαση για το μοντέλο που πρέπει να χρησιμοποιείται είναι μία συνάρτηση του μέγιστου πλήθους εγγραφών σε σχέση με τον περιορισμό του μέσου χρόνου απόκρισης. Η καλύτερη απόκριση (γίνεται εμφανής όταν οι εγγραφές υπερβαίνουν τις μερικές εκατοντάδες χιλιάδες κόμβους) προσφέρεται από τα B+ δέντρα. Η δομή αυτή εφαρμόζεται σε υπέρογκες βάσεις δεδομένων. Οι βιβλιοθήκη χρησιμοποιεί μία παραλλαγή των δυαδικών δέντρων (***Red-Black trees***).

Οι εν λόγω δομές υλοποιούν τα ισοζυγισμένα καθ' ύψος δυαδικά δέντρα με ελάχιστη ταχύτητα αναζήτησης, ίση με $O(\log_2 n)$, όπου $\boldsymbol{n}$ ο αριθμός των κόμβων.

7.3.3.1 Ταξινόμηση του αντικειμένου

- ***Σκοπός***

  Η κλάση `pxBinaryTree` χρησιμοποιείται από τις μονάδες της βιβλιοθήκης με σκοπό την ταξινόμηση στοιχείων τυχαίου τύπου δεδομένων, με βάση κάποιο κλειδί εισαγωγής. Το κλειδί της εγγραφής είναι μοναδικό και χρησιμοποιείται στη γρήγορη αναζήτηση του στοιχείου μέσα στο δέντρο καταχώρησης.

- ***Περιγραφή των μεθόδων***

  Η κλάση υλοποιεί τις τέσσερις βασικές συναρτήσεις που αφορούν στην εισαγωγή, διαγραφή, αναζήτηση και αποκοπή κόμβων. Δηλώνονται, επίσης, όλοι οι απαραίτητοι τύποι δομών που χρησιμοποιεί η κλάση στις μεθόδους της. Με τον τρόπο αυτό, αποκρύπτεται κάθε μορφής πολυπλοκότητα από το χρήστη. Βασικά στοιχεία της δήλωσης είναι ο τύπος του κλειδιού (`_Key`) και ο τύπος των δεδομένων που αποθηκεύονται (`_Element`). Η δήλωση της συνάρτησης ταξινόμησης (`_IndexFunction`) είναι προαιρετική. Χρησιμοποιείται σε ειδικές περιπτώσεις, όπως: ***(α)*** μεγάλου μήκους κλειδί, ***(β)*** εξάρτηση της ταξινόμησης από περισσότερα του ενός κλειδιά, ***(γ)*** υλοποίηση τελεστών σύγκρισης κλάσεων, κ.λ.π.

7.3.3.2 Ταξινόμηση δείκτη αντικειμένου

- ***Σκοπός***

  Η κλάση `pxBinaryTreePtr` αποτελεί μία παραλλαγή της κλάσης ***pxBinaryTree***. Χρησιμοποιείται για την ταξινόμηση δείκτη τυχαίου στοιχείου. Οι κόμβοι του δέντρου περιέχουν ένα δείκτη σε αντικείμενο, και όχι το ίδιο αντικείμενο. Τα αντικείμενα αυτά δημιουργούνται εκτός του δέντρου και προσφέρονται σε αυτό για ταξινόμηση. Το δέντρο δεσμεύει και θωρακίζει τη διεύθυνση μνήμης του στοιχείου. Η τεχνική αυτή προστατεύει το χρήστη από ανεπιθύμητες διαρροές ή παραβίαση μνήμης.

- ***Περιγραφή των μεθόδων***

  Η εισαγωγή στο δέντρο έχει ως αποτέλεσμα τη δέσμευση της διεύθυνσης του στοιχείου, αφαιρώντας την πληροφορία αυτή από τη στοίβα η οποία καλεί τη συνάρτηση `Insert`. Μία επιτυχής αναζήτηση έχει ως αποτέλεσμα τη γνωστοποίηση της διεύθυνσης μνήμης του στοιχείου. Η διαγραφή του τυχαίου κόμβου `N` οδηγεί στην καταστροφή των περιεχομένων της μνήμης του δείκτη αναφοράς. Η μέθοδος της αποκοπής, αντίθετα, αφαιρεί τον κόμβο και επιστρέφει τη διεύθυνση του δείκτη αναφοράς. Ο αποδέκτης του δείκτη οφείλει να χειριστεί κατάλληλα τα περιεχόμενα της μνήμης. Κατά τη διαδικασία της διαγραφής του δέντρου, καταστρέφονται, επίσης, όλα τα περιεχόμενα των αποθηκευμένων δεικτών.

7.4 Μικροεργαλεία

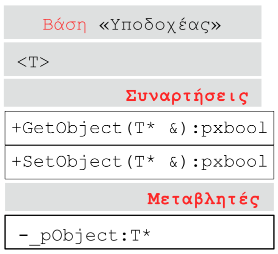
7.4.1 Υποδοχείς αντικειμένων

[Ορισμός] 7.4.1 *Κάθε κλάση που έχει μοναδικό σκοπό την ενθυλάκωση αντικειμένων ονομάζεται* ***υποδοχέας****.*

Η τεχνική αυτή απευθύνεται αποκλειστικά στα περιεχόμενα αντικειμένων, των οποίων η θέση μνήμης βρίσκεται στο δυναμικό σωρό μνήμης[10] του συστήματος. Ένα παράδειγμα υποδοχέα κλάσεων αποτελεί η κλάση `auto_ptr<>` της βιβλιοθήκης ***STL***, η οποία θωρακίζει την πρόσβαση στο αντικείμενο που ενθυλακώνει. Επιπλέον, η καταστροφή του υποδοχέα έχει ως αποτέλεσμα την αποδόμηση των περιεχομένων αυτού. Η βιβλιοθήκη προσφέρει τρεις διαφορετικούς τύπους υποδοχέων που χρησιμοποιούνται κυρίως ως πρώτες ύλες για την υλοποίηση μηχανισμών των δομών δεδομένων. Για το λόγο αυτό, οι υποδοχείς μπορούν να χαρακτηριστούν πιο εύστοχα ως ***κόμβοι υποδοχής***.

- ***Σκοπός***
  Οι δομές δεδομένων που προσφέρονται από τη βιβλιοθήκη αποτελούνται από κόμβους υποδοχής και όχι από τα πραγματικά δεδομένα. Τα δεδομένα αποθηκεύονται στους κόμβους προσδίδοντας, με τον τρόπο αυτό, τον πολυμορφικό χαρακτήρα της δομής.

- ***Περιγραφή των μεθόδων***
  Η γενική μορφή της κλάσης παρουσιάζεται στο σχήμα **7.4**. Η κλάση περιλαμβάνει, επί-



Σχήμα 7.4: Υποδοχέας

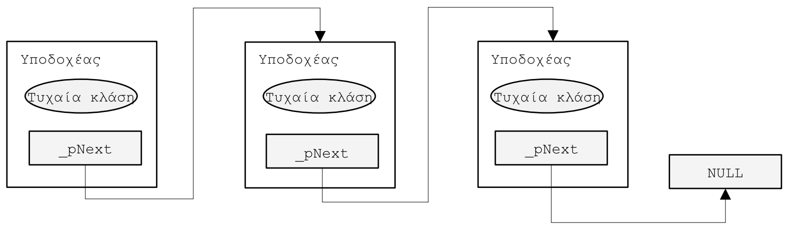
σης, ποικιλόμορφους μεθόδους δημιουργίας στιγμιοτύπων (***copy constructor***, κ.λ.π.). Οι συναρτήσεις `GetObject` και `SetObject` χρησιμοποιούνται για τη δέσμευση και αποδέσμευση αναφορών σε περιοχές μνήμης που αντιπροσωπεύουν στιγμιότυπα τυχαίων κλάσεων. Η

[10] heap

καταστροφή κάποιου αντικειμένου υποδοχέα περιλαμβάνει και την καταστροφή (εάν η τιμή _isEmpty είναι ψευδής) του αντικειμένου που περιέχει αυτό.

7.4.1.1 Υποδοχέας αντικειμένου μίας διάστασης

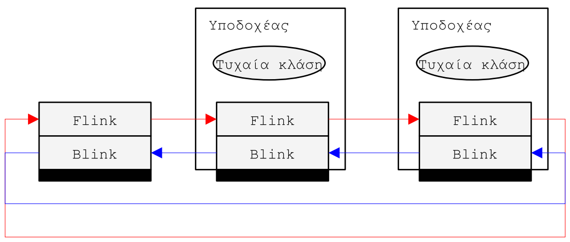
Η κλάση pxSingleLinkCarrier διαθέτει ένα μοναδικό δείκτη, ο οποίος είναι τύπου pxSingleLinkCarrier*. Χρησιμοποιείται σε λίστες όπου δεν εφαρμόζονται τεχνικές ταξινόμησης (π.χ. στοίβα, LIFO, FIFO, κ.λ.π.).



Σχήμα 7.5: Κόμβος σε διάταξη στοίβας

7.4.1.2 Υποδοχέας αντικειμένου δύο διαστάσεων

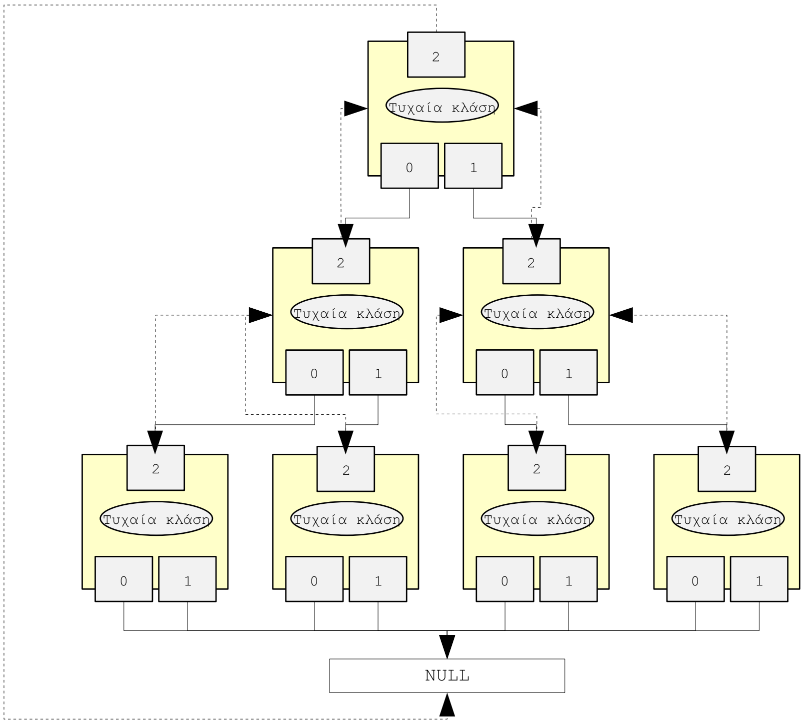
Η κλάση pxDoubleLinkCarrier επεκτείνει τις ιδιότητες του υποδοχέα. Περιλαμβάνει στοιχεία δεικτών με τα οποία μπορεί να συνδεθεί σε διπλά συνδεδεμένες λίστες.



Σχήμα 7.6: Διπλά συνδεδεμένη λίστα

7.4.1.3 Υποδοχέας αντικειμένων πολλαπλών διαστάσεων

Η κλάση pxMultiLinkCarrier διαθέτει, N στο πλήθος, δείκτες τύπου pxSingleLinkCarrier*. Χρησιμοποιείται σε δομές των οποίων οι κόμβοι διαθέτουν περισσότερες της μίας σύνδεσης. Ένα παράδειγμα χρησιμοποίησης της κλάσης αυτής είναι η δημιουργία δεντρικών δομών στις οποίες τα παιδιά διατηρούν πληροφορία για την θέση του πατέρα.



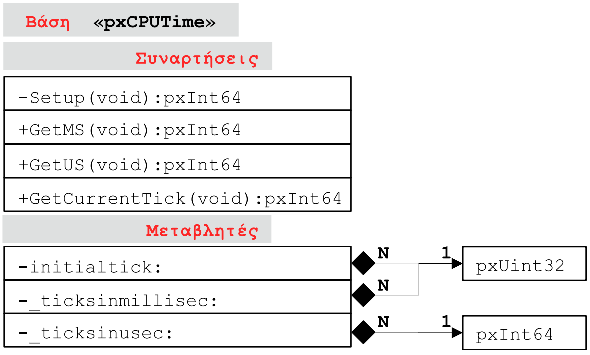
Σχήμα 7.7: Κόμβος σε διάταξη δυαδικού δέντρου

7.4.2 Μονάδα χρονομέτρου

Η τεχνολογία των ηλεκτρονικών υπολογιστών στηρίζεται στη μέθοδο της σύγχρονης εκτέλεσης μικροεντολών του πυρήνα του συστήματος. Στις σύγχρονες διαδικασίες, όπως είναι λογικό, όλες οι διαδικασίες λειτουργούν με βάση κάποια παλμογεννήτρια. Η γεννήτρια φέρει συχνά τον ορισμό **ρολόι** και η μονάδα μέτρησής της, που ονομάζεται **κύκλος**[11], καθορίζεται από τη συχνότητα λειτουργίας της ιδίας. Σε κάθε κύκλο του ρολογιού, ο υπολογιστής καλείται να εκτελέσει μία εντολή. Μία από τις παραμέτρους που καθορίζουν την ταχύτητα της επεξεργασίας είναι το πλήθος των κύκλων ανά δευτερόλεπτο που παρέχει το ρολόι. Ο επεξεργαστής του συστήματος καταγράφει συνεχώς το πλήθος των κύκλων που δημιουργήθηκαν από τη στιγμή της εκκίνησής του. Η αναγωγή του πλήθους αυτού σε χρόνο, με βάση τη συχνότητα λειτουργίας του ρολογιού, μεταφράζεται σε πραγματική διάρκεια χρόνου με υποδιαίρεση ένα κύκλο.

- ***Σκοπός***
  Η κλάση προσομοιώνει ένα χρονόμετρο κύκλων των οποίων το πλήθος ανά δευτερόλεπτο καθορίζεται από τη συχνότητα της κεντρικής μονάδας επεξεργασίας του συστήματος. Η κλάση αυτή χρησιμοποιείται σε συστήματα ή λειτουργίες όπου η επίγνωση και η ακριβής καταμέτρηση του χρόνου καθορίζουν την επιτυχία της εκτέλεσης. Η ευαισθησία του χρονομέτρου

[11] cycle



Σχήμα 7.8: Ορισμός κλάσης pxCPUTime

καθορίζεται από τη συχνότητα εμφάνισης των κύκλων.

- ***Περιγραφή των μεθόδων***

  Στο σχήμα **7.8** απεικονίζονται οι μεταβλητές και οι μέθοδοι της κλάσης `pxCPUTime`. Η υπόσταση του χρονομέτρου περιορίζεται στα όρια ενός εκτελέσιμου προγράμματος[12]. Η καταμέτρηση του χρόνου στα πλαίσια του προγράμματος πρέπει να αναφέρεται από ένα και μόνο ρολόι, έτσι ώστε οποιαδήποτε διαδικασία ή αντικείμενο, που ανήκει σε μία τυχαία ίνα εκτέλεσης, να έχει πρόσβαση σε κάποια κοινή πληροφορία για την πορεία εξέλιξης του χρόνου. Η επίτευξη του στόχου πραγματοποιείται με τη χρήση στατικών ορισμών, οι οποίοι δημιουργούν σχέσεις `N..1`, μεταξύ των στιγμιοτύπων των αντικειμένων και μίας τυχαίας μεταβλητής.

  - ***Αρχικοποίηση***. Η κλάση περιλαμβάνει τη συνάρτηση `Setup`, η κλήση της οποίας έχει ως αποτέλεσμα τον καθορισμό των στατικών μεταβλητών του χρονομέτρου. Με τη χρήση της γλώσσας ***assembly***, καταγράφονται σε τακτά χρονικά διαστήματα το πλήθος των χτύπων του επεξεργαστή. Με τη βοήθεια κατάλληλων αναγωγών σε μονάδες πραγματικού χρόνου, αποθηκεύεται το πλήθος των χτύπων που καταμετρήθηκε κατά τη χρονική διάρκεια ενός χιλιοστού και ενός εκατομμυριοστού του δευτερολέπτου. Οι τιμές αυτές θα χρησιμοποιηθούν αργότερα για την αναγωγή των κτύπων σε πιο ευανάγνωστες μονάδες χρόνου. Αποθηκεύεται, επίσης, η τιμή του πλήθους των χτύπων που καταμετρήθηκε τη χρονική στιγμή ***O*** και ορίζεται ως η αρχή της μέτρησης. Η διαδικασία αυτή εκτελείται από το πρώτο στιγμιότυπο της κλάσης.
  - ***Καταγραφή χρονικών διαστημάτων***. Τα στιγμιότυπα της κλάσης κατά την αρχικοποίησή τους αποθηκεύουν την τιμή ***O*** στην τοπική μεταβλητή `_localInitialTick`. Η τιμή του τρέχοντος χρόνου δίνεται από την εξίσωση 7.1.

$$CurrentXtime = \frac{CurrentTick - \_localInitialTick}{TicksInXtime} \tag{7.1}$$

[12] process

Το χρονόμετρο υποστηρίζει μεθόδους για τοπικούς και σφαιρικούς μηδενισμούς του χρόνου. Ένας τοπικός μηδενισμός, σε αντίθεση με το σφαιρικό μηδενισμό, είναι ανατρέψιμος κάνοντας χρήση τις συναρτήσεις `LocalReset` και `LocalSet`.

Κεφάλαιο 8

Κλάσεις πρωτοκόλλων βιβλιοθήκης

8.1 Αρχιτεκτονική του επιπέδου

Στο κεφάλαιο ***Δομή των πρωτοκολλικών επιπέδων*** έγινε μία σύντομη περιγραφή των στοιχεί-ων (βασικών και μή) που αποτελούν ένα πρωτοκολλικό στρώμα. Κάθε στοιχείο περιγράφεται ως ανεξάρτητη οντότητα. Η σχεδίαση, καθώς και η υλοποίηση των οντοτήτων, βασίζονται στις α-ρχές της ανεξαρτησίας και της αυτοτέλειας. Η αρχή αυτή οδηγεί στην πλήρως αντικειμενοστρεφή αρχιτεκτονική των στοιχείων. Θα αναφερθεί πιό κάτω το μειονέκτημα της μεθόδου της πλήρους αν-τικειμενοστρεφούς σχεδίασης και η λύση που εφαρμόζεται από τη βιβλιοθήκη για την αντιμετώπιση του προβλήματος και τη μεταμόρφωσή του σε ένα ισχυρό εργαλείο σχεδίασης.

- ***Μειονέκτημα.*** Κάθε κλάση σχεδιάζεται με σκοπό την επεξεργασία όμοιων στοιχείων μνήμης και την εξαγωγή αποτελεσμάτων κοινής μορφής. Οι μέθοδοι της κλάσης ενημερώνονται για τις μορφές των στοιχείων ή άλλων κλάσεων κατά τη φάση της μεταγλώττισης. Ο περιορισμός αυτός έχει ως αποτέλεσμα: *(α)* την αύξηση, με ψηλούς ρυθμούς, της πολυπλοκότητας της σχεδίασης για κάθε καινούριο στοιχείο ή κλάση που δηλώνεται στην κλάση σχεδίασης, *(β)* την αδυναμία δυναμικής ενημέρωσης του πίνακα στοιχείων επεξεργασίας, *(γ)* την αδυναμία δημιουργίας σχέσης πατέρα-παιδιού, *(δ)* την αδυναμία απλοποίησης των μεθόδων επικοινωνίας μεταξύ των οντοτήτων, και *(ϵ)* την αδυναμία δημιουργίας οντοτήτων που χρησιμοποιούνται ως βάση για την ανάπτυξη μίας βιβλιοθήκης πρωτοκόλλων.

- ***Στόχοι.*** Η σχεδίαση της προτεινόμενης αρχιτεκτονικής αποσκοπεί στη σχεδίαση και υλοποίη-ση κλάσεων με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά: *(α)* να μπορούν να υποστηρίζουν τις βασικές λειτουργίες κάθε επί μέρους οντότητας που είναι δυνατό να υπάρχει σε ένα πρωτοκολλικό στρώμα, *(β)* γρήγορη προσαρμογή και επέκταση, *(γ)* να διαθέτουν κοινές μεθόδους διασύν-δεσης, *(δ)* η επικοινωνία μεταξύ παιδιών και πατέρα να πραγματοποιείται γρήγορα και να ακολουθεί κοινούς κανόνες, και *(ϵ)* κάθε οντότητα να είναι σε θέση να καλέσει κάποια άλλη γνωρίζοντας μόνο τη μορφή του φακέλου επικοινωνίας.

- ***Χώρος***.

  [Ορισμός] 8.1.1 *Κάθε αντικείμενο που διαθέτει παιδιά είναι σε θέση να ορίσει κάποιο* ***χώρο****.*

  [Ορισμός] 8.1.2 *Παιδιά ενός χώρου μπορούν να οριστούν άλλοι χώροι ή στοιχεία.*

  Μία πρωτοκολλική στοίβα μπορεί να θεωρηθεί ως χώρος του οποίου τα παιδιά είναι τα πρωτοκολλικά στρώματα. Επιπρόσθετα, κάθε στρώμα αποτελεί με τη σειρά του κάποιο χώρο με παιδιά τις μονάδες επεξεργασίας και τις υπηρεσίες. Κάθε χώρος έχει το δικαίωμα να διατηρεί τη διαφορετικότητά του ως προς τα ομότιμα πεδία, και επιβαρύνεται με τη φροντίδα της διάταξης και της επικοινωνίας με και μεταξύ των παιδιών του. Ο καθορισμός των αρχών που διέπουν τους χώρους και τα στοιχεία περιγράφεται στην επόμενη παράγραφο.

8.1.1 Χώροι και στοιχεία

Έστω το τυχαίο στοιχείο $Element_i$, το οποίο αντιπροσωπεύει την τυχαία υπηρεσία $Service_i$. Ο χώρος $Space_j$ καθορίζεται ως το τυχαίο πρωτόκολλο $Protocol_j$ που ανήκει στο χώρο της στοίβας $Stack_k$. Ορίζουμε το σύνολο των στοιχείων που ανήκουν στο χώρο $Space_j$ με την **εξίσωση 8.1**:

$$\{Element_i : 0 <= i <= N\} \ \subset \ Space_j \tag{8.1}$$

Η **εξίσωση 8.2** περιγράφει τον ορισμό του χώρου $Space_j$:

$$\{Space_j : 0 <= j <= M\} \ \subset \ Stack_k \tag{8.2}$$

Για να γίνει εφικτή η επικοινωνία τόσο του χώρου με τα παιδιά του, όσο και μεταξύ των παιδιών του, είναι απαραίτητη η εύρεση της μέγιστης δυνατής τομής ($Common$) του συνόλου των παιδιών με το χώρο αυτό. Η ποσότητα $Common$ ορίζεται ως:

$$Common = ((Element_0) \cap \ldots \cap (Element_N)) \cap (Space_j) \tag{8.3}$$

Αν προσπαθήσουμε να λύσουμε το πρόβλημα ξεκινώντας πρώτα από τον ορισμό του χώρου και ακολούθως των υποχώρων και των στοιχείων, τότε ο υπολογισμός της ποσότητας $Common$ χαρακτηρίζεται από πολύ ψηλό βαθμό δυσκολίας και είναι ίσως αδύνατος. Αντίθετα, ο ορισμός στοιχείων και κατ΄ επέκταση χώρων, τα οποία χαρακτηρίζονται από βασικές ιδιότητες, είναι εφικτός. Το συμπέρασμα είναι, λοιπόν, ότι αν κάθε στοιχείο $Element_i$ ή κάθε χώρος $Space_j$ που ανήκει σε κάποιο χώρο A περιέχει την κατάλληλη ποσότητα $Common$, τότε ικανοποιείται η **σχέση 8.3**. Τα πιο πάνω χαρακτηριστικά καθορίζουν τις αρχές της αρχιτεκτονικής της βιβλιοθήκης όσον αφορά στις κλάσεις της υπηρεσίας του στρώματος. Η ακόλουθη πρόταση καθορίζει τη λύση του προβλήματος ως προς την οπτική γωνία του λογισμικού.

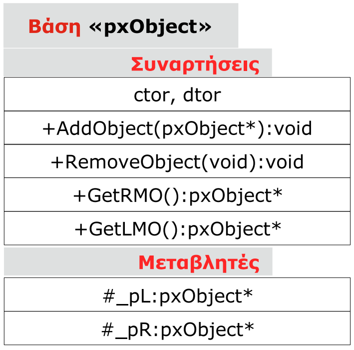
[Αρχή] 8.1.1 *Όλα τα παιδιά που ανήκουν στο χώρο A είναι γραμμικά εξαρτημένα από κάποιο πυρήνα (Πυρήνας$_K$).*

Ο πυρήνας$_K$ χρησιμοποιείται ως βάση για τη δημιουργία χώρων και στοιχείων στο πεδίο της πρωτότυπης βιβλιοθήκης. Με την τεχνική αυτή, διασφαλίζεται ότι όλες οι υπηρεσίες των πρωτοκόλλων ή όλα τα στρώματα που θα δημιουργηθούν ή έχουν ήδη δημιουργηθεί, διαθέτουν την αναγκαία ποσότητα *Common* με την οποία συσχετίζονται με τα υπόλοιπα στοιχεία ή υποχώρους.

8.1.2 Βάσεις λογισμικών ορισμών

Στην προηγούμενη ενότητα καθορίστηκαν, μέσω ορισμών και αρχών, οι απαραίτητες προϋποθέσεις για τη σχεδίαση και υλοποίηση μεθόδων ενδοεπικοινωνίας στις πολυστρωματικές πρωτοκολλικές στοίβες. Οι έννοιες που έχουν διατυπωθεί πρέπει να μεταφερθούν ως αρχιτεκτονική σχεδίαση στο πεδίο του λογισμικού, και ακολούθως να υλοποιηθούν οι χώροι και τα στοιχεία με τα οποία ολοκληρώνεται κάποιο στρώμα. Για το σκοπό αυτό, έχουν σχεδιαστεί τρεις κλάσεις που θα αποτελέσουν τη βάση των χώρων.

8.1.2.1 Ελάχιστη ποσότητα



Σχήμα 8.1: Βάση B_{1D}

Η κλάση `pxObject` αποτελεί την πρώτη κλάση του πυρήνα καθώς δεν κληρονομεί χαρακτηριστικά, ούτε χρησιμοποιεί μεθόδους άλλων κλάσεων. Στο **σχήμα 8.1** παρουσιάζεται η μορφή των δεδομένων που διαθέτει η κλάση. Κάθε αντικείμενο της κλάσης `pxObject` διατηρεί δύο αναφορές σε αντικείμενα του ιδίου τύπου, τον αριστερό και το δεξιό γείτονα. Το τυχαίο αντικείμενο $Object_i$ φιλοξενεί ένα καινούριο αντικείμενο υπό την προϋπόθεση ότι δε διαθέτει δεξιό γείτονα. Στην αντίθετη περίπτωση, μεταφέρνει τη φιλοξενία στο δεξιό γείτονά του. Στο **σχήμα 8.2** παρουσιάζεται η διάταξη πέντε αντικειμένων της κλάσης `pxObject`. Η σχέση αυτή βοηθάει στο χαρακτηρισμό της μονοδιάστατης βάσης, με μοναδικό σκοπό τη διάταξη αντικειμένων, έτσι ώστε κάθε σημείο να διαθέτει το πολύ δύο γείτονες. Οι συναρτήσεις που περιέχει η κλάση εξυπηρετούν σε:

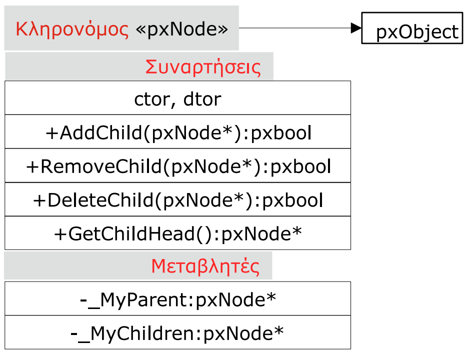
Σχήμα 8.2: Πρώτη διάσταση

- `AddObject`. Πρόσθεση του αντικειμένου σε κάποιο γείτονα.
- `RemoveObject`. Αφαίρεση του αντικείμενου από τη διάταξη και την ενημέρωση όλων των γειτόνων.
- `GetRMO`, `GetLMO`. Πρόσβαση στο δεξιό και αριστερό αντικείμενο αντίστοιχα.

Ο χώρος που δημιουργείται με την παρουσία των αντικειμένων είναι πεπερασμένος και δεν επιτρέπονται κενές θέσεις. Το πρώτο και το τελευταίο αντικείμενο διαθέτουν ένα και μόνο έγκυρο γειτονικό στοιχείο.

8.1.2.2 Κόμβος (Δεύτερη διάσταση)

κληρονομώντας από την κλάση `pxObject`, δημιουργείται η κλάση `pxNode`(δεύτερη διάσταση) και εμπλουτίζεται η διάσταση του χώρου από μία διάσταση σε δύο. Η δεύτερη αυτή διάσταση καθορίζεται από τις μεταβλητές και τις μεθόδους της κλάσης `pxNode`, όπως παρουσιάζονται στο **σχήμα 8.3**. Η καινούρια διάσταση που εισάγει η κλάση `pxNode` επεκτείνει τις σχέσεις του αντικειμένου με τον

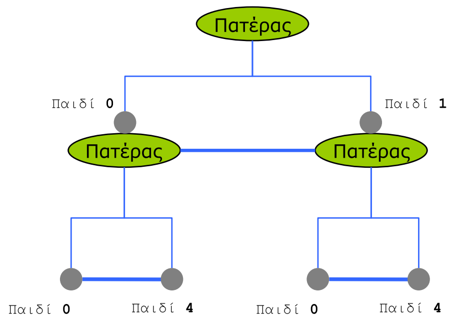


Σχήμα 8.3: Βάση B_{2D}

καθορισμό της έννοιας της ιδιοκτησίας. Κάθε αντικείμενο, που στην προκειμένη περίπτωση ονομάζεται ***κόμβος***, είναι σε θέση να διαθέτει παιδιά και πατέρα. Οι σχέσεις ιδιοκτησίας καθορίζονται από τις αρχές 8.1.2 και 8.1.3.

[Αρχή] 8.1.2 *Το παιδί ανήκει σε ένα και μόνο πατέρα.*

[Αρχή] 8.1.3 *Ο πατέρας μπορεί να έχει ένα ή και περισσότερα παιδιά.*



Σχήμα 8.4: Δεύτερη διάσταση

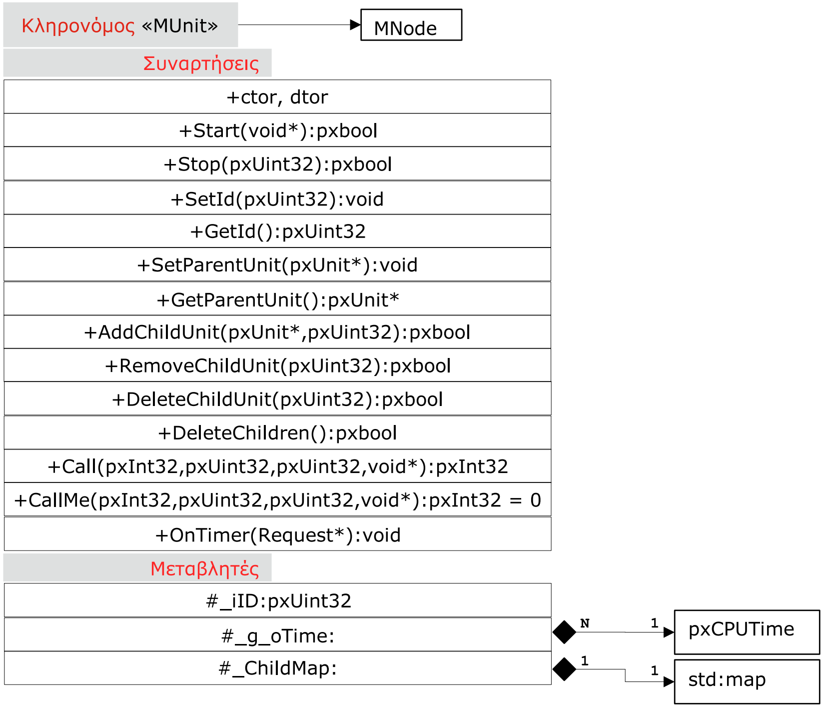
Στο σχήμα **8.4** παρουσιάζεται μία τυχαία διάταξη παιδιών και πατέρων διευκρινίζοντας με τον τρόπο αυτό την έννοια της δεύτερης διάστασης. Κάθε αντικείμενο του τύπου `pxNode` διαθέτει δύο αναφορές σε αντικείμενα ιδίου τύπου, με τις οποίες αποκτάει πρόσβαση στον πατέρα και στην αρχή της λίστας των παιδιών του. Η κλάση εισάγει τις ακόλουθες μεθόδους:

- `AddChild`. Υποδέχεται κάποιο παιδί. Συνδέει το εισαγόμενο παιδί στην αντίστοιχη λίστα. Ενημερώνει το εισαγόμενο παιδί με τη διεύθυνση του πατέρα.
- `RemoveChild`. Αποσυνδέει κάποιο συγκεκριμένο παιδί από τη λίστα.
- `DeleteChild`. Αποσυνδέει κάποιο συγκεκριμένο παιδί από τη λίστα και ακολούθως το καταστρέφει.

8.1.2.3 Μονάδα (Τομή των συνόλων)

Η τρίτη διάσταση που εισάγεται στο σχεδιασμό αφορά στην έννοια της τομής των συνόλων των υπηρεσιών και των υποστρωμάτων. Στο **σχήμα 8.5** εμφανίζονται οι μεταβλητές της κλάσης με τις οποίες διατηρεί τις σχέσεις πατέρα-παιδιών. Η κλάση διαθέτει, επίσης, μεθόδους ταξινόμησης των ταυτοτήτων των παιδιών της, με στόχο την ταχύτατη ανάκτηση. Ιδιαίτερη σημασία δίνεται στις συναρτήσεις με τις οποίες δημιουργείται η καινούρια διάσταση και οδηγεί στην ολοκλήρωση της βάσης B_{3D}:

- `CallUnit`. Κάθε κλάση διαθέτει μεθόδους ταξινόμησης των παιδιών της. Κάθε αντικείμενο τύπου `MUnit` χαρακτηρίζεται από ένα μοναδικό κλειδί ταυτότητας μέσα στο χώρο στον οποίο ορίζεται. Διατηρεί, επίσης, σε δεντρική δομή τις διευθύνσεις εκάστου παιδιού ταξινομημένες με βάση το κλειδί της ταυτότητας. Η πρόσβαση στα παιδιά του αντικειμένου πραγματοποιείται καλώντας τη συνάρτηση `CallUnit` με παράμετρο την ταυτότητα του κάθε παιδιού.
- `CallMe`. Η συνάρτηση αυτή είναι απόλυτα εικονική. Το σώμα της υλοποιείται από τους κληρονόμους της κλάσης. Αποτελεί τη μοναδική διασύνδεση του αντικειμένου με τον έξω

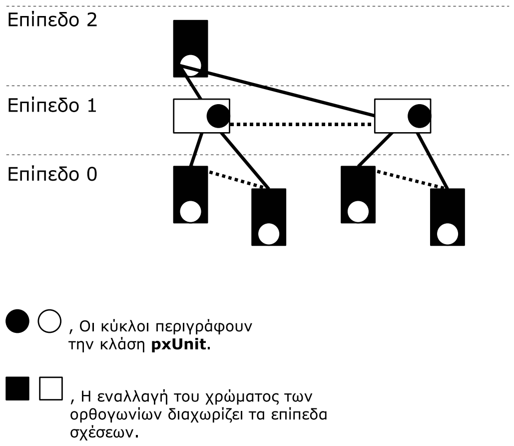


Σχήμα 8.5: Βάση B_{3D}

κόσμο για πρόσβαση στις μεταβλητές του. Όλες οι κλάσεις του στρώματος κληρονομούν από την `pxUnit` και υλοποιούν το σώμα της `CallMe`. Η συνάρτηση διαθέτει τέσσερις μεταβλητές εισόδου: *(α)* τον τύπο της μονάδας που καλεί την συνάρτηση, *(β)* την ταυτότητα της μονάδας που καλεί την συνάρτηση η οποία μπορεί να είναι κάποιο άλλο παιδί ή ακόμη και ο ίδιος ο πατέρας, *(γ)* την αιτία κλήσης, δηλαδή τον κωδικό κλήσης των υπηρεσιών του αντικειμένου, και *(δ)* επιπλέον παραμέτρους, οι οποίες καθορίζονται από τους κληρονόμους της κλάσης και αφορούν αποκλειστικά στη μορφή ενδοεπικοινωνίας.

- `Start`,`Stop`. Πρόκειται για απόλυτα εικονικές συναρτήσεις, οι οποίες χρησιμοποιούνται από τις μονάδες για την εκκίνηση και τον τερματισμό, αντίστοιχα, των ασύγχρονων διαδικασιών τους. Στο **σχήμα 8.6** παρουσιάζεται η εννοιολογική σχέση των παιδιών με τον πατέρα. Η επιλογή του ορθογώνιου σχήματος διαχωρίζει την κληρονόμο κλάση από τη βασική κλάση `pxUnit`, η οποία εμφανίζεται με λευκό ή μαύρο κύκλο. Κάθε ορθογώνιο ορίζει μία διαφορετική κλάση, της οποίας οι μεταβλητές και οι μέθοδοι είναι ανεξάρτητες από τη δομή των χώρων. Ο προσανατολισμός των ορθογώνιων σχημάτων καθορίζει την υπόσταση του κληρονόμου στο υπερσύνολο.

- `Call`. Η συνάρτηση αυτή προσφέρει μία μέθοδο κλήσης των υπηρεσιών των μονάδων που ανήκουν στον ενιαίο χώρο σύνδεσης. Χρησιμοποιείται για τη διασύνδεση της μονάδας με τον



Σχήμα 8.6: Τρίτη διάσταση

πατέρα, τα παιδιά και τις ομότιμες οντότητες που ανήκουν στον πατέρα αυτής. Ο χρήστης οφείλει να καθορίσει τον τύπο του παραλήπτη, τον κωδικό ταυτότητας, την αιτία κλήσης, καθώς και τις παραμέτρους εισόδου. Η συνάρτηση, ακολούθως, μεταφράζει την πληροφορία και την προωθεί στην αντίστοιχη μονάδα (καλεί την `CallMe` της αντίστοιχης μονάδας).

