



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ & ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

**Διαχείριση Πόρων και Ποιότητας Υπηρεσιών σε Ανοιχτής
Αρχιτεκτονικής Κινητά Πλέγματα**

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Αντώνιος Ο. Λίτκε

Αθήνα, Οκτώβριος 2006



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ & ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Διαχείριση Πόρων και Ποιότητας Υπηρεσιών σε Ανοιχτής Αρχιτεκτονικής Κινητά Πλέγματα

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Αντώνιος Ο. Λίτκε

Συμβουλευτική Επιτροπή : Θεοδώρα Α. Βαρβαρίγου

Εμμανουήλ Ν. Πρωτονοτάριος

Γεώργιος Ι. Στασινόπουλος

Εγκρίθηκε από την επταμελή εξεταστική επιτροπή την 31^η Οκτωβρίου 2006.

.....
Θ.Α. Βαρβαρίγου
Αναπληρώτρια Καθηγήτρια
Ε.Μ.Π.

.....
Ε.Ν. Πρωτονοτάριος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Γ.Ι. Στασινόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Α. Γ. Σταφυλοπάτης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Ε. Συκάς
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Ν. Μήτρου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Ε. Βαρβαρίγος
Καθηγητής Πανεπιστημίου
Πατρών

Αθήνα, Οκτώβριος 2006

.....
Αντώνιος Ο. Λίτκε

Διδάκτωρ Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Αντώνιος Ο. Λίτκε, 2006.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η διδακτορική διατριβή που παρουσιάζεται στις επόμενες σελίδες εκπονήθηκε από τον Οκτώβριο του 2002 μέχρι το Σεπτέμβριο του 2006, στο εργαστήριο Τηλεπικοινωνιών του τομέα Επικοινωνιών, Ηλεκτρονικής και Συστημάτων Πληροφορικής, στη Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Κατά την διάρκεια της εκπόνησης αυτής της διατριβής, είχα την ευκαιρία να ασχοληθώ με αρκετά ενδιαφέροντα επιστημονικά θέματα που αφορούν κυρίως στους τομείς της προδιαγραφής, του σχεδιασμού, της υλοποίησης και του ελέγχου συστημάτων πλέγματος και κινητού πλέγματος και να αποκτήσω πολύτιμη εμπειρία και γνώσεις.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω από τα βάθη της καρδιάς μου, την καθηγήτρια μου κα. Θεοδώρα Βαρβαρίγου για το ενδιαφέρον που έδειξε, για τις πολύτιμες συμβουλές της και για την ιδιαίτερη στήριξη που μου παρείχε κατά την διάρκεια αυτής της πορείας μου, καθώς επίσης τους καθηγητές της τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής κ.κ. Εμμανουήλ Πρωτονοτάριο και Γεώργιο Στασινόπουλο. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους συναδέλφους μου στην ερευνητική ομάδα με τους οποίους συνεργάστηκα άψογα και επιτυχώς όλα αυτά τα χρόνια.. Ιδιαίτερες ευχαριστίες ωστόσο θα ήθελα να απευθύνω στους στενούς μου συνεργάτες και κυρίως στους Κωνσταντίνο Τσερπέ, Δημήτριο Χάλκο, Νικόλαο Παπαδάκη, Δημήτριο Σκούτα, Κλεοπάτρα Κωνσταντέλη, Βίκυ Ανδρόνικου, Δημοσθένη Κυριαζή, Νικόλαο και Αναστάσιο Δουλάμη με τους οποίους μοιραστήκαμε τις πάρα πολλές ώρες της ερευνητικής εργασίας .

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου και τα αδέρφια μου που πίστεψαν σε εμένα και τις επιλογές μου.

Αντώνιος Ο. Λίτκε

Σεπτέμβριος 2006

„Ich halte dafür, daß der einzige Zweck der Wissenschaft darin besteht, die Mühseligkeit der menschlichen Existenz zu erleichtern.“

Bertolt Brecht, Leben des Galilei, 1955 (Szene 14)

«Θεωρώ, πως ο μοναδικός σκοπός της Επιστήμης έγκειται στο να ελαφρύνει τον μόχθο της ανθρώπινης ύπαρξης.»

Μπέρτολτ Μπρέχτ, Ο Βίος του Γαλιλαίου, 1955 (Σκηνή 14)

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	13
ABSTRACT.....	15
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	16
1.1 Γενικά	16
1.2 Σκοπός - Ορισμός	16
1.3 Εικονικοί Οργανισμοί (Virtual Organizations-VOs).....	21
1.4 Η φύση μιας Αρχιτεκτονικής Grid	25
1.5 Παραδείγματα συστημάτων Grid	28
1.6 Η ανάγκη για Ανοιχτή Αρχιτεκτονική.....	29
1.7 Διάρθρωση της Διατριβής	30
2 ΑΝΟΙΧΤΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ	33
2.1 Γενικά	33
2.2 Απαιτήσεις.....	34
2.2.1 Διαλειτουργικότητα και υποστήριξη δυναμικών και ετερογενών περιβαλλόντων.....	34
2.2.2 Διαμοίραση πόρων μεταξύ οργανισμών	35
2.2.3 Βελτιστοποίηση	36
2.2.4 Διασφάλιση ποιότητας υπηρεσιών (QoS).....	37
2.2.5 Εκτέλεση εργασιών.....	38
2.2.6 Υπηρεσίες Δεδομένων	39
2.2.7 Ασφάλεια	40
2.2.8 Μείωση διαχειριστικού κόστους	42
2.2.9 Δυνατότητα κλιμάκωσης	43
2.2.10 Διαθεσιμότητα	44
2.2.11 Ευχρηστία και επεκτασιμότητα	45
2.3 Δυνατότητες (capabilities).....	46
2.3.1 Σύνοψη	46
2.3.2 Το Πλαίσιο OGSA	50
2.3.3 Υπηρεσίες υποδομής.....	55
2.3.4 Υπηρεσίες Διαχείρισης Εκτέλεσης.....	56
2.3.5 Υπηρεσίες Δεδομένων	58
2.3.6 Υπηρεσίες Διαχείρισης Πόρων.....	58
2.3.7 Υπηρεσίες Ασφάλειας.....	59
2.3.8 Υπηρεσίες Αυτοδιαχείρισης	60
2.3.9 Υπηρεσίες Πληροφοριών.....	60
3 ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ OGSA – ΠΛΑΙΣΙΟ WSRF	62
3.1 Εισαγωγή	62
3.2 Πλαίσιο Πόρων Υπηρεσιών Ιστού (WSRF).....	62
3.2.1 Γενικά.....	62
3.3 Οικογένεια Προδιαγραφών WSRF	69
3.4 Υλοποιήσεις.....	71
3.4.1 The Globus Toolkit version 4	71
3.4.2 WSRF.NET	73
4 ΚΙΝΗΤΟ ΠΛΕΓΜΑ (MOBILE GRID).....	74
4.1 Εισαγωγή - Ορισμός	74

4.2	Κίνητρο.....	75
4.3	Χαρακτηριστικά	76
4.4	Προσδοκώμενα Αποτελέσματα – Απαιτήσεις.....	77
4.5	Παρούσα Κατάσταση – Υπάρχουσες υλοποιήσεις	78
4.6	Ζητήματα διαχείρισης πόρων σε Mobile Grids.....	79
4.6.1	Ανακάλυψη και επιλογή πόρων.....	79
4.6.2	Χρονοδρομολόγηση εργασιών.....	80
4.6.3	Αντιγραφή, μετανάστευση και παρακολούθηση εργασιών.....	81
4.6.4	Διαχείριση αντιγράφων για μεγάλα σύνολα δεδομένων.....	81
5	Η ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΑΚΟGRIMO ΓΙΑ ΚΙΝΗΤΑ ΠΛΕΓΜΑΤΑ.....	83
5.1	OGSA χαρακτηριστικά σε κινητά πλέγματα.....	83
5.2	Η OGSA-διαστρωματωμένη αρχιτεκτονική Akogrimo	84
5.3	Τοποθέτηση του Grid στην Αρχιτεκτονική Akogrimo.....	89
5.4	Η ανάγκη για κινητικότητα με χαρακτηριστικά QoS.....	95
5.5	Χτίζοντας «πλεγματοποιημένες» εφαρμογές	99
5.5.1	Στρώμα Υπηρεσιών Εφαρμογής.....	99
5.5.2	Από το χρήστη στην υπηρεσία μέσω Grid.....	100
5.5.3	Το e-Health σενάριο	103
5.5.4	Χτίζοντας Mobile Dynamic Virtual Organizations	103
5.6	Εργασίες και Υπηρεσίες Διαχείρισης της Εκτέλεσης	107
5.6.1	Λειτουργικές ικανότητες.....	108
5.6.2	Μη-λειτουργικές ικανότητες.....	108
5.6.3	Λειτουργικότητα	109
6	ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΟΡΩΝ ΜΕ ΑΝΟΧΗ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ.....	115
6.1	Εισαγωγή	115
6.2	Ορισμός του προβλήματος και σημειογραφία.....	117
6.3	Μοντέλο δημιουργίας αντιγράφων.....	122
6.3.1	Κατανομή Weibull.....	123
6.3.2	Εκτίμηση των παραμέτρων Weibull.....	125
6.3.3	Υπολογισμός των αντιγράφων.....	128
6.3.4	Χρονοπρογραμματισμός και Διαχείριση Πόρων.....	131
6.3.4.1	Περιγραφή συμπεριφοράς του μοντέλου.....	134
6.3.4.2	Σύγκριση αλγορίθμων για το πρόβλημα «σακιδίου 0/1»	139
6.3.4.3	Η μέθοδος της «οπισθοδρόμησης»	145
6.3.4.4	Η μέθοδος «διακλάδωσης με όρια».....	149
6.3.4.5	Η «άπληστη» μέθοδος	151
6.3.4.6	Η μέθοδος του δυναμικού προγραμματισμού.....	152
6.4	Αποτελέσματα προσομοίωσης	155
6.4.1	Αξιολόγηση των αλγορίθμων «σακιδίου 0/1».....	155
6.4.2	Αξιολόγηση του συνολικού μοντέλου δημιουργίας αντιγράφων	173
6.5	Σχετικές εργασίες - Βιβλιογραφία.....	186
7	ΧΡΟΝΟΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕ ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΕΣ.....	190
7.1	Γενικά	190
7.2	Ανάγκη για ενισχυμένα χαρακτηριστικά ποιότητας σε κινητά πλέγματα....	192
7.3	Χρονοπρογραμματισμός με προτεραιότητες.....	193
7.4	Θέματα Υλοποίησης.....	197
7.4.1	Το περιβάλλον εκτέλεσης.....	197

7.4.2	Υπηρεσία καταχώρησης	201
7.4.3	Περιγραφή Ροής Εργασιών	202
7.5	Αποτελέσματα προσομοίωσης μηχανισμού προτεραιοτήτων	206
7.5.1	Προτεραιότητες χωρίς αντίγραφα	207
7.5.2	Προτεραιότητες με αντίγραφα	213
7.6	Σχετικές εργασίες - Βιβλιογραφία	219
8	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ	223
8.1	Γενικά	223
8.2	Συνεισφορά - Καινοτομία	226
8.3	Μελλοντική εργασία	228
	ΓΛΩΣΣΑΡΙΟ	230
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	232

ΕΙΚΟΝΕΣ

Εικόνα 1: Παράδειγμα εικονικού οργανισμού.....	21
Εικόνα 2: Θεμελιώδης απεικόνιση των υποδομών Grid	47
Εικόνα 3: Το πλαίσιο OGSA (Οι δυνατότητες που παρουσιάζονται, είναι ενδεικτικές)	51
Εικόνα 4: Σχέσεις υπηρεσιών	53
Εικόνα 5: Η προσέγγιση διατήρησης κατάστασης πόρου	63
Εικόνα 6: Μια υπηρεσία ιστού με κάθε πόρο να αναπαριστά ένα αρχείο.....	65
Εικόνα 7: Ένας WS πόρος	67
Εικόνα 8: OGSA-διαστρωματωμένη αρχιτεκτονική	85
Εικόνα 9: Η εστίαση της υποδομής πλέγματος Akogrimo ως προς την OGSA.....	89
Εικόνα 10: Το στρώμα υποδομής πλέγματος σε όλη την Αρχιτεκτονική του Akogrimo	91
Εικόνα 11: Γενική θεώρηση πρόσβασης στην υπηρεσία μέσω Grid middleware.....	101
Εικόνα 12: Παράδειγμα Κινητού Δυναμικού Εικονικού Οργανισμού.....	105
Εικόνα 13: Τα συστατικά του EMS και οι αλληλεπιδράσεις	113
Εικόνα 14: Η κατανομή Weibull. Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (pdf) και η αθροιστική συνάρτηση κατανομής (cdf) για $\beta = \delta = 2$	123
Εικόνα 15: Απλή περίπτωση ενός περιβάλλοντος κινητού πλέγματος με δημιουργία αντιγράφων εργασιών	135
Εικόνα 16: Μη συσχετιζόμενα, ελαφρώς και ισχυρά συσχετιζόμενα παραδείγματα.....	141
Εικόνα 17: Διάστημα λύσεων για το «σακίδιο τριών αντικειμένων»	147
Εικόνα 18: (a1-a2) Σύγκριση αλγορίθμων Backtracking (BT), Branch and Bound (BB), Dynamic Programming (DP) και Greedy (GR) ως προς τον χρόνο απόκρισης της λύσης για <i>ισχυρά συσχετιζόμενα</i> (βάρος/κέρδος εργασιών) στιγμιότυπα και <i>capacity ratio</i> (a1) 33%, και (a2) 50% αντίστοιχα.....	159
Εικόνα 19: (a3-a4) Σύγκριση αλγορίθμων Backtracking (BT), Branch and Bound (BB), Dynamic Programming (DP) και Greedy (GR) ως προς τον χρόνο απόκρισης της λύσης για <i>ισχυρά συσχετιζόμενα</i> (βάρος/κέρδος εργασιών) στιγμιότυπα και <i>capacity ratio</i> (a3) 66%, και (a4) 80% αντίστοιχα.....	161
Εικόνα 20: (b1-b2) Σύγκριση αλγορίθμων Backtracking (BT), Branch and Bound (BB), Dynamic Programming (DP) και Greedy (GR) ως προς τον χρόνο απόκρισης της λύσης για <i>ελαφρώς συσχετιζόμενα</i> (βάρος/κέρδος εργασιών) στιγμιότυπα και <i>capacity ratio</i> (b1) 33%, και (b2) 50% αντίστοιχα.....	163
Εικόνα 21: (b3-b4) Σύγκριση αλγορίθμων Backtracking (BT), Branch and Bound (BB), Dynamic Programming (DP) και Greedy (GR) ως προς τον χρόνο απόκρισης της λύσης για <i>ελαφρώς συσχετιζόμενα</i> (βάρος/κέρδος εργασιών) στιγμιότυπα και <i>capacity ratio</i> (b3) 66%, και (b4) 80% αντίστοιχα.....	165
Εικόνα 22: (c1-c2) Σύγκριση αλγορίθμων Backtracking (BT), Branch and Bound (BB), Dynamic Programming (DP) και Greedy (GR) ως προς τον χρόνο απόκρισης της λύσης για <i>μη συσχετιζόμενα</i> (βάρος/κέρδος εργασιών) στιγμιότυπα και <i>capacity ratio</i> (c1) 33%, και (c2) 50% αντίστοιχα.....	167
Εικόνα 23: (c3-c4) Σύγκριση αλγορίθμων Backtracking (BT), Branch and Bound (BB), Dynamic Programming (DP) και Greedy (GR) ως προς τον χρόνο απόκρισης της λύσης για <i>μη συσχετιζόμενα</i> (βάρος/κέρδος εργασιών) στιγμιότυπα και <i>capacity ratio</i> (c3) 66%, και (c4) 80% αντίστοιχα.....	169
Εικόνα 24: Αποτελέσματα προσομοίωσης του προτεινόμενου μηχανισμού. Τα σχήματα (a1- c1) δείχνουν το επιτευχθέν κέρδος (σε λογιστικές μονάδες) από επιτυχημένες εργασίες	

τόσο με όσο και χωρίς αντίγραφα. Η επανάληψη στον οριζόντιο άξονα σημαίνει την πολλαπλή εκτέλεση του ίδιου στιγμιότυπου εισόδου για εξασφάλιση τυχαιότητας στις αποτυχίες εργασιών	175
Εικόνα 25: (συνέχεια) Αποτελέσματα προσομοίωσης του προτεινόμενου μηχανισμού. Τα σχήματα (d1-f1) δείχνουν το επιτευχθέν κέρδος (σε λογιστικές μονάδες) από επιτυχημένες εργασίες τόσο με όσο και χωρίς αντίγραφα. Η επανάληψη στον οριζόντιο άξονα σημαίνει την πολλαπλή εκτέλεση του ίδιου στιγμιότυπου εισόδου για εξασφάλιση τυχαιότητας στις αποτυχίες εργασιών	177
Εικόνα 26: Αποτελέσματα προσομοίωσης του προτεινόμενου μηχανισμού. Τα σχήματα (a2-c2) δείχνουν τον αριθμό των επιτυχημένων εργασιών για τα ίδια στιγμιότυπα εισόδου με τα αντίστοιχα σχήματα της Εικόνα 24	179
Εικόνα 27: (συνέχεια) Αποτελέσματα προσομοίωσης του προτεινόμενου μηχανισμού. Τα σχήματα (d2-f2) δείχνουν τον αριθμό των επιτυχημένων εργασιών για τα ίδια στιγμιότυπα εισόδου με τα αντίστοιχα σχήματα της Εικόνα 25.....	181
Εικόνα 28: Αρχιτεκτονική απεικόνιση των μηχανισμών ανοχής σφαλμάτων και προτεραιοτήτων	199
Εικόνα 29: Τρεις φάσεις μια ουράς πόρου	203
Εικόνα 30: Μέσος χρόνος αναμονής στην ουρά για διάφορους λόγους προτεραιοτήτων HIGH/MID. (Άφιξη εργασιών και εκτέλεση είναι Poisson κατανομές με μέσες τιμές 13 sec και 66 sec αντίστοιχα)	209
Εικόνα 31: Μέσος χρόνος αναμονής στην ουρά για διάφορους λόγους προτεραιοτήτων HIGH/MID. (Άφιξη εργασιών Poisson με μέση τιμή 13 sec και ο χρόνος εκτέλεσης εργασιών τυχαίος αριθμός μεταξύ 16 sec και 116 sec)	211
Εικόνα 32: Μέσος χρόνος αναμονής στην ουρά για διάφορους λόγους προτεραιοτήτων HIGH/MID με αντίγραφα εργασιών. (Άφιξη εργασιών και εκτέλεση είναι κατανομές Poisson με μέσες τιμές 13 sec και 66 sec αντίστοιχα).....	215
Εικόνα 33: Παράδειγμα 2 ισοδύναμων ουρών HIGH και MID χωρίς προτεραιότητες και αντίγραφα: 150 εργασίες με ρυθμό άφιξης 13 sec (Poisson) σε Grid με 5 πόρους και χρόνο εκτέλεσης κάθε εργασίας 66 sec (Poisson).....	217

ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας 1: Δέσμες QoS, τιμές (σε Kbytes/s) και χρήση	97
Πίνακας 2: Παραδείγματα τιμών για τον υπολογισμό των παραμέτρων β , δ	127
Πίνακας 3: Υπολογισμός απαιτούμενων αντιγράφων m_i για την επίτευξη ανοχής σφαλμάτων ορίου λ με σταθερή πιθανότητα αποτυχίας κάθε πόρου πλέγματος	156
Πίνακας 4: Σύγκριση μεταξύ βέλτιστης τιμής κέρδους από τον αλγόριθμο BB (μετρημένη σε currency units) και του κέρδους από τον Greedy αλγόριθμο για 10 διαφορετικά δεδομένα εισόδου με 300 εργασίες σε πλέγμα CR=80%	173
Πίνακας 5: Σύγκριση μεταξύ μεθόδου με αντίγραφα και μεθόδου χωρίς αντίγραφα για διάφορα στιγμιότυπα δεδομένων εισόδου.	185
Πίνακας 6: Μέσος αριθμός αποτυχημένων εργασιών για διάφορα στιγμιότυπα HIGH/MID και για τις 2 περιπτώσεις (με αντίγραφα και χωρίς) που αφορούν στα παραδείγματα των Εικόνων Εικόνα 30 και Εικόνα 32.....	217

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στη διατριβή αυτή παρουσιάζεται ένας μηχανισμός διαχείρισης πόρων και ποιότητας υπηρεσιών για κινητά πλέγματα που συμμορφώνονται με την Ανοιχτή Αρχιτεκτονική Υπηρεσιών Πλέγματος (OGSA). Τόσο το θέμα διαχείρισης πόρων όσο και εκείνο της παροχής ποιότητας υπηρεσιών είναι ζωτικής σημασίας ιδιαίτερα σήμερα που οι κόσμοι του πλέγματος και του κινητού υπολογισμού (mobile computing) συγκλίνουν στο ανερχόμενο παράδειγμα υπολογισμού Κινητού Πλέγματος. Η διατριβή παρέχει έναν πλήρη και εμπειριστατωμένο ορισμό της έννοιας του Κινητού Πλέγματος και των θεμάτων που το αφορούν, όπως τα κίνητρα, τα σημαντικά τεχνικά θέματα και τα οφέλη που εκπηγάζουν από αυτήν την νέα τεχνολογία, ειδικά σε ότι αφορά συνεργατικά περιβάλλοντα, αλλά και την καθημερινή ζωή του αποκαλούμενου «κινητού» πολίτη.

Παρουσιάζεται και αναλύεται μια αρχιτεκτονική που εκμεταλλεύεται και προωθεί την τεχνολογία πλέγματος ως τεχνολογία υποστήριξης υπηρεσιών για τους φορείς κινητών τηλεπικοινωνιών. Αυτή η αρχιτεκτονική στηρίζεται στο πλαίσιο OGSA και στις σύγχρονες τάσεις για τα κινητά δίκτυα επόμενης γενεάς, με βασικά πλεονεκτήματα αυτής τις σύνθετες ικανότητες υποστήριξης υπηρεσιών, την αποδοτική διαχείριση πόρων, και την πιθανή και συνεχή πρόσβαση στην υποδομή υπηρεσιών.

Προτείνεται, μελετάται και αξιολογείται ένα αποδοτικό μοντέλο διαχείρισης πόρων με ανοχή σε σφάλματα για Κινητά Πλέγματα, βασισμένο στη δημιουργία αντιγράφων εργασιών, το οποίο χρησιμοποιεί τη συνάρτηση αξιοπιστίας του Weibull για τους κινητούς πόρους ώστε να υπολογιστεί ο αριθμός αντιγράφων που πρόκειται να δημιουργηθούν προκειμένου το περιβάλλον πλέγματος να εγγυηθεί ένα συγκεκριμένο όριο ανοχής σφαλμάτων μέσα σε αυτό. Ο πρόσθετος φόρτος εργασίας που παράγεται από τα πλεονάζοντα αντίγραφα που

πλέον δρομολογούνται και αυτά στο πλέγμα, αντιμετωπίζεται από ένα σχέδιο διαχείρισης πόρων που βασίζεται στη διατύπωση του προβλήματος «σακιδίου» και που στοχεύει να μεγιστοποιήσει τη χρησιμοποίηση και το κέρδος της υποδομής πλέγματος. Το προτεινόμενο σχέδιο αξιολογείται μέσω προσομοίωσης και παρουσιάζει αποδοτικότητα για τη χρησιμοποίηση του στο ενδιάμεσο λογισμικό μελλοντικών περιβαλλόντων κινητού πλέγματος.

Επιπλέον, προτείνεται ένα απλό και αποδοτικό σχήμα καθορισμού προτεραιοτήτων που επιτρέπει τη διάκριση των εργασιών που υποβάλλονται από τους χρήστες πλέγματος σε κατάλληλες κατηγορίες που μπορούν να διαχειριστούν και να χρησιμοποιηθούν ως παράμετροι QoS από τον πάροχο της υποδομής πλέγματος. Τα αποτελέσματα προσομοίωσης που παρουσιάζονται καταδεικνύουν την αποδοτικότητα του προτεινόμενου σχήματος στην διατήρηση και τον εμπλουτισμό με χαρακτηριστικά QoS σε εφαρμογές που στηρίζονται σε ανοιχτής αρχιτεκτονικής κινητά πλέγματα.

ABSTRACT

This thesis presents a mechanism for resource management and Quality of Service provision in Grids that comply with the Open Grid Services Architecture (OGSA). Both issues are of vital importance as the Grid and Mobile computing worlds converge to the Mobile Grid computing paradigm. The thesis provides a discussion on Mobile Grid definition, the basic motivation and benefits that can stem from this new technology, especially as far as it concerns collaborative environments, major technical topics and the everyday life of the “mobile” citizen. An architecture is described and analyzed, which exploits and advances Grid technology as a service support technology for Mobile Telecommunication operators. This architecture relies on both OGSA framework, and on current trends for next generation mobile networks with key advantages: complex service support capabilities, efficient resource management techniques and seamless access to the service infrastructure.

An efficient scheme based on task replication is presented, which utilizes the Weibull reliability function for the Grid resources so as to estimate the number of replicas that are going to be scheduled in order to guarantee a specific fault tolerance level for the Grid environment. The additional workload that is produced by the replication is handled by a resource management scheme which is based on the knapsack formulation and which aims to maximize the utilization and profit of the Grid infrastructure. Moreover, a simple and efficient prioritization scheme which is presented which allows the distinction of the tasks submitted by the Grid users into categories that can be managed and exploited as a QoS parameter by the Grid infrastructure operator. The proposed model has been evaluated through simulation and showed its efficiency for being used in a middleware approach in future Mobile Grid environments.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά

Ο όρος “ Πλέγμα” (Grid) επινοήθηκε στα μέσα της δεκαετίας του ’90 για να δηλώσει μία προτεινόμενη κατανομημένη υπολογιστική υποδομή για επιστημονική έρευνα. Ωστόσο, οι γενικότερες προοπτικές που παρέχονται από την έννοια του Grid, υπόσχονται καινοτομικές προσεγγίσεις αξιοποίησης υπαρχόντων υπολογιστικών συστημάτων και ριζικές αλλαγές στους τρόπους χρήσης των υπολογιστών. Οι νέες δυνατότητες που προσδόθηκαν από εφαρμογές τεχνολογιών Πλέγματος, αλλά κυρίως οι δυνατότητες που μπορούν να προκύψουν από την εξέλιξη αυτής της νέας μορφής υπολογιστικής υποδομής, έχουν οδηγήσει σε πολύ μεγάλη αύξηση του ενδιαφέροντος για το Grid τόσο στον επιστημονικό χώρο όσο και από το χώρο των επιχειρήσεων και της οικονομίας.

1.2 Σκοπός - Ορισμός

Το κίνητρο για τη διαμόρφωση της ιδέας του Grid είναι η επίτευξη συντονισμένης διαμοίρασης πόρων και επίλυσης προβλημάτων σε δυναμικούς, εικονικούς οργανισμούς αποτελούμενους από πολλαπλές διοικητικές περιοχές [1]. Η έννοια της διαμοίρασης δεν εντοπίζεται στην ανταλλαγή αρχείων, αλλά αναφέρεται στη δυνατότητα της άμεσης πρόσβασης σε υπολογιστές, λογισμικό, δεδομένα , υπηρεσίες και άλλους πόρους, όπως απαιτείται από μία σειρά στρατηγικών συνεργατικής επίλυσης προβλημάτων και μεσιτείας πόρων οι οποίες εμφανίζονται στη βιομηχανία, την επιστήμη και τη μηχανική. Με βάση αυτό το κίνητρο, μπορούμε να ορίσουμε ως Grid ένα σύστημα το οποίο [2] :

1. Συντονίζει τη χρήση πόρων οι οποίοι δεν υπόκεινται σε κεντρικό έλεγχο.
2. Χρησιμοποιεί πρωτόκολλα και διασυνδέσεις που είναι ανοικτά και γενικού σκοπού.

3. Παρέχει Υπηρεσίες Ποιότητας (Quality of Service –QoS).

Με βάση τον παραπάνω ορισμό, ένα Grid (α) συνενώνει και συντονίζει πόρους και χρήστες που βρίσκονται σε διαφορετικές περιοχές ελέγχου – όπως είναι ο υπολογιστής ενός χρήστη ως προς ένα κεντρικό σύστημα, διαφορετικές διοικητικές μονάδες μίας εταιρείας ή διαφορετικές εταιρείες – και αντιμετωπίζει ζητήματα που ανακύπτουν σε τέτοια περιβάλλοντα, όπως είναι αυτά της ασφάλειας, των πολιτικών χρήσης, των πληρωμών υπηρεσιών, της εξουσιοδοτημένης χρήσης. (β) αποτελείται από πρωτόκολλα και διασυνδέσεις πολλαπλών σκοπών και αντιμετωπίζει θεμελιώδη ζητήματα, όπως η πιστοποίηση, η εξουσιοδότηση, η εύρεση πόρων και η πρόσβαση σε πόρους. (γ) επιτρέπει τη χρήση των πόρων που περιλαμβάνονται σε αυτό με συντονισμένο τρόπο, ώστε να παρέχονται διάφορα επίπεδα ποιότητας υπηρεσιών, τα οποία μπορούν να αναφέρονται σε ζητήματα όπως ο χρόνος απόκρισης, ο ρυθμός παραγωγής αποτελέσματος, η διαθεσιμότητα, η ασφάλεια, καθώς και να πραγματοποιείται ταυτόχρονη κατανομή πολλαπλών τύπων πόρων προκειμένου να ικανοποιούνται σύνθετα αιτήματα χρηστών, με όλα αυτά να αποσκοπούν σε ένα σύστημα με συνολική χρησιμότητα μεγαλύτερη από το άθροισμα της χρησιμότητας των επιμέρους τμημάτων του. Εξάλλου, με βάση τον παραπάνω ορισμό, η διαμοίραση πόρων που πραγματοποιείται σε ένα Grid πρέπει να είναι απαραίτητα ελεγχόμενη σε υψηλό βαθμό, με τους παροχείς (suppliers) και τους καταναλωτές (consumers) πόρων να προσδιορίζουν σαφώς τα αντικείμενα που διαμοιράζονται, τους συμμετέχοντες στη διαμοίραση και τις συνθήκες υπό τις οποίες αυτή πραγματοποιείται.

Ένα σύνολο από άτομα και/ή ιδρύματα που προσδιορίζεται από κανόνες διαμοίρασης όπως αυτοί που περιγράφηκαν προηγουμένως, αποτελεί μία οντότητα που έχει ονομαστεί εικονικός οργανισμός (Virtual Organization, VO) [1]. Μερικά παραδείγματα VOs είναι: (α) οι παροχείς υπηρεσιών εφαρμογών (Application Service Providers, ASP), οι παροχείς

υπηρεσιών αποθήκευσης (Storage Service Providers, SSP), οι παροχείς κύκλων Κεντρικής Μονάδας Επεξεργασίας (Central Processing Unit, CPU) και οι σύμβουλοι που χρησιμοποιούνται από έναν κατασκευαστή αυτοκινήτων για την πραγματοποίηση αξιολόγησης σεναρίων κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού για ένα νέο εργοστάσιο. (β) τα μέλη μίας κοινοπραξίας βιομηχανιών που καταθέτουν προσφορές για ένα νέο αεροσκάφος. (γ) μία ομάδα διαχείρισης κρίσεων και οι βάσεις δεδομένων και τα συστήματα προσομοίωσης που χρησιμοποιεί για να αποκριθεί σε μια κατάσταση έκτακτης ανάγκης. (δ) μέλη μίας μεγάλης, διεθνούς, πολυετούς συνεργασίας στη φυσική υψηλών ενεργειών. Καθένα από αυτά τα παραδείγματα αντιπροσωπεύει μία προσέγγιση σε συστήματα υπολογιστών και σε διαδικασίες επίλυσης προβλημάτων που βασίζονται στη συνεργασία μέσα σε ετερογενή περιβάλλοντα μεγάλου όγκου και ποικιλίας δεδομένων και υπολογισμών. Όπως γίνεται εμφανές από τα παραπάνω παραδείγματα, οι VOs μπορούν να διαφέρουν πάρα πολύ μεταξύ τους ως προς το σκοπό, το αντικείμενο, το μέγεθος, τη διάρκεια, τη δομή τους, την κοινότητα που διαμορφώνουν και την κοινωνιολογία αυτής. Παρ' όλα αυτά, προσεκτική μελέτη των υποκείμενων τεχνολογικών απαιτήσεων οδηγεί στον προσδιορισμό ενός ευρύτατου συνόλου κοινών απαιτήσεων.

Πιο συγκεκριμένα, έχουν προσδιοριστεί ανάγκες για: (α) σχέσεις διαμοίρασης μεγάλης ευελιξίας, από το μοντέλο client-server έως το μοντέλο peer-to-peer. (β) σύνθετα και ακριβή επίπεδα ελέγχου της χρήσης των διαμοιραζόμενων πόρων, περιλαμβανόμενων του εκλεπτυσμένου (fine-grained) ελέγχου πρόσβασης και του ελέγχου πρόσβασης πολλαπλών κατόχων πόρων (multi-stakeholder), της μεταβίβασης (delegation) και της εφαρμογής τοπικών και καθολικών πολιτικών. (γ) διαμοίραση ποικίλων πόρων, από προγράμματα, αρχεία και δεδομένα έως υπολογιστές, αισθητήρες και δίκτυα. (δ) διαφορετικούς τρόπους χρήσης που μπορούν να αναφέρονται από τον αριθμό χρηστών (ένας - πολλοί), έως το

χαρακτηριστικό όπου δίνεται έμφαση (επίδοση, κόστος κλπ), με αποτέλεσμα να υπεισέρχονται ζητήματα ποιότητας υπηρεσιών, χρονοδρομολόγησης, κατανομής από κοινού (co-allocation) και χρέωσης.

Οι τρέχουσες τεχνολογίες κατανεμημένου υπολογισμού δεν ικανοποιούν τις απαιτήσεις που προαναφέρθηκαν. Για παράδειγμα, οι τεχνολογίες Internet αφορούν στην επικοινωνία και την ανταλλαγή πληροφορίας μεταξύ υπολογιστών, αλλά δεν παρέχουν ολοκληρωμένες προσεγγίσεις στη συντονισμένη χρήση πόρων σε πολλαπλούς τόπους υπολογισμού. Οι συναλλαγές business-to-business (B2B) εστιάζουν στη διαμοίραση πληροφορίας η οποία συχνά βρίσκεται συγκεντρωμένη σε κεντρικούς εξυπηρετητές (servers). Συστήματα κλίμακας επιχειρήσεων μπορεί να επιτρέπουν τη διαμοίραση επιπλέον πόρων, όπως εφαρμογών ή φυσικών συσκευών, αλλά και αυτό γίνεται με συγκεντρωτικές μεθόδους. Τεχνολογίες κατανεμημένου υπολογισμού κλίμακας επιχειρήσεων όπως η CORBA και η J2EE επιτρέπουν τη διαμοίραση πόρων, αλλά στο εσωτερικό ενός οργανισμού. Το DCE (Distributed Computing Environment) του Open Group υποστηρίζει ασφαλή διαμοίραση πόρων, αλλά θα ήταν πολύ ανελαστικό και δύσχρηστο για τους περισσότερους VOs. Οι SSP και οι ASP επιτρέπουν σε οργανισμούς να καλύψουν μέσω outsourcing ανάγκες τους σε χώρο αποθήκευσης και υπολογιστική ισχύ, αλλά αυτό γίνεται μόνο με περιοριστικές μεθόδους, όπως η χρήση VPN. Συμπερασματικά, η σύγχρονη τεχνολογία δε διευθετεί την απαιτούμενη ποικιλία πόρων ή δεν παρέχει την απαιτούμενη ευελιξία και έλεγχο στις σχέσεις διαμοίρασης για τη δημιουργία εικονικών οργανισμών.

Προκειμένου να υπάρξει ανταπόκριση στις απαιτήσεις που διατυπώθηκαν προηγουμένως και να καταστεί εφικτή και πλήρως λειτουργική η έννοια του εικονικού οργανισμού, έχει καταβληθεί σημαντική ερευνητική και αναπτυξιακή προσπάθεια, με αποτέλεσμα την εισαγωγή ενός συνόλου από τεχνολογίες Πλέγματος. Στις τεχνολογίες αυτές

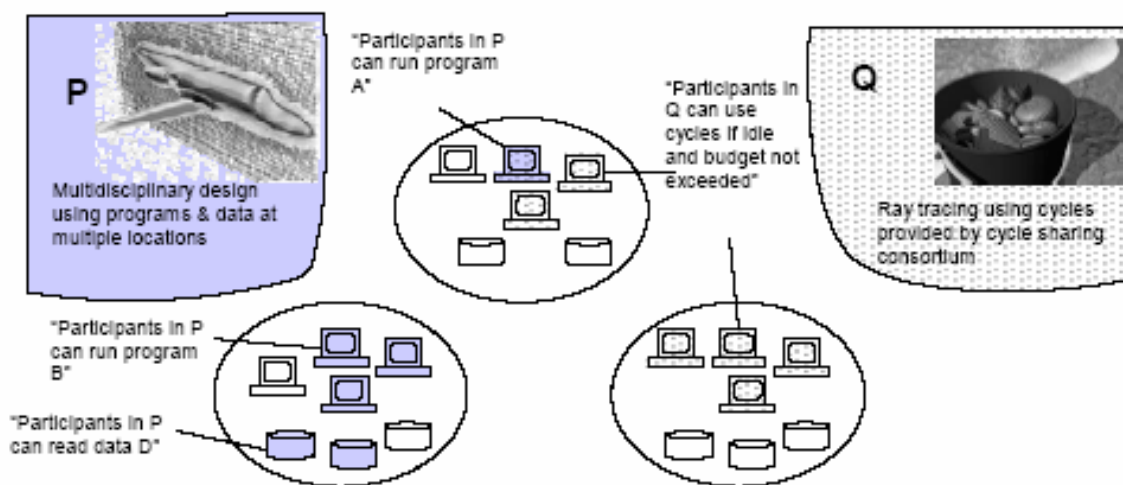
περιλαμβάνονται πρωτόκολλα, υπηρεσίες και εργαλεία που ανταποκρίνονται ακριβώς στις προκλήσεις που ανακύπτουν κατά την προσπάθεια δημιουργίας κλιμακούμενων εικονικών οργανισμών, καθιστώντας αυτές και τα συστήματα πλέγματος τα οποία θεμελιώνουν, το πλαίσιο εκείνο εντός του οποίου μπορεί να υλοποιηθεί πλήρως ένας εικονικός οργανισμός. Στις τεχνολογίες αυτές περιλαμβάνονται: (α) λύσεις ασφάλειας που υποστηρίζουν τη διαχείριση πιστοποιητικών (certificates) και πολιτικών (policies), όταν οι υπολογισμοί πραγματοποιούνται σε πολλαπλά ιδρύματα. (β) πρωτόκολλα διαχείρισης πόρων και υπηρεσίες που υποστηρίζουν ασφαλή απομακρυσμένη πρόσβαση σε υπολογιστικούς πόρους και δεδομένα και την από κοινού κατανομή πολλαπλών πόρων. (γ) πρωτόκολλα άντλησης πληροφοριών και υπηρεσίες που παρέχουν πληροφορίες διαμόρφωσης και κατάστασης για πόρους, οργανισμούς και υπηρεσίες. (δ) υπηρεσίες διαχείρισης δεδομένων που εντοπίζουν και μεταφέρουν σύνολα δεδομένων μεταξύ αποθηκευτικών συστημάτων και εφαρμογών.

Λόγω της εστίασής τους στη δυναμική, υπερ-οργανωσιακή (cross-organizational) διαμοίραση, οι τεχνολογίες Grid συμπληρώνουν μάλλον παρά ανταγωνίζονται τις υπάρχουσες τεχνολογίες κατανεμημένου υπολογισμού. Για παράδειγμα, επιχειρησιακά συστήματα κατανεμημένου υπολογισμού μπορούν να χρησιμοποιήσουν τις τεχνολογίες πλέγματος για να επιτύχουν διαμοίραση πόρων, υπερβαίνοντας τα διοικητικά όρια οργανισμών. Εξάλλου, στο πεδίο των παροχών υπηρεσιών, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εγκαθίδρυση δυναμικών αγορών για υπολογιστικούς και αποθηκευτικούς πόρους, υπερβαίνοντας έτσι τα όρια των υπαρχουσών στατικών διαμορφώσεων. Γενικά, τα συστήματα Πλέγματος και η υλοποίηση της έννοιας του εικονικού οργανισμού, ενσωματώνοντας και επεκτείνοντας τη λειτουργικότητα υπαρχουσών τεχνολογιών, υπόσχονται ριζικές αλλαγές στον τρόπο χρήσης των υπολογιστών για την επίλυση προβλημάτων, ανάλογες με αυτές που επέφερε το Web στον τρόπο ανταλλαγής

πληροφορίας. Η ενοποίηση και η ολοκλήρωση που επιτρέπει αυτή η νέα υποδομή φέρει τεράστια δυναμική αλλαγής στις παρεχόμενες λειτουργίες, στο κόστος πρόσβασης σε αυτές και κατά συνέπεια στο ρυθμό προόδου της επιστημονικής έρευνας, στις δυνατότητες του μέσου χρήστη και στις δυνατότητες επιχειρηματικής αξιοποίησης και οικονομικής ανάπτυξης.

1.3 Εικονικοί Οργανισμοί (Virtual Organizations-VOs)

Ο εικονικός οργανισμός είναι μία έννοια που καθίσταται θεμελιώδης σε ένα μεγάλο μέρος του σύγχρονου υπολογισμού. Οι VOs επιτρέπουν σε ανόμοιες ομάδες οργανισμών ή/και ατόμων να μοιράζονται πόρους με ελεγχόμενο τρόπο, έτσι ώστε τα μέλη να μπορούν να συνεργαστούν για την επίτευξη ενός κοινού σκοπού.



Εικόνα 1: Παράδειγμα εικονικού οργανισμού

Στους εικονικούς οργανισμούς διακρίνεται ένα πλήθος αμοιβαία «δύσπιστων» συμμετεχόντων με ποικίλους βαθμούς προγενέστερης σχέσης οι οποίοι θέλουν να μοιραστούν πόρους, προκειμένου να εκτελεσθεί κάποια εργασία. Η διαμοίραση δεν αναφέρεται στην απλή ανταλλαγή εγγράφων, αλλά περιλαμβάνει δυνατότητες για άμεση

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή

πρόσβαση σε απομακρυσμένο λογισμικό, υπολογιστές, δεδομένα, αισθητήρες και άλλους πόρους. Για παράδειγμα, τα μέλη μίας κοινοπραξίας μπορούν να παρέχουν πρόσβαση σε εξειδικευμένο λογισμικό και δεδομένα και/ή να διαθέτουν τους υπολογιστικούς τους πόρους. Ένας πραγματικός οργανισμός μπορεί να συμμετέχει σε έναν ή περισσότερους VOs, διαμοιράζοντας μερικούς ή όλους τους πόρους του. Παρουσιάζονται τρεις πραγματικοί οργανισμοί (οβάλ) και δύο VOs: Ο P, που συνδέει τους συμμετέχοντες σε μια κοινοπραξία αεροδιαστημικού σχεδιασμού και ο Q, που συνδέει συναδέλφους που έχουν συμφωνήσει να μοιράζονται διαθέσιμους κύκλους CPU, για να τρέξουν π.χ. υπολογισμούς ανίχνευσης ακτινών. Ο οργανισμός στα αριστερά συμμετέχει στο P, αυτός στα δεξιά συμμετέχει στο Q και ο τρίτος είναι μέλος και του P και του Q. Οι πολιτικές που καθορίζουν την πρόσβαση στους πόρους (οι οποίες συνοψίζονται εντός εισαγωγικών) ποικίλλουν ανάλογα με τους πραγματικούς οργανισμούς, τους πόρους και τους VOs που εμπλέκονται.

Η διαμοίραση πόρων είναι προαιρετική: κάθε ιδιοκτήτης πόρων καθιστά πόρους διαθέσιμους, σύμφωνα με περιορισμούς για το χρόνο, τον τόπο και το είδος των ενεργειών που μπορούν να πραγματοποιηθούν. Για παράδειγμα, ένας συμμετέχων στον VO P της Εικόνα 1 μπορεί να επιτρέψει σε συνεργάτες στον VO να καλούν την υπηρεσία προσομοίωσης μόνο για απλά προβλήματα. Οι καταναλωτές πόρων μπορούν επίσης να θέσουν περιορισμούς στις ιδιότητες των πόρων με τους οποίους θα εργαστούν. Για παράδειγμα, ένας συμμετέχων στον VO Q μπορεί να αποδέχεται μόνο παρεχόμενους υπολογιστικούς πόρους που έχουν χαρακτηριστεί ως ασφαλείς. Η υλοποίηση τέτοιων περιορισμών απαιτεί μηχανισμούς για την έκφραση πολιτικών, την ταυτοποίηση των καταναλωτών των πόρων και την εξουσιοδότηση χρήσης ενός πόρου βάσει των υπαρχόντων περιορισμών και σχέσεων διαμοίρασης.

Οι σχέσεις διαμοίρασης μπορούν να διαφοροποιούνται δυναμικά με την πάροδο του χρόνου, ανάλογα με τους πόρους που εμπλέκονται, τη φύση της επιτρεπόμενης πρόσβασης και τους συμμετέχοντες στους οποίους επιτρέπεται η πρόσβαση. Οι σχέσεις αυτές δεν εμπλέκουν απαραίτητα ένα σαφώς ονομασμένο σύνολο ατόμων, αλλά μπορούν να καθοριστούν έμμεσα από τις πολιτικές που ελέγχουν την πρόσβαση σε πόρους. Για παράδειγμα, ένας οργανισμός μπορεί να επιτρέπει την πρόσβαση σε οποιονδήποτε μπορεί να αποδείξει ότι είναι «πελάτης» ή «φοιτητής».

Η δυναμική φύση των σχέσεων διαμοίρασης σημαίνει ότι απαιτούνται μηχανισμοί για την ανακάλυψη και το χαρακτηρισμό της φύσης των σχέσεων που υπάρχουν σε ένα συγκεκριμένο χρονικό σημείο. Για παράδειγμα, ένας νέος συμμετέχων στον VO Q πρέπει να μπορεί να αποφασίζει σε ποιους πόρους θα έχει πρόσβαση, την «ποιότητα» αυτών των πόρων και τις πολιτικές που καθορίζουν την πρόσβαση.

Οι σχέσεις διαμοίρασης συχνά δεν ακολουθούν το μοντέλο client-server, αλλά το μοντέλο peer-to-peer: οι πάροχοι μπορούν να είναι καταναλωτές και οι σχέσεις διαμοίρασης μπορούν να υπάρχουν μεταξύ οποιουδήποτε υποσυνόλου συμμετεχόντων. Οι σχέσεις διαμοίρασης μπορούν να συνδυαστούν για να συντονίσουν τη χρήση πολλών πόρων, με τον καθένα να ανήκει σε διαφορετικό οργανισμό. Για παράδειγμα, στον VO Q, ένας υπολογισμός που άρχισε σε έναν παρεχόμενο πόρο μπορεί στη συνέχεια να προσπελάσει δεδομένα ή να ξεκινήσει βοηθητικούς υπολογισμούς αλλού. Η ικανότητα της μεταβίβασης εξουσιοδότησης με ελεγχόμενους τρόπους γίνεται σημαντική σε τέτοιες καταστάσεις, όπως και οι μηχανισμοί για το συντονισμό λειτουργιών σε πολλαπλούς πόρους (π.χ. συνδυασμένη χρονοδρομολόγηση).

Ο ίδιος πόρος μπορεί να χρησιμοποιηθεί με διαφορετικούς τρόπους, ανάλογα με τους περιορισμούς που τίθενται στη διαμοίραση και στο σκοπό της διαμοίρασης. Για παράδειγμα

ένας υπολογιστής μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτέλεση μόνο μίας συγκεκριμένης εφαρμογής σε ένα διακανονισμό διαμοίρασης, ενώ μπορεί να παρέχει γενικούς κύκλους CPU σε έναν άλλο. Λόγω της έλλειψης εκ των προτέρων γνώσης για τον τρόπο χρήσης ενός πόρου, μετρικές επίδοσης, αναμενόμενα αποτελέσματα και περιορισμοί μπορεί να αποτελούν μέρος των συνθηκών που τίθενται στη διαμοίραση ή τη χρήση πόρων.

1.4 Η φύση μιας Αρχιτεκτονικής Grid

Η ίδρυση, διαχείριση και εκμετάλλευση δυναμικών, υπεροργανωσιακών σχέσεων διαμοίρασης απαιτεί νέα τεχνολογία. Η τεχνολογία αυτή μπορεί να προσεγγιστεί πρώτα σε επίπεδο αρχιτεκτονικής η οποία προσδιορίζει θεμελιώδη συστατικά του Grid, καθορίζει το σκοπό και τη λειτουργία αυτών των συστατικών και υποδεικνύει τους τρόπους αλληλεπίδρασης μεταξύ αυτών των χαρακτηριστικών [1].

Βασική απαίτηση κάθε αποδοτικής λειτουργίας σε ένα VO είναι η ικανότητα δημιουργίας σχέσεων διαμοίρασης μεταξύ οποιωνδήποτε συμμετεχόντων στο VO. Επομένως, θεμελιώδες χαρακτηριστικό για την αρχιτεκτονική Grid είναι η διαλειτουργικότητα. Σε κάθε δικτυακό περιβάλλον, η διαλειτουργικότητα αποκτάται μέσω κοινών πρωτοκόλλων, επομένως η αρχιτεκτονική Grid είναι πρωτίστως και κυρίως μία αρχιτεκτονική πρωτοκόλλων, με τα πρωτόκολλα να καθορίζουν τους βασικούς μηχανισμούς με τους οποίους οι χρήστες και οι πόροι ενός VO διαπραγματεύονται, εγκαθιστούν, διαχειρίζονται και εκμεταλλεύονται τις σχέσεις διαμοίρασής τους. Μία ανοικτή αρχιτεκτονική η οποία βασίζεται σε πρότυπα διευκολύνει την επεκτασιμότητα, τη διαλειτουργικότητα, τη μεταφερσιμότητα και τη διαμοίραση κώδικα. Τυποποιημένα πρωτόκολλα διευκολύνουν τον προσδιορισμό τυποποιημένων υπηρεσιών που παρέχουν επαυξημένες δυνατότητες. Επιπλέον μπορούν να αναπτυχθούν APIs (Application Programming Interfaces, Διασυνδέσεις Προγραμμάτων

Εφαρμογών) και SDKs (Software Development Kits, Σύνολα Εργαλείων Ανάπτυξης Λογισμικού) για την παροχή της προγραμματιστικής αφαίρεσης για τη δημιουργία ενός χρησιμοποιήσιμου Grid. Αυτή η τεχνολογία και η αρχιτεκτονική αποτελούν μαζί ό,τι συχνά καλείται ενδιάμεσο λογισμικό (middleware).

Η διαλειτουργικότητα είναι θεμελιώδης επιδίωξη, γιατί ζητούμενο σε ένα Grid είναι η διαβεβαίωση ότι οι σχέσεις διαμοίρασης μπορούν να εγκαθιδρυθούν μεταξύ οποιωνδήποτε μερών, διευθετώντας δυναμικά νέους συμμετέχοντες, σε οποιοσδήποτε πλατφόρμες, με τη χρήση διαφορετικών γλωσσών και προγραμματιστικών εργαλείων. Σε αυτό το πλαίσιο, ένας μηχανισμός δεν εξυπηρετεί πολλά πράγματα αν δεν έχει οριστεί και υλοποιηθεί έτσι ώστε να είναι διαλειτουργικός, υπερβαίνοντας όρια οργανισμών, λειτουργικές πολιτικές και τύπους πόρων. Χωρίς τη διαλειτουργικότητα, οι εφαρμογές και οι συμμετέχοντες ενός VO αναγκάζονται να υπεισέλθουν σε αμφίπλευρους διακανονισμούς διαμοίρασης, καθώς δεν υπάρχει καμία διαβεβαίωση ότι υπάρχει κάποια ομοιομορφία στους χρησιμοποιούμενους μηχανισμούς. Χωρίς μία τέτοια διαβεβαίωση, ο σχηματισμός ενός δυναμικού VO είναι ουσιαστικά αδύνατος και οι τύποι υλοποιήσιμων VOs είναι εξαιρετικά περιορισμένοι. Όπως το Web έφερε επανάσταση στη διαμοίραση πληροφορίας, χρησιμοποιώντας ένα γενικό πρωτόκολλο και συντακτικό (το HTTP και την HTML), έτσι και η γενική διαμοίραση πόρων απαιτεί τυποποιημένα πρωτόκολλα και συντακτικά.

Ένα πρωτόκολλο προσδιορίζει τους τρόπους με τους οποίους κατανεμημένα στοιχεία συστημάτων αλληλεπιδρούν μεταξύ τους προκειμένου να επιτύχουν μία επιθυμητή συμπεριφορά, καθώς και τη δομή της πληροφορίας που ανταλλάσσεται κατά τη διάρκεια αυτής της αλληλεπίδρασης. Αυτή η εστίαση στα εξωτερικά γνωρίσματα (αλληλεπιδράσεις) παρά στα εσωτερικά (λογισμικό, χαρακτηριστικά πόρων) έχει σημαντικά πραγματικά οφέλη: Οι VOs χαρακτηρίζονται από ρευστότητα διαμόρφωσης και ευμεταβλησία. Συνεπώς, οι

μηχανισμοί που χρησιμοποιούνται για την ανακάλυψη πόρων, την ταυτοποίηση, την εξουσιοδότηση πρόσβασης και χρήσης και την έναρξη της διαμοίρασης πρέπει να είναι ευέλικτοι και ελαφροί, ώστε οι διακανονισμοί διαμοίρασης πόρων να εγκαθιδρύνονται και να τροποποιούνται γρήγορα και εύκολα. Επειδή οι VOs συμπληρώνουν μάλλον παρά αντικαθιστούν υπάρχοντες οργανισμούς, οι μηχανισμοί διαμοίρασης δεν μπορούν να απαιτούν ουσιαστικές αλλαγές στις τοπικές πολιτικές και πρέπει να επιτρέπουν στους επιμέρους οργανισμούς να διατηρούν τον πλήρη έλεγχο των πόρων που τους ανήκουν. Από τη στιγμή που τα πρωτόκολλα ελέγχουν την αλληλεπίδραση μεταξύ συστατικών και όχι την υλοποίηση των συστατικών, ο τοπικός έλεγχος διατηρείται.

Μία υπηρεσία προσδιορίζεται μόνο από το πρωτόκολλο το οποίο ακολουθεί και τις συμπεριφορές τις οποίες υλοποιεί. Ο ορισμός τυποποιημένων υπηρεσιών – για την πρόσβαση σε υπολογισμούς, την πρόσβαση σε δεδομένα, την ανακάλυψη πόρων, την από κοινού χρονοδρομολόγηση, την τήρηση αντιγράφων δεδομένων κλπ – επιτρέπει τον εμπλουτισμό των υπηρεσιών που παρέχονται στους συμμετέχοντες σε ένα VO και την αφαίρεση λεπτομερειών που προσδιορίζουν μεμονωμένους πόρους οι οποίες θα έθεταν εμπόδια στην ανάπτυξη εφαρμογών VO.

Βεβαίως, σε ένα VO, πέρα από τα πρωτόκολλα, τη διαλειτουργικότητα και τις υπηρεσίες, θεμελιώδης είναι και η παροχή συγκεκριμένων εφαρμογών ανά περίπτωση. Οι προγραμματιστές πρέπει να είναι σε θέση να αναπτύσσουν σύνθετες εφαρμογές σε περίπλοκα και δυναμικά περιβάλλοντα εκτέλεσης. Οι χρήστες πρέπει να είναι σε θέση να χειρίζονται αυτές τις εφαρμογές. Η ευρωστία των εφαρμογών, η ορθότητά τους, τα κόστη ανάπτυξης και συντήρησης αποτελούν βασικά ζητήματα. Εδώ υπεισέρχονται τα APIs και τα SDKs. Με τη χρήση τους μπορεί να επιταχυνθεί η ανάπτυξη κώδικα, να επιτραπεί η διαμοίραση κώδικα και να ενισχυθεί η μεταφερσιμότητα των εφαρμογών. Τα APIs και τα

SDKs αποτελούν συμπλήρωμα στα πρωτόκολλα. Χωρίς τυποποιημένα πρωτόκολλα, η διαλειτουργικότητα μπορεί να επιτευχθεί σε επίπεδο API μόνο με χρήση μίας υλοποίησης παντού – πράγμα ανέφικτο για πολλούς ενδιαφέροντες VOs – ή ρυθμίζοντας κάθε υλοποίηση έτσι ώστε να γνωρίζει τις λεπτομέρειες κάθε άλλης υλοποίησης.

1.5 Παραδείγματα συστημάτων Grid

Η ευρεία δημοτικότητα που έχουν αποκτήσει σήμερα οι τεχνολογίες Grid με όσα υπόσχονται ότι μπορούν να επιτύχουν, σε συνδυασμό με την έλλειψη ωριμότητας που ακόμη υπάρχει σε αυτό το νέο πεδίο, έχουν οδηγήσει σε μία σύγχυση σχετικά με το τι είναι Grid. Ακολουθώντας τον ορισμό που δόθηκε προηγουμένως, μπορεί να πραγματοποιηθεί μία ασφαλής διάκριση ανάμεσα σε συστήματα που είναι Grid και σε συστήματα που δεν είναι, αφού δεν ικανοποιούν όλες τις σχετικές προϋποθέσεις. Στη συνέχεια παρατίθενται αντίστοιχα παραδείγματα.

Αρχίζοντας από συστήματα που δεν εμπίπτουν στην κατηγορία των Grids σύμφωνα με τον ορισμό, πρώτα απ' όλα το Web δεν είναι Grid – τουλάχιστον όχι ακόμη. Όπως φάνηκε και από την προηγούμενη αναφορά σε αυτό, τα ανοικτά πρωτόκολλα γενικού σκοπού που αποτελούν το σύνολο πρωτοκόλλων Internet, επιτρέπουν την πρόσβαση σε κατανεμημένους πόρους, αλλά όχι τη συντονισμένη χρήση αυτών για τη χρήση υπηρεσιών ενδιαφέρουσας ποιότητας. Εξάλλου, συστήματα διαχείρισης clusters όπως το Sun Grid Engine [3], το Portable Batch System[4] κ.ά., όταν εγκατασταθούν σε έναν παράλληλο υπολογιστή ή σε τοπικό δίκτυο, παρέχουν εγγυήσεις ποιότητας υπηρεσιών. Τέτοια συστήματα όμως δεν αποτελούν από μόνα τους ένα Grid, λόγω του κεντρικού ελέγχου των hosts που διαχειρίζονται.

Από την άλλη πλευρά, χρονοδρομολογητές πολλαπλών sites όπως ο MultiCluster της Platform μπορούν να ονομαστούν Grids, όπως μπορούν και καταναμημένα συστήματα που παρέχονται από τις Condor[5], Entropia [6] και United Devices [7] τα οποία χρησιμοποιούν αδρανείς κύκλους CPU, μία καταναμημένη εγκατάσταση του Storage Resource Broker [8] η οποία υποστηρίζει καταναμημένη πρόσβαση σε πόρους δεδομένων ή συστήματα peer-to-peer (P2P), όπως αναφέρθηκε προηγουμένως.

Τα τρία κριτήρια του ορισμού των Grids ισχύουν εμφανώς σε συστήματα μεγάλης κλίμακας τα οποία έχουν υλοποιηθεί για επιστημονικούς σκοπούς. Τέτοια είναι το σύστημα καταναμημένης επεξεργασίας δεδομένων που έχει αναπτυχθεί διεθνώς από έργα “Data Grid” όπως τα (GriPhyN [9], PPDG [10], EU DataGrid [11], iVDGL [12], DataTAG [13]), το Information Power Grid της NASA [14], το σύστημα DAS-2 [15] που συνδέει συστοιχίες υπολογιστών μεταξύ πέντε πανεπιστημίων της Ολλανδίας και τα DOE Science Grid [16] και DISCOM Grid [17] που συνδέουν συστήματα στα εργαστήρια του DOE. Όλα αυτά τα συστήματα διασυνδέουν πόρους από πολλούς οργανισμούς ο καθένας από τους οποίους έχει τις δικές του πολιτικές και μηχανισμούς, χρησιμοποιούν ανοικτά πρωτόκολλα γενικού σκοπού για τη διαπραγμάτευση και τη διαχείριση της διαμοίρασης και ανταποκρίνονται σε πολλές διαστάσεις ποιότητας υπηρεσιών όπως η ασφάλεια, η αξιοπιστία και οι επιδόσεις.

1.6 Η ανάγκη για Ανοιχτή Αρχιτεκτονική

Μέχρι τώρα περιγράφηκαν τα χαρακτηριστικά που πρέπει να διακρίνουν ένα σύστημα Grid ώστε αυτό να καλύπτει τις απαιτήσεις ενός εικονικού οργανισμού. Το όραμα του Grid όμως αποσκοπεί στη δυνατότητα σύναψης δυναμικών συμφωνιών διαμοίρασης μεταξύ οποιωνδήποτε μερών. Σε αυτό το πλαίσιο, θεμελιώδες ζητούμενο είναι η διαλειτουργικότητα. Προκειμένου να επιτευχθεί η διαλειτουργικότητα και να εκπληρωθεί το

όραμα του Grid, απαιτούνται πρωτόκολλα που δε θα είναι μόνο ανοικτά και γενικού σκοπού, αλλά θα είναι και πρότυπα.

Η καθιέρωση του Internet και η εξάπλωσή του στην έκταση που καταλαμβάνει σήμερα, οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στην ύπαρξη πρότυπων πρωτοκόλλων που επιτρέπουν τη διασύνδεση διαφορετικών δικτύων υπολογιστών και την ανταλλαγή πληροφορίας μεταξύ τους. Ένα αντίστοιχο σύνολο πρότυπων πρωτοκόλλων και τεχνολογιών θα καθιστούσε δυνατή τη δημιουργία ενός πιο ολοκληρωμένου συνόλου υποδομών και όχι ενός πλήθους ασύμβατων και απομονωμένων κατανεμημένων συστημάτων.

Η αναγκαιότητα για την εισαγωγή πρότυπων πρωτοκόλλων είναι κατά πολλούς το κρισιμότερο ζήτημα που αντιμετωπίζει σήμερα η κοινότητα του Grid. Γι' αυτό το λόγο είναι πολύ ενθαρρυντικό το γεγονός ότι πραγματοποιείται σημαντική πρόοδος στο πεδίο αυτό. Αναφορικά με την προτυποποίηση, υπάρχει το Global Grid Forum (GGF) [18] που πρόσφατα συνενώθηκε με τον επιχειρηματικό αντίποδα Enterprise Grid Alliance (EGA) [19] διαμορφώνοντας το καινούριο Open Grid Forum (OGF) [20] και το οποίο είναι ο κύριος φορέας συνεννόησης των ερευνητών που ασχολούνται με τις σχετικές τεχνολογίες. Βρίσκεται σε εξέλιξη η προσπάθεια ορισμού της OGSA (Open Grid Services Architecture, Ανοικτή Αρχιτεκτονική Υπηρεσιών Πλέγματος) η οποία εκσυγχρονίζει και επεκτείνει τα πρωτόκολλα, έτσι ώστε να ανταποκριθεί σε νέες απαιτήσεις που προκύπτουν, ενσωματώνοντας την τεχνολογία των Web Services.

1.7 Διάρθρωση της Διατριβής

Στη διατριβή αυτή παρουσιάζεται ένας αποδοτικός μηχανισμός για διαχείριση πόρων και ποιότητας υπηρεσιών σε κινητά πλέγματα ανοιχτής αρχιτεκτονικής. Στη συγκεκριμένη περίπτωση η πρόκληση ήταν να σχεδιαστεί ο μηχανισμός για τις ανάγκες ενός κινητού

πλέγματος που θα υπακούει στις απαιτήσεις τόσο τις OGSA όσο και σε ζητήματα που αφορούν κινητά πλέγματα με πόρους χωρίς υψηλό δείκτη αξιοπιστίας, που ωστόσο χρειάζεται να απευθύνονται στον τελικό πελάτη μέσω ενός πλαισίου παροχής ποιότητας υπηρεσιών.

Η διάρθρωση του περιεχομένου αυτής της διατριβής έχει ως εξής:

Στο Κεφάλαιο 1 γίνεται μια εισαγωγή στις έννοιες και τις βασικές αρχές του πλέγματος (Grid) και των εικονικών οργανισμών που καλούνται τα πρώτα να υλοποιήσουν, και αιτιολογείται η βασική ανάγκη για αρχιτεκτονικές ανοιχτές, που θα επιτρέπουν την ετερογένεια και την κλιμάκωση τέτοιων κατανεμημένων συστημάτων.

Στο Κεφάλαιο 2 δίνεται μια αναλυτική περιγραφή των σύγχρονων προσεγγίσεων σε ότι αφορά τις απαιτήσεις και τις δυνατότητες της Ανοιχτής Αρχιτεκτονικής Υπηρεσιών Πλέγματος, που συστήνεται από το Παγκόσμιο Φόρουμ Πλέγματος και τείνει να γίνει το de facto πρότυπο για τις σύγχρονες υπηρεσίες πλέγματος.

Στο Κεφάλαιο 3 περιγράφεται το Πλαίσιο Πόρων Υπηρεσιών Ιστού WSRF, το οποίο ουσιαστικά αποτελεί το πλέον σύγχρονο εργαλείο υλοποίησης των υπηρεσιών της OGSA και παρατίθενται σύντομες περιγραφές των πιο διαδεδομένων υλοποιήσεων αυτού.

Στο Κεφάλαιο 4 δίνεται ο ορισμός, τα χαρακτηριστικά, οι απαιτήσεις αλλά και τα προσδοκώμενα αποτελέσματα του Κινητού Πλέγματος και συζητούνται θέματα που αφορούν στις αλλαγές που αυτό θα επιφέρει στο χώρο των Grids γενικότερα.

Στο Κεφάλαιο 5 παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική Akogrimo για κινητά πλέγματα που βασίζεται στη σύσταση της OGSA. Περιγράφεται η διαστρωματωμένη αρχιτεκτονική καθώς και η θέση του πλέγματος και των υπηρεσιών του μέσα στον ευρύτερο σχεδιασμό του Akogrimo. Γίνεται αναφορά στο πως χτίζονται «πλεγματοποιημένες» εφαρμογές σε ένα τέτοιο περιβάλλον και δίνεται έμφαση στην περιγραφή των υπηρεσιών διαχείρισης της

εκτέλεσης εργασιών δεδομένου ότι εκεί είναι που ενσωματώνεται ο προτεινόμενος μηχανισμός διαχείρισης πόρων και ποιότητας υπηρεσιών.

Στο Κεφάλαιο 6 περιγράφεται το μοντέλο και ο μηχανισμός διαχείρισης πόρων ιδιαίτερα σε ότι αφορά την αξιοπιστία αυτών και δίνεται η ανάλυση της ανοχής σφαλμάτων. Προτείνεται το σχήμα της δημιουργίας αντιγράφων εργασιών και μελετώνται οι αλγόριθμοι διαχείρισης που βελτιστοποιούν τη λύση με επίτευξη μέγιστης αξιοπιστίας και κέρδους κατά τη λειτουργία των πόρων ενός κινητού πλέγματος.

Στο Κεφάλαιο 7 δίνεται ακόμα μεγαλύτερη έμφαση στο θέμα της παροχής ποιότητας υπηρεσιών προς τελικούς χρήστες με το να επαυξάνεται το προηγούμενο σχήμα με χρονοδρομολόγηση εργασιών βάσει κανόνων προτεραιοτήτων.

Τέλος, στο Κεφάλαιο 8 παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της διατριβής, η συνεισφορά και η καινοτομία που επιδεικνύει στον αντίστοιχο ερευνητικό χώρο, και συζητούνται θέματα μελλοντικής εργασίας και επέκτασης των ερευνητικών αποτελεσμάτων σε ότι αφορά τους βασικούς άξονες και τα σημεία κλειδιά στον χώρο της διαχείρισης πόρων και ποιότητας υπηρεσιών σε κινητά πλέγματα.

2 ΑΝΟΙΧΤΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ

2.1 Γενικά

Η Ανοικτή Αρχιτεκτονική Υπηρεσιών Πλέγματος (Open Grid Services Architecture, OGSA) είναι μία αρχιτεκτονική προσανατολισμένη σε υπηρεσίες η οποία προσεγγίζει το ζητούμενο της προτυποποίησης στις τεχνολογίες Πλέγματος, ορίζοντας ένα σύνολο βασικών δυνατοτήτων και συμπεριφορών που αναφέρονται σε θεμελιώδη ζητήματα συστημάτων Grid. Στις προδιαγραφές OGSA version 1.5 [21] παρουσιάζονται οι απαιτήσεις τις οποίες η OGSA αποσκοπεί να καλύψει και οι δυνατότητες που αθροιστικά προσδιορίζουν την OGSA. Η ανάλυση των απαιτήσεων βασίζεται σε τεχνικές προκλήσεις, σενάρια χρήσης, προηγούμενη εμπειρία και στην έρευνα και τεχνολογία αιχμής στα σχετικά πεδία. Η περιγραφή των απαιτήσεων πραγματοποιείται αφαιρετικά και δεν περιορίζεται από υποθέσεις για την υπάρχουσα υποδομή. Οι δυνατότητες αποτελούν ένα σύνολο το οποίο καλύπτει τις διατυπωθείσες απαιτήσεις. Κατά την παρουσίαση των δυνατοτήτων, αρχικά περιγράφονται υπηρεσίες υποδομής και υποθέσεις οι οποίες δεσμεύουν την κατεύθυνση του σχεδιασμού OGSA προς την αρχιτεκτονική των Υπηρεσιών Διαδικτύου, επεξηγώντας τον τρόπο με τον οποίο η OGSA βασίζεται, αλλά και συμβάλλει στην ανάπτυξη της αρχιτεκτονικής αυτής. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα πεδία δυνατοτήτων τα οποία ικανοποιούν την απαιτούμενη λειτουργικότητα και προσδιορίζονται από τις εξής υπηρεσίες: Διαχείρισης Εκτέλεσης, Δεδομένων, Διαχείρισης Πόρων, Ασφάλειας, Αυτοδιαχείρισης και Πληροφοριών.

2.2 Απαιτήσεις

Ο ορισμός της OGSA βασίστηκε στην ανάλυση περιπτώσεων χρήσης οι οποίες καλύπτουν σενάρια υποδομών και εφαρμογών για επιστημονικά και εμπορικά ζητήματα. Η ανάλυση αυτή οδήγησε στην εξαγωγή λειτουργικών και μη λειτουργικών απαιτήσεων οι οποίες είναι σημαντικές και σχετικές με το ευρύτερο πλαίσιο των τεχνολογιών Grid. Οι απαιτήσεις αυτές παρουσιάζονται στη συνέχεια.

2.2.1 Διαλειτουργικότητα και υποστήριξη δυναμικών και ετερογενών περιβαλλόντων

Αν και συγκεκριμένες περιπτώσεις χρήσεων μπορεί να περιλαμβάνουν περιορισμένα και ομογενή περιβάλλοντα, είναι εμφανές ότι στη γενική περίπτωση, τα συστήματα Grid είναι ετερογενή και κατανεμημένα, συμπεριλαμβάνοντας μία ποικιλία περιβαλλόντων φιλοξενίας (π.χ. J2EE, .NET) λειτουργικών συστημάτων (π.χ. Unix, Linux, Windows, ενσωματωμένα συστήματα), συσκευών (π.χ. υπολογιστές, όργανα, αισθητήρες, συστήματα αποθήκευσης, βάσεις δεδομένων, δίκτυα) και υπηρεσιών, παρεχομένων από εταιρείες. Επιπλέον, τα συστήματα Grid συχνά αναπτύσσονται με σκοπό τη μακρόχρονη λειτουργία τους και τη δυναμική αναδιαμόρφωσή τους, με αποτέλεσμα τη δυνητική εξέλιξή τους με τρόπους που δεν είναι δυνατό να προβλεφθούν εκ των προτέρων.

Η OGSA πρέπει να καθιστά δυνατή τη διαλειτουργικότητα μεταξύ τέτοιων ποικίλων, ετερογενών και κατανεμημένων πόρων και υπηρεσιών, καθώς και να μειώνει την πολυπλοκότητα της διαχείρισης ετερογενών συστημάτων. Επιπλέον, πολλές λειτουργίες που απαιτούνται σε κατανεμημένα περιβάλλοντα, όπως η ασφάλεια και η διαχείριση πόρων, μπορεί να είναι ήδη υλοποιημένες από ευσταθή και αξιόπιστα συστήματα παλαιότερης

τεχνολογίας. Η δυνατότητα αντικατάστασης τέτοιων συστημάτων θα είναι σπάνια. Αντιθέτως, τέτοια συστήματα πρέπει να διασυνδέονται στο Grid.

Η ανάγκη υποστήριξης ετερογενών συστημάτων οδηγεί στις εξής απαιτήσεις:

- Αφαιρετική απεικόνιση πόρων. Ουσιώδες χαρακτηριστικό για τη μείωση της πολυπλοκότητας διαχείρισης ετερογενών συστημάτων και για το χειρισμό πόρων ποικίλων χαρακτηριστικών με κοινό τρόπο.
- Γενικές δυνατότητες διαχείρισης. Η απλούστευση της διαχείρισης ετερογενών συστημάτων απαιτεί μηχανισμούς για την ενιαία και συνεπή διαχείριση των πόρων. Ένα ελάχιστο σύνολο γενικών δυνατοτήτων διαχείρισης είναι απαραίτητο.
- Ανακάλυψη και εξέταση πόρων. Μηχανισμοί απαιτούνται για την ανακάλυψη πόρων με επιθυμητά χαρακτηριστικά και την ανάκτηση των ιδιοτήτων τους. Τέτοιοι μηχανισμοί θα πρέπει να χειρίζονται ένα έντονα δυναμικό και ετερογενές σύστημα.
- Πρότυπα πρωτόκολλα και σχήματα. Η ύπαρξή τους είναι σημαντική για τη διαλειτουργικότητα. Επιπλέον, τα τυποποιημένα πρωτόκολλα είναι ιδιαίτερα σημαντικά γιατί η χρήση τους μπορεί να απλοποιήσει τη μετάβαση στη λειτουργία και χρησιμοποίηση των Grids.

2.2.2 Διαμοίραση πόρων μεταξύ οργανισμών

Το Grid δεν είναι ένα μονολιθικό σύστημα, αλλά συχνά θα αποτελείται από πόρους που ανήκουν και ελέγχονται από διάφορους οργανισμούς. Ένας βασικός σκοπός της OGSA είναι η υποστήριξη της διαμοίρασης και της χρήσης πόρων ανάμεσα σε διαχειριστικές περιοχές, είτε πρόκειται για διαφορετικές μονάδες εργασίας σε μία επιχείρηση ή για διαφορετικούς οργανισμούς. Απαιτούνται μηχανισμοί για την παροχή ενός πλαισίου που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη συσχέτιση χρηστών, αιτημάτων, πόρων, πολιτικών και συμφωνιών

πέρα από οργανωσιακά όρια. Η διαμοίραση πόρων μεταξύ οργανισμών συνεπάγεται επίσης διάφορες απαιτήσεις ασφαλείας, θέμα το οποίο προσεγγίζεται αργότερα.

Στις απαιτήσεις διαμοίρασης πόρων περιλαμβάνονται οι εξής:

- Γενικό πεδίο ονομάτων. Για τη διευκόλυνση της πρόσβασης σε δεδομένα και πόρους. Οι οντότητες OGSA θα πρέπει να είναι σε θέση να προσπελαύνουν άλλες οντότητες OGSA με διαφανή τρόπο, υποκείμενες σε περιορισμούς ασφαλείας, άσχετα με τη θέση ή την τήρηση αντιγράφων.
- Υπηρεσίες μεταδεδομένων. Σημαντικό χαρακτηριστικό για την εύρεση, χρησιμοποίηση και παρακολούθηση οντοτήτων. Πρέπει να υπάρχει η δυνατότητα για πρόσβαση σε μεταδεδομένα οντοτήτων, καθώς και διάδοση, συνάθροιση και διαχείρισή τους μεταξύ διαχειριστικών περιοχών.
- Αυτονομία θέσεων. Μηχανισμοί απαιτούνται για την προσπέλαση πόρων μεταξύ θέσεων, με ταυτόχρονο σεβασμό του τοπικού ελέγχου και των τοπικών πολιτικών.
- Δεδομένα χρήσης πόρων. Απαιτούνται μηχανισμοί και τυποποιημένα σχήματα για τη συλλογή και την ανταλλαγή δεδομένων χρήσης πόρων μεταξύ οργανισμών, για σκοπούς χρέωσης κλπ.

2.2.3 Βελτιστοποίηση

Η βελτιστοποίηση αναφέρεται σε τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την αποδοτική κατανομή πόρων ώστε να υπάρχει ανταπόκριση σε απαιτήσεις καταναλωτών και παρόχων. Η βελτιστοποίηση εφαρμόζεται τόσο στην πλευρά των παρόχων, όσο και στην πλευρά των καταναλωτών πόρων και υπηρεσιών. Μία συνήθης περίπτωση βελτιστοποίησης στην πλευρά του παρόχου είναι η βελτιστοποίηση πόρων. Για παράδειγμα, η κατανομή πόρων συχνά λειτουργεί σύμφωνα με προβλέψεις σεναρίων χειρότερης περίπτωσης (π.χ. μέγιστος

αναμενόμενος φόρτος, κράτηση εφεδρειών για περιπτώσεις αποτυχίας) και οδηγεί στην υποχρησιμοποίηση πόρων. Η χρησιμοποίηση πόρων μπορεί να βελτιωθεί με ευέλικτες πολιτικές κατανομής όπως η προκαταβολική κράτηση πόρων (advance reservation) με μία περιορισμένη χρονική περίοδο και η συγκέντρωση εφεδρικών πόρων.

Η βελτιστοποίηση στην πλευρά των καταναλωτών πρέπει να είναι σε θέση να διαχειρίζεται διάφορους τύπους φόρτου εργασίας, περιλαμβανόμενης της ζήτησης για συναθροιζόμενους φόρτους εργασίας οι οποία μπορεί να είναι δύσκολο να προβλεφθεί. Μία σημαντική απαίτηση στο πεδίο είναι η ικανότητα δυναμικής ρύθμισης των προτεραιοτήτων φόρτου εργασίας ώστε να επιτυγχάνονται οι στόχοι γενικού επιπέδου υπηρεσιών. Μηχανισμοί για την παρακολούθηση της χρήσης πόρων, συμπεριλαμβανομένων της μέτρησης, παρακολούθησης και καταγραφής, για την αλλαγή της κατανομής πόρων, και για την παροχή πόρων κατ' απαίτηση, είναι η απαιτούμενη βάση της βελτιστοποίησης στην πλευρά του καταναλωτή.

2.2.4 Διασφάλιση ποιότητας υπηρεσιών (QoS)

Υπηρεσίες όπως η εκτέλεση εργασιών και υπηρεσίες δεδομένων πρέπει να παρέχουν τη συμφωνημένη ποιότητα υπηρεσιών. Οι κύριες διαστάσεις της ποιότητας υπηρεσιών περιλαμβάνουν τη διαθεσιμότητα, την ασφάλεια και την επίδοση. Η αναμενόμενη QoS θα πρέπει να εκφράζεται με μετρήσιμους όρους. Οι απαιτήσεις διασφάλισης ποιότητας περιλαμβάνουν τις εξής:

- Συμφωνίες επιπέδου υπηρεσιών (Service Level Agreements, SLA). Η QoS θα πρέπει να αναπαρίσταται από συμφωνίες που πραγματοποιούνται μετά από διαπραγμάτευση μεταξύ του αιτούντος για μία υπηρεσία και του παρόχου, πριν από την εκτέλεση της υπηρεσίας.

Τυποποιημένοι μηχανισμοί θα πρέπει να παρέχονται για τη δημιουργία και τη διαχείριση τέτοιων συμφωνιών.

- **Επίτευξη επιπέδου υπηρεσίας.** Αν η συμφωνία απαιτεί την επίτευξη ενός επιπέδου υπηρεσίας, οι πόροι που χρησιμοποιούνται από την υπηρεσία πρέπει να ρυθμίζονται έτσι ώστε η απαιτούμενη QoS να διατηρείται. Συνεπώς, απαιτούνται μηχανισμοί για την παρακολούθηση της ποιότητας υπηρεσιών, την εκτίμηση της χρησιμοποίησης των πόρων και το σχεδιασμό και τη ρύθμιση της χρήσης τους.
- **Μετανάστευση.** Θα πρέπει να είναι δυνατή η «μετανάστευση» (migration) εκτελούμενων υπηρεσιών ή εφαρμογών έτσι ώστε να εξισορροπείται ο φόρτος εργασίας, προκειμένου να επιτυγχάνονται τα επιθυμητά επίπεδα επίδοσης ή διαθεσιμότητας.

2.2.5 Εκτέλεση εργασιών

Η OGSA πρέπει να παρέχει δυνατότητες διαχείρισης για την εκτέλεση εργασιών που καθορίζονται από χρήστες (jobs), καθ' όλη τη διάρκεια ζωής τους. Λειτουργίες όπως η χρονοδρομολόγηση, η παροχή πόρων, ο έλεγχος εργασιών και ο χειρισμός εξαιρέσεων εργασιών πρέπει να υποστηρίζονται, ακόμη και όταν η εργασία κατανέμεται σε ένα μεγάλο αριθμό ετερογενών πόρων. Στις απαιτήσεις εκτέλεσης εργασιών περιλαμβάνονται οι εξής:

- **Υποστήριξη διαφόρων τύπων εργασιών.** Πρέπει να υποστηρίζεται η εκτέλεση διαφόρων τύπων εργασιών, περιλαμβανομένων απλών εργασιών και πολύπλοκων εργασιών, όπως ροές εργασίας και σύνθετες υπηρεσίες.
- **Διαχείριση εργασιών.** Είναι ουσιώδες να υπάρχει η δυνατότητα διαχείρισης εργασιών καθ' όλη τη διάρκεια ζωής τους. Οι εργασίες πρέπει να υποστηρίζουν διασυνδέσεις λειτουργιών διαχείρισης και αυτές οι διασυνδέσεις πρέπει να εργάζονται με διάφορους τύπους ομαδοποιήσεων εργασιών (π.χ. ροές εργασίας, διατάξεις εργασιών). Επίσης

απαιτούνται μηχανισμοί για τον έλεγχο της εκτέλεσης μεμονωμένων βημάτων εργασιών, καθώς και υπηρεσίες «ενορχήστρωσης» ή «χορογραφίας».

- Χρονοδρομολόγηση. Η ικανότητα χρονοδρομολόγησης εργασιών και εκτέλεσής τους σύμφωνα με πληροφορίες όπως η καθορισμένη προτεραιότητα και η τρέχουσα κατανομή πόρων είναι απαιτούμενη. Απαιτείται επίσης η υλοποίηση μηχανισμών για τη χρονοδρομολόγηση μεταξύ διαχειριστικών περιοχών, χρησιμοποιώντας πολλαπλούς χρονοδρομολογητές.
- Παροχή πόρων. Πρόκειται για λειτουργία που αυτοματοποιεί την περίπλοκη διαδικασία της κατανομής πόρων, της ανάπτυξης εφαρμογών και της ρύθμισης. Πρέπει να είναι δυνατή η ανάπτυξη των ζητούμενων εφαρμογών και δεδομένων σε πόρους και η αυτόματη ρύθμισή τους, αναπτύσσοντας και επαναρυθμίζοντας τα περιβάλλοντα φιλοξενίας (π.χ. λειτουργικό σύστημα ή middleware) αν είναι απαραίτητο, προκειμένου να προετοιμαστεί το περιβάλλον που είναι απαραίτητο για την εκτέλεση. Η παροχή πρέπει να είναι δυνατή για κάθε τύπο πόρου, όπως για δικτυακούς πόρους ή δεδομένα και όχι μόνο για υπολογιστικούς πόρους.

2.2.6 Υπηρεσίες Δεδομένων

Υπάρχει η απαίτηση σε ολοένα και περισσότερα πεδία της επιστήμης και της τεχνολογίας για αποδοτική προσπέλαση και μεταφορά τεράστιων όγκων δεδομένων. Επιπλέον, η διαμοίραση δεδομένων είναι σημαντική, π.χ. για την πραγματοποίηση πρόσβασης σε πληροφορία που είναι αποθηκευμένη σε βάσεις δεδομένων διαχειριζόμενων ανεξάρτητα μεταξύ τους. Σε πεδία επιχειρήσεων, η αρχειοθέτηση και η διαχείριση δεδομένων είναι ουσιώδεις ανάγκες. Στις απαιτήσεις υπηρεσιών δεδομένων περιλαμβάνονται οι εξής:

- Πρόσβαση σε δεδομένα. Απαιτείται εύκολη και αποτελεσματική πρόσβαση σε διάφορους τύπους δεδομένων (όπως βάσεις δεδομένων, αρχεία και ροές δεδομένων), ανεξάρτητα από τη φυσική θέση ή την πλατφόρμα τους. Επίσης απαιτούνται μηχανισμοί για τον έλεγχο των δικαιωμάτων πρόσβασης σε διάφορα επίπεδα λεπτομέρειας.
- Συνέπεια δεδομένων. Η OGSA πρέπει να διασφαλίζει ότι η συνέπεια των δεδομένων θα διατηρείται όταν δεδομένα σε λανθάνουσα μνήμη ή σε αντίγραφα υφίστανται τροποποιήσεις.
- Συνέχεια δεδομένων. Τα δεδομένα και η σχέση τους με τα μεταδεδομένα τους θα πρέπει να διατηρούνται για όλη τη διάρκεια ζωής τους. Θα πρέπει να είναι δυνατό να χρησιμοποιούνται πολλαπλά μοντέλα συνέχειας.
- Ολοκλήρωση δεδομένων. Η OGSA πρέπει να παρέχει μηχανισμούς για την ολοκλήρωση ετερογενών και κατανεμημένων δεδομένων. Επίσης απαιτείται η δυνατότητα αναζήτησης δεδομένων τα οποία είναι διαθέσιμα σε διάφορες μορφοποιήσεις, με ενιαίο τρόπο.
- Διαχείριση θέσης δεδομένων. Τα ζητούμενα δεδομένα πρέπει να διατίθενται στη ζητούμενη θέση. Η OGSA πρέπει να επιτρέπει επιλογή με διάφορους τρόπους, όπως μεταφορά, αντιγραφή και αποθήκευση σε λανθάνουσα μνήμη, σύμφωνα με τη φύση των δεδομένων.

2.2.7 Ασφάλεια

Η ασφαλής διαχείριση απαιτεί έλεγχο της πρόσβασης σε υπηρεσίες μέσω εύρωστων πρωτοκόλλων ασφαλείας και σύμφωνα με την παρεχόμενη πολιτική ασφαλείας. Για παράδειγμα, η απόκτηση εφαρμογών και η ανάπτυξή τους σε ένα σύστημα Grid μπορεί να απαιτεί ταυτοποίηση και εξουσιοδότηση. Επίσης, η διαμοίραση πόρων από χρήστες απαιτεί

μηχανισμούς απομόνωσης. Εξάλλου, απαιτούνται πρότυποι, ασφαλείς μηχανισμοί οι οποίοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την προστασία συστημάτων Grid, ενώ ταυτόχρονα θα υποστηρίζουν ασφαλή διαμοίραση πόρων μεταξύ διαχειριστικών περιοχών. Στις απαιτήσεις ασφαλείας περιλαμβάνονται οι εξής:

- Ταυτοποίηση και εξουσιοδότηση. Μηχανισμοί ταυτοποίησης απαιτούνται για την επιβεβαίωση της ταυτότητας χρηστών και υπηρεσιών. Οι πάροχοι υπηρεσιών πρέπει να υλοποιούν μηχανισμούς εξουσιοδότησης για να επιβάλουν πολιτικές χρήσης των υπηρεσιών. Το σύστημα Grid θα πρέπει να ακολουθεί τις πολιτικές ασφαλείας κάθε περιοχής, ενώ επίσης μπορεί να χρειάζεται να εξακριβώνει τις πολιτικές ασφαλείας των χρηστών. Η εξουσιοδότηση θα πρέπει να διευθετεί διάφορα μοντέλα και υλοποιήσεις ελέγχου πρόσβασης.
- Πολλαπλές υποδομές ασφαλείας. Οι κατανεμημένες λειτουργίες συνεπάγονται την ανάγκη ενσωμάτωσης και διαλειτουργικότητας με πολλαπλές υποδομές ασφαλείας. Η OGSA χρειάζεται να ολοκληρωθεί και να λειτουργεί με υπάρχουσες αρχιτεκτονικές και μοντέλα ασφαλείας.
- Λύσεις περιμετρικής ασφαλείας. Πόροι μπορεί να χρειάζεται να προσπελαύνονται υπερβαίνοντας όρια οργανισμών. Η OGSA απαιτεί πρότυπους και ασφαλείς μηχανισμούς που μπορούν να αναπτυχθούν για την προστασία οργανισμών, ενώ θα επιτρέπουν επίσης την αλληλεπίδραση μεταξύ διαφορετικών περιοχών χωρίς να υπονομεύουν τοπικούς μηχανισμούς ασφαλείας όπως firewalls και πολιτικές ανίχνευσης εισβολής.
- Απομόνωση. Διάφορα είδη απομόνωσης πρέπει να διασφαλίζονται, όπως απομόνωση χρηστών, απομόνωση επίδοσης και απομόνωση μεταξύ προσφορών περιεχομένου εντός του ίδιου συστήματος Grid.

- **Μεταβίβαση.** Απαιτούνται μηχανισμοί που επιτρέπουν τη μεταβίβαση δικαιωμάτων πρόσβασης από αιτούντες υπηρεσίες σε παρόχους υπηρεσιών. Ο κίνδυνος κακής χρήσης των μεταβιβασμένων δικαιωμάτων πρέπει να ελαχιστοποιείται, περιορίζοντας π.χ. τα δικαιώματα που μεταφέρονται μέσω μεταβίβασης στην προτεινόμενη εργασία με τον περιορισμό των χρόνων ζωής τους.
- **Ανταλλαγή πολιτικών ασφάλειας.** Οι πάροχοι υπηρεσιών και οι αιτούντες υπηρεσίες θα πρέπει να είναι σε θέση να ανταλλάσσουν δυναμικά πληροφορίες πολιτικών ασφάλειας για να εγκαθιδρύσουν μεταξύ τους ένα πλαίσιο ασφάλειας μέσα από διαπραγμάτευση.
- **Ανίχνευση εισβολής, προστασία και ασφαλής σύνδεση.** Απαιτούνται ισχυρές δυνατότητες παρακολούθησης για την πραγματοποίηση ανίχνευσης εισβολής και τον προσδιορισμό κακής χρήσης, σκόπιμα επιβλαβούς ή μη, περιλαμβανομένων επιθέσεων ιών ή σκουληκιών. Επίσης θα πρέπει να είναι δυνατή η προστασία κρίσιμων περιοχών ή λειτουργιών, αποδιώχνοντας επιθέσεις που κατευθύνονται προς αυτές.

2.2.8 Μείωση διαχειριστικού κόστους

Η πολυπλοκότητα της διαχείρισης κατανεμημένων, ετερογενών συστημάτων μεγάλης κλίμακας αυξάνει τα διαχειριστικά κόστη και τον κίνδυνο ανθρώπινων σφαλμάτων. Γι' αυτό το λόγο, χρειάζεται η υποστήριξη εργασιών διαχείρισης, με τον αυτοματισμό των διοικητικών λειτουργιών και τη συνεπή διαχείριση των πόρων.

Η διαχείριση με βάση πολιτικές απαιτείται για τον αυτοματισμό του ελέγχου συστημάτων Grid, έτσι ώστε οι λειτουργίες του να συμβαδίζουν με τους στόχους του οργανισμού που διευθύνει και χρησιμοποιεί το σύστημα Grid. Πολιτικές μπορούν να υπάρχουν σε κάθε επίπεδο του συστήματος, από τις πολιτικές χαμηλού επιπέδου που καθορίζουν τους τρόπους παρακολούθησης και διαχείρισης των πόρων έως τις πολιτικές υψηλού επιπέδου που

καθορίζουν τη διαχείριση επιχειρηματικών διεργασιών, όπως η χρέωση. Στις πολιτικές μπορούν να περιλαμβάνονται η διαθεσιμότητα, η επίδοση, η ασφάλεια, η χρονοδρομολόγηση και η μεσιτεία.

Μηχανισμοί διαχείρισης περιεχομένων εφαρμογών μπορούν να διευκολύνουν την ανάπτυξη, τη διαμόρφωση και τη συντήρηση περίπλοκων συστημάτων, επιτρέποντας σε όλη την πληροφορία που σχετίζεται με εφαρμογές να καθορίζεται και να υφίσταται διαχείριση ως μία ανεξάρτητη λογική μονάδα. Αυτή η προσέγγιση επιτρέπει στους διαχειριστές να συντηρούν τις εφαρμογές με ένα συνεπή και αξιόπιστο τρόπο, ακόμη και χωρίς ειδική γνώση γι' αυτές.

Μηχανισμοί προσδιορισμού προβλημάτων χρειάζονται προκειμένου οι διαχειριστές να μπορούν να αναγνωρίζουν και να αντιμετωπίζουν γρήγορα ανακύπτοντα προβλήματα.

2.2.9 Δυνατότητα κλιμάκωσης

Ένα σύστημα Grid μεγάλης κλίμακας μπορεί να δημιουργεί προστιθέμενη αξία, όπως είναι η δραστική μείωση του χρόνου απόκρισης εργασιών, η ικανότητα χρησιμοποίησης πολύ μεγάλου αριθμού πόρων και κατά συνέπεια η δυνατότητα αξιοποίησης νέων υπηρεσιών. Ωστόσο, η μεγάλη κλίμακα του συστήματος μπορεί να προκαλέσει προβλήματα, καθώς θέτει καινοφανείς απαιτήσεις στη διαχειριστική υποδομή.

Η αρχιτεκτονική διαχείρισης πρέπει να λάβει υπ' όψη πιθανώς χιλιάδες πόρους πολύ διαφορετικής φύσης. Η διαχείριση πρέπει να γίνεται με ιεραρχικό ή peer-to-peer (ισότιμο/συνεργατικό) τρόπο.

Μηχανισμοί υπολογισμού υψηλού ρυθμού παραγωγής αποτελέσματος (high throughput) απαιτούνται για τη ρύθμιση και τη βελτιστοποίηση της παράλληλης εκτέλεσης εργασιών, προκειμένου να βελτιωθεί η επίδοση της συνολικής υπολογιστικής διαδικασίας, καθώς και για τη βελτιστοποίηση ανεξάρτητων υπολογισμών.

2.2.10 Διαθεσιμότητα

Η υψηλή διαθεσιμότητα συχνά πραγματοποιείται με ακριβό υλικό ή πολύπλοκα συστήματα συστοιχιών τα οποία επιδεικνύουν ανοχή σε σφάλματα. Εξαιτίας της ευρείας χρήσης συστημάτων IT για την παροχή ουσιωδών υπηρεσιών δημόσιας υποδομής, ένας αυξανόμενος αριθμός συστημάτων απαιτείται να λειτουργεί σε υψηλό επίπεδο διαθεσιμότητας. Αφού οι τεχνολογίες Grid επιτρέπουν τη διαφανή πρόσβαση σε ένα ευρύτερο σύνολο πόρων, τόσο μεταξύ οργανισμών όσο και εντός οργανισμών, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δομικό συστατικό για την υλοποίηση ευσταθών περιβαλλόντων εκτέλεσης με υψηλό βαθμό διαθεσιμότητας. Λόγω όμως της ετερογένειας του Grid, πρέπει να χρησιμοποιηθούν συστατικά εξαρτήματα με μεγαλύτερα ή λιγότερο προβλέψιμα χαρακτηριστικά MTTR (Mean Time To Repair) σε σχέση με αυτά που χρησιμοποιούνται σε υπάρχοντα συστήματα υψηλής αξιοπιστίας, τα οποία παρουσιάζουν δύσκολα προβλήματα.

Σε ένα τέτοιο περίπλοκο περιβάλλον, ο αυτόνομος έλεγχος με βάση πολιτικές (δες Μείωση διαχειριστικού κόστους) και η δυναμική παροχή (δες Εκτέλεση εργασιών) είναι κλειδιά για την υλοποίηση συστημάτων υψηλής ευελιξίας και ανακτησιμότητας.

Μηχανισμοί ανάκαμψης από καταστροφές χρειάζονται έτσι ώστε η λειτουργία ενός συστήματος Grid να μπορεί να ανακτηθεί εύκολα και αποτελεσματικά στην περίπτωση καταστροφών από φυσικά ή ανθρώπινα αίτια, αποφεύγοντας τη μακροχρόνια υποβάθμιση των παρεχόμενων υπηρεσιών. Γι' αυτούς τους σκοπούς απαιτείται η δυνατότητα απομακρυσμένης κράτησης εφεδρικών αντιγράφων και η απλοποίηση ή ο αυτοματισμός των διαδικασιών ανάκαμψης.

Μηχανισμοί διαχείρισης σφαλμάτων μπορούν να απαιτηθούν, ώστε εκτελούμενες εργασίες να μη χάνονται εξαιτίας σφαλμάτων των πόρων. Μηχανισμοί απαιτούνται για την παρακολούθηση, την ανίχνευση σφαλμάτων, και τη διάγνωση των αιτιών ή των επιδράσεων

στις εκτελούμενες εργασίες. Επιπλέον, η αυτοματοποίηση της διαχείρισης σφαλμάτων, με χρήση τεχνικών όπως η ανάκαμψη από σημεία ελέγχου, είναι επιθυμητή.

2.2.11 Ευχρηστία και επεκτασιμότητα

Ο χρήστης θα πρέπει να είναι σε θέση να χρησιμοποιεί την OGSA για την κάλυψη της πολυπλοκότητας του περιβάλλοντος, αν αυτό απαιτείται. Στο βαθμό που είναι δυνατό, εργαλεία που δρουν σε συνεργασία με υπηρεσίες χρόνου εκτέλεσης, πρέπει να διαχειρίζονται το περιβάλλον του χρήστη και να παρέχουν χρήσιμες αφαιρέσεις στο επιθυμητό επίπεδο. Γεγονός που μετριάζει το βαθμό στον οποίο είναι επιθυμητό να πραγματοποιείται ο στόχος της ευχρηστίας, είναι η γνώση ότι υπάρχουν “power users” με απαιτητικές εφαρμογές οι οποίοι απαιτούν τη δυνατότητα λήψης αποφάσεων σε χαμηλό επίπεδο και διασύνδεσης με χαμηλού επιπέδου μηχανισμούς συστήματος. Κατά συνέπεια θα πρέπει να είναι δυνατή η επιλογή από τους τελικούς χρήστες του επιπέδου στο οποίο επιθυμούν να αλληλεπιδρούν με το σύστημα.

Η πρόβλεψη των πολλών και ποικίλων αναγκών που θα έχουν οι χρήστες δεν είναι δυνατή. Συνεπώς, πρέπει να υλοποιηθούν μηχανισμοί και πολιτικές, μέσω επεκτάσιμων και αντικαταστάσιμων συστατικών στοιχείων, για τη διευκόλυνση της OGSA να εξελίσσεται με την πάροδο του χρόνου και να επιτρέπει στους χρήστες να κατασκευάζουν τους δικούς τους μηχανισμούς και πολιτικές, ώστε να ικανοποιούν τις ανάγκες που έχουν ανά περίπτωση. Επιπλέον, τα βασικά συστατικά του συστήματος πρέπει να είναι επεκτάσιμα και αντικαταστάσιμα. Τέτοια επεκτασιμότητα θα επιτρέπει σε υλοποιήσεις τρίτων μερών ή σε τοπικές υλοποιήσεις οι οποίες παρέχουν υπηρεσίες προστιθέμενης αξίας, να αναπτύσσονται και να χρησιμοποιούνται. Η επεκτασιμότητα και η προσαρμοστικότητα όμως πρέπει να παρέχονται με τέτοιο τρόπο ώστε να μην υπονομεύεται η διαλειτουργικότητα.

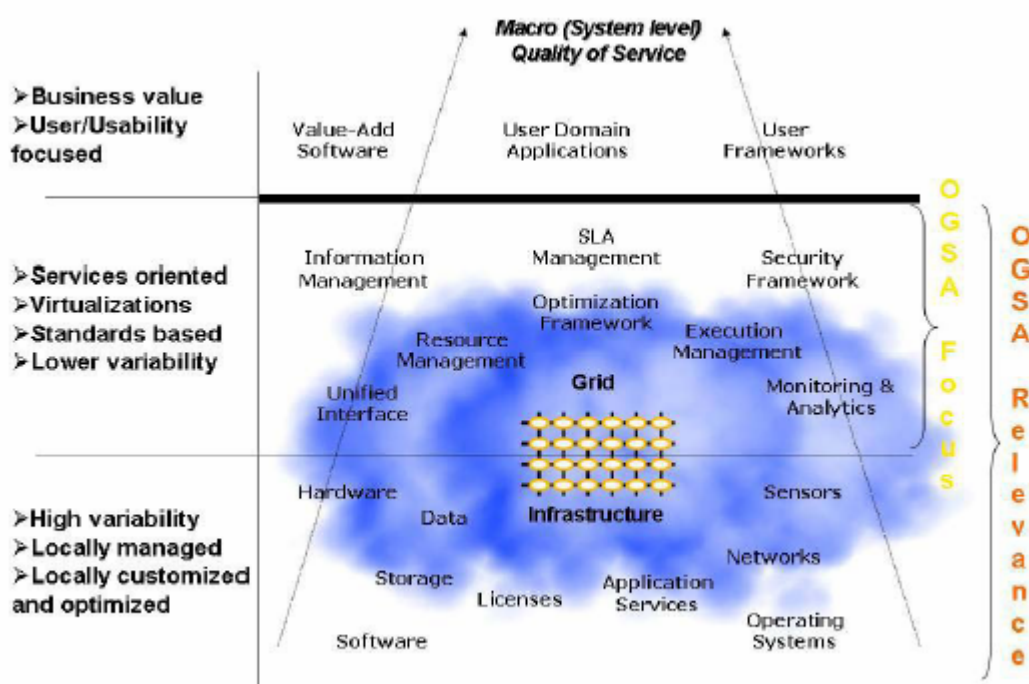
2.3 Δυνατότητες (*capabilities*)

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι δυνατότητες που παρέχει η αρχιτεκτονική OGSA ώστε να καλύπτει τις απαιτήσεις που περιγράφηκαν προηγουμένως. Αφού παρουσιαστεί μία γενική περιγραφή των αρχών και του πλαισίου της αρχιτεκτονικής και περιγραφούν υπηρεσίες υποδομής που θεμελιώνουν την προσέγγιση που ακολουθεί η OGSA, περιγράφονται συνοπτικά οι λειτουργικές δυνατότητες της αρχιτεκτονικής, σύμφωνα με τις υπηρεσίες οι οποίες χρησιμοποιούνται για την πραγμάτωσή τους.