- ***Ενδοεπικοινωνία***. Οι γραμμές σύνδεσης έχουν προσεκτικά τοποθετηθεί στα σύνορα των κυκλικών σχημάτων, τονίζοντας τη σχέση πατέρα-παιδιού. Καθορίζεται, επίσης, το οπτικό πεδίο της σχέσης και γίνεται κατανοητή η έννοια της τομής των συνόλων. Οι συνεχιζόμενες γραμμές ορίζουν τη σχέση πατέρα-παιδιού μεταξύ των αντίστοιχων μονάδων, καθώς και την απευθείας κλήση των συναρτήσεων `CallMe` των συνδεδεμένων μονάδων. Οι διακεκομμένες γραμμές καθορίζουν τη σχέση μεταξύ των ομότιμων μονάδων της αρχιτεκτονικής. Η επικοινωνία μεταξύ των μονάδων αυτών πραγματοποιείται έμμεσα και προϋποθέτει τη μεσολάβηση του πατέρα. Αν, για παράδειγμα, ένα παιδί του επιπέδου 0 του **σχήματος 8.6** προσπαθήσει να επικοινωνήσει με ένα άλλο παιδί του ίδιου επιπέδου, θα καλέσει τη συνάρτηση `CallUnit` του πατέρα με παράμετρο τον αριθμό ταυτότητας του ομότιμου αντικειμένου.

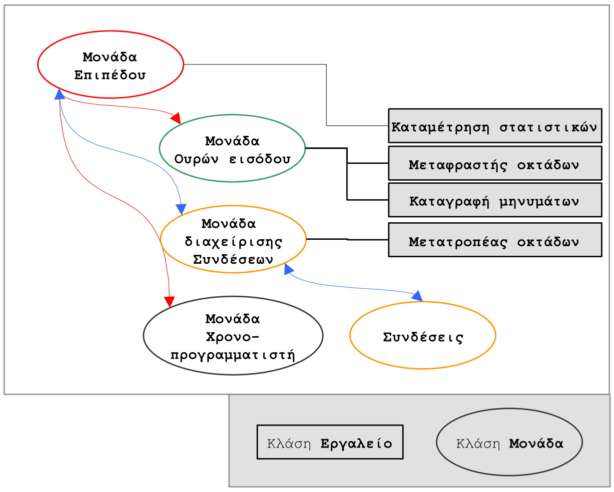
[**Αρχή**] **8.1.4** *Οι κλάσεις που περιγράφονται στη βιβλιοθήκη οφείλουν να διακρίνονται σε κατηγορίες. Οι επιτρεπτές κατηγορίες είναι οι μονάδες και τα εργαλεία.*

[**Ορισμός**] **8.1.3** *Οι κλάσεις που προσφέρουν τις υπηρεσίες τους ως διεπιφάνειες για άμεση σύνδεση ονομάζονται* ***εργαλεία***. *Τα εργαλεία δεν είναι σε θέση να εκκινήσουν μία αντίστροφη κλήση προς τα αντικείμενα από τα οποία έχουν κληθεί.*

[**Ορισμός**] **8.1.4** *Κάθε κλάση, η οποία συνδέεται με μία ή και περισσότερες οντότητες, χαρακτηρίζεται ως* ***μονάδα*** *του επιπέδου.*

[Ορισμός] 8.1.5 *Κάθε κλάση, η οποία χαρακτηρίζεται ως μονάδα, οφείλει να κληρονομεί από την κλάση* `pxUnit`.

[Ορισμός] 8.1.6 *Οι κληρονόμοι της κλάσης* `pxUnit` *συμμετέχουν σε ιεραρχικές δομές επικοινωνίας.*



Σχήμα 8.7: Διάταξη μονάδων και εργαλείων

Μία τυπική σύνδεση των μονάδων με τον πατέρα (επίπεδο) και μία μέθοδος χρησιμοποίησης των εργαλείων από τα αντικείμενα, παρουσιάζεται στο **σχήμα 8.7**. Οι ελλείψεις χαρακτηρίζουν τις κλάσεις μονάδες και τα ορθογώνια τις κλάσεις εργαλεία. Η σύνδεση των μονάδων απεικονίζεται με δύο διαφορετικής μορφής βέλη. Οι δύο αυτές μορφές βελών καθορίζουν τη μονόδρομη ή την αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ των μονάδων. Η διάταξη του σχήματος αποτελεί ένα απλό παράδειγμα και δεν περιορίζει τη σχεδίαση. Η ύπαρξη των εργαλείων παρέχει τη δυνατότητα της ελεύθερης επιλογής όσον αφορά στη χρήση τους.

Ο χαρακτηρισμός και η κατηγοριοποίηση των κλάσεων που περιγράφουν τις οντότητες με τις οποίες πραγματοποιείται η σύνθεση μίας πρωτοκολλικής στοίβας, πρέπει να γίνονται με αυστηρά κριτήρια και να είναι σύμφωνα με τους πιο πάνω ορισμούς. Μία πιθανή αστοχία κατηγοριοποίησης κάποιας τυχαίας οντότητας, θα μπορούσε να οδηγήσει σε κακοδιαχείριση του μοντέλου της βιβλιοθήκης και να αποτελέσει χιονοστοιβάδα παραβιάσεων των προτεινόμενων αρχών και κανόνων.

8.2 Εργαλεία επιπέδου

Οι μέθοδοι που αποτελούν το τυχαίο πρωτόκολλο `N`, και είναι αναγκαίες για την έγκυρη και ορθή λειτουργία του επιπέδου, περιγράφονται σε κλάσεις στοιχείων στο κεφάλαιο αυτό. Τα επίπεδα μοιράζονται κοινά, ως έννοιες, δομικά στοιχεία, τα οποία χρησιμοποιούν ποικιλοτρόπως ανάλογα με την εργασία που επιτελεί κάθε επίπεδο. Για παράδειγμα, όλα τα πρωτόκολλα χρησιμοποιούν συντακτικούς αναλυτές για τη μετατροπή των δεδομένων σε λογικές ακολουθίες εντολών. Η έννοια φυσικά των δεδομένων αυτών διαφέρει ανάλογα με το επίπεδο στο οποίο βρίσκονται. Το παράδειγμα των συντακτικών αναλυτών ισχύει και στις άλλες δομικές μονάδες. Οι διαφορές που παρουσιάζονται στα ομότιμα στοιχεία διαφορετικών πρωτοκόλλων δε θα απασχολήσει την παρούσα διατριβή και οποιαδήποτε προσπάθεια ομαδοποίησης και γενίκευσης θα ήταν άστοχη.

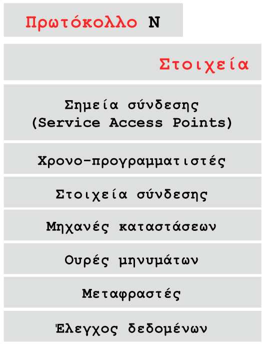
Στο κεφαλαίο αυτό, περιγράφεται η σχεδίαση, υλοποίηση και εξέλιξη των βασικών συστατικών των πρωτοκόλλων, απλοποιώντας και επιταχύνοντας τη χρήση των στοιχείων, καθώς και την ανάπτυξη της βιβλιοθήκης. Τα στοιχεία που αποτελούν τον κόμβο είναι σχεδιασμένα σε μορφή φλοιών. Είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε να ικανοποιούν τις γενικές αρχές και κανόνες που διέπουν τα στοιχεία. Κάθε φλοιός περικλείει ένα σύνολο φλοιών κ.ο.κ., μέχρι η αναδρομική αυτή σχέση φτάσει στα όρια του πυρήνα. Οι μεταλλάξεις που επιδέχεται κάθε στοιχείο αφορούν τόσο στην επιφάνεια των φλοιών, όσο και στη μορφή του πυρήνα. Κάθε επιθυμητή μετάλλαξη εφαρμόζεται κατά τη στιγμή της δήλωσης της κλάσης προσφέροντας ένα απολύτως πολυμορφικό μοντέλο υλοποίησης δομικών στοιχείων.

[**Κανόνας**] **8.2.1** *Ο βασικός κορμός των στοιχείων παραμένει αναλλοίωτος και ικανός να ικανοποιήσει όλες τις μορφές σχεδιασμών.*

Η πολυμορφική ιδιότητα των στοιχείων, τους δίνει τη δυνατότητα να διατηρούν αναλλοίωτη τη βασική τους μορφή ανεξαρτήτως χρήσεως. Στις περιπτώσεις όπου προβλέπεται αδυναμία εφαρμογής του κανόνα, το στοιχείο διατηρεί ένα σύνολο πλήρως εικονικών μεθόδων, οι οποίες προσφέρονται στο σχεδιαστή για ανάπτυξη. Το ενδεχόμενο αυτό καθιστά αδύνατη κάθε επιθυμητή μεταγλώττιση στοιχείου που δε διαθέτει πλήρως υλοποιημένες τις μεθόδους του. Η πληρότητα της υλοποίησης ενός τυχαίου στοιχείου είναι αντιστρόφως ανάλογη του πλήθους των κενών συναρτήσεων που διαθέτει.

8.2.1 Βασικά στοιχεία του πρωτοκόλλου

Στο **σχήμα8.8** παρουσιάζονται οι βασικές λειτουργίες και τα βασικά στοιχεία ενός τυχαίου πρωτοκόλλου. Όλα τα στοιχεία ολοκληρώνονται σε κλάσεις και η πρόσβαση σε αυτά γίνεται άμεσα ή έμμεσα, ανάλογα με την κατηγορία στην οποία ανήκει κάθε στοιχείο. Η σχέση που παρουσιάζεται στο **σχήμα8.8** δεν περιγράφει κάποια συγκεκριμένη σχεδίαση πρωτοκόλλου. Οι διαδικασίες που δηλώνονται στο σχήμα είναι πιθανό να αποτελούν αυτοτελείς οντότητες ή μέρη οντοτήτων. Οι κλάσεις που υλοποιούν τις πιο πάνω διαδικασίες αποτελούνται από πολυμορφικούς φλοιούς, οι οποίοι πολλαπλασιάζονται με τη μέθοδο της κληρονόμησης. Η πολυμορφικότητα των δεδομένων, καθώς και των μεθόδων επεξεργασίας των φλοιών, επιτυγχάνεται με τη χρήση κλάσεων προτύπων. Η δε λειτουργία των μεθόδων του πυρήνα προσανατολίζεται ποικιλοτρόπως:



Σχήμα 8.8: Βασικά στοιχεία πρωτοκόλλου

- ***Κενές συναρτήσεις***. Ο χρήστης καλείται να κληρονομήσει από την εν λόγω κλάση και να υλοποιήσει το σώμα των κενών συναρτήσεων, ικανοποιώντας τις εκάστοτε ανάγκες της εφαρμογής.

- ***Κλάσεις τελεστών***. Χρησιμοποιούνται προκαθορισμένες μορφές κλάσεων που υλοποιούν συγκεκριμένες λειτουργίες μέσω κατάλληλων τελεστών. Ως παράδειγμα αναφέρεται ο χώρος των τελεστών σύγκρισης.

- ***Κοινής ονομασίας συναρτήσεις κλάσεων***. Η χρήση του στοιχείου προϋποθέτει την ενθυλάκωση κλάσεων οι οποίες ολοκληρώνουν συναρτήσεις τυχαίου περιεχομένου, αλλά κοινής επωνομασίας.

Στις επόμενες ενότητες περιγράφεται αναλυτικά η αρχιτεκτονική των στοιχείων, ο βέλτιστος τρόπος εφαρμογής των κλάσεων, οι πιθανές μορφές μετάλλαξης, και η σχέση που διατηρούν με το σύνολο στα πλαίσια του χώρου του πρωτοκόλλου.

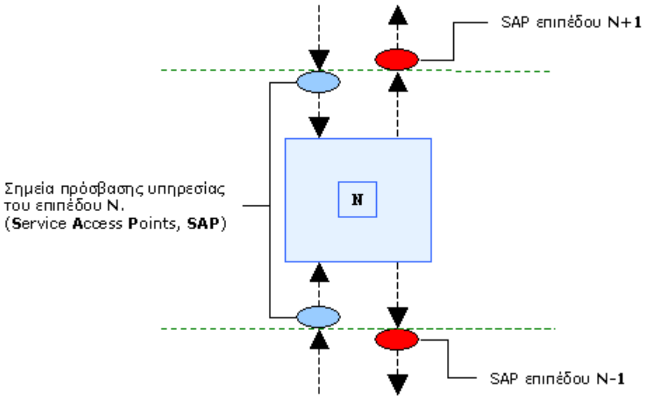
8.2.2 Σημεία σύνδεσης ή σημεία πρόσβασης υπηρεσίας

Το μοντέλο διαστρωμάτωσης OSI καθορίζει τη μορφή της προσφερόμενης υπηρεσίας του επιπέδου προς τα ανώτερα στρώματα, και διατηρεί την αρχή των διακριτών ρόλων που καλείται να διαδραματίσει κάθε ένα από αυτά. Η επικοινωνία μεταξύ των πρωτοκόλλων είναι απαραίτητη και περιορίζεται στα σύνορα που διακρίνουν κάθε επίπεδο. Το επίπεδο `N` επικοινωνεί μόνο με τα επίπεδα `N+1` και `N-1`. Ο δίαυλος επικοινωνίας και η μορφή της μεταδιδόμενης πληροφορίας καθορίζεται από τα σημεία πρόσβασης στην υπηρεσία. Η πληροφορία διακρίνεται σε:

- ***Ερεθίσματα***. Εντολές ή ανακοινώσεις κατά την έλευση των οποίων το πρωτόκολλο καλείται να εκκινήσει μία συγκεκριμένη διαδικασία, όπως για παράδειγμα δημιουργία του κατάλληλου μονοπατιού για την προώθηση δεδομένων.

- ***Ακατέργαστη πληροφορία.*** Οι χορδές οκτάδων που συμπεριλαμβάνουν σηματοδοτικά μηνύματα που αφορούν στο επίπεδο του σημείου άφιξης ή μηνύματα που αποτελούν λογικά σύνολα για τα ανώτερα στρώματα και το επίπεδο οφείλει να τα προωθήσει μέσω του κατάλληλου μονοπατιού στον προορισμό τους.

- ***Μορφοποιημένη πληροφορία.*** Το είδος της πληροφορίας που περιέχεται από την οντότητα είναι δομημένο ανάλογα με τις ανάγκες του πρωτοκόλλου και αφορά μόνο τις διαδικασίες αυτού.



Σχήμα 8.9: Σημεία πρόσβασης υπηρεσίας

Το **σχήμα 8.9** παρουσιάζει ένα απλό παράδειγμα της μορφής της ενδοεπικοινωνίας που εφαρμόζεται σε μία πρωτοκολλική στοίβα. Οι οντότητες που απεικονίζονται ως ελλειπτικές, υλοποιούν τις απαραίτητες μεθόδους για την παροχή υπηρεσιών στο ανώτερο στρώμα και την πρόσβαση στις υπηρεσίες του κατώτερου στρώματος. Στις παραγράφους που ακολουθούν, περιγράφονται εν συντομία μερικές από τις δυνατές σχεδιάσεις και υλοποιήσεις στο πεδίο του λογισμικού.

- ***Δείκτες σε συναρτήσεις (σύγχρονη λήψη).*** Υποθέτουμε ότι κάθε πρωτόκολλο της στοίβας διαθέτει δύο συναρτήσεις με τις οποίες επεξεργάζεται τα μηνύματα και τα ερεθίσματα που καταφθάνουν από το ανώτερο και κατώτερο στρώμα. Η περίπτωση αυτή προϋποθέτει ότι, κατά την αρχικοποίηση της στοίβας, όλα τα πρωτόκολλα θα ενημερωθούν με τις κατάλληλες συναρτήσεις για την προώθηση των στοιχείων πληροφορίας στα ανώτερα ή κατώτερα στρώματα. Η ενημέρωση πραγματοποιείται με την ανταλλαγή δεικτών στις συναρτήσεις αυτές.
  - ***Πλεονεκτήματα***: *(α)* απλή σύνταξη των συναρτήσεων και των δεικτών τους, και *(β)* γρήγορη μετάβαση του δείκτη εντολών του επεξεργαστή στο σημείο κλήσης της συνάρτησης.
  - ***Μειονεκτήματα***: *(α)* αδυναμία απόκρυψης πολυπλοκότητας, *(β)* αδυναμία επαναχρησιμοποίησης, και *(γ)* κατάργηση της αντικειμενοστρεφούς σχεδίασης.

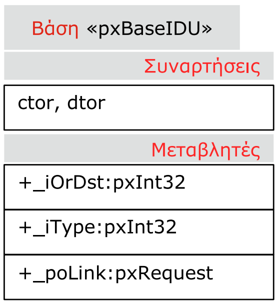
- ***Ασύγχρονη λήψη***. Κάθε πρωτόκολλο ολοκληρώνει τις απαραίτητες ασύγχρονες συναρτήσεις για τη λήψη ερεθισμάτων ή μηνυμάτων από το κατώτερο και το ανώτερο στρώμα. Η ανάκτηση των δεδομένων πραγματοποιείται μέσω κοινών χώρων μνήμης, μέσω ουρών προκαθορισμένων δομών ή μέσω συναρτήσεων πρόσβασης στα στρώματα.
    - ***Πλεονεκτήματα***: *(α)* ανεξαρτησία διαδικασιών, *(β)* απλή σύνταξη, και *(γ)* ασύγχρονη επεξεργασία δεδομένων.
    - ***Μειονεκτήματα***: *(α)* αυξημένη χρήση των αντικειμένων συγχρονισμού, *(β)* διατήρηση περιεχομένου μνήμης μέχρι τη στιγμή επεξεργασίας, και *(γ)* χρήση πολλαπλών ουρών εξυπηρέτησης.

Η βιβλιοθήκη προσφέρει μία ομάδα κλάσεων, οι οποίες, στηριζόμενες στους πιο κάτω κανόνες και αρχές, ολοκληρώνουν μία πλήρη υπηρεσία ενδοεπικοινωνίας πρωτοκόλλων της στοίβας.

[**Αρχή**] **8.2.1** *Κάθε επίπεδο διαθέτει ένα σημείο εισόδου το οποίο χρησιμοποιείται από το ανώτερο και το κατώτερο στρώμα.*

[**Αρχή**] **8.2.2** *Κάθε επίπεδο διαθέτει τουλάχιστον ένα σημείο εξόδου στο οποίο προωθεί μηνύματα και ερεθίσματα στον ιδιοκτήτη του σημείου αυτού.*

8.2.2.1 Φάκελος αλληλογραφίας



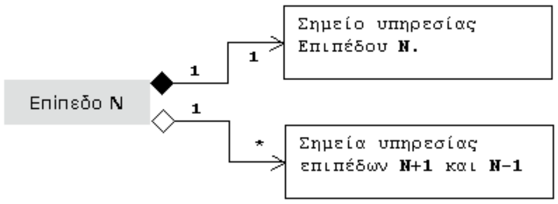
Σχήμα 8.10: Φάκελος αλληλογραφίας

Η ενδοεπικοινωνία μεταξύ των επιπέδων επιτυγχάνεται με την αποστολή φακέλων αλληλογραφίας. Η μορφή του φακέλου παρουσιάζεται στο **σχήμα 8.10**. Η μεταβλητή τύπου ακεραίου `_iOrDst` καθορίζει τον αποστολέα του μηνύματος (ανώτερο επίπεδο, κατώτερο επίπεδο, εσωτερική διεργασία). Κάθε φάκελος διαθέτει, επίσης, τον τύπο της IDU (επιπέδου ή υπηρεσίας) και μία αναφορά στην ταυτότητα του στοιχείου σύνδεσης (`pxRequest`). Η παράμετρος αυτή χρησιμοποιείται κυρίως από τη μονάδα του δρομολογητή. Η γενική μορφή της IDU που χρησιμοποιείται από τη βιβλιοθήκη είναι κληρονόμος της εν λόγω κλάσης και περιγράφεται από τις ακόλουθες παραμέτρους.

- ***Interface Control Information -(Πληροφορία ελέγχου διεπαφής)- (ICI)***. Αποτελεί την παράμετρο ελέγχου του στοιχείου IDU. Κάθε επίπεδο καθορίζει τον τύπο της ICI. Τα επίπεδα που χρησιμοποιούν τις υπηρεσίες του πρωτοκόλλου οφείλουν να γνωρίζουν τον τύπο της ICI.

- ***Service Data Unit -(Μονάδα δεδομένων υπηρεσίας)- (SDU)***. Αποτελεί το περιεχόμενο της πληροφορίας. Η πληροφορία είναι μεταβλητή σε πρότυπη μορφή. Πριν τη μετάφραση, η πληροφορία διατηρείται σε ένα πίνακα δεδομένων τύπου `pxArray`. Κατά την διαδικασία μετάφρασης που εφαρμόζεται από τον συντακτικό αναλυτή, η πληροφορία μετασχηματίζεται σε λογικές έννοιες στην κατάλληλη πρότυπη μορφή.

8.2.2.2 Μη ιεραρχημένο μοντέλο επικοινωνίας



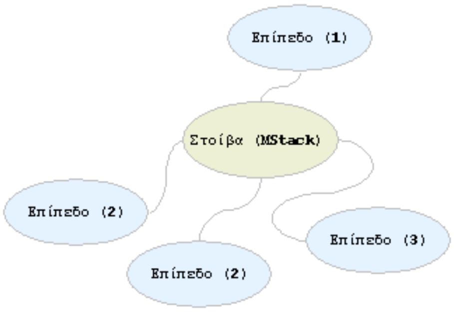
Σχήμα 8.11: Σχέση πρωτοκόλλου και SAP

Στο **σχήμα 8.11** παρουσιάζεται η σχέση μεταξύ του επιπέδου και των σημείων υπηρεσίας. Η ανταλλαγή των οντοτήτων που αποτελούν τα **S**ervice **A**ccess **P**oint -(**Σημείο προσπέλασης υπηρεσίας**)- (SAP), πραγματοποιείται κατά τη διαδικασία της αρχικοποίησης. Η επιτυχία της διασύνδεσης βασίζεται στη μορφή των οντοτήτων SAP, τα οποία διαθέτουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά: ***(α)*** πολυμορφία, ***(β)*** απόκρυψη πολυπλοκότητας, και ***(γ)*** γενικά χαρακτηριστικά σύνταξης.

- ***Σημεία εισόδου-εξόδου***. Με στόχο τη διανομή του σημείου εισόδου στις υπηρεσίες του επιπέδου, στα ανώτερα και κατώτερα στρώματα, έχει σχεδιαστεί η κλάση `pxSapBase`, η οποία περιέχει την τομή όλων των συνόλων υπηρεσίας που αποτελούν τη στοίβα. Η κλάση αυτή διαθέτει μόνο μία μεταβλητή με την οποία δηλώνεται ο προορισμός του φακέλου αλληλογραφίας. Η μορφή του προορισμού δεν είναι διάφανη στα υπόλοιπα στρώματα της στοίβας. Η πρόσβαση σε αυτή, επιτυγχάνεται με την κλήση της συνάρτησης `ForwardEnvelope`. Αντίστοιχα, όπως η μορφή του προορισμού, έτσι και η μέθοδος αποθήκευσης είναι αδιάφανη για την πηγή αποστολής. Τα επίπεδα που υλοποιούνται οφείλουν να κληρονομούν από την εν λόγω κλάση και να εμπλουτίζουν το σημείο υπηρεσίας με τις απαραίτητες εντολές που πρέπει να εκτελούνται κατά την κλήση της συνάρτησης προώθησης. Τα σημεία εισόδου των ανώτερων και κατώτερων επιπέδων δηλώνονται ως δείκτες σε αντικείμενα της βασικής κλάσης και ενημερώνονται κατά τη φάση της δημιουργίας της στοίβας.

8.2.2.3 Ιεραρχημένο μοντέλο επικοινωνίας

Το μοντέλο που προτείνεται για την ταξινόμηση των μονάδων του επιπέδου μπορεί να εφαρμοστεί στη σχεδίαση και σύνδεση της πρωτοκολλικής στοίβας. Κάθε επίπεδο, το οποίο συμμετέχει στην αρχιτεκτονική, ανήκει ιεραρχικά στον πατέρα ***στοίβα***. Στο **σχήμα 8.12** τα παιδιά (πρωτόκολλα)



Σχήμα 8.12: Ιεραρχημένη στοίβα

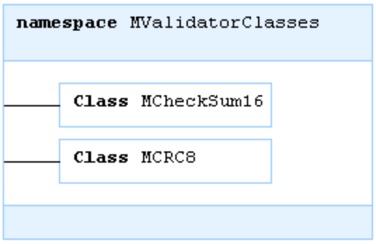
συνδέονται με τον πατέρα (στοίβα) ακολουθώντας τις ίδιες αρχές και κανόνες που έχουν περιγραφεί για την ιεράρχηση των μονάδων των επιπέδων. Η στοίβα, ως γνήσιος κληρονόμος της κλάσης `pxUnit`, συνδέει τα παιδιά μέσω των συναρτήσεων `CallMe`. Οι κανόνες επικοινωνίας μεταξύ των πρωτοκολλικών επιπέδων καθορίζονται στα δύο τελευταία πεδία της συνάρτησης. Η βιβλιοθήκη δεν προκαθορίζει τις εντολές και δεν υποχρεώνει στη χρήση κάποιας τυποποιημένης δομής. Η κλάση `pxSapEnv` αποτελεί μία ολοκληρωμένη λύση ανταλλαγής μηνυμάτων μεταξύ των πρωτοκόλλων, αλλά η χρήση της είναι εντελώς προαιρετική.

Η αρχιτεκτονική της στοίβας καταλύει την έννοια των σημείων σύνδεσης (***SAP***), όπως αυτά περιγράφονται προηγουμένως. Κάθε πρωτόκολλο που συμμετέχει στη διασύνδεση οφείλει να γνωρίζει τη θέση του στο στρώμα που εφαρμόζεται, καθώς και το βάθος του στρώματος της στοίβας. Οι δύο αυτές μεταβλητές καθορίζουν πλήρως το σκοπό εφαρμογής του πρωτοκόλλου στο μοντέλο OSI. Η μετάδοση των μηνυμάτων ή ερεθισμάτων πραγματοποιείται μέσω της στοίβας και προϋποθέτει την ύπαρξη των διευθύνσεων του αποστολέα και του παραλήπτη. Κάθε πρωτόκολλο αναλαμβάνει την προώθηση των μηνυμάτων που δέχεται από τις μονάδες—παιδιά, στους κατάλληλους παραλήπτες.

8.2.3 Έλεγχος των σφαλμάτων μετάδοσης

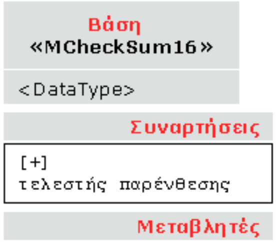
Η θεωρεία του ελέγχου σφαλμάτων κατά τη διαδικασία της μετάδοσης των δεδομένων έχει παρουσιαστεί σε προηγούμενο κεφάλαιο. Η βιβλιοθήκη παρουσιάζει δύο τύπους ελέγχου σφαλμάτων μετάδοσης: ***(α)*** τον έλεγχο αθροίσματος, και ***(β)*** τον κυκλικό έλεγχο πλεονασμού. Οι μέθοδοι υλοποιούνται στα πλαίσια του χώρου ***pxValidatorClasses*** (σχήμα **8.13**).

- ***Έλεγχος αθροίσματος***



Σχήμα 8.13: Χώρος κλάσεων ελέγχου σφαλμάτων μετάδοσης

Η κλάση `pxCheckSum16` πραγματοποιεί τον έλεγχο αθροίσματος χρησιμοποιώντας τον ακό-

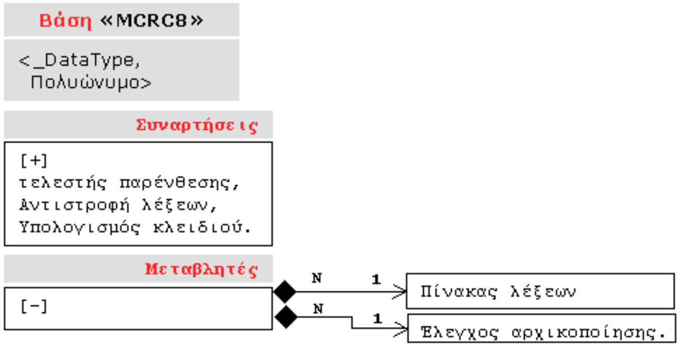


Σχήμα 8.14: Έλεγχος αθροίσματος

λουθο αλγόριθμο: ***(α)*** αθροίζονται όλα τα ζεύγη οκτάδων (16-`bits`) προσθέτοντας το κρατούμενο της πρόσθεσης στην 16-bit λέξη, και ***(β)*** το αποτέλεσμα εισάγεται σε μία λογική πύλη `NOT`, η έξοδος της οποίας δίνει τη λέξη που αντιπροσωπεύει τον έλεγχο του αθροίσματος. Η κλάση είναι σε θέση να δεχθεί δύο τύπους ακολουθιών δεδομένων. Στην πρώτη και πιο κλασσική περίπτωση, η ακολουθία δεδομένων αποτελεί τη διεύθυνση μίας χορδής 8-`bits` λέξεων. Στη δεύτερη περίπτωση, η ακολουθία δεδομένων αποτελεί τη διεύθυνση αντικειμένου τύπου πίνακα, ο οποίος παρέχει ασφαλέστερη πρόσβαση στα δεδομένα.

- CRC

  Η κλάση `pxCRC8` υλοποιεί τον αλγόριθμο για τον κυκλικό έλεγχο πλεονασμού. Τόσο ο αλγόριθμος που επεξεργάζεται τα δεδομένα, όσο και η χρήση της κλάσης διαθέτουν πολυπλοκότερο χαρακτήρα από την κλάση `pxCheckSum16`. Η γενική αρχή στηρίζεται στη διαίρεση πολυωνύμων. Ως διαιρετέο πολυώνυμο καθορίζεται το μήνυμα προς αποστολή (`byte stream`). Ο διαιρέτης είναι ένα πολυώνυμο $32^{ου}$ βαθμού και λέγεται ***λέξη κλειδί***. Το υπόλοιπο της διαίρεσης είναι ο αριθμός CRC, ο οποίος μεταδίδεται μαζί με το μήνυμα. Η κλάση χρησιμοποιεί την τεχνική των πρότυπων μεθόδων για τον καθορισμό του τύπου του μηνύματος (`byte stream` ή πίνακας οκτάδων) και την επιλογή του διαιρέτη πολυωνύμου. Οι πράξεις υπολογισμού των διαιρέσεων γίνονται στα όρια 8-`bit` ακεραίων. Λόγω του μικρού



Σχήμα 8.15: Κλάση κυκλικού ελέγχου πλεονασμού

εύρους των πιθανών ακεραίων που είναι δυνατό να περιλαμβάνονται σε ένα μήνυμα, η κλάση διατηρεί ένα πίνακα προκαθορισμένων τιμών για όλους τους ακεραίους που βρίσκονται στο διάστημα $0 \sim 255$. Η τεχνική αυτή επιταγχύνει τη διαδικασία υπολογισμού του CRC. Για όλα τα αντικείμενα που δημιουργούνται με τη χρήση κοινού τύπου δεδομένων και πολυωνύμου, χρησιμοποιείται ένας μόνο πίνακας προκαθορισμένων τιμών.

8.2.4 Συντακτικός αναλυτής

Η μετάδοση δεδομένων μεταξύ των επιπέδων των πρωτοκολλικών στοιβών αποτελεί μία γενική αρχή λειτουργίας των στρωμάτων. Το κεφάλαιο **Δομή Επιπέδου** περιγράφει αναλυτικά τις δύο παραμέτρους που διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην επεξεργασία των εισερχόμενων χορδών οκτάδων. Στο κεφάλαιο αυτό, θα αποδοθεί η σημασία και η πολυπλοκότητα του σχεδιασμού και της υλοποίησης συντακτικών αναλυτών[1] στη διάσταση των λογισμικών εφαρμογών. Ένας κοινός συντακτικός αναλυτής αποτελείται, σε γενικές γραμμές, από: *(α)* το λεξιλόγιο, και *(β)* το συντακτικό. Ο χαρακτήρας ενός κοινού συντακτικού αναλυτή μπορεί να παρομοιαστεί με τους μεταγλωττιστές των γλωσσών προγραμματισμού. Το πιο εύστοχο παράδειγμα παρομοίωσης είναι οι γλώσσες που χρησιμοποιούν διερμηνείς για την εκτέλεση του κώδικα (π.χ. `Perl`, `HTML`, `PHP`, `Python`, κ.λ.π.). Στις επόμενες παραγράφους θα περιγραφεί η γενική λειτουργία του συντακτικού αναλυτή του τυχαίου πρωτοκόλλου `X` και η αρχιτεκτονική των κλάσεων που υλοποιεί η βιβλιοθήκη για το σκοπό αυτό. Κατά την έλευση της τυχαίας ακολουθίας οκτάδων $Oct(n)$, όπου n το μήκος της χορδής, το επίπεδο πραγματοποιεί τις ακόλουθες ενέργειες:

1. Πιστοποιεί την ακεραιότητα των δεδομένων εφαρμόζοντας τεχνικές όπως CRC ή `Checksum`.

2. Πιστοποιεί το έγκυρο μήκος του μηνύματος για την αποφυγή προσβάσεων σε άκυρες θέσης μνήμης.

[1] parsers

3. Εφαρμόζει συντακτικό έλεγχο στα περιεχόμενα του $Oct(n)$.

4. Ανακτεί κρίσιμες πληροφορίες από την επικεφαλίδα του μηνύματος, όπως: *(α)* τον τύπο του πρωτοκόλλου, *(β)* τον αριθμό ταξινόμησης του μηνύματος, *(γ)* το μήκος του μηνύματος, *(δ)* την ταυτότητα σύνδεσης, κ.λ.π.

5. Επεξεργάζεται το σώμα του μηνύματος με σκόπο την ανάκτηση έγκυρων και εξειδικευμένων στοιχείων πληροφορίας.

Κάθε επίπεδο διαθέτει ένα συντακτικό αναλυτή, ο οποίος χαρακτηρίζεται από το πλήθος των μηνυμάτων, το πλήθος των στοιχείων πληροφορίας και το μέγεθος της πολυπλοκότητας που παρουσιάζει η εμφάνιση και διάταξη της πληροφορίας που μεταφέρει η χορδή. Κάθε έγκυρος συντακτικός αναλυτής αναλαμβάνει να εκτελέσει τις πιο πάνω απαριθμημένες λειτουργίες. Η βιβλιοθήκη υλοποιεί μία σειρά κλάσεων που επεξεργάζονται τα δεδομένα της χορδής και τα μεταφράζουν σε λογικές έννοιες.

Η βιβλιοθήκη εκμεταλλεύεται τα κοινά χαρακτηριστικά που διαθέτουν οι συντακτικοί αναλυτές των επιπέδων και προσφέρει μία συλλογή κλάσεων για την προδιαγραφή των συσχετίσεων των στοιχείων που αποτελούν τα μηνύματα των επιπέδων. Η υλοποίηση του πυρήνα του συντακτικού πραγματοποιείται από το χρήστη. Τα κοινά χαρακτηριστικά είναι:

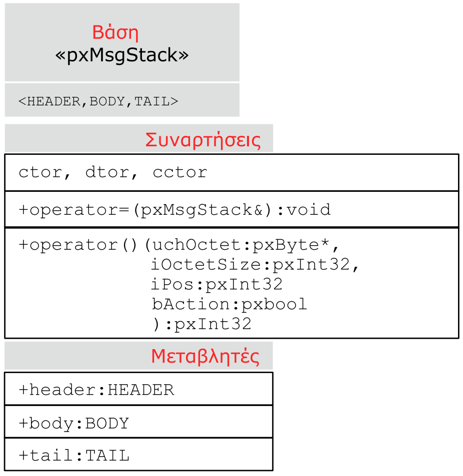
- Πιστοποίηση εγκυρότητας δεδομένων. Καθορίζεται η μέθοδος για τον έλεγχο των δεδομένων (`Checksum`, `CRC`, κ.λ.π.).

- Μετατροπή οκτάδων σε λογικές έννοιες. Η πληροφορία πρέπει να μεταφραστεί σε λογικές έννοιες, όπως: *(α)* οι διευθύνσεις, *(β)* οι αριθμοί ταξινόμησης, *(γ)* η ταυτότητα σύνδεσης, κ.λ.π.

- Κοινή σύνταξη των οκτάδων σε επικεφαλίδα και σώμα.

8.2.4.1 Οντότητα λογικού μηνύματος

Η κλάση `pxMsgStack` αποτελεί τη λογική οντότητα του μηνύματος. Λειτουργεί ως δοχείο συλλογής των κλάσεων: *(α)* της επικεφαλίδας, *(β)* του σώματος, και *(γ)* της ουράς. Διαθέτει συναρτήσεις για την αρχικοποίηση και τον τερματισμό των αντικειμένων, καθώς και τελεστές ανάθεσης και παρένθεσης. Η μετάφραση της χορδής οκτάδων σε λογικές δομές πληροφορίας πραγματοποιείται καλώντας τον τελεστή παρένθεσης με παραμέτρους: *(α)* τη χορδή, *(β)* τη θέση, *(γ)* το μήκος, και *(δ)* το είδος της ενέργειας. Η συνάρτηση καλεί, με τη σειρά, τους τελεστές παρένθεσης των οντοτήτων επικεφαλίδα, σώμα, ουρά. Η χρήση της τεχνικής πρότυπων κλάσεων προσδίδει στην κλάση `pxMsgStack` πολυμορφικό χαρακτήρα ως προς τον τύπο της δομής των στοιχείων πληροφορίας που την αποτελούν.