2.3.1 Σύνοψη

Η OGSA αποσκοπεί στη διευκόλυνση της απρόσκοπτης χρήσης και διαχείρισης κατανεμημένων, ετερογενών πόρων. Στην αρχιτεκτονική αυτή, οι όροι «κατανεμημένος», «ετερογενής» και «πόρος» χρησιμοποιούνται με την ευρεία έννοια. Για παράδειγμα, ο όρος «κατανεμημένος» μπορεί να αναφέρεται σε γεωγραφικά γειτονικούς πόρους που διασυνδέονται μέσω δικτύου, όπως και σε πόρους που βρίσκονται οπουδήποτε στον κόσμο, με χαλαρές και περιοδικές συνδέσεις. Ο όρος «πόρος» αναφέρεται σε οποιοδήποτε κατασκεύασμα, οντότητα ή γνώση που απαιτείται για την ολοκλήρωση μίας λειτουργίας σε ένα σύστημα. Η λειτουργικότητα που παρέχεται από μία τέτοια υποδομή, ομαδοποιείται ως ένα σύνολο δυνατοτήτων. Η Εικόνα 2 δείχνει τη λογική, αφηρημένη, ημιδιαστρωματωμένη αναπαράσταση κάποιων από αυτές τις δυνατότητες. Στην αναπαράσταση αυτή απεικονίζονται τρεις κύριες λογικές και αφηρημένες βαθμίδες.

Η κατώτερη βαθμίδα στην αναπαράσταση παρουσιάζει τους πόρους βάσης. Αυτοί είναι οι πόροι που υποστηρίζονται από υποκείμενες οντότητες ή κατασκευάσματα, οι οποίες μπορεί να είναι φυσικές ή λογικές και που έχουν εφαρμογή εκτός του πλαισίου OGSA.



Εικόνα 2: Θεμελιώδης απεικόνιση των υποδομών Grid

Παραδείγματα τέτοιων φυσικών οντοτήτων αποτελούν οι CPU, η μνήμη και οι δίσκοι, ενώ παραδείγματα λογικών οντοτήτων αποτελούν οι άδειες, το περιεχόμενο και οι διεργασίες λειτουργικών συστημάτων. Οι σχέσεις μεταξύ των οντοτήτων και των απεικονίσεών τους είναι στενές, γι' αυτό χρησιμοποιείται η ίδια ονοματολογία. Αυτοί οι πόροι βρίσκονται συνήθως υπό τοπική ιδιοκτησία και διαχείριση, αλλά μπορούν να συμμετέχουν σε απομακρυσμένες διαμοιράσεις. Καθώς οι πραγματικές οντότητες μπορούν να αλλάζουν γρήγορα και να προέρχονται από πολλαπλούς πόρους, αυτοί οι πόροι μπορούν να διαφέρουν σημαντικά στα χαρακτηριστικά τους, στην ποιότητα υπηρεσιών, στην έκδοση, τη διαθεσιμότητα κλπ. Αν και σε αυτή τη συζήτηση πραγματοποιείται μία διάκριση των πόρων βάσης προκειμένου να αντιστοιχηθούν οι αρχές της OGSA στις παραδοσιακές έννοιες των πόρων, στη συνέχεια αυτή η διάκριση δεν εξακολουθεί να λαμβάνεται υπ' όψη και χρησιμοποιείται η γενικευμένη έννοια των πόρων.

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή

Η ενδιάμεση βαθμίδα αναπαριστά ένα υψηλότερο επίπεδο απεικόνισης και λογικής αφαίρεσης. Η αφαίρεση εδώ προσανατολίζεται στον ορισμό μίας ποικιλίας δυνατοτήτων που είναι σχετικές με τα Grids της OGSA. Αυτές οι δυνατότητες μπορούν να χρησιμοποιηθούν αυτόνομα ή να συνδυαστούν για να παράσχουν την απαραίτητη υποδομή για την υποστήριξη εφαρμογών υψηλότερου επιπέδου ή διεργασιών χρηστών. Αυτό το σύνολο δυνατοτήτων, όπως ορίζεται στην OGSA, είναι σχετικά αμετάβλητο και τυποποιημένο. Ο τρόπος με τον οποίο αυτές οι δυνατότητες υλοποιούνται και συνδυάζονται περαιτέρω ή επεκτείνονται από εφαρμογές χρηστών, καθορίζει τη μακρο – Ποιότητα Υπηρεσιών (επιπέδου συστήματος), όπως αυτή γίνεται αντιληπτή από έναν τελικό χρήστη.

Είναι χρήσιμη η λεπτομερέστερη περιγραφή της σχέσης μεταξύ της μεσαίας και της κατώτερης βαθμίδας. Η προσανατολισμένη σε υπηρεσίες φύση της OGSA υποδηλώνει ότι αφηρημένοι πόροι που αναπαρίστανται ως υπηρεσίες είναι ομότιμοι με άλλες υπηρεσίες στην αρχιτεκτονική (π.χ. υπηρεσίες στη μεσαία και την ανώτερη βαθμίδα). Η ομότιμη σχέση υποδηλώνει ότι μία αλληλεπίδραση υπηρεσιών μπορεί να ξεκινήσει μεταξύ οποιωνδήποτε υπηρεσιών στην αρχιτεκτονική. Επιπλέον, οι υπηρεσίες της μεσαίας βαθμίδας πρέπει να χρησιμοποιούν και να διαχειρίζονται τους πόρους της κατώτερης βαθμίδας για τη διανομή των δυνατοτήτων που μία υπηρεσία οφείλει να παρέχει. Έτσι οι οντότητες της κατώτερης βαθμίδας μπορούν να θεωρούνται σχετικές με τη συζήτηση για την OGSA.

Στην ανώτερη βαθμίδα, περιλαμβάνονται οι εφαρμογές και άλλες οντότητες που χρησιμοποιούν τις δυνατότητες της OGSA για την πραγματοποίηση διεργασιών σχετικών με χρήστες και πεδία, όπως επιχειρηματικές διεργασίες. Γενικά είναι εκτός των ορίων της OGSA, αλλά καθοδηγούν τον ορισμό της αρχιτεκτονικής μέσω των περιπτώσεων χρήσεων τις οποίες η υποδομή πρέπει να υποστηρίζει.

Οι τρεις βαθμίδες πρέπει να συνεργάζονται για να παρέχουν την απαιτούμενη QoS. Καθώς πρόκειται για την QoS ολόκληρου του συστήματος, περιλαμβανομένης της βαθμίδας εφαρμογών, αυτή καθορίζει την εμπειρία του χρήστη από το σύστημα η οποία προσδιορίζεται ως η μακρο – Ποιότητα Υπηρεσιών.

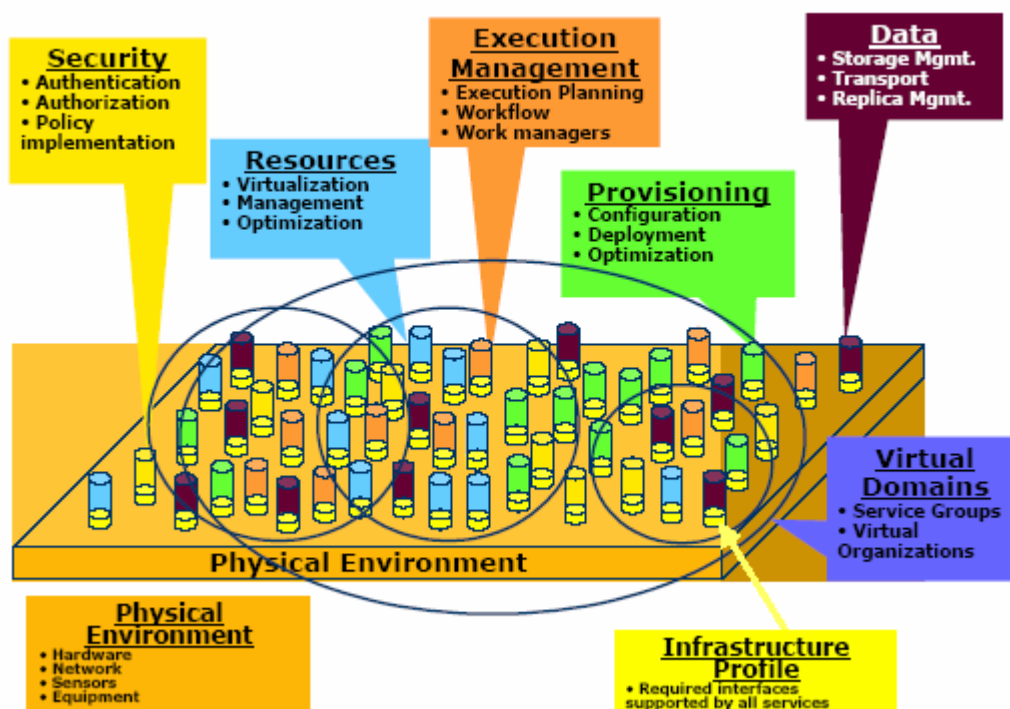
2.3.2 Το Πλαίσιο OGSA

Η OGSA υλοποιεί τη μεσαία βαθμίδα της προηγούμενης απεικόνισης με βάση υπηρεσίες, τις διασυνδέσεις που αυτές οι υπηρεσίες εμφανίζουν, την ατομική και συλλογική κατάσταση των πόρων που ανήκουν σε αυτές τις υπηρεσίες και την αλληλεπίδραση μεταξύ αυτών των υπηρεσιών, στα πλαίσια μίας αρχιτεκτονικής προσανατολισμένης σε υπηρεσίες (Service Oriented Architecture, SOA). Το πλαίσιο υπηρεσιών OGSA παρουσιάζεται στην Εικόνα 3 και στην Εικόνα 4. Στις εικόνες αυτές οι κύλινδροι αναπαριστούν μεμονωμένες υπηρεσίες. Οι υπηρεσίες βασίζονται στα πρότυπα των Web Services, με σημασιολογία, προσθήσεις, επεκτάσεις και τροποποιήσεις που είναι σχετικές με Grids. Κάποια σημαντικά σημεία που πρέπει να τονιστούν:

- Ένα σημαντικό κίνητρο για την OGSA είναι το παράδειγμα σύνθεσης ή η προσέγγιση δομικού στοιχείου, όπου ένα σύνολο δυνατοτήτων ή λειτουργιών βασίζεται ή προσαρμόζεται σύμφωνα με τις απαιτήσεις που υπάρχουν, από ένα ελάχιστο σύνολο αρχικών δυνατοτήτων, προκριμένου να ανταποκριθεί σε κάποιες ανάγκες. Δε θεωρείται ότι υπάρχει καμία πρότερη γνώση αυτής της ανάγκης. Αυτό το χαρακτηριστικό προσδίδει την προσαρμοστικότητα, την ευελιξία και την ευρωστία για αλλαγές που απαιτούνται από την αρχιτεκτονική.
- Η OGSA αναπαριστά τις υπηρεσίες, τις διασυνδέσεις τους και τη σημασιολογία/συμπεριφορά και την αλληλεπίδραση αυτών των υπηρεσιών. Πρέπει να

σημειωθεί ότι η αρχιτεκτονική λογισμικού που καθορίζει την εσωτερική υλοποίηση αυτών των υπηρεσιών δεν περιλαμβάνεται στους σκοπούς της OGSA.

• Επιπλέον, η αρχιτεκτονική δεν είναι διαστρωματωμένη, οπότε η υλοποίηση μίας υπηρεσίας βασίζεται και μπορεί να αλληλεπιδρά μόνο με το επίπεδο από το οποίο εξαρτάται λογικά. Επίσης δεν είναι αντικειμενοστρεφής, αν και πολλές από τις έννοιες που περιλαμβάνει μπορούν να εκλαμβάνονται ως βασισμένες σε αντικείμενα.



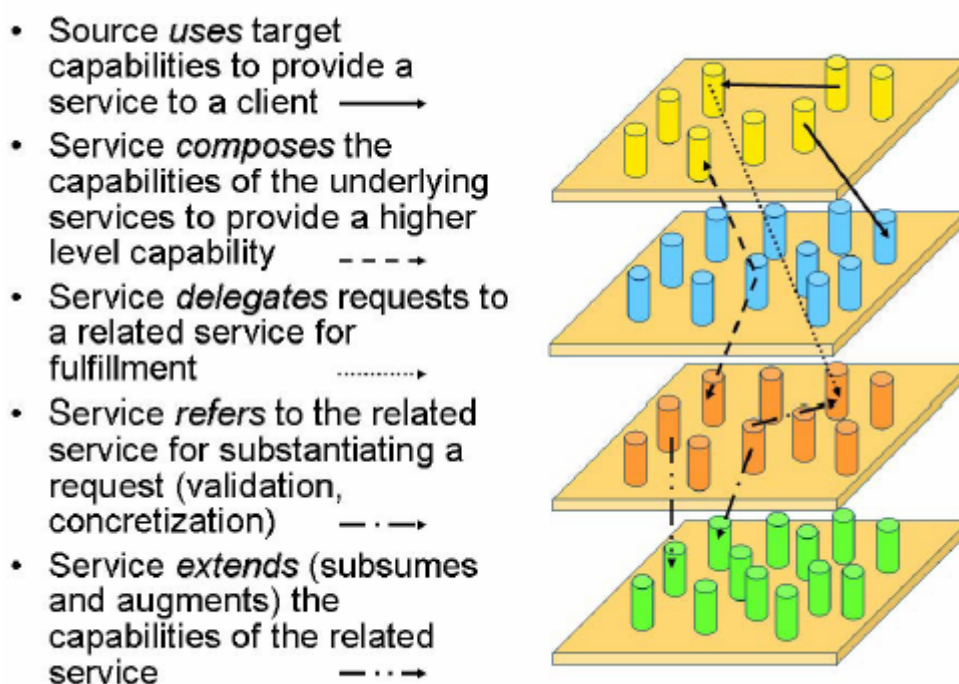
Εικόνα 3: Το πλαίσιο OGSA (Οι δυνατότητες που παρουσιάζονται, είναι ενδεικτικές)

Οι υπηρεσίες είναι χαλαρά συνδεδεμένες ομότιμες οντότητες που, είτε ατομικά ή ως μέρος ενός αλληλεπιδρώντος συνόλου υπηρεσιών, υλοποιούν τις δυνατότητες της OGSA μέσω υλοποίησης, σύνθεσης ή αλληλεπίδρασης με άλλες υπηρεσίες. Μία συγκεκριμένη υπηρεσία μπορεί να υλοποιεί και/ή να συμμετέχει σε πολλαπλές συλλογές και αλληλεπιδράσεις, πραγματώνοντας διαφορετικές δυνατότητες. Από την άλλη πλευρά, δεν είναι απαραίτητο όλες οι υπηρεσίες να συμμετέχουν στην πραγμάτωση κάποιας δυνατότητας.

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή

Οι υπηρεσίες μπορούν να συμμετέχουν σε εικονικές συλλογές που καλούνται εικονικά πεδία (Virtual Domains, VD, Εικόνα 3) για την πραγμάτωση μίας δυνατότητας, όπως σύνολα υπηρεσιών (service groups) ή για τη διαμοίραση ενός συλλογικού περιβάλλοντος ή πλαισίου διαχειρισσιμότητας, όπως οι VOs.

Οι υπηρεσίες θα πρέπει να υλοποιούν ένα βασικό σύνολο διασυνδέσεων, προτύπων και κοινής γνώσης προκειμένου να αποτελούν μέρος ενός OGSA Grid. Αυτό το σύνολο των κοινών υλοποιήσεων για την υποστήριξη της OGSA αναφέρεται ως υπηρεσίες υποδομής (infrastructure services) ή Grid fabric. Όπως αναφέρεται και αργότερα, πραγματοποιείται η υπόθεση ότι η προδιαγραφή Web Services Resource Framework (WSRF) [22] η οποία βρίσκεται προς το παρόν υπό ανάπτυξη, θα αποτελεί τμήμα του αρχικού Grid Fabric.



Εικόνα 4: Σχέσεις υπηρεσιών

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή

Η Εικόνα 4 δείχνει μία διαφορετική άποψη του πλαισίου OGSA η οποία εστιάζει στις δυνατές σχέσεις και αλληλεπιδράσεις μεταξύ υπηρεσιών OGSA. Οι κύλινδροι αναπαριστούν ξεχωριστές υπηρεσίες σε ένα στρώμα φυσικής υποδομής. Κάθε επίπεδο στην εικόνα είναι μία συλλογή που αναπαριστά μία μοναδική δυνατότητα (δεν υπάρχει καμία ιεραρχική ή ομαδοποιητική σχέση μεταξύ των διαφόρων επιπέδων). Οι σχέσεις που φαίνονται, είναι μεταξύ συγκεκριμένων υπηρεσιών και μπορούν να υπερβαίνουν τις δυνατότητες.

2.3.3 Υπηρεσίες υποδομής

Ο σκοπός ορισμού της OGSA είναι ο προσδιορισμός ενός συναφούς και ολοκληρωμένου συνόλου συστατικών τα οποία συλλογικά ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις που προσδιορίστηκαν στην προηγούμενη ενότητα, στο περιβάλλον μίας αρχιτεκτονικής προσανατολισμένης σε υπηρεσίες. Προκειμένου να επιτευχθεί ο σκοπός αυτός, πρέπει οπωσδήποτε να γίνουν υποθέσεις για την υποδομή στην οποία βασίζεται η αρχιτεκτονική, ώστε να υπάρχει μία θεμελίωση στην οποία να βασίζεται η ανάπτυξη υπηρεσιών υψηλότερου επιπέδου.

Η βασική υπόθεση είναι ότι η εργασία στην OGSA βασίζεται, αλλά και συμβάλλει στην αυξανόμενη συλλογή τεχνικών προδιαγραφών που σχηματίζουν την αναδυόμενη Αρχιτεκτονική Web Services [23]. Πράγματι, η OGSA μπορεί να θεωρηθεί ως μία εξειδικευμένη εφαρμογή των προτύπων WS. Η επιλογή των Web Services έγινε επειδή η κατεύθυνση της αρχιτεκτονικής OGSA είναι προσανατολισμένη σε υπηρεσίες και επειδή οι Web services θεωρούνται το αποτελεσματικότερο πλαίσιο για την επίτευξη και τη διάδοση μίας πρότυπης προσέγγισης της λειτουργικότητας που απαιτείται από τα συστήματα Grid προσανατολισμένης προς τις υπηρεσίες.

Η επιλογή των Web services ως υποδομή και πλαίσιο υποδηλώνει ότι τα συστήματα και οι εφαρμογές OGSA είναι δομημένα σύμφωνα με τις αρχές της προσανατολισμένης προς υπηρεσίες αρχιτεκτονικής και ότι οι διασυνδέσεις υπηρεσιών ορίζονται από την Web Services Description Language (WSDL) [24] . Επίσης, η XML εκλαμβάνεται ως η εξορισμού γλώσσα για περιγραφή και αναπαράσταση δεδομένων και το Simple Object Access Protocol (SOAP) [25] ως το κύριο σχήμα ανταλλαγής μηνυμάτων για υπηρεσίες OGSA. Επιπλέον επιδιώκεται η ανάπτυξη ορισμών υπηρεσιών που είναι σύμφωνες με τα προφίλ διαλειτουργικότητας που ορίζονται από τη διαδικασία WS Interoperability (WS-I) [26].

Παρ' ότι η OGSA κινείται στο πλαίσιο των Web services, είναι εμφανές ότι τα πρότυπα των Web services, με βάση τον τρέχοντα ορισμό τους, δεν ανταποκρίνονται σε όλες τις απαιτήσεις των Grids. Σε μερικές περιπτώσεις, οι υπάρχουσες προδιαγραφές απαιτούν τροποποιήσεις ή επεκτάσεις. Αυτό επιδιώκεται με τη συμπερίληψη των απαιτήσεων Grid στον ορισμό των προδιαγραφών WSDL 2.0 και την αναθεώρηση προδιαγραφών WS. Βασική περιοχή WS στην οποία οι απαιτήσεις Grid αποτελούν κίνητρο για επέκταση είναι η ασφάλεια. Επίσης, η περιοχή της αναπαράστασης και του χειρισμού κατάστασης αποτελεί βασική περιοχή στην οποία οι απαιτήσεις Grid αποτέλεσαν κίνητρο για τη διατύπωση νέων προδιαγραφών.

2.3.4 Υπηρεσίες Διαχείρισης Εκτέλεσης

Οι Υπηρεσίες Διαχείρισης Εκτέλεσης (Execution Management Services, OGSA-EMS) ασχολούνται με τα προβλήματα της αρχικοποίησης και της διαχείρισης μονάδων εργασίας ως την περάτωσή τους. Παραδείγματα τέτοιων μονάδων εργασίας περιλαμβάνουν είτε εφαρμογές OGSA ή εφαρμογές παλαιότερων τεχνολογιών.

Τα προβλήματα εκτελούμενων μονάδων εργασίας με τα οποία η EMS ασχολείται, αναφέρονται στην τοποθέτησή τους, την προμήθειά τους με τους απαιτούμενους πόρους και τη διαχείρισή τους καθ' όλη τη διάρκεια ζωής τους. Στα προβλήματα αυτά περιλαμβάνονται τα εξής:

- Εύρεση υποψήφιων τοποθεσιών εκτέλεσης. Επιλέγονται αυτές που ικανοποιούν τους περιορισμούς πόρων και πολιτικών οι οποίοι τίθενται για την εργασία.
- Επιλογή της τοποθεσίας εκτέλεσης. Από τις τοποθεσίες όπου μπορεί η εργασία να εκτελεσθεί, επιλέγεται αυτή όπου πρέπει να εκτελεσθεί, με βάση διάφορες κατηγορίες κριτηρίων που μπορούν να τίθενται.
- Προετοιμασία για εκτέλεση. Ανάπτυξη και ρύθμιση βιβλιοθηκών, συγκέντρωση απαιτούμενων δεδομένων.
- Αρχικοποίηση της εκτέλεσης.
- Διαχείριση της εκτέλεσης. Καλύπτει, μεταξύ άλλων, περιπτώσεις διαχείρισης σφαλμάτων, αποτυχίας ικανοποίησης στόχων, περιπτώσεις επανέναρξης.

Η EMS είναι σημαντική γιατί το περιβάλλον εκτέλεσης δεν είναι στατικό, αντιθέτως τα Grids μπορούν να χρησιμοποιούνται σε μία ποικιλία διαρρυθμίσεων, όπου το σύνολο των διαθέσιμων πόρων και ο φόρτος που υπάρχει στους πόρους είναι ταχέως μεταβαλλόμενα μεγέθη

Υπάρχουν τρεις ευρείες κλάσεις υπηρεσιών EMS:

- Πόροι, που σχηματοποιούν την επεξεργασία, την αποθήκευση, τα εκτελέσιμα, τη διαχείριση πόρων και την παροχή πόρων. Στις υπηρεσίες πόρων περιλαμβάνονται ο Service Container και η Persistent State Handle Service.
- Υπηρεσίες διαχείρισης και παρακολούθησης εργασιών. Εδώ προσδιορίζεται η έννοια του job, ενώ η βασική υπηρεσία είναι ο Job Manager.

- Υπηρεσίες επιλογής πόρων που συλλογικά αποφασίζουν τον τόπο εκτέλεσης μίας μονάδας εργασίας. Σε αυτές περιλαμβάνονται οι Execution Planning Services, ο Candidate Set Generator και οι Reservation Services.

2.3.5 Υπηρεσίες Δεδομένων

Οι υπηρεσίες δεδομένων της OGSA ασχολούνται με τη διακίνηση, την προσπέλαση και την ενημέρωση πόρων δεδομένων. Οι υπηρεσίες αυτές χρησιμοποιούνται για τη μετακίνηση των δεδομένων όπου χρειάζεται, διαχειρίζονται αντίγραφα, εκτελούν ερωτήσεις και ενημερώσεις και μετασχηματίζουν δεδομένα σε νέες αναπαραστάσεις. Επίσης παρέχουν τις απαραίτητες δυνατότητες για τη διαχείριση μεταδεδομένων.

Οι λειτουργικές δυνατότητες των υπηρεσιών δεδομένων είναι η διαφάνεια και η αφαιρετική απεικόνιση, τα client APIs, η υποστήριξη επεκτάσιμων τύπων δεδομένων, η διαχείριση θέσης δεδομένων, η απλή προσπέλαση, η δομημένη προσπέλαση (μέσω queries), ο μετασχηματισμός, η ενημέρωση δεδομένων, οι επεκτάσεις αντιστοίχισης ασφάλειας, η διαμόρφωση πόρων δεδομένων, τα μεταδεδομένα και οι πληροφορίες προέλευσης δεδομένων. Στις ιδιότητες οι οποίες αποτελούν μη λειτουργικές δυνατότητες, περιλαμβάνονται η δυνατότητα κλιμάκωσης, η ποιότητα υπηρεσιών, η συνάφεια, η επίδοση, η διαθεσιμότητα, καθώς και νομικοί και ηθικοί περιορισμοί.

2.3.6 Υπηρεσίες Διαχείρισης Πόρων

Οι υπηρεσίες αυτές επιτελούν διάφορες μορφές διαχείρισης σε ένα Grid. Σε ένα OGSA Grid υπάρχουν τρεις μορφές διαχείρισης (OGSA Resource Management, RM) οι οποίες αναφέρονται σε πόρους:

- Διαχείριση των ιδίων των πόρων.
- Διαχείριση των πόρων στο Grid.

- Διαχείριση της υποδομής OGSA η οποία αποτελείται από πόρους.

Στο επίπεδο υποδομής, η λειτουργικότητα διαχείρισης παρέχεται από το OASIS WSDM [27]. Αυτό περιλαμβάνει προδιαγραφές για τη διαχείριση Web services (Management of Web Services, MOWS) η οποία περιλαμβάνει μία γενική διασύνδεση για τη διαχείριση Web services σε ένα OGSA Grid, καθώς και προδιαγραφές για τη διαχείριση χρησιμοποιώντας Web services (Management by Using Web Services, MUWS) το οποίο περιλαμβάνει το βασικό μοντέλο διαχείρισης που προσδιορίζει π.χ. την αναπαράσταση πόρων, καθώς και βασικές λειτουργίες διαχείρισης, όπως αναπαράσταση και λειτουργίες κατάστασης και σχέσεις μεταξύ πόρων.

Στο επίπεδο λειτουργιών, οι δυνατότητες διαχείρισης πόρων περιλαμβάνουν τυπικές δραστηριότητες διαχείρισης κατανεμημένων πόρων και δραστηριότητες διαχείρισης συστημάτων IT. Η λειτουργικότητα που αποδίδεται από αυτές τις δυνατότητες, περιλαμβάνει την κράτηση, παρακολούθηση και έλεγχο πόρων, τη διαχείριση VO, τη διαχείριση ασφάλειας, τον προσδιορισμό προβλημάτων και τη διαχείριση σφαλμάτων, τη διαχείριση πολιτικών, την ανακάλυψη πόρων, μετρήσεις και ομάδες υπηρεσιών. Στις ιδιότητες περιλαμβάνονται η δυνατότητα κλιμάκωσης, η διαλειτουργικότητα, η ασφάλεια και η αξιοπιστία.

2.3.7 Υπηρεσίες Ασφάλειας

Οι υπηρεσίες ασφάλειας της OGSA διευκολύνουν την επιβολή πολιτικών ασφάλειας στα πλαίσια ενός VO. Ο γενικό σκοπός των πολιτικών αυτών είναι η διασφάλιση ότι οι επιχειρησιακοί στόχοι υψηλού επιπέδου θα πραγματοποιηθούν. Οι υπηρεσίες ασφάλειας πρέπει να υποστηρίζουν και να ενσωματώνουν ποικίλους μηχανισμούς και τεχνολογίες που υπάρχουν στο πεδίο αυτό. Στις λειτουργικές δυνατότητες περιλαμβάνονται η ταυτοποίηση, η

αντιστοίχιση ταυτότητας μεταξύ περιοχών, η εξουσιοδότηση, η μετατροπή πιστοποιητικών, η παρακολούθηση, η ασφαλής σύνδεση και η ιδιωτικότητα.

2.3.8 Υπηρεσίες Αυτοδιαχείρισης

Η αυτοδιαχείριση αποτελεί έναν τρόπο για τη μείωση του κόστους και της πολυπλοκότητας λειτουργίας και διαχείρισης μίας υποδομής IT. Σε ένα αυτοδιαχειριζόμενο περιβάλλον, τα συστατικά τμήματα του συστήματος είναι αυτορυθμιζόμενα, αυτοθεραπευόμενα και αυτοβελτιούμενα. Ένας από τους βασικούς στόχους σε ένα αυτοδιαχειριζόμενο περιβάλλον είναι η υποστήριξη επίτευξης επιπέδου υπηρεσιών για ένα σύνολο υπηρεσιών, με τη μεγαλύτερη δυνατή αυτοματοποίηση, για τη μείωση του σχετικού κόστους. Αυτό πραγματοποιείται με τη χρήση ενός διαχειριστή επιπέδου υπηρεσιών (Service Level Manager, SLM).

Η λειτουργικότητα των δυνατοτήτων αυτοδιαχείρισης, που ουσιαστικά είναι οι τρεις ευρείες κατηγορίες που προαναφέρθηκαν, περιλαμβάνει τη διαχείριση επιπέδου υπηρεσιών, τη διαχείριση βάσει πολιτικών και μοντέλων, η διαπραγμάτευση απόκτησης πόρων, ο σχεδιασμός πόρων, η διαχείριση δυναμικότητας, η παροχή πόρων, καθώς και λειτουργίες ανάλυσης αιτίων προβλημάτων και πρόβλεψης. Στις ιδιότητες περιλαμβάνονται η διαθεσιμότητα, η ασφάλεια και η μέτρηση επίδοσης.

2.3.9 Υπηρεσίες Πληροφοριών

Μία σημαντική δυνατότητα της OGSA είναι η αποτελεσματική προσπέλαση και διαχείριση πληροφορίας για εφαρμογές, πόρους και υπηρεσίες σε ένα περιβάλλον Grid. Ο όρος πληροφορία αναφέρεται σε δυναμικά δεδομένα ή συμβάντα για την παρακολούθηση κατάστασης, σχετικά στατικά δεδομένα που χρησιμοποιούνται για ανακάλυψη και οποιαδήποτε δεδομένα καταγράφονται.

Στις λειτουργικές δυνατότητες περιλαμβάνονται το σχήμα ονοματοδοσίας, η ανακάλυψη πόρων και υπηρεσιών, η διανομή μηνυμάτων, η καταγραφή συμβάντων, η παρακολούθηση και η γενική υπηρεσία πληροφοριών και παρακολούθησης. Στις ιδιότητες περιλαμβάνονται η ασφάλεια, η ποιότητα υπηρεσιών, η διαθεσιμότητα, η επίδοση και η δυνατότητα κλιμάκωσης.

3 ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ OGSA – ΠΛΑΙΣΙΟ WSRF

3.1 Εισαγωγή

Η αρχιτεκτονική OGSA απαιτεί κάποια μορφή κατανεμημένου μεσολογισμικού στο οποίο να βασίσει τη δομική της μορφή. Η τεχνολογία που επιλέγεται ως η καταλληλότερος υποψήφια από την κοινότητα πλέγματος είναι η τεχνολογία Υπηρεσιών Ιστού (Web services). Εντούτοις, αν και η αρχιτεκτονική υπηρεσιών Ιστού ήταν βεβαίως η καλύτερη επιλογή, δεν κάλυψε μιας από τις σημαντικότερες απαιτήσεις της OGSA, και συγκεκριμένα τη «διατήρηση κατάστασης» (statefulness) του μεσολογισμικού. Αν και οι υπηρεσίες Ιστού θεωρητικά μπορούν να είναι είτε «άνευ κατάστασης» (stateless) είτε «με κατάσταση» (stateful), αυτό που συμβαίνει συνήθως είναι το πρώτο και επιπλέον δεν υπάρχει κανένας τυποποιημένος τρόπος για να τις κάνει stateful.

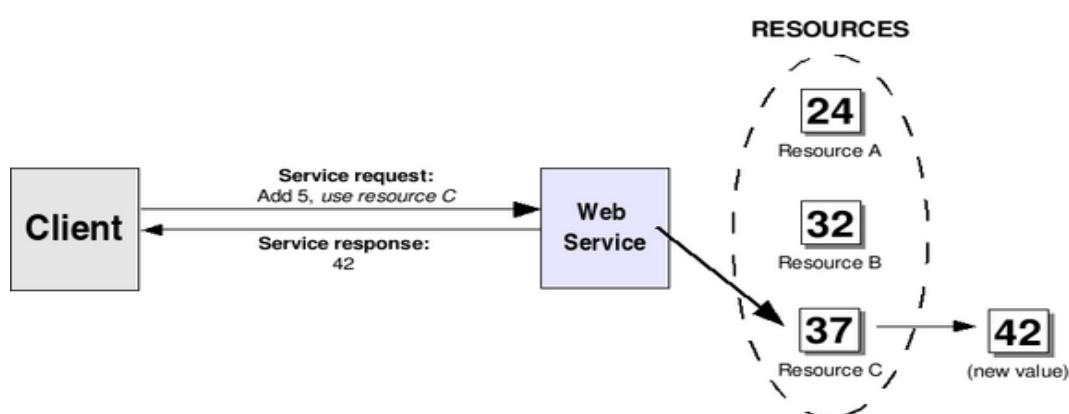
3.2 Πλαίσιο Πόρων Υπηρεσιών Ιστού (WSRF)

3.2.1 Γενικά

Το Πλαίσιο Πόρων Υπηρεσιών Ιστού (Web Service Resource Framework) [22] λύνει αυτό το πρόβλημα με τον ακόλουθο τρόπο: κρατά την υπηρεσία Ιστού και τις πληροφορίες κατάστασης απολύτως χωριστές. Αντί της τοποθέτησης της κατάστασης στην υπηρεσία Ιστού (που την καθιστά έτσι stateful, αλλά όμως θεωρείται γενικά ως κακή ιδέα) κρατιέται σε μια χωριστή οντότητα αποκαλούμενη πόρος, ο οποίος αποθηκεύει όλες τις πληροφορίες κατάστασης. Κάθε πόρος έχει ένα μοναδικό κλειδί, έτσι όποτε θέλουμε μια stateful αλληλεπίδραση με μια υπηρεσία Ιστού πρέπει απλά να καθοδηγήσουμε την υπηρεσία Ιστού

για να χρησιμοποιήσουμε έναν ιδιαίτερο πόρο αυτής και συνεπώς να αλληλεπιδράσουμε με την συγκεκριμένη κατάσταση της υπηρεσίας.

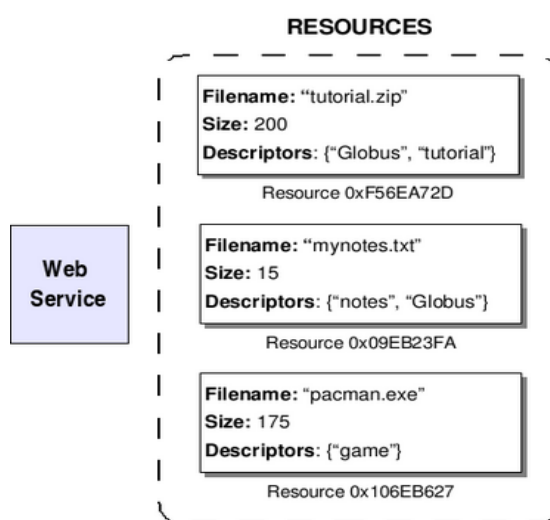
Το WSRF καθορίζει μια οικογένεια προδιαγραφών για την πρόσβαση των stateful πόρων χρησιμοποιώντας τις υπηρεσίες Ιστού. Περιλαμβάνει τις προδιαγραφές WS-ResourceProperties, WS-ResourceLifetime, WS-BaseFaults, και WS-ServiceGroup. Το κίνητρο για αυτές τις νέες προδιαγραφές είναι ότι ενώ οι εφαρμογές υπηρεσιών Ιστού χαρακτηριστικά δεν διατηρούν τις πληροφορίες κατάστασης κατά τη διάρκεια των αλληλεπιδράσεών τους, οι διεπαφές τους πρέπει συχνά να επιτρέψουν το χειρισμό των καταστάσεων, δηλαδή τιμές στοιχείων που εμμένουν πέρα μια από αλληλεπίδραση και εξελίσσονται ως αποτέλεσμα αυτών των αλληλεπιδράσεων Υπηρεσιών Ιστού. Παραδείγματος χάριν, ένα απευθείας σύνδεσης (online) σύστημα κράτησης θέσεων αεροπορικών εταιρειών πρέπει να διατηρεί τις καταστάσεις σχετικά με την κατάσταση πλήρωσης της πτήσης, π.χ. κρατήσεις από συγκεκριμένους πελάτες, αλλά επιπλέον και για το ίδιο το σύστημα: η τρέχουσα τοποθεσία, το φορτίο, και η απόδοσή του.



Εικόνα 5: Η προσέγγιση διατήρησης κατάστασης πόρου

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή

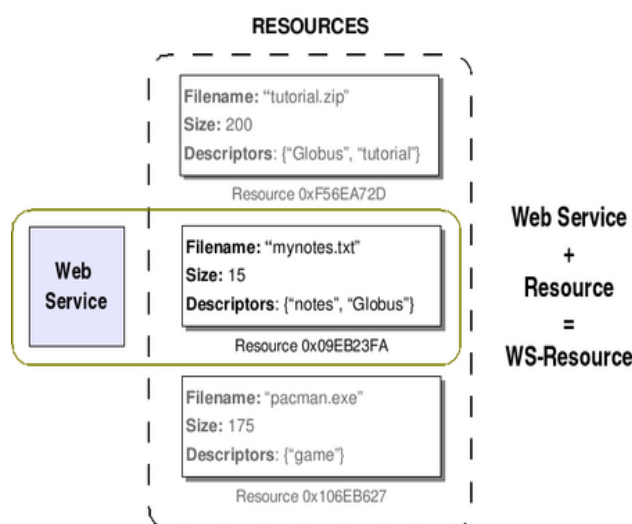
Οι διεπαφές υπηρεσιών Ιστού που επιτρέπουν στους αιτούντες να ρωτήσουν την κατάσταση της πτήσης, τις κρατήσεις (και όποιες αλλαγές σε αυτές), και γενικά οι υπηρεσίες διαχείρισης του συστήματος κρατήσεων πρέπει απαραίτητως να παρέχουν πρόσβαση σε αυτές τις πληροφορίες κατάστασης. Στο πλαίσιο WSRF διαμορφώνεται η κατάσταση ως stateful πόρους και κωδικοποιείται τη σχέση μεταξύ των υπηρεσιών Ιστού από την άποψη ενός υπονοούμενου σχεδίου αλληλεπίδρασης των πόρων. Παραδείγματος χάριν, εξετάζουμε μια διάταξη υπηρεσιών που εκτελούν πρόσθεση ακέραιων αριθμών όμοια με εκείνη που εκτελείται σε καταχωρητές. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 5, η υπηρεσία Ιστού μας θα μπορούσε να έχει τρεις διαφορετικούς πόρους (A, B, C) για να επιλέξει μέσω της υπηρεσίας ιστού. Εάν θέλουμε το άθροισμα των ακέραιων αριθμών "να απομνημονεύεται" από κλήση σε κλήση της υπηρεσίας, τότε ο πελάτης (client) πρέπει απλά να διευκρινίσει ότι θέλει μια μέθοδο που επικαλείται έναν συγκεκριμένο πόρο.



Εικόνα 6: Μια υπηρεσία ιστού με κάθε πόρο να αναπαριστά ένα αρχείο

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή

Στην Εικόνα 5 ο πελάτης ζητά τη λειτουργία της πρόσθεσης επικαλούμενος τον πόρο C. Όταν η υπηρεσία Ιστού λαμβάνει το αίτημα για πρόσθεση, θα ανακτήσει τον πόρο C έτσι ώστε η λειτουργία της πρόσθεσης να εκτελεστεί πραγματικά σε εκείνον τον πόρο. Οι ίδιοι οι πόροι μπορούν να αποθηκευτούν στη μνήμη, σε βοηθητικό χώρο αποθήκευσης, ή ακόμα και σε μια βάση δεδομένων. Επίσης, από την εικόνα αυτή γίνεται εμφανές ο τρόπος που μια υπηρεσία Ιστού μπορεί να έχει πρόσβαση σε περισσότερους από έναν πόρους. Φυσικά, οι πόροι μπορούν να έχουν διαφορετικές μορφές και μεγέθη. Ένας πόρος μπορεί να περιέχει πολλαπλές τιμές (όχι μόνο μια τιμή ακέραιων αριθμών, αλλά π.χ. θα μπορούσε να αντιπροσωπεύει αρχεία, όπως στην Εικόνα 6). Ένα Παγκόσμιο Αναγνωριστικό Πηγής (Universal Resource Identifier, URI) μπορεί να είναι αρκετό ώστε να διευθυνσιοδοτήσει μια υπηρεσία Ιστού, αλλά το ερώτημα είναι πώς διευκρινίζουμε τον πόρο συν τοις άλλοις; Ο προτιμητέος τρόπος είναι να χρησιμοποιηθεί μια σχετικά νέα προδιαγραφή αποκαλούμενη Υπηρεσία Ιστού - Διευθυνσιοδότησης (WS-Addressing) που παρέχει έναν πιο ευπροσάρμοστο τρόπο για διευθύνσεις υπηρεσιών Ιστού (συγκρινόμενα πάντα με τα απλά URIs).



Εικόνα 7: Ένας WS πόρος

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή

Το ζευγάρι μιας υπηρεσίας Ιστού με έναν πόρο καλείται WS-Resource (Εικόνα 7). Η διεύθυνση ενός συγκεκριμένου WS-Resource καλείται «αναφορά κατάληξης» (endpoint reference) (στην ορολογία WS-Addressing).

3.3 Οικογένεια Προδιαγραφών WSRF

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά της οικογένειας προδιαγραφών WSRF.

Η προδιαγραφή **WS-ResourceProperties** (Ιδιότητες Πόρων) καθορίζει πώς τα στοιχεία που συνδέονται με έναν stateful πόρο μπορούν να ρωτηθούν και να αλλάξουν χρησιμοποιώντας τις τεχνολογίες υπηρεσιών Ιστού. Αυτό επιτρέπει την προσέγγιση από τους πελάτες με τυποποιημένα μέσα των στοιχείων εκείνων που θα συνδέονται με έναν WS-Resource. Η δήλωση των ιδιοτήτων των WS-Resources αντιπροσωπεύει μια προβολή ή μια άποψη σχετικά με το state των WS-Resources. Αυτή η προβολή αντιπροσωπεύει έναν υπονοούμενο τύπο πόρων που χρησιμεύει στο να καθορίσει μια βάση για πρόσβαση στις ιδιότητες των πόρων μέσω των διεπαφών υπηρεσιών Ιστού.

Η προδιαγραφή **WS-ResourceLifetime** (Κύκλος Ζωής Πόρου) καθορίζει δύο τρόπους καταστροφής ενός WS-Resource: άμεσος και σχεδιασμένος. Αυτό επιτρέπει μια ευελιξία στους σχεδιαστές στο πώς οι εφαρμογές υπηρεσιών Ιστού τους μπορούν να καθαρίσουν από τους πόρους που δεν απαιτούνται πλέον.

Η προδιαγραφή **WS-BaseFaults** (Βασικό Σφάλμα) καθορίζει έναν τύπο σχημάτων XML για βασικά σφάλματα, μαζί με τους κανόνες για το πώς αυτός ο τύπος σφαλμάτων χρησιμοποιείται από τις υπηρεσίες Ιστού. Ένας σχεδιαστής μιας εφαρμογής υπηρεσιών Ιστού χρησιμοποιεί συχνά διεπαφές που καθορίζονται από άλλους. Η διαχείριση των σφαλμάτων σε μια τέτοια εφαρμογή είναι δυσκολότερη όταν χρησιμοποιεί κάθε διεπαφή μια

διαφορετική σύμβαση για την αντιπροσώπευση των κοινών πληροφοριών στα μηνύματα σφαλμάτων. Οποιαδήποτε υποστήριξη για τον προσδιορισμό και τη διευκρίνιση προβλημάτων στα μηνυμάτων σφαλμάτων των υπηρεσιών Ιστού με έναν κοινό κι ενιαίο τρόπο μπορεί να ενισχύσει τη διαχείριση σφαλμάτων. Όταν οι διαθέσιμες πληροφορίες σφαλμάτων από τις διάφορες διεπαφές είναι πλήρεις, είναι ευκολότερο για τους αιτούντες να καταλάβουν το είδος των σφαλμάτων.

Η προδιαγραφή **WS-ServiceGroup** (Ομάδα Υπηρεσιών) καθορίζει τα μέσα με τα οποία οι υπηρεσίες Ιστού και οι WS-Resources μπορούν να αθροιστούν ή να συγκεντρωθούν για έναν συγκεκριμένο σκοπό. Η συμμετοχή στην ομάδα πρέπει να περιοριστεί με κάποιο τρόπο προκειμένου οι αιτούντες να διαμορφώνουν ερωτήσεις με σημασία προς το περιεχόμενο του ServiceGroup. Οι περιορισμοί συμμετοχής μέλους εκφράζονται με βάση την πρόθεση, χρησιμοποιώντας έναν μηχανισμό ταξινόμησης. Περαιτέρω, τα μέλη κάθε πρόθεσης πρέπει να μοιραστούν ένα κοινό σύνολο πληροφοριών πάνω στο οποίο οι ερωτήσεις μπορούν να εκφραστούν.

Τέλος, υπάρχουν επίσης μερικές προδιαγραφές που δεν συμπεριλαμβάνονται στο WSRF αλλά είναι πολύ σχετικές με αυτό. Αυτές είναι οι: WS-Ειδοποίησης (**WS-Notification**) και WS-Διευθυνσιοδότησης (**WS-Addressing**).

Η Υπηρεσία Ιστού - Ειδοποίησης (WS-Notification) επιτρέπει σε μια υπηρεσία Ιστού να διαμορφωθεί ως παραγωγός ειδοποιήσεων, ενόσω ορισμένοι πελάτες να είναι οι καταναλωτές (ή συνδρομητές) αυτών των ειδοποιήσεων. Αυτό σημαίνει ότι εάν μια αλλαγή εμφανίζεται στην υπηρεσία Ιστού (ή, πιο συγκεκριμένα, σε έναν από τους WS-Resources), η αλλαγή αυτή θα κοινοποιηθεί σε όλους τους συνδρομητές. (Δεν κοινοποιούνται όλες οι αλλαγές, παρά μόνο εκείνες που επιλέγονται από τον προγραμματιστή υπηρεσιών Ιστού).

Η προδιαγραφή WS-Διευθυνσιοδότησης (WS-Addressing) παρέχει έναν μηχανισμό για διευθυνσιοδότηση στις υπηρεσίες Ιστού που είναι πιο ευπροσάρμοστος από τα απλά URIs. Ειδικότερα, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την WS-Addressing για να δώσουμε διεύθυνση σε ένα ζευγάρι υπηρεσίας Ιστού και πόρου (ένας WS-Resource).

3.4 Υλοποιήσεις

3.4.1 The Globus Toolkit version 4

Το πακέτο λογισμικού Globus [28] ανοικτού κώδικα (open source) αναπτύχθηκε από τη Συμμαχία Globus (Globus Alliance), και είναι μια θεμελιώδης τεχνολογία για την ανάπτυξη πλεγμάτων, επιτρέποντας στους χρήστες το διαμοιρασμό υπολογιστικών πόρων, βάσεων δεδομένων και άλλων εργαλείων, on-line, με ασφάλεια και διαμέσου εταιρικών και γεωγραφικών ορίων χωρίς να υποσκελίζεται η τοπική τους αυτονομία. Το πακέτο λογισμικού περιλαμβάνει τις υπηρεσίες και τις βιβλιοθήκες λογισμικού για τον έλεγχο των πόρων, την ανακάλυψη, και τη διαχείριση τους (καθώς και των αρχείων), αλλά και για την ασφάλεια γενικότερα. Εκτός από την χρήση του σε μέρος των προγραμμάτων επιστήμης και εφαρμοσμένης μηχανικής το πακέτο εργαλείων Globus είναι ένα υπόστρωμα στο οποίο οι κορυφαίες επιχειρήσεις Τεχνολογίας Πληροφορικής (Information Technology) στηρίζουν σημαντικά τους εμπορικά προϊόντα πλέγματος.

Το κουτί εργαλείων περιλαμβάνει το λογισμικό για την ασφάλεια, την υποδομή πληροφοριών, τη διαχείριση των πόρων και αρχείων, την επικοινωνία, την ανίχνευση σφαλμάτων και τη φορητότητα. Συσκευάζεται ως σύνολο συστατικών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε ανεξάρτητα είτε από κοινού προκειμένου να αναπτυχθούν οι κατάλληλες εφαρμογές. Κάθε Οργανισμός έχει τους μοναδικούς τρόπους λειτουργίας του, και η συνεργασία μεταξύ πολλαπλών Οργανισμών εμποδίζεται από διάφορα «ασυμβίβαστο»

όπως π.χ. θέματα που άπτονται των υπολογιστικών πόρων (των αρχιτεκτονικών και των λειτουργικών συστημάτων) τα αρχεία και τα συστήματά τους, και τα δίκτυα που χρησιμοποιούνται. Το κουτί εργαλείων Globus προέκυψε ακριβώς για να αφαιρέσει τα εμπόδια που αποτρέπουν την αέναη συνεργασία μεταξύ των υπολογιστικών συστημάτων διαφορετικών οργανισμών. Οι υπηρεσίες, οι διεπαφές και τα πρωτόκολλα του επιτρέπουν στους χρήστες να έχουν πρόσβαση σε μακρινούς πόρους σαν να βρίσκονταν οι ίδιοι μέσα στο ίδιο δωμάτιο, ενώ ταυτόχρονα διατηρεί τον τοπικό έλεγχο σχετικά με το ποιος μπορεί να χρησιμοποιήσει τους συγκεκριμένους πόρους και πότε.

Το κουτί εργαλείων Globus έχει εξελιχθεί μέσω μιας στρατηγικής κώδικα ανοιχτής-πηγής κατά τρόπο παρόμοιο με το λειτουργικό σύστημα Linux. Αυτό ενθαρρύνει την ευρύτερη και γρηγορότερη υιοθέτηση του και οδηγεί σε μεγαλύτερη τεχνική καινοτομία, δεδομένου ότι η κοινότητα κώδικα ανοιχτής-πηγής παρέχει συνεχείς προσπάθειες υποστήριξης και εμπλουτισμού του προϊόντος.

Αυτό το κουτί εργαλείων, πρώτα απ' όλα, περιλαμβάνει διάφορες υψηλού επιπέδου υπηρεσίες που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε για να χτίσουμε τις εφαρμογές πλέγματος. Αυτές οι υπηρεσίες καλύπτουν τις περισσότερες από τις αφηρημένες απαιτήσεις που εκτίθενται στην περιγραφή της OGSA. Με άλλα λόγια, το κουτί εργαλείων Globus περιλαμβάνει υπηρεσίες ελέγχου και εξεύρεσης πόρων, υποβολής εργασιών προς εκτέλεση, διαχείρισης δεδομένων, και υποδομή ασφάλειας. Το κουτί εργαλείων Globus είναι μια υλοποίηση των απαιτήσεων OGSA και είναι πλέον σχεδόν το de facto πρότυπο για το πλέγμα. Πράγματι, το Globus Toolkit 4 περιλαμβάνει μια πλήρη υλοποίηση της οικογένειας προδιαγραφών WSRF.

3.4.2 WSRF.NET

Η υλοποίηση WSRF.NET [29] είναι κι αυτή μια εφαρμογή των προδιαγραφών της σουίτας WSRF πάνω στην πλατφόρμα .NET της Microsoft. Η WSRF.NET αποτελείται από ένα σύνολο βιβλιοθηκών και εργαλείων που επιτρέπει στις υπηρεσίες Ιστού να μετασχηματιστούν σε «συμβατές με το WSRF» υπηρεσίες Ιστού. Η WSRF.NET χρησιμοποιεί την αρχιτεκτονική Internet Information Services (IIS) / ASP.NET για τις υπηρεσίες Ιστού – κάτι που σημαίνει προφανώς ότι οι WSRF.NET υπηρεσίες είναι υπηρεσίες ιστού. Για να χρησιμοποιήσει το WSRF.NET, ένας συντάκτης υπηρεσιών δημιουργεί αρχικά μια υπηρεσία Ιστού χρησιμοποιώντας το VS.NET ακριβώς όπως θα έκανε για οποιαδήποτε άλλη υπηρεσία Ιστού. Κατόπιν η λογική υπηρεσιών σχολιάζεται με ιδιότητες που τα WSRF.NET εργαλεία αναγνωρίζουν. Τα WSRF.NET εργαλεία μετασχηματίζουν τη συνταγμένη υπηρεσία Ιστού σε μια WSRF-συμβατή υπηρεσία Ιστού σύμφωνα με τα μεταδεδομένα (metadata) των ιδιοτήτων που δίνονται από το συντάκτη των υπηρεσιών.

4 ΚΙΝΗΤΟ ΠΛΕΓΜΑ (MOBILE GRID)

4.1 Εισαγωγή - Ορισμός

Όπως έχουμε δει μέχρι τώρα, το Grid μπορεί να οριστεί ως μία κατανεμημένη υποδομή για υπολογισμούς και χειρισμό δεδομένων υψηλής επίδοσης η οποία ενσωματώνει διεσπαρμένους γεωγραφικά και οργανωσιακά και ετερογενείς πόρους παρέχοντας κοινές διασυνδέσεις γι' αυτούς, με τη χρήση πρότυπων, ανοικτών και γενικών πρωτοκόλλων και διασυνδέσεων. Επιπλέον όμως, το Grid αποτελεί την τεχνολογία που καθιστά δυνατή και θεμελιώνει το Pervasive και Utility Computing (διάχυτο υπολογισμό και υπολογισμό γενικής χρήσης), χάρη στη δυνατότητά του να είναι ανοικτό, με μεγάλο βαθμό ετερογένειας και μεγάλες δυνατότητες κλιμάκωσης [30].

Ο όρος Mobile Computing (κινητός υπολογισμός) είναι ένας γενικός προσδιορισμός που περιγράφει τη χρησιμοποίηση μικρών, φορητών και ασύρματων υπολογιστικών και τηλεπικοινωνιακών συσκευών. Στις συσκευές αυτές περιλαμβάνονται laptops με τεχνολογία Wireless Local Access Network (WLAN), κινητά τηλέφωνα και Personal Digital Assistants (PDAs) με διασυνδέσεις Bluetooth ή Infrared Data Association (IrDA). Το mobile computing επικεντρώνεται στην απαίτηση της παροχής πρόσβασης σε πληροφορία, τηλεπικοινωνίες και υπηρεσίες παντού, οποτεδήποτε και με κάθε δυνατό μέσο. Προκειμένου να επιτευχθεί αυτός ο στόχος, απαιτείται η ανάπτυξη νέων τεχνολογιών και η τροποποίηση υπαρχουσών. Εξάλλου το ζητούμενο της κινητικότητας συνεπάγεται περιορισμούς που προκύπτουν από τις διαφορές των κινούμενων πόρων από τους σταθερούς.

Η τεχνολογία του Mobile Grid έχει άμεση σχέση με τις τεχνολογίες του Grid και του Mobile Computing. Το Mobile Grid κληρονομεί πλήρως τις ιδέες και τις παρεχόμενες δυνατότητες

του Grid, υποστηρίζοντας επιπλέον κινούμενους χρήστες και πόρους, με ενιαίο, αδιάλειπτο, διαφανή, ασφαλή και αποτελεσματικό τρόπο. Έχει τη δυνατότητα να αναπτύσσει υποκείμενα ad hoc δίκτυα και να παρέχει ένα αυτορυθμιζόμενο σύστημα Grid από κινητούς πόρους (hosts και χρήστες), οι οποίοι συνδέονται ασύρματα και σχηματίζουν αυθαίρετες και απρόβλεπτες τοπολογίες.

4.2 Κίνητρο

Το Grid ως νέα τεχνολογία έχει επιφέρει ήδη σημαντικά αποτελέσματα, αλλά η εξέλιξη, η καθιέρωση και η διάδοσή του υπόσχονται πολλά περισσότερα, όπως έχουμε ήδη δει. Ταυτόχρονα, οι υπολογιστικές δυνατότητες των φορητών συσκευών αυξάνονται και το κόστος τους μειώνεται τόσο, ώστε να αποτελούν πλέον καθημερινά εργαλεία μίας ευρύτατης βάσης χρηστών παγκοσμίως. Αυτή η διάδοση των φορητών συσκευών σε συνδυασμό με την τεράστια ανάπτυξη της τεχνολογίας ασύρματων τηλεπικοινωνιών είναι άλλωστε και το κίνητρο και η βάση της ανάπτυξης και της διάδοσης του Mobile Computing το οποίο αξιοποιεί τις υπάρχουσες τεχνολογικές δυνατότητες και τις νέες συνήθειες και απαιτήσεις των «κινούμενων» χρηστών, επεκτείνοντάς αυτές ταυτόχρονα.

Σε αυτό το σημείο, συνδυάζοντας τις σύγχρονες πραγματικότητες και τάσεις, εντοπίζεται το κίνητρο για την ανάπτυξη του Mobile Grid. Είναι εμφανές ότι οι νέες δυνατότητες που υπόσχεται το Grid είναι επιθυμητό να παρέχονται σε όσο το δυνατό περισσότερους χρήστες, αξιοποιώντας τις νέες δυνατότητες και συνήθειες της κινητικότητας αυτών. Εξειδικεύοντας τα κίνητρα για την ανάπτυξη του Mobile Grid, βλέπουμε ότι οι ασύρματες συσκευές με τις συγκριτικά περιορισμένες δυνατότητές τους (χαμηλή υπολογιστική ισχύς, μικρή διάρκεια ζωής μπαταρίας, περιορισμένος χώρος αποθήκευσης) θα επωφεληθούν πάρα πολύ από τη δυνατότητα χρήσης μίας μεγάλης συλλογής πόρων που διατίθενται στο Grid [31].

Το Mobile Grid καθιστά δυνατή τόσο την κινητικότητα των χρηστών που ζητούν πρόσβαση σε ένα σταθερό Grid όσο και την κινητικότητα των πόρων που οι ίδιοι αποτελούν μέρος του Grid. Στην πρώτη περίπτωση, οι συσκευές των χρηστών αποτελούν διασυνδέσεις για το Grid, οπότε και οι φυσικοί περιορισμοί των συσκευών καθιστούν αναγκαία την προσαρμογή των υπηρεσιών που παρέχει το Grid στους κινούμενους χρήστες. Στη δεύτερη περίπτωση, τίθενται αρκετά ζητήματα αξιοπιστίας, αλλά αναφορικά με τις δυνατότητες απόδοσης, πρέπει να υπογραμμιστεί η μεγάλη βελτίωση που αυτή παρουσιάζει στις σύγχρονες φορητές συσκευές.

4.3 Χαρακτηριστικά

Το Mobile Grid είναι μία πλατφόρμα που αντιμετωπίζει το ζήτημα της κινητικότητας, καθιστώντας δυνατή την πρόσβαση, τόσο σταθερών όσο και κινούμενων χρηστών, σε σταθερούς και κινούμενους πόρους, χρησιμοποιώντας τις υποκείμενες τεχνολογίες διαφανώς και αποτελεσματικά. Η κινητικότητα περιλαμβάνει ένα σύνολο ζητημάτων που αφορούν τόσο τους χρήστες όσο και τον τρόπο επικοινωνίας και συνεργασίας.

Στόχοι της τεχνολογίας είναι δύο κατηγορίες χρηστών: οι χρήστες «νομάδες» που μετακινούνται μεταξύ διαφορετικών τερματικών και ζητούν κίνηση της συνόδου που δημιουργούν (κινητικότητα χρηστών). Οι «περιαγόμενοι» (roaming) χρήστες, από την άλλη πλευρά, μετακινούνται με τις ίδιες φορητές συσκευές και επιθυμούν να συνεχίσουν τη συνόδο που έχουν ξεκινήσει μεταξύ διαφορετικών περιοχών (κινητικότητα τερματικού). Και στις δύο περιπτώσεις το ενδιάμεσο λογισμικό πρέπει να κρύβει τις λεπτομέρειες της δυναμικής χρήσης των υπηρεσιών, όταν απαιτείται μετακίνηση της συνόδου, ενώ θα πρέπει να διαχειρίζεται όλες τις μεταβιβάσεις της συνόδου διαφανώς ως προς το χρήστη και ακόμα ως προς τις εφαρμογές. Ένα άλλο είδος κινητικότητας είναι η κινητικότητα υπηρεσιών η

οποία αναφέρεται στην ανάγκη διατήρησης των υπηρεσιών που λαμβάνει ένας χρήστης, ενόσω αυτός κινείται. Οι υπηρεσίες αυτές θα πρέπει να είναι ανεξάρτητες από τη συσκευή και από τη θέση του χρήστη [32].

Μία άλλη άποψη της κινητικότητας αναφέρεται στη διάκριση μεταξύ της ασύρματης δικτύωσης και των κινητών διεπαφών χρήστη. Στην ασύρματη δικτύωση, το πρόβλημα έγκειται στο γεγονός ότι οι συνδέσεις μεταβάλλονται σημαντικά ως προς την ποιότητα και το κόστος, ενώ αποσυνδέσεις μπορούν να συμβούν απρόσμενα, με αποτέλεσμα η σύγχρονη επικοινωνία να είναι αβέβαιη. Στην περίπτωση των κινητών διεπαφών χρηστών, το πρόβλημα έγκειται στο μικρό μέγεθος των συσκευών και στους περιορισμούς αυτών.

Θα πρέπει να τονιστεί ότι η κινητικότητα δίνει έμφαση στο ζήτημα της σύγχρονης επικοινωνίας. Η σύγχρονη επικοινωνία αποτελεί το κρισιμότερο ζήτημα σε ένα συνεργατικό περιβάλλον ομότιμων χρηστών. Τα προβλήματα επιτυχούς πραγμάτωσής της είναι πολλά, αλλά είναι αναγκαίο να αντιμετωπιστούν για την αποδοτική χρήση της νέας τεχνολογίας.

4.4 Προσδοκώμενα Αποτελέσματα – Απαιτήσεις

Το Mobile Grid θα εισαγάγει αλλαγές στη γενικότερη αντίληψη για το Grid. Θα χρειαστούν νέες λειτουργίες από τα Grids, καθώς οι παλιές δε θα αξιοποιούν πλήρως τις παρεχόμενες δυνατότητες. Αυτές οι λειτουργίες θα αντιμετωπίζουν ζητήματα QoS, ασφάλειας και διαλειτουργικότητας που προκύπτουν από την αστάθεια της δικτυακής υποδομής, από το μέγεθος και την ετερογένεια των περιβαλλόντων που διασυνδέονται.

Τα Mobile Grids θα αξιοποιούν τις δυνατότητες των φορητών συσκευών, καλύπτοντας τις απαιτήσεις που έχουν οι χρήστες τους. Οι απαιτήσεις αυτές προσδιορίζονται τόσο από τις αυξημένες δυνατότητες των συσκευών, όσο και από τις νέες συνήθειες που διαμορφώνει ο κινούμενος χρήστης και οι οποίες έχουν προκύψει λόγω της κινητής τηλεφωνίας αρχικά, όσο

και λόγω του mobile computing. Επιπλέον, αυτές οι νέες δυνατότητες μπορούν να αξιοποιηθούν επωφελώς από τους παρόχους υπηρεσιών. Αυτή η εξέλιξη με τη σειρά της θα επιφέρει αλλαγές σε αρκετά επιχειρηματικά μοντέλα και σε ζητήματα πολιτικών. Θα απαιτηθούν σύνθετες ροές εργασιών για επιχειρήσεις και οι εικονικοί οργανισμοί θα εμπλουτισθούν με τη δυνατότητα αυτόματων συνεργασιών και σχημάτων διαμοίρασης πόρων. Οι αποτιμήσεις των διαφοροποιούμενων υπηρεσιών αναφορικά με όψεις QoS θα πρέπει να προσαρμοστούν σύμφωνα με τα υπάρχοντα SLA. Οι επιχειρήσεις θα πρέπει να διατυπώσουν πολιτικές εξισορρόπησης των δημόσιων δικαιωμάτων των χρηστών και της αποδοτικής λειτουργίας. Επίσης πρέπει να επαναδιαπραγματευθούν ζητήματα δημόσιας πρόσβασης σε πόρους και ιδιοκτησίας υποδομών και πόρων, προκειμένου να επιτευχθεί η δίκαιη χρήση του Grid.

4.5 Παρούσα Κατάσταση – Υπάρχουσες υλοποιήσεις

Σήμερα βρίσκονται σε εξέλιξη δύο ερευνητικά έργα που επικεντρώνονται στο σχεδιασμό και την ανάπτυξη του Mobile Grid. Και τα δύο βρίσκονται σε πρώιμο στάδιο και αναμένεται να δώσουν τα πρώτα αποτελέσματα ως το τέλος του 2005.

Το K*Grid project [33] είναι μία πρωτοβουλία για έρευνα στο πεδίο του Grid η οποία υποστηρίζεται από το υπουργείο πληροφοριών και επικοινωνιών της Ν. Κορέας. Ο κύριος σκοπός του K*Grid project είναι η παροχή ενός ισχυρού ερευνητικού περιβάλλοντος για τη βιομηχανία και τον ακαδημαϊκό χώρο. Σε αυτό το έργο πραγματοποιείται μία μελέτη στις τεχνολογίες Mobile Grid η οποία χρησιμοποιεί αδρανείς πόρους από ένα μεγάλο σύνολο κινητών συσκευών, καθώς και η ανάπτυξη μίας πλατφόρμας Mobile Grid. Το πεδίο δράσης αυτής της προσπάθειας περιλαμβάνει την ανάλυση των ασύρματων κινητών δικτύων, συσκευών και τεχνολογιών, την ανάλυση των απαιτήσεων του Mobile Grid και το σχεδιασμό

και την υλοποίηση μίας πλατφόρμας Mobile Grid η οποία βασίζεται σε PDAs και στην τεχνολογία WLAN. Το AKOGRIMO project [34] είναι ένα έργο υπό ευρωπαϊκή χρηματοδότηση το οποίο αποσκοπεί στην ανάπτυξη της αρχιτεκτονικής και ενός πρωτοτύπου Next Generation Grid (NGG) το οποίο βασίζεται στην OGSA και αξιοποιεί και συνεργάζεται με τις αναπτυσσόμενες υποδομές Mobile Internet οι οποίες βασίζονται στο IPv6. Στα πλαίσια του έργου επιδιώκεται η αποτίμηση του Mobile Grid που θα προκύψει, μέσω δοκιμών που έχουν επιλεγθεί βάσει σύγχρονων αναπτυσσόμενων εφαρμογών στα πεδία e-Health, e-Learning και Διαχείρισης Κρίσεων.

4.6 Ζητήματα διαχείρισης πόρων σε Mobile Grids

Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζονται μερικές από τις μεγαλύτερες προκλήσεις στα Mobile Grids αναφορικά με το ζήτημα της διαχείρισης πόρων. Το ζήτημα αυτό είναι από τα κρισιμότερα γενικά στο πεδίο του Grid και ακόμη περισσότερο στο Mobile Grid, όπου οι πόροι χαρακτηρίζονται από ιδιαίτερους περιορισμούς. Η διερεύνηση αποδοτικών λύσεων για το ζήτημα αυτό αποτελεί και το θέμα της συγκεκριμένης εργασίας.

4.6.1 Ανακάλυψη και επιλογή πόρων

Το ευμετάβλητο περιβάλλον του Mobile Grid καθιστά απαραίτητη τη χρήση σύνθετων μηχανισμών για την ανακάλυψη και επιλογή πόρων. Ο κατάλογος των εξουσιοδοτημένων πόρων που είναι διαθέσιμοι στην υποδομή του Grid τροποποιείται διαρκώς. Η επιλογή των πόρων εκείνων που αναμένεται ότι θα ικανοποιήσουν τους περιορισμούς χρόνου και κόστους που τίθενται από το χρήστη, πρέπει να βασιστεί όχι μόνο σε ντετερμινιστικά κριτήρια, αλλά και σε στοχαστικές παραμέτρους, παρέχοντας έτσι σύνθετα πιθανοτικά μοντέλα για την τοπολογία των Grids και τις δυνατότητές τους. Μερικές από τις απαιτούμενες παραμέτρους είναι η ευκολία προσπέλασης των πόρων, ο φόρτος του

συστήματος, η επίδοση του δικτύου κλπ. Επιπλέον, κριτήριο επιλογής πόρων πρέπει να είναι και το κόστος χρήσης τους, όπως και άλλα οικονομικά χαρακτηριστικά τους, αφού το Mobile Grid απευθύνεται σε ένα ευρύ φάσμα χρηστών οι οποίοι επιθυμούν να χρησιμοποιούν το Grid για την επίλυση καθημερινών προβλημάτων.

4.6.2 Χρονοδρομολόγηση εργασιών

Το πρόβλημα της χρονοδρομολόγησης εργασιών ταξινομείται ως NP-complete [35][36] πρόβλημα λόγω του γεγονότος ότι πρέπει να εφαρμοστεί ένας αλγόριθμος ο οποίος θα κατανέμει εργασίες σε πόρους έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται η χρησιμοποίηση των πόρων και το κόστος χρήσης με ταυτόχρονη ικανοποίηση των περιορισμών που θέτουν οι χρήστες ως προς την ασφάλεια, την ποιότητα υπηρεσιών, την ανοχή σε σφάλματα κλπ. Σε ένα περιβάλλον Mobile Grid υπάρχουν πολύ περισσότεροι περιορισμοί οι οποίοι μπορούν να κάνουν το πρόβλημα της χρονοδρομολόγησης εργασιών ακόμη πολυπλοκότερο. Το κόστος των πόρων είναι σε αυτήν την περίπτωση μία μετρική η οποία υπόκειται στις παραμέτρους του περιβάλλοντος. Για παράδειγμα, σε μία μεγάλη αίθουσα συνεδρίων, τα πολλά notebooks που είναι συνδεδεμένα σε ασύρματα hotspots μπορούν να οδηγήσουν σε μία πολύ οικονομική λύση για «άμεσους» υπολογισμούς υψηλής επίδοσης, λόγω της μεγάλης συνολικής υπολογιστικής ισχύος. Έτσι τα κριτήρια βελτιστοποίησης για ένα μηχανισμό χρονοδρομολόγησης πρέπει να εξετάζουν όχι μόνο το κόστος και την επίδοση καθενός πόρου, αλλά και την τρέχουσα διαθεσιμότητα των πόρων που βρίσκονται στο άμεσο περιβάλλον και την αξιοπιστία τους προκειμένου να διατεθούν για την εκτέλεση της ζητούμενης εργασίας με τους εκάστοτε ισχύοντες περιορισμούς QoS.

4.6.3 Αντιγραφή, μετανάστευση και παρακολούθηση εργασιών

Ένα Mobile Grid είναι ένα δυναμικό σύστημα όπου οι περιβαλλοντικές συνθήκες υπόκεινται σε απρόσμενες αλλαγές: αποτυχίες συστήματος ή δικτύου, υποβάθμιση απόδοσης συστήματος, προσθήκη νέων μηχανών, μεταβολές στο κόστος των πόρων κλπ. Σε ένα τέτοιο περιβάλλον, η μετανάστευση (migration) και η χρονοδρομολόγηση εκ νέου των εργασιών, καθώς και η αντιγραφή των εργασιών και η από κοινού χρονοδρομολόγηση αποτελούν, από διαφορετικές οπτικές, αποδοτικούς τρόπους για την εγγύηση της ολοκλήρωσης των εργασιών, σύμφωνα με τους περιορισμούς που τίθενται από τους χρήστες. Η παρακολούθηση και ο περιοδικός έλεγχος των εργασιών, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις εργασιών μεγάλων χρόνων εκτέλεσης, αποτελούν λειτουργίες που πραγματοποιούνται δύσκολα σε δυναμικά περιβάλλοντα. Ειδικά η παρακολούθηση εργασιών είναι υπεύθυνη για την ανίχνευση έκτακτων καταστάσεων που θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε μετανάστευση της εργασίας, ενώ επίσης διαπιστώνει εάν μία εργασία έχει ολοκληρωθεί έτσι ώστε να αναστείλει/σταματήσει/ακυρώσει την εκτέλεση των άλλων αντιγράφων.

4.6.4 Διαχείριση αντιγράφων για μεγάλα σύνολα δεδομένων

Η διαχείριση αντιγράφων είναι ένα σημαντικό ζήτημα για έναν αριθμό εφαρμογών που χρησιμοποιούν μεγάλα σύνολα δεδομένων, όπως π.χ. επιστημονικές εφαρμογές που επεξεργάζονται πειραματικά αποτελέσματα, προσομοιώσεις και μοντέλα πρόβλεψης. Το πλήρες σύνολο δεδομένων ενός VO μπορεί να βρίσκεται σε μία ή περισσότερες φυσικές θέσεις και είναι πιθανό ότι κανένας οργανισμός δεν έχει επαρκή χώρο αποθήκευσης για να κρατήσει ένα πλήρες αντίγραφο. Αντίθετα, η συνήθης πρακτική είναι η κράτηση από κάθε οργανισμό αντιγράφων των τμημάτων του συνόλου δεδομένων που έχουν τη μεγαλύτερη σχέση με τον οργανισμό, σε τοπικούς χώρους αποθήκευσης, για ταχύτερη πρόσβαση σε

αυτά. Η διαχείριση αντιγράφων κρατεί στοιχεία για τα μέρη όπου βρίσκονται τμήματα του συνόλου δεδομένων, παρέχοντας αντιστοιχίσεις μεταξύ των λογικών ονομάτων των αρχείων και ενός ή περισσότερων αντιγράφων των αρχείων σε φυσικούς χώρους αποθήκευσης. Η αντιστοίχιση αυτή είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρον θέμα σε Mobile Grids, καθώς σε πολλές περιπτώσεις η πρόσβαση σε κάποιες φυσικές θέσεις μπορεί να είναι αδύνατη. Οι συσκευές αποθήκευσης διαρκώς αλλάζουν την κατάσταση σύνδεσής τους και μερικές φορές τη φυσική τους θέση, επιβάλλοντας έτσι διαφορετικά σχήματα για την πρόσβαση στα δεδομένα τους τα οποία περιλαμβάνουν πληροφορία με γνώση του περιβάλλοντος. Επιπλέον τα Mobile Grids πρέπει να μπορούν όχι μόνο να εντοπίζουν μία βάση δεδομένων που περιέχει τα επιθυμητά δεδομένα, αλλά και να αποφασίζουν εάν η θέση που εντοπίστηκε είναι η καταλληλότερη και η πιο αξιόπιστη (αναφορικά με την περίπτωση σφάλματος) προκειμένου να χρησιμοποιηθεί.

5 Η ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΑΚΟGRIMO ΓΙΑ ΚΙΝΗΤΑ ΠΛΕΓΜΑΤΑ

5.1 OGSA χαρακτηριστικά σε κινητά πλέγματα

Η Ανοιχτή Αρχιτεκτονική Υπηρεσιών Πλέγματος (OGSA), όπως είδαμε, καθορίζει ένα σύνολο ικανοτήτων και συμπεριφορών που πραγματεύονται βασικά θέματα στα συστήματα πλέγματος. Οι σημαντικότερες απαιτήσεις που καλύπτονται από την OGSA και που επηρεάζονται άμεσα από το θέμα της κινητικότητας χρηστών/πόρων/υπηρεσιών είναι:

Υποστήριξη δυναμικών και ετερογενών περιβαλλόντων: τα διαφορετικά περιβάλλοντα και οι πλατφόρμες (λειτουργικά συστήματα, δίκτυα, πλαίσια εφαρμογών) είναι τυπικώς παρόντα στις κινητές πλατφόρμες πλέγματος. Σε τέτοια πλαίσια είναι απαραίτητο ένα επίπεδο εφαρμογών με τυποποιημένες υπηρεσίες για απεικόνιση (virtualization) των πόρων, τη διαχείριση και την ανακάλυψη αυτών.

Κοινές διεπαφές που χρησιμοποιούν πρότυπα, ανοικτά και γενικής χρήσης πρωτόκολλα: Αυτό είναι για την επίτευξη ικανότητας άρθρωσης, κλιμάκωσης και διαλειτουργικότητας στα πλαίσια των σύνθετων και ετερογενών κινητών περιβαλλόντων.

Συντονισμένη διοικητική διαχείριση: Οι εφαρμογές κινητού πλέγματος θα πρέπει να έχουν αυτοματοποίηση των κοινών διοικητικών λειτουργιών προκειμένου να αποφεύγουν συχνά ανθρώπινα λάθη κατά τη διάρκεια της λειτουργίας και να διαχειριστούν τα πολύ μεγάλης κλίμακας συστήματα, ειδικά για τις περιπτώσεις πραγματικού χρόνου.

Διαμοιρασμός πληροφορίας και πόρων σε διαφορετικές διοικητικές περιοχές: Τα πλέγματα που είναι συμβατά με την OGSA αρχιτεκτονική υποστηρίζουν πρότυπα πρωτόκολλα και σχήματα (schemas), σφαιρικό χειρισμό ονομάτων, υπηρεσίες μεταδεδομένων, διαχείριση

αυτονομίας περιοχών. Κατ' αυτό τον τρόπο οι εφαρμογές μπορούν να βελτιώσουν τον διαμοιρασμό των πόρων τους σε ένα ευρείας κλίμακας κατανεμημένο περιβάλλον.

Σε αυτήν την μελέτη το σύνολο των απαιτήσεων εμπλουτίζεται επίσης με τη βασική προϋπόθεση για ύπαρξη κινητικότητας χρηστών και πόρων. Το ζήτημα της κινητικότητας δεν τονίζει απαραίτητως τις απαιτήσεις με έναν τρόπο που θα άλλαζε την πρωτογενή λειτουργία μιας υποδομής πλέγματος. Αυτό που συμβαίνει είναι να επιτρέπουν σε ένα περιβάλλον υπολογιστικού πλέγματος την κινητοποίηση των πόρων του με έναν ενιαίο και διαφανή τρόπο προς τον τελικό χρήστη. Παραδείγματος χάριν, ένας χρήστης μπορεί να ανοίξει μια σύνοδο σε έναν τερματικό σταθμό στο γραφείο του και να ζητήσει έπειτα τη μετακίνησή της σε έναν προσωπικό υπολογιστή στο σπίτι του (κινητικότητα χρήστη).

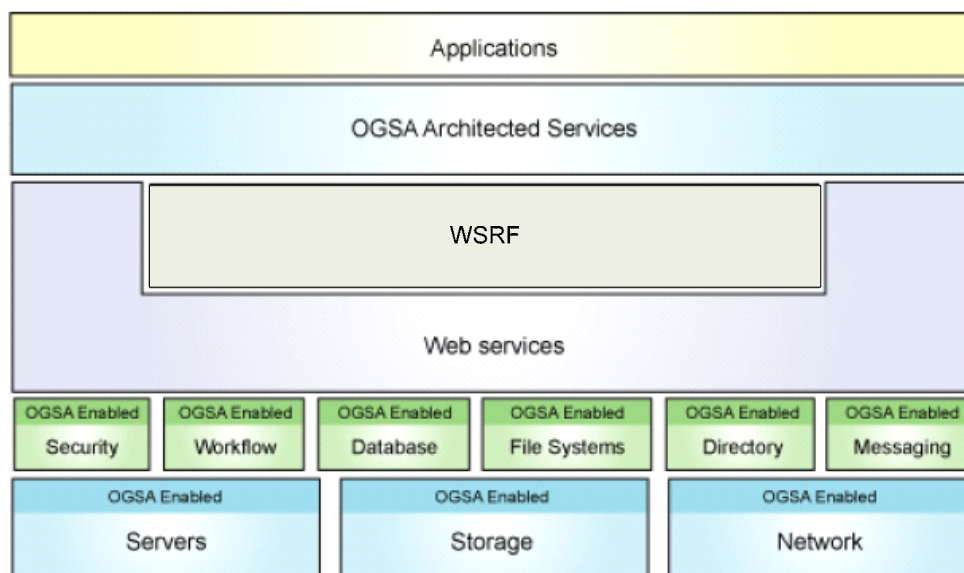
Η απαίτηση για κινητικότητα καλύπτεται με την χρήση του Πρωτοκόλλου Κινητού Διαδικτύου έκδοσης 6 (Mobile Internet Protocol v6) που επιτρέπει στους χρήστες να κινηθούν με τις συσκευές τους μέσω των διαφορετικών δικτύων χωρίς αλλαγή στις διαθέσιμες υπηρεσίες. Με τη χρησιμοποίηση του MIPv6 το επίπεδο δικτύου χειρίζεται αποκλειστικά αυτήν την μετακίνηση ενώ τόσο το επίπεδο μεσολογισμικού όσο και εκείνο της εφαρμογής έχουν άγνοια αυτής. Οι μετακινήσεις αυτές είναι δυνατές χωρίς οι τρέχουσες συνδέσεις να ενοχλούνται και χωρίς οι εφαρμογές να γνωρίζουν την αλλαγή της θέσης της συσκευής. Το MIPv6 διαχειρίζεται την κινητικότητα με τη διεύθυνση IP της συσκευής.

5.2 Η OGSA-διαστρωματωμένη αρχιτεκτονική *Akogrimo*

Η μέχρι τώρα ανάλυση έχει δείξει ένα σύνολο στόχων που μια συμβατή αρχιτεκτονική OGSA πρέπει να εκπληρώσει. Αυτοί περιλαμβάνουν:

- Διαχείριση των πόρων σε κατανεμημένες ετερογενείς πλατφόρμες.

- Παροχή αδιάλειπτης Ποιότητας Υπηρεσίας (QoS). Η τοπολογία των πλεγμάτων είναι συχνά σύνθετη και επιπλέον η αλληλεπίδραση των πόρων πλέγματος είναι συνήθως δυναμική. Είναι επίσης σημαντικό ότι το πλέγμα πρέπει να παρέχει ανθεκτικές υπηρεσίες που να λειτουργούν στο υπόβαθρο όπως η έγκριση, ο έλεγχος πρόσβασης, και η αντιπροσωπεία (delegation).
- Παροχή μιας κοινής βάση για λύσεις αυτόνομης διοίκησης. Ένα πλέγμα μπορεί να περιέχει πολλούς πόρους με πολυάριθμους συνδυασμούς διαμορφώσεων, αλληλεπιδράσεων, και μεταβαλλόμενων καταστάσεων και τρόπων αποτυχίας. Συνεπώς κάποια μορφή ευφυούς και αυτόνομης διαρρύθμισης και διαχείρισης αυτών των πόρων είναι απαραίτητη.
- Ορισμό ανοικτών, δημοσιευμένων διεπαφών. Η OGSA είναι ένα ανοικτό πρότυπο διοικούμενο από τον οργανισμό προτυποποίησης GGF. Για τη διαλειτουργικότητα των διαφορετικών πόρων, τα πλέγματα πρέπει να στηριχτούν σε προτυποποιημένες διεπαφές και πρωτόκολλα.



Εικόνα 8: OGSA-διαστρωματωμένη αρχιτεκτονική

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή

Όπως καθορίζεται λοιπόν μέσα στην OGSA αρχιτεκτονική υφίσταται μια διαστρωμάτωση 4 επιπέδων (όπως φαίνεται στην Εικόνα 8) τα οποία είναι:

1. Φυσικό και λογικό στρώμα των πόρων

Η έννοια των πόρων είναι κεντρική στην OGSA και στο υπολογιστικό πλέγμα γενικότερα. Οι φυσικοί πόροι περιλαμβάνουν τις ικανότητες του πλέγματος, και δεν περιορίζονται μόνο στους επεξεργαστές. Οι φυσικοί πόροι περιλαμβάνουν τους κεντρικούς υπολογιστές, τις συσκευές αποθήκευσης, και το δίκτυο με τα στοιχεία του. Επάνω από τους φυσικούς πόρους είναι λογικοί πόροι. Αυτοί παρέχουν μια πρόσθετη λειτουργία με τη λεγόμενη απεικόνιση (virtualizing) και τη συνάθροιση των πόρων στο φυσικό στρώμα. Το μεσολογισμικό γενικού σκοπού όπως τα συστήματα αρχείων, τα συστήματα διαχείρισης βάσεων δεδομένων, οι κατάλογοι, και οι διαχειριστές ροής εργασιών παρέχουν αυτές τις αφηρημένες υπηρεσίες πάνω από το φυσικό πλέγμα. Σημειώνουμε ότι Akogrimo πηγαίνει περαιτέρω σε αυτό το ζήτημα, δεδομένου ότι σε αυτό το ίδιο στρώμα ενσωματώνονται επίσης (βλ. π.χ. [37]) πόροι δικτύου, καθώς επίσης και η απεικόνιση (virtualization) αυτών στο περιβάλλον πλέγματος.

2. Στρώμα υπηρεσιών Ιστού

Το δεύτερο στρώμα στην αρχιτεκτονική OGSA είναι υπηρεσίες Ιστού. Όλοι οι πόροι πλέγματος και λογικοί και φυσικοί, διαμορφώνονται ως υπηρεσίες. Το πλαίσιο των πόρων υπηρεσιών Ιστού (WSRF) καθορίζει μια οικογένεια των προδιαγραφών για την πρόσβαση των stateful πόρων χρησιμοποιώντας τις υπηρεσίες Ιστού. Περιλαμβάνει όπως έχουμε δει τις προδιαγραφές WS- ResourceProperties, WS- ResourceLifetime, WS- BaseFaults, και WS- ServiceGroup. Το κίνητρο για αυτές τις νέες προδιαγραφές είναι ότι ενώ οι εφαρμογές υπηρεσιών Ιστού χαρακτηριστικά δεν διατηρούν πληροφορίες σχετικά με τις καταστάσεις

τους κατά τη διάρκεια των αλληλεπιδράσεών τους, οι διεπαφές τους πρέπει συχνά να επιτρέψουν το χειρισμό των καταστάσεων, δηλαδή τιμές στοιχείων που παραμένουν και εξελίσσονται ως αποτέλεσμα των αλληλεπιδράσεων υπηρεσιών Ιστού.

3. OGSA το στρώμα υπηρεσιών πλέγματος

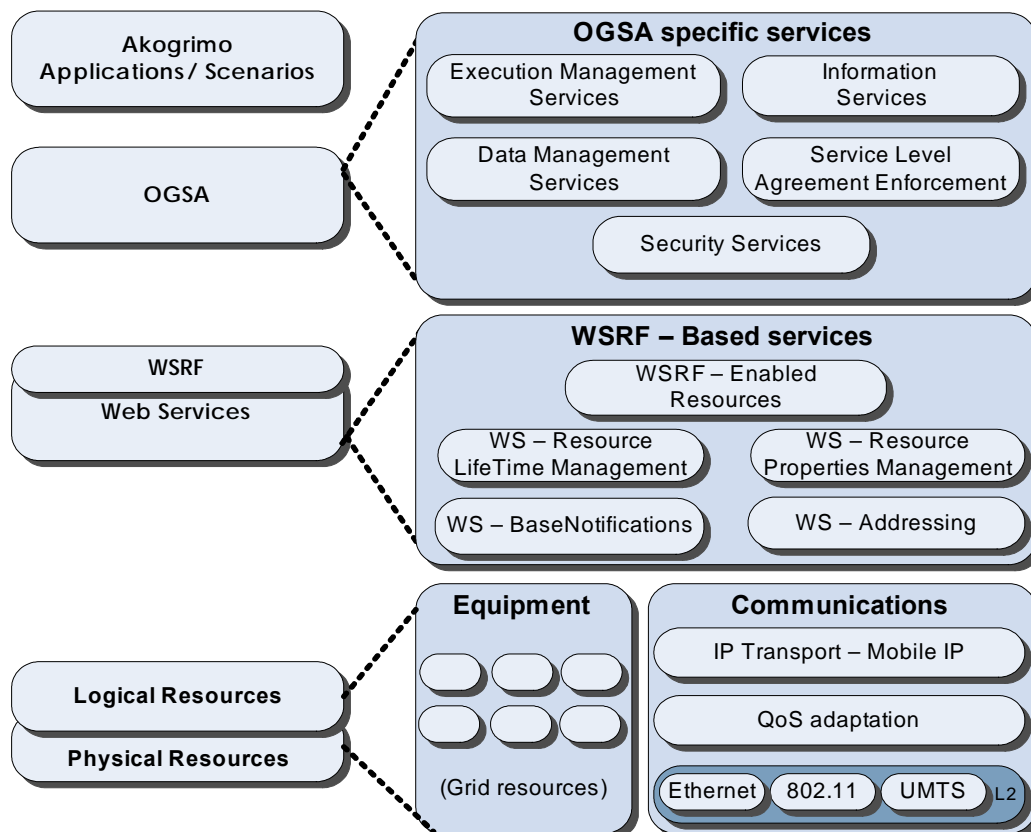
Το στρώμα υπηρεσιών Ιστού, μαζί με το WSRF, παρέχει μια υποδομή βάσης για το επόμενο στρώμα με τις OGSA υπηρεσίες. Το GGF και οι ομάδες εργασίας που το απαρτίζουν εργάζονται αυτήν την περίοδο για να καθορίσει και να οριστικοποιήσει πολλές από αυτές τις υπηρεσίες στις αντίστοιχες περιοχές (όπως η εκτέλεση προγράμματος, οι υπηρεσίες δεδομένων κ.ά). Μερικές έχουν ήδη οριστικοποιηθεί και έχουν αρχίσει να εμφανίζονται εφαρμογές τους.

4. Στρώμα εφαρμογών πλέγματος

Κατά τη πάροδο του χρόνου, καθώς διάφορες υπηρεσίες προσανατολισμένες στο πλέγμα συνεχίζουν να αναπτύσσονται, νέες εφαρμογές πλέγματος εμφανίζονται επίσης που τις χρησιμοποιούν. Αυτές οι εφαρμογές περιλαμβάνουν το τέταρτο κύριο στρώμα της αρχιτεκτονικής OGSA, προέρχονται συνήθως από τις διάφορες επιστημονικές και επιχειρησιακές περιοχές και περιλαμβάνουν μεταξύ των άλλων βιοπληροφορική και βιοϊατρική, εφαρμοσμένη μηχανική και κατασκευές, την οικονομία, την εκπαίδευση κ.λπ. Για τους σκοπούς του συστήματος Akogrimo έχει υιοθετηθεί μια εφαρμογή υγείας e-Health που προσφέρει μια σουίτα ηλεκτρονικών υγειονομικών υπηρεσιών.

5.3 Τοποθέτηση του Grid στην Αρχιτεκτονική Akogrimo

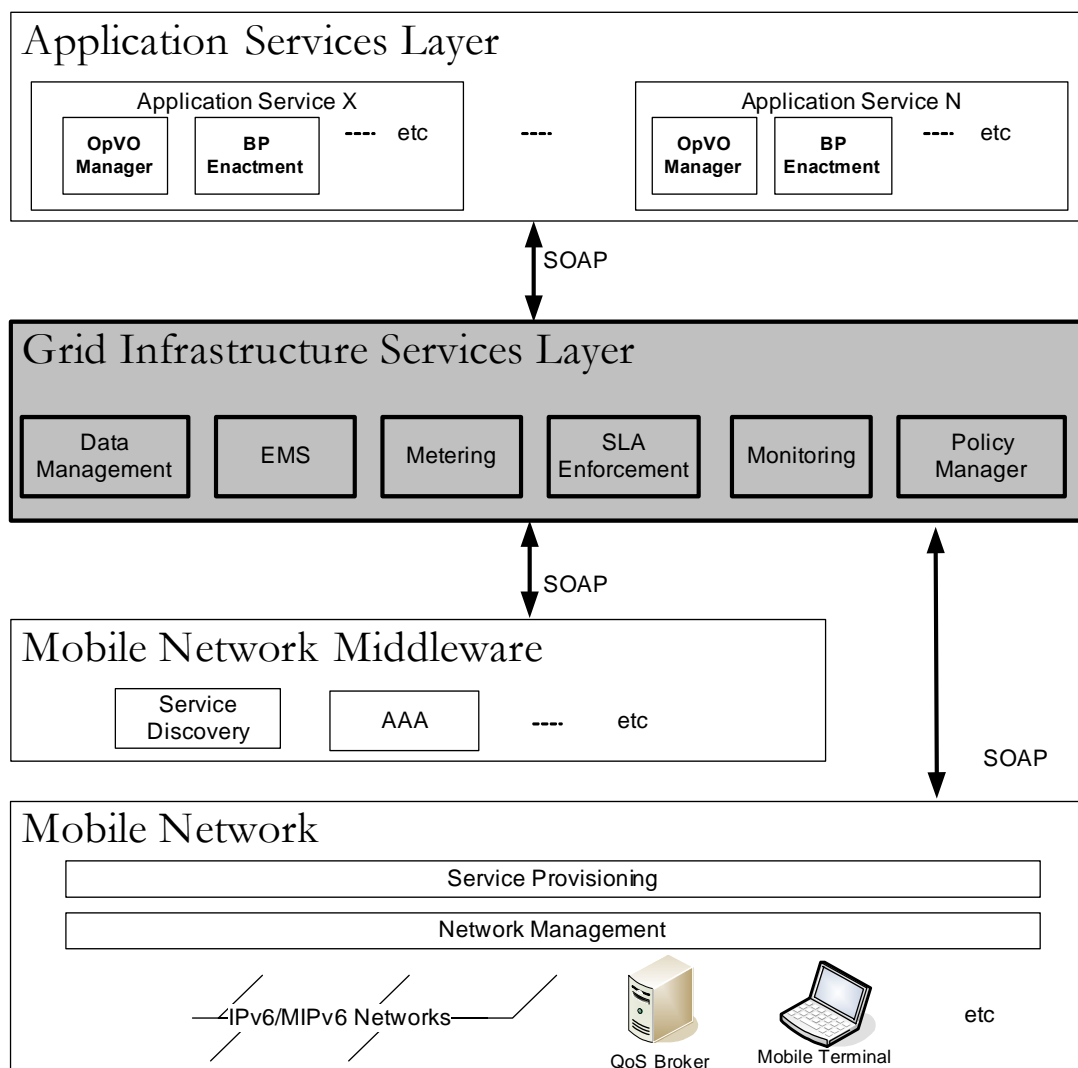
Το στρώμα υποδομής πλέματος του Akogrimo τοποθετείται στη μέση της διαστρωματωμένης αρχιτεκτονικής και συμμετέχει ως "κόλλα" πλέματος στην ευρύτερη λειτουργία του συστήματος Akogrimo και των υποσυστημάτων του. Ο βασικός σκοπός αυτού του στρώματος είναι να παρασχεθούν οι συγκεκριμένες υπηρεσίες OGSA που εφαρμόζονται μέσω του πλαισίου WSRF. Εντούτοις, δεδομένου ότι η αρχιτεκτονική OGSA είναι ακόμα σε μια προδιαγραφή σχεδίων και επιπλέον στοχεύει να αντιμετωπίσει ένα ευρύ σύνολο ζητημάτων (μερικές φορές όχι απαραίτητως σε όλες τις αρχιτεκτονικές) η κοινοπραξία Akogrimo έχει προσδιορίσει ένα συγκεκριμένο σύνολο ικανοτήτων που θα επιθυμούσε να ενσωματώσει στην αρχιτεκτονική του συστήματος κινητού πλέματος.



Εικόνα 9: Η εστίαση της υποδομής πλέματος Akogrimo ως προς την OGSA

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή

Η Εικόνα 9 δίνει μια εννοιολογική επισκόπηση του στρώματος υπηρεσιών υποδομής πλέγματος όσον αφορά τις συγκεκριμένες υπηρεσίες OGSA που εξετάζονται στο πρόγραμμα Akogrimo και τον προσδιορισμό της θέσης τους στη διαστρωματωμένη προσέγγιση που ακολουθείται.



Εικόνα 10: Το στρώμα υποδομής πλέγματος σε όλη την Αρχιτεκτονική του Akogrimo

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή

Στην προτεινόμενη αρχιτεκτονική του συστήματος Akogrimo η λειτουργία πλέγματος ολόκληρης της υποδομής παρέχεται από το επίπεδο "υποδομής πλέγματος". Αυτό το επίπεδο αποτελείται από το επίπεδο WSRF και τα στρώματα υπηρεσιών OGSA, που τοποθετούνται στη μέση της αρχιτεκτονικής συμμετέχοντας ως η "κόλλα πλέγματος" στη λειτουργία του συστήματος Akogrimo.

Το βασικό κίνητρο αυτού του στρώματος είναι να παρασχεθούν οι συγκεκριμένες υπηρεσίες OGSA μέσω του πλαισίου του WSRF. Δεδομένου ότι η αρχιτεκτονική OGSA είναι ακόμα σε φάση σχεδιασμού, και επιπλέον στοχεύει να αντιμετωπίσει ένα ευρύ σύνολο ζητημάτων (μερικές φορές μη απαραίτητων σε όλες τις αρχιτεκτονικές), στα πλαίσια του προγράμματος Akogrimo έχουν προσδιοριστεί συγκεκριμένα σύνολα ικανοτήτων που ενσωματώνονται στην αρχιτεκτονική του συστήματος.

Η Εικόνα 10 δίνει μια λειτουργική επισκόπηση της ολικής διαστρωμάτωσης των υπηρεσιών, όπως αυτές ορίζονται στην αρχιτεκτονική του Akogrimo, απεικονίζοντας τα κύρια αρχιτεκτονικά συστατικά που αυτή αποτελείται αλλά και τον προσδιορισμό της θέσης τους μέσα σε αυτό.

Ο βασικός ρόλος του στρώματος αυτού είναι να ρυθμίζει την εκτέλεση των υπηρεσιών κατόπιν αιτήσεως του στρώματος Υπηρεσιών Εφαρμογής, στοχεύοντας στο να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις πλέγματος, που αφορούν ζητήματα εκτέλεσης (ρυθμοαπόδοση εργασίας, αποδοτικότητα, μέγιστη χρησιμοποίηση των πόρων) με έναν διαφανή τρόπο στο χρήστη και που προσαρμόζονται στην καθορισμένη συμφωνία επιπέδου υπηρεσιών (SLA). Αυτό το στρώμα παρέχει τις υπηρεσίες για τη διαχείριση της εκτέλεση εργασιών που προέρχονται από το στρώμα υπηρεσιών εφαρμογής.

Ακριβέστερα, το στρώμα υπηρεσιών υποδομής πλέγματος αλληλεπιδρά με:

- *Στρώμα Υπηρεσιών Εφαρμογής*, για να λάβει τις εργασίες που εκτελούνται και για να προσδιορίσουν την αντιστοιχία των συμβολαίων SLAs και των πολιτικών που θα ρυθμίσουν και θα επηρεάσουν την κάθε εκτέλεση.
- *Στρώμα Μεσολογισμικού Κινητού Δικτύου*, κυρίως προκειμένου να ανακαλυφθούν οι υπηρεσίες (service discovery), να ελεγχθούν οι πληροφορίες που αφορούν το περιβάλλον χρήστη (user's context) και να υπάρξει πρόσβαση στο σύστημα Authentication, Authorization, Accounting (AAA).
- *Στρώμα Κινητού Δικτύου* προκειμένου να εκτελεσθούν οι διάφορες ενέργειες που αφορούν το δίκτυο (παραδείγματος χάριν δέσμευση QoS εύρους ζώνης για διάφορες υπηρεσίες μέσω της εκ των προτέρων δέσμευσης των πόρων δικτύου).

Οι βασικές λειτουργίες που πρέπει να υποστηριχθούν από το στρώμα υπηρεσιών υποδομής πλέγματος, οι οποίες έχουν προσδιοριστεί από την κοινοπραξία και είναι κοινές με το σχέδιο OGSA, μπορούν να ταξινομηθούν ως εξής:

Υπηρεσίες Διαχείρισης Εκτέλεσης: Αυτή η κατηγορία υπηρεσιών περιλαμβάνει όλη τη λειτουργία που αφορά τα προβλήματα σχετικά με τη διαχείριση των εργασιών, όπως η ανάθεση των εργασιών στους πόρους, η δημιουργία ενός σχεδίου εκτέλεσης εργασιών, η εξισορρόπηση του φόρτου εργασίας, η βελτιστοποίηση της εκτέλεσης, και η δημιουργία αντιγράφων εργασιών για θέματα ανοχή σφαλμάτων.

Διαχείριση Δεδομένων: Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει όλο το σύνολο λειτουργιών που αφορά την πρόσβαση και τη μετακίνηση μεγάλων συνόλων δεδομένων, καθώς επίσης και το διαμοιρασμό δεδομένων, την αντιγραφή και την αρχειοθέτηση τους κ.λπ..

Έλεγχος: Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει τις υπηρεσίες που εστιάζουν στον έλεγχο και τη διαχείριση των υπηρεσιών Ιστού μέσα στο στρώμα.

SLA: Οι υπηρεσίες αφορούν την επιβολή των συμβατικών όρων συμφωνίας επιπέδου υπηρεσιών που επηρεάζουν την εκτέλεση των εργασιών μέσα στο στρώμα.

Μέτρηση χρήσης πόρων: Υπηρεσίες που είναι συμπληρωματικές στις ελεγκτικές και λογιστικές (accounting) υπηρεσίες και ασχολούνται ειδικά με τη μέτρηση της χρήσης των πόρων του πλέγματος.

Πολιτική διαχείρισης: Αυτή η κατηγορία υπηρεσιών περιλαμβάνει τη λειτουργία που αφορά τη διαχείριση των κανόνων και πολιτικών που ισχύουν στην εκτέλεση των υπηρεσιών μέσα στην αρχιτεκτονική Akogrimo.

Ασφάλεια: Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει τις υπηρεσίες που αφορούν ζητήματα ασφάλειας του συγκεκριμένου στρώματος και που οφείλουν να συνεργάζονται με τις μεθόδους και τεχνικές ασφαλείας που υιοθετούνται στα υπόλοιπα στρώματα. Περιλαμβάνει μεταξύ άλλων τις υπηρεσίες που θα εξετάσουν την εμπιστευτικότητα των επικοινωνιών και την έγκριση για εκτέλεση εργασιών μέσα στο σύστημα.

5.4 Η ανάγκη για κινητικότητα με χαρακτηριστικά QoS

Η κινητικότητα είναι μια ουσιαστική πτυχή για την αρχιτεκτονική που ορίζεται. Προκειμένου να παρασχεθεί στους χρήστες ένα ενιαίο περιβάλλον, οι διαφορετικοί τύποι κινητικότητας πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά το σχεδιασμό.

Terminal mobility: επιτρέπει σε ένα κινητό τερματικό να διατηρήσει τη σύνδεσή του στο δίκτυο όταν αλλάζει τα σημεία πρόσβασης. Αυτό επιτυγχάνεται από το κινητό πρωτόκολλο MIPv6 [38], ενισχυμένο με γρήγορους μηχανισμούς κινητικότητας [39].

User mobility: επιτρέπει στο χρήστη την πρόσβαση στις εξατομικευμένες υπηρεσίες ανεξάρτητα από τη συσκευή του που χρησιμοποιεί. Η κινητικότητα αυτή παρέχεται από ένα προσανατολισμένο προς το χρήστη πλαίσιο ασφάλειας και πιστοποίησης. Ο χρήστης πρέπει

να επιτελέσει την εγγραφή του στο δίκτυο και στην υποδομή πλέγματος πριν χρησιμοποιήσει τις υπηρεσίες δικτύων. Αυτή η διαδικασία εγγραφής συνδέει το χρήστη με το τερματικό [40].