Σχήμα 8.16: Οντότητα μηνύματος

8.2.4.2 Επικεφαλίδα, σώμα, ουρά

Η πραγματική μετάφραση ολοκληρώνεται στις τρεις οντότητες `pxMsgHeader`, `pxMsgBody`, και `pxMsgTrail`. Οι τρεις αυτές κλάσεις ολοκληρώνουν τις βασικές λειτουργίες που θεωρούνται κοινές μεταξύ ομοίων οντοτήτων. Χαρακτηριστικό των τριών βασικών κλάσεων είναι η αδυναμία της στιγμιοτύπησης, καθώς διαθέτουν αμιγώς εικονικές συναρτήσεις. Οι ορισμοί του προτύπου OSI, όσον αφορά στη δομή της επικεφαλίδας και του σώματος των μηνυμάτων, επιτρέπουν τη χρήση προκαθορισμένων ομάδων πληροφορίας που αποθηκεύουν τα δεδομένα σε τυπικές δομές μεταβλητών. Τα περιεχόμενα έκαστης μητέρας κλάσης είναι:

- ***Επικεφαλίδα***
  - ***Χαρακτηριστικά.*** Η επικεφαλίδα των μηνυμάτων αποτελείται συνήθως από μικρού μήκους στοιχεία πληροφορίας. Το μήκος περιορίζεται στο ανώτερο μέγεθος των τεσσάρων οκτάδων. Για το λόγο αυτό, κρίνεται απολύτως επαρκές η χρήση ενός πίνακα ακέραιων τιμών για την αποθήκευση των περιεχομένων των στοιχείων.
  - ***Αναζήτηση στοιχείων.*** Η πληροφορία που περιέχει η επικεφαλίδα έχει συγκεκριμένη διάταξη και δομή για κάθε πρωτόκολλο. Η κλάση χρησιμοποιεί ένα στατικό (`static`) πίνακα εντολών, ο οποίος περιέχει τα βήματα (μήκος στοιχείων) που οφείλει να ακολουθήσει η μετάφραση μέχρι το τέλος της επικεφαλίδας.
- ***Σώμα***
  - ***Χαρακτηριστικά.*** Το σώμα παρουσιάζει συγκεκριμένες ιδιαιτερότητες όσον αφορά στη δομή των στοιχείων πληροφορίας. Διακρίνοντας τα στοιχεία σε δύο μεγάλες ομάδες και λαμβάνοντας υπόψιν τη συχνότητα εμφάνισης, καθορίζονται δύο πίνακες μεγέθους

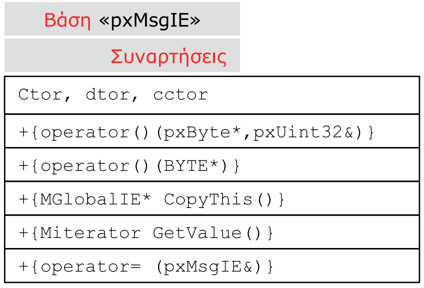
οκτώ και διακοσίων πενήντα έξι θέσεων, αντίστοιχα, για την αποθήκευση δεικτών σε κομμάτια μνήμης στα οποία αποθηκεύονται τα περιεχόμενα των στοιχείων.

- ***Αναζήτηση στοιχείων.*** Η αναζήτηση στοιχείων που διαθέτουν προκαθορισμένη θέση στη χορδή, πραγματοποιείται με την τεχνική που χρησιμοποιεί η επικεφαλίδα. Η αναζήτηση για στοιχεία που διαθέτουν ταυτότητα και δύναται να βρίσκονται σε τυχαία θέση, πραγματοποιείται με δύο τρόπους: ***(α)*** την πλήρη ανάπτυξη σε κώδικα των πιθανών καταστάσεων που εμφανίζονται ανά μήνυμα, και ***(β)*** τη διατήρηση πίνακα βημάτων για τα στοιχεία που δεν διαθέτουν ταυτότητα, και ενός πολυμορφικού πίνακα στοιχείων πληροφορίας, όπου το κάθε ένα στοιχείο φροντίζει για την έγκυρη μετάφραση.

Για την σωστή χρήση της βιβλιοθήκης απαιτείται όπως πρώτα ο συντακτικός αναλυτής κληρονομήσει χαρακτηριστικά από τη μητέρα κλάση, και δεύτερο όπως υλοποίησει την ακολουθία ανάκτησης των δεδομένων από τη χορδή. Η βιβλιοθήκη προσφέρει τις επικεφαλίδες και τα σώματα που έχουν υλοποιηθεί στην πιλοτική εφαρμογή. Κάθε καινούρια μονάδα μετάφρασης πρέπει να ακολουθεί τους κανόνες της βιβλιοθήκης και να εισάγεται στους κατάλληλους χώρους. Προσφέρεται, επίσης, όπως θα παρουσιαστεί στην επόμενη ενότητα, μία συλλογή κλάσεων στοιχείων πληροφορίας, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν άμεσα ή να κληρονομηθούν σε καινούριες υλοποιήσεις.

8.2.4.3 Στοιχείο πληροφορίας

Το μέγεθος της πολυπλοκότητας και της διαφορετικότητας που εμφανίζει η οικογένεια των στοιχείων πληροφορίας, αποθαρρύνει κάθε προσπάθεια σχεδίασης μίας μορφής κλάσης τόσο γενικής ώστε να καλύπτει κάθε επιθυμητή εφαρμογή. Η βιβλιοθήκη προσφέρει μία συλλογή από κλάσεις οι οποίες απευθύνονται σε ειδικές κατηγορίες στοιχείων και διαθέτουν κοινές συναρτήσεις μέσω διασυνδέσεων. Αν τοποθετήσουμε όλα τα υπαρκτά στοιχεία πληροφορίας που έχουν τυποποιηθεί κατά OSI σε σύνολα, τότε είναι απαραίτητη η ύπαρξη μίας μή μηδενικής τομής των συνόλων, η οποία θα χρησιμεύσει ως σημείο αναφοράς για τη σχεδίαση. Η κλάση `pxMsgIE` καθορίζεται ως η τομή του συνόλου, και χρησιμοποιείται ως διεπαφή για την πρόσβαση στις μεθόδους των κληρονόμων κλάσεων. Οι δύο πρώτες συναρτήσεις του **σχήματος 8.17** χρησιμεύουν, αντίστοιχα, στη σύνθεση του στοιχείου από τη χορδή και στην αντιγραφή του στοιχείου σε χορδή οκτάδων. Η συνάρτηση `GetValue` παρέχει πρόσβαση στα δεδομένα του στοιχείου και η συνάρτηση `CopyThis` δημιουργεί ένα αντίγραφο του τυχαίου στοιχείου επιστρέφοντας το δείκτη στο αντικείμενο αυτό. Κάθε καινούριο στοιχείο οφείλει να κληρονομεί από αυτή την αφαιρετική κλάση, και να υλοποιεί τις απαραίτητες συναρτήσεις. Η βιβλιοθήκη προσφέρει, επίσης, μία συλλογή από κλάσεις που μπορούν να χρησιμοποιηθούν άμεσα για την υλοποίηση σωμάτων μηνυμάτων όπως, για παράδειγμα, η κλάση `pxTlvIe`, η οποία διατηρεί πληροφορία σταθερής στοίχησης (8 bit, 16 bit, 32 bit) και είναι ικανή να μεταφράσει όλες τις μορφές στοιχείων (**T**ype-**V**alue-**L**ength (TLV), Type-Value, Value).



Σχήμα 8.17: Στοιχείο πληροφορίας

8.2.4.4 Συντακτικός αναλυτής

Η δομή που εφαρμόζεται όσον αφορά στα μηνύματα και τα στοιχεία πληροφορίας, απλοποιεί και μειώνει δραστικά τις λειτουργίες του μεταφραστή. Η ενισχυμένη πολυπλοκότητα που χαρακτηρίζει την οντότητα έχει μεταφερθεί στις κλάσεις που περιέχει. Η χρήση του συντακτικού αναλυτή δε, απαιτεί τη δήλωση και τον καθορισμό των ακόλουθων παραμέτρων: ***(α)*** του τύπου κλάσης ελέγχου εγκυρότητας δεδομένων, και ***(β)*** του τύπου μηνύματος, το οποίο περιλαμβάνει τις μονάδες επικεφαλίδα, σώμα, ουρά. Η ταχύτητα της εκτέλεσης της μετάφρασης είναι ανεξάρτητη της κλάσης. Η αναβάθμιση και η εξέλιξη της διαδικασίας μετάφρασης εντοπίζεται αποκλειστικά στις οντότητες που αποτελούν την κλάση, και στην πολυπλοκότητα του συντακτικού και της γραμματικής του κάθε πρωτοκόλλου.

8.2.5 Μηχανές ελέγχου του επιπέδου

8.2.5.1 Μηχανές πεπερασμένων καταστάσεων

Τα πρωτοκολλικά επίπεδα, όπως τα περισσότερα συστήματα, κατά τη διάρκεια εκτέλεσής τους στα πλαίσια των πρωτοκολλικών στοιβών δέχονται αρκετά ερεθίσματα και μηνύματα (σήματα) από τα περιβάλλοντα επίπεδα, τη στοίβα ή τις ομότιμες οντότητες των διεπιφανειών με τις οποίες συνδέονται. Τα σήματα αυτά, όταν λαμβάνονται από τα επίπεδα, επεξεργάζονται και, ανάλογα της κατάστασης του επιπέδου, προκαλούν την εκκίνηση κάποιας ενέργειας ή και την αλλαγή της κατάστασης του επιπέδου.

Οι μηχανές που διαχειρίζονται τόσο τα σήματα, όσο και την κατάσταση των παραληπτών των σημάτων αυτών, ονομάζονται FSM. Η θεωρεία των FSMς στηρίζεται στις δύο βασικές αναλύσεις περί μηχανών μετάβασης: ***(α)*** τη μηχανή του **Moore** [23], και ***(β)*** τη μηχανή του **Mealy** [24]. Οι δύο αυτές τεχνικές ανήκουν στην κλάση των μορφοτροπέων[2] και, σε αντίθεση με την κλάση των παραληπτών[3], επιτρέπουν την εκκίνηση κάποιας ενέργειας, η οποία επιλέγεται με βάση το σήμα

[2] transducers
[3] acceptors

εισόδου και την κατάσταση της μηχανής. Η διαφορά των δύο μηχανών βρίσκεται στη μέθοδο επιλογής της ενέργειας. Στη μηχανή του Moore η ενέργεια επιλέγεται βάση της κατάστασης της μηχανής, ενώ στη μηχανή του Mealy η ενέργεια επιλέγεται βάση ***(α)*** της κατάστασης, και ***(β)*** του εισερχόμενου σήματος.

Το μαθηματικό μοντέλο που καθορίζεται για την κλάση των μορφοτροπέων δίνεται από το σύνολο `<Σ,Γ,S,s0,δ,ω>`. Τα περιεχόμενα του συνόλου περιγράφονται ως:

- ***Σ***. Περιγράφει το σύνολο των πιθανών σημάτων εισόδου.
- ***Γ***. Περιγράφει το σύνολο των πιθανών ενεργειών.
- ***S***. Αποτελεί το σύνολο των πιθανών καταστάσεων.
- ***s0***. Προσδιορίζει την αρχική κατάσταση της μηχανής.
- ***δ***. Καθορίζει τη συνάρτηση μετάβασης καταστάσεων.
- ***ω***. Προσδιορίζει τη συνάρτηση εξόδου.

Στην περίπτωση όπου η συνάρτηση εξόδου προσδιορίζεται μόνο από την κατάσταση της μηχανής, τότε το πιο πάνω μοντέλο περιγράφει τη μηχανή Moore. Στην περίπτωση όπου η συνάρτηση εξόδου προσδιορίζεται από την κατάσταση της μηχανής και το σήμα εισόδου, τότε το πιο πάνω μοντέλο περιγράφει τη μηχανή Mealy.

Στα συστήματα λογισμικού χρησιμοποιούνται κυρίως οι ακόλουθες τρεις αντιλήψεις των FSMς:

- ***Μηχανές οδηγούμενες από γεγονότα***[4]. Αποτελούν μηχανές πεπερασμένων καταστάσεων των οποίων τα σήματα εισόδου, αν δεν επεξεργαστούν άμεσα, οδηγούνται σε απώλειες των σημάτων αυτών. Η εφαρμογή τους σε πολύπλοκα συστήματα δημιουργεί ένα αρκετά σοβαρό πρόβλημα λόγω της επανάληψης των μονοπατιών των καταστάσεων για κάθε πιθανό σήμα εισόδου. Χρησιμοποιούν πίνακες μετάβασης καταστάσεων για τον καθορισμό της μηχανής πεπερασμένων καταστάσεων. Η τεχνική αυτή εφαρμόζεται κυρίως στην υλοποίηση συντακτικών αναλυτών.

- ***Εικονικές μηχανές***[5]. Ορίζονται σε ένα πλήρως εικονικό περιβάλλον. Αποτελεί μία μεθοδολογία προδιαγραφής λογισμικού, η οποία χρησιμοποιείται για την περιγραφή συστημάτων ελέγχου. Για την περιγραφή των συστημάτων, χρησιμοποιούνται λογικά ονόματα, τα οποία ανατίθονται στα χαρακτηριστικά ελέγχου εισόδου και στις ενέργειες εξόδου.

- ***Γλώσσα προδιαγραφής και τυποποίησης*** SDL. Η συγκεκριμένη μέθοδος τυποποίησης είναι ευρέως διαδεδομένη στην προδιαγραφή πρωτοκόλλων και συστημάτων επικοινωνιών. Αρκετά από τα πρωτόκολλα που ακολουθούν το πρότυπο OSI έχουν προδιαγραφεί με τη μέθοδο

[4] event-driven state machines

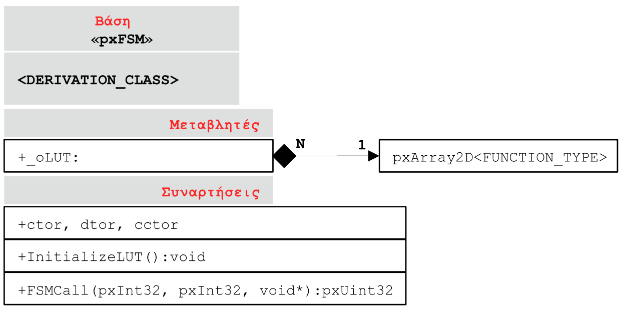
[5] virtual finite state machines

SDL. Η μέθοδος αυτή είναι αρκετά περιγραφική και χρησιμοποιεί γραφικές αναπαραστάσεις στη σχεδίαση προτύπων.

Η βιβλιοθήκη υλοποιεί τα αναγκαία εργαλεία για τη σχεδίαση μηχανών καταστάσεων, τα οποία μπορούν να εφαρμοστούν στα επίπεδα, στις μονάδες των επιπέδων ή στα θεματικά στοιχεία. Η σχεδίαση των εργαλείων ικανοποιεί τις αρχές της βιβλιοθήκης όσον αφορά στον αντικειμενοστρεφή προγραμματισμό, στην επαναχρηστικότητα των εργαλείων, την απόκρυψη της πολυπλοκότητας και, τέλος, την αφαιρετικότητα της σχεδίασης.

8.2.5.2 Βασική κλάση σχεδίασης

Η βιβλιοθήκη ορίζει τα χαρακτηριστικά και τις μεθόδους μίας πρότυπης και αφαιρετικής κλάσης, η οποία χρησιμοποιείται ως βάση για τη σχεδίαση εργαλείων ή μονάδων που υλοποιούν ελέγχους με βάση την κατάσταση των μονάδων, καθώς και τα σήματα εισόδου. Η υλοποίηση των εργαλείων πραγματοποιείται με τη βοήθεια της κλάσης `pxFSM` και ενός συνόλου τυποποιημένων ορισμών και δηλώσεων για τη δημιουργία τόσο της κληρονόμου κλάσης, όσο και των συσχετίσεων μεταξύ των καταστάσεων, των σημάτων εισόδου-εξόδου, και των ενεργειών της κλάσης αυτής. Η κλάση `pxFSM`, της οποίας τα χαρακτηριστικά και οι μέθοδοι παρουσιάζονται στο **σχήμα 8.18**, χρησιμοποιείται ως βάση από όλες τις κλάσεις οι οποίες υλοποιούν μηχανές πεπερασμένων καταστάσεων. Διαθέτει ένα πίνακα δύο διαστάσεων, ο οποίος χρησιμεύει ως πίνακας αναζήτησης μεταπτώσεων[6].



Σχήμα 8.18: Δηλώσεις και ορισμοί της κλάσης `pxFSM`

Οι μεταπτώσεις καθορίζονται ως συσχετίσεις μεταξύ των σημάτων εισόδου και των πιθανών καταστάσεων του αντικειμένου (Mealy machine). Κάθε στοιχείο του πίνακα αποτελείται από μία δυάδα παραμέτρων, οι οποίες ορίζουν: *(α)* τη συνάρτηση μετάπτωσης, και *(β)* την επόμενη κατάσταση του αντικειμένου. Η διαδικασία πραγματοποιείται με την κλήση της συνάρτησης `FSMCall`.

8.2.5.3 Ορισμοί και δηλώσεις

Η κληρονόμος κλάση δηλώνεται χρησιμοποιώντας μία σχετικά απλή σύνταξη της μορφής:

[6] Look-Up-Table

```
/*
*/
class DerivedClass: public pxFSM<DerivedClass>;
/*
*/
```

Οι δηλώσεις των ονομάτων που αφορούν στις εισόδους, στις καταστάσεις και στις εξόδους επιτυγχάνονται με τη σύνταξη ορισμών. Οι ορισμοί αυτοί παρέχουν πλεονεκτήματα, όπως: ***(α)*** την εύκολη σύνταξη, ***(β)*** το μετασχηματισμό των λογικών δηλώσεων σε γλώσσα προγραμματισμού, και ***(γ)*** τον έλεγχο της πιστότητας και της ακεραιότητας των συσχετίσεων. Οι ορισμοί διακρίνονται στις ακόλουθες κατηγορίες:

- ***Δηλώσεις σημάτων εισόδου και καταστάσεων***. Δηλώνεται το μέγιστο αναγνωριστικό του συνόλου των σημάτων εισόδου και των καταστάσεων (**σχήμα 8.19**). Ακολούθως, δηλώνονται τα ονόματα και τα αναγνωριστικά των σημάτων και των καταστάσεων.

```
DECLARE_INPUT_LIST(CLASS_NAME,MAX_SIGNAL_ID)
    SET(INPUT_NAME_A, INPUT_ID_A),
    SET(INPUT_NAME_B, INPUT_ID_B),
    ...
END_INPUT_LIST
```

```
DECLARE_STATE_LIST(CLASS_NAME,MAX_STATE_ID)
    SET(STATE_NAME_A, STATE_ID_A),
    SET(STATE_NAME_B, STATE_ID_B),
    ...
END_STATE_LIST
```

Σχήμα 8.19: Δηλώσεις ονομάτων και ορισμοί αναγνωριστικών όσον αφορά στα σήματα εισόδου και στις πιθανές καταστάσεις

- ***Δηλώσεις συναρτήσεων εξόδου***. Η δήλωση των συναρτήσεων πραγματοποιείται εισάγοντας τον ορισμό `DECLARE_TRANSITION_FUNCTION(NAME)` στο αρχείο δηλώσεων της αντίστοιχης κλάσης. Η υλοποίηση του σώματος της συνάρτησης επιτυγχάνεται με την εισαγωγή στο αρχείο υλοποίησης των ορισμών (**σχήμα 8.20**). Οι συναρτήσεις που δηλώνονται και υλο-

```
IMP_TRANSITION_FUNCTION(CLASS,NAME)
    // ACTIONS UPON EXECUTION
    // uiNEXTSTATE defines the next transition
    // state in normal execution.
    // uiINPUTSIGNAL defines the signal that triggered
    // the execution of this function.
    // uiRETURNCODE defines the return code in normal execution.
    // pArg declares a general input reference.
END_TRANSITION_FUNCTION
```

Σχήμα 8.20: Δηλώσεις συναρτήσεων μετάπτωσης κατάστασης ποιούνται με την τεχνική αυτή ενθυλακώνουν τις υπηρεσίες που παρέχονται από την κλάση `pxFSM`, όσον αφορά στους ελέγχους εγκυρότητας και πιστότητας των δηλώσεων.

- ***Δηλώσεις του πίνακα μεταπτώσεων***. Η συσχέτιση των καταστάσεων και των σημάτων εισόδου με τις συναρτήσεις μετάπτωσης πραγματοποιείται με τους ορισμούς που απεικονίζονται στο **σχήμα 8.21**.

```
LOOKUPTABLE(CLASS)
      ADD_STATE_SIGNAL_ASSOC(STATE_NAME,INPUT_NAME,TRANS_NAME,NEXT_STATE)
      ...
END_LOOKUPTABLE
```

Σχήμα 8.21: Συσχέτιση σημάτων εισόδου και καταστάσεων

Η χρήση των δηλώσεων της κλάσης, καθώς και των ορισμών που παρέχονται από αυτήν, προστατεύουν τη σχεδίαση των λογισμικών μονάδων και εργαλείων από απροσδιόριστες καταστάσεις και εσφαλμένες συσχετίσεις. Ο χρόνος απόκρισης της διαδικασίας ταύτισης σημάτων σε σχέση με την κατάσταση διαρκεί ελάχιστα, ικανοποιώντας με τον τρόπο αυτό την ανάγκη για τη βέλτιστη σχεδίαση συστημάτων.

8.2.6 Συμπληρωματικά εργαλεία του επιπέδου

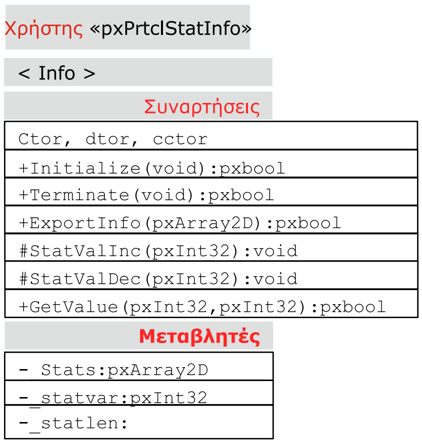
Στις προηγούμενες παραγράφους έγινε αναφορά στα βασικά εργαλεία που αποτελούν ένα επίπεδο. Η βιβλιοθήκη θα ήταν ανεπαρκής εάν περιοριζόταν στη σχεδίαση αφαιρετικών κλάσεων που αφορούν μόνο τα βασικά στοιχεία του πρωτοκόλλου. Η εφαρμογή ενός πρωτοκολλικού επιπέδου σε πραγματικά δίκτυα επικοινωνιών, προϋποθέτει την εξονυχιστική διερεύνηση της εγκυρότητας των διαδικασιών που υλοποιεί για την παροχή υπηρεσίας στα ανώτερα στρώματα. Τη φάση της σχεδίασης και υλοποίησης ακολουθεί η φάση ελέγχου και της αποτίμησης της υπηρεσίας. Η εξακρίβωση των λειτουργιών του πρωτοκόλλου πραγματοποιείται με δύο τρόπους: ***(α)*** την παρακολούθηση εσωτερικής κατάστασης του επιπέδου κατά την εκτέλεση κάποιου σεναρίου, και ***(β)*** την επεξεργασία της καταγραφόμενης πληροφορίας με το πέρας της εκτέλεσης του σεναρίου.

- Κατά τη φάση εκτέλεσης του σεναρίου, η πορεία της εσωτερικής λειτουργίας του επιπέδου παραμένει άγνωστη, με αποτέλεσμα να δυσχεραίνεται η παρακολούθηση πιθανών λαθών των μηχανών κατάστασης, συντακτικών αναλυτών ή και οποιασδήποτε άλλης μονάδας ή εργαλείου που χρησιμοποιεί το επίπεδο. Ο σκόπελος αυτός αποφεύγεται με τη χρήση ενός συμπληρωματικού εργαλείου καταγραφής στατιστικών μεγεθών. Το εργαλείο πρέπει να προσφέρει τις υπηρεσίες του σε όλες τις βασικές οντότητες που αποτελούν το πρωτόκολλο. Οφείλει, επίσης, να διαθέτει τις κατάλληλες διασυνδέσεις για την εξαγωγή των καταγραφόμενων τιμών και την προώθηση τους σε κάποιο απεικονιστικό μέσο. Οι λειτουργίες του εργαλείου υλοποιούνται από την κλάση `pxStatInfo`.

- Κάθε πρωτόκολλο καταγράφει, εκτός από τα στατιστικά μεγέθη, χρήσιμες πληροφορίες για την κίνηση των μηνυμάτων και ερεθισμάτων που δέχεται ή αποστέλλει σε προεπιλεγμένα αρχεία. Τα αρχεία αυτά χρησιμοποιούνται από τους μηχανικούς τηλεπικοινωνιών για την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων όσον αφορά στην ορθή λειτουργία των επί μέρους μονάδων και εργαλείων του επιπέδου. Οι λειτουργίες του εργαλείου υλοποιούνται από την κλάση pxLogger.

8.2.6.1 Στατιστικές μετρήσεις

Η μονάδα καταγραφής στατιστικών μετρήσεων κατατάσσεται στα συμπληρωματικά εργαλεία λόγω της μικρής κρισιμότητας της ύπαρξής της σε ένα πρωτοκολλικό επίπεδο. Χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση βασικών ποσοτήτων του επιπέδου. Η λειτουργία της δεν επηρεάζει τις εσωτερικές διαδικασίες του επιπέδου, παρά μόνο προσφέρει μία εικόνα της εσωτερικής κατάστασης του πρωτοκόλλου. Για παράδειγμα, μπορεί να καταγράφει τη στιγμή ενεργοποίησης ή κατάργησης μίας σύνδεσης, την άφιξη μηνυμάτων συγχρονισμού ή τη διάθεση κάποιας υπηρεσίας σε ανώτερο ή κατώτερο στρώμα. Η κλάση αυτή ολοκληρώνεται με τη χρήση κάποιου εργαλείου απεικόνισης προσφέροντας στο χρήστη μία οπτική μέθοδο παρακολούθησης των παραμέτρων του επιπέδου. Στο



Σχήμα 8.22: Μονάδα στατιστικών

σχήμα 8.22 παρουσιάζονται οι συναρτήσεις και οι μεταβλητές της εν λόγου κλάσης.

- *Μεταβλητές*
  - Η κλάση αποτελείται απο ένα πίνακα δύο διαστάσεων τύπου **pxArray2D**. Το πλήθος των στηλών και γραμμών του πίνακα δεν είναι προκαθορισμένο και μπορεί να οριστεί είτε κατά τη δημιουργία του αντικειμένου, είτε δυναμικά σε κάποιο άλλο σημείο του προγράμματος. Οι μεταβλητές που καθορίζουν το μέγεθος του πίνακα είναι οι προστατευόμενες ποσότητες της κλάσης. Οι γραμμές του πίνακα αφορούν στις ποσότητες που έχουν

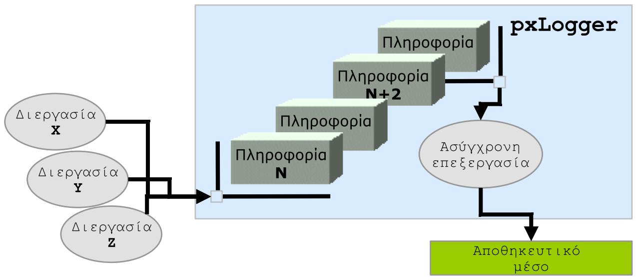
καθοριστεί από το χρήστη στο κανάλι εισόδου, εξόδου ή σε κάποιο άλλο τυχαίο κανάλι που απασχολείται από τις λογικές λειτουργίες του επιπέδου. Αντίστοιχα, το πλήθος των στηλών υποδηλώνει το μέγεθος της διάστασης των ποσοτήτων καταγραφής. Τα μεγέθη αυτά διαφοροποιούνται ανάλογα με το πρωτόκολλο και το είδος της εφαρμογής.

- ***Συναρτήσεις***
  - `Initialize`. Στην περίπτωση που το αντικείμενο δεν έχει αρχικοποιηθεί σε κάποιο συγκεκριμένο μέγεθος πίνακα, η κλήση της συνάρτησης, με παραμέτρους το πλήθος των στηλών και γραμμών, δημιουργεί τον απαραίτητο χώρο, έτσι ώστε να είναι σε θέση να φιλοξενήσει το πλήθος των καναλιών και των ποσοτήτων που καθορίζονται από το χρήστη.
  - `StatValInc, StatValDec`. Όπως έχει αναφερθεί προηγουμένως, οι λειτουργίες του εργαλείου χρησιμοποιούνται απο περισσότερα του ενός παιδιά του επιπέδου. Η πρόσβαση στις μεταβλητές του αντικειμένου πραγματοποιείται μέσω συναρτήσεων. Με τον τρόπο αυτό, προστατεύονται τα περιεχόμενα απο ταυτόχρονες μεταβολές που υφίστανται από διαφορετικές νηματικές διεργασίες. Η αύξηση ή μείωση κάποιας ποσότητας ενός τυχαίου καναλιού πραγματοποιείται με την αντίστοιχη κλήση των πιο πάνω συναρτήσεων.
  - `ExportInfo`. Για τη λειτουργία του προγράμματος κρίνεται απαραίτητη η χρήση απεικονιστικών μεθόδων για την παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο των ποσοτήτων που καταγράφονται από το εργαλείο. Η κλήση της συνάρτησης έχει ως αποτέλεσμα την εξαγωγή των περιεχομένων του πίνακα καταγραφής.
  - `GetValue`. Κατά τη λειτουργία του επιπέδου, είναι συχνή η ανάγκη παρακολούθησης μίας συγκεκριμένης ποσότητας η οποία επηρεάζει τη λήψη αποφάσεων. Η συνάρτηση αυτή επιτρέπει την πρόσβαση στο τυχαίο κανάλι και την ανάκτηση της τιμής μίας τυχαίας ποσότητας.

Λόγω της συχνής χρήσης των λειτουργιών της κλάσης, οι συναρτήσεις της οφείλουν να εκτελούνται ταχύτατα. Το μέγεθος έκαστης συνάρτησης σε εντολές είναι αρκετά μικρό, έτσι ώστε να είναι δυνατή η εισαγωγή των περιεχομένων της στο σημείο κλήσης της. Η πρόσβαση στις λειτουργίες της γίνεται μέσω των συναρτήσεων διασύνδεσης του εργαλείου. Ο τύπος της μεταβλητής εισόδου/εξόδου διαφοροποιείται ανάλογα με τον κωδικό κλήσης. Οι κωδικοί πρόσβασης καθορίζονται στο αρχείο ορισμού της κλάσης. Κάθε πιθανή μονάδα, η οποία επιθυμεί την πρόσβαση στις λειτουργίες της κλάσης, οφείλει να έχει πλήρη γνώση των κωδικών κλήσης, καθώς και του τρόπου διαφοροποίησης των μεταβλητών εισόδου/εξόδου. Οι λειτουργίες του εργαλείου μπορούν εύκολα να επεκταθούν, με σκοπό την αποθήκευση των περιεχομένων του πίνακα σε αρχεία καταγραφής, ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Τα αρχεία αυτά θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν μετά το πέρας της προσομοίωσης σε κατάλληλες μεθόδους επεξεργασίας δεδομένων, με σκοπό την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων που αφορούν στις εσωτερικές λειτουργίες του επιπέδου.

8.2.6.2 Καταγραφή μηνυμάτων

Τα αρχεία καταγραφής των μεταδιδόμενων οκτάδων επεξεργάζονται διεξοδικά για την αποτίμηση του αποτελέσματος της εκτέλεσης των διεργασιών. Συνεπώς, στη φάση πιστοποίησης, κρίνεται απαραίτητη η ύπαρξη της μονάδας καταγραφής μηνυμάτων. Στο **σχήμα 8.23** παρουσιάζεται ένα



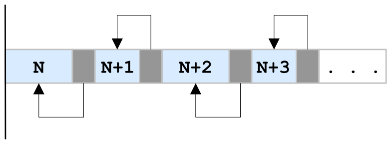
Σχήμα 8.23: Μονάδα καταγραφής μηνυμάτων

γενικό μοντέλο σχεδίασης της μονάδας καταγραφής μηνυμάτων. Η πρόσβαση στις υπηρεσίες εργαλείου πραγματοποιείται απο πολλαπλά σημεία. Η πρόσβαση αυτή έχει ως σκοπό την εισαγωγή στοιχείων πληροφορίας στις ουρές εξυπηρέτησης του αντικειμένου. Το εργαλείο μέσω ασύγχρονων διαδικασιών επεξεργάζεται τις ουρές και αποθηκεύει τα στοιχεία σε αρχεία. Η πληροφορία που αποθηκεύεται αφορά σε μηνύματα εισόδου/εξόδου, λογικές ενέργειες, χρόνους απόκρισης, κ.λ.π. Λόγω του πεπερασμένου χώρου αποθήκευσης, τα περιεχόμενα κάθε στοιχείου οφείλουν να είναι συνεκτικά διατηρώντας, παράλληλα, όλες τις πολύτιμες παραμέτρους προς καταγραφή. Η διαδικασία της συγκομιδής των στοιχείων και η αποθήκευσή τους δεν πρέπει να επιβαρύνουν το σύστημα και τις εσωτερικές διαδικασίες του επιπέδου με χρονικές καθυστερήσεις που θα είχαν ως αποτέλεσμα την εσφαλμένη εκτίμηση των σηματοδοτικών αποκρίσεων. Τα βασικά συστατικά για τη σχεδίαση του εργαλείου θα αναλυθούν στις επόμενες παραγράφους. Κάθε μικρό κομμάτι δόμησης στηρίζεται στις αρχές που έχει ορίσει η βιβλιοθήκη και αφορούν στην πολυμορφικότητα, ταχεία εκτέλεση, προστασία μεταβλητών και οικονομία χώρου.

- ***Επικεφαλίδα***. Τα αρχεία αποθήκευσης έχουν δυαδική μορφή με σκοπό την εξοικονόμηση χώρου. Η χρήση τέτοιας μορφής αρχείων υποχρεώνει την ύπαρξη επικεφαλίδων, οι οποίες διατηρούν πολύτιμες πληροφορίες για τη μετέπειτα πλοήγηση σε αυτά. Η επικεφαλίδα που προτείνεται από τη βιβλιοθήκη συντίθεται από μεταβλητές, όπως: ***(α)*** ο τίτλος αρχείου, ***(β)*** ο τύπος πρωτοκόλλου, ***(γ)*** ο χρόνος δημιουργίας, ***(δ)*** το πλήθος των κόμβων, ***(ϵ)*** η θέση πρώτης εγγραφής, ***(στ)*** η ταυτότητα σεναρίου, και ***(ζ)*** η ημερομηνία δημιουργίας. Στο **σχήμα 8.24** παρουσιάζεται η διάταξη των στοιχείων της επικεφαλίδας, καθώς και ο σκελετός

Σχήμα 8.24: Βασική δομή αρχείου

του σώματος Η επικεφαλίδα δημιουργείται κατά την αρχικοποίηση του αρχείου και τα πεδία της ενημερώνονται κατά τη στιγμή της αποθήκευσης.



Σχήμα 8.25: Δομή σώματος αρχείου καταχώρησης

- ***Σώμα***. Το σώμα του αρχείου διατηρεί την απλή γραμμική δομή σύνδεσης στοιχείων πληροφορίας (**σχήμα 8.25**). Το τερματικό σημείο του κόμβου περιέχει πληροφορία για την αρχή. Με την τεχνική αυτή, επιτρέπεται η σειριακή ολίσθηση προς τα πίσω κατά τη φάση μετάφρασης των δυαδικών στοιχείων σε λογικές έννοιες. Η μορφή του κόμβου δεν είναι προκαθορισμένη. Ο τύπος του κόμβου καθορίζεται κατά τη φάση της μεταγλώττισης. Η μονάδα γνωρίζει μόνο το μέγεθος του κόμβου, καθώς και τη δυαδική μορφή των περιεχομένων αυτού. Κατά τη φάση της αποθήκευσης, αποτυπώνει στο αρχείο το απαραίτητο πλήθος δυαδικών στοιχείων και προσθέτει στο τέλος του κόμβου τη διεύθυνση της αρχής.

- ***Στοιχείο πληροφορίας***. Ο πολυμορφισμός της μονάδας εκφράζεται μέσω του στοιχείου πληροφορίας. Η κλάση του στοιχείου περιορίζεται μόνο από δύο παραμέτρους: ***(α)*** κάθε κλάση στοιχείου οφείλει να υλοποιεί μία συνάρτηση με όνομα `GetNodeInfo`, με παράμετρο εισόδου και επιστροφή σε ακέραια μεταβλητή, και ***(β)*** να διαθέτει μία δομή ονόματος `_info`, της οποίας το πρώτο στοιχείο να δηλώνει το μήκος της οφέλιμης πληροφορίας. Η υπόλοιπη μορφή της κλάσης και της περιεχόμενης δομής είναι αδιάφορη για το εργαλείο. Η τεχνική αυτή προσφέρει ένα πλήρως ορισμένο εργαλείο καταγραφής μηνυμάτων, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μία ευρεία κλίμακα εφαρμογών χωρίς την ανάγκη προσαρμογής επιπλέον παραμέτρων.

Οι εσωτερικές διαδικασίες του εργαλείου έχουν σχεδιαστεί με σκοπό τη μείωση του χρόνου δέσμευσης και αποδέσμευσης μνήμης του συστήματος, και είναι προσανατολισμένες στην ασύγχρονη μέθοδο αποθήκευσης των κόμβων. Η χρονική καθυστέρηση που εισάγεται από τη διαδικασία αποθήκευσης πρέπει να περιορίζεται, έτσι ώστε να μην επηρεάζει την αποδοτικότητα του επιπέδου. Τα πλεονεκτήματα που προσφέρονται από τη χρήση της μονάδας γίνονται περισσότερο διακριτά καθώς ο ρυθμός άφιξης και αποστολής μηνυμάτων αυξάνεται. Η κλάση δεν κληρονομεί από την ***pxUnit***. Ο λόγος έγκειται στο γεγονός ότι χρησιμοποιείται μόνο κατά την άφιξη ή αναχώρηση κάποιου μηνύματος ή ερεθίσματος. Επομένως, το πρωτόκολλο που υλοποιείται οφείλει να ολοκληρώνει τις απαραίτητες διαδικασίες για τη χρήση των υπηρεσιών της κλάσης. Υπάρχει, επίσης, η δυνατότητα να δηλωθεί μία καινούρια κλάση για την καταγραφή των μηνυμάτων, η οποία θα κληρονομεί τόσο από την ***pxUnit***, όσο και από την ***pxLogger*** με σκοπό να μπορεί να συμμετάσχει στη δεντρική διασύνδεση που χαρακτηρίζει το επίπεδο και τις μονάδες του. Τα σημαντικότερα στοιχεία και λειτουργίες της κλάσης συνοψίζονται σε:

- ***Μεταβλητές***. Η μονάδα διαθέτει ένα πίνακα από λίστες τύπου `pxDoubleLinkedListEx`. Ο μονοδιάστατος πίνακας μήκους τριών στοιχείων, χρησιμοποιείται για τη διάταξη των κόμβων. Κάθε λίστα λαμβάνει μέρος σε συγκεκριμένες λειτουργίες της μονάδας. Αναλυτικότερα, η ομάδα των λιστών αποτελείται από: (α) τη λίστα άκυρων στοιχείων, (β) τη λίστα έγκυρων στοιχείων, και (γ) λίστα αποθήκευσης. Διατηρεί, επίσης, την απαραίτητη πληροφορία για το βαθμό ευαισθησίας της αποθήκευσης, το πλήθος των αποθηκευμένων κόμβων, το πλήθος των προς αποθήκευση κόμβων, και το μέγιστο επιτρεπτό μέγεθος της λίστας άκυρων εγγραφών.