Session mobility: επιτρέπει τη μεταφορά των συνόδων εφαρμογής μεταξύ των διαφορετικών συσκευών χωρίς διακοπή. Αυτό επιτυγχάνεται με το πρωτόκολλο Session Initiation Protocol (SIP) [41]. Το SIP μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο από το χρήστη όσο και από την υποδομή πλέγματος, για να κατευθύνει τις επικοινωνίες (π.χ. επίδειξη εικόνας) στις διαφορετικές συσκευές, που διατηρούν την προαναφερθείσα ένωση χρηστών.

Η από άκρο σε άκρο παροχή QoS είναι ζωτικής σημασίας για το πλέγμα και αυτό πρέπει να υποστηριχθεί επίσης από το στρώμα επικοινωνίας. Για να κάνει μια αποτελεσματική χρήση των πόρων δικτύου και για να βεβαιώσει ότι ένας χρήστης μπορεί να χρησιμοποιήσει τις υπηρεσίες στις οποίες έχει δικαίωμα χωρίς διακοπές, το στρώμα κινητών δικτύων θα εφαρμόσει την ποιότητα υπηρεσίας, για όλους τους τύπους κινητικότητας. Η QoS εφαρμογή χρησιμοποιεί ένα υβριδικό IntServ[42] / DiffServ[43] πρότυπο QoS προκειμένου να αποφευχθούν τα προβλήματα κλιμάκωσης του IntServ και το άκαμπτο σύστημα ελέγχου του DiffServ. Το QoS σύστημα επιτρέπει τις εξειδικευμένες δεσμεύσεις QoS στα δίκτυα πρόσβασης (ακολουθώντας το μοντέλο Intserv), αλλά και συναθροίζει διαφορετικές ροές με τις ίδιες απαιτήσεις QoS στο κεντρικό δίκτυο (το μοντέλο Diffserv).

Για λόγους υλοποίησης και κλιμάκωσης, το δίκτυο υποστηρίζει καλά καθορισμένες δέσμες QoS, που επηρεάζονται έντονα από τα υπάρχοντα πρότυπα για τις κινητές τεχνολογίες (όπως Universal Mobile Telecommunications System, UMTS). Κάθε μια από τις τρεις καθορισμένες δέσμες σχεδιάζεται για ένα συγκεκριμένο προφίλ χρήσης, όπως ήχος, βίντεο και δεδομένα. Μια δέσμη QoS αποτελείται από διάφορες καλά καθορισμένες υπηρεσίες, τις

οποίες ο το χρήστης μπορεί να επιλέξει όταν χρησιμοποιεί το δίκτυο του Akogrimo. Ο

Πίνακας 1 παρουσιάζει αυτές τις δέσμες.

Bundle 1	Bundle 2	Bundle 3
Mix audio + data	High data + video	Mostly voice
10 – Interactive	20 – Interactive	10 – Interactive
100 – Data	1000 – Data	1 – Priority
1 – Priority	200 – Priority	1 – Signalling
1 – Signalling	1 – Signalling	250 – Best Effort
250 – Best Effort		

Πίνακας 1: Δέσμες QoS, τιμές (σε Kbytes/s) και χρήση

Signalling: Αυτή είναι κυκλοφορία που απαιτείται ώστε να διατηρηθεί και να υποστηριχθεί η υποδομή δικτύων και επομένως είναι η πιο υψηλή προτεραιότητα. Είναι χρονικά κρίσιμη και, στην πραγματικότητα, ουσιαστική για τις διαδικασίες των δικτύων συνολικά. Τυπικά οι απαιτήσεις εύρους ζώνης της είναι πολύ χαμηλές. Οι κρίσιμες εντολές υποδομής πλέγματος χαρακτηρίζονται ως τέτοιες.

Interactive real-time: Αυτή είναι επίσης χρονικά κρίσιμη κυκλοφορία που χρησιμοποιείται κυρίως για την τηλεδιάσκεψη ή άλλες ακουστικές επικοινωνίες. Οι διαδραστικές εφαρμογές πολυμέσων είναι πολύ ευαίσθητες στις καθυστερήσεις. Οι καθυστερήσεις που επιτρέπουν τη βέλτιστη λειτουργία των διαδραστικών εφαρμογών είναι μικρότερες από 100ms. Η καθυστέρηση διάδοση σήματος, το jitter αλλά και τα εκτός σειράς πακέτα έχουν επίσης επιπτώσεις στις μεταδόσεις φωνής.

Priority: Αυτός ο τύπος κυκλοφορίας δεν είναι χρονικά κρίσιμος, αλλά είναι σημαντικός, όπως για ροή πολυμέσων (multimedia streaming), ή κάποια ανταλλαγή δεδομένων εφαρμογής πλέγματος. Είναι πιο υψηλή προτεραιότητα από τη μεταφορά δεδομένων (data transfer), αλλά τυπικά έχει χαμηλότερο εύρος ζώνης διαθέσιμο.

Data Transfer: Η μεταφορά δεδομένων είναι κάπου μεταξύ της προτεραιότητας (priority) και της καλύτερης προσπάθειας (best effort). Αυτός ο τύπος κυκλοφορίας δεν είναι χρονικά κρίσιμος αλλά μπορεί να είναι ευαίσθητος ως προς τις απώλειες. Επιπλέον, εκτός σειράς πακέτα συνήθως δεν αποτελούν ανησυχία για τις εφαρμογές που χρησιμοποιούν τη μεταφορά δεδομένα.

Best Effort: Όπως το όνομα υπονοεί αυτή η υπηρεσία προσφέρει την καλύτερη προσπάθεια. Εάν οι συνθήκες δικτύων είναι καλές, τότε θα καταβληθεί η καλύτερη δυνατή προσπάθεια για εξυπηρέτηση των πακέτων, κάτι που γίνεται ιδανικό για τις εφαρμογές. Εάν όμως το δίκτυο φορτώνεται βαριά, τότε η υπηρεσία θα επηρεαστεί με τρόπο που δεν μπορεί να προσδώσει καμία εγγύηση. Αυτός ο τύπος κυκλοφορίας είναι βασικά αυτός που παρέχει το Διαδίκτυο.

Η οντότητα του στρώματος δικτύων που χειρίζεται τα αιτήματα QoS είναι ο λεγόμενος Μεσίτης QoS (QoS Broker). Αυτός έχει τις πληροφορίες για το χρήστη και για την τρέχουσα κατάσταση του δικτύου. Γνωρίζει εάν ένας χρήστης έχει την άδεια να χρησιμοποιήσει ένα ορισμένο επίπεδο QoS, όπως επίσης εάν το δίκτυο θα το υποστηρίξει δεδομένης της παρούσας κυκλοφορίας του. Προκειμένου να επιτραπεί στο EMS να εκτελέσει αιτήματα QoS, ο μεσίτης QoS διαθέτει μια διεπαφή συγκεκριμένα για την αλληλεπίδραση του με το EMS. Αυτή είναι μια διεπαφή μεταξύ διαφορετικών στρωμάτων και είναι βασισμένη στις υπηρεσίες ιστού και το πρότυπο OGSA. Κατά συνέπεια, οι υπηρεσίες δικτύων γίνονται μέρος της ροής εργασιών, και καθορίζονται τόσο σύμφωνα με το προφίλ του χρήστη (και τις υπηρεσίες που αυτός έχει εγγραφεί) όσο και σύμφωνα με τις τρέχουσες διαδικασίες της ροής (π.χ. η κατάσταση έκτακτης ανάγκης για υποστήριξη ζωής αγνοεί τις συμβατικές απαιτήσεις άλλων χρηστών).

Γενικά, λαμβάνοντας υπόψη την εκτέλεση μιας ροής εργασιών, το στρώμα δικτύων χειρίζεται την κινητικότητα, τη μετακίνηση συνόδου και το QoS σε επίπεδο δικτύου ανεξάρτητα, χωρίς επέμβαση του στρώματος πλέγματος. Εάν κάποιες μη αναμενόμενες αλλαγές συμβούν (π.χ. κινητικότητα συνόδου από ένα κινητό τηλέφωνο σε μια υψηλής ποιότητας και πιστότητας οθόνη) το στρώμα δικτύων ζητά και λαμβάνει (πάλι) τις οδηγίες για το πώς να τις χειριστεί από το διευθυντή ροής εργασιών (workflow manager).

5.5 Χτίζοντας «πλεγματοποιημένες» εφαρμογές

5.5.1 Στρώμα Υπηρεσιών Εφαρμογής

Σε αυτό το περιβάλλον, κάθε υπηρεσία εφαρμογής που ζητά ένας πελάτης διαμορφώνεται ως ένα στιγμιότυπο μιας επιχειρησιακής διαδικασίας. Η επιχειρησιακή διαδικασία αντιπροσωπεύει ένα σύνολο μιας ή περισσότερων συνδεδεμένων διαδικασιών ή δραστηριοτήτων που συγκεντρωτικά πραγματοποιούν έναν επιχειρησιακό αντικειμενικό σκοπό, συνήθως μέσα στο πλαίσιο μιας οργανωτικής δομής, καθορίζοντας τους λειτουργικούς ρόλους και τις σχέσεις. Πίσω από την επιχειρησιακή διαδικασία υπάρχει μια (ή περισσότερες) ροή εργασίας που αντιπροσωπεύει την αυτοματοποίηση της επιχειρησιακής διαδικασίας. Κάθε ροή συντονίζει και διαχειρίζεται τις συστατικές υπηρεσίες ή τις εμπλεκόμενες οντότητες στην αυτοματοποίηση της επιχειρησιακής διαδικασίας. Αυτή η διαδικασία συντονισμού των διαδικασιών που διενεργούνται από τις ροές που συνδέονται με μια επιχειρησιακή διαδικασία καλείται ως θέσπιση επιχειρησιακής διαδικασίας..

Στο πλέγμα, μια εικονική οργάνωση (VO) παρέχει υπηρεσίες και τα μέσα για να τις διαχειριστεί και να τις συντονίσει. Στο πλαίσιο Akogrimo επεκτείνεται ο καθορισμός του VO με τον ακόλουθο τρόπο: Θεωρούμε το VO ως κινητή δυναμική εικονική οργάνωση

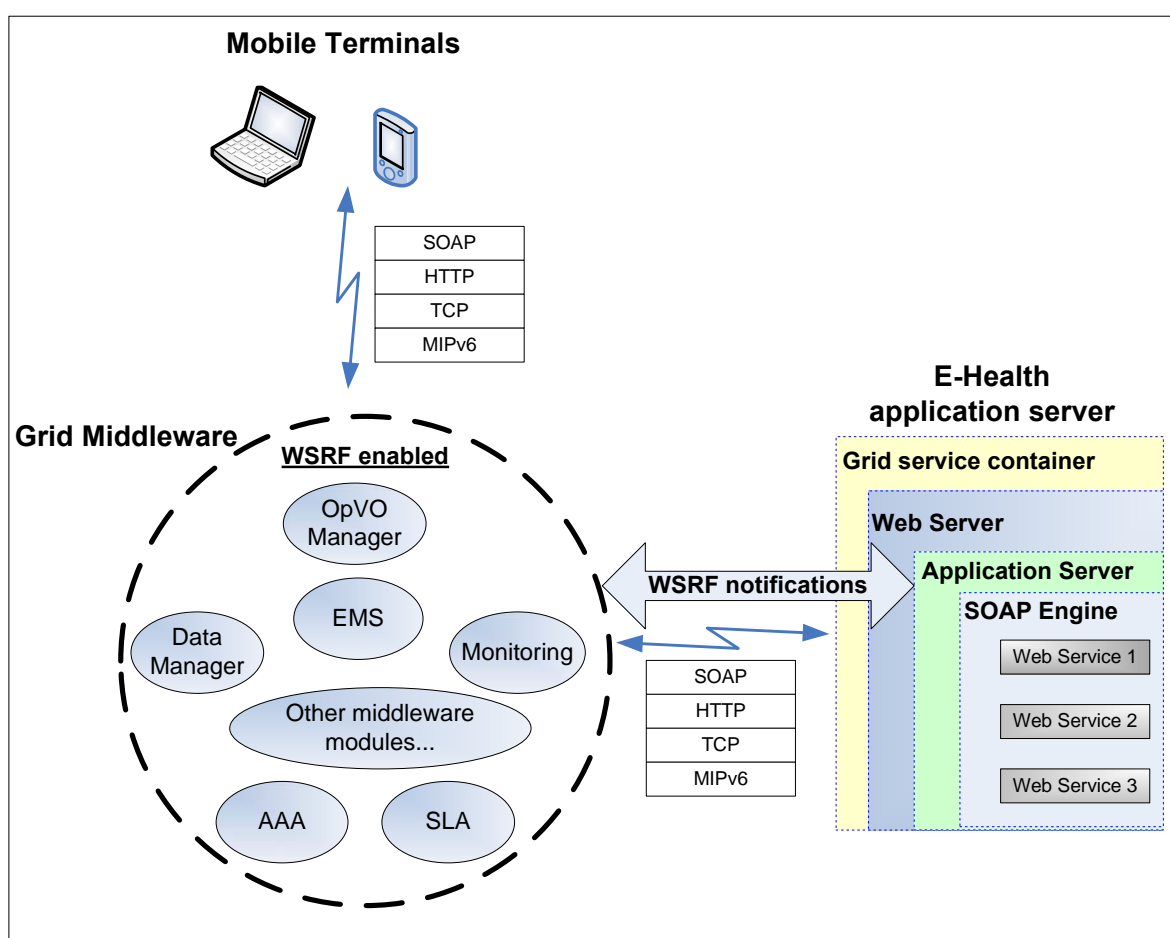
(Mobile Dynamic Virtual Organization, MDVO), η οποία ορίζεται ως ένας προσωρινός ή μόνιμος συνασπισμός των γεωγραφικά διασκορπισμένων ενδεχομένως κινητών ατόμων, ομάδων, οργανωτικών μονάδων ή και ολόκληρων οργανώσεων που συγκεντρώνουν πόρους, ικανότητες και πληροφορίες, που επιλέγονται από τους πόρους ενός επιχειρηματικού δικτύου, για να συμβάλουν στην VO σύμφωνα με δυναμικά καθιερωμένες συμβάσεις που οδηγούνται από μία ή περισσότερες επιχειρησιακές διαδικασίες.

Προκειμένου να υλοποιηθεί μια επιχειρησιακή διαδικασία εφαρμόζεται, μια λειτουργική εικονική οργάνωση (OpVO) δημιουργείται από μια VO βάσης (Base VO). Η VO βάσης είναι μια εικονική οργάνωση που δεν διευθύνει μια συγκεκριμένη επιχειρησιακή διαδικασία αλλά παρέχει τα μέσα για τη δημιουργία και την υποστήριξη αυτής. Η VO βάσης παρέχει τα μέσα να εγγράφει τους χρήστες, τις υπηρεσίες και άλλα μεταδεδομένα όπως τις συμβάσεις συμφωνίας επιπέδου υπηρεσιών (SLA) και τα πρότυπα ροής εργασιών. Αυτά τα τελευταία χρησιμοποιούνται από τη λειτουργική VO όταν μια επιχειρησιακή διαδικασία παίρνει ένα στιγμιότυπο και εκτελείται.

5.5.2 Από το χρήστη στην υπηρεσία μέσω Grid

Το μεσολογισμικό πλέγματος αποτελείται από υψηλού επιπέδου υπηρεσίες επαρκών για την «πλεγματοποίηση» διαφόρων εφαρμογών, και που υλοποιούνται μέσω του WSRF. Όποτε η εφαρμογή πελατών πρέπει να χρησιμοποιήσει μια e-health υπηρεσία, έρχεται σε επαφή με την υπηρεσία OpVO με την αποστολή του κατάλληλου αιτήματος πρωτοκόλλου SOAP πάνω από το HTTP. Η υπηρεσία διεύθυνσης OpVO, μετά από την απαραίτητη διαπραγμάτευση με τον πελάτη, επικαλείται το EMS που είναι υπεύθυνο για την έναρξη, τη διαχείριση, το σχεδιασμό και το συντονισμό όλων των υπηρεσιών. Ένας μηχανισμός ειδοποίησης, από την οικογένεια του WS-notification της προδιαγραφής WSRF

εγκαθιδρύεται μεταξύ όλων των υπηρεσιών που είναι μέρος του μεσολογισμικού πλέγματος καθώς επίσης και μεταξύ του EMS και της υπηρεσία e-health. Κάθε υπηρεσία που θέλει να λάβει τις ειδοποιήσεις από μια άλλη υπηρεσία πρέπει να εγγραφεί στη συγκεκριμένη υπηρεσία και να καθορίσει το θέμα των μηνυμάτων. Τα μηνύματα ειδοποίησης ανταλλάσσονται μεταξύ των υπηρεσιών κάθε φορά που υπάρχει μια αλλαγή για το συγκεκριμένο θέμα.



Εικόνα 11: Γενική θεώρηση πρόσβασης στην υπηρεσία μέσω Grid middleware

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή

Στην Εικόνα 11 παρουσιάζουμε μια επισκόπηση της προαναφερθείσας διαδικασίας, η οποία οριοθετεί τις φυσικές και λογικές οντότητες που συμμετέχουν στο σενάριο εφαρμογών e-health. Η αλληλεπίδραση με τις υπηρεσίες δικτύων γίνεται με συγκεκριμένες συμβάσεις που καθιερώνονται μεταξύ των χρηστών και των φορέων παροχής υπηρεσιών, και του EMS. Το δίκτυο ενημερώνεται για το ποια δέσμη να παρέχει σε κάθε υπηρεσία, και πώς να διαθέσει τους πόρους δικτύων στις διαφορετικές ροές πληροφοριών που διασχίζουν την υποδομή.

5.5.3 Το e-Health σενάριο

Για λόγους επίδειξης η κοινοπραξία Akogrimo έχει ολοκληρώσει μια σουίτα υπηρεσιών εφαρμογής ηλεκτρονικής υγείας (e-health) που παρέχουν στους χρήστες-πελάτες έναν έλεγχο καρδιογραμμάτων και μια διαδικασία απαντήσεων σε επείγοντα περιστατικά. Το οργανωτικό πλαίσιο όπου η διαδικασία εκτελείται αποτελείται από ένα πανεπιστημιακό νοσοκομείο, περιφερειακά νοσοκομεία, ειδικούς ιατρούς, παθολόγους, ιατρικές υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης και ένα κέντρο αποστολών έκτακτης ανάγκης και όλα αυτά μαζί συναποτελούν ένα περιφερειακό δίκτυο υγείας. Το δίκτυο υγείας διευθύνεται από το πανεπιστημιακό νοσοκομείο και παρέχει τις υπηρεσίες τηλεϊατρικής στους συνεργάτες και τους ασθενείς που παρακολουθούνται από τους συνεργάτες του δικτύου. Αυτές οι υπηρεσίες στρέφονται κυρίως σε συγκεκριμένες ασθένειες και ομάδες κινδύνου.

5.5.4 Χτίζοντας Mobile Dynamic Virtual Organizations

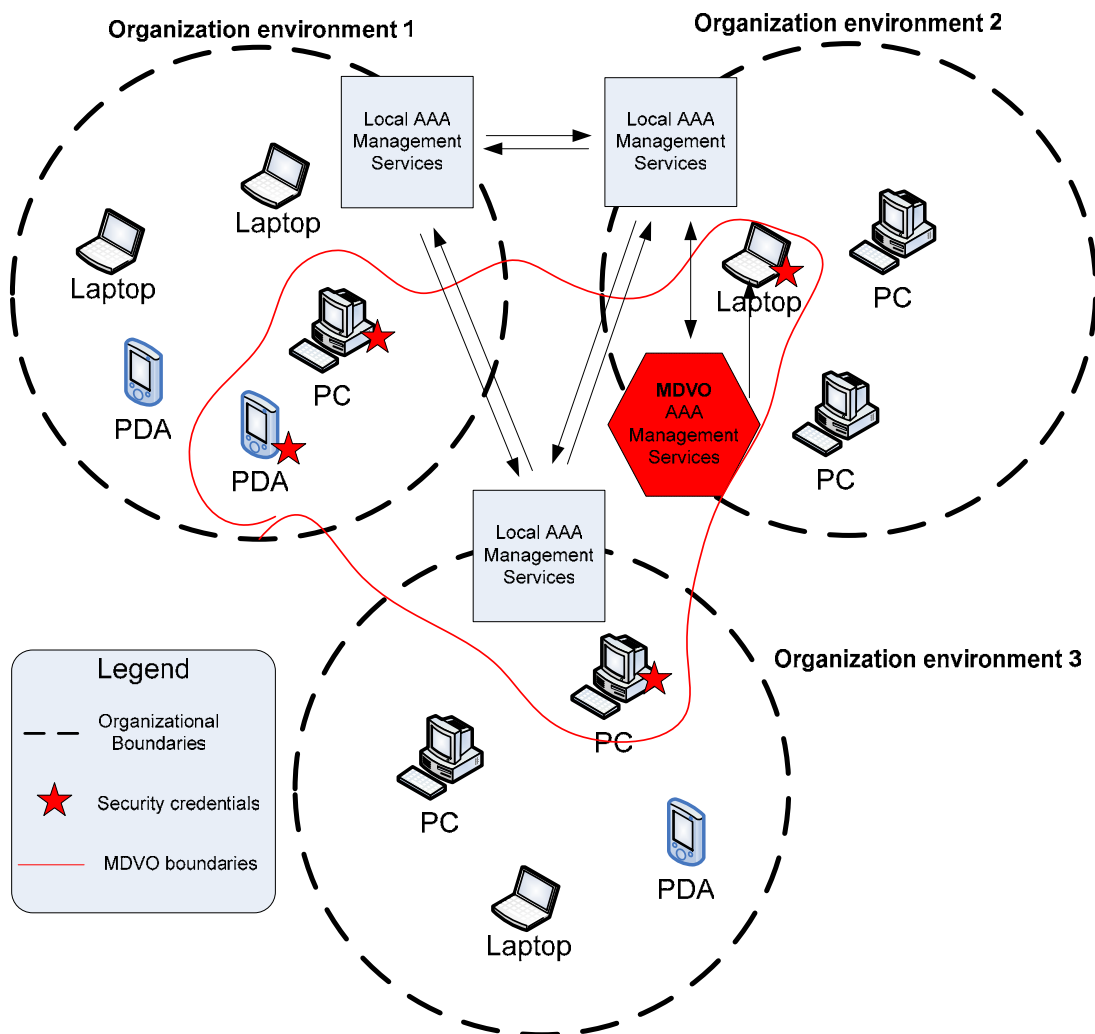
Ο όρος εικονική οργάνωση (VO) από την οικονομική προοπτική του έχει περιγραφεί λεπτομερώς στις αναφορές [44][45]. Είναι ένα οργανωτικό μοντέλο που περιγράφει τους κανόνες αλληλεπίδρασης μεταξύ των επιχειρήσεων χωρίς να περιορίζεται μόνο στους

πόρους των Πληροφοριακών Συστημάτων. Συνδυάζοντας αυτό με τον ορισμό της κοινότητας πλέματος [1], και την απαίτηση για υποστήριξη κινητικότητας ορίζουμε μια κινητή δυναμική εικονική οργάνωση (MDVO) όπως έχουμε ήδη ορίσει νωρίτερα.

Οι VOs μπορούν να παρέχουν τις υπηρεσίες και να συμμετέχουν ως ενιαίες οντότητες στο σχηματισμό περαιτέρω VOs. Αυτό επιτρέπει τη δημιουργία επαναλαμβανόμενων δομών με πολλαπλάσια στρώματα «εικονικών», προστιθεμένης αξίας φορέων παροχής υπηρεσιών.

Στην Εικόνα 12 παρουσιάζουμε ένα παράδειγμα MDVO για το πρόγραμμα Akogrimo. Το παράδειγμα στρέφεται στο περίπτωση πιστοποίησης, εξουσιοδότησης και λογιστικής (AAA), με το οποίο κάθε συμμετέχουσα οργάνωση διατηρεί τις τοπικές διοικητικές υπηρεσίες AAA που διατηρεί μέσα στα όρια της αλλά επιπλέον συμμετέχει στο MDVO με τους συγκεκριμένους φυσικούς πόρους (που μπορούν να είναι κινητοί). Προκειμένου να είναι σε θέση να μοιραστούν τους φυσικούς πόρους και να συνεργαστούν, οι οργανώσεις πρέπει να παρέχουν τα πιστοποιητικά ασφάλειας με έναν τρόπο που θα ισχύσει όχι μόνο μέσα στα λογικά όρια των οργανώσεων αλλά και μέσα στα όρια του διαμορφωμένου MDVO. Με αυτόν τον τρόπο, οι διοικητικές υπηρεσίες AAA της MDVO, που βρίσκονται φυσικά στις εγκαταστάσεις μιας συγκεκριμένης οργάνωσης, διαμορφώνουν μια προσέγγιση μεσολογισμικού που αλληλεπιδρά με τις τοπικές διοικητικές υπηρεσίες AAA για λόγους πιστοποίησης της χρήσης και των συνεργασιών των πόρων, των ενεργειών που οι χρήστες είναι σε θέση να εκτελέσουν και η μέτρηση της τελικής χρήσης. Αυτό το παράδειγμα μπορεί να επεκταθεί σε όλες τις υπηρεσίες μεσολογισμικού που κατοικοεδρεύουν στο στρώμα μεσολογισμικού πλέματος και δικτύων και σε ένα μεγάλο σύνολο συμμετεχουσών οργανώσεων όπως νοσοκομεία, ιατρικά κέντρα, φορείς τηλεπικοινωνιών, γραφεία, κ.λπ., στα όρια του MDVO. Σημειώστε ότι στην τελευταία περίπτωση, ακόμη και οι βασικές λειτουργίες μεσολογισμικού δικτύων (όπως η παραδοσιακή υποστήριξη AAA για δικτυακές

υπηρεσίες) μπορούν να υποστηριχθούν από μια τέτοια υποδομή. Κατά συνέπεια η υποδομή πλέγματος γίνεται πραγματικά ενσωματωμένη στο περιβάλλον κινητών δικτύων: παρέχει ένα στρώμα υπηρεσιών που λαμβάνει υπόψη τις πτυχές δικτύων (κινητικότητα, QoS), και παρέχει ένα διοικητικό στρώμα υπηρεσιών για τις παραδοσιακές υπηρεσίες τηλεπικοινωνιών. Αυτό μπορεί να είναι αρκετά ενδιαφέρον σε ένα σύνθετο σενάριο πολυφορέων, όπως εκείνοι που απεικονίζονται στα σύγχρονα 4G δίκτυα.



Εικόνα 12: Παράδειγμα Κινητού Δυναμικού Εικονικού Οργανισμού

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή

5.6 Εργασίες και Υπηρεσίες Διαχείρισης της Εκτέλεσης

Οι Υπηρεσίες Διαχείρισης Εκτέλεσης της OGSA (OGSA-EMS) αφορούν τα θέματα των εργασιών και της πλήρους διαχείρισης τους. Συγκεκριμένα, τα θέματα αυτά συνοψίζονται σε ερωτήσεις όπως:

- ✓ Πού μπορεί να εκτελεστεί μια εργασία; Ποιες είναι οι θέσεις στις οποίες μπορεί να εκτελεστεί δεδομένου ότι αυτές ικανοποιούν τους περιορισμούς των πόρων (όπως η διαθέσιμη μνήμη, η CPU, οι διαθέσιμες βιβλιοθήκες, και άδειες);
- ✓ Πού θα έπρεπε να εκτελεστεί μια εργασία; Η απάντηση σε αυτή την ερώτηση μπορεί να περιλάβει διαφορετικούς αλγορίθμους επιλογής που βελτιστοποιούν τις διαφορετικές αντικειμενικές λειτουργίες ή προσπαθούν να επιβάλουν τις διαφορετικές πολιτικές ή τις συμφωνίες επιπέδου υπηρεσιών προς την κατεύθυνση της βελτιστοποίησης χρήσης πόρων.
- ✓ Προετοιμασία μιας εργασίας να εκτελεστεί. Ακριβώς επειδή μια εργασία μπορεί να εκτελεστεί κάπου δεν σημαίνει απαραίτητα ότι μπορεί να εκτελέσει εκεί χωρίς κάποια προηγούμενη οργάνωση ή προετοιμασία. Η οργάνωση θα μπορούσε να περιλάβει την επέκταση και τη διαμόρφωση των δυαδικών αρχείων (binaries) και των βιβλιοθηκών, το στήσιμο (staging) των δεδομένων, ή άλλων διαδικασιών προκειμένου προετοιμάσει το τοπικό περιβάλλον εκτέλεσης για να εκτελέσει την υπηρεσία.
- ✓ Θέματα Διαχείρισης (έλεγχος, επανεκκίνηση, τερματισμός, κ.λπ.). Μόλις αρχίσει η εκτέλεση της εργασίας, πρέπει αυτή να ελεγχθεί για την εύρυθμη λειτουργία της. Τι θα γίνει εάν αποτύχει; Ή τι θα γίνει εάν αποτύχει να συναντήσει τις συμφωνίες επιπέδου υπηρεσίας; Θα επανεκκινήσει η εκτέλεση σε μια άλλη θέση; Τι γίνεται με την κατάσταση (state) της υπηρεσίας;

5.6.1 Λειτουργικές ικανότητες

Το σύνολο των Υπηρεσιών Διαχείρισης Εκτέλεσης διαθέτουν μια σειρά από λειτουργικές ικανότητες μερικές από τις οποίες είναι:

- Να επιλέγει το σύνολο πόρων που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εκτελέσει μια υποβληθείσα εργασία.
- Να ορίζει τις εργασίες στους πόρους και να δημιουργεί ένα σχέδιο εκτέλεσης, που προσπαθεί να ισορροπήσει το φόρτο εργασίας, να βελτιστοποιήσει την εκτέλεση και να παρέχει QoS.
- Να χειρίζεται τις ουρές αναμονής και τις προτεραιότητες εργασίας για να συναντήσει SLAs ή να χειριστεί τις καταστάσεις κρίσης.
- Να δημιουργεί αντίγραφα εργασιών για να παρέχει ανοχή σφαλμάτων.
- Να παρέχει προηγμένη δέσμευση πόρων.

5.6.2 Μη-λειτουργικές ικανότητες

Το σύνολο των Υπηρεσιών Διαχείρισης Εκτέλεσης διαθέτουν μια σειρά από μη-λειτουργικές ικανότητες μερικές από τις οποίες είναι:

- Να παρέχει ένα API που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αλληλεπίδραση με άλλα υποσυστήματα.
- Να κρατά τη στενή συνεργασία με άλλα κρίσιμα συστατικά άλλων στρωμάτων, δεδομένου ότι ενεργεί ως κύριος ρυθμιστής της λειτουργίας των συστατικών πλέγματος
- Απόδοση: οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται για τις προαναφερθείσες λειτουργίες (όπως ο σχεδιασμός εκτέλεσης, ο καθορισμός προτεραιοτήτων, η δημιουργία

αντιγράφων, κ.λπ.) να μπορεί να οργανωθεί σε πραγματικό χρόνο και να μην προκαλεί σημαντικό κόστος στη γενική απόδοση των συστημάτων.

- **Εξελιξιμότητα:** το σύστημα μπορεί να κλιμακωθεί προκειμένου να καλύψει ανάγκες μεγαλύτερου εύρους υπηρεσιών.
- **Διαμορφώσιμο:** το σύστημα αποτελείται από διάφορα συστατικά και είναι σημαντικό να μπορεί να συντηρηθεί εύκολα ή/και να τροποποιηθεί με νέους αλγορίθμους.
- **Ασφάλεια:** το σύστημα αλληλεπιδρά μόνο με τις επικυρωμένες και εξουσιοδοτημένες οντότητες.

5.6.3 Λειτουργικότητα

Οι Υπηρεσίες Διαχείρισης Εκτέλεσης παρέχουν μια συγκεκριμένη λειτουργικότητα μέσω των επιμέρους συστατικών από τα οποία αυτές αποτελούνται. Τυπικά, αποτελούνται από τις ακόλουθες ενότητες:

Διευθυντής Εργασίας

Ο διευθυντής εργασίας (Job Manager - JM) ασχολείται με όλες τις πτυχές της εκτέλεσης μιας εργασίας, ή ενός συνόλου εργασιών, από την έναρξη μέχρι το τέλος αυτής. Ένα σύνολο περιπτώσεων εργασίας (από μια απλή έως μια σύνθετη εργασία) μπορεί να είναι δομημένη (π.χ., μια ροή εργασίας ή μια γραφική παράσταση εξαρτήσεων) ή μη δομημένη (π.χ., ένας πίνακας εργασιών που δεν αλληλεπιδρούν). Ο JM μπορεί να δρομολογήσει τις εργασίες στους πόρους και μπορεί να συλλέξει πληροφορίες σχετικά με συνημμένες συμφωνίες και τις δεσμεύσεις.

Γεννήτρια Υποψηφίου Συνόλου (Candidate Set Generator, CSG)

Η υπηρεσία CSG είναι υπεύθυνη για την εύρεση των υπολογιστικών πόρων όπου η εργασία μπορεί να εκτελεσθεί. Προκειμένου να βρεθούν οι πιθανοί πόροι είναι απαραίτητο να υπάρξει κάποια μορφή μηχανισμού αντιστοιχίας. Η αντιστοιχία επιτρέπει την εύρεση των πόρων που αντιστοιχούν στις απαιτήσεις που εκφράζονται από τον χρήστη των υπηρεσιών.

Η υπηρεσία CSG πρέπει να λάβει υπόψη όλες τις στατικές απαιτήσεις αλλά όχι απαραίτητα κι εκείνες που είναι δυναμικές (κάτι που είναι εξαιρετικά πολύπλοκο και δαπανηρό). Οι Υπηρεσίες EPS πρέπει να αρχίσουν από τα αποτελέσματα αντιστοιχίας που παρέχονται από το CSG και να τα συνδυάσουν με τις δυναμικές ιδιότητες, και να εφαρμόσουν έναν αλγόριθμο προκειμένου να βρεθεί ο καλύτερος δυνατός πόρος για την εκτέλεση. Η διάκριση μεταξύ των στατικών και δυναμικών ιδιοτήτων συσχετίζεται έντονα με την έννοια του πλέγματος. Για να είμαστε ακριβέστεροι δίνουμε ένα παράδειγμα αυτών των ιδιοτήτων.

Οι στατικές ιδιότητες των πόρων θα μπορούσαν να είναι:

- Λειτουργικό σύστημα
- Αριθμός επεξεργαστών
- Διαθέσιμο λογισμικό (βιβλιοθήκες, δυαδικά αρχεία κ.ά.)
- Μνήμη
- Οι δίσκοι και άλλες μονάδες αποθήκευσης
- Εύρος ζώνης, κ.λπ.

Οι δυναμικές ιδιότητες των πόρων θα μπορούσαν να είναι:

- Ελεύθερος χώρος δίσκων
- Διαθέσιμη CPU
- Ρυθμός μεταφοράς αρχείων, κ.λπ.

Υπηρεσία Σχεδιασμού Εκτέλεσης (Execution Planning Service, EPS)

Η υπηρεσία (EPS) είναι ουσιαστικά ο χρονοπρογραμματιστής υψηλού επιπέδου που δημιουργεί τις αντιστοιχίες (αποκαλούμενες ως "σχέδια εκτέλεσης") μεταξύ των εργασιών και των πόρων – που έχουν επιλεγεί από το CSG. Η υπηρεσία EPS θα προσπαθήσει χαρακτηριστικά να βελτιστοποιήσει κάποια αντικειμενική συνάρτηση όπως ο χρόνος εκτέλεσης, το κόστος, η αξιοπιστία, κ.λπ... (δηλ. απαντώντας στο ερώτημα "πού θα έπρεπε η εργασία να εκτελεστεί;"), προκειμένου να βελτιωθεί η απόδοση του συστήματος, να παρέχει την ποιότητα της υπηρεσίας και να ικανοποιήσει τις συμφωνίες επιπέδου υπηρεσιών. Για αυτόν τον λόγο η EPS μπορεί να εφαρμόσει ένα σύστημα προτεραιότητας εργασίας. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί από την χρήση διάφορων ουρών αναμονής εργασίας, κάθε μια με μια διαφορετική προτεραιότητα. Επιπλέον η EPS μπορεί να εφαρμόσει μια μέθοδο checkpointing ή δημιουργίας αντιγράφων για ανοχή σφαλμάτων, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της εργασίας, τα SLAs και το προκύπτον σχέδιο εκτέλεσης.

Υπηρεσία «εκ των προτέρων» Δέσμευσης (Advance Reservation Service, ARS)

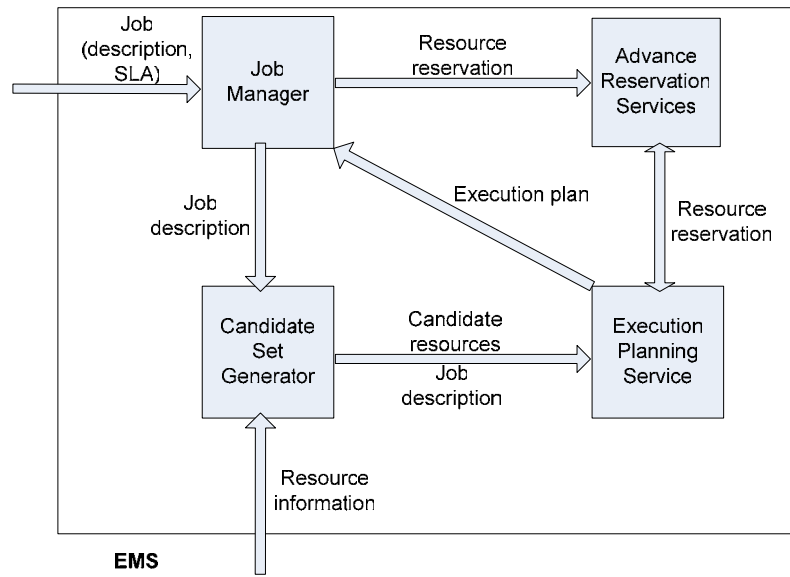
Η υπηρεσία ARS είναι υπεύθυνη για τη δέσμευση πόρων για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο (ή μόνιμα, ανάλογα με τον τύπο δέσμευσης). Οι τύποι δεσμεύσεων που είναι δυνατοί είναι οι ακόλουθοι:

- Δέσμευση υπολογιστικών πόρων
- Δέσμευση πόρων αποθήκευσης
- Δέσμευση πόρων δικτύου
- Δέσμευση υπηρεσιών

Η δέσμευση υπολογιστικών πόρων εγγυάται ότι ο συγκεκριμένος πόρος θα είναι διαθέσιμος στο χρόνο ότι μια εργασία εκτελείται. Ο καταναλωτής υπηρεσιών (Service Consumer - SCr) μπορεί να δεσμεύσει ένα ορισμένο χώρο στο δίσκο, ένα συγκεκριμένο ποσοστό της CPU, κ.λπ.

Η δέσμευση των πόρων δικτύου είναι ίσως η δυσκολότερη να επιτευχθεί και αποτελεί ίσως τη μεγαλύτερη καινοτομία για το πρόγραμμα Akogrimo. Επιτρέπει στον SCr να ωφεληθεί από τη συγκεκριμένη ικανότητα του δικτύου (εύρος ζώνης, κ.λπ.) κατά τη διάρκεια της ζωής της εργασίας. Η δέσμευση των πόρων δικτύων εγγυάται ότι, παραδείγματος χάριν, η εκτέλεση εργασίας δεν θα υπερβεί έναν καθορισμένο χρόνο από την άποψη των προβλημάτων δικτύου. Οι πόροι διατίθενται στο χρόνο έναρξης της δέσμευσης και απελευθερώνονται όταν η δέσμευση ολοκληρωθεί.

Εκτός από τη δυνατότητα δέσμευσης των πόρων, η υπηρεσία ARS έχει και μια άλλη σημαντική δυνατότητα. Είναι αρμόδια για την προειδοποίηση του JM όταν εμφανίζεται μια χρονική θυρίδα δέσμευσης. Υποθέστε ότι μια εργασία τρέχει σε έναν πόρο και ότι η στιγμή έναρξης της δέσμευσης φτάνει. Η υπηρεσία ARS πρέπει να ενημερώσει (μέσω μηχανισμού ειδοποίησης) τον JM. Ο JM τότε πρέπει να πάρει μια απόφαση να αναστείλει την τρέχουσα εργασία, να την στείλει σε έναν άλλο πόρο, ή να την αποβάλει εντελώς και να την επανεκκινήσει στο μέλλον (μετά το πέρας της δέσμευσης). Όποτε μια δέσμευση εκφράζεται, ανεξάρτητα από το εάν αυτή είναι χρόνο-περιορισμένη (δέσμευση CPUs, εύρους ζώνης, κ.λπ.) ή είναι μόνιμη, η ARS πρέπει να ειδοποιήσει κατάλληλα όλες τις εμπλεκόμενες υπηρεσίες προκειμένου να ακολουθήσουν τις αλλαγές στις δυναμικές ιδιότητες των πόρων.



Εικόνα 13: Τα συστατικά του EMS και οι αλληλεπιδράσεις

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή

6 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΟΡΩΝ ΜΕ ΑΝΟΧΗ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ

6.1 Εισαγωγή

Η έννοια του υπολογισμού πλέγματος έχει μεταναστεύσει πρόσφατα από τον χώρο της παραδοσιακού υπολογισμού υψηλών επιδόσεων και τον κατανεμημένο υπολογισμό στον ευρύτερο χώρο του περιρρέοντος υπολογισμού κυρίως λόγω των προηγμένων ικανοτήτων τόσο των ασύρματων δικτύων όσο και των σύγχρονων, ελαφρών και λεπτών κινητών συσκευών. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την εμφάνιση ενός νέου παραδείγματος υπολογισμού που είναι το Κινητό Πλέγμα, όπως έχουμε δει ήδη. Το κινητό πλέγμα είναι ένας πλήρης κληρονόμος των χαρακτηριστικών του πλέγματος με το πρόσθετο γνώρισμα της υποστήριξης των κινητών χρηστών και πόρων με έναν διαφανή, ασφαλή και αποδοτικό τρόπο. Έχει τη δυνατότητα να αξιοποιεί αδόμητα ασύρματα δίκτυα και να παρέχει ένα ολοκληρωμένο σύστημα πλέγματος κινητών πόρων (εξυπηρετητές και χρήστες) που συνδέονται με ασύρματες συνδέσεις κάτω από αυθαίρετες και απρόβλεπτες τοπολογίες. Είναι επίσης η βάση και η επιτρέπουσα τεχνολογία για τον περιρρέοντα υπολογισμό λόγω της δυνατότητας του να είναι ανοικτό, ιδιαίτερα ετερογενές και ευέλικτο.

Αυτή η σύγχρονη προσέγγιση που συνδυάζει χιλιάδες μέρη υλικού και λογισμικού σε ένα μεγάλο σύστημα παρέχει γενικά πλατφόρμες με μικρότερη αξιοπιστία, γεγονός το οποίο σε συνδυασμό με τους μεγάλους τρέχοντας κώδικες οδηγεί σε τελικούς χρόνους εκτέλεσης των εφαρμογών που υπερβαίνουν το μέσο χρόνο αποτυχίας των επιμέρους μηχανών που απαρτίζουν το πλέγμα. Για αυτόν τον λόγο η ανοχή σφαλμάτων είναι ζωτικής σημασίας στο νέο παράδειγμα κινητού πλέγματος διότι αφενός τα κρίσιμα κι ευαίσθητα συστήματα (όπως εκείνα του ελέγχου εναέριας κυκλοφορίας όπου δεν επιτρέπεται ουσιαστικά να βρεθούν ούτε

κατ'ελάχιστον εκτός λειτουργίας), αφετέρου οι εφαρμογές που απαιτούν εντατικό υπολογισμό υψηλών επιδόσεων (όπου σαφώς η χαμένη εργασία από την αποτυχία πρέπει να ελαχιστοποιηθεί) ανήκουν στα πλαίσια των διαφορετικών, αξιόπιστων και δια-οργανωτικών περιβαλλόντων που εμπίπτουν στο χώρο του κινητού πλέγματος. Ο κινητός υπολογισμός πλέγματος δεν αναμένεται να είναι ελεύθερος από σφάλματα, παρά το γεγονός ότι μεμονωμένες τεχνικές όπως η αποφυγή σφαλμάτων και η αφαίρεση σφαλμάτων [46] μπορούν επιπρόσθετα να εφαρμοστούν στους πόρους του. Επομένως, οι μηχανισμοί ανοχής σφαλμάτων πρέπει να επεκταθούν για να επιτρέψουν στο σύστημα πλέγματος να αποδώσει σωστά ακόμα και υπό την παρουσία των σφαλμάτων ενισχύοντας το έτσι με την κατάλληλη αξιοπιστία.

Σε αυτήν την εργασία παρουσιάζεται ένα πρότυπο ανοχής σφαλμάτων για χρονοδρομολόγηση εργασιών πλέγματος βασισμένο στην έννοια δημιουργίας αντιγράφων εργασιών. Το κινητό πλέγμα είναι ένα δυναμικό σύστημα όπου οι περιβάλλουσες συνθήκες υπόκεινται σε πληθώρα απρόβλεπτων αλλαγών: αποτυχίες συστημάτων ή δικτύων, υποβάθμιση απόδοσης συστημάτων, αφαίρεση μηχανών, διαφορές στο κόστος των πόρων, κ.λπ. Σε αυτό το πλαίσιο η δημιουργία αντιγράφων και η χρονοδρομολόγηση τους στο πλέγμα είναι ένας αποδοτικός τρόπος προκειμένου το σύστημα να εγγυηθεί την ολοκλήρωση έστω μίας εξ αυτών και άρα την ικανοποίηση του χρήστη σύμφωνα με τις απαιτήσεις και τους περιορισμούς που τίθενται από αυτόν. Η βασική ιδέα είναι το σύστημα πλέγματος να παράγει και να δρομολογεί προς εκτέλεση πολλαπλά αντίγραφα μιας δεδομένης αρχικής εργασίας που έχει ανατεθεί από τον χρήστη προς εκτέλεση. Ο ακριβής αριθμός των αντιγράφων υπολογίζεται από το μεσολογισμικό πλέγματος και είναι βασισμένος στην πιθανότητα αποτυχίας των πόρων του κινητού πλέγματος και της πολιτικής που υιοθετείται για την παροχή ενός συγκεκριμένου επιπέδου ανοχής σφαλμάτων. Το προτεινόμενο σχέδιο

δημιουργίας αντιγράφων είναι βασισμένο στη λεγόμενη στατική αντιγραφή [47], σημαίνοντας ότι όταν αποτυγχάνει ένα αντίγραφο δεν αντικαθίσταται από ένα νέο. Η εισαγωγή των αντιγράφων προκαλεί γενικά επιβάρυνση στο ήδη υπάρχον αρχικό φόρτο εργασίας που διατίθεται στο πλέγμα για εκτέλεση κάθε χρονική περίοδο. Η διαχείριση λοιπόν των πόρων είναι σημαντική προκειμένου να επιτευχθεί βελτιστοποίηση της κατανομής των πόρων πλέγματος [48], και καθοριστική ως προς τη δυνατότητα του πλέγματος να ανταποκριθεί στο απαιτούμενο επίπεδο ποιότητας υπηρεσιών προς όλους τους χρήστες [49][50]. Η ιδέα είναι να αντιμετωπιστούν τα πρόσθετα αντίγραφα εργασιών με ένα σχέδιο διαχείρισης βασισμένο στη διατύπωση του προβλήματος «σακιδίου», όπου για κάθε αντίγραφο εργασίας έχει οριστεί ένα βάρος και ένα κέρδος για τη σωστή εκτέλεσή του. Με αυτόν τον τρόπο επιτρέπεται ένας αποδοτικός χρονικός προγραμματισμός των εργασιών και των αντιγράφων τους ώστε να μεγιστοποιηθεί η χρησιμοποίηση των πόρων πλέγματος και του κέρδους που μπορούμε να αποκομίσουμε από τα επιτυχώς εκτελεσμένα. Χρησιμοποιούμε 4 διαφορετικούς αλγόριθμους (οπισθοδρόμηση, branch-and-bound, δυναμικός προγραμματισμός και ένας ευριστικός άπληστος αλγόριθμος) ώστε να μελετηθεί η συμπεριφορά τους στις διάφορες περιπτώσεις και προκειμένου να προσδιορίσουμε την απόδοσή τους σε αυτό το δύσκολο πρόβλημα [51].

6.2 Ορισμός του προβλήματος και σημειογραφία

Εξετάζουμε μια υποδομή πλέγματος που αποτελείται από ένα σύνολο N_p υπολογιστικών μηχανών είτε σταθερών είτε κινητών (όπως τους προσωπικούς ψηφιακούς βοηθούς PDA, τους προσωπικούς υπολογιστές, τα σημειωματάρια notebooks, τους τερματικούς σταθμούς, κ.ά) που θα αναφερθούν στη συνέχεια ως πόροι του κινητού πλέγματος. Κάθε πόρος έχει έναν υπολογιστικό ρυθμό ή υπολογιστική ικανότητα που αναπαριστάται ως

$\mu_j, j \in \{1, 2, \dots, N_p\}$, και αντιπροσωπεύει τη δυνατότητα αυτού του πόρου να εκτελεί συγκεκριμένες υπολογιστικές διαδικασίες σε ένα δεδομένο χρονικό διάστημα (παραδείγματος χάριν εκατομμύρια πράξεις κινητής υποδιαστολής ανά δευτερο – Million Floating Operations Per Second, MFLOPS). Η συνολική υπολογιστική ικανότητα του

$$\text{πλέγματος είναι } \mu_G = \sum_{j=1}^{N_p} \mu_j .$$

Εξετάζουμε επίσης ένα σύνολο N διαφορετικών εργασιών $T_i, i \in \{1, 2, \dots, N\}$ που πρόκειται να αποσταλούν στο πλέγμα για εκτέλεση. Υποθέτουμε ότι οι εργασίες είναι μη-preemptable και μη-interruptible [73][74]. Αυτό σημαίνει ότι μια εργασία δεν μπορεί να σπάσει σε μικρότερες δευτερεύουσες και πρέπει να εκτελεσθεί συνολικά σε έναν ενιαίο επεξεργαστή ενός δεδομένου πόρου. Επιπλέον, μόλις μια εργασία αρχίζει την εκτέλεσή της σε έναν επεξεργαστή, δεν μπορεί να διακοπεί και καταλαμβάνει ολόκληρο τον επεξεργαστή έως ότου ολοκληρωθεί επιτυχώς η εκτέλεσή της ή εμφανιστεί μια αποτυχία. Στην ανάλυση που ακολουθούμε εξετάζουμε χαρακτηριστικές εργασίες πλέγματος όπως αυτές συναντιούνται στις διάφορες πλατφόρμες (όπως π.χ. το Globus). Αυτές οι εργασίες μπορούν να είναι εκτελέσιμα αρχεία (executables) μαζί με τα αρχεία εισαγωγής και τις παραμέτρους τους, ή μόνο εκτελέσιμα υποβληθέντα για απομακρυσμένη εκτέλεση, ή μόνο αρχεία εισόδου που πρόκειται να υποβληθούν για επεξεργασία σε μια μακρινή μηχανή. Κάθε εργασία T_i έχει έναν χρόνο εκτέλεσης ET_i και μια προθεσμία D_i . Ο χρόνος εκτέλεσης ET_i αντιστοιχεί στο χρονικό διάστημα του οποίου η εκτέλεση της T_i διαρκεί εάν εκτελείται σε έναν επεξεργαστή του μοναδιαίας ικανότητας $\mu = 1$. Διαφορετικά δείχνουμε ως ET_{ij} το χρονικό διάστημα που η εργασία T_i διαρκεί στον πόρο j με τον υπολογιστικό ρυθμό μ_j . Η προθεσμία D_i της εργασίας T_i αντιπροσωπεύει τον πιο πρόσφατο χρόνο στον οποίο το

πλέγμα πρέπει να παραδώσει τα αποτελέσματα στο χρήστη. Είναι μια ποσότητα που διευκρινίζεται από τον τελικό χρήστη που είναι εκείνος που τελικά θα πληρώσει για τους πόρους που έχει καταναλώσει και την ποιότητα υπηρεσιών που έχει απολάβει.

Εισάγουμε την έννοια του φόρτου εργασίας $w_i, i \in \{1, 2, \dots, N\}$ που είναι το φορτίο της υπολογιστικής εργασίας που η T_i επιβάλλει σε έναν πόρο για την τελική επιτυχή εκτέλεσή της. Έχουμε:

$$w_i = \mu_j E T_{ij} \quad (1)$$

το οποίο μετριέται σε *υπολογιστικές μονάδες* (computational units, όπως εκατομμύρια πράξεις κινητής υποδιαστολής - MFLO). Στην ειδική περίπτωση ενός πόρου με μοναδιαίο ρυθμό, παίρνουμε $w_i = E T_i$, το οποίο αντιπροσωπεύει το γεγονός ότι ο φόρτος εργασίας της T_i , όταν εκτελείται στον μοναδιαίο πόρο είναι ίσος με το χρόνο εκτέλεσης.

Τέλος, κάθε εργασία T_i συνδέεται με ένα κέρδος v_i που δείχνει το εισόδημα που παράγεται από την επιτυχή εκτέλεση της εργασίας. Αυτό το κέρδος μετριέται σε *λογιστικές μονάδες* (currency units) και μπορεί να αναφερθεί στην τιμή που ο χρήστης καταβάλλει για την παρεχόμενη υπηρεσία της ολοκληρωμένης, επιτυχούς εκτέλεσης της ανατιθέμενης εργασίας μέσα στην οριζόμενη προθεσμία. Μπορεί επίσης να είναι μια πιο αφηρημένη έννοια της αξίας για κάποιες άλλες καταστάσεις (όπως παραδείγματος χάριν, σε ένα σενάριο διαχείρισης κρίσης, ή σε μια ροή εργασιών ενορχηστρωμένων υπηρεσιών, μία εργασία που παράγει αποτελέσματα που βοηθούν στη διαχείριση της κρίση ή είναι κρίσιμα για τη συνέπεια της ροής των εργασιών δεν μπορεί να χρεωθεί – με όμοιο τρόπο όπως στις κλήσεις έκτακτης ανάγκης). Αλλά παρόλα αυτά η εκτέλεσή της παράγει μια πολύ υψηλή αξία λόγω της σημασίας της κατάστασης, κάτι που μπορεί να μεταφραστεί σε ένα εικονικό κέρδος.

Κατά τη διάρκεια μιας εκτέλεσης εργασίας στο κινητό πλέγμα, διάφορα σφάλματα μπορούν να εμφανιστούν. Αυτά τα είδη σφαλμάτων συναντιούνται συνήθως στα κατανεμημένα συστήματα καθώς επίσης και στα περιβάλλοντα πλέγματος [47][52][75][76], και συχνότερα περιλαμβάνουν: (i) *σφάλματα αστοχίας*, όπου ένας κεντρικός υπολογιστής σταματά να λειτουργεί, παρόλο που λειτουργούσε σωστά μέχρι εκείνη την στιγμή, (ii) *αποτυχίες παράλειψης*, όπου ο κεντρικός υπολογιστής αποτυγχάνει να ανταποκριθεί στα εισερχόμενα αιτήματα και να στείλει τα αντίστοιχα μηνύματα, (iii) *αποτυχίες συγχρονισμού*, όπου ο κεντρικός υπολογιστής πετυχαίνει να αποκριθεί αλλά η απάντησή είναι πέρα από το διευκρινισμένο χρονικό διάστημα με αποτέλεσμα να μην είναι χρήσιμη και άρα να μην λαμβάνεται υπόψη.

Ορίζουμε ως πιθανότητα αποτυχίας Pf_i μιας εργασίας T_i την πιθανότητα η εργασία να αποτύχει να εκτελεσθεί στο πλέγμα. Το προτεινόμενο σχέδιο ανοχής σφαλμάτων στην παρούσα διατριβή είναι βασισμένο στην έννοια της δημιουργίας πολλαπλών αντιγράφων. Σύμφωνα με αυτό, τα αντίγραφα εργασιών παράγονται από το μεσολογισμικό πλέγματος και ανατίθενται στους πόρους για την εκτέλεση τους. Χρησιμοποιούμε τον όρο *αντίγραφο* ή *αντίγραφο εργασίας* για να ορίσουμε ένα πανομοιότυπο αντίγραφο της πρωταρχικής εργασίας. Με την παραγωγή των αντιγράφων αυτών, η πιθανότητα αποτυχίας κάθε εργασίας μπορεί να ελαττωθεί σημαντικά εντούτοις, ο αριθμός των αντιγράφων που ανατίθενται τελικά στο κινητό πλέγμα αυξάνεται, αυξάνοντας αντίστοιχα το συνολικό φόρτο εργασίας που πρέπει να εκτελεστεί στο πλέγμα. Υποθέτουμε ότι m_i αντίγραφα – που συμβολίζονται ως $T_{ik}, k = 1, \dots, m_i$ - μιας πρωταρχικής εργασίας T_i παράγονται και τοποθετούνται μεταξύ άλλων πρωταρχικών εργασιών και αντιγράφων που πρόκειται να αποδοθούν σε έναν επεξεργαστή ενός κινητού κόμβου από το χρονοδρομολογητή. Ο αριθμός των εργασιών

συμπεριλαμβανομένων των αντιγράφων τους συμβολίζεται ως N' . Επομένως

$$N' = N + \sum_{i=1}^N m_i .$$

Λαμβάνοντας υπόψη την πιθανότητα αποτυχίας Pf_{ik} καθενός των m_i αντιγράφων T_{ik} της εργασίας T_i , η νέα πιθανότητα αποτυχίας Pf'_i για την εργασία T_i είναι:

$$Pf'_i = Pf_i \cdot \prod_{k=1}^{m_i} Pf_{ik} \quad (2)$$

Τα ανωτέρω αντιστοιχούν στην πιθανότητα του γεγονότος "όλα τα αντίγραφα και η αρχική εργασία αποτυγχάνει". Αντίστοιχα, η πιθανότητα επιτυχίας είναι ίση με την πιθανότητα του γεγονότος "η αρχική εργασία ή τουλάχιστον ένα από τα αντίγραφα της εκτελείται με επιτυχία". Ο αριθμός των αντιγράφων που εκδίδονται εξαρτάται από τις πιθανότητες αποτυχίας των αρχικών εργασιών και από το επιθυμητό όριο ανοχής σφαλμάτων στην υποδομή πλέματος. Συμβολίζουμε ως λ το επιθυμητό κατώτατο όριο πιθανότητας αποτυχίας. Κατά συνέπεια για κάθε εργασία ένας ικανοποιητικός αριθμός αντιγράφων δημιουργείται για να ικανοποιήσει την ανισότητα:

$$Pf'_i \leq \lambda \quad (3)$$

όπου $\lambda \in (0,1)$.

Στην παρούσα εργασία εξετάζουμε την πιθανότητα αποτυχίας μιας εργασίας σε ότι αφορά τον κινητό πόρο που ορίζεται να αναλάβει την εκτέλεση. Με βάση τους διάφορους τύπους αποτυχιών υποθέτουμε ότι μια εργασία ή ένα αντίγραφο της αποτυγχάνει εάν ο πόρος στον οποίο ορίζεται από το μεσολογισμικό να εκτελεστεί αποτυγχάνει κατά τη διάρκεια του χρόνου εκτέλεσης αυτής. Αυτή η αποτυχία δεν είναι απαραίτητως μια αποτυχία επεξεργαστών (αστοχία), αλλά μπορεί επίσης να είναι μια παράλειψη (όπως η χρονική παράλειψη) που οφείλεται σε μια αναξιόπιστη σύνδεση. Για αυτόν τον λόγο χρησιμοποιούμε

τον όρο μέσος χρόνος για την αποτυχία (Mean Time To Failure - MTTF) που αντιστοιχεί στον αναμενόμενο χρόνο που ένας κινητός πόρος πλέγματος θα λειτουργήσει προτού να αποτύχει για οποιονδήποτε λόγο. Συμβατικά, ο MTTF αναφέρεται στα μη επιδιορθούμενα αντικείμενα ενώ ο μέσος χρόνος μεταξύ αποτυχιών (Mean Time Between Failures-MTBF) αναφέρεται στα αντικείμενα που μπορούν να επιδιορθωθούν. Στα μεγάλα και σύνθετα συστήματα όπως τα κινητά πλέγματα, αν και οι μεμονωμένες συναρτήσεις αξιοπιστίας των μεμονωμένων συστατικών πόρων μπορούν να είναι υψηλές, η γενική αξιοπιστία του συστήματος μπορεί να είναι ενδεχομένως χαμηλή [77], λόγω των συνδεδεμένων και αλληλεξαρτημένων τρόπων αποτυχίας ή των διάφορων εξωγενών παραγόντων. Η διάρκεια ζωής των πόρων του κινητού πλέγματος που εξετάζεται εδώ υποτίθεται ότι άρχισε στο χρόνο $\tau = 0$, και οποιαδήποτε γεγονότα που εμφανίζονται κατά περιόδους $\tau < 0$ είναι αδιάφορα.

6.3 Μοντέλο δημιουργίας αντιγράφων

Το μοντέλο που χρησιμοποιείται είναι βασισμένο στη κατανομή Weibull δεδομένου ότι αυτό το μοντέλο αντιπροσωπεύει αποτελεσματικά τη διαθεσιμότητα μηχανών στα υπολογιστικά περιβάλλοντα μεγάλης κλίμακας [78] όπως τα επιχειρησιακά Πληροφοριακά Συστήματα, το Διαδίκτυο και τα πλέγματα εκτενών ζωνών. Η κατανομή Weibull χρησιμοποιείται συχνά για να μοντελοποιήσει το χρόνο μέχρι την αποτυχία πολλών διαφορετικών φυσικών συστημάτων και για αυτόν τον λόγο είναι καταλληλότερη για τη μελέτη μας έναντι άλλων κατανομών όπως η Poisson ή η εκθετική. Οι παράμετροι στη κατανομή αυτή παρέχουν μεγάλη ευελιξία στο να διαμορφωθούν μεγάλου εύρους συστήματα όπως λ.χ. εκείνα στα οποία ο αριθμός αποτυχιών αυξάνεται κατά τη διάρκεια του χρόνου (π.χ. συστήματα που θυμούνται την ηλικία τους), μειώνεται κατά τη διάρκεια

του χρόνου (π.χ. μερικοί ημιαγωγοί), ή παραμένει σταθερός με το χρόνο (π.χ. αποτυχίες που προκαλούνται από εξωτερικούς λόγους στο σύστημα) [79].

6.3.1 Κατανομή Weibull

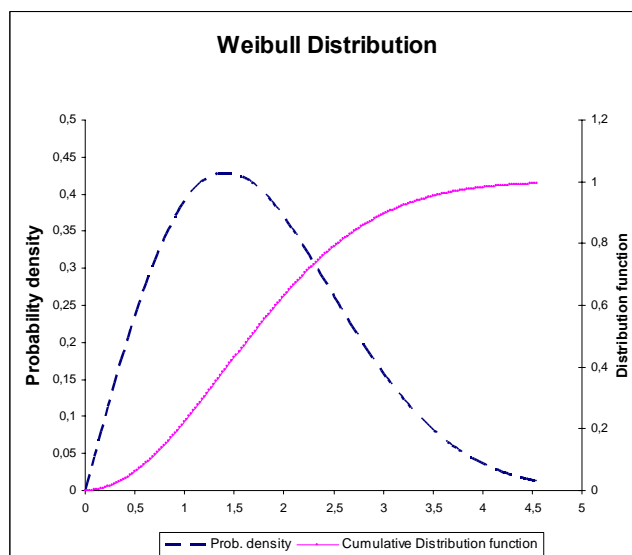
Εάν το X είναι μια τυχαία μεταβλητή τότε η *συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας* (pdf)

$$f(x) = \frac{\beta}{\delta} \left(\frac{x}{\delta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{x}{\delta}\right)^\beta} \quad (4)$$

είναι μια κατανομή Weibull για $x > 0$, με την παράμετρο κλίμακας $\delta > 0$ και την παράμετρο μορφής $\beta > 0$. Ειδικά για την περίπτωση όπου $\beta = 1$ η κατανομή Weibull είναι ίδια με την εκθετική κατανομή.

Η *αθροιστική συνάρτηση κατανομής* (cdf) του X είναι:

$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{\delta}\right)^\beta} \quad (5)$$



Εικόνα 14: Η κατανομή Weibull. Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (pdf) και η αθροιστική συνάρτηση κατανομής (cdf) για $\beta = \delta = 2$

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή

Η συνάρτηση αξιοπιστίας $R(x)$ μιας μηχανής που ακολουθεί μια συγκεκριμένη κατανομή είναι η πιθανότητα η μηχανή να μην αποτύχει στο χρονικό διάστημα $(0, x]$. Είναι ουσιαστικά η μονάδα μείον το cdf, και έτσι για τη Weibull δίνεται από:

$$R(x) = e^{-\left(\frac{x}{\delta}\right)^\beta} \quad (6)$$

Ένα σύστημα που ακολουθεί το νόμο αποτυχίας Weibull (Weibull Failure Law, WFL) έχει μια *συνάρτηση κινδύνου (συνάρτηση στιγμιαίου ρυθμού αποτυχίας)* [80][81] της μορφής:

$$h(x) = \rho \alpha x^{\alpha-1} \quad (7)$$

όπου α και $\rho > 0$. Υπάρχουν τρεις περιπτώσεις σύμφωνα με τις τιμές της παραμέτρου α :

- εάν $\alpha = 1$, τότε ρυθμός κινδύνου είναι σταθερός και ο νόμος αποτυχίας Weibull είναι εκθετικός.
- εάν $\alpha > 1$, τότε η συνάρτηση κινδύνου αυξάνεται όσο το σύστημα γερνά. Στους περισσότερους τομείς των εφαρμογών αυτή είναι η πιο συνηθισμένη περίπτωση. Σε αυτή την περίπτωση το σύστημα έχει μνήμη και θυμάται την ηλικία του.
- εάν $\alpha < 1$, τότε η συνάρτηση κινδύνου μειώνεται όσο το σύστημα γερνάει.

6.3.2 Εκτίμηση των παραμέτρων Weibull

Η εκτίμηση των παραμέτρων Weibull είναι ζωτικής σημασίας για το σχηματισμό της συνάρτησης αξιοπιστίας και άρα για η ίδια τη διαδικασία δημιουργίας αντιγράφου. Υπάρχουν διάφορες προσεγγίσεις για την εκτίμηση των παραμέτρων Weibull, όπως: η χάραξη πιθανότητας (Probability plotting), η εκτίμηση μέγιστης ομοιότητας (Maximum Likelihood Estimation –MLE) και η μέθοδος των ελάχιστων τετραγώνων (Least Square Errors, LSE) [82]. Δεδομένου ότι ο στόχος είναι να υπάρξει ένας αυτοματοποιημένος τρόπος να υπολογιστούν οι παράμετροι η μέθοδος χάραξης πιθανότητας παραλείπεται. Ο

καταλληλότερος τρόπος για τον υπολογισμό των παραμέτρων είναι η γραμμική οπισθοδρόμηση που επιτρέπει έναν απλό υπολογισμό των παραμέτρων Weibull. Υποθέτουμε ότι το MTBF κατανέμεται μια Weibull pdf δύο παραμέτρων. Οι πραγματικοί χρόνοι πριν από την αποτυχία συλλέγονται με αύξουσα σειρά. Μετατρέπουμε την (5) σε μια γραμμική εξίσωση της μορφής $y = \beta x + b$. Τότε, παίρνουμε:

$$\ln\left(\ln\left(\frac{1}{1-F(t)}\right)\right) = \beta \ln(t) - \beta \ln(\delta), \quad (8)$$

Τα στοιχεία που λάβαμε πρέπει οπωσδήποτε να ακολουθήσουν αυτήν την γραμμή. Λαμβάνουμε τις συντεταγμένες για τα σημεία αντίστοιχα:

$$x_i = \ln(t_i), y_i = \ln\left(\ln\left(\frac{1}{1-mr_i}\right)\right) \quad (9)$$

όπου ο όρος mr_i αντιπροσωπεύει τάξη μέσου (median rank) του σημείου (x_i, y_i) . Ο median rank υπολογίζει την αναξιοπιστία για κάθε αποτυχία και μπορεί να περιγραφεί γενικά ως η αληθινή πιθανότητα για i αποτυχίες από n δείγματα με 50% εμπιστοσύνης. Μια γρήγορη μέθοδος για να υπολογιστεί ο median rank είναι η εξίσωση:

$$mr_i = \frac{i - 0.3}{n + 0.4} \quad (10)$$

Από την απλή γραμμική οπισθοδρόμηση μπορούμε να εφαρμόσουμε least-squares κατάλληλα στην ακολουθία των σημείων που έχουμε συλλέξει. Χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις για x_i και y_i παίρνουμε:

$$\beta = \frac{k \sum_{j=1}^k x_j y_j - \left(\sum_{j=1}^k x_j\right) \cdot \left(\sum_{j=1}^k y_j\right)}{k \sum_{j=1}^k x_j^2 - \left(\sum_{j=1}^k x_j\right)^2} \quad (11\alpha)$$

$$\delta = \exp \left(\frac{\left(\sum_{j=1}^k y_j \right) \cdot \left(\sum_{j=1}^k x_j^2 \right) - \left(\sum_{j=1}^k x_j \right) \cdot \left(\sum_{j=1}^k x_j y_j \right)}{-\beta \cdot \left(k \sum_{j=1}^k x_j^2 - \left(\sum_{j=1}^k y_j \right)^2 \right)} \right) \quad (11\beta)$$

όπου το k είναι ο αριθμός σημείων (δηλ. ο αριθμός αποτυχιών) που έχουν χρησιμοποιηθεί ως εισαγωγή στην εκτίμηση των παραμέτρων Weibull.

Για να δώσουμε ένα παράδειγμα, θεωρούμε $n=100$ μηχανές (λ.χ. κατά προτίμηση notebooks) μιας υποδομής πλέματος, τα οποία αρχίζουν τη λειτουργική ζωή τους τη στιγμή $t = 0$. Υποθέτουμε ότι οι πρώτες $j = 4$ αποτυχίες εμφανίζονται στους χρόνους t_j , όπου $t_1 = 47$ ώρες, $t_2 = 122$ ώρες, $t_3 = 187$ ώρες, και $t_4 = 233$ ώρες. Αυτό μας δίνει 4 σημεία στοιχείων που παρουσιάζονται σε αύξουσα σειρά στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 2) μαζί με τα x_i και y_i που έχουν παραχθεί μέσω (9) και (10).

j	t_j	x_i	y_i
1	47	3.850148	-4.96234
2	122	4.804021	-4.07001
3	187	5.231109	-3.60231
4	233	5.451038	-3.28211

Πίνακας 2: Παραδείγματα τιμών για τον υπολογισμό των παραμέτρων β , δ

Με την εφαρμογή της γραμμικής παρεμβολής μπορούμε να εκτελέσουμε την τοποθέτηση αυτής της ακολουθίας των τεσσάρων σημείων σε μια γραμμή. Με τη χρησιμοποίηση των εξισώσεων (11) για τις παραμέτρους της κατανομής Weibull παίρνουμε, $\beta = 0.016$ και $\delta = 548.484$.

6.3.3 Υπολογισμός των αντιγράφων

Η πιθανότητα μιας εργασίας να αποτύχει είναι ίση με την πιθανότητα της αποτυχίας όλων των αντιγράφων της, όπως έχουμε ήδη περιγράψει στην παράγραφο 6.2. Στην παρούσα εργασία εξετάζονται οι αποτυχίες εργασιών που εμφανίζονται εξαιτίας του γεγονότος ότι έχουμε αναξιόπιστες μηχανές στην υποδομή κινητού πλέγματος. Θα παραλείψουμε άλλες περιπτώσεις αποτυχίας που προκαλούνται λόγω συγχρονισμού των εφαρμογών ή από το λογισμικό των εφαρμογών προκειμένου να απλοποιηθεί η μελέτη. Εντούτοις το προτεινόμενο μοντέλο μπορεί να ενισχυθεί ώστε να ενσωματώσει μια πρόσθετη πιθανότητα αποτυχίας από λάθη που εμφανίστηκαν κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης λόγω όμως του λογισμικού των προγραμμάτων εφαρμογών.

Ανεξαρτήτως από τον αλγόριθμο χρονοδρομολόγησης (το μοντέλο μας δεν περιορίζεται από τον αλγόριθμο χρονοδρομολόγησης που υιοθετείται στο εν λόγω κινητό πλέγμα) υποθέτουμε ότι μια εργασία πρόκειται να δρομολογηθεί για εκτέλεση σε κάποιον από τους πόρους του πλέγματος. Σε αυτήν την περίπτωση υποθέτουμε ότι μια εργασία (πριν από την διαδικασία δημιουργίας των απαραίτητων αντιγράφων) πρόκειται να δρομολογηθεί στο κινητό πλέγμα για εκτέλεση. Κάθε πόρος του κινητού πλέγματος χαρακτηρίζεται από μια συνάρτηση αξιοπιστίας και συνεπώς από μια συνάρτηση κινδύνου. Στη γενική περίπτωση και ανεξάρτητα από οποιαδήποτε πολιτική χρονοδρομολόγησης και ανάθεσης των πόρων υποθέτουμε ότι η εργασία πρόκειται να αρχίσει την εκτέλεσή της τη στιγμή t . Υποθέτουμε ότι ένας κινητός πόρος έχει επιζήσει μέχρι το χρόνο t . Η συνάρτηση κινδύνου $h(t)$ τότε είναι ο ρυθμός αποτυχίας κατά τη διάρκεια του σύντομου χρονικού διαστήματος $(t, t+\Delta t]$. Δεδομένου ότι ένας κινητός πόρος είναι ακόμα ζωντανός τη χρονική στιγμή t , τότε η πιθανότητα της αποτυχίας κατά τη διάρκεια του επόμενου χρονικού διαστήματος $t+\Delta t$ μπορεί να εκφραστεί γενικά ως εξής:

$$P(t < s < t + \Delta t | s > t) = P(t < s < t + \Delta t) / P(s > t) \quad (12)$$

το s εδώ αντιπροσωπεύει τη χρονική στιγμή της αποτυχίας. Για το μικρό Δt παίρνουμε $h(t) = f(t)/R(t)$.

Σε περίπτωση που γνωρίζουμε το χρόνο εκτέλεσης μιας εργασίας σε έναν δεδομένο πόρο μπορούμε να υπολογίσουμε αυτήν την πιθανότητα από την ακόλουθη εξίσωση:

$$P(t_0 < s < t_0 + ET_{ij} | s > t_0) = P(t_0 < s < t_0 + ET_{ij}) / P(s > t_0) \quad (13)$$

όπου t_0 είναι ο χρόνος όταν ορίζεται η εργασία T_i στον πόρο για την εκτέλεση και ET_{ij} ο χρόνος εκτέλεσης που αυτή διαρκεί στο συγκεκριμένο πόρο.

Μερικές φορές και προκειμένου να υπολογιστεί αυτή η πιθανότητα είναι απαραίτητο να είναι γνωστός ο χρόνος εκτέλεσης της εργασίας σε έναν δεδομένο πόρο ή τουλάχιστον να μπορεί να προβλεφθεί μια καλή εκτίμηση αυτού. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι να προβλεφθεί ο χρόνος εκτέλεσης για ένα ζευγάρι εργασίας/πόρου που παρουσιάζονται μεταξύ άλλων στις αναφορές [83],[84],[85],[86],[87] και [88]. Μερικοί από αυτούς κάνουν χρήση πληροφοριών από προηγούμενες αποδόσεις των πόρων. Για μεγάλες χρονικά εφαρμογές ή μη σταθερά περιβάλλοντα, χρησιμοποιούνται μοντέλα πρόβλεψης σε επίπεδο εφαρμογής. Ένα μη γραμμικό μοντέλο πρόβλεψης για ετερογενείς εφαρμογές με άγνωστο πηγαίο κώδικα (που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ώστε να επιτραπεί η εμπιστευτικότητα για συγκεκριμένες εμπορικές εφαρμογές) παρουσιάζεται στην αναφορά [89].

Σε περίπτωση που οι χρόνοι εκτέλεσης είναι μικροί χρησιμοποιείται η συνάρτηση ρυθμού κινδύνου κατά WFL. Ειδικότερα σε περίπτωση μεγαλύτερου χρόνου εκτέλεσης και προκειμένου να είμαστε ακριβέστεροι, χρησιμοποιούμε την εξίσωση:

$$P(t_0 < s < t_0 + ET_{ij} | s > t_0) = [F(t_0 + ET_{ij}) - F(t_0)] / R(s) = g(ET_{ij}, s) \quad (14)$$

Σε αυτήν την περίπτωση η συνάρτηση $g(\cdot, \cdot)$ δίνει την υπό συνθήκη πιθανότητα αποτυχίας του πόρου κατά τη διάρκεια εκτέλεσης της συγκεκριμένης εργασίας. Ο υπολογισμός του αριθμού αντιγράφων είναι βασισμένος στη σχέση:

$$\prod_{k=1}^{m_i} g_{ik} \leq \lambda \quad (15)$$

όπου το g_{ik} αναπαριστά την πιθανότητα $g(\cdot, \cdot)$ για το k-στο αντίγραφο της εργασίας T_i που συμβολίζεται με T_{ik} .

Στην ειδική περίπτωση όπου έχουμε τον ίδιο σταθερό ρυθμό κινδύνου για κάθε πόρο, τότε όπως έχει αναφερθεί ήδη, ο νόμος WFL γίνεται ένας εκθετικός νόμος αποτυχίας, ο οποίος συμπίπτει στην περίπτωση μιας κανονικής λειτουργίας κάποιας μηχανής (αποκλείοντας κατά αυτόν τον τρόπο τις δύο φάσεις του λεγόμενου «στρωσίματος» και της «απόσυρσης»). Σε αυτήν την περίπτωση, για κάθε αντίγραφο T_{ik} έχουμε $g_{ik} = g_i$ και παίρνουμε:

$$g_i^{(m_i+1)} \leq \lambda \Rightarrow (m_i + 1) \cdot \log(g_i) \leq \log(\lambda) \quad (16)$$

Και δεδομένου ότι $g_i < 1 \Rightarrow \log(g_i) < 0$, έχουμε

$$m_i \geq \frac{\log(\lambda)}{\log(g_i)} - 1 \quad (17)$$

Τέλος, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι ο ελάχιστος αριθμός αντιγράφων που απαιτούνται για να ικανοποιήσουν μια πιθανότητα αποτυχίας μικρότερη ή ίση προς το δεδομένο κατώτατο όριο λ είναι:

$$m_i = \left\lceil \frac{\log(\lambda)}{\log(g_i)} - 1 \right\rceil \quad (18)$$

6.3.4 Χρονοπρογραμματισμός και Διαχείριση Πόρων

Όπως περιγράφεται στην παράγραφο 6.2, το πλέγμα θεωρείται ότι έχει ένα συνολικό

υπολογιστικό ρυθμό $\mu_G = \sum_{j=1}^{N_p} \mu_j$, όπου $\mu_j, j \in \{1, 2, \dots, N_p\}$ είναι ο υπολογιστικός ρυθμός

καθενός των N_p συμβαλλόντων επεξεργαστών των κινητών κόμβων. Κατά συνέπεια, σε μια

χρονική περίοδο T_{per} , η ικανότητα ή χωρητικότητα του πλέγματος, που σημαίνει το ποσό

υπολογιστικής εργασίας που το πλέγμα μπορεί να εκτελέσει στην χρονική περίοδο αυτή

είναι:

$$C = \mu_G \cdot T_{per} \quad (19)$$

μετρημένη στις ίδιες υπολογιστικές μονάδες με το φόρτο εργασίας (π.χ. MFLO).

Κάθε εργασία T_i που υποβάλλεται για εκτέλεση χαρακτηρίζεται από έναν φόρτο εργασίας

w_i , μια πιθανότητα αποτυχίας Pf_i βασισμένη στην πιθανότητα αποτυχίας του πόρου που

ανατίθεται για την εκτέλεση και ένα κέρδος v_i που επιτυγχάνεται εάν η εκτέλεσή της

ολοκληρώνεται επιτυχώς. Ο συνολικός φόρτος εργασίας για το σύστημα είναι $W = \sum_{i=1}^N w_i$.

Προκειμένου να επιτευχθεί μια υψηλή ρυθμοαπόδοση (throughput) πλέγματος που

μεταφράζεται ουσιαστικά στη μέγιστη χρησιμοποίηση των πόρων πλέγματος και για να

κερδίσει το μέγιστο δυνατό κέρδος, είναι απαραίτητο να αποφασιστεί ποιες εργασίες πρέπει

να εκτελεστούν στο δεδομένο χρονικό διάστημα T_{per} ώστε να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις.

Υποθέτουμε ότι η περίοδος επιλέγεται ώστε να εκπληρωθεί ο περιορισμός της ικανοποίησης

των προθεσμιών για τις εργασίες που τίθενται από τους χρήστες. Στην περίπτωση ενός

πλέγματος του οποίου η υπολογιστική ικανότητα για τη δεδομένη περίοδο είναι μεγαλύτερη

από το συνολικό φόρτο εργασίας των υποβληθέντων εργασιών (δηλαδή όταν $W \leq C$) τότε

όλες οι εργασίες μπορούν να υποβληθούν στους πόρους πλέγματος για την εκτέλεση τους. Εάν $W > C$, τότε μόνο ένα υποσύνολο εργασιών μπορεί να επιλεγεί. Για να επιτύχουμε βελτιστοποίηση στο κέρδος από την εκτέλεση των εργασιών, απαιτείται ένας διαχειριστικός μηχανισμός που θα αποφασίσει ποιες εργασίες θα επιλεγούν για την εκτέλεση. Ο στόχος αυτού του μηχανισμού είναι να επιλεγεί ένα υποσύνολο εργασιών $T' \subseteq T$, έτσι ώστε το συνολικό κέρδος να μεγιστοποιείται δεδομένου ότι $W_{T'} \leq C$. Αυτό το πρόβλημα μπορεί να διατυπωθεί ως περίπτωση του προβλήματος «σακιδίου», και ειδικότερα του προβλήματος «σακιδίου 0/1» [90], το οποίο καθορίζεται ως εξής:

"Υπάρχουν $N \geq 0$ στοιχεία και ένα σακίδιο χωρητικότητας $C > 0$. Κάθε στοιχείο $i \in [1, N]$ έχει ένα κέρδος $v_i > 0$ και ένα βάρος $w_i > 0$. Βρείτε την επιλογή των στοιχείων ($z_i = 1$ εάν επιλέγεται, $z_i = 0$ εάν όχι) έτσι ώστε να ισχύει $\sum_{i=1}^N z_i \cdot w_i \leq C$ και ο όρος $\sum_{i=1}^N z_i \cdot v_i$ να μεγιστοποιείται."

Η διαδικασία γίνεται ακόμα πιο περίπλοκη όταν υιοθετείται και ο μηχανισμός δημιουργίας αντιγράφων. Σε αυτήν την περίπτωση, ο συνολικός φόρτος εργασίας για το σύστημα, που συμβολίζεται ως W_R , είναι το ποσό του φόρτου εργασίας κάθε εργασίας που πρόκειται να εκτελεστεί, συμπεριλαμβανομένων των δημιουργημένων αντιγράφων τους, επομένως

$$W_R = \sum_{i=1}^N (1 + m_i) \cdot w_i, \text{ όπου το } m_i \text{ δείχνει τον αριθμό αντιγράφων που δημιουργούνται για την}$$

εργασία T_i . Θα υποθέσουμε ότι η επιτυχής εκτέλεση περισσότερων του ενός αντιγράφων της ίδιας εργασίας δεν παράγει πρόσθετο κέρδος. Αυτή η υπόθεση έχει γίνει δεδομένου ότι ειδάλλως θα απαιτούταν μια συγκεκριμένη οικονομική ανάλυση για τον προσδιορισμό μιας ακριβούς τιμής, η οποία όμως είναι εκτός της εμβέλειας της παρούσας εργασίας. Το συνολικό κέρδος που μπορεί να αποκομιστεί επιτυχώς προκύπτει από την εκτέλεση του

συνόλου των N εργασιών και είναι $V = \sum_{i=1}^N v_i$. Εντούτοις το κέρδος των εργασιών μέσα στο

σακίδιο είναι $V_{knapsack} = \sum_{i=1}^N z_i \cdot v_i$.

Στην περίπτωση που κανένα αντίγραφο δεν δημιουργείται, το αναμενόμενο κέρδος $V_{Expected}$ είναι:

$$V_{Expected} = \sum_{i=1}^N z_i \cdot v_i \cdot (1 - Pf_i) \quad (20)$$

Ενώ στην περίπτωση που έχουμε δημιουργία αντιγράφων το αναμενόμενο κέρδος είναι:

$$V_{Expected} = \sum_{i=1}^N z_i \cdot v_i \cdot (1 - Pf_i \cdot \prod_{k=1}^{m_i} Pf_{ik}) \quad (21)$$

Ωστόσο το πραγματικό κέρδος και για τις δύο περιπτώσεις διατυπώνεται ως:

$$V_{actual} = \sum_{i=1}^N z_i \cdot v_i \cdot \zeta_i \quad (22)$$

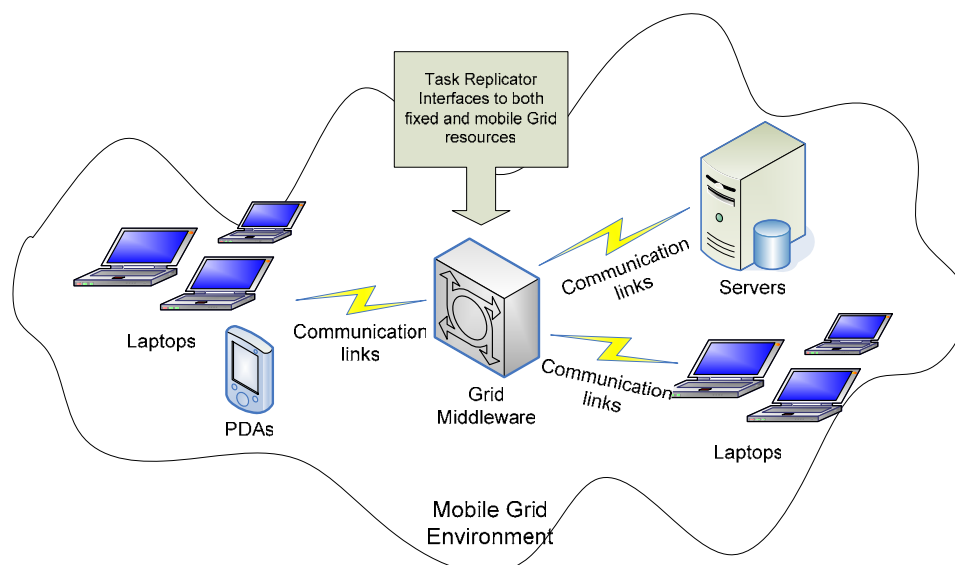
όπου $\zeta_i = 1$ εάν τουλάχιστον ένα από τα αντίγραφα (αρχικό ή αντίγραφο) της T_i έχει εκτελεστεί επιτυχώς, διαφορετικά $\zeta_i = 0$.

Σύμφωνα με την πολιτική τιμολόγησης και χρέωσης που υιοθετείται από το σύστημα πλέγματος, το κέρδος v_i μιας εργασίας μπορεί να είναι μεγαλύτερο σε περίπτωση που υπάρχει η υπηρεσία δημιουργίας αντιγράφων, είτε κατά ένα σταθερό ποσό, είτε από ένα ποσό που εξαρτάται από τον αριθμό των αντιγράφων που δημιουργούνται. Τούτο συμβαίνει δεδομένου ότι η πρόσθετη δαπάνη μπορεί να απαιτηθεί για την παροχή της υπηρεσίας ανοχής σφαλμάτων που θεωρείται ως πτυχή QoS για τον τελικό χρήστη. Η δημιουργία αντιγράφων εργασιών αυξάνει την πιθανότητα μερικών εκ των πρωταρχικών να αποκλειστούν τη συγκεκριμένη περίοδο, με συνέπεια την απώλεια κέρδους, ενώ αφ' ετέρου αυξάνει την πιθανότητα να εκτελεστούν επιτυχώς οι επιλεγμένες εργασίες, με συνέπεια την

αποκόμιση του κέρδους που αντιστοιχεί σε αυτές. Η απόφαση σχετικά με το πώς θα διαχειριστεί αυτή η αντικρουόμενη κατάσταση λαμβάνεται σύμφωνα με τις τιμές των παραμέτρων που περιλαμβάνονται (όπως η πιθανότητα αποτυχίας, ο φόρτος εργασίας έναντι της ικανότητας του πλέγματος, τα κέρδη των εργασιών) για κάθε στιγμιότυπο του προβλήματος.

6.3.4.1 Περιγραφή συμπεριφοράς του μοντέλου

Η ιδέα που κρύβεται πίσω από το συγκεκριμένο μοντέλο διαχείρισης της ανοχής σφαλμάτων είναι να επιτραπούν οι διάφοροι μηχανισμοί χρονοδρομολόγησης, που υπάρχουν ήδη στις διάφορες εφαρμογές μεσολογισμικού πλέγματος, ώστε να ενισχυθεί η γενική λειτουργία αυτών με τις ιδιότητες ανοχής σφαλμάτων μέσω της αντιγραφής εργασιών και της ανάθεσης των πολλαπλών αντιγράφων στους διαφορετικούς πόρους πλέγματος. Στα απλά κινητά περιβάλλοντα πλέγματος (όπως αυτό που απεικονίζεται στην Εικόνα 15), διάφορες αποτυχίες μπορεί να συμβούν με συνέπεια την απόκλιση από τις προθεσμίες των χρηστών αλλά και στην συνολική παράλειψη της εκτέλεσης της εργασίας εν γένει. Το προτεινόμενο μοντέλο διαχείρισης των πόρων και των εργασιών βασίζεται στη διατύπωση «σακιδίου» και είναι ολοκληρωμένο μέσα στο ίδιο μεσολογισμικό του πλέγματος, έχοντας την αρμοδιότητα να δημιουργήσει τα απαραίτητα αντίγραφα των υποβληθέντων εργασιών βασιζόμενο στη συνάρτηση αξιοπιστίας των πόρων.



Εικόνα 15: Απλή περίπτωση ενός περιβάλλοντος κινητού πλέγματος με δημιουργία αντιγράφων εργασιών

Μόλις ένας νέος πόρος συνδέεται με την υποδομή του κινητού πλέγματος (π.χ. notebooks αλλά και σταθεροί κεντρικοί υπολογιστές), το μεσολογισμικό ενημερώνεται ώστε να υπολογιστούν και οι δικές του οι παράμετροι Weibull βασισμένες στα δεδομένα που θα λάβει στις πρώτες αποτυχίες (π.χ. 4 αποτυχίες). Γνωρίζοντας το πρότυπο αποτυχίας Weibull για το δεδομένο πόρο το μεσολογισμικό είναι σε θέση να υπολογίσει την πιθανότητα αποτυχίας για τις επόμενες αναθέσεις εργασιών, και βασιζόμενο στον κατ' εκτίμηση χρόνο εκτέλεσης κάθε εργασίας στο συγκεκριμένο πόρο.

Το προτεινόμενο διαχειριστικό μοντέλο ανοχής σφαλμάτων μπορεί να συνεργαστεί με τους διάφορους μηχανισμούς χρονοδρομολόγησης (με βάση τα κριτήριά τους) τα οποία θα παρήγαν ένα χρόνο-πρόγραμμα και μια ανάθεση επεξεργαστών για τις εισερχόμενες εργασίες.

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή

Τέτοιοι μηχανισμοί παράγονται από μια πιο περίπλοκη οντότητα που ενσωματώνει τις πολιτικές χρονοδρομολόγησης, παραδείγματα των οποίων μπορούν να βρεθούν στα διάφορα συστήματα και τις λύσεις μεσολογισμικού πλέγματος όπως π.χ. στις αναφορές [64],[66],[67],[68],[71] κ.ά. Για κάθε εργασία που ορίζεται σε έναν πόρο για εκτέλεση ο προτεινόμενος μηχανισμός εκτελεί αρχικώς έναν έλεγχο για να προσδιορίσει την πιθανότητα αποτυχίας του πόρου κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης της συγκεκριμένης. Εάν δεν ισχύει η ανισότητα (3) τότε ένα νέο αντίγραφο παράγεται και δρομολογείται για εκτέλεση σε έναν διαφορετικό πόρο βασισμένο στο υπάρχον σχέδιο χρονοδρομολόγησης. Η νέα πιθανότητα αποτυχίας των αντιγράφων που βασίζεται στην εξίσωση (2) υπολογίζεται στη συνέχεια, και αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται έως ότου η συνολική πιθανότητα αποτυχίας όλων των αντιγράφων της εργασίας να είναι μικρότερη από το καθορισμένο κατώτατο όριο λ .

Όπως έχει αναφερθεί ήδη στην παράγραφο 6.2 υπάρχουν διάφοροι μηχανισμοί για την εκτίμηση του χρόνου εκτέλεσης μιας δεδομένης εργασίας σε έναν δεδομένο πόρο. Ειδικά στις εμπορικές εφαρμογές που προσανατολίζονται σε υποδομές πλέγματος τέτοιοι μηχανισμοί είναι υποχρεωτικοί για λόγους σχετικούς με την οικονομική αποδοτικότητα των υποδομών, τον προγραμματισμό εκτέλεσης των εισερχόμενων εργασιών και την χρονική δέσμευση των πόρων προκειμένου να ικανοποιηθούν οι περιορισμοί QoS που τίθενται από τους χρήστες. Το προτεινόμενο σχέδιο εντούτοις, μπορεί να έχει μια διπλή λειτουργία. Μπορεί να χρονοδρομολογήσει όλα τα αντίγραφα για την εκτέλεση στους πόρους πλέγματος ανεξάρτητα από το γεγονός ότι εάν ο πρώτος πόρος επιτύχει να παραδώσει τα αποτελέσματα τότε οι άλλοι να μπορούν να αποδεσμευτούν από την πανομοιότυπη εκτέλεση του ίδιου αντιγράφου της συγκεκριμένης εργασίας. Αυτή η προσέγγιση υπονοεί μια επιβάρυνση διαχειριστικού ελέγχου για τα αντίγραφα, και συνεπώς ένα πιο προηγμένο σύστημα ελέγχου που θα παρακολουθούσε την κατάσταση της διαδικασίας εκτέλεσης με συνέπεια μια πιο

σύνθετη λύση στο κινητό περιβάλλον πλέγματος. Από την άλλη βέβαια η αποδέσμευση αυτή εξοικονομεί άλλους υπολογιστικούς πόρους που διατίθενται πλέον για εκτέλεση άλλων εργασιών (και όχι των πλεοναζόντων αντιγράφων μια ήδη επιτυχημένης εκτέλεσης) με συνέπεια μια αυξανόμενη αποδοτικότητα για όλο το σύστημα πλέγματος. Αφ' ετέρου όμως, το γεγονός ότι τα αντίγραφα μπορούν να χρονοδρομολογηθούν χωρίς οποιαδήποτε πρόσθετη διαχείριση για την αφαίρεση των πολλαπλάσιων αντιγράφων (παρόλο που ο πρώτος μπορεί ήδη να έχει ολοκληρώσει επιτυχώς την εκτέλεση της πρωταρχικής εργασίας), είναι ένα σχήμα απλό από την άποψη της διαχείρισης αλλά κάνει μια πιο άπληστη κατανάλωση των διαθέσιμων πόρων προκειμένου να επιτευχθεί η επιθυμητή ανοχή σφαλμάτων.

Οι εργασίες που έχουν αφεθεί εκτός του σακιδίου θα εξεταστούν για να επαναδρομολογήσει στην επόμενη επανάληψη του αλγορίθμου. Υπενθυμίζεται ότι η υιοθέτηση της διατύπωσης σακιδίου έχει γίνει επειδή δεν είναι δυνατό να ληφθούν όλες οι εργασίες για εκτέλεση στο πλέγμα με τη μία, δεδομένου ότι ο συνολικός φόρτος εργασίας υπερβαίνει την χωρητικότητα της υποδομής πλέγματος. Η αναβολή της εκτέλεσης μιας εργασία μπορεί να οδηγήσει σε μερικές περιπτώσεις σε μια απόκλιση από την προθεσμία. Αυτή η απόκλιση μπορεί να αντιμετωπιστεί επίσης από έναν άλλο μηχανισμό όπως παρουσιάζεται στην αναφορά [91] ώστε να εγγυηθεί ένα συγκεκριμένο επίπεδο του ποιότητας υπηρεσιών με δίκαιο τρόπο ως προς το σύνολο των χρηστών. Η έννοια της μελέτης [91] είναι η υιοθέτηση ενός αλγορίθμου ανώτατου-ελάχιστου δίκαιου μεριδίου (max-min fair share) για να διαχειριστεί την ανάθεση των εργασιών στους πόρους πλέγματος. Τα αποτελέσματα σε εκείνη την μελέτη δείχνουν ότι είναι δυνατό να διανεμηθεί ο υπολογιστικός ρυθμός της υποδομής πλέγματος κατά τρόπο δίκαιο για κάθε εργασία, εξυπηρετώντας τα περισσότερα δυνατά αντίγραφα προκειμένου να διατηρηθεί ένα συγκεκριμένο όριο ανοχής σφαλμάτων στο σύστημα αλλά ανεξάρτητα από το κέρδος.

6.3.4.2 Σύγκριση αλγορίθμων για το πρόβλημα «σακιδίου 0/1»

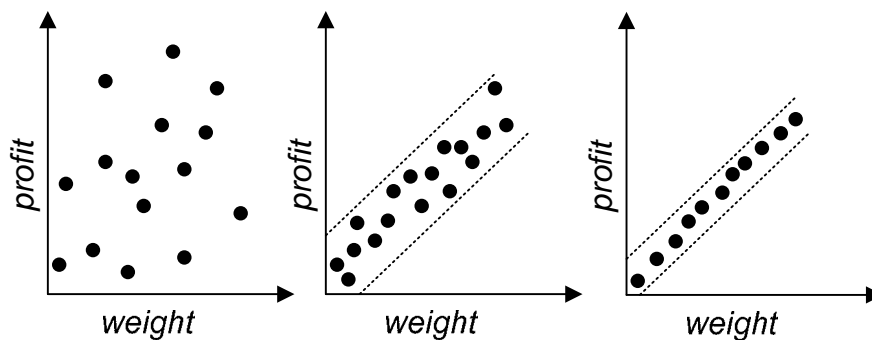
Όλες οι εκδόσεις του προβλήματος σακιδίου ανήκουν στην οικογένεια των *δύσκολων μη πολυωνυμικών* (NP-hard) προβλημάτων, που σημαίνει ότι κανένας πολυωνυμικός αλγόριθμος δεν έχει επινοηθεί μέχρι τώρα για αυτά τα προβλήματα. Επομένως, για να βρεθεί η βέλτιστη λύση απαιτείται μια συνολική απαρίθμηση του διαστήματος των λύσεων. Εντούτοις, η ουσιαστική προσπάθεια μπορεί να εξοικονομηθεί με την υιοθέτηση διαφόρων τεχνικών όπως ο branch-and-bound, ο δυναμικός προγραμματισμός, και η προεπεξεργασία [51]. Οι επισκοπήσεις κάποιων ακριβών τεχνικών λύσης παρουσιάζονται επίσης μέσα στις αναφορές [92] και [93]. Επιπλέον, ευριστικοί αλγόριθμοι που παράγουν εφικτές, και συνήθως υπο-βέλτιστες λύσεις μέσα σε σύντομους χρόνους εκτέλεσης μπορούν να βρεθούν στις αναφορές [93] και [94]. Η αναφορά [95] παρουσιάζει έναν αλγόριθμο που παρέχει σχεδόν-βέλτιστες λύσεις στο πρόβλημα σακιδίων 0-1, με όρια για το πεδίο της υπο-βέλτιστης λύσης ενσωματώνοντας μια τοπική ευριστική διαδικασία μέσα σε έναν πλαίσιο του branch-and-bound. Οι άπληστοι ευριστικοί αλγόριθμοι βασίζονται στην τοποθέτηση των στοιχείων κατά σειρά από το υψηλότερο στο χαμηλότερο κέρδος τους στις αντίστοιχες αναλογίες βάρους και έπειτα την προσπάθεια να γεμιστεί το σακίδιο από εκείνη την ακολουθία με τα καλύτερα στοιχεία από την άποψη του λόγου κόστους/βάρους. Αυτοί οι αλγόριθμοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να γεμίσουν αρχικά το σακίδιο και στη συνέχεια να εφαρμοστούν κάποιοι απλοί τοπικοί ευριστικοί – όπως για παράδειγμα η αφαίρεση ενός στοιχείου από το σακίδιο και η αντικατάσταση του με ένα διαφορετικό στοιχείο - μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη βελτίωση της αρχικής λύσης. Επίσης, οι ευριστικές προσεγγίσεις βασισμένες στους γενετικούς αλγορίθμους έχουν ερευνηθεί στις μελέτες [96],[97] και [98].

Η απόδοση του αλγορίθμου εξαρτάται από τη φύση και τις περιπτώσεις των δεδομένων εισόδου που εξετάζονται για τη συγκεκριμένη εφαρμογή. Οι περιπτώσεις των δεδομένων μπορούν να είναι (i) *Μη συσχετιζόμενα*: όπου κανένας συσχετισμός δεν υπάρχει μεταξύ του κέρδους και του βάρους των δεδομένων. Αυτές οι περιπτώσεις είναι γενικά ευκολότερες ως προς τη λύση, δεδομένου ότι α) η μεγάλη διαφορά μεταξύ των βαρών καθιστά ευκολότερο το γεγονός να λάβει κάποιος ένα καλά γεμισμένο σακίδιο και β) είναι ευκολότερο να αποβληθεί εκ των προτέρων πολυάριθμο σύνολο στοιχείων με την εφαρμογή δοκιμών με ανώτατο όριο. (ii) *Ελαφρώς συσχετιζόμενα*: Σε αυτές τις περιπτώσεις υπάρχει κάποιος βαθμός συσχετισμού μεταξύ του κέρδους και του βάρους. Λόγω της ύπαρξης του συσχετισμού είναι δύσκολο να αποβληθούν στοιχεία με δοκιμές ανώτερου ορίου. Εντούτοις η μεγάλη παραλλαγή σε βάρη καθιστά το πρόβλημα ευκολότερο και μπορεί να λάβει ως λύση ένα σχετικά καλά γεμισμένο σακίδιο, και, λόγω του συσχετισμού, οι το σύνολο των στοιχείων που έχουν τοποθετηθεί μέσα στο σακίδιο να είναι γενικά πολύ κοντά στη βέλτιστη λύση. (iii) *Ισχυρά συσχετιζόμενα*: Σε αυτές τις περιπτώσεις το κέρδος ενός στοιχείου είναι μια γραμμική συνάρτηση του βάρους του (Εικόνα 16). Οι έντονα συσχετισμένες περιπτώσεις είναι το δυσκολότερο πρόβλημα, και για αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται συχνά ως μέτρο σύγκρισης για τη δυνατότητα ενός αλγορίθμου να επιλύσει τα δύσκολα προβλήματα.