- ***Λειτουργίες***

  - ***Αρχικοποίηση/Τερματισμός.*** Η κλάση αρχικοποιείται καλώντας τη συνάρτηση `Initialize`. Οι παράμετροι εισόδου αφορούν στο μέγεθος της λίστας άκυρων εγγραφών, στο βαθμό ευαισθησίας της αποθήκευσης των κόμβων και στη συμπληρωμένη με έγκυρες εγγραφές επικεφαλίδα του αρχείου. Αντίστοιχα, κατά τον τερματισμό, ενημερώνεται η επικεφαλίδα και κλείνει το αρχείο αποθήκευσης.

  - ***Εισαγωγή.*** Η διαδικασία εισαγωγής είναι σύγχρονη. Στη φάση αυτή, η μονάδα αιτείται μία άκυρη εγγραφή από την αντίστοιχη λίστα (κλήση της συνάρτησης `GetNode`), συμπληρώνεται με τα απαραίτητα στοιχεία πληροφορίας και ακολούθως εισάγεται στη λίστα των έγκυρων εγγραφών (κλήση της συνάρτησης `SaveNode`).

  - ***Επεξεργασία.*** Η μονάδα επεξεργάζεται τις έγκυρες εγγραφές ασύγχρονα. Χρησιμοποιώντας βαθμούς ευαισθησίας, αποφασίζει την έναρξη της αποθήκευσης των κόμβων. Όλες οι έγκυρες εγγραφές αφαιρούνται με απλή ανάθεση των δεικτών της κεφαλής της λίστας έγκυρων κόμβων σε αυτή της λίστας αποθήκευσης. Ακολούθως, οι κόμβοι της τρίτης λίστας αποθηκεύονται ένας προς ένα στο αντίστοιχο αρχείο, σημειώνονται ως άκυρες εγγραφές και εισάγονται στην κατάλληλη λίστα.

8.3 Μονάδες πρωτοκολλικού επιπέδου

8.3.1 Ουρές εξυπηρέτησης

Κατά τη διάρκεια ζωής του το τυχαίο επίπεδο καλείται να προσφέρει υπηρεσίες τόσο στα επίπεδα με τα οποία συνδέεται, όσο και στα υποστρώματα που το αποτελούν. Η εξυπηρέτηση προσφέρεται στη μορφή ***αντίδρασης/ερεθίσματος*** (σύγχρονη εκτέλεση των διεργασιών) ή στη μορφή ***δράσης*** (ασύγχρονη λειτουργία). Η βιβλιοθήκη υλοποιεί όλες τις λειτουργίες των επιπέδων με βάση το ασύγχρονο μοντέλο προγραμματισμού. Η μέθοδος περιλαμβάνει την αποδοχή αιτήσεων από τα επίπεδα της στοίβας ή τα υποστρώματα του επιπέδου, τη διατήρηση των αιτήσεων σε κατάλληλους αποθηκευτικούς χώρους μέχρι τη στιγμή της εξυπηρέτησης, και τη διαδικασία ανάκτησης και εξυπηρέτησης αιτήσεων. Η περιγραφή της μεθόδου της ασύγχρονης εξυπηρέτησης γεγονότων ή αιτήσεων, φωτογραφίζει τους αλγόριθμους εξυπηρέτησης αφικνούμενων γεγονότων, γνωστούς ως ουρές.

8.3.1.1 Χαρακτηριστικά ουρών

Οι ουρές χαρακτηρίζονται από τις παραμέτρους που περιγράφονται στο χώρο εμφάνισής τους και τους κανόνες εξυπηρέτησης των γεγονότων. Στο σύνολο τους, διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, οι οποίες χαρακτηρίζονται από τα κριτήρια εξυπηρέτησης των γεγονότων.

- ***Εξυπηρέτηση χωρίς προτεραιότητα.*** Τα γεγονότα που αφίκνονται διατάσσονται σε σειρά ανάλογα της στιγμής άφιξης, και δεν ταξινομούνται. Η εξυπηρέτηση πραγματοποιείται με βάση την αρχαιότητα (FIFO) ή την νεότητα (LIFO) του γεγονότος. Η υλοποίηση τέτοιας μορφής ουρών πραγματοποιείται με απλά συνδεδεμένες λίστες. Ο αλγόριθμος εισαγωγής και διαγραφής έχει κόστος $O(1)$ και είναι ανεξάρτητος του πλήθους των γεγονότων που βρίσκονται σε αναμονή προς εξυπηρέτηση. Τα περιθώρια βελτίωσης ενός αλγόριθμου $O(1)$ είναι ελάχιστα. Η βελτίωση του χρόνου εκτέλεσης περιορίζεται συνήθως σε αναβαθμίσεις των μεταγλωττιστών, των λειτουργικών συστημάτων ή ακόμη και ολόκληρου του συστήματος.

- ***Εξυπηρέτηση με προτεραιότητα.*** Είναι συχνό φαινόμενο η ανάγκη για χρήση ουρών με προτεραιότητα. Η προτεραιότητα καθορίζει το κριτήριο ταξινόμησης των γεγονότων, με σκοπό την εξυπηρέτηση αυτών με το μεγαλύτερο δείκτη. Ένα παράδειγμα τέτοιας μορφής ουράς εφαρμόζεται στα κέντρα διαχείρισης και συντήρησης των τηλεπικοινωνιακών δικτύων. Γεγονότα όπως η σύνδεση ή αποσύνδεση κάποιου χρήστη στις υπηρεσίες του δικτύου, χαρακτηρίζονται με μικρό βαθμό προτεραιότητας. Αντίθετα, τυχαίες προσβολές που δέχεται το δίκτυο ή πιθανές αναφορές για ελαττωματική λειτουργία κόμβων χαρακτηρίζονται από ψηλό βαθμό προτεραιότητας. Η εισαγωγή και η εξυπηρέτηση των γεγονότων ακολουθεί συγκεκριμένους κανόνες, οι οποίοι καθορίζονται από τα κριτήρια προτεραιότητας. Το πλήθος των γεγονότων (n) σε αναμονή προς εξυπηρέτηση, επηρεάζει την απόδοση των μεθόδων εισαγωγής και διαγραφής. Η χρήση κατάλληλων αλγορίθμων ταξινόμησης των γεγονότων, με βάση κάποιο κριτήριο προτεραιότητας, βελτιώνει θεαματικά τους χρόνους επεξεργασίας των κόμβων της ουράς.

Ο χαρακτήρας της ουράς ολοκληρώνεται με τον πιο κάτω ορισμό:

$$\rho_\alpha/\rho_\epsilon/\pi_\epsilon/\mu_\alpha \begin{cases} \rho_\alpha : \text{Ρυθμός άφιξης} \\ \rho_\epsilon : \text{Ρυθμός εξυπηρέτησης} \\ \pi_\epsilon : \text{Πλήθος εξυπηρετητών} \\ \mu_\alpha : \text{Μέγεθος λίστας αναμονής} \end{cases}$$

- ***Ρυθμός άφιξης***. Χαρακτηρίζει τα χρονικά διαστήματα μεταξύ των αφίξεων. Οι πιο κοινές κατανομές είναι: ***(α)*** η κανονική, ***(β)*** η εκθετική, ***(γ)*** η Poisson, και ***(δ)*** η τυχαία.

- ***Ρυθμός εξυπηρέτησης***. Θεωρείται ότι ο χρόνος εξυπηρέτησης είναι ανεξάρτητος του ρυθμού άφιξης και ακολουθεί σταθερά μία συγκεκριμένη κατανομή. Σε αρκετές περιπτώσεις, ο χρόνος απόκρισης της διαδικασίας εξαρτάται από το πλήθος των γεγονότων σε αναμονή.

- ***Πλήθος εξυπηρετητών***. Αντιπροσωπεύει το πλήθος των σημείων εξυπηρέτησης της ουράς. Οι πιο συνήθεις εφαρμογές διαθέτουν ένα και μόνο σημείο εξυπηρέτησης.

- ***Μέγεθος λίστας αναμονής***. Καθορίζει το μέγιστο επιτρεπτό μήκος της ουράς των γεγονότων σε αναμονή.

Με βάση τους πιο πάνω ορισμούς καθορίζεται το μέγεθος του ρυθμού απασχόλησης $\rho_{\alpha\pi}$ σε κάθε σημείο εξυπηρέτησης:

$$\rho_{\alpha\pi} = \frac{\rho_\alpha}{\rho_\epsilon \pi_\epsilon} \tag{8.4}$$

Η τιμή $\rho_{\alpha\pi}$ οφείλει να είναι φραγμένη στη μονάδα ($\rho_{\alpha\pi} < 1$) προς αποφυγή διόγκωσης του μήκους της ουράς των γεγονότων σε αναμονή. Σε αντίθετη περίπτωση, το σύστημα αργά ή γρήγορα θα πάψει να λειτουργεί, επιφέροντας τις αντίστοιχες επιπτώσεις στο σημείο εφαρμογής.

8.3.1.2 Εξυπηρέτηση των επιπέδων

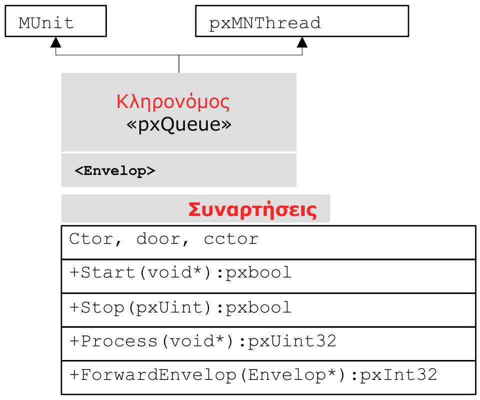
Στο πολυστρωματικό μοντέλο OSI, η επικοινωνία μεταξύ των στρωμάτων γίνεται με εκατέρωθεν αιτήσεις. Μερικά μηνύματα είναι ενημερωτικά και τερματίζονται μέσα στη στοίβα που τα δημιούργησε, άλλα αφορούν τις ομότιμες οντότητες άλλων στοιβών και μεταφέρονται ενθυλακωμένα σε κατάλληλες θέσεις των κατώτερων στρωμάτων. Έχει αναφερθεί και περιγραφεί η κλάση `pxSapEnv`, η οποία ολοκληρώνει τις ιδιότητες του φακέλου αλληλογραφίας μεταξύ των στρωμάτων. Όλα τα μηνύματα, ενημερωτικά και μή, τοποθετούνται σε φακέλους. Οι φάκελοι μεταφέρονται από στρώμα σε στρώμα μέχρι τη διεύθυνση αποστολής.

[Εισήγηση] 8.3.1 *Κάθε στρώμα διαθέτει μία ουρά εξυπηρέτησης φακέλων αιτήσεων από όλα τα στρώματα με τα οποία επικοινωνεί.*

Η πιο πάνω εισήγηση δεν απαγορεύει τη χρήση περισσότερων ουρών εξυπηρέτησης. Για παράδειγμα, μία εφαρμογή θα μπορούσε να υλοποιεί n στον αριθμό ουρές σε κάθε στρώμα L για κάθε ξεχωριστό στρώμα το οποίο επικοινωνεί με το L. Στην παρούσα αναφορά, θεωρούμε ότι όλα τα μηνύματα έχουν την ίδια προτεραιότητα. Για το λόγο αυτό, η χρήση μίας ουράς ανά στρώμα ικανοποιεί πλήρως τις ανάγκες της σχεδίασης. Η αρχιτεκτονική των μεθόδων της ουράς οφείλει να είναι σύμφωνη με τις αρχές και τους κανόνες της βιβλιοθήκης.

[Ορισμός] 8.3.1 *Η ουρά εξυπηρέτησης μηνυμάτων του στρώματος L αποτελεί ξεχωριστή μονάδα του υποχώρου και υλοποιεί τις μεθόδους και τις ιδιότητες μίας διπλά συνδεδεμένης λίστας.*

Στο **σχήμα 8.26** η κλάση `pxQueue` κληρονομεί από τις κλάσεις `pxUnit` και `pxMNThread`, ικανοποιώντας τις δηλώσεις του ορισμού 8.3.1.



Σχήμα 8.26: Μονάδα διαχείρισης αιτήσεων (Ουρά μηνυμάτων)

- ***Συναρτήσεις***

  - `CallMe`. Η κλάση οφείλει να παρέχει την υλοποίηση της εν λόγω συνάρτησης. Η συνάρτηση ολοκληρώνει το σημείο εισόδου στη μονάδα και ακολούθως χρησιμοποιείται από το στρώμα για την εισαγωγή αιτήσεων προς εξυπηρέτηση.

  - `ForwardEnvelop`. Τα γεγονότα εξυπηρετούνται ένα προς ένα. Η συνάρτηση έχει εικονικό χαρακτήρα. Η βασική της λειτουργία περιορίζεται στην προώθηση του φακέλου στη μονάδα διανομής. Στην περίπτωση που κρίνεται αναγκαία κάποια μορφή επεξεργασίας του φακέλου πριν την προώθηση, τότε ο χρήστης οφείλει να κληρονομήσει από την παρούσα κλάση, να υλοποιήσει τη μέθοδο επεξεργασίας, και ακολούθως να καλέσει την εικονική συνάρτηση για να προωθήσει το φάκελο. Η μορφή της περιεχόμενης πληροφορίας πρέπει να είναι συμβατή με κάποια προκαθορισμένη IDU. Για το λόγο αυτό, τα μηνύματα που λαμβάνονται από τα κατώτερα στρώματα αναλύονται πριν προωθηθούν στη μονάδα διαχείρισης χρηστών.

– `PrintStats`. Κατά τη φάση αξιολόγησης της απόδοσης της σχεδίασης, ο χρήστης είναι σε θέση να καταγράφει τους ρυθμούς άφιξης και εξυπηρέτησης των γεγονότων, το συνολικό πλήθος των εξυπηρετήσεων και το μέσο χρόνο αναμονής στην ουρά.

– `Process`. Η συνάρτηση αφορά στην τρίτη παράμετρο του ορισμού της ουράς, όπως έχει διατυπωθεί από τον ***Kendall***. Η συνάρτηση αποτελεί μία νηματική διαδικασία που ανήκει στη μονάδα και αναλαμβάνει την εξυπηρέτηση των αιτήσεων που βρίσκονται σε αναμονή. Το πλήθος των στιγμιοτύπων της συνάρτησης καθορίζει το πλήθος των σημείων εξυπηρέτησης, και δηλώνεται κατά τη δημιουργία της μονάδας από το εκτελέσιμο πρόγραμμα.

– `IsActive`. Καλείται για την ανίχνευση της τρέχουσας κατάστασης των σημείων εξυπηρέτησης. Η κλάση αυτή παρέχει τις κατάλληλες συναρτήσεις για την έναρξη και παύση των διαδικασιών εξυπηρέτησης ή υποδοχής γεγονότων. Οι μέθοδοι παρέχουν την απαραίτητη ασφάλεια από ανεπιθύμητες διογκώσεις του μήκους της ουράς.

- ***Εφαρμογή***. Η κλάση ορίζει και υλοποιεί πλήρως τη μονάδα υποδοχής αιτήσεων του στρώματος. Διατηρεί τους γενικούς κανόνες και μεθόδους μίας μονάδας υποδοχής, προσφέροντας έτσι στους χρήστες της βιβλιοθήκης ένα ισχυρό πυρήνα για την οικοδόμηση της μονάδας που θα ικανοποιεί πλήρως τις απαιτήσεις έκαστης επιθυμητής εφαρμογής. Η διαδικασία της εισαγωγής και εξαγωγής αιτήσεων παραμένει αναλλοίωτη και ανεξάρτητη από το είδος της εφαρμογής. Η επεξεργασία, και ακολούθως η προώθηση κατάλληλων ενεργειών που εξαρτώνται από το είδος της αίτησης, εμφανίζουν μεγάλη ποικιλία παραλλαγών ανάλογα των γενικών και ειδικών χαρακτηριστικών του στρώματος εφαρμογής. Στο κεφάλαιο ***Πιλοτική Εφαρμογή***, η κλάση χρησιμοποιείται ως βάση της κληρονόμου κλάσης με την περιγραφική επωνομασία ***Μονάδες συλλογής και προώθησης αιτήσεων***.

8.3.2 Χρονο-προγραμματιστές

Η κλάση `pxScheduler` αποτελεί τη βασική μονάδα χρονο-προγραμμάτισης γεγονότων. Λειτουργεί ως ουρά εξυπηρέτησης με προτεραιότητα. Προτεραιότητα της ουράς αποτελεί το κριτήριο του χρόνου εξυπηρέτησης της αίτησης. Η ενότητα περιγράφει τα στοιχεία που αποτελούν τη μονάδα, καθώς και τις διαδικασίες εισαγωγής, διαγραφής, χρονικής ολίσθησης, και εξυπηρέτησης των αιτήσεων. Η σύντομη περιγραφή των διαδικασιών της μονάδας θα χρησιμεύσει ως εισαγωγικό σημείωμα για τη χρησιμότητα των στοιχείων που αποτελούν τη μονάδα.

- ***Εισαγωγή***. Το επίπεδο ετοιμάζει ένα φάκελο αίτησης, ο οποίος περιέχει τον επιθυμητό χρόνο και την ταυτότητα του αιτητή, τον οποίο ακολούθως εισάγει στη μονάδα. Ο χρονο-προγραμματιστής ενημερώνει το χρόνο του φακέλου, προσθέτοντας την τιμή της τρέχουσας χρονικής στιγμής (κλάση `pxCPUTime`). Ενημερώνεται από το ***δέντρο χρονικών φύλλων*** για τη θέση ταξινόμησης της αίτησης στην ***ουρά αναμονής*** και εισάγει το φάκελο στην ουρά. Η θέση ταξινόμησης εισάγεται στο φάκελο αίτησης ως κλειδί αναζήτησης. Ο φάκελος επιστρέφεται πίσω στον καλούντα έχοντας τα πεδία του χρόνου και της ταυτότητας ενημερωμένα με τα κατάλληλα κλειδιά αναζήτησης.

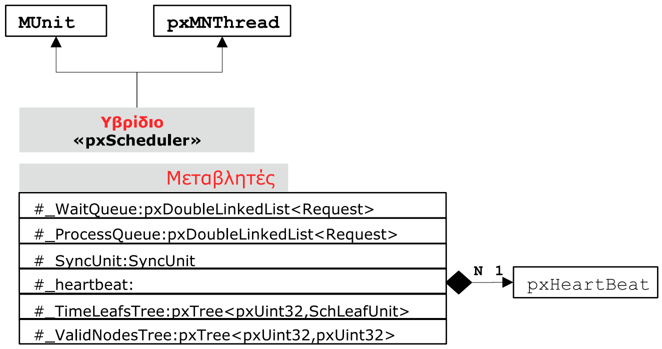
- ***Διαγραφή***. Η διαγραφή κάποιου καταχωρημένου γεγονότος πραγματοποιείται καλώντας τη μονάδα με τα δύο κλειδιά αναζήτησης (το χρόνο αίτησης και την ταυτότητα αίτησης). Η αναζήτηση πραγματοποιείται στα χρονικά φύλλα, με παράμετρο τον αντίστοιχο χρόνο, και ακολούθως αφαιρείται από το δέντρο. Η ταυτότητα της αίτησης χρησιμοποιείται για τη διαπίστωση της εγκυρότητας του φακέλου κατά μήκος της ουράς. Σε περίπτωση έγκυρης καταγραφής, η αίτηση αφαιρείται από την ουρά.

- ***Εξυπηρέτηση αιτήσεων***. Αρχικά καταγράφεται η τρέχουσα χρονική στιγμή με την κλήση του εργαλείου καταμέτρησης του χρόνου. Όλες οι αιτήσεις, με χρονική στιγμή εξυπηρέτησης μικρότερη της τρέχουσας, μεταφέρονται από την ουρά αναμονής στην ***ουρά εξυπηρέτησης***. Τα αντίστοιχα χρονικά φύλλα αφαιρούνται από το δέντρο. Στη συνέχεια, η ουρά εξυπηρέτησης αφαιρεί τις αιτήσεις μία προς μία με τη μέθοδο FIFO και τις προωθεί στις κατάλληλες μονάδες του πρωτοκόλλου για επεξεργασία.

- ***Χρονική ολίσθηση***. Οι διεργασίες της μονάδας εξαρτώνται από την τρέχουσα τιμή του χρόνου. Η τακτική ενημέρωση των στοιχείων, με βάση μία προκαθορισμένη διακριτή ποσότητα χρόνου (***Quantum***), προκαλεί τις απαραίτητες αναδιατάξεις των αιτήσεων, με σκοπό τη σύγχρονη και ακριβή προώθηση στους κατάλληλους παραλήπτες. Η μονάδα διαθέτει μία ***παλμογεννήτρια*** για την παραγωγή παλμών με προκαθορισμένη περίοδο. Σε κάθε παλμό, η μονάδα ενημερώνεται για την εκκίνηση των διεργασιών επεξεργασίας των χρονικών αιτήσεων.

8.3.2.1 Στοιχεία χρονο-προγραμματιστή

- ***Ουρά εξυπηρέτησης***. Οι κόμβοι των αιτήσεων που ανήκουν στην ουρά εξυπηρέτησης διατρέχονται ένας πρός ένα από την κεφαλή της λίστας μέχρι το τέλος, και προωθούνται στις κατάλληλες μονάδες του επιπέδου για περαιτέρω επεξεργασία. Η ουρά εξυπηρέτησης και η ουρά αναμονής αποτελούν αντικείμενα της κλάσης `pxDoubleLinkedList`. Η κλάση διαχειρίζεται μία διπλά συνδεδεμένη λίστα με δυνατότητα εξαγωγής και εισαγωγής μεγάλων τμημάτων κόμβων σε μία και μόνο επεξεργασία. Η ιδιότητα της κλάσης προσφέρει ταχύτατη επεξεργασία των κόμβων, καθώς η αφαίρεση και πρόσθεση ενός τμήματος μήκους N κόμβων απαιτεί την ανάθεση τεσσάρων δεικτών. Το μειονέκτημα της μεθόδου εντοπίζεται στην αδυναμία παρακολούθησης του μήκους της ουράς.



Σχήμα 8.27: Στοιχεία μονάδας δρομολογητή

- ***Ουρά αναμονής.*** Οι αιτήσεις που εισάγονται στη μονάδα καταλήγουν στην ουρά αναμονής. Οι κόμβοι της ουράς είναι ταξινομημένοι με βάση τον αιτούμενο χρόνο εξυπηρέτησης κατά αύξουσα σειρά. Η διατάξη των κόμβων εγγυάται ότι ο κόμβος N έχει μεγαλύτερο χρόνο από τους κόμβους $(N-1), \dots, 0$. Η επεξεργασία της ουράς προϋποθέτει την ανίχνευση του κόμβου με την πλησιέστερη χρονική τιμή ως προς την τρέχουσα. Ακολούθως, αφαιρείται όλο το τμήμα αριστερά του κόμβου και προστίθεται στην ουρά εξυπηρέτησης.

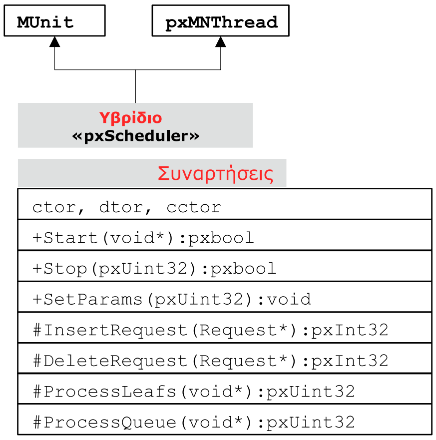
- ***Έγκυρες εγγραφές.*** Αποτελεί μία δεντρική δομή στην οποία χαρτογραφούνται οι διευθύνσεις των κόμβων των δύο ουρών. Κατά την εισαγωγή στην ουρά αναμονής, το δέντρο ενημερώνεται με την καινούρια εγγραφή. Η αφαίρεση του κόμβου από το δέντρο πραγματοποιείται κατά τη διαδικασία αφαίρεσης του κόμβου από την ουρά εξυπηρέτησης. Η τεχνική αυτή προστατεύει τη μονάδα από ανεπιθύμητες παραβιάσεις μνήμης, καθώς μεταφέρει τμήματα από τη μία ουρά στην άλλη ή καθώς διαγράφει κάποια αίτηση.

- ***Χρονικά φύλλα.*** Αποτελεί μία δεντρική δομή χρονικών στιγμών. Οι τιμές των κόμβων του δέντρου είναι αντικείμενα της κλάσης `SchLeafUnit`. Τα κλειδιά αναζήτησης των κόμβων αντιπροσωπεύουν πραγματικές χρονικές στιγμές. Οι χρονικές στιγμές είναι διακριτές και έχουν ελάχιστη δυνατή απόσταση ίση με μία προκαθορισμένη μεταβλητή της μονάδας που ονομάζεται ***Quantum***. Το αντικείμενο της τιμής περιέχει δύο έγκυρες τοπογραφικές εγγραφές, οι οποίες θέτουν τα όρια των γεγονότων στην ουρά αναμονής. Το πλήθος των επιθυμητών γεγονότων ανά ***Quantum*** καθορίζεται από το μήκος των ορίων.

- ***Παλμογεννήτρια.*** Η παλμογεννήτρια λειτουργεί ως ανεξάρτητη μονάδα με σκοπό την παραγωγή παλμών συγκεκριμένου μήκους κύμματος. Η μονάδα αυτή ολοκληρώνεται από την κλάση `pxHeardBeat`. Όλα τα αντικείμενα της κλάσης `pxScheduler` μοιράζονται ένα και μόνο αντικείμενο παλμογεννήτριας. Κάθε καινούριο στιγμιότυπο της κλάσης `pxScheduler` ενημερώνει την παλμογεννήτρια, χρησιμοποιώντας το στοιχείο συγχρονισμού με την ελάχιστη μονάδα χρόνου και με το μέσο σύνδεσης των δύο οντοτήτων. Η παλμογεννήτρια διατηρεί σε λίστα όλες τις εγγραφές που πραγματοποιήθηκαν από τους χρονο-προγραμματιστές. Η συχνότητα του βασικού παλμού είναι ίση με τη μεγαλύτερη αποθηκευμένη τιμή. Οι υπόλοιποι παλμοί παράγονται ως υποδιαιρέσεις του βασικού.

- ***Στοιχείο σύνδεσης***. Κάθε αντικείμενο δρομολόγησης διαθέτει ένα στοιχείο σύνδεσης στο οποίο συμπληρώνονται όλες οι απαραίτητες παράμετροι, και προσφέρεται για περαιτέρω χρήση στην παλμογεννήτρια. Κάθε τέτοιο στοιχείο περιέχει την επιθυμητή συχνότητα παλμού, καθώς και ένα αντικείμενο συγχρονισμού του συστήματος για την αφύπνιση των ασύγχρονων διαδικασιών.

8.3.2.2 Συναρτήσεις χρονο-προγραμματιστή



Σχήμα 8.28: Συναρτήσεις μονάδας δρομολογητή

Οι συναρτήσεις του χρονο-προγραμματιστή διακρίνονται σε ***κοινές***, αυτές που αφορούν στις κλήσεις συναρτήσεων από εξωτερικές μονάδες, και σε ***προσωπικές***, αυτές που αφορούν στις εσωτερικές διεργασίες της μονάδας.

- ***Εισαγωγή*** (κοινή). Καλείται η συνάρτηση `InsertRequest` με παράμετρο το αντικείμενο της αίτησης. Ο χρονο-προγραμματιστής ακολουθεί μία συγκεκριμένη μεθοδολογία για την εισαγωγή της αίτησης: *(α)* κανονικοποίηση του χρόνου, *(β)* εισαγωγή εγγραφής στο δέντρο χρονικών φύλλων , *(γ)* εισαγωγή αίτησης στην ουρά αναμονής και στο δέντρο έγκυρων εγγραφών, και *(δ)* ενημέρωση του αντικειμένου ενημέρωσης για την κανονικοποιημένη τιμή του χρόνου και το κλειδί αναζήτησης της εγγραφής. Το συνολικό κόστος της μεθόδου δίνεται στην εξίσωση 8.5.
$$INS_{cost} = O(\log(M_{\text{φύλλα}} \cdot N_{\text{αιτήσεις}})) \tag{8.5}$$
- ***Διαγραφή*** (κοινή). Καλείται η συνάρτηση `DeleteRequest` με παράμετρο το αντικείμενο της αίτησης. Ο χρονο-προγραμματιστής ακολουθεί μία συγκεκριμένη μεθοδολογία για τη

διαγραφή της αίτησης: *(α)* αναζήτηση έγκυρης εγγραφής, *(β)* αναζήτηση εγγραφής στο δέντρο χρονικών φύλλων, και *(γ)* διαγραφή αίτησης από την αντίστοιχη ουρά. Το συνολικό κόστος της μεθόδου δίνεται στην **εξίσωση 8.6**.

$$DEL_{cost} = O(\log(M_{\text{φύλλα}} \cdot N_{\text{αιτήσεις}})) \tag{8.6}$$

- ***Επεξεργασία χρονολογικού δέντρου*** (προσωπική). Η μέθοδος `ProcessLeafs` υλοποιείται ως ασύγχρονη ή νηματική διαδικασία. Η διαδικασία παραμένει σε αδράνεια περιμένοντας την έλευση ενός παλμού από την παλμογεννήτρια. Ακολούθως, καλεί την `ProcessTimeLeafs` και επεξεργάζεται το χρονολογικό δέντρο αναζητώντας το μεγαλύτερο χρονολογικά κόμβο που έχει τιμή μικρότερη της τρέχουσας. Η διαδικασία της αναζήτησης εφαρμόζεται στην περίπτωση που ο αριστερότερος κόμβος του δέντρου έχει χρονική τιμή μικρότερη της τρέχουσας. Η κεφαλή του μικρότερου κόμβου και η ουρά του μεγαλύτερου καθορίζουν τα όρια του τμήματος της ουράς αναμονής που πρέπει να αντιγραφεί στην ουρά εξυπηρέτησης.

$$TimeProcess_{cost} = O(\log(M_{\text{φύλλα}})) \tag{8.7}$$

- ***Προώθηση γεγονότων*** (προσωπική). Αποτελεί μία νηματική διαδικασία της μονάδας (`ProcessQueue`). Η λειτουργία της έχει ως αποτέλεσμα την αφαίρεση αιτήσεων από την ουρά εξυπηρέτησης και τη διαγραφή των κλειδιών των έγκυρων κόμβων από το αντίστοιχο δέντρο. Για κάθε κόμβο που αφαιρείται, η διαδικασία επεξεργάζεται την αίτηση και την προωθεί στη μονάδα που την είχε εισάγει.

$$EventPop_{cost} = O(\log(N_{\text{αιτήσεις}})) \tag{8.8}$$

Οι ιδιότητες που αποκτά η κλάση του χρονο-προγραμματιστή ως κληρονόμος της κλάσης `pxUnit`, την καθιστά ικανή να συμμετέχει στο ιεραρχημένο μοντέλο μονάδων που περιγράφεται στη διατριβή. Η θέση της προσδιορίζεται από τις λειτουργίες που καλείται να επιτελέσει και τις μονάδες με τις οποίες συνεργάζεται. Σε εφαρμογές που δεν ακολουθούν το μοντέλο ιεραρχίας που προτείνει η διατριβή, ο χρονο-προγραμματιστής μπορεί να χρησιμοποιείται ως ανεξάρτητο αντικείμενο δρομολόγησης γεγονότων.

Η σχεδίαση των μεθόδων της μονάδας βασίζεται στις αρχές και τους κανόνες της βιβλιοθήκης. Η βελτίωση της ταχύτητας εκτέλεσης εστιάζεται στις δεντρικές δομές. Οι δομές αυτές έχουν δυαδική λογαριθμική βάση και κρίνονται επαρκείς μέχρι κάποιο συγκεκριμένο αριθμό κόμβων. Καθώς το πλήθος των εγγραφών αυξάνεται, ίσως παρουσιαστεί η ανάγκη βελτίωσης των αλγορίθμων ανίχνευσης και αντικατάσταση των δυαδικών δεντρικών δομών με ταχύτερες δομές.

8.3.3 Διαχείριση περιεχόμενων στοιχείων

Τα περιεχόμενα[7] στοιχεία του στρώματος αποτελούν μηχανισμούς πολυπλεξίας της προσφερόμενης υπηρεσίας στα ανώτερα στρώματα. Κάθε πρωτόκολλο, όπως έχει ήδη αναφερθεί σε προηγούμενα κεφάλαια, παρέχει υπηρεσίες στα ανώτερα στρώματα. Κάθε υπηρεσία αποτελείται από συγκεκριμένα χαρακτηριστικά με τα οποία συντίθεται μία χαρακτηριστική και μοναδική εικόνα. Η εικόνα αποτελεί ένα δίαυλο μετάδοσης πληροφορίας μεταξύ των ανώτερων στρωμάτων και των ομότιμων οντοτήτων. Η εικόνα του στρώματος δεν είναι συνεχής και αδιαίρετη. Αποτελείται από μικρότερες φιγούρες που συμπεριφέρονται ως μικροσκοπικές εικόνες και διαθέτουν με τη σειρά τους μοναδικά χαρακτηριστικά. Η διακριτή μορφή της εικόνας της υπηρεσίας του στρώματος ικανοποιεί τους κανόνες πολυπλεξίας και εμπλουτίζεται έτσι η προσφερόμενη υπηρεσία στα ανώτερα στρώματα. Οι φιγούρες που αποτελούν την εικόνα περιγράφονται στην παρούσα ενότητα.

Το μοντέλο OSI, στο οποίο αναφέρεται η παρούσα διατριβή, συγκεντρώνει ποικιλόμορφες εικόνες περιεχόμενων στοιχείων. Η ποικιλία αυτή αφορά στη διάκριση της μορφής της παρεχόμενης υπηρεσίας των στρωμάτων που προδιαγράφει το μοντέλο, καθώς και στις ξεχωριστές μορφές της υπηρεσίας που παρέχεται από κάθε στρώμα ξεχωριστά. Το μοντέλο προδιαγράφει πλήρως τους γενικούς και αναγκαίους κανόνες της υπηρεσίας που οφείλει να παρέχει το κάθε στρώμα. Η προδιαγραφή κάθε στρώματος διατηρεί την αφαιρετική του μορφή και δεν περιγράφει χαρακτηριστικά ειδικών περιπτώσεων και εφαρμογών. Τα πρωτόκολλα που δημιουργούνται και αναπτύσσονται τοποθετούμενα σε συγκεκριμένα στρώματα οφείλουν να ακολουθούν τους κανόνες και τις αρχές που προδιαγράφει το κάθε στρώμα. Οι κανόνες και οι αρχές που ακολουθεί κάθε ξεχωριστή εφαρμογή εμπλουτίζονται και εξειδικεύονται, προσδίδοντας ένα ξεχωριστό τόνο στη σύνθεση της εικόνας των περιεχόμενων στοιχείων. Η διατήρηση της αφαιρετικής μορφής της διατύπωσης των υπηρεσιών που παρέχονται από τα στρώματα αποτελεί το βασικό στοιχείο του μοντέλου OSI.

Η ποικιλία των στρωματικών εφαρμογών που έχουν αναπτυχθεί στο μοντέλο OSI καθιστούν πολύπλοκη και δύσχρηστη τη σχεδίαση μίας μονάδας που θα ικανοποιούσε όλες τις υπαρκτές εφαρμογές της υπηρεσίας που έχουν αναπτυχθεί για τα στρώματα του μοντέλου. Αντιθέτως, η μονάδα πρέπει να σχεδιαστεί με σκοπό την ολοκλήρωση των κοινών χαρακτηριστικών των πρωτοκόλλων.

[**Αρχή**] **8.3.1** *Η μονάδα οφείλει να διατηρεί την αφαιρετική της μορφή και συνάμα να παρέχει όλες τις βασικές λειτουργίες ταξινόμησης και διαχείρισης των περιεχόμενων στοιχείων.*

Ο σκοπός της μονάδας είναι η διατήρηση των περιεχόμενων στοιχείων σε ομαδοποιημένες συλλογές. Η μονάδα οφείλει να παρέχει βασικές λειτουργίες στο σύνολο, όπως: *(α)* τη δημιουργία θέματος, *(β)* τη συντήρηση και διαχείριση του θέματος, και *(γ)* την αποδέσμευση του θέματος.

- ***Δημιουργία.*** Αποτελεί την κατασκευή ενός στιγμιοτύπου ενός περιεχόμενου στοιχείου, την αρχικοποίηση των παραμέτρων, την εισαγωγή του περιεχομένου αυτού στις κατάλληλες

[7] context

δομές ταξινόμησης με βάση τα κλειδιά αναζήτησης, και την αρχικοποίηση, αν κριθεί αναγκαίο, των χρονικών γεγονότων στα οποία καλείται να συμμετάσχει. Η κλάση `pxContextUnit` διαθέτει μόνο μία δομή για την καταχώρηση του πρωτεύοντος κλειδιού αναζήτησης. Ο τύπος του κλειδιού δηλώνεται από την κληρονόμο κλάση. Η δομή ταξινομεί τις διευθύνσεις των περιεχόμενων στοιχείων που έχουν δημιουργηθεί και σχετίζονται με το πρωτεύον κλειδί. Στις περιπτώσεις όπου χρησιμοποιούνται περισσότερα του ενός κλειδιά, η διεύθυνση της σύνδεσης διατηρείται σε λίστα και στις δομές ταξινόμησης αποθηκεύεται ο κόμβος της λίστας.

- ***Συντήρηση - Διαχείριση***. Η μονάδα προσφέρει τη δυνατότητα αναζήτησης περιεχόμενων στοιχείων με βάση το πρωτεύον κλειδί. Η μονάδα υποχρεούται να προστατεύει τα περιεχόμενα των περιεχόμενων στοιχείων από ταυτόχρονες προσβάσεις, οι οποίες οφείλονται σε ασύγχρονες διαδικασίες, προς αποφυγή εμφάνισης προβλημάτων της διαχείρισης μνήμης του συστήματος. Η διαχείριση των περιεχόμενων στοιχείων με βάση τα ερεθίσματα ή τα μηνύματα που δέχεται η μονάδα πραγματοποιείται από την κληρονόμο κλάση. Η παρούσα κλάση προσφέρει μόνο τη δήλωση της συνάρτησης υπό μορφή απόλυτης εικονικής συνάρτησης.