Στην περίπτωση των εργασιών που υποβάλλονται στο πλέγμα για εκτέλεση, ο βαθμός συσχετισμού μεταξύ του βάρους και της αξίας κάθε εργασίας εξαρτάται από την εφαρμοσμένη πολιτική τιμολόγησης και χρέωσης. Είναι όμως λογικό να θεωρηθεί ότι συνήθως οι περιπτώσεις ανήκουν στην κατηγορία των ελαφρώς συσχετισμένων, από το γεγονός ότι: α) ένα μεγαλύτερο «βάρος» (φόρτο) εργασίας σημαίνει αναγκαστικά μεγαλύτερη κατανάλωση πόρων πλέγματος και έτσι μια μεγαλύτερη τιμή που χρεώνεται για την εκτέλεση της και β) η τιμή που χρεώνεται για μια εργασία μπορεί επίσης να υπόκειται

και σε παραμέτρους άσχετες με τη χρήση των πόρων (π.χ. σε μια κατάσταση έκτακτης ανάγκης μια εργασία μπορεί να λάβει ελάχιστη ή καμία χρέωση, ένας πελάτης μπορεί να είναι πρόθυμος να καταβάλει μια υψηλή τιμή για μια σύντομη εργασία ελαφρού φόρτου εάν είναι κρίσιμης σπουδαιότητας για αυτόν, κ.λπ...)

Γενικά, εναπόκειται σε περαιτέρω έρευνα η αξιολόγηση και υιοθέτηση ενός συνολικού και ενιαίου μηχανισμού τιμολόγησης για τις υποβληθείσες εργασίες στα κινητά πλέγματα, κάτι που θα καθορίσει το συσχετισμό μεταξύ του φόρτου εργασίας των υποβληθέντων εργασιών και του κέρδους που θα αποκομηθεί εξ αυτών. Αυτό οφείλεται μεταξύ άλλων στις αντικρουόμενες απαιτήσεις που εμφανίζονται κάτω από απρόβλεπτες αλλαγές της ζήτησης υπολογιστικής ισχύος και των αναξιόπιστων συνδέσεων που μπορούν να εμφανιστούν. Αυτό οδηγεί γενικά σε σύνθετα και δυναμικά σχήματα που οδηγούν σε μη-συσχετιζόμενα στιγμιότυπα εισόδου για τους δεδομένους αλγορίθμους.



Εικόνα 16: Μη συσχετιζόμενα, ελαφρώς και ισχυρά συσχετιζόμενα παραδείγματα

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή

Στην παρούσα εργασία, για τη λύση του προβλήματος σακιδίου έχουν εξεταστεί τέσσερις τεχνικές: *Οπισθοδρόμηση* (BackTracking - BT), *branch-and-bound* (BB), του *δυναμικού προγραμματισμού* (Dynamic Programming - DP) και ενός *άπληστου ευριστικού αλγορίθμου* (Greedy - GR). Οι πρώτες τρεις τεχνικές είναι βασισμένες σε μια συστηματική εξέταση του καταλόγου όλων των υποψηφίων λύσεων, κάτι το οποίο επιτυγχάνει σημαντική αποταμίευση χρόνου εκτέλεσης και στις χειρότερες και στις αναμενόμενες περιπτώσεις [99]. Στην λύση της οπισθοδρόμησης το διάστημα λύσεων οργανώνεται αρχικά σε μια δομή δέντρων έτσι ώστε να μπορεί να αναζητηθεί εύκολα. Κατόπιν εφαρμόζεται μια διαδικασία αναζήτησης στο διάστημα λύσης με έναν τρόπο «πρώτα-βάθους», που αρχίζει σε έναν κόμβο έναρξης, και χρησιμοποιώντας συναρτήσεις οριοθέτησης αποφεύγει υποδιαστήματα που οδηγούν σε λύσεις που είναι είτε απραγματοποίητες είτε αδύνατες να είναι η απάντηση. Όπως την οπισθοδρόμηση, η τεχνική BB οργανώνει επίσης το διάστημα λύσης σε μια δομή δέντρων, αλλά εφαρμόζει μια «πρώτα-εύρος» ή ελάχιστου κόστους αναζήτησης. Ο BB αλγόριθμος παρουσιάζεται στη βιβλιογραφία ως καλύτερος από τον BT δεδομένου ότι καταλήγει στη βέλτιστη λύση λίγο πιο σύντομα από τον δεύτερο [99]. Εντούτοις, οι BB αλγόριθμοι έχουν περισσότερες απαιτήσεις σε χώρο από τον BT με συνέπεια λαμβάνονται υπόψη και τυχόν περιορισμοί μνήμης που μπορεί να ισχύουν ανάλογα με το πρόβλημα.

Ο δυναμικός προγραμματισμός χρησιμοποιείται συχνά όταν υπάρχει μια επαναλαμβανόμενη λύση σε ένα πρόβλημα με εκθετικό χρόνο τρεξίματος, λόγω του επαναλαμβανόμενου υπολογισμού. Η τεχνική είναι να αποθηκεύεται το αποτέλεσμα μια ιδιαίτερης κλήσης μιας ρουτίνας ή ενός υπολογισμού που έχει ήδη λάβει χώρα, χρησιμοποιώντας έναν πίνακα που συντάσσεται από τις διαφορετικές τιμές εισόδου-εξόδου. Γενικά, αυτή η τεχνική είναι γνωστή ως "μνημονευόμενη". Αν και αυτή η τεχνική είναι πολύ χρήσιμη, μπορεί ενδεχομένως να απαιτήσει μεγάλο χώρο λόγω της δημιουργίας αρκετά μεγάλων σειρών

δεδομένων προκειμένου να καλύψει όλες τις πιθανές τιμές εισόδου-εξόδου. Ο δυναμικός προγραμματισμός περιλαμβάνει τη χρήση ενός υπομνήματος που αποθηκεύει τα προηγούμενα αποτελέσματα, αλλά επίσης περιλαμβάνει την αλλαγή της σειράς υπολογισμού, με το να φέρνει συστηματικά στο προσκήνιο το υπόμνημα προκειμένου να υπολογίσει και να καταγράψει τα αποτελέσματα υπο-προβλημάτων, για να παρέχει μια γενική λύση αποδοτική σε χώρο και χρόνο.

Δεδομένου ότι ο αριθμός των εργασιών αυξάνεται, ο χρόνος που απαιτείται για τη συνολική απαρίθμηση του διαστήματος λύσεων και την επιλογή της βέλτιστης μπορεί να είναι απαγορευτικός. Σε αυτές τις περιπτώσεις μπορεί να υιοθετηθεί μια άπληστη στρατηγική λύσης προκειμένου να βρεθεί μια «σχεδόν-βέλτιστη» λύση. Σε αυτήν την προσέγγιση τα στοιχεία τοποθετούνται στο σακίδιο «ένα-προς-ένα» και μόλις επιλεχτεί ένα στοιχείο δεν μπορεί να αφαιρεθεί. Ένας άπληστος αλγόριθμος για ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης κάνει πάντα την επιλογή που φαίνεται καλύτερη προς το παρόν και την προσθέτει στο τρέχον υποσύνολο - λύση. Για το πρόβλημα σακιδίου 0-1, τα πιο κοινά κριτήρια που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να επιλέξουν το επόμενο στοιχείο που τοποθετείται στο σακίδιο είναι:

- (i) *κέρδος*: σε κάθε βήμα επιλέγεται από τα υπόλοιπα στοιχεία αυτό με το υψηλότερο κέρδος (χωρίς υπέρβαση της συνολικής χωρητικότητας του σακιδίου). Αυτή η προσέγγιση προσπαθεί να μεγιστοποιήσει το κέρδος με το να επιλέξει τα πιο κερδοφόρα στοιχεία πρώτα.
- (ii) *βάρος*: σε κάθε βήμα επιλέγεται από τα υπόλοιπα στοιχεία αυτό με το λιγότερο βάρος (δεδομένου και πάλι ότι η χωρητικότητα του σακιδίου δεν ξεπερνιέται). Αυτή η προσέγγιση προσπαθεί να μεγιστοποιήσει το κέρδος με την τοποθέτηση όσο το δυνατόν περισσότερων στοιχείων στο σακίδιο.
- (iii) *Πυκνότητα κέρδους*: σε κάθε βήμα επιλέγεται από τα υπόλοιπα στοιχεία αυτό με τη μεγαλύτερη πυκνότητα κέρδους (κέρδος ανά βάρος) (δεδομένου και πάλι ότι η χωρητικότητα του σακιδίου δεν ξεπερνιέται). Αυτή η προσέγγιση προσπαθεί να

μεγιστοποιήσει το κέρδος με την επιλογή εκείνων των στοιχείων με το μεγαλύτερο κέρδος ανά μονάδα [100]. Το τελευταίο είναι αυτό που χρησιμοποιείται για αξιολόγηση στην παρούσα εργασία.

Ακόμη και στην περίπτωση όπου δεν έχουμε καμία εκτίμηση των κερδών που μπορούμε να αποκομίσουμε από τις εργασίες ή ακόμα και όταν όλες οι εργασίες είναι ίσου κέρδους, η διατύπωση του προβλήματος εξακολουθεί να βασίζεται στο πρόβλημα «σακιδίου 0-1». Τώρα όμως ο στόχος είναι να μεγιστοποιηθεί ο αριθμός των επιλεγμένων εργασιών, και άρα αναζητούνται εκείνες που έχουν το λιγότερο φόρτο εργασίας. Εάν ο αριθμός εργασιών επιτρέπει την εξαντλητική απαρίθμηση του διαστήματος λύσεων, τότε χρησιμοποιούμε την οπισθοδρόμηση ή τον BB για να βρούμε όλους τους εφικτούς τρόπους να γεμίσουμε το σακίδιο και επιλέγουμε εκείνη τη λύση που επιτρέπει το μέγιστο αριθμό εργασιών.

6.3.4.3 Η μέθοδος της «οπισθοδρόμησης»

Η οπισθοδρόμηση είναι ένας συστηματικός τρόπος αναζήτησης λύσης σε ένα πρόβλημα. Στην οπισθοδρόμηση αρχίζουμε με τον καθορισμό ενός διαστήματος λύσεων για το πρόβλημα το οποίο πρέπει να περιλαμβάνει τουλάχιστον μια (βέλτιστη) λύση για το πρόβλημα. Για την περίπτωση του προβλήματος σακιδίου 0/1 με n αντικείμενα, μια λογική επιλογή για το διάστημα λύσης είναι το σύνολο 2^n 0/1 διανυσμάτων μεγέθους n . Αυτό το σύνολο αντιπροσωπεύει όλους τους πιθανούς τρόπους να οριστούν οι τιμές 0 και 1 στο διάνυσμα x . Όταν $n=3$, το διάστημα λύσης είναι $(0,0,0)$, $(0,1,0)$, $(0,0,1)$, $(1,0,0)$, $(0,1,1)$, $(1,0,1)$, $(1,1,0)$, $(1,1,1)$.

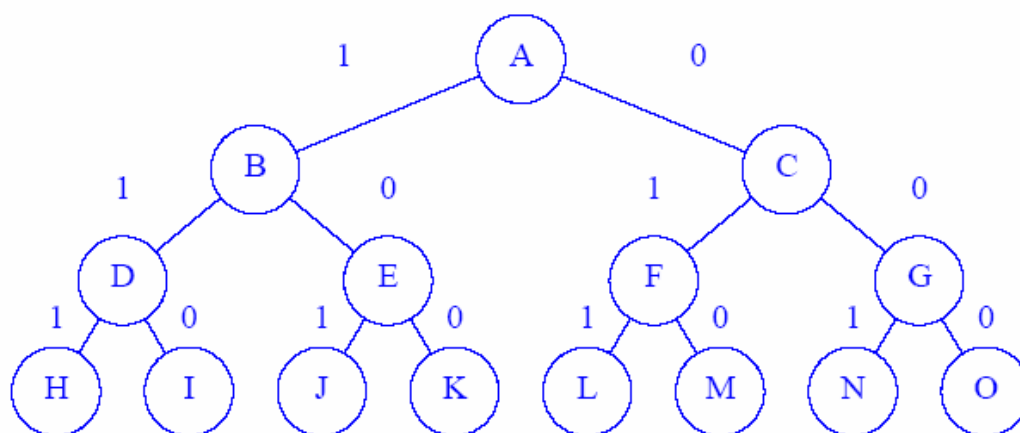
Το επόμενο βήμα είναι να οργανωθεί το διάστημα λύσης έτσι ώστε να μπορεί να αναζητηθεί εύκολα. Η χαρακτηριστική οργάνωση που ακολουθείται συνήθως είναι μια δομή δέντρου. Μια οργάνωση δομής δέντρων για το διάστημα λύσης του προβλήματος 0/1 σακιδίου με τρία

αντικείμενα εμφανίζεται στην Εικόνα 17. Η ετικέτα σε μια ακμή από ένα κόμβο επίπεδου i σε έναν κόμβο επιπέδου $i+1$ δίνει την τιμή του x_i . Όλες οι διαδρομές από τη ρίζα του δέντρου σε ένα φύλλο καθορίζουν ένα στοιχείο του διαστήματος λύσης. Η διαδρομή από τη ρίζα στο φύλλο H καθορίζει τη λύση $x=[1,1,1]$. Ανάλογα με τις τιμές w και c , μερικές ή όλες οι διαδρομές ρίζα-προς-φύλλο μπορούν να καθορίσουν απραγματοποίητες λύσεις.

Μόλις καθορίσουμε μια οργάνωση για το διάστημα λύσης, τότε αυτό αναζητάται σε μια αρχή «βάθους-πρώτα» (depth-first) με έναν κόμβο έναρξης που είναι ο κόμβος ρίζας σε αυτήν την περίπτωση. Αυτός ο κόμβος έναρξης είναι και ένας «ζωντανός κόμβος» και ο «E-κόμβος» (κόμβος Επέκτασης). Από αυτόν τον E-κόμβο, προσπαθούμε να κινηθούμε προς έναν νέο κόμβο. Εάν μπορούμε να κινηθούμε προς έναν νέο κόμβο από τον τρέχοντα E-κόμβο, τότε το κάνουμε και ο νέος κόμβος γίνεται ένας ζωντανός κόμβος και γίνεται επίσης ο νέος E-κόμβος. Ο παλιός E-κόμβος παραμένει απλώς ένας ζωντανός κόμβος. Εάν δεν μπορούμε να κινηθούμε προς έναν νέο κόμβο, τότε ο τρέχον E-κόμβος «πεθαίνει» (δηλ. δεν είναι πλέον ένας ζωντανός κόμβος) και κινούμαστε πίσω (δηλ. οπισθοδρομώντας) προς τον πρόσφατα ζωντανό κόμβο που παραμένει. Αυτός ο ζωντανός κόμβος γίνεται ο νέος E-κόμβος. Η αναζήτηση ολοκληρώνεται όταν βρούμε την απάντηση ή όταν εξαντληθούν οι ζωντανοί κόμβοι στους οποίους μπορούμε να οπισθοχωρήσουμε.

Δεδομένου ότι πρόκειται να επιλέξουμε ένα υποσύνολο των αντικειμένων για το συνυπολογισμό τους στο σακίδιο έτσι ώστε το αποκτηθέν κέρδος να είναι μέγιστο, το διάστημα λύσης οργανώνεται ως δέντρο υποσυνόλων. Σε αυτό το δέντρο λαμβάνονται οι αριστεροί κλάδοι όποτε το αριστερό παιδί αντιπροσωπεύει έναν εφικτό κόμβο. Οι δεξιοί κλάδοι λαμβάνονται όταν υπάρχει μια πιθανότητα το δεξί υποδέντρο να περιέχει μια καλύτερη λύση από τη βέλτιστη που υπάρχει μέχρι τώρα.

Ένας απλός τρόπος να αποφασίσει εάν πρέπει να κινηθεί στο δεξί υποδένδρο είναι να ελεγχθεί εάν το ποσό του κέρδους που επιτυγχάνεται με τον τρέχοντα κόμβο και το κέρδος των αντικειμένων που πρέπει να εξεταστούν ακόμα υπερβαίνει την αξία της καλύτερης λύσης που έχει βρεθεί μέχρι τώρα. Αν όχι, το δεξί υποδένδρο πρέπει να αναζητηθεί. Ένας αποτελεσματικότερος τρόπος είναι να διαταχτούν τα υπόλοιπα αντικείμενα από την πυκνότητα κέρδους (p_i/w_i), και στη συνέχεια να γεμίσει την υπόλοιπη χωρητικότητα του σακιδίου με αντικείμενα κατά φθίνουσα σειρά της πυκνότητας τους.



Εικόνα 17: Διάστημα λύσεων για το «σακίδιο τριών αντικειμένων»

Ο κώδικας που σχεδιάζεται εντούτοις μπορεί να βελτιωθεί από μια επαναληπτική έκδοση προκειμένου να μειωθούν οι χωρικές απαιτήσεις του αλγόριθμου. Μπορούμε να εξαλείψουμε το χώρο του αναδρομικού σωρού (stack) (που είναι $\Theta(n)$), δεδομένου ότι έχουμε πίνακες (arrays) που διατηρούν όλες τις πληροφορίες που απαιτούνται για να κινηθούμε γύρω στο δέντρο. Από οποιοδήποτε κόμβο στο δέντρο διαστήματος λύσης, ο αλγόριθμός μας κάνει μια σειρά κινήσεων προς αριστερά-παιδιά έως ότου δεν μπορεί να γίνει άλλη.

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή

Κατόπιν εάν ο αλγόριθμος έχει φτάσει σε φύλλο τότε η καλύτερη λύση ενημερώνεται. Διαφορετικά, προσπαθεί να κινηθεί προς ένα δεξί παιδί. Όταν είτε έχουμε φτάσει σε ένα φύλλο είτε μια κίνηση προς ένα δεξί-παιδί δεν αξίζει, τότε οι κινήσεις του αλγορίθμου πάνε προς τα πίσω κι επάνω στο δέντρο σε έναν κόμβο από τον οποίο μια ενδεχομένως καρποφόρα κίνηση προς ένα δεξί παιδί μπορεί να γίνει. Η χρονική πολυπλοκότητα αυτού του κώδικα είναι $O(2^n)$, αν και αυτή τη φορά ο κώδικας κινείται προς το δεξί παιδί πριν ελέγξει εάν πρέπει.

6.3.4.4 Η μέθοδος «διακλάδωσης με όρια»

Αντίθετα από την οπισθοδρόμηση, που ψάχνει τις δομές δέντρων με έναν βάθους-πρώτα τρόπο, η μέθοδος «διακλάδωσης με όρια» συνήθως ψάχνει αυτά τα δέντρα είτε με έναν τρόπο «εύρος-πρώτα» είτε με έναν τρόπο «ελάχιστου κόστους». Δεδομένου ότι οι απαιτήσεις χώρου των αλγορίθμων «διακλάδωσης με όρια» είναι συχνά αρκετά μεγαλύτερες από εκείνες των αντίστοιχών τους αλγορίθμων οπισθοδρόμησης, η οπισθοδρόμηση είναι συχνά επιτυχέστερη ως μέθοδος στην εύρεση της απάντησης σε καταστάσεις όπου έχουμε περιορισμούς στη μνήμη.

Ο αλγόριθμος «διακλάδωσης με όρια» είναι ένας άλλος τρόπος να αναζητηθεί συστηματικά ένα διάστημα λύσης. Διαφέρει από τον αλγόριθμο οπισθοδρόμησης πρώτιστα με τον τρόπο που ένας E-κόμβος επεκτείνεται. Κάθε ζωντανός κόμβος γίνεται ένας E-κόμβος ακριβώς μία φορά. Όταν ένας κόμβος γίνεται E-κόμβος, τότε προκύπτουν όλοι οι νέοι κόμβοι που μπορούν να προσεγγιστούν χρησιμοποιώντας μια μόνο κίνηση. Οι κόμβοι αυτοί, που δεν μπορούν ενδεχομένως να οδηγήσουν σε μια (βέλτιστη) εφικτή λύση απορρίπτονται (δηλ., οι κόμβοι «πεθαίνουν»). Οι υπόλοιποι κόμβοι προστίθενται στον κατάλογο ζωντανών κόμβων, και έπειτα ένας κόμβος από αυτόν τον κατάλογο επιλέγεται για να γίνει ο επόμενος E-

κόμβος. Ο επιλεγμένος κόμβος εξάγεται από τον κατάλογο ζωντανών κόμβων και επεκτείνεται. Αυτή η διαδικασία επέκτασης συνεχίζεται έως ότου είτε βρίσκεται η απάντηση είτε ο κατάλογος ζωντανών κόμβων αδειάσει. Υπάρχουν δύο τρόποι να επιλεγεί ο επόμενος E-κόμβος (αν και υπάρχουν κι άλλες δυνατότητες):

1) Πρώτος μέσα, πρώτος έξω (First-In-First-Out, FIFO)

Αυτό το σχέδιο εξάγει τους κόμβους από τον κατάλογο ζωντανών κόμβων στην ίδια διάταξη με την οποία μπαίνουν. Ο κατάλογος ζωντανών κόμβων συμπεριφέρεται ως ουρά αναμονής.

2) Λιγότερο κόστος ή ανώτατο κέρδος

Αυτό το σχέδιο συνδέει ένα κόστος ή ένα κέρδος με κάθε κόμβο. Εάν ψάχνουμε για μια λύση με λιγότερο κόστος, τότε ο κατάλογος ζωντανών κόμβων μπορεί να δομηθεί ως σωρός ελαχίστων. Ο επόμενος E-κόμβος είναι ο ζωντανός κόμβος με λιγότερο κόστος. Εάν θέλουμε μια λύση με το μέγιστο κέρδος, τότε ο κατάλογος ζωντανών κόμβων μπορεί δομηθεί ως σωρός μεγίστων. Ο επόμενος E-κόμβος είναι ο ζωντανός κόμβος με το μέγιστο κέρδος.

Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την συναρτήσεις οριοθέτησης για να μειώσουμε τον αριθμό των κόμβων που παράγονται στο δέντρο λύσης. Όταν χρησιμοποιούμε μια συνάρτηση οριοθέτησης πρέπει να λάβουμε υπόψη ότι ο αρχικός στόχος μας είναι να λύσουμε την περίπτωση του προβλήματος χρησιμοποιώντας το λιγότερο χρόνο και όχι περισσότερη μνήμη από αυτή που είναι διαθέσιμη σε μας. Η επίλυση του προβλήματος με την παραγωγή του μικρότερου αριθμού κόμβων δεν είναι πρωταρχικός στόχος. Κατά συνέπεια, χρειαζόμαστε μια συνάρτηση οριοθέτησης που πληρώνει για το χρόνο υπολογισμού της με μια αντίστοιχη μείωση του αριθμού κόμβων που παράγονται.

Η μέθοδος οπισθοδρόμησης έχει γενικά ένα πλεονέκτημα μνήμης έναντι της branch and bound. Η μνήμη που απαιτείται με τη μέθοδο της οπισθοδρόμησης είναι $O(\text{μήκος της}$

μακρύτερης διαδρομής στη δομή του διαστήματος λύσεων), ενώ αυτή που απαιτείται από τον branch and bound είναι $O(\text{μέγεθος της οργάνωσης του διαστήματος λύσης})$. Για ένα υποσύνολο του διαστήματος η οπισθοδρόμηση απαιτεί μνήμη $\Theta(n)$, ενώ η διακλάδωση με όρια απαιτεί μνήμη $O(2^n)$. Για ένα διάστημα εναλλαγής η οπισθοδρόμηση απαιτεί μνήμη $\Theta(n)$, ενώ η διακλάδωση με όρια $O(n!)$.

Αν και η διακλάδωση με όρια (τόσο η ανώτατου-κέρδους όσο και η λιγότερου κόστους) έχει διαισθητικά πλεονέκτημα έναντι της οπισθοδρόμησης και να αναμένεται να εξετάζει λιγότερους κόμβους ή περισσότερες τιμές εισόδου, οι ανάγκες της σε χώρο μπορεί να υπερβούν τον διαθέσιμο πιο σύντομα από ότι οι χρονικές ανάγκες υπερβαίνουν το χρονικό διάστημα που είμαστε πρόθυμοι να περιμένουμε για την απάντηση στον αλγόριθμο οπισθοδρόμησης.

6.3.4.5 Η «άπληστη» μέθοδος

Στην άπληστη μέθοδο προσπαθούμε να κατασκευάσουμε μια βέλτιστη λύση σταδιακά. Σε κάθε στάδιο λαμβάνουμε μια απόφαση που εμφανίζεται ως η καλύτερη (με βάση κάποιο κριτήριο) τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή επίλυσης του προβλήματος. Μια απόφαση που λαμβάνεται σε ένα στάδιο δεν αλλάζει σε ένα μεταγενέστερο στάδιο, κι έτσι κάθε απόφαση πρέπει να βεβαιώνει το εφικτό της υπόθεσης. Το κριτήριο που χρησιμοποιείται για τη λήψη της άπληστης απόφασης σε κάθε στάδιο καλείται «κριτήριο απληστίας».

Διάφορες άπληστες στρατηγικές είναι δυνατές για το πρόβλημα σακιδίων 0/1. Σε κάθε μια από αυτές τις στρατηγικές, το σακίδιο γεμίζει σε διάφορα στάδια. Σε κάθε στάδιο ένα αντικείμενο επιλέγεται για συνυπολογισμό μέσα στο σακίδιο χρησιμοποιώντας ένα κριτήριο απληστίας. Μια δυνατότητα για αυτό το κριτήριο είναι η ακόλουθη: «Από τα υπόλοιπα αντικείμενα, επιλέγουμε το αντικείμενο με το μέγιστο κέρδος που αρμόζει στο σακίδιο».

Χρησιμοποιώντας αυτό το κριτήριο, συσκευάζεται πρώτα το αντικείμενο με το μεγαλύτερο κέρδος (υπό τον όρο ότι είναι διαθέσιμη αρκετή χωρητικότητα στο σακίδιο για να το δεχτεί), έπειτα το αντικείμενο με το αμέσως μεγαλύτερο κέρδος, κλπ. Αυτή η στρατηγική δεν εγγυάται μια βέλτιστη λύση. Παραδείγματος χάριν, στην περίπτωση όπου έχουμε $n=3$, $w=[100,10,10]$, $p=[20,15,15]$, και $c=105$. Τότε όταν είμαστε άπληστοι ως προς το κέρδος, λαμβάνουμε τη λύση $x=[1,0,0]$. Το συνολικό κέρδος από αυτήν την λύση είναι 20. Η βέλτιστη λύση όμως είναι $[0,1,1]$ διότι αυτή έχει κέρδος 30.

Μια εναλλακτική λύση είναι η απληστία ως προς το βάρος. Αυτή τη φορά χρησιμοποιούμε το κριτήριο επιλογής: «Από τα υπόλοιπα αντικείμενα, επιλέγουμε αυτό που έχει το ελάχιστο βάρος και χωράει επίσης στο σακίδιο». Αν και η χρήση αυτού του κριτηρίου παράγει μια βέλτιστη λύση για την προηγούμενη περίπτωση, δεν συμβαίνει αυτό στη γενική περίπτωση.

Ακόμα μια δυνατότητα που υπάρχει είναι η απληστία ως προς την πυκνότητα κέρδους p_i/w_i . Το νέο κριτήριο επιλογής είναι: «Από τα υπόλοιπα αντικείμενα, επιλέξτε αυτό με τη μέγιστη πυκνότητα p_i/w_i που να χωράει στο σακίδιο. Αυτή η στρατηγική δεν εγγυάται πάλι βέλτιστες λύσεις. Αλλά πρέπει να θεωρήσουμε ότι αυτή η μέθοδος έχει αρκετά εντυπωσιακή απόδοση που τρέχει σε χρόνο $O(n \log n)$.

6.3.4.6 Η μέθοδος του δυναμικού προγραμματισμού

Στο δυναμικό προγραμματισμό, όπως και στην άπληστη μέθοδο, βλέπουμε τη λύση σε ένα πρόβλημα ως αποτέλεσμα μιας ακολουθίας αποφάσεων. Στην άπληστη μέθοδο λαμβάνουμε αμετάκλητες αποφάσεις, μία σε κάθε χρονική στιγμή, χρησιμοποιώντας ένα κριτήριο απληστίας. Εντούτοις, στο δυναμικό προγραμματισμό εξετάζουμε την ακολουθία απόφασης για να δούμε εάν μια βέλτιστη ακολουθία απόφασης περιέχει βέλτιστες υποακολουθίες απόφασης.

Παράδειγμα:

Εξετάζουμε ξανά το πρόβλημα σακιδίων 0/1. Πρέπει να λάβουμε αποφάσεις σχετικά με τις τιμές x_1, \dots, x_n . Υποθέτουμε ότι αποφασίζουμε τις τιμές των x_i στη σειρά $i=1, 2, \dots, n$. Εάν θέσουμε $x_1 = 0$, τότε η διαθέσιμη χωρητικότητα σακιδίου για τα υπόλοιπα αντικείμενα (δηλ., τα αντικείμενα $2, 3, \dots, n$) είναι c . Εάν θέσουμε το $x_1 = 1$, τότε η διαθέσιμη χωρητικότητα σακιδίου είναι $c - w_1$. Έστω ότι το $r \in \{c, c - w_1\}$ συμβολίζει την υπόλοιπη χωρητικότητα σακιδίου. Μετά από την πρώτη απόφαση, αφηνόμαστε πλέον με το πρόβλημα πλήρωσης ενός σακιδίου με χωρητικότητα r . Τα διαθέσιμα αντικείμενα (δηλ., από το 2 μέχρι το n) και η διαθέσιμη χωρητικότητα r ορίζουν την κατάσταση του προβλήματος μετά από την πρώτη απόφαση. Ανεξάρτητα από εάν το x_1 είναι 0 ή 1, το $[x_2, \dots, x_n]$ πρέπει να είναι μια βέλτιστη λύση για την κατάσταση του προβλήματος μετά από την πρώτη απόφαση. Αν όχι, τότε υπάρχει μια λύση $[y_2, \dots, y_n]$ που παρέχει μεγαλύτερο κέρδος για την ίδια κατάσταση προβλήματος μετά από την πρώτη απόφαση. Έτσι, η $[x_1, y_2, \dots, y_n]$ είναι μια καλύτερη λύση για το αρχικό πρόβλημα. Όταν οι βέλτιστες ακολουθίες απόφασης περιέχουν βέλτιστες υποακολουθίες απόφασης, τότε μπορούμε να εισάγουμε αναδρομικές εξισώσεις, αποκαλούμενες και ως αναδρομικές εξισώσεις δυναμικού προγραμματισμού, οι οποίες μας επιτρέπουν να λύσουμε το πρόβλημα με έναν αποδοτικό τρόπο.

Στο προηγούμενο παράδειγμα είδαμε ότι οι βέλτιστες ακολουθίες απόφασης αποτελούνταν από βέλτιστες υποακολουθίες. Έστω ότι η $f(i, y)$ συμβολίζει την τιμή μιας βέλτιστης λύσης στο στιγμιότυπο σακιδίου με την υπολειπόμενη χωρητικότητα y και εναπομείναντα αντικείμενα $i, i+1, \dots, n$. Έπεται ότι:

$$f(n, y) = \begin{cases} p_n & y \geq w_n \\ 0 & 0 \leq y < w_n \end{cases} \quad (23)$$

και

$$f(i, y) = \begin{cases} \max \{f(i+1, y), f(i+1, y - w_i) + p_i\} & y \geq w_i \\ f(i+1, y) & 0 \leq y < w_i \end{cases} \quad (24)$$

Χρησιμοποιώντας την παρατήρηση ότι οι βέλτιστες ακολουθίες αποφάσεων αποτελούνται από βέλτιστες υποακολουθίες, λαμβάνουμε μια αναδρομική σχέση για την f . Η $f(1, c)$ είναι η τιμή της βέλτιστης λύσης στο πρόβλημα σακιδίου με το οποίο ξεκινήσαμε. Η εξίσωση (24) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να καθορίσει την τιμή της $f(1, c)$ είτε αναδρομικά είτε επαναληπτικά. Στην επαναληπτική προσέγγιση αρχίζουμε με την $f(n, *)$, όπως δίνεται από την εξίσωση (23) και λαμβάνουμε στη συνέχεια τα $f(i, *)$ με τη σειρά $i = n-1, n-2, \dots, 2$, χρησιμοποιώντας την εξίσωση (24). Τέλος, η τιμή της $f(1, c)$ υπολογίζεται με χρήση της εξίσωσης (24).

Το αναδρομικό πρόγραμμα που φτιάχνεται για τον υπολογισμό των τιμών θα έχει απαγορευτική πολυπλοκότητα, εκτός κι αν ληφθούν μέτρα για να αποφευχθεί ο υπολογισμός τιμών που έχουν ήδη υπολογιστεί προηγουμένως. Όταν το αναδρομικό πρόγραμμα σχεδιάζεται με σκοπό να αποφύγει αυτόν τον επανυπολογισμό, η πολυπλοκότητα του μειώνεται δραστικά. Η πολυπλοκότητα του συστήματος αναδρομικών εξισώσεων (23) και (24) είναι $O(2^n)$. Με την αποφυγή του επανυπολογισμού προηγούμενα υπολογισμένων τιμών $f(i, y)$, καταφέρνουμε να μειώσουμε τον χρόνο εκτέλεσης του αναδρομικού κώδικα σε ένα πολύ πρακτικό επίπεδο $O(cn)$. (όπου το c δείχνει την χωρητικότητα σακιδίου και το n είναι ο αριθμός των αντικειμένων).

6.4 Αποτελέσματα προσομοίωσης

6.4.1 Αξιολόγηση των αλγορίθμων «σακιδίου 0/1»

Το προτεινόμενο σχήμα έχει εφαρμοστεί και έχει αξιολογηθεί μέσω αποτελεσμάτων προσομοίωσης. Προκειμένου να είμαστε σε θέση να εγγυηθούμε ένα επιθυμητό όριο ανοχής σφαλμάτων για το κινητό πλέγμα, πρέπει να προσδιορίσουμε το κατώτατο όριο ανοχής σφαλμάτων λ.

Με βάση τα πειραματικά αποτελέσματα και γενικές πρακτικές από πραγματικές εφαρμογές σε παγκόσμιο επίπεδο, ένα ικανοποιητικό επίπεδο ανοχής σφαλμάτων σε ένα τέτοιο κατανομημένο περιβάλλον με αναξιόπιστες ασύρματες συνδέσεις και κινητές συσκευές, που είναι γενικά επιρρεπείς σε σφάλματα από παραλείψεις και ενεργειακούς περιορισμούς, πρέπει να είναι αρκετά αυξημένο προκειμένου να επιτραπεί μια κανονική λειτουργία που να είναι αποδεκτή από τους χρήστες.

Οι τρέχουσες πρακτικές στις διάφορες συμβάσεις συμφωνίας παροχής επιπέδου υπηρεσιών (Service Level Agreement – SLA) υπονοούν μια συνεχή και αδιάλειπτη λειτουργία των υπηρεσιών που παρέχονται από την υποδομή πλέγματος που είναι σε επίπεδο του 99% του συνολικού χρόνου. Όπως αναφέραμε ήδη, είναι σημαντικό να προσδιοριστεί (βασισμένος στην αξιοπιστία των μεμονωμένων πόρων πλέγματος) ο αριθμός των αντιγράφων που πρέπει να παραχθούν και να ανατεθούν για εκτέλεση.

Για τις διάφορες τιμές ενός κατώτατου ορίου ανοχής σφαλμάτων λαμβάνουμε τον αριθμό αντιγράφων σύμφωνα με την εξίσωση (18) όπως παρουσιάζεται στον ακόλουθο πίνακα:

	$\lambda = 0.01$		$\lambda = 0.05$		$\lambda = 0.10$	
g_i	$\frac{\log(\lambda)}{\log(g_i)} - 1$	m_i	$\frac{\log(\lambda)}{\log(g_i)} - 1$	m_i	$\frac{\log(\lambda)}{\log(g_i)} - 1$	m_i
0.01	0.000	0	-0.349	0	-0.500	0
0.02	0.177	1	-0.234	0	-0.411	0
0.03	0.313	1	-0.146	0	-0.343	0
0.04	0.431	1	-0.069	0	-0.287	0
0.05	0.537	1	0.000	0	-0.231	0
0.06	0.637	1	0.065	1	-0.182	0
0.07	0.732	1	0.127	1	-0.134	0
0.08	0.823	1	0.186	1	-0.088	0
0.09	0.912	1	0.244	1	-0.044	0
0.10	1.000	1	0.301	1	0.000	0
0.15	1.427	2	0.579	1	0.214	1
0.20	1.861	2	0.861	1	0.431	1
0.25	2.322	3	1.160	2	0.661	1
0.30	2.825	3	1.488	2	0.912	1
0.35	3.387	4	1.854	2	1.193	2
0.40	4.026	5	2.269	3	1.513	2
0.45	4.767	5	2.752	3	1.887	2
0.50	5.644	6	3.322	4	2.322	3

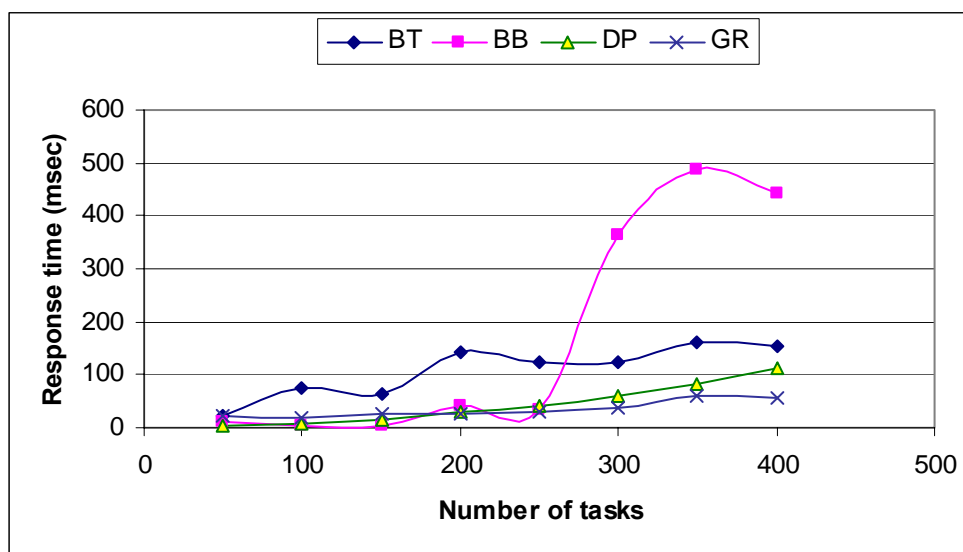
Πίνακας 3: Υπολογισμός απαιτούμενων αντιγράφων m_i για την επίτευξη ανοχής ασφαμάτων ορίου λ με σταθερή πιθανότητα αποτυχίας κάθε πόρου πλέγματος

Αξιολογώντας το σύστημα μέσω των αποτελεσμάτων προσομοίωσης, καθορίσαμε ένα εικονικό περιβάλλον κινητού πλέγματος ενός συγκεκριμένου συνολικού υπολογιστικού ρυθμού μ_G . Προκειμένου να προσδιοριστούν οι περιπτώσεις που χρησιμοποιήθηκαν για τους διάφορους αλγορίθμους, καθορίσαμε την ποσότητα *αναλογίας χωρητικότητας*, η οποία αντιπροσωπεύει την αναλογία του συνολικού φόρτου εργασίας όλων των εργασιών που

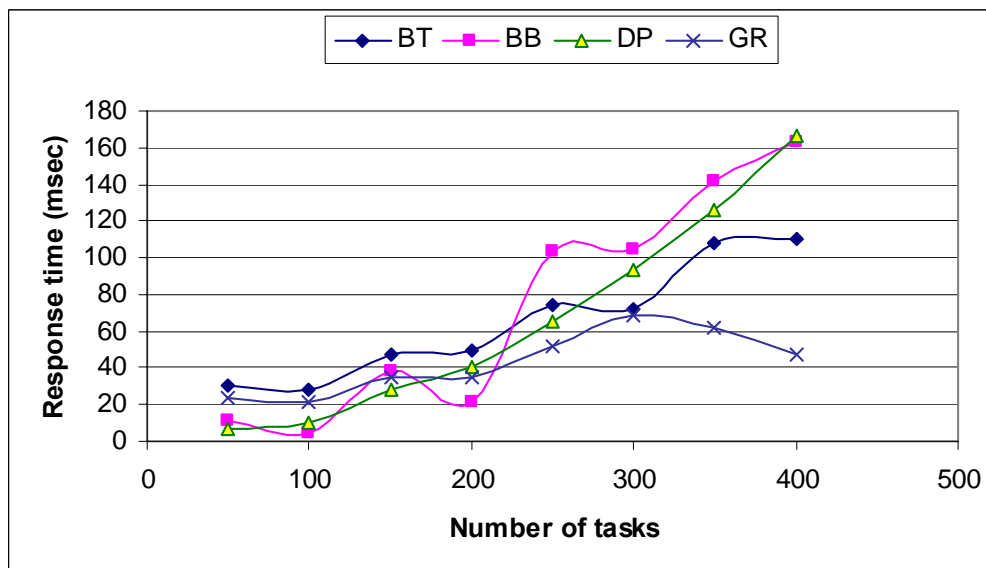
πρόκειται να υποβληθούν για εκτέλεση προς τη συνολική χωρητικότητα του πλέγματος κατά τη διάρκεια της δεδομένης περιόδου. Η αναλογία χωρητικότητας (*Capacity Ratio - CR*) μπορεί να συμβολιστεί ως: $CR = W / C$ και αντιπροσωπεύει ουσιαστικά τη σχέση μεταξύ της απαίτησης για υπολογιστική ικανότητα (χωρητικότητα) των πόρων πλέγματος (που εκφράζεται από τις υποβολές εργασιών των χρηστών) και της ικανότητας της υποδομής πλέγματος να γίνουν αποδεκτές και να εκτελεσθούν (πρακτικά η ικανότητά του πλέγματος κατά τη διάρκεια αυτής της δεδομένης περιόδου). Αν και όσο μεγαλύτερη είναι αυτή η ικανότητα τόσο περισσότερες εργασίες μπορούν να εκτελέσουν μέσα στην ίδια χρονική περίοδο, δεν υπάρχει κανένα σύστημα προσανατολισμένο για εμπορική χρήση που να μπορεί να αναλάβει επιτυχώς το 100% των αιτημάτων χρηστών του συγχρόνως. Είναι επομένως υποχρεωτικό να αξιολογηθεί ένα τέτοιο σχέδιο διαχείρισης των πόρων με έναν τρόπο που θα καθιστούσε ορατή και αναλυτική τη λειτουργία του στις διάφορες περιπτώσεις φορτίων. Ειδικά, στα κινητά πλέγματα, που υπόκεινται πολύ δυναμικά σε τοπολογικές αλλαγές, είναι δυνατό να υπάρξουν συχνότερα απότομες κορυφές απαίτησης υπολογιστικής ικανότητας στις δεδομένες περιόδους. Για αυτόν τον λόγο το προτεινόμενο σχήμα έχει εξεταστεί ακόμα και για περιπτώσεις μέχρι $CR=80\%$. Οι εικόνες Εικόνα 18, Εικόνα 19, Εικόνα 20, Εικόνα 21, Εικόνα 22 και Εικόνα 23 παρουσιάζουν μια επισκόπηση των αποτελεσμάτων που έχουν παραχθεί για την αξιολόγηση των επιλεγμένων αλγορίθμων, σχετικά με το χρόνο που απαιτείται από κάθε αλγόριθμο σε κάθε περίπτωση για να επιλέξει τις εργασίες (ουσιαστικά να υπολογίσει τη λύση) που υποβάλλονται για εκτέλεση.

Από τις γραφικές παραστάσεις φαίνεται η συμπεριφορά των εξεταζόμενων αλγορίθμων στις διάφορες περιπτώσεις συσχετισμού "βάρους-κέρδους" για τους δεδομένους αριθμούς εργασιών και την αναλογία ικανότητας του προσομοιούμενου πλέγματος. Οι παρουσιαζόμενες περιπτώσεις παρέχουν κιάλας την εξήγηση και το κίνητρο γιατί οι

συγκεκριμένοι διαφορετικοί αλγόριθμοι έχουν χρησιμοποιηθεί για τη λύση του προβλήματος σακιδίου (παρόλο που η θεωρητική συμπεριφορά τους είναι γνωστή από τη βιβλιογραφία). Φαίνεται ότι ο DP με «μνημόνευση» παρουσιάζει μια αυξανόμενη πολυπλοκότητα από την άποψη του χρόνου (και χώρου στη μνήμη λόγω των πολλαπλάσιων ενδιάμεσων αποτελεσμάτων που πρέπει να αποθηκεύσει προσωρινά κατά την εκτέλεση). Αυτός ο αλγόριθμος παρουσιάζει όμως μια σταθερότερη στη συμπεριφορά του άσχετα από την περίπτωση συσχετισμού και την αναλογία ικανότητας. Εντούτοις, αυτή η σταθερότητα που μπορεί να είναι ευεργετική σε περιπτώσεις πρόβλεψης και εγγύησης QoS έχει το μειονέκτημα ότι η χωρική πολυπλοκότητα που προκαλείται από το μέγεθος της ικανότητα πλέγματος μπορεί να απαγορεύσει τη χρήση αυτού του αλγορίθμου για τις πολύ μεγάλες υποδομές πλέγματος (κάτι που μπορεί να αποφευχθεί όμως στα μικρά κινητά και δυναμικά περιβάλλοντα).