- ***Αποδέσμευση***. Η αποδέσμευση των περιεχόμενων στοιχείων αποτελεί πραγματικό πονοκέφαλο στις περιπτώσεις όπου έχουν χρησιμοποιηθεί περισσότερα του ενός κλειδιά καταχώρησης, με αποτέλεσμα η βάση ταξινόμησης να αποτελείται από περισσότερες της μίας δομές. Η κλάση αφαιρεί τη σύνδεση από τη δομή του βασικού κλειδιού. Η ενημέρωση των υπόλοιπων δομών αφορά αποκλειστικά στις κληρονόμους κλάσεις.

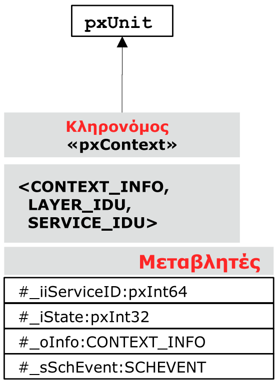
[**Αρχή**] **8.3.2** *Η μονάδα οφείλει να υλοποιεί όλες τις απαραίτητες μεθόδους για τη διασύνδεση της με τις ομότιμες μονάδες του επιπέδου, καθώς αποτελεί μέρος της ιεραρχικής δομής του εκάστοτε πρωτοκόλλου εφαρμογής.*

8.3.3.1 Περιεχόμενο στοιχείο

Η κλάση `pxContext` αποτελεί μία γενικευμένη μορφή περιεχόμενου στοιχείου. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο ως βάση για κληρονόμους, καθώς δεν υλοποιεί καμία μηχανή κατάστασης και διαθέτει μόνο τις βασικές μεταβλητές. Κληρονομεί από την κλάση `pxUnit`, συνεπώς μπορεί να συμμετάσχει σε μία ιεραρχική δομή όπως και οι υπόλοιπες μονάδες του επιπέδου.

- ***Μεταβλητές***

  - ***Περιεχόμενα***. Οι παράμετροι που αναφέρονται στο είδος της υπηρεσίας που προσφέρει το περιεχόμενο στοιχείο αποτελούν μία συλλογή μεταβλητών σε μορφή δομής ή κλάσης. Ο τύπος και συνάμα η πληροφορία για τις παραμέτρους προσδιορίζεται κατά τη φάση των δηλώσεων των συναρτήσεων και των μεταβλητών της επιθυμητής κλάσης του περιεχόμενου στοιχείου.

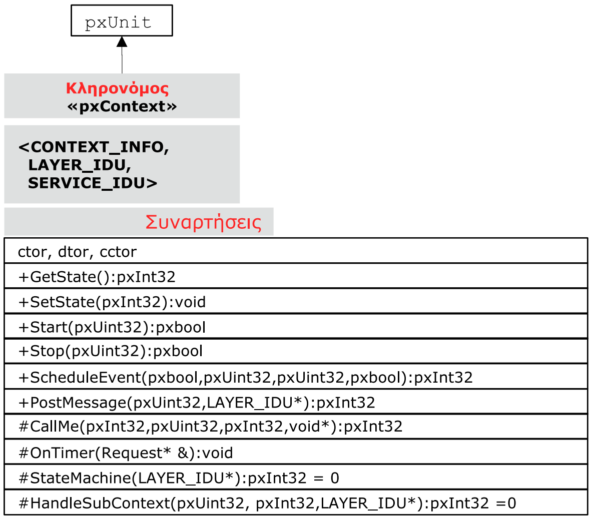


Σχήμα 8.29: Περιεχόμενο στοιχείο

- ***Προστασία περιεχομένων***. Η πρόσβαση στα στοιχεία πραγματοποιείται μόνο από τη μονάδα - πατέρα. Οι μέθοδοι προστασίας απέναντι σε παράλληλες προσβάσεις από ασύγχρονες διαδικασίες σχεδιάζονται και υλοποιούνται στον πατέρα. Ο βασικός λόγος για τον οποίο αποφεύγεται η χρησιμοποίηση αντικειμένων συγχρονισμού στα αντικείμενα των περιεχόμενων στοιχείων, είναι το άγνωστο και συνήθως το μεγάλο πλήθος των στιγμιοτύπων αυτών[8]. Η σύνδεση περιέχει μία μεταβλητή ακέραιου αριθμού με την οποία καταμετρά το τρέχον πλήθος των προσβάσεων στο αντικείμενο.
- ***Ταυτότητα στοιχείου***. Η ταυτότητα κάθε περιεχόμενου στοιχείου αντιστοιχεί στην ταυτότητα παιδιού που υποχρεούται να διαθέτει κάθε κληρονόμος της κλάσης `pxUnit`. Η ταυτότητα αυτή θεωρείται το πρωτεύον κλειδί αναζήτησης.
- ***Ταυτότητα υπηρεσίας***. Κάθε περιεχόμενο στοιχείο ταυτίζεται με μία υπηρεσία που παρέχεται από το κατώτερο στρώμα. Η αποστολή και η λήψη μηνυμάτων προς και από το κατώτερο στρώμα, χρησιμοποιώντας τα στοιχεία υπηρεσίας, επιτυγχάνεται με την εύστοχη και έγκυρη ταύτιση του με κάποιο κατώτερο στοιχείο υπηρεσίας.
- ***Κατάσταση περιεχόμενου στοιχείου***. Υλοποιεί την παράμετρο για την ανίχνευση της κατάστασης στην οποία βρίσκεται το τυχαίο περιεχόμενο στοιχείο.
- ***Γεγονός δρομολόγησης***. Περιγράφει το χρόνο εκτέλεσης και την ταυτότητα αναζήτησης του τελευταίου γεγονότος που έχει εισαχθεί στη μονάδα του χρονο-προγραμματιστή από το συγκεκριμένο περιεχόμενο στοιχείο. Η δομή χρησιμεύει κατά τη διαδικασία ακύρωσης του τελευταίου εισαχθέντος γεγονότος.

- *Συναρτήσεις*
  - ***Διαχείριση κατάστασης***. Οι συναρτήσεις `SetState` και `GetState` χρησιμοποιούνται για τη μετατροπή και την ανάγνωση της κατάστασης του περιεχόμενου στοιχείου.

[8]Κάθε αντικείμενο συγχρονισμού ισοδυναμεί σε ένα αντικείμενο στον πυρήνα του λειτουργικού συστήματος.



Σχήμα 8.30: Συναρτήσεις περιεχόμενου στοιχείου

- ***Δρομολόγηση γεγονότων.*** Η δρομολόγηση γεγονότων προς την αντίστοιχη μονάδα του επιπέδου θεωρείται μία κοινή ανάγκη για όλους τους τύπους των περιεχόμενων στοιχείων. Η μονάδα χρονο-προγραμματισμού γεγονότων διατηρεί ένα γενικό μοντέλο για την εισαγωγή και ανάκληση γεγονότων. Το μοντέλο αυτό στηρίζεται στην προώθηση αιτήσεων γενικού περιεχομένου, όπως έχει ήδη περιγραφεί σε προηγούμενη ενότητα. Η κλάση του στοιχείου σύνδεσης εμπλουτίζει τη μορφή της αίτησης προσθέτωντας μία λίστα αναγνωριστικών κλειδιών για την ανίχνευση του περιεχόμενου στοιχείου σε διατάξεις πολλαπλής ενθυλάκωσης. Η συνάρτηση `ScheduleEvent` χρησιμοποιείται για την εισαγωγή ή τη διαγραφή γεγονότων από τη μονάδα χρονο-προγραμματισμού.

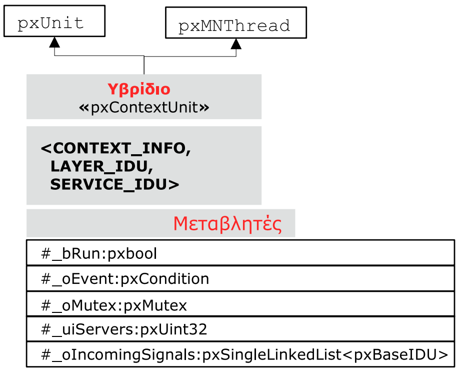
- ***Προώθηση μηνυμάτων.*** Η συνάρτηση `PostMessage` χρησιμοποιείται για την προώθηση μηνυμάτων προς τα ανώτερα ή κατώτερα στρώματα. Η κλήση της προϋποθέτει τη σύνταξη των παραμέτρων στην κατάλληλη δομή δεδομένων, όπως αυτή καθορίζεται κατά τη δήλωση της κλάσης με τον τύπο `IDU` επιπέδου.

- ***Μηχανή πεπερασμένων καταστάσεων.*** Κάθε περιεχόμενο στοιχείο διαθέτει μία μηχανή πεπερασμένων καταστάσεων για τη διαχείριση του στιγμιοτύπου του στοιχείου. Η συνάρτηση `StateMachine` αποτελεί μία αμιγώς εικονική συνάρτηση. Το περιεχόμενο της συνάρτησης αυτής, συμπληρώνεται κατά μοναδικό τρόπο, ανάλογα με τον τύπο του στοιχείου και τις λειτουργίες που καλείται να ολοκληρώσει.

- ***Διαχείριση υποστοιχείων.*** Αποτελεί μία μορφή διαχείρισης των μηνυμάτων και των ερεθισμάτων πιθανών υποσυνόλων του στοιχείου προς το κύριο στοιχείο. Η διεργασία δηλώνεται από την επίσης αμιγώς εικονική συνάρτηση `HandleSubContext`.

8.3.3.2 Μονάδα διαχείρισης περιεχόμενων στοιχείων

Η μονάδα αυτή περικλείει το σύνολο των στοιχείων, και χρησιμοποιείται ως μέσο διασύνδεσης των αντικειμένων των περιεχόμενων στοιχείων με τις υπόλοιπες λειτουργικές οντότητες του επιπέδου.

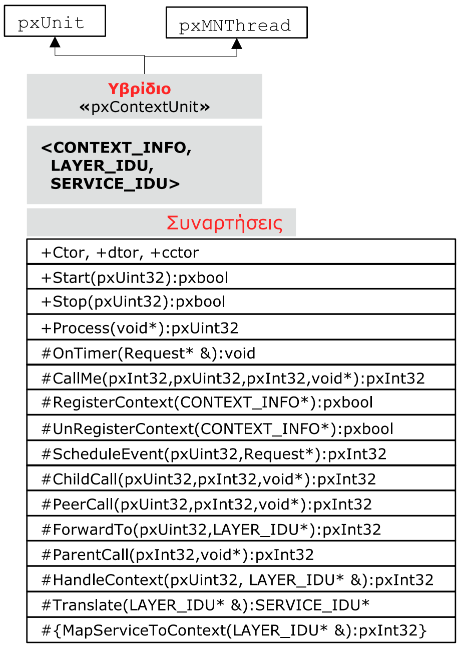


Σχήμα 8.31: Μεταβλητές της κλάσης μονάδας διαχείρισης στοιχείων

- ***Μεταβλητές*** Οι μεταβλητές που προσφέρονται από την κλάση `pxContextUnit` για την καταγραφή πρωτογενών πληροφοριών, όπως ο συγχρονισμός, η κατάσταση αντικειμένου, κ.λ.π., παρουσιάζονται στο **σχήμα 8.31**. Ο χρήστης της βιβλιοθήκης οφείλει να συμπεριλάβει στη δήλωση της μονάδας τα κατάλληλα εργαλεία για την καταγραφή μηνυμάτων, την καταγραφή στατιστικών και τη χαρτογράφηση των περιεχόμενων στοιχείων με τις υπηρεσίες που χρησιμοποιούν. Τα εργαλεία βρίσκονται στα αρχεία της βιβλιοθήκης, αλλά για λόγους κομψότητας (τα εργαλεία δηλώνονται ως πρότυπες κλάσεις) δε δηλώνονται στη βασική μορφή της μονάδας διαχείρισης περιεχόμενων στοιχείων. Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει ελεύθερα τον τρόπο και το σημείο εφαρμογής τους.

- ***Μέθοδοι***

  - ***Κλήσεις επιπέδου.*** Στην περιγραφή της μονάδας προτείνεται στους κληρονόμους ο εμπλουτισμός της κλάσης με συγκεκριμένα εργαλεία, τα οποία προσφέρονται από τη βιβλιοθήκη. Πολλά από τα εργαλεία αυτά χρειάζονται αρχικοποιήσεις συγκεκριμένης μορφής και σε συγκεκριμένο χρόνο. Ο πατέρας, δηλαδή το επίπεδο, επικοινωνεί με τη μονάδα και αιτήται μία σειρά ενεργειών. Οι ενέργειες διακρίνονται από την τρίτη παράμετρο της συνάρτησης `CallMe`. Ο τύπος της τέταρτης παραμέτρου διαφοροποιείται ανάλογα με την ενέργεια. Η εξυπηρέτηση των αιτήσεων του πατέρα πραγματοποιείται καλώντας την πλήρως εικονική συνάρτηση `ParentCall`. Οι κληρονόμοι οφείλουν να υλοποιήσουν το σώμα της συνάρτησης προσδίδοντας την επιθυμητή χρησιμότητα. Ένα παράδειγμα ενέργειας αποτελεί η αρχικοποίηση του εργαλείου καταγραφής μηνυμάτων.



Σχήμα 8.32: Συναρτήσεις της κλάσης μονάδας διαχείρισης περιεχόμενων στοιχείων

- ***Επεξεργασία αιτήσεων ομότιμων οντοτήτων.*** Οι γενικές περιγραφές των μεθόδων που οφείλει να υλοποιεί μία μονάδα διαχείρισης έχουν παρουσιαστεί σε προηγούμενη παράγραφο. Η μονάδα έχει σχεδιαστεί με συγκεκριμένη αρχιτεκτονική. Υλοποιεί βασικές συναρτήσεις που αφορούν σε κοινές μεθόδους μονάδων παρόμοιας μορφής, ορίζει μία σειρά από πλήρως εικονικές συναρτήσεις που αφορούν σε διαφοροποιημένες εικόνες της μονάδας, και προτείνει μεθόδους στις κληρονόμους κλάσεις.

  [**Αρχή**] **8.3.3** *Η μονάδα επεξεργάζεται τα εισερχόμενα δεδομένα, ασύγχρονα ή σύγχρονα, ανάλογα με τον αριθμό των εξυπηρετητών που διαθέτει.*

  Η μονάδα συλλέγει αιτήσεις από δύο παραλήπτες, οι οποίοι θεωρούνται ομότιμες οντότητες (`pxQueue`, `pxScheduler`) και αποθηκεύει τις αιτήσεις αυτές προσωρινά σε μία λίστα FIFO. Η λίστα αυτή επεξεργάζεται τις αιτήσεις (`Process`), και ακολούθως τις εξυπηρετεί ασύγχρονα. Η μεθοδολογία αυτή έχει ως αποτέλεσμα την ουσιαστική απομόνωση των μονάδων που αποτελούν το πρωτόκολλο, καθώς και τον περιορισμό της υπολογιστικής σπατάλης εντός των συνόρων έκαστης μονάδας. Η επιτυχία της μεθόδου στηρίζεται στη χρησιμοποίηση του κοινού φακέλου επικοινωνίας (`pxBaseIDU`). Η μέθοδος της αντιστοίχισης κάποιας αίτησης σε ένα περιεχόμενο στοιχείο (`MapServiceToContext`), η οποία προηγείται της προώθησης, δηλώνεται ως πλήρως εικονική συνάρτηση. Οι κληρονόμοι οφείλουν να υλοποιήσουν το σώμα της συνάρτησης προσαρμόζοντας τα χαρακτηριστικά της μεθόδου ανάλογα με τις απαιτήσεις της εφαρμογής.

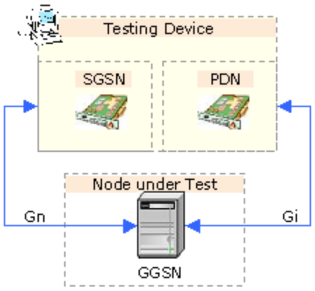
- ***Διαχείριση και εξυπηρέτηση περιεχόμενων στοιχείων.*** Η δημιουργία ενός περιεχόμενου στοιχείου έχει πολυμορφικό χαρακτήρα ανάλογα της εφαρμογής της μονάδας. Η μονάδα προσφέρει μεθόδους για τη δήλωση (χαρακτηρισμός περιεχόμενου στοιχείου ως παιδί της μονάδας) και διαγραφή των συνδρομών των περιεχόμενων στοιχείων μέσω των συναρτήσεων (`RegisterConnection` και `UnRegisterConnection`). Η κλάση δηλώνει τη συνάρτηση `ManageContext`, η οποία καλείται κατά την ασύγχρονη διαδικασία και έχει σκοπό την προώθηση των αιτήσεων στα αντίστοιχα περιεχόμενα στοιχεία.
- ***Εξυπηρέτηση αιτήσεων περιεχόμενων στοιχείων.*** Η μονάδα προσφέρει τις απαραίτητες μεθόδους για την εξυπηρέτηση των αιτήσεων που λαμβάνει. Κάθε περιεχόμενο στοιχείο είναι σε θέση να ζητήσει δύο ειδών υπηρεσίες: ***(α)*** την αποστολή πακέτου προς το κατώτερο ή το ανώτερο στρώμα (`ForwardTo`), και ***(β)*** την εισαγωγή αίτησης χρονικής αφύπνισης στη μονάδα του χρονο-προγραμματιστή (`ScheduleEvent`). Η αποστολή κάποιου πακέτου προς το κατώτερο επίπεδο προϋποθέτει τη μετάφραση της IDU του επιπέδου σε IDU υπηρεσίας. Η μέθοδος της μετάφρασης δηλώνεται ως μία πλήρως εικονική συνάρτηση (`Translate`). Το σώμα της συνάρτησης υλοποιείται από τους κληρονόμους.

Κεφάλαιο 9

Πιλοτική υλοποίηση

9.1 Τοπολογία των κόμβων υπό αξιολόγηση

Η πιλοτική εφαρμογή σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε στα πλαίσια του κοινού προγράμματος των εταιρειών ***4Plus Technologies AEBE*** και ***SIEMENS ICN*** Μονάχου, για τις ανάγκες πιστοποίησης και ελέγχου των παρεχόμενων υπηρεσιών του τηλεπικοινωνιακού κόμβου **G**ateway **GPRS** **S**upport **N**ode -(**Κόμβος υποστήριξης πύλης** GPRS)- (GGSN). Οι λειτουργίες του κόμβου στο δίκτυο εγκατάστασης, καθώς και οι διασυνδέσεις και οι υπηρεσίες που εισάγονται στο **G**eneral **P**acket **R**adio **S**ervice -(**Γενική πακετική ραδιοϋπηρεσία**)- (GPRS), αναφέρονται αναλυτικά στο παράρτημα ***Η υπηρεσία GPRS***. Η συνδεσμολογία του κόμβου GGSN, καθώς και του



Σχήμα 9.1: Τοπολογία δικτύου αξιολόγησης

συστήματος ελέγχου και προσομοίωσης στο δίκτυο αξιολόγησης, παρουσιάζεται στο **σχήμα 9.1**. Η συσκευή αξιολόγησης αποτελείται δύο αυτόνομες κάρτες τεχνολογίας **P**eripheral **C**omponent **I**nterconnect (PCI). Οι κάρτες PCI συνδέονται αντίστοιχα στις διασυνδέσεις **Gn** **I**nterface (Gn) και **Gi** **I**nterface (Gi) του τηλεπικοινωνιακού κόμβου GGSN και υλοποιούν μεθόδους για την προώθηση/αποδοχή κίνησης IP προς/από τον GGSN. Κάθε κάρτα υλοποιεί όλες τις αναγκαίες λειτουργίες που προσφέρονται από τους αντίστοιχους κόμβους διασύνδεσης στο πραγματικό δίκτυο GPRS. Η σύνδεση της συσκευής ελέγχου δημιουργεί ένα εικονικό δίκτυο, στο οποίο προσομοιώνονται, σε ένα σημείο (λογισμικό εφαρμογής), ο κόμβος **S**erving **GPRS** **S**upport **N**ode -(**Κόμβος υποστήριξης** GPRS **εξυπηρέτησης**)- (SGSN), το νέφος των χρηστών της υπηρεσίας GPRS, και το εξωτερικό δίκτυο **P**acket **D**ata **N**etwork -(**Δημόσιο δίκτυο δεδομένων**)- (PDN) . Τα δύο τερματικά σημεία της σύνδεσης διαχειρίζονται από μία εφαρμογή λογισμικού.

9.2 Πρωτόκολλα διασυνδέσεων Gn, Gi

Η υπηρεσία GPRS περιλαμβάνεται στην κατηγορία των μεθόδων επικοινωνίας με σύνδεση. Η μετάδοση των δεδομένων μεταξύ των τηλεπικοινωνιακών οντοτήτων προϋποθέτει την εγκατάσταση έγκυρου μονοπατιού. Τα σηματοδοτικά μηνύματα μεταδίδονται μέσω των διασυνδέσεων Gn και Gi. Οι στοίβες των διασυνδέσεων διαφέρουν, κατ΄ ουσίαν, στο πρωτόκολλο διαχείρισης μοναπατιών σύνδεσης. Στα υπόλοιπα επίπεδα της τυποποίησης OSI χρησιμοποιούνται τα ίδια πρωτόκολλα.

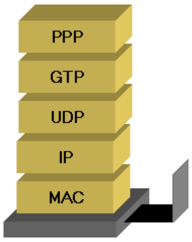
- **M**edia **A**ccess **C**ontrol -(**Ελεγχος προσπέλασης μέσου**)- (MAC) [54], IP [61], **U**ser **D**atagram **P**rotocol -(**Πρωτόκολλο αυτοδύναμου πακέτου**)- (UDP) [59]. Ο μικρός ρυθμός εμφάνισης λαθών κατά τη μετάδοση δεν παραβιάζει τις καθορισμένες παραμέτρους της ποιότητας της υπηρεσίας, με αποτέλεσμα να είναι εφικτή η χρήση του πρωτοκόλλου UDP. Το UDP επιλέγεται επίσης λόγω της ανάγκης για μετάδοση σε πολύ υψηλό ρυθμό, καθώς το πρωτόκολλο δεν διενεργεί χρονοβόρες διαδικασίες ελέγχου μετάδοσης, αναδιάταξης ή επαναμετάδοσης δεδομένων.

- **P**oint to **P**oint **P**rotocol -(**Δισημειακό πρωτόκολλο**)- (PPP) [60]. Η εφαρμογή του πρωτοκόλλου PPP αφορά στη μεταφορά στοιχείων δεδομένων μεταξύ των τερματικών σημείων των μονοπατιών που έχουν εγκατασταθεί από τις υπηρεσίες των κατώτερων επιπέδων. Διακρίνεται ακόλουθες φάσεις:

  - **L**ink **C**ontrol **P**rotocol -(**Πρωτόκολλο ελέγχου σύνδεσης**)- (LCP). Εγκατάσταση, καθορισμός και έλεγχος της σύνδεσης. Πιστοποίηση των χρηστών με τη χρήση απλών[1], ή σύνθετων[2] αλγορίθμων κρυπτογράφησης.
  - **N**etwork **C**ontrol **P**rotocol -(**Πρωτόκολλο ελέγχου δικτύου**)- (NCP). Διαμόρφωση, ενεργοποίηση και απενεργοποίηση των παραμέτρων και στα δύο σημεία της σύνδεσης (**I**nternet **P**rotocol **C**ontrol **P**rotocol -(**Πρωτόκολλο διαδικτύου - Πρωτόκολλο ελέγχου**)- (IPCP) [62]).

- **G**PRS **T**unneling **P**rotocol -(**Πρωτόκολλο συρράγγωσης** GPRS)- (GTP) [53](***Διασύνδεση Gn***). Η επικοινωνία μεταξύ των κόμβων **GPRS** **S**upport **N**ode -(**Κόμβος υποστήριξης**

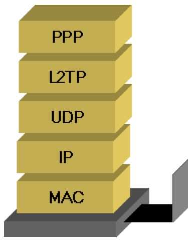
[1] **P**assword **A**uthentication **P**rotocol -(**Πρωτόκολλο επαλήθευσης διελευτηρίου**)- (PAP) [55]
[2] **CH**allenge **A**uthentication **P**rotocol -(**Πρωτόκολλο επαλήθευσης πρόκλησης χειραψίας**)- (CHAP) [56]



Σχήμα 9.2: Διασύνδεση Gn

GPRS)- (GSN) αποκαθίσταται μέσω των διασυνδέσεων Gn[3] και **Gp I**nterface (Gp)[4]. Η διασύνδεση μεταδίδει τη σηματοδοσία που αφορά στην ενεργοποίηση, διαχείριση και απενεργοποίηση των συνδέσεων με τη βοήθεια πακέτων G-**P**acket **D**ata **U**nit -(**Μονάδα δεδομένων πακέτου**)- (PDU). Η μετάδοση της πληροφορίας που αφορά στα δεδομένα του χρήστη γίνεται μέσω T-PDU.

- **L**ayer **2** **T**unneling **P**rotocol -(**Πρωτόκολλο συρράγγωσης επιπέδου 2**)- (L2TP) [64](***Διασύνδεση Gi***). Η διασύνδεση Gi συνδέει τον κόμβο GGSN με τα εξωτερικά δίκτυα IP. Οι υπηρεσίες της κινητής τηλεφωνίας εμπλουτίζονται, και κάθε κινητή μονάδα μετατρέπεται σε τερματικό σημείο του διαδικτύου. Το πρωτόκολλο L2TP εμπλουτίζει τις υπηρεσίες του μοντέλου PPP,



Σχήμα 9.3: Πρωτοκολλική στοίβα της διασύνδεσης Gi

επιτρέπωντας στα τερματικά σημεία **L**ayer **2** (L2) και PPP να εγκαθίστανται σε διαφορετικές συσκευές, οι οποίες διασυνδέονται μέσω δικτύων μεταγωγής πακέτων. Η σχέση μεταξύ των μοναπατιών GTP στη διασύνδεση Gn και των συνόδων L2TP στη διασύνδεση Gi είναι ένα προς ένα. Μετά την εγκατάσταση μίας συνόδου L2TP ο κόμβος GGSN ενθυλακώνει τα πακέτα PPP, τα οποία λαμβάνονται από τη διασύνδεση Gn, σε στοιχεία πληροφορίας L2TP και τα προωθεί στο PDN.

[3] μεταξύ κόμβων GSN οι οποίοι βρίσκονται στο ίδιο **P**ublic **L**and **M**obile **N**etwork -(**Δημόσιο κινητό δίκτυο ξηράς**)- (PLMN).

[4] μεταξύ κόμβων GSN οι οποίοι βρίσκονται σε διαφορετικό PLMN.

9.3 Διαχείριση συνδέσεων

- ***Εγκατάσταση σύνδεσης***. Η αλληλουχία των μηνυμάτων για την εγκατάσταση μίας σύνδεσης GPRS, παρουσιάζει αρκετές διαφορές ανάλογα της κλάσης του χρήστη αλλά και των παραμέτρων του δικτύου. Μία παράμετρος που επηρεάζει δραματικά το πλήθος και τον τύπο των σηματοδοτικών μηνυμάτων είναι η ανάκτηση της διεύθυνσης IP. Στις παραγράφους που ακολουθούν περιγράφεται η σύνδεση των χρηστών στην υπηρεσία GPRS, με δυναμική ανάκτηση διεύθυνσης IP από το εξωτερικό δίκτυο PDN. Ο τύπος αυτός αποτελεί την πιό χρονοβόρα μορφή σύνδεσης. Οι φάσεις που εμφανίζονται είναι:

  - ***Εγκατάσταση GTP καναλιού***. Η εγκατάσταση του καναλιού GTP, μεταξύ των δύο κόμβων (SGSN, GGSN), επιτυγχάνεται με την αποστολή των μηνυμάτων `Create PDP Context Request` και `Create PDP Context Response`.
  - ***LCP φάση (SGSN-GGSN)***. Καθορίζονται οι παράμετροι της ποιότητα της υπηρεσίας του επιπέδου IP.
  - ***Πιστοποίηση ταυτότητας (SGSN-GGSN)***. Πιστοποιείται, με τη βοήθεια της μονάδας **R**emote **A**uthentication **D**ial **I**n **U**ser **S**ervice -(**απομακρυσμένη υπηρεσία επαλήθευση χρήστη διεπιλογής εισόδου**)- (RADIUS) [63], η ταυτότητα του χρήστη.
  - ***L2TP εγκατάσταση συνόδου***. Επιχειρείται η αποκατάσταση μίας συνόδου L2TP και η αντιστοίχισή της με ένα κανάλι GTP.
  - ***LCP φάση (GGSN-PDN)***. Διαπραγματεύονται οι παράμετροι του επιπέδου IP.
  - ***Πιστοποίηση ταυτότητας (GGSN-PDN)***. Πιστοποιείται, στο εξωτερικό δίκτυο, η ταυτότητα του χρήστη.
  - ***NCP φάση (GGSN-PDN)***. Το PDN δεσμεύει μία IP διεύθυνση και ενημερώνει το χρήστη της υπηρεσίας.

  Ο χρήστης, αφού αποκτήσει τη διεύθυνση IP, είναι σε θέση να μεταδόσει και να λάβει πακέτα.

- ***Τερματισμός σύνδεσης***. Ο τερματισμός της σύνδεσης περιλαμβάνει την αποσύνδεση των επιπέδων κατά την αντίστροφη φορά:

  - ***Αποσύνδεση PPP***. Ο χρήστης τερματίζει τις λειτουργίες του επιπέδου PPP με την αποστολή του μηνύματος `PPP Terminate Request`.
  - ***Διαγραφή GTP καναλιού***. Ο κόμβος SGSN προκαλεί τη διαγραφή του καναλιού GTP.
  - ***Διαγραφή L2TP συνόδου***. Η εκτέλεση της πιο πάνω ενέργειας προκαλεί τη διαγραφή της συνόδου L2TP και την αποδέσμευση, όσον αφορά στην σύνοδο αυτή, από το δίκτυο PDN.

Οι διαδικασίες που καθορίζονται στο πραγματικό δίκτυο GPRS, και αφορούν στο ρόλο του κόμβου SGSN και του εξωτερικού δικτύου PDN, ολοκληρώνονται πλήρως στη συσκευή ελέγχου του **σχήματος 9.1**. Η διασύνδεση της συσκευής με τον κόμβο GGSN πραγματοποιείται σχετικά απλά λόγω της υλοποίησης σηματοδοτικών συναρτήσεων στο επίπεδο MAC (**A**ddress **R**esolution **P**rotocol -(**Πρωτόκολλο ανάλυσης διεύθυνσης**)- (ARP)) και στο επίπεδο IP (**I**nternet **C**ontrol **M**essage **P**rotocol -(**Πρωτόκολλο μηνύματος ελέγχου διαδικτύου**)- (ICMP)). ί

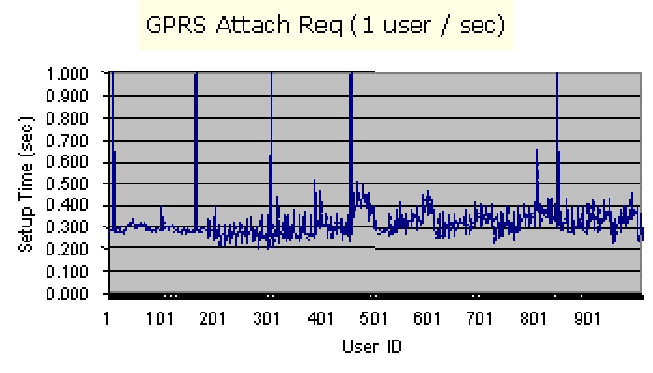
9.4 Αποτελέσματα πειραματικών σεναρίων

Τα σενάρια που περιγράφονται στις επόμενες παραγράφους, έχουν πραγατοποιηθεί στα εργαστήρια της `SIEMENS` στο τμήμα `ICM N PG U ST C Information and Communication Mobile Networks & Mobile Core department` του Μονάχου. Το δίκτυο προς αξιόλογηση αφορά στους χρόνους απόκρισης του τηλεπικοινωνιακού κόμβου $3^{ης}$ γενιάς GGSN κατά τη διαδικασία σύνδεσης και αποσύνδεσης χρηστών στην υπηρεσία GPRS.

9.4.1 Διαδικασία σύνδεσης

Ο χρόνος ο οποίος απαιτείται για την αποκατάσταση μίας σύνδεσης GPRS μέσω των διασυνδέσεων Gn και Gi, αποτελεί μία από τις σημαντικότερες μετρήσεις κατά την αξιολόγηση των σηματοδοτικών μηχανισμών της υπηρεσίας GPRS. Η μέτρηση αυτή προκαλεί επιπλέον ενδιαφέρον ειδικά στις περιπτώσεις όπου οι συνδέσεις έχουν μικρή διάρκεια. Η χρονική καθυστέρηση για την αποκατάσταση της σύνδεσης καθορίζεται ως η διαφορά του χρόνου από την αποστολή του μηνύματος `Attach Request` μέχρι τη λήψη του μηνύματος `Attach Response`. Ο ρυθμός άφιξης των αιτήσεων σύνδεσης στην υπηρεσία είναι σταθερός, και περιγράφεται από την ποσότητα $\frac{X_{users}}{sec}$. Οι διαδικασίες σηματοδοσίας, με τις οποίες δημιουργούνται τα κατάλληλα αποθέματα και τελικά ενεργοποιείται το μονοπάτι αποστολής δεδομένων, λειτουργούν παράλληλα. Η στοίβα Gi αποκρίνεται θετικά στις εισερχόμενες αιτήσεις για τη δημιουργία καναλιών L2TP, συνόδων L2TP και συνδέσεων PPP, αφαιρώντας με τον τρόπο αυτό επιπλέον χρονοβόρες και ανεξέλεγκτες διαδικασίες κάποιου πραγματικού δικτύου υπολογιστών. Στο σενάριο 1 εκτελείται μία ακολουθία αιτήσεων σύνδεσης. Ο ενδιάμεσος χρόνος μεταξύ επιτυχών αιτήσεων είναι μεγαλύτερος από τον απαιτούμενο χρόνο για την αποκατάσταση της σύνδεσης. Στα υπόλοιπα σενάρια, αντίθετα, μελετάται η συμπεριφορά του δικτύου κατά την αναμονή αιτήσεων σύνδεσης. Σε όλα τα σενάρια η χρονική διάρκεια της σύνδεσης είναι μεγαλύτερη της χρονικής διάρκειας του σεναρίου, με σκοπό τη μελέτη της επίδρασης στην απόκριση που προκαλείται από τις παράλληλες συνδέσεις.

- ***Σενάριο 1***. Ο ρυθμός άφιξης των αιτήσεων χαρακτηρίζεται σχετικά χαμηλός. Ο μέσος χρόνος αποκατάστασης σύνδεσης είναι 0.280986 δευτερόλεπτα και η μέση απόκλιση πλησιάζει το 231.3%. Οι κορυφές στη γραφική παράσταση απεικονίζουν τις αναπάντητες ή τις απορρι-

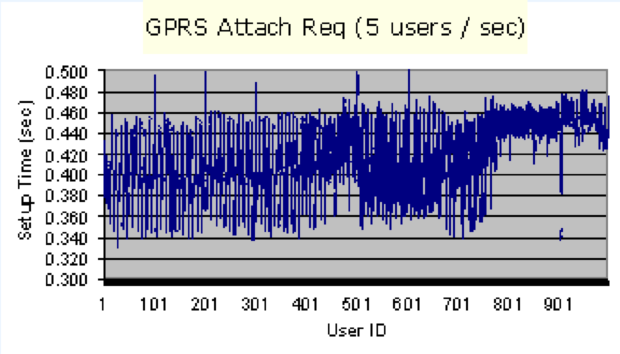


Phase Delays (1 user/sec)	
Phase	**Delay (sec)**
GTP	0.008685
LCP+RADIUS	0.148925
L2TP	0.050541
LCP+NCP	0.072835
Total	**0.280986**

Σχήμα 9.4: Σενάριο 1: Σύνδεση στην υπηρεσία

φθείσες αιτήσεις. Ο μικρός ρυθμός άφιξης των αιτήσεων, δεν δικαιολογεί την εμφάνιση αυτής της συμπεριφοράς. Η συμπεριφορά αυτή οφείλεται σε λάθος καθορισμό των παραμέτρων στη βάση δεδομένων του κόμβου.

- ***Σενάριο 2.*** Ο μέσος χρόνος αποκατάστασης σύνδεσης είναι 0.470489 δευτερόλεπτα και μέση απόκλιση πλησιάζει το 106.3%. Κατά τη διάρκεια του σεναρίου δεν παρατηρήθηκε



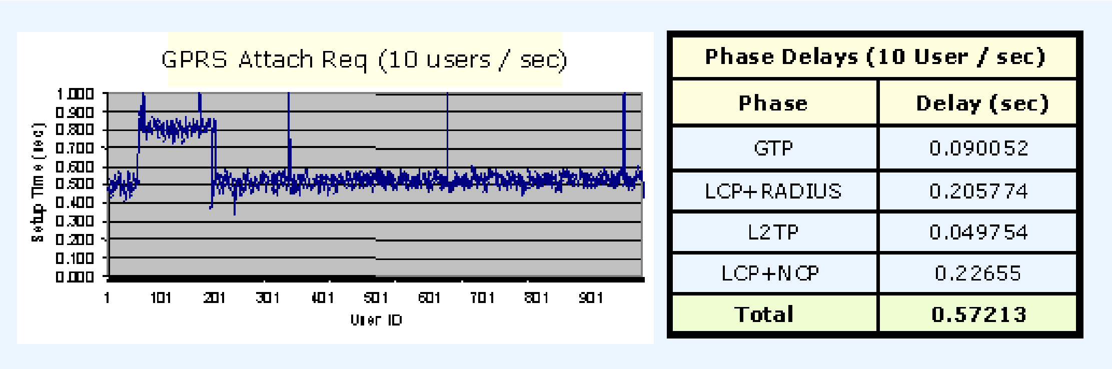
Phase Delays (5 User / sec)	
Phase	**Delay (sec)**
GTP	0.089774
LCP+RADIUS	0.206178
L2TP	0.04803
LCP+NCP	0.126507
Total	**0.470489**

Σχήμα 9.5: Σενάριο 2: Σύνδεση στην υπηρεσία

καμία απόρριψη κλήσης.

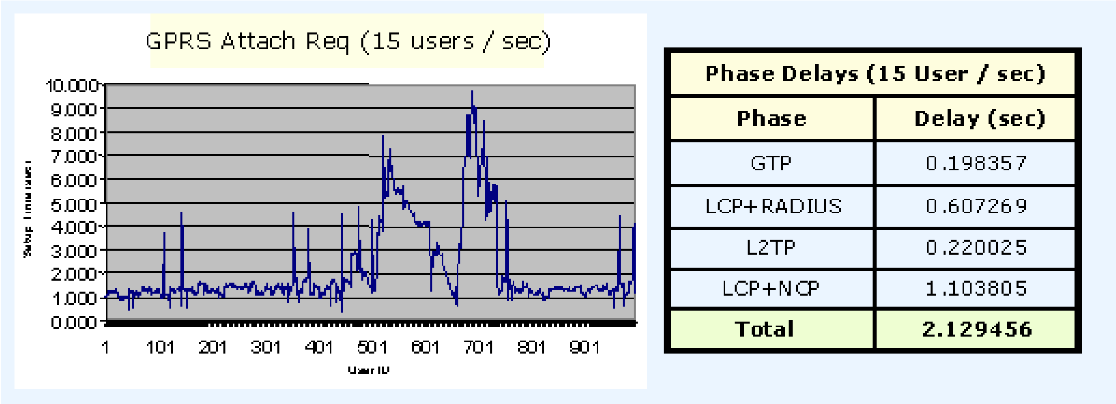
- ***Σενάριο 3.*** Το σενάριο προσομοιώνει αιτήσεις κλήσεων με σχετικά υψηλό ρυθμό αφίξεων. Ο μέσος χρόνος αποκατάστασης σύνδεσης είναι 0.57213 δευτερόλεπτα και μέση απόκλιση πλησιάζει το 160.8%. Ένα πολύ μικρό ποσοστό αποτυχίας αποκατάστασης σύνδεσης παρουσιάζεται κατά την εκτέλεση του σεναρίου.

- ***Σενάριο 4.*** Το σενάριο χαρακτηρίζεται από υψηλό ρυθμό αφίξεων. Ο μέσος χρόνος απο-



Phase Delays (10 User / sec)	
Phase	**Delay (sec)**
GTP	0.090052
LCP+RADIUS	0.205774
L2TP	0.049754
LCP+NCP	0.22655
Total	**0.57213**

Σχήμα 9.6: Σενάριο 3: Σύνδεση στην υπηρεσία



Phase Delays (15 User / sec)	
Phase	**Delay (sec)**
GTP	0.198357
LCP+RADIUS	0.607269
L2TP	0.220025
LCP+NCP	1.103805
Total	**2.129456**

Σχήμα 9.7: Σενάριο 4: Σύνδεση στην υπηρεσία

κατάστασης σύνδεσης είναι 2.129456 δευτερόλεπτα και μέση απόκλιση πλησιάζει το 460.2%. Συγκριτικά με τα προηγούμενα σενάρια, παρατηρείται μία σημαντική αύξηση του μέσου χρόνου αποκατάστασης σύνδεσης.

Οι γραφικές παραστάσεις και οι πίνακες, είναι αποτελέσματα μετρήσεων που έχουν καταγραφεί από τα αντίστοιχα εργαλεία που διαθέτει κάθε επίπεδο (pxLogger). Η καταγραφή των ενδιάμεσων διαδικασιών που εκτελούνται κατά την αίτηση αποκατάστασης μίας σύνδεσης προσφέρει τη δυνατότητα εξαγωγής αναλυτικότερων συμπερισμάτων και συμβάλει στον εντοπισμό των διαδικασιών που προκαλούν τις χρονικές καθυστερήσεις. Οι ενδιάμεσες διαδικασίες αναλύονται πιο κάτω.

1. ***LCP + RADIUS***. Η καθυστέρηση που εισάγει η φάση αυτή επηρεάζεται έμεσα από το ρυθμό άφιξης των αιτήσεων σύνδεσης και χαρακτηρίζεται αρκετά χρονοβόρα. Το μερίδιο της στο συνολικό χρόνο καταλαμβάνει περίπου το 40%. Ο εξυπηρετητής RADIUS, υλοποιείται από μία υπολογιστική μονάδα με λειτουργικό `Windows NT`. Η παράληψη της φάσης αυτής πρέπει να διερευνηθεί εξονυχιστικά λόγω των υπηρεσιών ασφαλείας και προστασίας που προ-

σφέρει στο δίκτυο. Η καθυστέρηση μπορεί να αποφευχθεί στις περιπτώσεις όπου η υπηρεσία υλοποιείται ως εσσωτερική διεργασία του κόμβου.

2. ***GTP + L2TP***. Οι διαδικασίες αποδεικνύονται αρκετά σύντομες και το μερίδιο τους στο συνολικό χρόνο αποκατάστασης σύνδεσης είναι πάρα πολύ μικρό. Τα σηματοδοτικά μηνύματα τερματίζονται στον κόμβο GGSN. Το σύνολο των μηνυμάτων για την εγκατάσταση μίας συνόδου GTP ή L2TP είναι μικρό (2 και 4 αντίστοιχα). Η εμφάνιση κάποιας καθυστέρησης στην παρούσα φάση οφείλεται στις διαδικασίες δέσμευσης αποθεμάτων μνήμης.

3. ***LCP + NCP***. Η καθυστέρηση που εισάγεται κατά τη φάση PPP, και αποτελείται από τις επιμέρους διαδικασίες LCP, Authentication, NCP, επηρεάζεται από το ρυθμό άφιξης τον αιτήσεων. Η αύξηση του ρυθμού προκαλεί δραματική αύξηση του χρόνου ολοκλήρωσης της διαδικασίας, με αποτέλεσμα να καταλαμβάνει το μερίδιο του λέοντα στο συνολικό χρόνο αποκατάστασης. Η μετάδοση των μηνυμάτων μέσω του κόμβου GGSN ενεργοποιεί διαδικασίες ανάκτησης, ταύτισης και προώθησης, για τις οποίες καταναλώνεται σημαντική υπολογιστική ισχύς στον κόμβο.

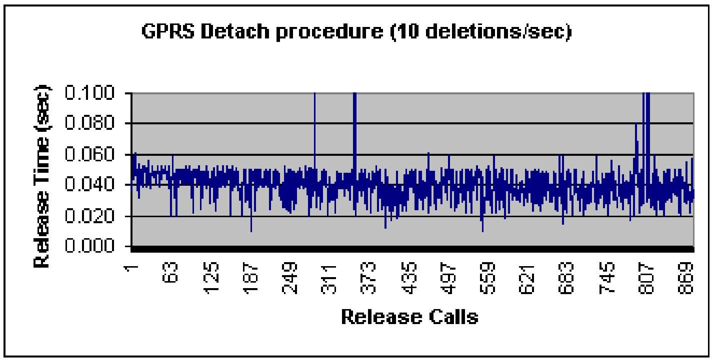
9.4.2 Διαδικασία αποσύνδεσης

Η αποσύνδεση των συνδεδεμένων χρηστών της υπηρεσίας προκαλείται με τυχαία σειρά. Ο χρόνος που απαιτείται για την αποσύνδεση υπολογίζεται ως η χρονική διάρκεια μεταξύ της αποστολής της αίτησης `Dettach Request` και τη λήψης της αποδοχής `Dettach Response`. Στο **σχήμα 9.8** α-

Ρυθμός αποσύνδεσης	***Αριθμός συνδέσεων***	***Χρόνος αποσύνδεσης***
10	1000	0.042
20	1000	0.043
50	1000	0.042
100	1000	0.040

Πίνακας 9.1: Αποτελέσματα σεναρίων αποσύνδεσης

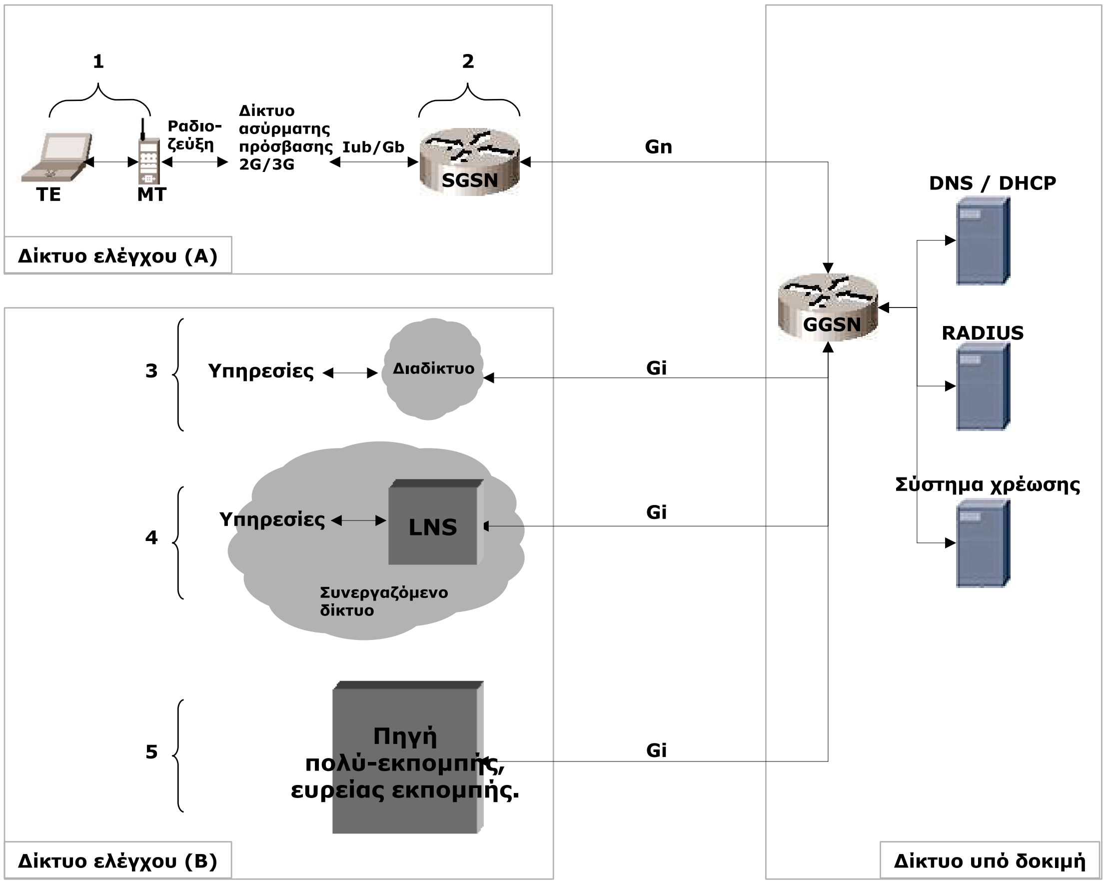
πεικονίζονται οι χρόνοι αποσύνδεσης χρηστών για ρυθμούς άφιξης αιτήσεων της τάξης των $\frac{10_{users}}{sec}$. Η γραφική παράσταση είναι ενδεικτική και για υψηλότερους ρυθμούς. Από τον **πίνακα 9.1** συμπεράνουμε ότι ο μέσος χρόνος αποσύνδεσης είναι σχετικά ανεξάρτητος από το ρυθμό αιτήσεων. Το αποτέλεσμα είναι αναμενόμενο άν λάβουμε υπ΄ όψιν μας τη μέθοδο αποδέσμευσης των χρηστών που χρησιμοποιεί ο κόμβος. Ο κόμβος απαντά θετικά στις αιτήσεις για αποδέσμευση και στην περίπτωση όπου παρατηρείται ψηλός φόρτος εργασιών, σημειώνει τα αποθέματα προς διαγραφή. Η αποδεύσμευση των αποθεμάτων πραγματοποιείται σε καταστάσεις ηρεμίας του κόμβου ή σε περιπτώσεις που απαιτείται επίμονα η δέσμευση αποθεμάτων.



Σχήμα 9.8: Σενάριο 1: Αποσύνδεση από την υπηρεσία

9.5 Περιγραφή του συστήματος προσομοίωσης και το σχετικό δίκτυο υπό δοκιμή

Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζεται εν συντομία η αρχιτεκτονική του υλικού και του λογισμικού του συστήματος προσομοίωσης χρηστών της υπηρεσίας GPRS. Το σύστημα είναι σε θέση να προκαλέσει τηλεπικοινωνιακή κίνηση υψηλού φόρτου στο πεδίο της σηματοδοσίας και δεδομένων χρηστών. Το σύστημα συνδέεται στον πυρήνα της δικτύου GPRS και είναι σε θέση να πραγματοποιήσει ελέγχους στο υπό δοκιμή δίκτυο και αποτελείται από: *(α)* τον κόμβο GGSN, *(β)* τους διακομιστές **D**ynamic **H**ost **C**onfiguration **P**rotocol -(**Πρωτόκολλο δυναμικής διάρθρωσης ξενιστή**)- (DHCP) - **D**omain **N**ame **S**erver -(**Υπηρεσία ονομασίας περιοχών**)- (DNS) , και *(γ)* το σύστημα χρέωσης. Στο (**σχήμα 9.9** παρουσιάζεται η τοπολογία του δικτύου υπό δοκιμή και η αντίστοιχη συνδεσμολογία με το δίκτυο ελέγχου. Το δίκτυο υπό δοκιμή αποτελείται από αυτόνομα συστήματα, με διακριτούς και προκαθορισμένους ρόλους στον πυρήνα του δικτύου GPRS. Το σύστημα ελέγχου αποτελείται από δύο διακριτές υλοποιήσεις υλικού (Δίκτυο ελέγχου (A), και Δίκτυο ελέγχου (B)), οι οποίες είναι εγκατεστημένες σε μία κοινή πλατφόρμα και ελέγχονται από μία εφαρμογή λογισμικού. Το σύστημα ελέγχου διακρίνεται, όσον αφορά στο πεδίο του λογισμικού, στα εξής επιμέρους υποσυστήματα: *(1)* το υποσύστημα χρηστών GPRS, *(2)* το υποσύστημα του κόμβου SGSN, *(3)* το υποσύστημα προσομοίωσης υπηρεσιών διαδικτύου, *(4)* το υποσύστημα προσομοίωσης συνεργαζόμενου δικτύου, και το υποσύστημα **L**2TP **N**etwork **S**erver -(**Εξυπηρετητής δικτύου** L2TP)- (LNS). Το υποσύστημα *(5)* μπορεί να θεωρηθεί ως ανεξάρτητη υπηρεσία ή μέρος των υπηρεσιών του διαδικτύου. Οι στοίβες πρωτοκόλλων που αποτελούν το κάθε υποσύστημα καθώς και το επίπεδο ελέγχου περιγράφονται στις επόμενες παραγράφους.



Σχήμα 9.9: Τοπολογία δικτύου υπό δοκιμή

Υποσύστημα χρηστών GPRS			
Λογισμικό		**Υλικό**	
Επίπεδο ελέγχου			
TFTP(client),DNS			
UDP/TCP			
IP,ICMP,IGMP		IP	
PPP(LCP,NCP)			PPP(U-plane)

Σχήμα 9.10: Στοίβα πρωτοκόλλων χρηστών *GPRS*

9.5.1 Υποσύστημα χρηστών υπηρεσίας *GPRS*

Το υποσύστημα χρηστών GPRS προσομοιάζει τη λειτουργία και τις υπηρεσίες που χρησιμοποιεί ο χρήστης GPRS με τη βοήθεια του κινητού τερματικού και της τερματικής συσκευής. Το υποσύστημα υποστηρίζει όλους τους δυνατούς τρόπους ενεργοποίησης της πρόσβασης των χρηστών στην υπηρεσία. Σε αυτούς περιλαμβάνονται:

1. Η επαλήθευση ταυτότητας χρήστη στον **H**ome **L**ocation **R**egister -(**Οικείος καταχωρητής θέσης αναζήτησης**)- (HLR), ταύτιση της στατικής διεύθυνσης IP ή εκχώρηση δυναμικής διεύθυνσης IP.

2. Η επαλήθευση ταυτότητας χρήστη και εκχώρηση δυναμικής διεύθυνσης με τη χρήση διακομιστών όπως: ***(α)*** RADIUS, και ***(β)*** το πρωτόκολλο DHCP.

3. Η επαλήθευση ταυτότητας χρήστη και εκχώρηση δυναμικής διεύθυνσης με τη βοήθεια εξωτερικού συνεργαζόμενου δικτύου IP.

Όσον αφορά στις μεθόδους σύνδεσης ***(2)*** και ***(3)***, χρησιμοποιείται το PPP, τα πρωτόκολλα επαλήθευσης ταυτότητας χρήστη: ***(α)*** CHAP ή (β) PAP, και IPCP με σκοπό την εκχώρηση διεύθυνσης IP.

Το σύστημα είναι σε θέση να αξιοποιήσει το μέγιστο εύρος ζώνης του φυσικού μέσου μετάδοσης προκαλώντας κίνηση γενικών πακέτων IP με πολύ υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης, και ταυτόχρονα να αξιολογήσει παραμέτρους της ποιότητας του δικτύου όπως: ***(α)*** την απώλεια δεδομένων, ***(β)*** εμφάνιση σφαλμάτων μετάδοσης, και ***(γ)*** χρόνοι καθυστέρησης αποστολής και λήψης πακέτων. Η διαδικασία της αποστολής των γενικών πακέτων υλοποιείται στην εφαρμογή υλικού.

Το σύστημα, επίσης, είναι σε θέση να διεξάγει σενάρια αποστολής και μετάδοσης πακέτων χρησιμοποιώντας πρωτόκολλα του επιπέδου εφαρμογής της στοίβας IP, όπως την απλή μετάδοση αρχείων (**T**rivial **F**ile **T**ransfer **P**rotocol -(**Τετριμμένο πρωτόκολλο μεταφοράς αρχείων**)- (TFTP)) και την υπηρεσία DNS.

9.5.2 Υποσύστημα του κόμβου *SGSN*

Υποσύστημα χρηστών GPRS			
Λογισμικό		Υλικό	
Επίπεδο ελέγχου			
TFTP(client),DNS			
UDP/TCP			
IP,ICMP,IGMP		IP	
PPP(LCP,NCP)			PPP(U-plane)

Σχήμα 9.11: Υποσύστημα προσομοίωσης κόμβου *SGSN*

Το υποσύστημα αυτό υλοποιεί την προσομοίωση του SGSN. Το υποσύστημα υλοποιεί την επικοινωνία με τον κόμβο GGSN. Η επικοινωνία αυτή επιτυγχάνεται μέσω της διασύνδεσης Gn, η οποία υλοποιείται στη στοίβα στο (**σχήμα 9.11**. Η χρήση του UDPείναι εφικτή λόγω της μικρής εμφάνισης σφαλμάτων μετάδοσης στα δίκτυα Ethernet. Το υποσύστημα υποστηρίζει τις δύο εκδόσεις (v.0, και v.1) του GTP.

Το πεδίο του λογισμικού αναλαμβάνει όλες τις διαδικασίες σηματοδοσίας για την ενεργοποίηση, διαχείριση, ενημέρωση και αποδέσμευση πρωτευόντων και δευτερευόντων πλαισίων πρωτοκόλλου δεδομένων πακέτων (PDP contexts). Ο ρυθμός ενεργοποίησησ-αποδέσμευσης των πλαισίων PDP καθορίζεται από το επίπεδο ελέγχου του υποσυστήματος προσομοίωσης χρηστών GPRS. Το πεδίο του λογισμικού αναλαμβάνει, επίσης, την προώθηση πακέτων από τους χρήστες προς τα αντίστοιχα δίκτυα και αντιστρόφως.

9.5.3 Υποσυστήματα προσομοίωσης υπηρεσιών διαδικτύου και προσομοίωσης συνεργαζόμενων δικτύων

Υποσύστημα προσομοίωσης συνεργαζόμενου δικτύου	
Λογισμικό	**Υλικό**
Επίπεδο ελέγχου	
TFTP,DNS	
UDP/TCP	
IP,ICMP	IP
PPP(LCP,NCP)	PPP(U-plane)

Σχήμα 9.12: Υποσύστημα προσομοίωσης συνεργαζόμενου δικτύου

Υποσύστημα προσομοίωσης υπηρεσιών διαδικτύου	
Λογισμικό	**Υλικό**
Επίπεδο ελέγχου	
TFTP(server),DNS	
UDP/TCP	
IP,ICMP	IP
ARP	MAC

Σχήμα 9.13: Υποσύστημα υπηρεσιών διαδικτύου

Τα υποσυστήματα προσομοίωσης υπηρεσιών διαδικτύου και συνεργαζομένων δικτύων αποτελούνται από δύο παρόμοιες στοίβες με εξαίρεση την εφαρμογή του πρωτοκόλλου PPP στο δεύτερο υποσύστημα για λόγους επαλήθευσης της ταυτότητας του χρήστη και την εκχώρηση δυναμικής διεύθυνσης IP. Το υποσύστημα προσομοίωσης υπηρεσιών διαδικτύου συνδέεται με τον κόμβο GGSN χωρίς τη μεσολάβηση κάποιου ενδιάμεσου φορέα ή κόμβου. Το σύστημα προσομοίωσης συνεργαζόμενου δικτύου συνδέεται με τον κόμβο GGSN μέσω του κόμβου LNS. Τα υποσυστήματα είναι σε θέση να υποστηρίξουν πραγματικές υπηρεσίες (διακομιστές TFTP, DNS), όπως επίσης και την μετάδοση ή την ανάκλαση γενικών πακέτων IP προς το δίκτυο GPRS. Η υλοποίηση των υπηρεσιών διαδικτύου πραγματοποιείται στο πεδίο του λογισμικού. Όλες οι υπηρεσίες που υλοποιούνται στα υποσυστήματα αυτά προσομοιώνουν τη συμπεριφορά των διακομιστών, σε αντίθεση με το υποσύστημα προσομοίωσης χρηστών, στο οποίο τα πρωτόκολλα προσομοιώνουν τη συμπεριφορά των τελικών χρηστών.

9.5.4 Υποσύστημα κόμβου *LNS*

Υποσύστημα κόμβου LNS	
Λογισμικό	**Υλικό**
L2TP (C-Plane)	L2TP (U-Plane)
UDP	UDP
IP,ICMP	IP
ARP	MAC

Σχήμα 9.14: Υποσύστημα κόμβου *LNS*

Το υποσύστημα αποτελεί μία φυσική πύλη μεταξύ των χρηστών GPRS και των συνεργαζομένων δικτύων. Είναι σε θέση να πραγματοποιήσει δισημειακές συνδέσεις και σε συνεργασία με το πρωτόκολλο PPP να επαληθεύσει την ταυτότητα του χρήστη και να εκχωρήσει διευθύνσεις IP. Η προώθηση των ενθυλακωμένων PPP πακέτων πραγματοποιείται με την βοήθεια καναλιών και συνόδων τα οποία διαχειρίζεται L2TP, το οποίο κληρονόμησε τα χαρακτηριστικά και τις λειτουργίες του από το **P**oint-to-**P**oint **T**unneling **P**rotocol -(**δισημειακό πρωτόκολλο σηράγγωσης**)-(PPTP) της Microsoft και το **C**ISCO L**2** **F**orwarding -(**πρωτόκολλο προώθησης επιπέδου 2 της** CISCO)- (C2F). Τα κανάλια του L2TP ενεργοποιούνται από τον κόμβο GGSN και ταυτίζονται με τα ονόματα τομέα (domain names), τα οποία αποθηκεύονται στον κόμβο ή στο διακομιστή RADIUS. Η εξασφάλιση της δισημειακής σύνδεσης επιτυγχάνεται με την ενεργοποίηση μίας συνόδου L2TP, η οποία ενθυλακώνει τα πακέτα PPP.

Η εφαρμογή λογισμικού υλοποιεί τις απαραίτητες διαδικασίες σηματοδοσίας για την διαχείριση πολλαπλών συνδέσεων σηράγγωσης και συνόδων. Μετά την αποκατάσταση μίας συνόδου το υποσύστημα προωθεί τα πακέτα δεδομένων πραγματικών υπηρεσιών προς το υποσύστημα προσομοίωσης συνεργαζόμενου δικτύου.

Η εφαρμογή υλικού αναλαμβάνει την προώθηση από και προς το υποσύστημα γενικών πακέτων IP.

Κεφάλαιο 10

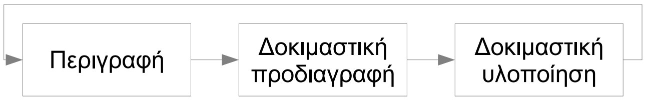
Συμπεράσματα

10.1 Μεθοδολογία σχεδίασης και βιβλιοθήκη ανάπτυξης πρωτοκόλλων

Η προτεινόμενη μεθοδολογία ανάπτυξης πρωτοκόλλων, και κατ΄ επέκταση συστημάτων, σκοπεύει στην απλοποίηση της διαδικασίας υλοποίησης των συστημάτων και των μονάδων που τα αποτελούν. Η μεθοδολογία απευθύνεται τόσο σε μή εξειδικευμένους προγραμματιστές λογισμικού, όσο και στους πιό έμπειρους από αυτούς. Η αρχιτεκτονική που προτείνεται είναι προσανατολισμένη στις τεχνικές της αντικειμενοστρεφούς σχεδίασης λογισμικών συστημάτων. Η αντικειμενοστρεφής σχεδίαση κρύβει από τον προγραμματιστή ένα μέρος από τις πολύπλοκες λειτουργίες των συστημάτων και υποσυστημάτων και διευκολύνει την περιγραφή της αρχιτεκτονικής, τόσο στο επίπεδο εσωτερικών χαρακτηριστικών και υπολογιστικών μεθόδων των συστημάτων, όσο και στο επίπεδο της διασύνδεσης αυτών. Η προτεινόμενη μεθοδολογία, όσον αφορά στη γλώσσα προγραμματισμού, έχει αφαιρετικό χαρακτήρα και μπορεί να εφαρμοστεί κάνοντας χρήση οποιασδήποτε γλώσσας προγραμματισμού διαθέτει χαρακτηριστικά όπως: *(α)* την πολυμορφία, *(β)* την κληρονομικότητα, *(γ)* την επαναχρηστικότητα, *(δ)* την απόκρυψη ιδιωτικών δεδομένων και μεθόδων, και *(ϵ)* τη μεταφερσιμότητα μεταξύ λειτουργικών συστημάτων. Από την προσωπική εμπειρία του προτείνοντος και με βάση τη διατυπωμένη γνώση και εμπειρία της παγκόσμιας κοινότητας προγραμματιστών λογισμικού, επιλέχθηκε η γλώσσα προγραμματισμού C++. Η γλώσσα C++ ικανοποιεί τις απαιτήσεις που έχουν καθοριστεί και, επιπλέον, παράγει εκτελέσιμες και στατικές βιβλιοθήκες, οι οποίες, σε αρμονία με το λειτουργικό σύστημα, παράγουν ταχύτατες εφαρμογές και συστήματα.

Η ανάπτυξη πολύπλοκων συστημάτων απαιτεί την αυστηρή τήρηση αρχών και κανόνων που αφορούν: *(α)* στην προδιαγραφή και στη σχεδίαση, και *(β)* στην υλοποίηση. Η ποιότητα, καθώς και η σημασία που δίνεται στη διαρκή ενημέρωση και βελτίωση της προδιαγραφής και της υλοποίησης επηρεάζει θεαματικά το τελικό αποτέλεσμα. Ο διαχωρισμός των συστημάτων σε ενότητες, και ο καθορισμός των στόχων των ενοτήτων και των ορίων εφαρμογής τους, προσδιορίζει τα εργαλεία με τα οποία κάθε ενότητα μπορεί να σχεδιαστεί και να αναπτυχθεί, έτσι ώστε να παραχθεί το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα.

Η περιγραφή του συστήματος προηγείται της προδιαγραφής και της υλοποίησης. Τα εργαλεία για την περιγραφή ενός συστήματος είναι πρακτικά απεριόριστα, καθώς, μία περιγραφή μπορεί να γίνει με απλές λογικές προτάσεις, εικόνες και γραφήματα, ή και συνδιασμό αυτών σε ένα πιο πολύπλοκο και ολοκληρωμένο κείμενο. Η περιγραφή μπορεί ακόμη να καθορίζει γενικούς, και σε μερικές περιπτώσεις ειδικούς στόχους, τους οποίους οφείλει να πετύχει το σύστημα. Η περιγραφή ενός συστήματος έχει βαρύνουσα σημασία και οφείλει να είναι λιτή και περιεκτική. Η περιγραφή αυτή χρησιμοποιείται ως είσοδος στη διαδικασία της ακριβούς προδιαγραφής και της σχεδίασης του προς υλοποίηση συστήματος. Αρκετές φορές, η τελική μορφή της περιγραφής, μετά από μία αναδρομική



Σχήμα 10.1: Αναδρομική διαδικασία περιγραφής συστημάτων

εφαρμογή διαδικασιών του σχήματος **10.1**, επηρέαζεται από τις δοκιμαστικές διαδικασίες της προδιαγραφής και υλοποίησης.

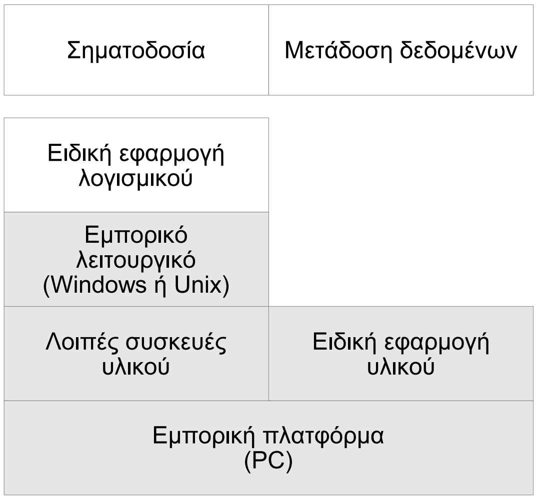
Η σχεδίαση και η προδιαγραφή της προτεινόμενης βιβλιοθήκης έχει πραγματοποιηθεί χρησιμοποιώντας της γλώσσες προδιαγραφής UML και SDL. Μέσα από την περιγραφή της προτεινόμενης αρχιτεκτονικής και βιβλιοθήκης προστίθεται μία συλλογή από ορισμούς, κανόνες, εξαιρέσεις και προτάσεις, τόσο για τη βελτιστοποίηση και την ανάπτυξη των προσφερομένων υπηρεσιών, όσο και για τη χρήση των υπηρεσιών για τη δημιουργία υποσυστημάτων και συστημάτων.

Η αποκλειστική χρήση των FDT δεν μπορεί να δώσει λύσεις στα προβλήματα και να επιτύχει τους στόχους που καθορίζονται από το σύστημα. Οι τεχνικές προδιαγραφής απευθύνονται σε μηχανικούς με ισχυρό υπόβαθρο στον επιστημονικό τους τομέα, οι οποίοι αναζητούν μία τυποποιημένη μέθοδο για τη σχεδίαση των συστημάτων που στοχεύουν να υλοποιήσουν. Ο μηχανικός, ο οποίος χρησιμοποιεί μία τεχνική προδιαγραφής, πρέπει να γνωρίζει τις παραμέτρους που αφορούν στο σύστημα εφαρμογής, στα εργαλεία υλοποίησης και τις δυνατότητες τους, και στα εργαλεία αποσφαλμάτωσης και ελέγχου ορθής λειτουργίας. Η γνώση αυτών των παραμέτρων επιταγχύνει τη διαδικασία της σχεδίασης και της προδιαγραφής, και αποφεύγεται η εισαγωγή άστοχων ορισμών, χαρακτηριστικών και μεθόδων στη σχεδίαση του συστήματος. Ο σχεδιασμός ενός συστήματος, εκτός από τη χρήση των κατάλληλων εργαλείων, πρέπει να πραγματοποιείται με γνώμονα μερικούς απλούς και γενικούς κανόνες σχεδίασης. Οι κανόνες αυτοί αφορούν: ***(α)*** στην επαναχρηστικότητα των βιβλιοθηκών, ***(β)*** στην πλήρη τεκμηρίωση των χαρακτηριστικών και των υπολογιστικών μεθόδων του συστήματος, ***(γ)*** στην επεκτασιμότητα του συστήματος, ***(δ)*** στην ανοιχτή αρχιτεκτονική και στην ποιότητα των διασυνδέσεων που προσφέρει το σύστημα, ***(ϵ)*** στην ευελιξία της χρήσης, της εφαρμογής και της διασύνδεσης με άλλα συστήματα, και ***(στ)*** στην κατάτμηση των λειτουργιών του συστήματος σε ανεξάρτητες και αυτόνομες βιβλιοθήκες.

Η προτεινόμενη μεθοδολογία και βιβλιοθήκη δεν αποτελούν μία ακόμη ανταγωνιστική μέθοδο προδιαγραφής συστημάτων και πρωτοκόλλων. Οι υπάρχουσες τεχνικές θεωρούνται αρκετά πλήρεις, στηριζόνται σε αυστηρά μαθηματικά μοντέλα και μπορούν να χρησιμοποιηθούν παράλληλα με τη χρήση της προτεινόμενης βιβλιοθήκης. Η εμπειρία έχει αποδείξει ότι καμιά πρακτική μέθοδος δεν είναι τόσο γενική για να καλύψει όλες τις ανάγκες, και στην περίπτωση που γίνεται πολύ γενική δεν παράγει ικανοποιητικά αποτελέσματα. Αρκετές εφαρμογές, εμπορικές και μή, έχουν σχεδιαστεί χρησιμοποιώντας περισσότερες από μία τεχνικές προδιαγραφής. Η προτεινόμενη βιβλιοθήκη αποτελεί μια συλλογή προγραμματιστικών κλάσεων που προσφέρονται υπο τη μορφή ελεύθερου κώδικα. Απευθύνεται στην ακαδημαϊκή κοινότητα των μηχανικών επικοινωνιών, ως ένα βασικό εργαλείο ανάπτυξης και αξιολόγησης πρωτοκόλλων επικοινωνίας. Η χρήση της αποσκοπεί στην τάχιστη ανάπτυξη ορθού και αποτελεσματικού προγραμματιστικού κώδικα. Ο κερδισμένος χρόνος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση και τον ελέγχο εγκυρότητας των διεργασιών που επιτελούνται στις στοίβες των εμπλεκομένων πρωτοκόλλων. Οι τεχνικές υλοποίησης των χαρακτηριστικών και των υπολογιστικών μεθόδων των κλάσεων, καθώς και η διασύνδεση αυτών, αποσκοπούν στην παραγωγή ταχύτατων εκτελέσιμων προγραμμάτων. Οι δύο αυτοί παράμετροι καθορίζουν την ποιότητα της αρχιτεκτονικής. Η τιμή του συντελεστή ποιότητας μειώνεται όσο ο χρόνος ανάπτυξης της εφαρμογής και των κύκλων επεξεργασίας που καταναλώνονται απο τις εσωτερικές διεργασίες του εκτελέσιμου προγράμματος αυξάνεται. Η ομαδοποίηση των κοινών διαδικασιών που εκτελούνται απο τα πρωτόκολλα σε κλάσεις οντοτήτων βελτιώνει τις διαδικασίες ανίχνευσης σφαλμάτων στον κώδικα ανάπτυξης και απλουστεύει την προσπάθεια επίλυσης προβλημάτων ή την αναβάθμιση και την προσθήκη νέων οντοτήτων. Στο κεφάλαιο που περιγράφει την πιλοτική εφαρμογή επιδεικνύεται η μεθοδολογία ανάπτυξης της εφαρμογής προσομοίωσης δύο τηλεπικοινωνιακών διασυνδέσεων. Η περιγραφή αυτή αποδεικνύει την ευχρηστία των κλάσεων της προτεινόμενης βιβλιοθήκης. Τα πειραματικά αποτελέσματα που αφορούν στους χρόνους απόκρισης του συστήματος έχουν άμεση σχέση με την ποιότητα του εκτελέσιμου κώδικα και την επεξεργαστική ισχύ που καταναλώνουν οι αλγοριθμικές διαδικασίες των κλάσεων.

10.2 Προσομοίωση και σχεδίαση προσωρινών ή πρωτότυπων τηλεπικοινωνιακών κόμβων

Στην ειδική περίπτωση προσομοίωσης ενός τηλεπικοινωνιακού κόμβου ή κατασκευής ενός προσωρινού ή πρωτότυπου κόμβου, η παρούσα εργασία αποδεικνύει την αποτελεσματικότητα της τεχνικής της ενσωμάτωσης των σηματοδοτικών διαδικασιών στο επίπεδο του λογισμικού και την υλοποίηση των μονοπατιών δεδομένων στο επίπεδο του υλικού (**σχήμα 10.2**). Η εξειδικευμένη ή ειδική πλατφόρμα υλικού υλοποιείται σε ένα τυποποιημένο κύκλωμα τεχνολογίας διασύνδεσης PCI ή Compact



Σχήμα 10.2: Αρχιτεκτονική σηματοδοσίας και μονοπατιών δεδομένων

Peripheral **C**omponent **I**nterconnect (CPCI). Τα βασικά στοιχεία που αποτελούν το τυποποιημένο κύκλωμα είναι τα εξής: ***(α)*** ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα ελέγχου της διασύνδεσης PCI ή CPCI, ***(β)*** μνήμες τυχαίας προσπέλασης, ***(γ)*** ένα μικροελεγκτή για το συντονισμό των αιτήσεων των περιφερειακών στοιχείων για δέσμευση των πόρων του υλικού, και ***(γ)*** ένα ή και περισσότερα ολοκληρωμένα κυκλώματα προγραμματιζόμενης λογικής που αναλαμβάνουν τη μετάδοση των δεδομένων. Τα ολοκληρωμένα κυκλώματα FPGA, λόγω της αυθεντικής παραλληλίας των εσωτερικών διαδικασιών τους και της ουσιαστικής υλοποίησης συστημάτων πραγματικού χρόνου, αποτελούν μία ιδανική μέθοδο υλοποίησης των μονοπατιών μετάδοσης δεδομένων. Ιδιαίτερα χαρακτηριστικά αυτής της υλοποίησης είναι: ***(α)*** η πλήρης αξιοποίηση του φυσικού μέσου μετάδοσης, και ***(β)*** ο σταθερός ρυθμός μετάδοσης των δεδομένων (**C**onstant **B**it**R**ate -(**Σταθερός ρυθμός μετάδοσης**)- (CBR)). Η προετοιμασία, η συντήρηση και η αποδεσμεύση του μονοπατιού μετάδοσης, λόγω της ιδιαίτερα υψηλής πολυπλοκότητας των διαδικασιών σηματοδοσίας, αφαιρείται από το επίπεδο του υλικού και εισάγεται στο επίπεδο του λογισμικού.

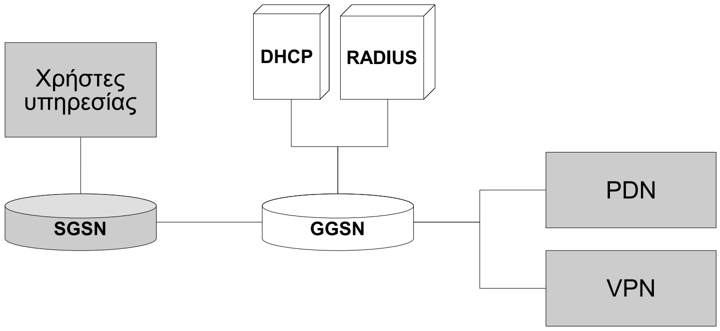
Η εξειδικευμένη εφαρμογή λογισμικού επιτελεί όλες τις πολύπλοκες και σύνθετες σηματοδοτικές διαδικασίες που απαιτούνται για τη διαχείριση των μονοπατιών μετάδοσης δεδομένων. Η σωστή συνεργασία δε της εφαρμογής λογισμικού και της εφαρμογής υλικού υλοποιεί ένα πλήρες σύστημα με το οποίο ολοκληρώνονται οι διασυνδέσεις και οι εσωτερικές διαδικασίες των κόμβων προσομοίωσης και των προσωρινών ή πρωτότυπων κόμβων. Η υλοποίηση λογισμικών εφαρμογών για την ορθή λειτουργία των πρωτοκολλικών στοιβών και την αποτελεσματική εκτέλεση του παραγόμενου κώδικα, επιτυγχάνεται με την εμπλοκή τόσο στη φάση σχεδίασης, όσο και στη φάση ανάπτυξης, εξειδικευμένων μηχανικών τηλεπικοινωνιών και μηχανικών λογισμικού.

Η εξειδίκευση σε ένα γνωστικό αντικείμενο, καθώς και η άριστη συνεργασία μεταξύ των έμπειρων επιστημόνων, έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία βέλτιστων δυνατών λύσεων. Η συνεργασία μεταξύ των μηχανικών μπορεί να επιτευχθεί με τη δημιουργία κοινών χώρων σχεδίασης και υλοποίησης, ο οποίος ανάλογα της εξειδίκευσης του μηχανικού χρησιμοποιεί διαφορετικούς βαθμούς αφαίρεσης, αποκρύπτει αρκετό μέρος της πολυπλοκότητας των υπολογιστικών του μεθόδων, και προσφέρει τα κατάλληλα εργαλεία για την υλοποίηση ορθών και αποτελεσματικών εφαρμογών. Η προτεινόμενη μεθοδολογία και βιβλιοθήκη προσφέρεται στους μηχανικούς τηλεπικοινωνιών για την γρήγορη δημιουργία ορθών και αποτελεσματικών λογισμικών εφαρμογών πρωτοκόλλων επικοινωνιών και τηλεπικοινωνιών με σκοπό την υλοποίηση συστημάτων προσωμοίωσης και προσωρινών ή πρωτότυπων συστημάτων. Η προτεινόμενη μεθοδολογία και βιβλιοθήκη προσφέρουν το απαραίτητο επίπεδο αφαίρεσης όσον αφορά στο λειτουργικό σύστημα εφαρμογής και αποκρύπτει από τον προγραμματιστή τόσο τις πολύπλοκές υπολογιστικές μεθόδους του συστήματος, όσο και τους εξειδικευμένους ορισμούς και δηλώσεις της γλώσσας προγραμματισμού.

10.3 Η προτεινόμενη μεθοδολογία και η σχετική βιβλιοθήκη λογισμικού

Η προτεινόμενη μεθοδολογία και η σχετική βιβλιοθήκη έχουν σχεδιαστεί και αναπτυχθεί με στόχο την παροχή εργαλείων (παθητικών κλάσεων) και μονάδων (διαδραστικών κλάσεων) για την υλοποίηση πρωτοκόλλων επικοινωνιών και διασυνδέσεων για τα πρότυπα IP και OSI. Η ανοιχτή επικοινωνία μεταξύ των μονάδων και η ταξινόμηση τους σε δεντρικές δομές επιτρέπει τόσο την άμεση επικοινωνία (IP στοίβα), όσο και τη διαστρωματωμένη επικοινωνία (OSI στοίβα). Οι ορισμοί των θεμελιωδών τύπων της γλώσσας ανάπτυξης, καθώς και των βιβλιοθηκών που χρησιμοποιούνται κατά τη μεταγλώττιση έχουν πραγματοποιηθεί με στόχο την αποδέσμευση των υπηρεσιών από συγκεκριμένο τύπο λειτουργικού συστήματος. Η προτεινόμενη βιβλιοθήκη παραμένει επίσης ανεξάρτητη από το μέσο, τις τεχνικές και το πρότυπο που χρησιμοποιείται για την απεικόνιση και τον έλεγχο των εσωτερικών παραμέτρων των μονάδων και των εργαλείων. Η σχεδίαση των μεθόδων αλληλεπίδρασης μεταξύ της προτεινόμενης βιβλιοθήκης και του συστήματος που φιλοξενεί τον εκτελέσιμο κώδικα ακολουθεί, όπου αυτό είναι εφικτό, παγκοσμίως διαδεδομένα πρότυπα.

Στο κεφάλαιο ¨Πιλοτική υλοποίηση' επιδεικνύεται το παραγόμενο σύστημα προσομοίωσης κόμβων για τον έλεγχο και την πιστοποίηση των ορθών και αποτελεσματικών λειτουργιών της υπηρεσίας GPRS και του δικτύου $3^{\eta\varsigma}$ γενιάς κινητών επικοινωνιών **U**niversal **M**obile **T**elecommunications **S**ystem -(**Παγκόσμιο σύστημα κινητών τηλεπικοινωνιών**)- (UMTS). Το σύστημα προσομοιώνει τις σηματοδοτικές διαδικασίες και τη μετάδοση δεδομένων για τις ακόλουθες οντοτήτες του δικτύου: *(α)* τους χρήστες της υπηρεσίας GPRS, *(β)* τον κόμβο SGSN, *(γ)* το δίκτυο **V**irtual **P**rivate **N**etwork -(**Ιδεατό ιδιωτικό δίκτυο**)- (VPN), και *(δ)* το δίκτυο PDN. Στο **σχήμα 10.3** οι κόμβοι προσομοίωσης παρουσιάζονται μέσα στα γκρίζα πλαίσια. Η υλοποίηση της λογισμικής εφαρμογής ολοκληρώνει όλες τις πολύπλοκες διαδικασίες που διενεργούνται μέσα στο δίκτυο προσομοίωσης. Οι διαδικασίες αυτές αφορούν: *(α)* στις σηματοδοτικές διαδικασίες μεταξύ των κόμβων,



Σχήμα 10.3: Κόμβοι προσομοίωσης

(β) στις λογικές συσχετίσεις μεταξύ των κόμβων, των χρηστών, και των εξωτερικών δικτύων, ***(γ)*** στη σχεδίαση και εκτέλεση πολύπλοκων σεναρίων, ***(δ)*** στη διαχείριση της εφαρμογής υλικού για τη διαχείριση των μονοπατιών δεδομένων, ***(ϵ)*** την αξιολόγηση της ποιότητας των υπηρεσιών, κ.λ.π. Ο χρόνος ανάπτυξης καταναλώθηκε για τη σχεδίαση και την υλοποίηση της λογισμικής εφαρμογής όσον αφορά στο μέρος των τηλεπικοινωνιακών δηλώσεων και ορισμών. Η προτεινόμενη βιβλιοθήκη πρόσφερε τα χαρακτηριστικά, τις υπολογιστικές μεθόδους και την αρχιτεκτονική της άμεσης και έμμεσης διασύνδεσης των οντοτήτων του δικτύου, με αποτέλεσμα να διοχετευτεί ο χρόνος σχεδίασης και υλοποίησης στο τηλεπικοινωνιακό κομμάτι. Παρείχε, επίσης, έτοιμες λύσεις στους μηχανικούς τηλεπικοινωνιών και μία πλατφόρμα υλοποίησης με ένα αρκετά ικανοποιητικό βαθμό αφαίρεσης, και αποδέσμευσε τους προγραμματιστές από την ανάγκη εξειδίκευσης των γνώσεων τους τόσο στη γλώσσα προγραμματισμού, όσο και στο λειτουργικό σύστημα.

Κατά τη σχεδίαση και την υλοποίηση συστημάτων προσομοίωσης κόμβων πραγματοποιείται παράλληλα και η αποτίμηση των παρεχομένων υπηρεσιών της προτεινόμενης μεθοδολογίας και της σχετικής βιβλιοθήκης. Η αποτίμηση αυτή χρησιμοποιείται για την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων όσον αφορά στην ποιότητα των υπηρεσιών της προτεινόμενης βιβλιοθήκης. Τα συμπεράσματα αναδεικνύουν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της προτεινόμενης μεθόδου και της βιβλιοθήκης, και καθορίζουν τόσο τις βελτιώσεις που πρέπει να εφαρμοστούν, όσο και τις επεκτάσεις που πρέπει να σχεδιαστούν και να υλοποιηθούν.

- ***Πλεονεκτήματα***
  - Η προτεινόμενη βιβλιοθήκη προετοιμάζει και καθορίζει εκείνες τις παραμέτρους της μεταγλώττισης του παραγομένου κώδικα που αφορούν στον τύπο του λειτουργικού συστήματος (MS Windows, Linux) και στην αρχιτεκτονική του επεξεργαστή (Intel/AMD 32/64-bit).
  - Η αρχιτεκτονική της προτεινόμενης βιβλιοθήκης συμβάλλει στη σχεδίαση και στην υλοποίηση διακριτών πρωτοκολλικών επιπέδων με τη μορφή στατικών ή δυναμικών λογισμικών βιβλιοθηκών.

- Κάθε πρωτόκολλο που υλοποιείται αποκτά ένα αρκετά ικανοποιητικό βαθμό ανεξαρτησίας τόσο από την εφαρμογή λογισμικού, όσο και από τα υπόλοιπα πρωτόκολλα που συμμετέχουν στην υπό υλοποίηση στοίβα.

- Η προτεινόμενη βιβλιοθήκη προσφέρει, με τη μορφή εργαλείων, έτοιμες λύσεις για αρκετά αμιγώς λογισμικά θέματα όπως: ***(α)*** γεννήτορες τυχαίων αριθμών, ***(β)*** μηχανές ανάθεσης και διαχείρισης αξιών μεταβλητών, ***(γ)*** δυναμικές, πολυδιάστατες και πολυμορφικές δομές δεδομένων (πίνακες, λίστες, δέντρα), ***(δ)*** μηχανές μέτρησης χρόνου στα όρια του ρολογιού του επεξεργαστή, κ.λ.π.

- Η προτεινόμενη βιβλιοθήκη προσφέρει λύσεις για την ομαλή λειτουργία των παραγομένων βιβλιοθηκών στα πλαίσια του λειτουργικού συστήματος. Μερικές από τις λύσεις αυτές αφορούν: ***(α)*** στην προστασία του εκτελέσιμου κώδικα από την πρόκληση εξαιρέσεων κατά την εκτέλεση, ***(β)*** στην ορθή χρήση και διαχείριση των πόρων μνήμης του συστήματος, ***(γ)*** στην εκκίνηση, διαχείριση και τερματισμό ασύγχρονων διαδικασιών, και ***(δ)*** στον συγχρονισμό των ασύγχρονων διαδικασιών όσον αφορά στην πρόσβαση σε κοινούς πόρους.

- Αρκετά εργαλεία της προτεινόμενης βιβλιοθήκης έχουν σχεδιαστεί για την ικανοποίηση των αναγκών των εσωτερικών διαδικασιών των πρωτοκολλικών στρωμάτων και διασυνδέσεων που αφορούν: ***(α)*** στην ανίχνευση σφαλμάτων μετάδοσης, ***(β)*** στις διαδικασίες δρομολόγησης και διαχείρισης χρονολογικών γεγονότων, ***(γ)*** στην υλοποίηση μηχανών πεπερασμένων καταστάσεων, ***(δ)*** στη διασύνδεση των πρωτοκολλικών επιπέδων στα πλαίσια της στοίβας που τα φιλοξενεί, και ***(ϵ)*** στην υλοποίηση μηχανών εξυπηρέτησης μηνυμάτων (ασύγχρονη ή σύγχρονη εξυπηρέτηση, μέ ή χωρίς προτεραιότητα).

- Οι ορισμοί των μονάδων και των επι μέρους υπομονάδων που το αποτελούν, προσδιορίζουν το σκελετό κάθε ξεχωριστής λογισμικής βιβλιοθήκης που υλοποιεί ένα πρωτοκολλικό επίπεδο. Το χαρακτηριστικό αυτό των μονάδων διευκολύνει την ανάπτυξη του πηγαίου κώδικα τόσο τους έμπειρους μηχανικούς τηλεπικοινωνιών, όσο και τους σχετικά αρχάριους.

- Η αρχιτεκτονική της προτεινόμενης βιβλιοθήκης εξυπηρετεί επίσης στη διάκριση των ρόλων των μηχανικών κατά τη φάση σχεδίασης και ανάπτυξης. Οι μηχανικοί τηλεπικοινωνιών απολαμβάνουν τις υπηρεσίες που προσφέρονται από την προτεινόμενη βιβλιοθήκη, χωρίς τους προβληματισμούς για την επέκταση ή βελτίωση των υπηρεσιών αυτών. Οι μηχανικοί λογισμικού δε, αναπτύσσουν καινούριες υπηρεσίες και εμπλουτίζουν τις ήδη υπαρχούσες με σκοπό την αύξηση του συντελεστή απόδοσης του πυρήνα της βιβλιοθήκης.

• ***Μειονεκτήματα***

- Η προτεινόμενη βιβλιοθήκη προδιαγράφει αντικειμενοστρεφείς αρχιτεκτονικές ανάπτυξης πρωτοκολλικών στοιβών. Για το λόγο αυτό δεν είναι πλήρως προσανατολισμένη στο πρότυπο OSI ή στη στοίβα IP. Λόγω της αντικειμενοστρεφούς σχεδίασης και των συσχετίσεων των πρωτοκολλικών μονάδων, η ενδοεπικοινωνία αποκαθίσταται σε όλα τα επίπεδα της στοίβας. Ο σκελετός της υπό ανάπτυξη στοίβας ορίζεται από το χρήστη της βιβλιοθήκης και κατασκευάζεται από τη λογισμική εφαρμογή κατά την εκκίνηση του εκτελέσιμου.

- Η χρήση των εργαλείων της βιβλιοθήκης, καθώς και η συμμόρφωση της σχεδίασης και ανάπτυξης πηγαίου κώδικα με τις αρχές και τους κανόνες της προτεινόμενης αρχιτεκτονικής αποτελεί μία ολοκληρωμένη λύση. Η συμβατότητα, όμως, της προτεινόμενης αρχιτεκτονικής με εναλλακτικές μεθόδους ανάπτυξης (δομημένος προγραμματισμός), είναι σχεδόν ανύπαρκτη καθώς, κάθε προσπάθεια σύζευξης των αρχιτεκτονικών αυτών απαιτεί σημαντικό χρόνο και κόπο.

- Η προτεινόμενη βιβλιοθήκη υπολείπεται σε εργαλεία ανάπτυξης γραφικού περιβάλλοντος που θα διευκόλυναν σημαντικά τον ορισμό και την προδιαγραφή καινούριων πρωτοκόλλων και στοιβών απλοποιώντας ακόμη περισσότερο την αρχικοποίηση και την προετοιμασία των ανεξάρτητων βιβλιοθηκών λογισμικού.

- Οι χρήστες της προτεινόμενης βιβλιοθήκης οφείλουν να διαθέτουν ικανοποιητικές γνώσεις προγραμματισμού όσον αφορά στη γλώσσα προγραμματισμού C++, με την οποία υλοποιήθηκαν οι υπηρεσίες που προσφέρει η βιβλιοθήκη. Οι υπηρεσίες της προτεινόμενης βιβλιοθήκης δεν είναι όλες ικανές να μεταγλωττιστούν σε δυναμικές βιβλιοθήκες έτσι ώστε να κληθούν από εκτελέσιμα προγράμματα τα οποία αναπτυχθήκαν με τη χρήση κάποιας εναλλακτικής γλώσσας προγραμματισμού. Αυτό μπορεί να αποτελέσει σημαντικό μειονέκτημα όσο αφορά στους χρήστες με ελάχιστη ή μηδενική εμπειρία στην ανάπτυξη πηγαίου κώδικα C++.

- Οι πρώτες εκδόσεις της προτεινόμενης βιβλιοθήκης προσφέρουν τις υπηρεσίες τους αποκλειστικά ως ενσωματωμένες ενότητες λογισμικού στα πλαίσια μίας εκτελέσιμης λογισμικής εφαρμογής. Η χρήση αυτής της αρχιτεκτονικής επιταχύνει μεν σημαντικά τους χρόνους κλήσης και εκτέλεσης των επί μέρους συναρτήσεων, περιορίζει δε τις μεθόδους χρησιμοποίησης των παρεχομένων υπηρεσιών.

- Οι ορισμοί πολυμορφικών δομών δεδομένων και κλάσεων, η οποία αποτελεί ένα σημαντικό πλεονέκτημα της γλώσσας C++ και χρησιμοποιείται στην ανάπτυξη αρκετών εργαλείων της προτεινόμενης βιβλιοθήκης, έχει ως αποτέλεσμα την αδυναμία μεταγλώττισης του συνόλου της προτεινόμενης βιβλιοθήκης σε στατικές ή δυναμικές βιβλιοθήκες λογισμικού.

10.4 Μελλοντική ανάπτυξη της προτεινόμενης βιβλιοθήκης

Η προτεινόμενη βιβλιοθήκη προσφέρεται για την γρήγορη ανάπτυξη πηγαίου κώδικα με σκοπό την υλοποίηση πρωτότυπων ή ολοκληρωμένων κόμβων επικοινωνιών σε δίκτυα υπολογιστών και σε δίκτυα κινητών τηλεπικοινωνιών τρίτης γενιάς. Η βιβλιοθήκη πρέπει να θεωρείται ως ένας ζωντανός οργανισμός, ο οποίος σε συνεργασία με τους μηχανικούς λογισμικού και τους μηχανικούς τηλεπικοινωνιών, βελτιώνει τις παρεχόμενες υπηρεσίες της, εισάγει καινούριες υπηρεσίες, και συμπληρώνει τις ελλείψεις της. Η συνεισφορά των μηχανικών τηλεπικοινωνιών, οι οποίοι είναι και οι ουσιαστικοί χρήστες της βιβλιοθήκης, όσον αφορά στην αποτίμηση της ποιότητας και της πληρότητας τόσο της αρχιτεκτονικής όσο και των λογισμικών λύσεων που προσφέρονται, κρίνεται ιδιαίτερα κρίσιμη για την εξέλιξη της βιβλιοθήκης. Η ανάπτυξη του συστήματος προσομοίωσης χρηστών της υπηρεσίας GPRS, το οποίο περιγράφεται στο κεφάλαιο ¨Πιλοτική υλοποίηση¨, αποτέλεσε μία ιδανική ευκαιρία αποτίμησης και αξιολόγησης της προτεινόμενης βιβλιοθήκης. Η ανάπτυξη του συστήματος ανέδειξε αρκετά από τα μειονεκτήματα που περιγράφονται σε προηγούμενη παράγραφο και δημιούργησε την ανάγκη για περαιτέρω ανάπτυξη της βιβλιοθήκης και την εισαγωγή καινούριων εργαλείων. Μερικά από τα σημαντικότερα σημεία που αφορούν στη μελλοντική ανάπτυξη, βραχυπρόθεσμη και μακροπρόθεσμη, αποτελούν τα ακόλουθα:

- Η εκμετάλλευση των γλωσσών προδιαγραφής, όπως η ASN.1 και η E**X**tensible **M**arkup **L**anguage -(**Γλώσσα επεκτάσιμης σήμανσης**)- (XML)), θα αποτελούσε ένα σημαντικό εργαλείο όσον αφορά στην ανάπτυξη συντακτικών και γραμματικών αναλυτών. Η εφαρμογή των εν λόγω γλωσσών προδιαγραφής απαιτεί τη δημιουργία κατάλληλων κλάσεων αντικειμένων, τα οποία, θα είναι σε θέση να μεταφράζουν την προδιαγραφή και να προσαρμόζονται δυναμικά στις ανάγκες του συντακτικού αναλυτή κάθε πρωτοκόλλου. Η μέθοδος αυτή θα απλοποιήσει σημαντικά την υλοποίηση και θα επιταχύνει το χρόνο ανάπτυξης καινούριων επιπέδων. Η ανάπτυξη των κλάσεων αυτών απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή και επιμέλεια έτσι ώστε η χρήση της μεθόδου να έχει τη μικρότερη δυνατή επίπτωση στο χρόνο απόκρισης της εκτελέσιμης εφαρμογής.

- Οι μονάδες, και κατ΄ επέκταση τα αντικείμενα των πρωτοκόλλων και των στοιβών, προσφέρουν μία τυπική και απλουστευμένη μέθοδο αναφοράς των εσωτερικών τους παραμέτρων ανεξάρτητη από τη βιβλιοθήκη απεικόνισης. Η ενσωμάτωση μηχανισμών απεικόνισης των εσωτερικών παραμέτρων των πρωτοκολλικών επιπέδων πρέπει να πραγματοποιηθεί με τρόπο ώστε να διατηρείται η ανεξαρτησία της βιβλιοθήκης από το λειτουργικό σύστημα. Κατάλληλες λογισμικές βιβλιοθήκες γραφικών αποτελούν, μεταξύ άλλων, η **G**UI **T**ool**K**it (GTK) και τα Widgets.

- Η παρουσία γραφικού περιβάλλοντος ανάπτυξης θα διευκολύνει σημαντικά την ανάπτυξη πηγαίου κώδικα προσανατολισμένου στην υλοποίηση τηλεπικοινωνιακών λύσεων. Με τη χρήση του γραφικού περιβάλλοντος θα γίνει ταχύτερος ο ορισμός καινούριων πρωτοκόλλων και στοιβών απλοποιώντας ακόμη περισσότερο την αρχικοποίηση και την προετοιμασία των ανεξάρτητων λογισμικών βιβλιοθηκών.

- Η ανάπτυξη της βιβλιοθήκης σε μία εναλλακτική γλώσσα προγραμματισμού αποτελεί μία σημαντική παράμετρο όσον αφορά στην ανταγωνιστική λειτουργία της βιβλιοθήκης σε λειτουργικά συστήματα που παρουσιάζουν αποκλίσεις στις υλοποιήσεις του πυρήνα τους από την C++. Παράδειγμα τέτοιων αποκλίσεων αποτελεί τη στρατηγική απόφαση της Microsoft να προωθήσει τα προϊόντα της τεχνολογίας .NET. Για το σκοπό αυτό, η εταιρεία έχει εισαγάγει μία καινούρια προδιαγραφή της γλώσσας C++, η οποία διατίθεται με την ονομασίαC++/CLI. Η προδιαγραφή παρουσιάζει αρκετές διαφορές με την C++ και η ταυτόχρονη χρήση τους πρέπει να γίνεται με ιδιαίτερη προσοχή. Επιπλέον, ο μεταγλωττιστής της C++ στα λειτουργικά συστήματα της Microsoft χρησιμοποιεί την βιβλιοθήκη Win32, η οποία στα μελλοντικά λειτουργικά συστήματα της εταιρείας θα είναι προσβάσιμη μόνο μέσω της τεχνολογίας .NET. Το γεγονός αυτό θα προκαλέσει μία σημαντική αύξηση του χρόνου απόκρισης των εφαρμογών που στηρίζονται στη βιβλιοθήκη Win32.

Η μελλοντική ανάπτυξη της προτεινόμενης βιβλιοθήκης δεν περιορίζεται στα πιό πάνω σημεία. Η δημιουργία καινούριων αναγκών, καθώς συνεχίζεται η χρησιμοποίηση της βιβλιοθήκης, τροφοδοτεί μία αστείρευτη πηγή ιδεών, οι οποίες εμπλουτίζουν, ή επαναπροσδιορίζουν τους μελλοντικούς στόχους της εξέλιξης.

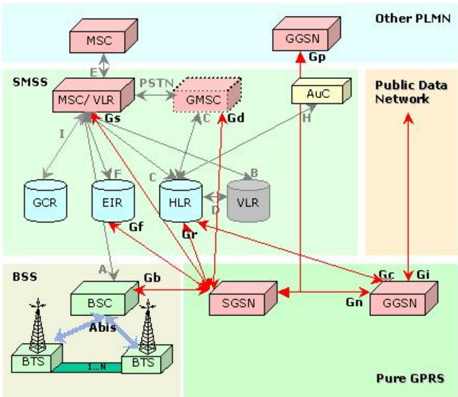
Παράρτημα Α΄

Η υπηρεσίας GPRS

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστεί η τοπολογία του δικτύου σε σχέση με το **G**lobal **S**ystem for **M**obile communicationm -(**Παγκόσμιο σύστημα κινητών επικοινωνιών**)- (GSM). Θα περιγραφτεί, επίσης, η λειτουργία των κόμβων SGSN και GGSN, καθώς και οι διασυνδέσεις με τις οποίες συνδέονται οι κόμβοι μεταξύ τους. Η ποικιλία, καθώς και ο αριθμός των υπηρεσιών που προσφέρονται στο GPRS είναι αρκετά αυξημένος λόγω της χρήσης μεθόδων **P**acket **S**witched -(**Μεταγωγή πακέτου**)- (PS).

Α΄.1 Τοπολογία δικτύου

Η υπηρεσία GPRS εισάγει στην ήδη υπάρχουσα τοπολογία δικτύου GSM δύο καινούργιους κόμβους. Οι κόμβοι αυτοί αναλαμβάνουν τη δρομολόγηση των πακέτων δεδομένων από και προς την κινητή τερματική συσκευή. Στο **σχήμα Α΄.1** παρουσιάζεται η πλήρης τοπολογία του δικτύου.



Σχήμα Α΄.1: Η τοπολογία GPRS στο GSM δίκτυο

Ο κόμβος SGSN, ο οποίος βρίσκεται στην ίδια ιεραρχική βαθμίδα με το **M**obile-Serving **S**witching **C**enter -(**Κέντρο μεταγωγής κινητών σταθμών**)- (MSC), συλλέγει τα πακέτα δεδομένων από το **B**ase **S**tation **C**ontroller -(**Ελεγκτής σταθμών βάσης**)- (BSC) και τα δρομολογεί, μέσω της πύλης εξόδου, προς άλλα ψηφιακά δίκτυα δεδομένων. Η πύλη του δικτύου GPRS ολοκληρώνεται με τις λειτουργίες που υποστηρίζονται στον κόμβο GGSN. Οι δύο αυτοί κόμβοι υποστηρίζουν τις διαδικασίες διασύνδεσης του χρήστη με τα εξωτερικά δίκτυα διακίνησης ψηφιακής πληροφορίας (π.χ. το Internet. Ο BSC διατηρεί τον απόλυτο έλεγχο στη δρομολόγηση της κίνησης μέσω του MSC ή του SGSN. Η μεταγωγή των πακέτων γίνεται με κριτήριο την υπηρεσία που χρησιμοποιεί ο χρήστης. Για υπηρεσίες που υποστηρίζουν μεταγωγή κυκλώματος, η κίνηση δρομολογείται προς το κινητό κέντρο μεταγωγής. Αντίθετα, για υπηρεσίες που υποστηρίζουν μεταγωγή πακέτων, η κίνηση δρομολογείται στον κόμβο SGSN.

Η λειτουργία του GPRS δεν παρουσιάζει αφαιρετικές τάσεις όσον αφορά στην ομαλή διασύνδεση του με το δίκτυο GSM. Οι δομικές μονάδες που γνωρίσαμε στο GSM δεν εγκαταλείπονται. Η διασύνδεση, όμως, με τους κόμβους SGSN και GGSN απαιτεί τον εμπλουτισμό των διαδικασιών και των διασυνδέσεων που υποστηρίζει το GSM.

Α′.2 Σύντομη περιγραφή των GSN

Οι δύο καινούργιοι κόμβοι, με το γενικό όνομα GSN, ολοκληρώνουν τις απαραίτητες υπηρεσίες διασύνδεσης δικτύου-χρήστη. Κάθε κόμβος επιτελεί διαφορετικό έργο.

Α′.2.1 Λειτουργία του κόμβου SGSN

Ο κόμβος SGSN παρέχει τη δυνατότητα δρομολόγησης πακέτων από και προς μια περιοχή SGSN. Εξυπηρετεί όλες τους συνδρομητές της υπηρεσίας GPRS, των οποίων η φυσική τους θέση βρίσκεται στα όρια της περιοχής SGSN. Κάθε συνδρομητής έχει τη δυνατότητα να εξυπηρετηθεί, σε σχέση με τη φυσική του θέση, από οποιοδήποτε SGSN ανήκει στο δίκτυο. Οι βασικές λειτουργίες του κόμβου είναι οι εξής: ***(α)*** η δρομολόγηση (Routing), ***(β)*** η διαχείριση της κινητικότητας των χρηστών (**M**obility **M**anagement -(**Διαχείριση κινητικότητας συνδρομητή**)- (MM)), ***(γ)*** η πιστοποίηση (Authentication), ***(δ)*** η διαχείριση σύνδεσης (**Se**ssion **M**anagement -(**Διαχείριση συνόδου**)- (SeM)), ***(ϵ)*** η ασφάλεια (Security), ***(στ)*** η διαδικασία χρέωσης (**Ch**arginig **F**unctions -(**Διαδικασίες χρέωσης**)- (ChF)), και ***(ζ)*** η υποστήριξη υπηρεσία μικρών μηνυμάτων (**S**hort **M**essage **S**ervice -(**Υποστήριξη υπηρεσίας βραχέων μηνυμάτων**)- (SMS)).

Α′.2.2 Λειτουργία του κόμβου GGSN

Ο κόμβος GGSN παρέχει στο SGSN τις απαραίτητες λειτουργίες για τη διασύνδεση του τόσο με άλλα δίκτυα GPRS, όσο και με εξωτερικά δίκτυα IP. Οι λειτουργίες που παρέχει συνοψίζονται στις:

(α) δρομολόγηση (Routing), ***(β)*** τοίχος προστασίας από ανεπιθύμητες προσβάσεις (Firewall), ***(γ)*** ασφάλεια στην επικοινωνία (Security), ***(δ)*** διαχείριση κινητικότητας (MM), ***(ϵ)*** διαχείριση σύνδεσης (SeM), και ***(στ)*** διαδικασία χρέωσης (ChF).

Α′.3 Υπηρεσίες του δικτύου

Το GPRS εισάγει στην υποδομή του GSM καινούριες υπηρεσίες δικτύου, οι οποίες είναι αδιαφανείς στο χρήστη του συστήματος και αφορούν: ***(α)*** στην ομαλή διασύνδεση των υποσυστημάτων που αποτελούν το δίκτυο, και ***(β)*** στη διατήρηση της αρμονικής λειτουργίας των παρεχομένων υπηρεσιών χρήστη.

Α′.3.1 Διαχείριση Δεδομένων (Payload Handling)

Ο κόμβος GSN χρησιμοποιεί τη στοίβα IP για την έγκυρη μετάδοση των δεδομένων. Κατά τη διαδικασία της σύνδεσης ενός χρήστη στην υπηρεσία GPRS, ενεργοποιείται ένα στοιχείο **P**acket **D**ata **P**rotocol -(**Πρωτόκολλο δεδομένων πακέτου**)- (PDP). Η **T**erminal **E**quipment -(**Τερματικός εξοπλισμός**)- (TE) μπορεί να μεταδώσει πακέτα δεδομένων στο κανάλι μετάδοσης[1] και λαμβάνει πακέτα δεδομένων στο κανάλι λήψης[2].

Το σύστημα έχει την επιλογή να κρυπτογραφεί όλα τα πακέτα που τερματίζονται στην TE, όταν αυτά μεταδίδονται μέσω της ασύρματης διασύνδεσης, προφυλάσσοντας με τον τρόπο αυτό το χρήστη από υποκλοπές. Τα πακέτα IP τεμαχίζονται κατά τη μετάδοση τους μέσω της ασύρματης διασύνδεσης σε προκαθορισμένο μήκος, το οποίο εξαρτάται από την τεχνική κωδικοποίησης. Τα δομικά στοιχεία της υπηρεσίας GPRS προστατεύονται από τις εξωτερικές προσβάσεις των **M**obile **S**ubscriber -(**Κινητός συνδρομητής**)- (MS) και των χώρων φιλοξενίας του διαδικτύου.

Α′.3.2 Ασύρματη πρόσβαση (RA)

Η υπηρεσία GPRS παρέχει πρόσβαση σε ραδιοσυχνότητες μεταδίδοντας δεδομένα στα ράδιο-κανάλια μέσω της ασύρματης διασύνδεσης. Το **P**acket **D**ata **Ch**annel -(**Κανάλι πακέτων δεδομένων**)- (PDCH) χρησιμοποιείται για τη μετάδοση των δεδομένων. Σε περίπτωση που κάποιος χρήστης δεν έχει προκαθορισμένες αποθεματικές συχνότητες για τη χρήση GPRS, η σηματοδοσία και η μετάδοση δεδομένων πραγματοποιείται μέσω κοινών καναλιών ελέγχου. Η υπηρεσία GPRS επιτρέπει τη μετάδοση των πακέτων του χρήστη σε διαφορετικές ταχύτητες. Ο χρήστης της υπηρεσίας έχει τη δυνατότητα ενεργοποίησης μέχρι και 8 χρονικών σχισμών μεταφέροντας τα πακέτα δεδομένων, και των φωνητικών δεδομένων μέσα από στις ίδιες ραδιοσυχνότητες.

[1] Uplink
[2] Downlink

Α΄.3.3 Κινητικότητα (Mobility)

Η δυνατότητα μετακίνησης του χρήστη, και κατ΄ επέκταση του TE, παρέχεται από τη υπηρεσία GPRS με τη βοήθεια των διαδικασιών: ***(α)*** attach/detach, ***(β)*** **R**outing **A**rea **U**pdate -(**Ενημέρωση περιοχής δρομολόγησης**)- (RAU), ***(γ)*** **C**ombined **R**outing **A**rea (CRA), ***(δ)*** **L**ocation **A**rea **U**pdate -(**Ενημέρωση περιοχής εντοπισμού**)- (LAU), και ***(ε)*** paging.

- ***MS Attach*** [39]: Η διαδικασία αποστολής και λήψης δεδομένων ενεργοποιείται με την επιτυχή ολοκλήρωση των διαδικασιών GPRS Attach και PDP Context Activation. Η διαδικασία GPRS attach ενημερώνει το δίκτυο για την παρουσία του MS και συνδέει τον MS με τον κόμβο SGSN. Ο MS γνωστοποιεί στον κόμβο την ταυτότητα του χρήστη (**I**nternational **M**obile **S**ubscriber **I**dentity -(**Διεθνής ταυτότητα κινητού συνδρομητή**)- (IMSI) ή Packet **T**emporary **M**obile **S**tation **I**dentity -(**Προσωρινή ταυτότητα κινητού συνδρομητή**)- (TMSI)) και τον τύπο της σύνδεσης (PS, ή PS και **C**ircuit **S**witched -(**Μεταγωγή κυκλώματος**)- (CS)/IMSI). Ο MS εισέρχεται σε κατάσταση αναμονής (READY), και πραγματοποιείται η ανταλλαγή στοιχείων MM μεταξύ του MS και του SGSN. Ο χρήστης, μέσω των κόμβων GSN, έχει τη δυνατότητα λήψης GPRS-SMS, καθώς και την εκκίνηση διαδικασιών εντοπισμού. Η ενεργοποίηση των στοιχείων PDP εξυπηρετεί στην αποστολή και τη λήψη δεδομένων GPRS.

- ***MS Detach***: Η διαδικασία αποσύνδεσης ενεργοποιείται αποκλειστικά και μόνο από τον MS, ή το δίκτυο (SGSN ή HLR) το οποίο εξυπηρετεί το χρήστη. Το δίκτυο, επίσης, είναι σε θέση να αποσυνδέσει ένα MS στις περιπτώσεις όπου παρουσιάζεται καθυστέρηση στην απόκριση ή λανθασμένη απόκριση σε αιτήσεις εξαρτώμενες από το χρόνο. Υπάρχουν τρεις διαφορετικοί τρόποι αποσύνδεσης από το δίκτυο: ***α)*** IMSI detach (πραγματοποιείται από τον MS με τύπο σύνδεσης GPRS-attach, ***β)*** GPRS detach (περιλαμβάνει απενεργοποίηση των στοιχείων PDP), και ***γ)*** GPRS/IMSI detach (η διαδικασία αυτή ενεργοποιείται μόνο από το MS).

- ***Roaming***: Η υπηρεσία GPRS έχει τη δυνατότητα απόκρυψης από το χρήστη των επί μέρους στοιχείων και διαδικασιών που το αποτελούν. Ο χρήστης συνδέεται και επικοινωνεί με ένα δικτυακό νέφος. Η διαδικασίες διαχείρισης της κινητικότητας του χρήστη του επιτρέπουν τη μετακίνηση μεταξύ των κυψελών (BSC), των περιοχών δρομολόγησης SGSN (SGSN που ανήκουν στο ίδιο PLMN), και τέλος, μεταξύ πολλών PLMN. Η δυνατότητα του χρήστη να στέλνει και να λαμβάνει δεδομένα κατά τη διάρκεια της μετακίνησής του, περιορίζεται σε μία περιοχή PLMN. Ο κόμβος SGSN διατηρεί την πληροφορία για τον κωδικό της κυψέλης (Cell ID) και την περιοχή δρομολόγησης κατά τη διάρκεια της επίσκεψης κάποιου συνδρομητή στην περιοχή που καλύπτεται από το συγκεκριμένο SGSN.

- ***Πιστοποίηση και Κωδικοποίηση*** [41]: Η συχνότητα της ενεργοποίησης της διαδικασίας πιστοποίησης χρήστη καθορίζεται επιλεκτικά ανά κόμβο SGSN. Η τιμή της υπαγορεύει τον επιτρεπτό αριθμό συνδέσεων και ανανεώσεων της πληροφορίας δρομολόγησης μεταξύ δύο πιστοποιήσεων ταυτότητας. Η διαδικασία εφαρμόζεται επίσης για τις συνδέσεις σε καινούργιες περιοχές δρομολόγησης του ιδίου SGSN, που ανήκει στο **H**ome PLMN -(**Οικείο PLMN HPU Φορητή μονάδα (χειρός)**)- (HPLMN). Η πιστοποίηση χρήστη προηγείται πάντα των διαδικασιών: ***α)*** της σύνδεσης σε μία περιοχή δρομολόγησης (**Ro**uting **A**rea -(**Περιοχή δρομολόγησης**)- (RoA)) κάποιου καινούργιου SGSN που ανήκει στο HPLMN, και ***β)*** σε intra-SGSN διαδικασίες ενημέρωσης των RoA. Στην πρώτη περίπτωση η τριάδα των παραμέτρων πιστοποίησης (**A**uthentication **T**riplets (AT)) ανακτάται από το HLR. Στη δεύτερη περίπτωση χρησιμοποιείται η πληροφορία που λαμβάνεται από το προηγούμενο SGSN. Κατά τη διαδικασία πιστοποίησης είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν επιλεκτικά και μέθοδοι κρυπτογράφησης των στοιχείων που ανταλλάσσονται μεταξύ του MS και του SGSN. Η διαφοροποίηση της διαδικασίας πιστοποίησης μεταξύ των χρηστών GPRS και των χρηστών GSM, αφορά μόνο στην κρυπτογράφηση της μεταδιδόμενης πληροφορίας. Η μέθοδος κρυπτογράφησης καθορίζεται από τον αλγόριθμο **GPRS E**ncryption **A**lgorithm (GEA).

- ***Αξιολόγιση Συνδρομητή***: Κατά τη διαδικασία της πιστοποίησης του χρήστη πραγματοποιείται και η επικύρωση των υπηρεσιών που έχει δικαίωμα να χρησιμοποιήσει.

- ***Διαδικασίες Suspend/Resume***: Η διαδικασίες αυτές εφαρμόζονται μόνο για MS, οι οποίοι είναι σε κατάσταση λειτουργίας της κλάσης B, και ενεργοποιούνται όταν κατά τη σύνδεση του χρήστη στο δίκτυο CS επιθυμείται η παράλληλη σύνδεση στην υπηρεσία GPRS.

- ***Ανίχνευση (Paging Co-ordination)***: Η υπηρεσία GPRS διαθέτει μεθόδους ανίχνευσης και εντοπισμού, οι οποίες είναι κοινές, τόσο στις υπηρεσίες CS, όσο και στις υπηρεσίες PS. Τα μηνύματα που χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση στις υπηρεσίες CS και PS μεταδίδονται μέσω του ίδιου καναλιού.

Α΄.3.4 Διαχείριση Στοιχείου Σύνδεσης (SeM)

Οι διαδικασίες SeM περιλαμβάνουν: ***α)*** την ενεργοποίηση, ***β)*** την τροποποίηση, και ***γ)*** τη διαγραφή των PDP Contexts. Η ενεργοποίηση πραγματοποιείται κατ΄ εντολή του MS. Οι διαδικασίες ανταλλάζουν στοιχεία για τον καταμερισμό των διευθύνσεων IP και των παραμέτρων για την ποιότητα της υπηρεσίας. Όλες οι συνδρομές διαθέτουν μία ή και περισσότερες διευθύνσεις PDP. Κάθε μία τέτοια διεύθυνση περιγράφεται από ένα και μοναδικό PDP Context, το οποίο βρίσκεται στον MS, στον SGSN, και στον GGSN. Οι δυνατές καταστάσεις, στις οποίες βρίσκεται κάποιο PDP Context, υποδεικνύουν τη δυνατότητα ή την αδυναμία αποστολής δεδομένων. Όλα τα PDP Contexts του συνδρομητή συσχετίζονται με ένα και μόνο MM Context.

- ***Ενεργοποίηση PDP Context***: Η διαδικασία της ενεργοποίησης έχει σκοπό τη γνωστοποίηση του MS στον εμπλεκόμενο GGSN, το οποίο με τη σειρά του θα συνδέσει το χρήστη με τα εξωτερικά δίκτυα. Ο GGSN εφαρμόζει μεθόδους για τον έλεγχο της αναγνώρισης του χρήστη για κάθε μία από τις διαδικασίες ενεργοποίησης PDP Context. Η μέθοδος καταλήγει στην περαιτέρω επεξεργασία της αίτησης, τη διαπραγμάτευση για το **Q**uality **o**f **S**ervice -(**Ποιότητα υπηρεσίας**)- (QoS), και την αποδοχή ή την απόρριψη της αίτησης. Το σύστημα ελέγχει επίσης την άδεια πρόσβασης του χρήστη σε κάποιο συγκεκριμένο δίκτυο **I**nternet **S**ervice **P**rovider -(**Πάροχος υπηρεσιών διαδικτύου**)- (ISP). Ο GGSN, επίσης, φροντίζει την εξακρίβωση των στοιχείων του ISP και τη δρομολόγηση της κίνησης του MS μέσω του ISP με τον οποίο έχει συνδεθεί. Οι SGSN / GGSN υποστηρίζουν διαδικασίες για την ανάθεση δυναμικών και στατικών διευθύνσεων IP.

Α΄.3.5 Διαχείριση Συνδρομής

Ο SGSN διαθέτει διαδικασίες επικοινωνίας με το HLR με σκοπό τη διαχείριση των συνδρομών των χρηστών. Ο SGSN, κατά την πραγματοποίηση από το HLR των διαδικασιών Update GPRS Location procedure και Stand-Alone Subscriber Data Management procedure, αποθηκεύει τα τροποποιημένα δεδομένα της συνδρομής, και τα χρησιμοποιεί για περαιτέρω χρήση όσον αφορά στη σύνδεση του με τον MS.

Οι πληροφορίες της συνδρομής περιλαμβάνουν: ***(α)*** το IMSI, ***(β)*** το **M**obile **S**tation **I**nternational **ISDN** number -(**Διεθνής αριθμός** ISDN **κινητού σταθμού**)- (MSISDN), ***(γ)*** το Tele-Service List (SMS Supported), ***(δ)*** τις διευθύνσεις HLR, και ***(ε)*** μηδέν έως N σύνολα πληροφορίας. Κάθε σύνολο πληροφορίας είναι δυνατό να περιλαμβάνει: ***(α)*** τον τύπο της PDP (IPv4, PPP), ***(β)*** τη διεύθυνση PDP, ***(γ)*** την QoS, ***(δ)*** το **A**ccess **P**oint **N**ame -(**Όνομα σημείου προσπέλασης**)- (APN), και ***(ε)*** τη διεύθυνση του Visited PLMN. Οι διαδικασίες διαχείρισης επιτρέπουν στο χειριστή του δικτύου την πιστοποίηση του χρήστη, και δίνουν τη δυνατότητα προσφοράς διαφοροποιημένων υπηρεσιών ανά χρήστη.

Α΄.3.6 Διαχείριση Προβλημάτων

Η μέθοδος διαχείρισης των προβλημάτων που παρουσιάζονται στους κόμβους διαφέρει μεταξύ των κατασκευαστών τηλεπικοινωνιακών κόμβων, και αφορά στη γρήγορη, και με το μικρότερο κόστος, αντιμετώπιση των καταστάσεων που προκαλούν αστάθεια στο σύστημα. Οι κοινές αρχές που διέπουν τις διαδικασίες καταγραφής και αντιμετώπισης προβλημάτων θα περιγραφούν στην επόμενη παράγραφο.

Κάθε κόμβος διατηρεί πληροφορία για τα προβλήματα που αντιμετωπίζει προσφέροντας δυνατότητα πολύ-διαχείρισης. Με τον τρόπο αυτό παρέχει ασφάλεια στο δίκτυο από προσωρινά προβλήματα διαχείρισης σύνδεσης και από αποτυχημένες διαχειρίσεις των τερματικών συνδέσεων. Η διαδικασία επιτρέπει στο χειριστή δικτύου την αντιμετώπιση *Γεγονότων*[3] και *Συναγερμών*[4].

Ο κόμβος GSN (SGSN ή GGSN) ενεργοποιεί την αποστολή γεγονότων και συναγερμών στις εξής περιπτώσεις: ***α)*** απώλεια επικοινωνίας με κάποια από τις οντότητες του δικτύου, ***β)*** παρουσίαση προβλήματος στο υλικό του κόμβου, ***γ)*** παρουσίαση προβλήματος στο λογισμικό του κόμβου, και ***δ)*** παρούσιαση κάποιου γεγονότος παρακολούθησης.

A′.3.7 Διαχείριση Μορφοποίησης

Η ανάπτυξη του PLMN διακρίνεται σε τρεις γενικές φάσεις [42], οι οποίες χαρακτηρίζονται από διαφορετικούς βαθμούς ευστάθειας. Το σύστημα, μετά το πέρας της πρώτης φάσης, θα επανακυκλίζεται μεταξύ της δεύτερης και της τρίτης φάσης. Η διαδικασία αυτή είναι γνωστή ως ο κύκλος ζωής του δικτύου και περιλαμβάνει:

1. Την εγκατάσταση και την ενεργοποίηση του PLMN.
2. Την αναβάθμιση του PLMN, το οποίο φτάνει σε ένα ικανοποιητικό βαθμό σταθερότητας, για να ικανοποιήσει βραχυπρόθεσμες απαιτήσεις.
3. Την προσαρμογή του PLMN, έτσι ώστε να ικανοποιήσει μακροπρόθεσμες απαιτήσεις τόσο του χειριστή, όσο και των συνδρομητών.

A′.3.8 Παρακολούθηση Απόδοσης

Η διαδικασία **P**erformance **M**onitoring (PM) [43] παρέχει τη δυνατότητα στο χειριστή του δικτύου να προλαβαίνει δυσχερείς καταστάσεις, όσον αφορά στην τηλεπικοινωνιακή κίνηση, και να βελτιώνει το σύστημα. Ο χειριστής του δικτύου συλλέγει δεδομένα από τους GSN, τα οποία χρησιμοποιεί για προληπτική επεξεργασία και ανάλυση, έτσι ώστε να αποφασίσει για τις αναγκαίες αναβαθμίσεις του συστήματος. Επιτρέπει στο χειριστή, χρησιμοποιώντας κατώφλια ανοχής για την επίβλεψη των μετρητών, την έγκαιρη αντιμετώπιση των προβληματικών καταστάσεων.

A′.3.9 Διαχείριση Ασφάλειας

Η διαδικασία διαχείρισης ασφάλειας [43] παρέχει τα μέσα για την προστασία από δόλιες εισβολές στους κόμβους, και περιλαμβάνει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά: ***(α)*** την επιλεκτική πιστοποίηση του χρήστη, ***(β)*** την κωδικοποίηση των δεδομένων, ***(γ)*** την πιστοποίηση του χρήστη με τις διαδικασίες **O**perations and **M**aintenance -(**Λειτουργίες και συντήρηση**)- (OM), ***(δ)*** την εξουσιοδότηση του χρήστη με τις διαδικασίες OM, ***(ϵ)*** την καταγραφή των αιτήσεων υπηρεσιών με τις διαδικασίες OM, και ***(στ)*** το φιλτράρισμα των πακέτων της υπηρεσίας GPRS Ο έλεγχος των ISP πραγματοποιείται στο GSN ως μέρος της διαδικασίας SeM.

[3] Events.

[4] Alarms.

- ***Πιστοποίηση χρήστη***. Καθορίζεται ο μέγιστος αριθμός των επιτρεπτών διαδικασιών Attach και intra-/inter-SGSN routing area updates ανάμεσα στις διαδικασίες πιστοποίησης του χρήστη. Ο καθορισμός αυτός είναι προαιρετικός για τους ήδη συνδεδεμένους χρήστες, και υποχρεωτικός για όσους δεν είναι συνδεδεμένοι.

- ***Κωδικοποίηση δεδομένων***. Υποστηρίζονται διαδικασίες κωδικοποίησης της μεταδιδόμενης πληροφορίας, παρέχοντας ασφάλεια από υποκλοπές. Η κωδικοποίηση των δεδομένων εφαρμόζεται κατά τη μετάδοση μεταξύ των SGSN, τη μετάδοση μεταξύ των SGSN και των GGSN, και μεταξύ των GGSN και του εξωτερικού δικτύου. Οι διαδικασίες μπορούν να εφαρμοστούν και κατά τη μετάδοση των δεδομένων μεταξύ των κόμβων GSN και των τερματικών συσκευών που παρακολουθούν και ελέγχουν το δίκτυο.

- ***Πιστοποίηση Χειριστή ΟΜ***. Κάθε προσπάθεια πρόσβασης στους κόμβους GSN περιλαμβάνει τις διαδικασίες πιστοποίησης τους χρήστη και του ελέγχου του κωδικού πρόσβασης. Τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται: ***α)*** στην παρακολούθηση του δικτύου, ***β)*** στη μεταφορά αρχείων από και προς τους κόμβους, και ***γ)*** στον τηλεχειρισμό των κόμβων είναι: ***(α)*** το **F**ile **T**ransfer **P**rotocol -(**Πρωτόκολλο μεταφοράς αρχείων**)- (FTP) [57], ***(β)*** το **H**yper-**T**erminal **T**ransfer **P**rotocol -(**Πρωτόκολλο μεταφοράς υπερκείμενης σημασίας**)- (HTTP) [58], και ***γ)*** το Remote Login.

- ***Επίπεδα πρόσβασης***. Οι αιτήσεις που περιλαμβάνονται στην υπηρεσία ΟΜ πραγματοποιούν διαδικασίες για την πιστοποίηση και τον καθορισμό του επιπέδου πρόσβασης του χειριστή. Ο χειριστής αναγνωρίζεται από το όνομα και τον κωδικό που εισάγει. Τα δύο επίπεδα πρόσβασης είναι:

  1. ***Διαχείριση συστήματος***. Οι αρμοδιότητες του περιλαμβάνουν τη δημιουργία, την τροποποίηση και την ανάθεση ρόλων στους χειριστές του δικτύου.
  2. ***Παρακολούθηση συστήματος***. Οι αρμοδιότητες του περιορίζονται στην παρακολούθηση χωρίς το δικαίωμα επέμβασης σε όλες τις διαδικασίες που εξελίσσονται σε ένα σύστημα.

- ***Καταγραφή αιτήσεων της υπηρεσίας ΟΜ***. Όλες οι προσπάθειες για πρόσβαση στους κόμβους, επιτυχείς ή ανεπιτυχείς, καταγράφονται, με σκοπό την ανίχνευση λαθών και την προφύλαξη του συστήματος από ανεπιθύμητους εισβολείς.

Α′.3.10 Υποστήριξη υπηρεσίας μηνυμάτων

Ο κόμβος SGSN υποστηρίζει τις προκαθορισμένες διεπαφές προς τα SMS-**G**ateway **M**obile **S**ervices **S**witching **C**entre -(**Κέντρο-πύλη μεταγωγής κινητών υπηρεσιών**)- (GMSC) και SMS-**I**nter-**W**orking **MSC** -(**Κέντρο διασυνεργασίας κέντρων μεταγωγής κινητών σταθμών**)- (IWMSC).

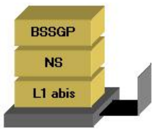
Η διεπαφή παρέχει τη δυνατότητα παραλαβής MS-terminating SMS και αποστολής MS-originating SMS μέσω των καναλιών της υπηρεσίας GPRS. Η διανομή των MS-terminating μηνυμάτων μέσω των καναλιών του GPRS έχει ως αποτέλεσμα την εξοικονόμηση των καναλιών σηματοδοσίας που χρησιμοποιεί το δίκτυο CS. Οι υπάρχουσες εφαρμογές SMS είναι σε θέση να μεταφερθούν στο δίκτυο κάνοντας μόνο λίγες τροποποιήσεις. Ο συνδρομητής είναι σε θέση να χρησιμοποιεί την υπηρεσία SMS και στις δύο περιπτώσεις συνδέσεων (CS, PS).

Α΄.4 Διασυνδέσεις της υπηρεσίας GPRS

Οι κόμβοι SGSN και GGSN λειτουργούν αρμονικά, σεβόμενοι την υποδομή του δικτύου, με τις υπόλοιπες μονάδες που αποτελούν το δίκτυο μέσω προκαθορισμένων διαδικασιών. Συλλέγουν χρήσιμα δεδομένα, αποκαθιστούν συνδέσεις ή πιστοποιούν την ταυτότητα χρηστών με τη χρήση των προκαθορισμένων διαδικασιών που ονομάζονται διασυνδέσεις ή διεπαφές. Στον **πίνακα Α΄.1** παρουσιάζονται οι διεπαφές που χρησιμοποιούνται στην υπηρεσία GPRS. Στη 2^{η} στήλη δίνονται τα δύο τερματικά σημεία της αντίστοιχης διεπαφής.

Α΄.4.1 Διασύνδεση Gb

Η διασύνδεση Gb υλοποιεί όλες τις απαραίτητες λειτουργίες με σκοπό τη διασύνδεση του σταθμού βάσης και του κόμβου SGSN. Επιτρέπει την ανταλλαγή σηματοδοσίας και τη μετάδοση δεδομένων που αφορούν στους χρήστες της υπηρεσίας. Εκμεταλλεύεται στον πληρέστερο βαθμό, με την τεχνική της πολυπλεξίας των δεδομένων των χρηστών στην ίδια φυσική σύνδεση, τα αποθέματα της σύνδεσης. Κατά τη μετάδοση των δεδομένων δεσμεύεται ο απαραίτητος ***αποθεματικός χώρος*** για το χρήστη. Ο ***χώρος*** αυτός αποδεσμεύεται με το πέρας της μετάδοσης. Η σηματοδοσία και τα δεδομένα του GSM μεταδίδονται σε κοινό ***πεδίο δεδομένων***[5]. Ο ρυθμός μετάδοσης για κάθε χρήστη κυμαίνεται στο πεδίο 0 $\sim$ 1984kBits/sec. Η πρωτοκολλική στοίβα της διασύνδεσης



Σχήμα Α΄.2: Πρωτοκολλική στοίβα της διασύνδεσης Gb

(**σχήμα Α΄.2**) διακρίνεται σε τρία στρώματα:

- ***Φυσικό επίπεδο***. Στο στρώμα της φυσικής σύνδεσης είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν πρωτόκολλα και μορφοποιήσεις του επιπέδου όπως καθορίζονται στο [46].

[5] UserPlane (U-Plane).

Διασύνδεση	***Κόμβοι επικοινωνίας***
Ga Interface (Ga)	SGSN ή GGSN ⇜⇝ **CGF G**ateway **F**unctionality (CGF) [45]
Gb Interface (Gb)	SGSN ⇜⇝ **B**ase **S**tation **S**ystem -(**Σύστημα σταθμών βάσης**)- (BSS)
Gc Interface (Gc)	GGSN ⇜⇝ HLR
Gd Interface (Gd)	SMS GMSC καί SMS IWMSC ⇜⇝ SGSN
Gf Interface (Gf)	SGSN ⇜⇝ EIR
Gi	Σημείο αναφοράς μεταξύ GPRS και εξωτερικών δικτύων PDN
Gn	GSN ⇜⇝ GSN στο ίδιο PLMN
Gp	GSN ⇜⇝ GSN σε διαφορετικό PLMN
Gr Interface (Gr)	SGSN ⇜⇝ HLR
Gs Interface (Gs)	SGSN ⇜⇝ MSC/ VLR

Πίνακας Α΄.1: Διασυνδέσεις της υπηρεσίας GPRS

- ***Επίπεδο σύνδεσης δεδομένων***. Το στρώμα σύνδεσης βασίζεται στο πρωτόκολλο **F**rame **R**elay (FR) [47]. Αποκαθίστανται ***εικονικά κυκλώματα***[6] μεταξύ των κόμβων BSS και SGSN, στα οποία πολυπλέκονται τα **L**ogical **L**ink **C**ontrol -(**Έλεγχος λογικής σύνδεσης**)- (LLC) PDU των συνδεδεμένων χρηστών. Το πρωτόκολλο χρησιμοποιείται και στα δύο πεδία μετάδοσης (U-Plane και ***πεδίο σηματοδοσίας***[7]). Κάθε σύνδεση FR διαθέτει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:
    - Το μήκος του πεδίου πληροφορίας του FR δεν υπερβαίνει τις 1600 οκτάδες.
    - Το πεδίο της διεύθυνσης είναι μήκους 2 οκτάδων.
    - Η λειτουργία FR **D**ata **T**erminal **E**quipment -(**Τερματικός εξοπλισμός δεδομένων**)- (DTE) ολοκληρώνεται και στους δύο κόμβους. Ο κόμβος SGSN ολοκληρώνει

[6] Virtual circuits.
[7] Control Plane (C-Plane).

προεραιτικά τη λειτουργία FR **D**ata **C**ircuit terminating **E**quipment (DCE).

- Κατά τη μετάδοση των πακέτων πληροφορίας χρησιμοποιούνται FR **P**rivate **V**itrual **C**ircuit (PVC)s.
- Το FR ανιχνεύει αλλά δε διορθώνει λάθη κατά τη μετάδοση των πακέτων.
- Η μετάδοση των πακέτων **BSS G**PRS **P**rotocol (BSSGP) [48] PDUs είναι δυνατό να πραγματοποιείται με τη χρήση ενός ή και περισσότερων FR PVC.

• BSSGP. Η παροχή της ποιότητας της υπηρεσίας στη ραδιοζεύξη και η δρομολόγηση της απαραίτητης πληροφορίας για τη μετάδοση των δεδομένων χρήστη μεταξύ των κόμβων, αποτελεί την πρωτεύουσα λειτουργία του είναι. Επιτρέπει, επίσης, στους κόμβους BSS και SGSN την εφαρμογή κατάλληλων διαδικασιών για την υλοποίηση ελέγχων διαχείρισης. Ο αριθμός των μηχανών πρωτοκόλλων BSSGP που διαθέτει κάθε κόμβος εξαρτάται άμεσα από το πλήθος των κόμβων με τους οποίους συνδέεται. Αν, π.χ., ένας SGSN συνδέεται με $\boldsymbol{N}$ κόμβους BSS τότε, πρέπει να συντηρεί $\boldsymbol{N}$ μηχανές πρωτοκόλλων BSSGP. Η αντίστοιχη πρόταση ισχύει και για τον κόμβο BSS. Οι βασικές λειτουργίες του πρωτοκόλλου συνοψίζονται στις:

  - Αποκατάσταση της επικοινωνίας, η οποία στερείται ***προϋπάρχουσας συνδέσεως***[8], μεταξύ των BSS και των SGSN.
  - Μετάδοση των δεδομένων μεταξύ των κόμβων.
  - Παροχή κατάλληλων εργαλείων ελέγχου της ροής των δεδομένων από και προς τους κόμβους.
  - Χειρισμός των αιτήσεων που αφορούν στις διαδικασίες εντοπισμού.
  - Παροχή των απαραίτητων διαδικασιών διαγραφής παλαιών μηνυμάτων στον κόμβο BSS.
  - Υποστήριξη, στο στρώμα 2, πολλαπλούς δεσμούς επικοινωνίας μεταξύ των κόμβων.

Α′.4.2 Διασυνδέσεις Gc, Gd, Gf, Gr

Οι διασυνδέσεις που παρουσιάζονται στην παράγραφο αυτή αποτελούνται από την ίδια πρωτοκολλική στοίβα. Η στοίβα αυτή διαθέτει τα ακόλουθα επίπεδα: *(α)* φέρον σηματοδοσίας[9], *(β)* **S**ignalling **C**onnection **C**ontrol **P**art -(**Τμήμα ελέγχου σύνδεσης σηματοδοσίας**)- (SCCP), *(γ)* **T**ransaction **C**apabilities **A**pplication **P**art -(**Τμήμα εφαρμογής ικανοτήτων συναλλαγής**)- (TCAP), και *(δ)* **M**obile **A**pplication **P**art -(**Τμήμα εφαρμογής κινητής υπηρεσίας**)- (MAP). Η διαφοροποίηση των διασυνδέσεων και των λειτουργιών που καλούνται να ολοκληρώσουν παρουσιάζεται στο πρωτόκολλο MAP. Η πρωτοκολλική στοίβα των διασυνδέσεων (**σχήμα Α′.3**) διακρίνεται σε τέσσερα στρώματα:

[8] Connection-less link.
[9] Signaling Bearer.

Σχήμα Α΄.3: Διασυνδέσεις Gc, Gd, Gf, Gr

- ***Φέρον σηματοδοσίας***. Το φέρον σηματοδοσίας έχει διαφορετική αρχιτεκτονική ανάλογα με το είδος των πρωτοκόλλων σηματοδοσίας **S**ignaling **S**ystem No. **7** -(**Σύστημα σηματοδοσίας 7**)- (SS7) [50]. Τα τρία διαφορετικά είδη πρωτοκόλλων SS7 είναι: ***(α)*** **M**essage **T**ransfer **P**art -(**Τμήμα μεταφοράς μηνύματος**)- (MTP) - based, ***(β)*** IP-based, και ***(γ)*** **A**synchronous **T**ransfer **M**ode -(**Ασύγχρονη μέθοδος μεταφοράς**)- (ATM)-based.

- SCCP. Το στρώμα SCCP χρησιμοποιείται για τη δρομολογήση και τη σωστή αποστολή μηνυμάτων μεταξύ των εννοιολογικών οντοτήτων των κόμβων SGSN και GGSN, και των κόμβων **E**quipment **I**dentify **R**egister -(**Καταχωρητής ταυτότητας εξοπλισμού**)- (EIR), HLR. Υποστηρίζει δύο διαφορετικούς τύπους δικτυακών υπηρεσιών, ***(α)*** την υπηρεσία χωρίς σύνδεσης, και ***(β)*** την υπηρεσία με σύνδεση, με σκοπό τη μετάδοση της πληροφορίας της σηματοδοσίας τύπου κυκλωματικής συνδέσως και μή κυκλωματικής συνδέσεως, καθώς και άλλων τύπων πληροφορίας ακόμα και σε εξωτερικά δίκτυα διαφορετικής φύσεως (κέντρα operation and maintenance) με τη βοήθεια του καθορισμού της παραμέτρου μηνύματος **G**lobal **A**ddress **T**itle (GAT).

- TCAP. Το στρώμα TCAP συνδέει τα πρωτόκολλα που βρίσκονται στο επίπεδο εφαρμογής[10] με το επίπεδο μεταφοράς[11] SS7 SCCP. Λειτουργεί ως πάροχος υπηρεσίας προς τα πιό πάνω στρώματα και διατηρεί την απαραίτητη πληροφορία για την κατάσταση του επιπέδου μεταφοράς. Δρομολογεί τις αιτήσεις των πιο πάνω στρωμάτων στις συνδέσεις SCCP που τους αντιστοιχούν.

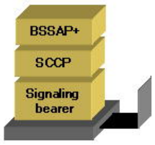
- ***M**obile **A**pplication **P**art -(**Τμήμα εφαρμογής κινητής υπηρεσίας**)-*:

Α΄.4.3 Διασύνδεση Gs

Συνδέει τον κόμβο SGSN με το **V**isitors **L**ocation **R**egister -(**Καταχωρητής θέσης αναζήτησης επισκέπτη**)- (VLR) και υποστηρίζει ρυθμούς μετάδοσης: ***(α)*** 64kBits/sec (στην περίπτωση που η μετάδοση χρησιμοποιεί τη διασύνδεση E1),
εμπη(β) 64kBits ή 56kBits/sec (σε περίπτωση χρήσης της T1 διασύνδεσης, από και προς τον

[10] Application Layer.
[11] Trasport Layer

κόμβο SGSN). Η διαμόρφωση των παραμέτρων της διασύνδεσης δεν καθορίζει τον αριθμό των κόμβων SGSN ή VLR που είναι συνδεδεμένοι μέσω αυτής. Λόγω της πιθανότητας σύνδεσης ***N***-VLRs σε ένα SGSN, ή και αντίστροφα ***N***-SGSNs σε ένα VLR, η διασύνδεση χρησιμοποιεί την τεχνική **S**ignalling **T**ransfer **P**oint -(**Σημείο μεταφοράς σηματοδοσίας**)- (STP). Η πρωτοκολ-



Σχήμα Α΄.4: Πρωτοκολλική στοίβα της διασύνδεσης Gs

λική στοίβα της διασύνδεσης (**σχήμα Α΄.4**) διακρίνεται σε τρία στρώματα. Το πρωτόκολλο **BSS A**pplication **P**art -(**Τμήμα εφαρμογής σταθμών βάσης**)- (BSSAP) αναλαμβάνει τη μετάδοση των μηνυμάτων από και προς τους κόμβους.

- ***BSS A**pplication **P**art -(**Τμήμα εφαρμογής σταθμών βάσης**)-*: Το πρωτόκολλο BSSAP χρησιμοποιείται, στην εμπλουτισμένη μορφή (BSSAP+), για την ολοκλήρωση της διασύνδεσης Gs. Η επιλογή του βασίζεται στις διαδικασίες που χρειάζονται για την επικοινωνία των κόμβων, οι οποίες δε διαφέρουν σε μεγάλο βαθμό από αυτές που χρησιμοποιούνται στη 2^{η} γενιά κινητής τηλεφωνίας. Ο στόχος των διαδικασιών είναι η συσχέτιση του SGSN με το VLR για την παροχή αλληλεπιδράσεων μεταξύ τους. Η συσχέτιση αυτή παρέχει τη δυνατότητα εκτέλεσης των πιο κάτω λειτουργιών:
    - Σύνδεση IMSI και αποσύνδεση μέσω του SGSN.
    - Συντονισμό των ενημερώσεων **R**adio **A**ccess -(**Ραδιοζεύξη**)- (RA) και **L**ocation **A**rea -(**Περιοχή εντοπισμού**)- (LA).
    - Αναζήτηση μίας σύνδεσης CS μέσω του SGSN.
    - Διαδικασίες συναγερμού για συνδέσεις που δεν ανήκουν στο πεδίο του PS.
    - Διαδιασίες πιστοποίησης.
    - Διαδικασίες πληροφόρησης MM.

Βιβλιογραφία

[1] N.Stylianides, G. Stephanopoulos, G. Tselikis, M. Dopher: "Signaling Performance Trials and Evaluation Results on GPRS platforms", Information Systems Frontiers, Kluwer Publications, Volume 7, Issue 2, pp 129-140, May 2005.

[2] G. Stephanopoulos, N. Stylianides, G. Tselikis, M. Theologou, M. Dopfer: "Signaling Measurements in 3rd Generation UMTS Core Network", IST ACATS FORUM Proc. Int'l Conf, 1st March 2002, Athens Greece pp 87-96.

[3] N. Stylianides, G. Stephanopoulos, G. Tselikis, E. Koukoutsis: "Signaling Measurements on GPRS enhancement over GSM CN", IST ACATS FORUM Proc. Int'l Conf, 1st March 2002, Athens Greece pp 112-121.

[4] G.Stephanopoulos, N.Stylianides, G.Tselikis, S.Tombros, M.Theologou, M.Dopfer: "Signaling Procedures Measurements Realization on a 3rd Generation UMTS Platform", Int'l Conf of International Society Technologies 2002, Thessaloniki Greece, pp 80-81.

[5] DAY, J.D., and ZIMMERMANN, H.:"The OSI Reference Model," Proc. of the IEEE, vol. 71, pp. 1334-1340, Dec. 1983.

[6] Petri C. A. Kommunikation mit Automaten doctoral thesis, 1962.

[7] ISO-9074. Information processing systems — (Open) systems interconnection — Estelle — A formal description technique based on an extended state transition model International Organization for Standardization (ISO)., 1989.

[8] ITU. Specification and Description Language (SDL-96) Recommendation Z.100., 1996.

[9] Vissers, C. and Logrippo, L. [1985]; "The Importance of th service concept in the design of data communications protocols," Proc. 5th IFIP WG 6.1 Int. Workshop on Protocol Specification, Testing and Verification, North-Holland Publ., Amsterdam, pp. 3-17

[10] Hamming, R.W. [1950], "Error detecting and error correcting codes," Bell System Technical Journal, Vol. 29, pp. 147-160

[11] Berkekamp, E.R. [1978], Algebraic Coding Theory, McGraw-Hill, New York.

[12] Kuo, F.F. [1981], Protocols and Techniques for Data Communications Networks, F.F. Kuo (Ed.), Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J.

[13] Peterson, W.W., and Weldon, E.J., Jr. [1972], Error Correcting Codes, 2nd ed., MIT Press, Cambridge, Mass.

[14] MacWilliams, F.J., and Sloane, N.J.A. [1977], Theory of Error Correcting Codes, North-Holland Publ., Amsterdam.

[15] Griffiths, G. and Stones, G.C. [1987]. The tea-leaf reader algorithm: an efficient implementation of CRC-16 and CRC-32, Comm. of the ACM, Vol. 30, No. 7, pp. 617-620.

[16] Adi, W. [1984], Fast burst error-correction scheme with Fire code, IEEE Trans. on Computers, Vol. C-33, No. 7, July 1984,, pp. 613-618.

[17] Perez, A. [1983], Byte-wise CRC calculations, IEEE Micro, June 1983, pp. 40-50.

[18] Stallings, W. [1985], Data and Computer Communications, Macmillan, New York, ISBN 0-02-415440-7, 594 pgs. 2nd ed., 1988, 653 pgs.

[19] Rational Software, Microsoft, Hewlett-Packard, Oracle Sterling Software, MCI Systemhouse, Unisys, ICON Computing, IntelliCorp, i-Logix, IBM, ObjecTime, Platinum Technology, Ptech, Taskon, Reich Technologies, Softeam [1997], Unified Modeling Language, version 1.1.

[20] F. Babich and L. Deotto, "Modeling and Performance Analysis of Resource Allocation Strategies for Real-Time Services in UMTS using TIPPtool," accepted for publication, Performance Evaluation, Elsevier.

[21] T. Bolognesi and E. Brinskma, "Introduction to the ISO Specification Language LOTOS," Computer Networks and ISDN Systems, vol. 14, Apr. 1987, pp. 92-100.

[22] IEEE POSIX 1003.1c, 1995 part of ANSI/IEEE 1003.1, 1996

[23] Princeton University Press. "Gedanken-experiments on Sequential Machines", Automata Studies, Annals of Mathematical Studies, Princeton, N. J., pp 129 • 153, no. 34, 1956.

[24] Bell System Tech. J. "A Method for Synthesizing Sequential Circuits", vol 34, pp. 1045•1079, September 1955

[25] GSM 01.02: Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); General description of a GSM Public Land Mobile Nerwork (PLMN).

[26] GSM 03.02: Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Network architecture.

[27] GSM 08.52: Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Base Station Controller Base Tranceiver Station (BSC - BTS) interface; Interface principles.

[28] GSM 12.00: Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Network Management (NM); Part 1: Objectives and structure of Network Management.

[29] GSM 04.03: Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Mobile Station Base Station System (MS - BSS) interface; Channel structures and access capabilities.

[30] 3GPP TS 05.02: Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Channel coding.

[31] GSM 03.54: Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Description for the use of a Share Inter Working Function (SIWF) in a GSM PLMN.

[32] GSM 03.08: Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Organization of subscriber data.

[33] GSM 03.40: Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Technical realization of the Short Message Service (SMS).

[34] GSM 03.41: Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Technical realization of the Cell Broadcast Service (CBS).

[35] GSM 02.82: Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Call Forwarding (CF) supplementary services.

[36] GSM 02.82: Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Call Waiting (CW) and Call Holding (HOLD) sumplementary services.

[37] GSM 02.86: Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Advice of Charge (AoC) Supplementary Services.

[38] 3GPP TS 27.060: 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Core Network; Packet Domain; Mobile Station (MS) supporting Packet Switched Services.

[39] 3GPP TS 22.060: General Packet Radio Service (GPRS); Service description.

[40] 3GPP TS 03.64: Overall description of the GPRS radio interface.

[41] GSM 03.20: 3rd Generation Partnership Project; Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Security related network functions.

[42] GSM 12.00: Digital cellular telecommunications system (Phase 2) (GSM); GSM network configuration management.

[43] GSM 12.04: Digital cellular telecommunications system (Phase 2) (GSM); Performance data measurements.

[44] GSM 12.03: Digital cellular telecommunications system (Phase 2) (GSM); Security management.

[45] 3GPP TS 32.215: Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); 3G Telecom Management; Charging management; Charging data description for the Packet Switched (PS) domain.

[46] GSM 08.14: Digital cellular telecommunications system (Phase 2+) (GSM); General Packet Radio Service (GPRS); Base Station System (BSS) - Serving GPRS Support Node (SGSN) interface; Gb interface layer 1.

[47] GSM 08.16: Digital cellular telecommunications system (Phase 2+) (GSM); General Packet Radio Service (GPRS); Base Station System (BSS) - Serving GPRS Support Node (SGSN) interface; Network service.

[48] GSM 08.18: Digital cellular telecommunications system (Phase 2+) (GSM); General Packet Radio Service (GPRS); Base Station System (BSS) - Serving GPRS Support Node (SGSN) interface; BSS GPRS Protocol (BSSGP).

[49] ITU-T Recommendation Q.711: Specifications of Signalling System No.7; Functional description of the Signalling Connection Control Part.

[50] 3GPP TS 29.202: Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); SS7 signalling transport in Core Network; Stage 3.

[51] 3GPP TS 29.002: Digital cellular telecommunications system (Phase 2+) (GSM); Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); Mobile Application Part (MAP) specification.

[52] 3GPP TS 09.08: Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Application of Base Station System Application Part (BSSAP) on the E-interface.

[53] 3GPP TS 29.060: General Packet Radio Service (GPRS); GPRS Tunnelling Protocol (GTP) across the Gn and Gp Interface.

[54] Institute of Electrical and Electronics Engineers, "Media Access Control (MAC)", IEEE 802.3, October 2000.

[55] Lloyd B., Simpson W., ”PPP Authentication Protocols (PAP)”, RFC 1334, October 1992.

[56] Simpson W., ”PPP Challenge Handshake Authentication Protocol (CHAP)”, RFC 1994, August 1996.

[57] Bhushan A., ”File Tranfer Protocol (FTP)”, RFC 414, November 1972.

[58] Fielding R., Gettys J., Mogul J., Frystyk H., Berners-Lee T., ”Hypertext Transfer Protocol (HTTP/1.1)”, RFC 2616, January 1997.

[59] Postel, J., ”User Datagram Protocol (UDP)”, RFC 768, August 1980.

[60] Simpson, W., ”The Point-to-Point Protocol (PPP)”, RFC 1661, July 1994.

[61] Information Sciences Institute University of Southern California, ”Internet Protocol (IP)”, RFC 791, September 1981.

[62] McGregor, G., ”The PPP Internet Protocol Control Protocol”, RFC 1332, May 1992.

[63] C. Rigney, A. Rubens, W. Simpson, et al, ”Remote Authentication Dial In User Service (RADIUS)”, April 1997.

[64] Townsley W., Valencia A., Rubens A., et al, ”Layer Two Tunneling Protocol - L2TP”, RFC 2661, August 1999.

Ευρετήριο