(a1)

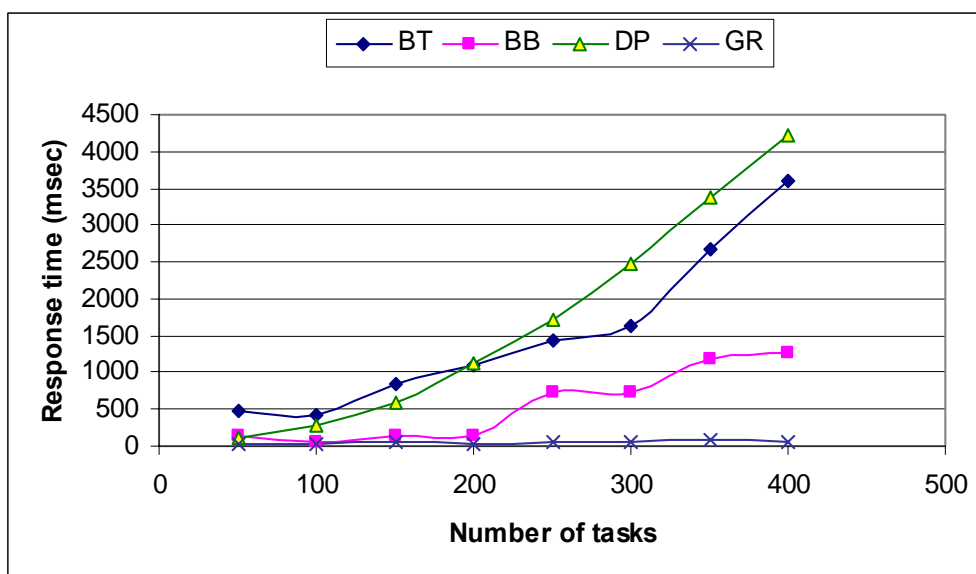


(a2)

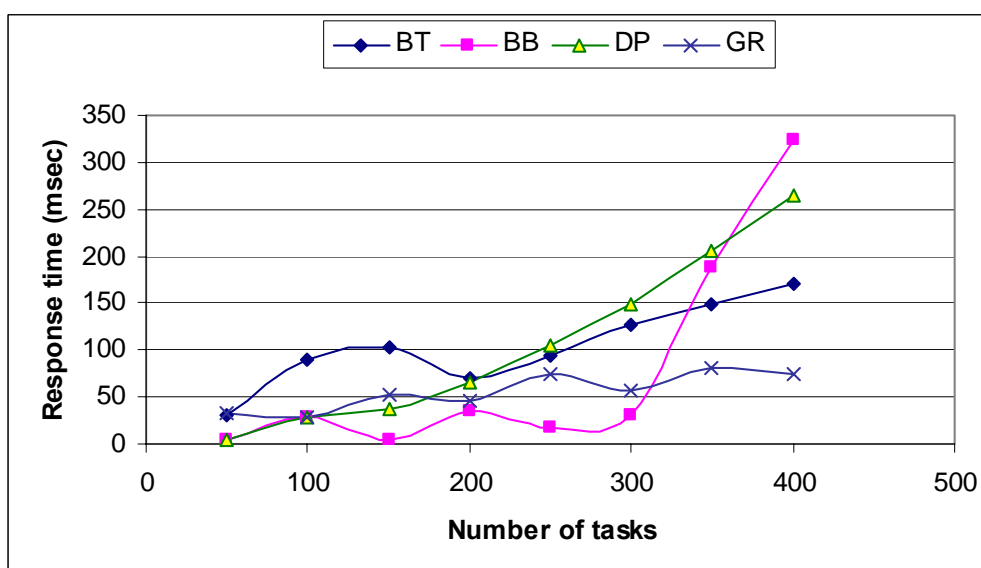
Εικόνα 18: (a1-a2) Σύγκριση αλγορίθμων Backtracking (BT), Branch and Bound (BB), Dynamic Programming (DP) και Greedy (GR) ως προς τον χρόνο απόκρισης της λύσης για ισχυρά συσχετιζόμενα (βάρους/κέρδος εργασιών) στιγμιότυπα και *capacity ratio* (a1)

33%, και (a2) 50% αντίστοιχα

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή



(a3)

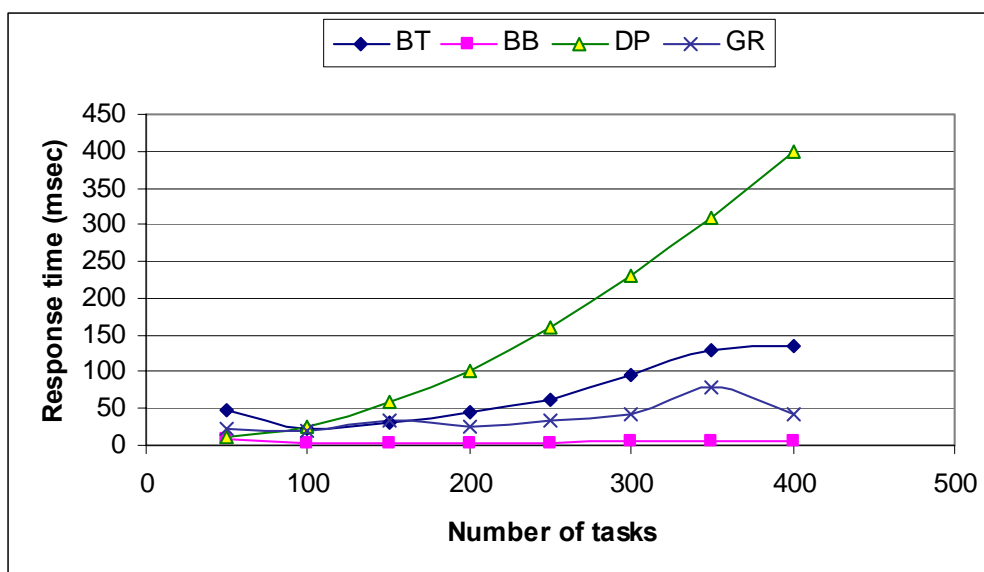


(a4)

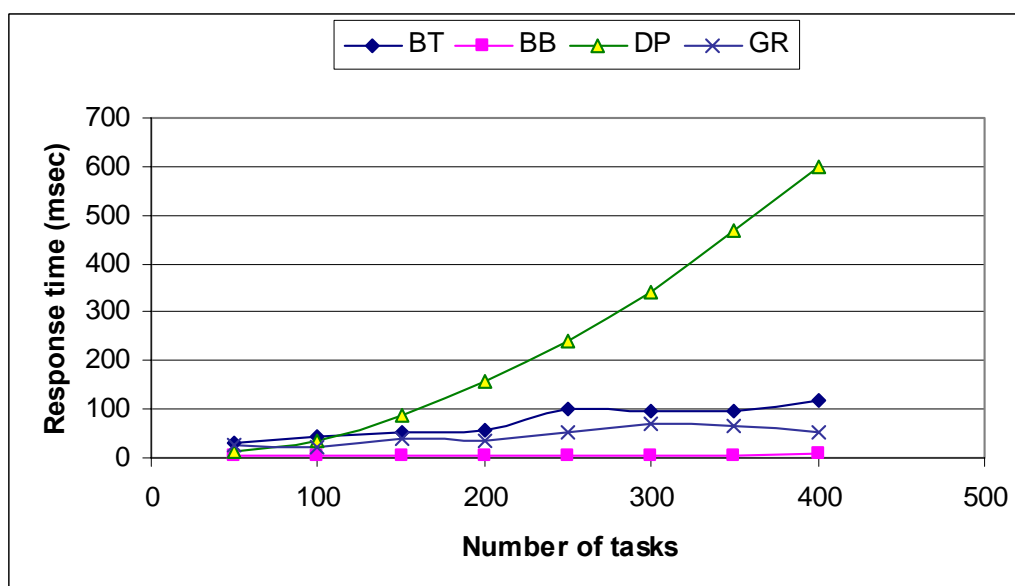
Εικόνα 19: (a3-a4) Σύγκριση αλγορίθμων Backtracking (BT), Branch and Bound (BB), Dynamic Programming (DP) και Greedy (GR) ως προς τον χρόνο απόκρισης της λύσης για ισχυρά συσχετιζόμενα (βάρους/κέρδος εργασιών) στιγμιότυπα και *capacity ratio* (a3)

66%, και (a4) 80% αντίστοιχα

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή



(b1)

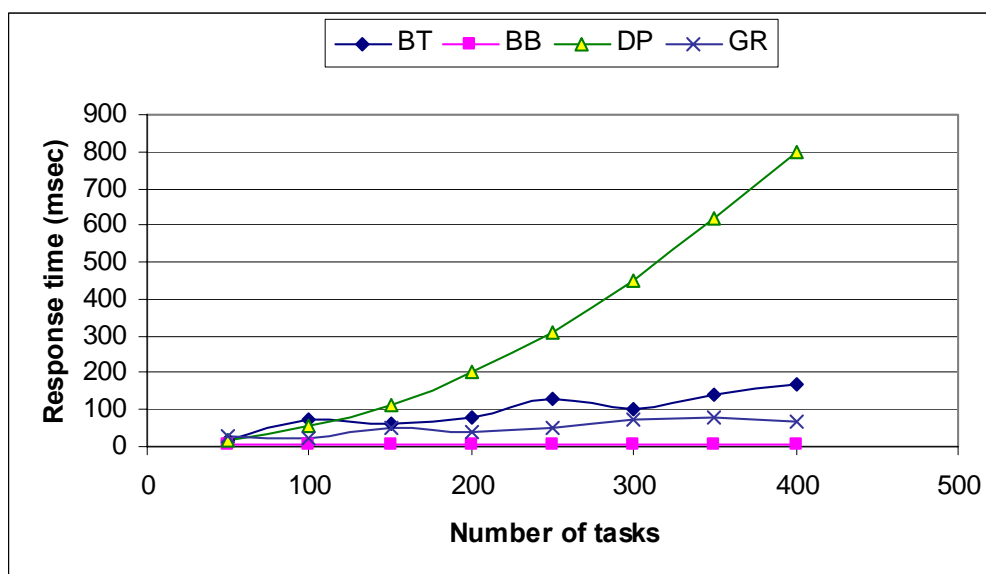


(b2)

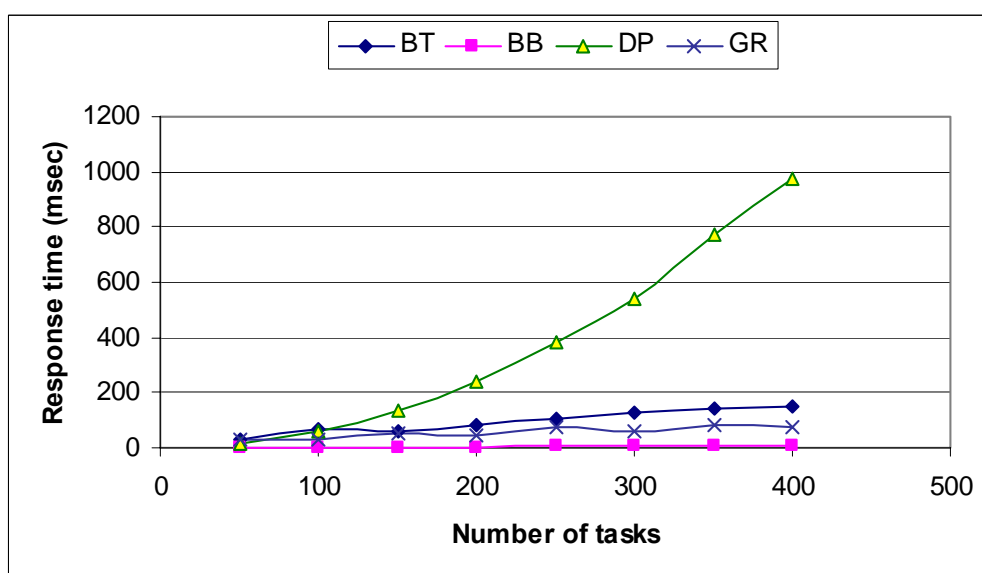
Εικόνα 20: (b1-b2) Σύγκριση αλγορίθμων Backtracking (BT), Branch and Bound (BB), Dynamic Programming (DP) και Greedy (GR) ως προς τον χρόνο απόκρισης της λύσης για ελαφρώς συσχετιζόμενα (βάρους/κέρδος εργασιών) στιγμιότυπα και *capacity ratio*

(b1) 33%, και (b2) 50% αντίστοιχα

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή



(b3)

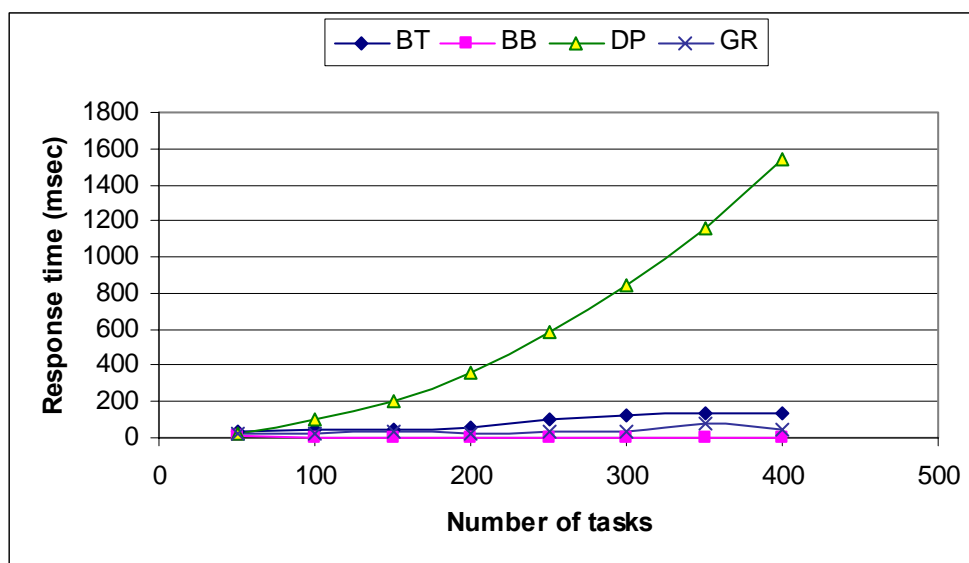


(b4)

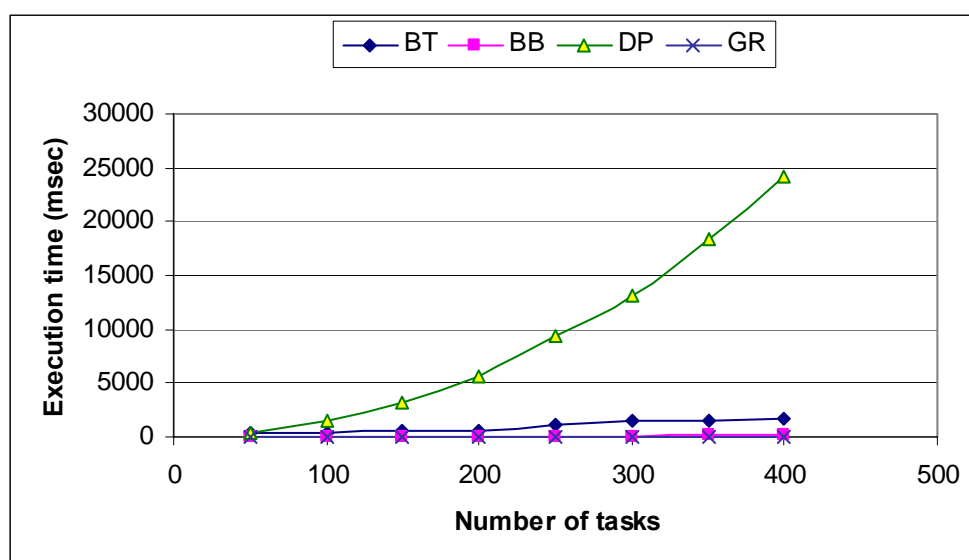
Εικόνα 21: (b3-b4) Σύγκριση αλγορίθμων Backtracking (BT), Branch and Bound (BB), Dynamic Programming (DP) και Greedy (GR) ως προς τον χρόνο απόκρισης της λύσης για ελαφρώς συσχετιζόμενα (βάρους/κέρδος εργασιών) στιγμιότυπα και *capacity ratio*

(b3) 66%, και (b4) 80% αντίστοιχα

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή



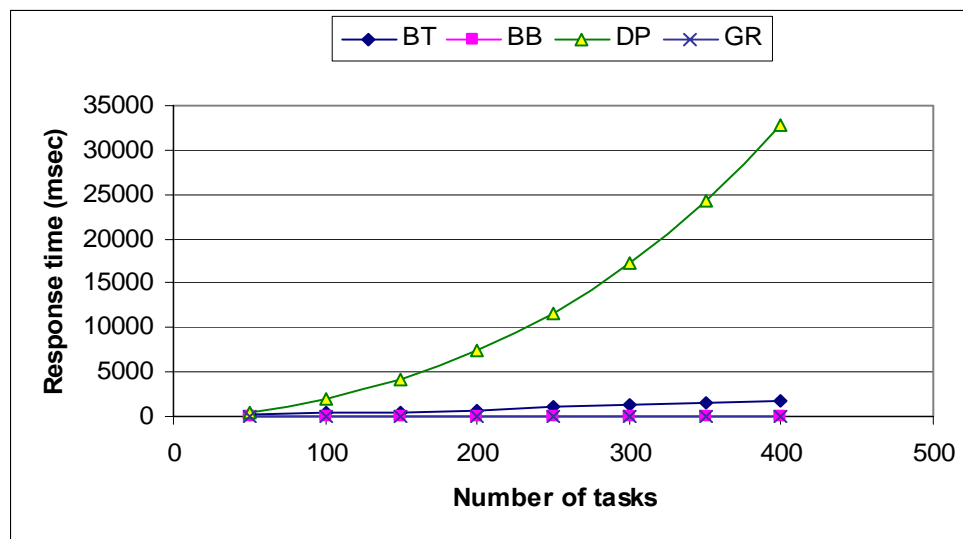
(c1)



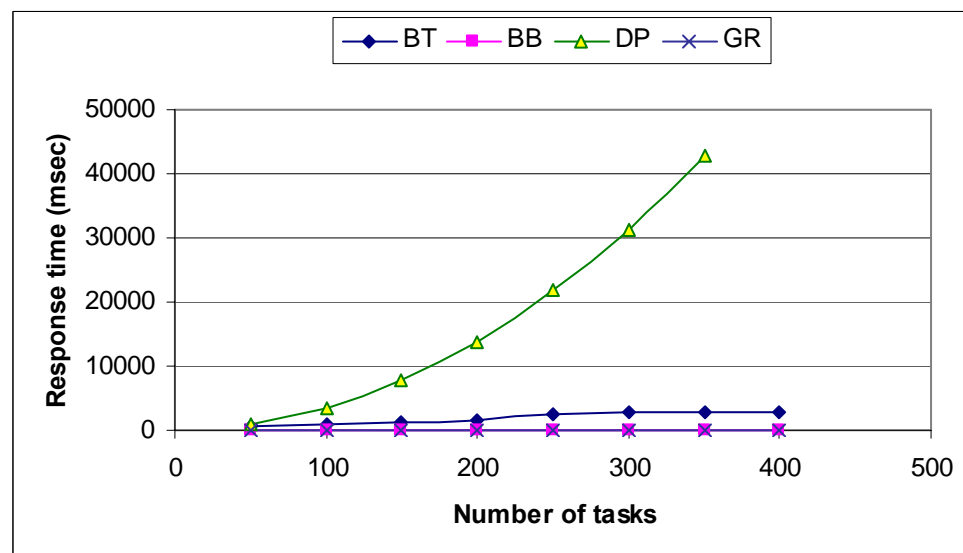
(c2)

Εικόνα 22: (c1-c2) Σύγκριση αλγορίθμων Backtracking (BT), Branch and Bound (BB), Dynamic Programming (DP) και Greedy (GR) ως προς τον χρόνο απόκρισης της λύσης για μη συσχετιζόμενα (βάρους/κέρδος εργασιών) στιγμιότυπα και *capacity ratio* (c1) 33%, και (c2) 50% αντίστοιχα

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή



(c3)



(c4)

Εικόνα 23: (c3-c4) Σύγκριση αλγορίθμων Backtracking (BT), Branch and Bound (BB), Dynamic Programming (DP) και Greedy (GR) ως προς τον χρόνο απόκρισης της λύσης για μη συσχετιζόμενα (βάρους/κέρδος εργασιών) στιγμιότυπα και capacity ratio (c3) 66%, και (c4) 80% αντίστοιχα

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή

Αφ' ετέρου, μπορούμε να δούμε ότι για την περίπτωση συσχετισμού των ζευγαριών βάρους-κέρδους στις εργασίες και μια βαριά φορτωμένη υποδομή πλέγματος (ή ισοδύναμα ένα πλέγμα με μικρή ικανότητα που πρέπει να εξυπηρετήσει έναν σημαντικά μεγαλύτερο φόρτο εργασίας από αυτόν που μπορεί να δεχτεί), ο αλγόριθμος DP (στην περίπτωση του διαγράμματος της Εικόνα 18.a1) συμπεριφέρεται αποδοτικότερα από τους άλλους δύο. Η συσχετισμένη περίπτωση είναι η δυσκολότερη για όλους τους αλγορίθμους (όπως έχει αναφερθεί ήδη) δεδομένου ότι είναι επίπονο να αποφασιστεί εάν πρέπει να μπει μια συγκεκριμένη εργασία στο σακίδιο. Ο αλγόριθμος DP με το «μνημόνευση», εντούτοις ξεπερνά τους BB και BT δεδομένου ότι χρησιμοποιεί τα ενδιάμεσα αποτελέσματα για να λάβει τις γρηγορότερες αποφάσεις. Εντούτοις πρέπει να αναφερθεί ότι ο χρόνος που απαιτείται για τέτοιους υπολογισμούς είναι πολύ μικρός, γεγονός που είναι κατάλληλο για χρήση σε εφαρμογές με απευθείας σύνδεση.

Όσο τα διάφορα στιγμιότυπα συσχετισμού τείνουν προς το ελαφρώς συσχετιζόμενα ή μη-συσχετιζόμενα και για κάθε περίπτωση της αναλογίας χωρητικότητας παρατηρούμε ότι οι αλγόριθμοι BB και BT παρουσιάζουν μια λίγο πολύ όμοια καμπύλη (ο BB δείχνει να είναι πιο αποδοτικός από άποψη χρόνου) και υπερνικούν τον αλγόριθμο DP. Αυτό γίνεται ιδιαίτερα εμφανές στην Εικόνα 23.c4 όπου ο BB είναι ελαφρώς πιο γρήγορος από τον BT, αλλά όμως έχουν σημαντική διαφορά από τον DP, κάτι που θα απαγόρευε τη χρήση του τελευταίου για τέτοια στιγμιότυπα εισόδου. Αυτό που εξηγεί την απόδοση του BB (και BT) είναι η φιλοσοφία του αλγορίθμου να αποκλείει εντελώς τα «κλαδιά» των μη αποδεκτών λύσεων (κυρίως στις περιπτώσεις των ελαφρώς ή μη συσχετιζόμενων στιγμιότυπων όπου μπορούν να υπάρχουν πολύ βαριές εργασίες με ελάχιστο κέρδος) και συνεπώς να παίρνει ταχύτερες αποφάσεις για το ποιές εργασίες θα συγκαταλέξει για εκτέλεση στους πόρους του πλέγματος.

Ο ευριστικός άπληστος αλγόριθμος που χρησιμοποιεί την πυκνότητα κέρδους ως κριτήριο για την επιλογή των εργασιών παρουσιάζει μια σημαντικά καλύτερη απόδοση από την άποψη του χρόνου απόκρισης. Το μειονέκτημα είναι σε αυτήν την περίπτωση το γεγονός ότι δεν καταλήγει απαραίτητα στη γενικά βέλτιστη λύση, κάτι που συμβαίνει όμως στους άλλους τρεις αλγορίθμους. Μετρήσαμε την απόκλιση από τη βέλτιστη λύση για μια δεδομένη περίπτωση από την Εικόνα 23.c4 και λάβαμε τα ακόλουθα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στον Πίνακα 4. Όπως μπορούμε να δούμε, η διαφορά μεταξύ των βέλτιστων τιμών που επιτυγχάνονται μέσω του BB, της BT και του DP και της ευριστικής άπληστης λύσης για την αποκομιθήσα αξία στην περίπτωση 300 εργασιών με μια αναλογία χωρητικότητας πλέγματος 80%, είναι σχεδόν πάντα υπαρκτή αλλά μέσα σε συγκεκριμένα όρια. Το γεγονός αυτό προωθεί την ιδέα της χρήση ενός τέτοιου αλγορίθμου για περιπτώσεις με πολύ μεγάλα ποσά εργασιών που πρόκειται να δρομολογηθούν. Όταν το κέρδος (που μετριέται σε λογιστικές μονάδες) που μπορεί να επιτευχθεί ως βέλτιστη λύση για τους BB, BT και τον DP για όλες τις περιπτώσεις ισχυρώς, ελαφρώς και μη συσχετιζόμενων στοιχείων είναι 100%, ο άπληστος ο ευριστικός παρέχει μια λύση που κυμαίνεται από 99.6% ως 99.9% της βέλτιστης. Μπορούμε να θεωρήσουμε ότι ο άπληστος αλγόριθμος δεν έχει την εκθετική συμπεριφορά όσον αφορά το μέγεθος του εισαγόμενου προβλήματος (αριθμός εργασιών) και για αυτό το λόγο μπορεί να είναι μια ιδανική λύση για περιπτώσεις συστημάτων πλέγματος μεγάλης κλίμακας με πολλές υποβολές εργασιών ανά χρονικές μονάδες. Από την προοπτική της εμπορικής εκμετάλλευσης, το κέρδος που αποκομίζεται από τον άπληστο αλγόριθμο είναι μικρότερο από το βέλτιστο που μπορεί να παραχθεί από τον αλγόριθμο του BB (παραδείγματος χάριν). Σε περίπτωση που έχουμε ένα μικρό σύνολο (δηλ. 50 ή 100 εργασίες) η διαφορά είναι πολύ μικρή και μπορεί να ισορροπηθεί με το πρόσθετο κέρδος που

μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση αυτού του αλγορίθμου. Έτσι, η χρήση ενός τέτοιου αλγορίθμου θα ήταν ευεργετικότερη για το φορέα παροχής υπηρεσιών πλέγματος.

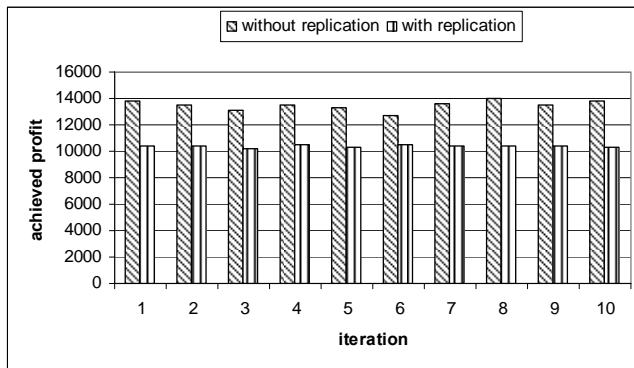
Correlated instance		Weakly correlated instance		Uncorrelated instance	
Optimal Value (currency units)	Greedy solution (currency units)	Optimal Value (currency units)	Greedy solution (currency units)	Optimal Value (currency units)	Greedy solution (currency units)
61111	61067	61482	61461	60498	60481
60917	60701	61203	61102	60266	60162
61052	61045	61499	61430	59373	59357
61082	61045	60699	60469	60058	60005
61026	61019	60982	60904	61843	61760
61188	60950	60024	59914	61379	61274
61119	61110	63074	63063	62693	62638
61157	60926	63159	63155	60177	60055
61076	60839	63214	63094	61578	61499
60685	60648	63932	63834	59565	59527

Πίνακας 4: Σύγκριση μεταξύ βέλτιστης τιμής κέρδους από τον αλγόριθμο BB (μετρημένη σε currency units) και του κέρδους από τον Greedy αλγόριθμο για 10 διαφορετικά δεδομένα εισόδου με 300 εργασίες σε πλέγμα CR=80%

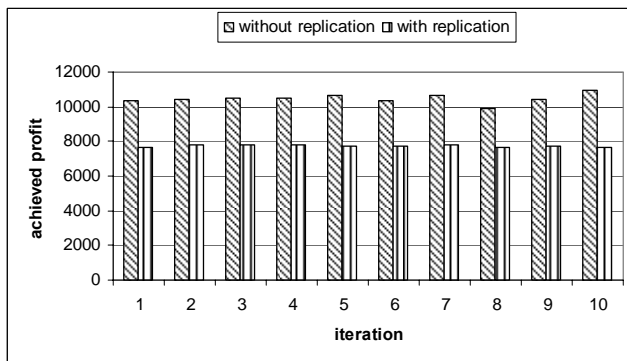
6.4.2 Αξιολόγηση του συνολικού μοντέλου δημιουργίας αντιγράφων

Ένα σύνολο $N = 300$ εργασιών έχει δημιουργηθεί για να χρονοδρομολογηθεί σε ένα κινητό περιβάλλον πλέγματος. Οι εργασίες ακολουθούν ένα ελαφρώς συσχετισμένο πρότυπο που έχει μια διαφορά κέρδους μεταξύ 10-100 λογιστικών μονάδων (Currency Units, CU). Συνδέουμε μια πιθανότητα αποτυχίας για κάθε εργασία μεταξύ συγκεκριμένων τιμών. Αυτή

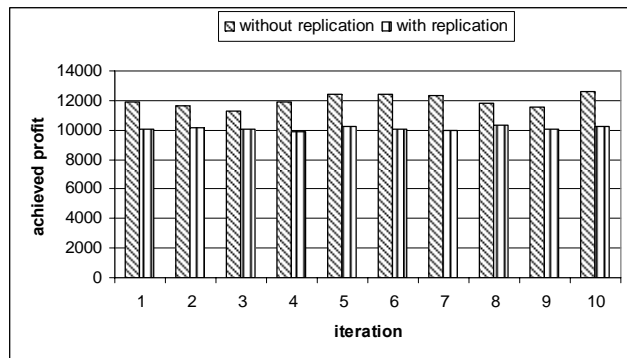
η πιθανότητα αποτυχίας (όπως περιγράφεται ήδη στα προηγούμενα κεφάλαια) παράγεται από το μοντέλο πιθανότητας αποτυχίας του πόρου όπου η εργασία πρόκειται να εκτελεσθεί. Εξετάζονται δύο διαφορετικές προσεγγίσεις. Η πρώτη πρόκειται να χρησιμοποιήσει τη διαδικασία γεμίσματος σακιδίου μόνο για τις πρωταρχικές εργασίες χωρίς καμία εφαρμογή του μηχανισμού δημιουργίας αντιγράφων για τις εργασίες αυτές. Η δεύτερη περιλαμβάνει τη διαδικασία δημιουργίας αντιγράφων εργασιών όπως έχει περιγραφεί στην παράγραφο 6.3. Οι εργασίες έχουν οριστεί για εκτέλεση στους συγκεκριμένους πόρους και η αποτυχία των πόρων (βασισμένη στο προτεινόμενο μοντέλο) λαμβάνεται υπόψη ώστε να υπάρξει ένα ρεαλιστικό σενάριο των αποτυχιών εργασιών στο πλαίσιο που εξετάζεται. Μελετάται η αποδοτικότητα του συστήματος από την άποψη του αριθμού πετυχημένων εργασιών (που είναι ο αριθμός αυτών που έχουν επιλεγεί για να φορτωθούν στο σακίδιο και έχουν τελειώσει επιτυχώς) και του κέρδους που λαμβάνεται (δηλαδή εκείνου που αντιστοιχεί στις εργασίες αυτές). Υπενθυμίζεται ότι δεν χρησιμοποιείται οποιοδήποτε σχέδιο τιμολόγησης για την προσαρμογή του κέρδους της κάθε εργασίας στο νέο «βάρος» που προκαλείται από τον πρόσθετο φόρτο εργασίας των αντιγράφων. Για κάθε μεμονωμένη περίπτωση επαναλαμβάνουμε την εκτέλεση 10 φορές ώστε να εξεταστεί το σύστημα για τις διαφορετικές αποτυχίες για το δεδομένο σύνολο εργασιών. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στις εικόνες: Εικόνα 24,Εικόνα 25,Εικόνα 26 και Εικόνα 27.



(a1) $\lambda = 0.03$, P_f in $[0.05 - 0.30]$, $CR = 80\%$



(b1) $\lambda = 0.03$, P_f in $[0.05 - 0.30]$, $CR = 50\%$

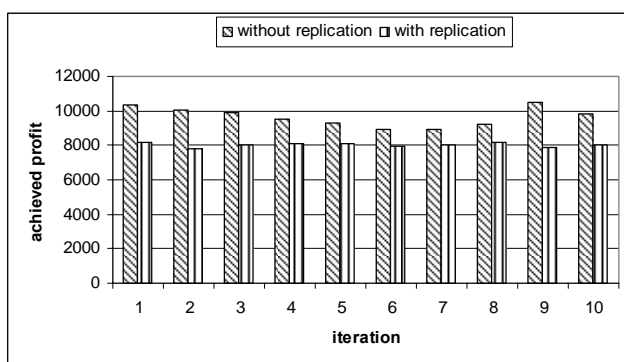


(c1) $\lambda = 0.06$, P_f in $[0.10 - 0.35]$, $CR = 80\%$

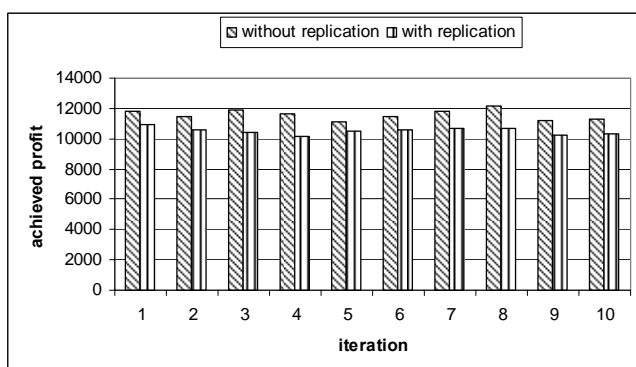
Εικόνα 24: Αποτελέσματα προσομοίωσης του προτεινόμενου μηχανισμού. Τα σχήματα

(a1-c1) δείχνουν το επιτευχθέν κέρδος (σε λογιστικές μονάδες) από επιτυχημένες εργασίες τόσο με όσο και χωρίς αντίγραφα. Η επανάληψη στον οριζόντιο άξονα σημαίνει την πολλαπλή εκτέλεση του ίδιου στιγμιότυπου εισόδου για εξασφάλιση τυχαιότητας στις αποτυχίες εργασιών

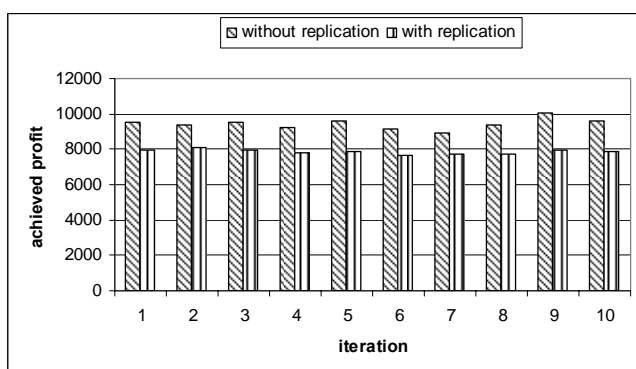
Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή



(d1) $\lambda = 0.06$, P_f in $[0.10 - 0.35]$, $CR = 50\%$



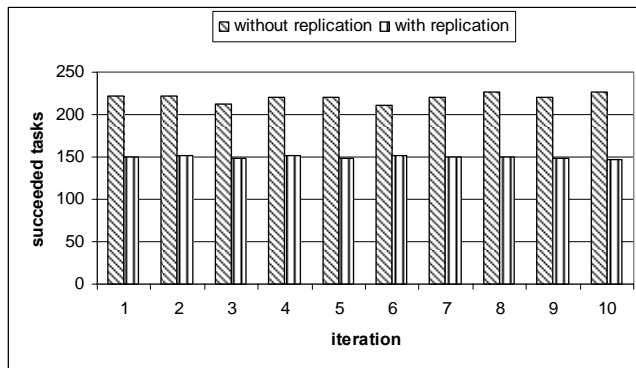
(e1) $\lambda = 0.09$, P_f in $[0.15 - 0.40]$, $CR = 80\%$



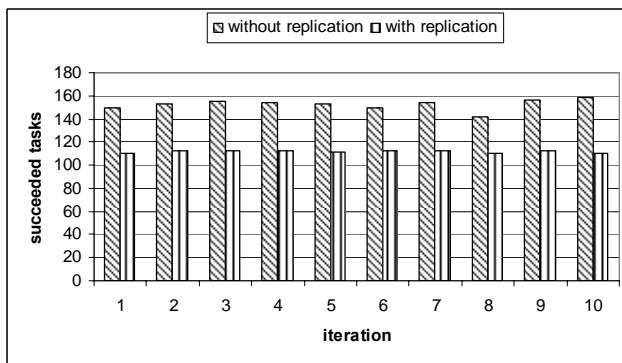
(f1) $\lambda = 0.09$, P_f in $[0.15 - 0.40]$, $CR = 50\%$

Εικόνα 25: (συνέχεια) Αποτελέσματα προσομοίωσης του προτεινόμενου μηχανισμού. Τα σχήματα (d1-f1) δείχνουν το επιτευχθέν κέρδος (σε λογιστικές μονάδες) από επιτυχημένες εργασίες τόσο με όσο και χωρίς αντίγραφα. Η επανάληψη στον οριζόντιο άξονα σημαίνει την πολλαπλή εκτέλεση του ίδιου στιγμιότυπου εισόδου για εξασφάλιση τυχαιότητας στις αποτυχίες εργασιών

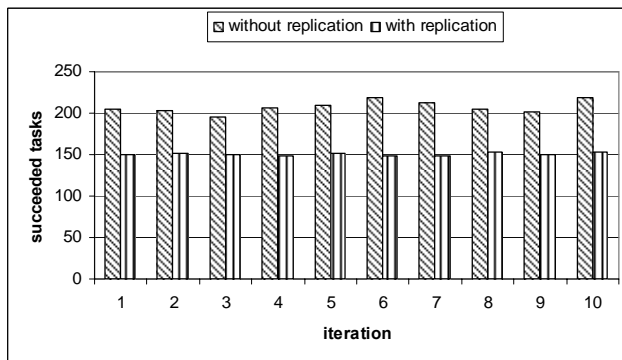
Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή



(a2) $\lambda = 0.03$, P_f in $[0.05 - 0.30]$, $CR = 80\%$



(b2) $\lambda = 0.03$, P_f in $[0.05 - 0.30]$, $CR = 50\%$



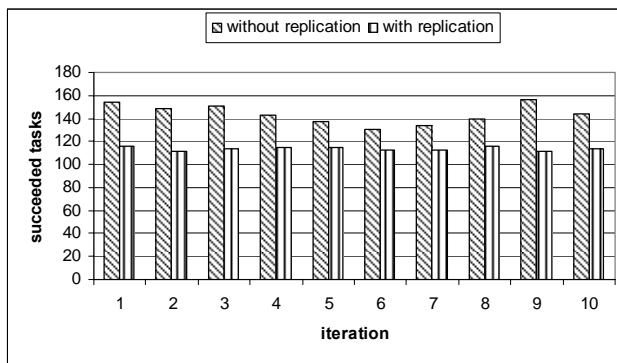
(c2) $\lambda = 0.06$, P_f in $[0.10 - 0.35]$, $CR = 80\%$

Εικόνα 26: Αποτελέσματα προσομοίωσης του προτεινόμενου μηχανισμού. Τα σχήματα

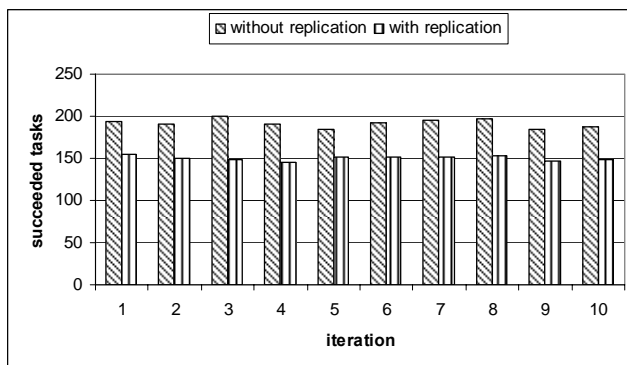
(a2-c2) δείχνουν τον αριθμό των επιτυχημένων εργασιών για τα ίδια στιγμιότυπα

εισόδου με τα αντίστοιχα σχήματα της Εικόνα 24

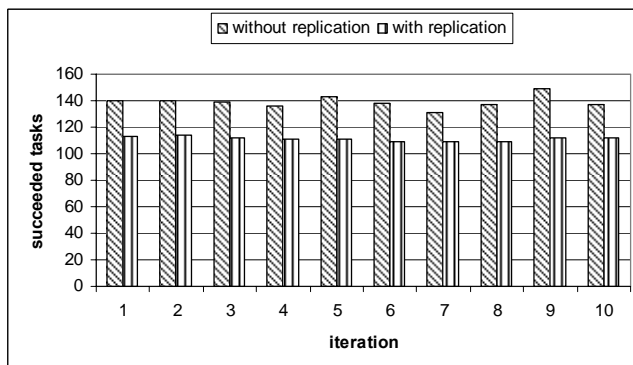
Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή



(d2) $\lambda = 0.06$, P_f in $[0.10 - 0.35]$, $CR = 50\%$



(e2) $\lambda = 0.09$, P_f in $[0.15 - 0.40]$, $CR = 80\%$



(f2) $\lambda = 0.09$, P_f in $[0.15 - 0.40]$, $CR = 50\%$

Εικόνα 27: (συνέχεια) Αποτελέσματα προσομοίωσης του προτεινόμενου μηχανισμού. Τα σχήματα (d2-f2) δείχνουν τον αριθμό των επιτυχημένων εργασιών για τα ίδια στιγμιότυπα εισόδου με τα αντίστοιχα σχήματα της Εικόνα 25

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή

Παρατηρούμε ότι το κέρδος για την περίπτωση που το σακίδιο περιλαμβάνει αποκλειστικά πρωταρχικές εργασίες (και όχι αντίγραφα τους) είναι υψηλότερο από αυτό στην περίπτωση που περιλαμβάνονται στο σακίδιο και αντίγραφα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα αντίγραφα ελαχιστοποιούν την πιθανότητα αποτυχίας και παρέχουν ένα εγγυημένο αποτέλεσμα βασισμένο στο κατώτατο όριο ανοχής σφαλμάτων του περιβάλλοντος πλέγματος. Πρέπει να αναφερθεί ότι το συνολικό κέρδος στην περίπτωση κανενός αντιγράφου είναι υψηλότερο δεδομένου ότι για έναν συγκεκριμένο φόρτο εργασίας (βάρος) λαμβάνουμε ένα συγκεκριμένο κέρδος, ενώ στην περίπτωση των αντιγράφων παίρνουμε το ίδιο κέρδος για πολλαπλάσιο φόρτο εργασίας. Τα παρουσιαζόμενα αποτελέσματα έχουν ενδιαφέρον δεδομένου ότι παρουσιάζουν τη σχέση του κέρδους με το κατώτατο όριο ανοχής σφαλμάτων, την αξιοπιστία των πόρων του πλέγματος και την αναλογία χωρητικότητας του πλέγματος. Επιπλέον, αν και κάποιος θα ανέμενε ότι μια τέτοια αύξηση στο φόρτο εργασίας θα είχε σημαντική επίπτωση στη μείωση του κέρδους, παρατηρείται ότι η εγγύηση της επιτυχούς εκτέλεσης εργασιών σε αναξιόπιστα περιβάλλοντα είναι ευεργετική σε σημαντικό βαθμό και για τον φορέα υπηρεσιών πλέγματος.

Ειδικά, στην περίπτωση που η επιθυμητή γενική αξιοπιστία πλέγματος είναι στο 91% ($\lambda = 0,09$), με αναλογίας χωρητικότητας 80% και με ιδιαίτερα αναξιόπιστους πόρους, το επιτευχθέν κέρδος με παρουσία αντιγράφων είναι πολύ κοντά σε αυτό της περίπτωσης με ύπαρξη αντιγράφων (με μια ελάχιστη απόκλιση της τάξης του 9%). Για τις περιπτώσεις που παρουσιάζει ο Πίνακας 4 υπάρχει μια μέση απόκλιση περίπου 16% για το επιτευχθέν κέρδος που προκύπτει μεταξύ των δύο μεθόδων (με και χωρίς αντίγραφα).

Μια άλλη σημαντική παρατήρηση είναι ότι η απόκλιση του επιτευχθέντος κέρδους από το συνολικό κέρδος που υπάρχει στο σακίδιο στην περίπτωση ύπαρξης αντιγράφων κυμαίνεται

από 1,41% ως 7,27%, ενώ στην περίπτωση της μη ύπαρξης αυτή η απόκλιση φθάνει σε 28,63% (όταν έχουμε ιδιαίτερα αναξιόπιστους πόρους πλέγματος).

Η περίπτωση χωρίς αντίγραφα παρουσιάζει συνήθως ένα υψηλότερο κέρδος και έναν υψηλότερο αριθμό πετυχημένων αρχικών εργασιών από ότι στην αντίθετη περίπτωση, όπως μπορεί να φανεί στον Πίνακα 5. Σε αυτόν, η στήλη (a) δίνει τον αριθμό των επιλεγμένων εργασιών που βρίσκονται μέσα στο σακίδιο, η στήλη (b) δίνει ένα αποτέλεσμα προσομοίωσης για συγκεκριμένα tasks που έχουν πετύχει. Στη στήλη (c) έχουμε το συνολικό κέρδος από τις εργασίες που βρίσκονται στο σακίδιο, κι όπου υπάρχει μια εμφανής διαφορά μεταξύ των δύο μεθόδων (με αντίγραφα και χωρίς). Στην (d) παρουσιάζεται το επιτευχθέν κέρδος από τις εργασίες στο σακίδιο που εκτελέστηκαν επιτυχώς. Η στήλη (e) δείχνει το λόγο του επιτευχθέντος κέρδους με το συνολικό κέρδος στρογγυλοποιημένο στα δύο πρώτα δεκαδικά ψηφία. Η στήλη (f) δείχνει τη μέση πιθανότητα αποτυχίας των εργασιών στο σακίδιο (και στην περίπτωση που δεν έχουμε αντίγραφα αντιπροσωπεύει την ίδια την εργασία), ενώ στην περίπτωση με τα αντίγραφα αντιπροσωπεύει το γινόμενο των πιθανοτήτων αποτυχίας των αρχικών εργασιών και των αντιγράφων τους.

Στην πρώτη περίπτωση όμως, ένας σημαντικός αριθμός εργασιών που έχουν δρομολογηθεί αρχικώς στο σύστημα αποτυγχάνει να ολοκληρώσει την εκτέλεση. Αυτές οι αποτυχίες οδηγούν στην μη λήψη του κέρδους που συνδέεται με επιτυχή εκτέλεση αυτών των εργασιών. Δύναται να αναφερθούν κι άλλες δαπάνες που μπορούν να εφαρμοστούν και που συσχετίζονται με τις παραβιάσεις προθεσμίας, τις παραβιάσεις του παρεχόμενου επιπέδου υπηρεσιών SLA, κ.λπ. Αυτές όμως δεν εξετάζονται στην παρούσα εργασία. Κατά αυτόν τον τρόπο το πραγματικό κέρδος που μπορεί να επιτευχθεί θα μπορούσε να είναι ακόμα μικρότερο.

$N=300$			Total tasks in the knapsack (a)	Succeeded tasks (b)	Total profit of tasks in knapsack (c)	Achieved profit (from the succeeded tasks) (d)	Ratio of achieved profit (e)	Mean P_f in the knapsack (f)
$\lambda = 0.03$	$CR=80\%$	Without replication	264	220	16174	13483	0.83	0.18
		With replication	152	150	10532	10383	0.99	0.01
$P_f \in [0.05, 0.30]$	$CR=50\%$	Without replication	188	153	12918	10471	0.81	0.18
		With replication	113	111	7854	7730	0.98	0.01
$\lambda = 0.06$	$CR=80\%$	Without replication	265	207	15183	11984	0.79	0.22
		With replication	155	151	10417	10112	0.97	0.03
$P_f \in [0.10, 0.35]$	$CR=50\%$	Without replication	188	144	12683	9661	0.76	0.23
		With replication	117	114	8257	8029	0.97	0.03
$\lambda = 0.09$	$CR=80\%$	Without replication	269	192	16243	11592	0.71	0.28
		With replication	157	150	10979	10516	0.96	0.05
$P_f \in [0.15, 0.40]$	$CR=50\%$	Without replication	190	139	12882	9434	0.73	0.27
		With replication	120	111	8477	7860	0.93	0.06

Πίνακας 5: Σύγκριση μεταξύ μεθόδου με αντίγραφα και μεθόδου χωρίς αντίγραφα για διάφορα στιγμιότυπα δεδομένων εισόδου.

Η ενδιαφέρουσα πτυχή των αποτελεσμάτων που παρουσιάζονται στον Πίνακα 5 είναι ότι, στην περίπτωση με τη δημιουργία αντιγράφων, ο αριθμός των επιτυχώς εκτελεσμένων εργασιών, καθώς επίσης και το κέρδος που αποκομίζεται, είναι πολύ κοντά σε αυτά που χρονοδρομολογούνται αρχικά στο σύστημα (που περιλαμβάνονται δηλ. στο σακίδιο). Είναι επίσης αρκετά κοντά στο κέρδος που αποκομίζουμε (για τα ίδια στιγμιότυπα) στις περιπτώσεις που δεν έχουμε αντίγραφα. Αυτό σημαίνει ότι με την παροχή αυτής της υπηρεσία ανοχής σφαλμάτων σε ιδιαίτερα αναξιόπιστα περιβάλλοντα, το προτεινόμενο μοντέλο μπορεί να επιτύχει ένα κέρδος που είναι συγκρίσιμο με την περίπτωση της μη ύπαρξης αντιγράφων. Επιπλέον, με τη χρησιμοποίηση των αντιγράφων ενισχύουμε τα κινητά πλέγματα με την αξιοπιστία που επιτρέπει την τήρηση των προθεσμιών που τίθενται από τους χρήστες και παρέχεται ποιότητα υπηρεσιών που ικανοποιεί τις απαιτήσεις των πελατών. Το προτεινόμενο μοντέλο είναι ιδιαίτερα κατάλληλο για τις περιπτώσεις όπου η επιτυχής εκτέλεση των εργασιών στα αναξιόπιστα περιβάλλοντα είναι σημαντική (π.χ. κρίσιμες καταστάσεις, προθεσμίες που πρέπει να τηρηθούν, κ.λπ.). Σε εκείνες τις περιπτώσεις το όφελος από την ελαχιστοποίηση των αποτυχιών αντισταθμίζει το γεγονός της επιβάρυνσης μερικών πόρων με πλεονάζοντα αντίγραφα εργασιών.

6.5 Σχετικές εργασίες - Βιβλιογραφία

Υπάρχουν διάφορες προσεγγίσεις στην ευρύτερη βιβλιογραφία που αποσκοπούν στο να καταστήσουν το υπολογιστικό πλέγμα ανεκτικό σε σφάλματα [46][52][50]. Εντούτοις οι δύο βασικές τεχνικές που ακολουθούνται είναι η αποκατάσταση σημείων ελέγχου και η αντιγραφή εργασιών. Η πρώτη είναι μια κοινή μέθοδος όπου παρακολουθείται η πρόοδος μιας μακροπρόθεσμης εφαρμογής με τη λήψη σημείων ελέγχου κατά τακτά χρονικά

διαστήματα, δηλ., σώζοντας την τρέχουσα κατάσταση της εφαρμογής σε μόνιμα αποθηκευτικά μέσα περιοδικά. Στη συνέχεια με μια αποκατάσταση σημείων ελέγχου μπορούμε να επιτύχουμε μια ασφαλιστική δικλείδα ενάντια στις αποτυχίες. Σε περίπτωση αποτυχίας, η εφαρμογή μπορεί να γυρίσει προς τα πίσω και να επανεκκινήσει από το τελευταίο σημείο ελέγχου που έχει αποθηκευτεί, χάνοντας κατ'αυτόν τον τρόπο μόνο ένα μέρος της εκτέλεσης της εφαρμογής. Η δημιουργία αντιγράφων εργασιών είναι μια άλλη κοινή μέθοδος που στοχεύει στο να παρέχει ανοχή σφαλμάτων στα κατανεμημένα περιβάλλοντα με την παραγωγή και δρομολόγηση πολλαπλών αντιγράφων των ίδιων εργασιών, έτσι ώστε να αυξήσει την πιθανότητα επιτυχούς εκτέλεσης τουλάχιστον ενός αντιγράφου της πρωταρχικής εργασίας. Μια συνοπτική επισκόπηση των επιλογών που παρουσιάζονται στη βιβλιογραφία για τον υπολογισμό πλέγματος με ανοχή σε σφάλματα μπορεί να βρεθεί μέσα στην αναφορά [52]. Επιπλέον, στην αναφορά [53] γίνεται μια πολύ ενδιαφέρουσα ανάλυση των απαιτήσεων για ανοχή σφαλμάτων στο πλέγμα κι όπου επιπλέον παρουσιάζεται μαζί μια υπηρεσία ανίχνευσης των αποτυχιών κι ένα ευέλικτο πλαίσιο διαχείρισης της κάθε αποτυχίας.

Έχουν υπάρξει ποικίλες εφαρμογές που έχουν εξετάσει το πρόβλημα της ανοχής σφαλμάτων στο πλέγμα και τα κατανεμημένα συστήματα. Το σύστημα Globus παρέχει μια υπηρεσία που ονομάζεται heartbeat (κτύπου της καρδιάς) που ελέγχει κεντρικοποιημένα τις τρέχουσες διαδικασίες προκειμένου να ανιχνεύσει τα διάφορα σφάλματα. Η συγκεκριμένη υπηρεσία ενημερώνεται για την αποτυχία που έχει λάβει χώρα και λαμβάνει τα κατάλληλα μέτρα αποκατάστασης από ένα σύνολο προκαθορισμένων μέτρων. Το σύστημα Legion [54][55] παρέχει μηχανισμούς αποκατάστασης σημείων για να υποστηρίξει την ανοχή σφαλμάτων. Άλλα συστήματα πλέγματος όπως το Netsolve [56][57], το Mentat [58] και το Condor-G [59] έχουν τους εξειδικευμένους τους μηχανισμούς ανίχνευσης και αποκατάστασης της

αποτυχίας. Το καθένα παρέχει έναν απλό, διαφανή προς το χρήστη τρόπο αποκατάστασης αποτυχίας (π.χ. ξαναδοκιμάζοντας την αποστολή εργασίας στο Netsolve και στο Condor-G, δημιουργία αντιγράφων στο Mentat). Στην περίπτωση του FATCOP [60], που είναι ένα παράλληλο, μικτό σύστημα λύσης για προγραμματισμό ακεραίων σε ένα υπολογιστικό περιβάλλον που παρέχεται από το σύστημα διαχείρισης πόρων του Condor, χρησιμοποιείται μια υλοποίηση του αλγόριθμου branch and bound. Τέλος διάφορα ομότιμα συστήματα (Peer-to-Peer, P2P) ακολουθούν επίσης όμοιες μεθόδους για την ανοχή σφαλμάτων κατά τη λειτουργία τους. Μια ενδιαφέρουσα επισκόπηση τέτοιων P2P των συστημάτων παρουσιάζεται στις αναφορές [61] και [62].

Η κύρια διαφορά όμως μεταξύ των προαναφερθέντων συστημάτων και του προτεινόμενου σχεδίου της παρούσας εργασίας βρίσκεται στο γεγονός ότι το τελευταίο εξετάζει την ανοχή σφαλμάτων ως μια μετρική που ρυθμίζεται στην ίδια την υποδομή πλέγματος βασισμένη στο μοντέλο αξιοπιστίας των ίδιων των πόρων της. Επιπλέον μπορεί να εφαρμοστεί σε όλα τα περιβάλλοντα πλέγματος και είναι ιδιαίτερα χρήσιμο και προσοδοφόρο για εργασίες χαμηλού φόρτου σε αναξιόπιστα περιβάλλοντα, όπως είναι κατά κανόνα τα κινητά πλέγματα [30][34], τα οποία αποτελούνται από κινητούς πόρους (εξυπηρετητές και χρήστες) που συνδέονται με ασύρματες συνδέσεις κάτω από αυθαίρετες και απρόβλεπτες τοπολογίες.

Όσον αφορά τη χρονοδρομολόγηση στο πλέγμα, υπάρχουν πάλι διάφορα συστήματα που έχουν αναπτυχθεί. Οι σημαντικότερες προσπάθειες μπορούν να βρεθούν στους μετα-χρονοπρογραμματιστές όπως το Nimrod-G [64][65], περιβάλλοντα εκτέλεσης λογισμικού όπως το GRaDS [66] και μεσίτες εργασιών όπως εκείνος του Condor-G [67]. Ειδικά το τελευταίο είναι ένα προϊόν μιας πιο περίπλοκης οντότητας που περιλαμβάνει πολιτικές χρονοδρομολόγησης και εξειδικευμένα συστήματα διαχείρισης φόρτου εργασίας. Επιπλέον, το AppLeS [68] είναι ένα σύστημα χρονοδρομολόγησης που εστιάζει πρώτιστα στην

ανάπτυξη των αντίστοιχων πρακτόρων για μεμονωμένες εφαρμογές. Άλλες ενδιαφέρουσες ερευνητικές εργασίες για το χρονοπρογραμματισμό και τον μετα-χρονοπρογραμματισμό παρουσιάζονται μέσα στις αναφορές [69] και [70], όπου στην πρώτη οι συντάκτες του άρθρου παρουσιάζουν έναν ευριστικό σχέδιο για τις λεγόμενες εργασίες bag-of-tasks με περιορισμούς ποιότητας υπηρεσιών, ενώ το τελευταίο χειρίζεται το πρόβλημα της κατανεμημένης χρονοδρομολόγησης εργασιών στα πλέγματα χρησιμοποιώντας πολλαπλά ταυτόχρονα αιτήματα. Σε ενιαία, ολοκληρωμένα περιβάλλοντα πλέγματος όπως το Globus [28] και το Unicore [71] υπάρχουν επίσης τεχνικές χρονοδρομολόγησης εργασιών και διαχείρισης των πόρων που εφαρμόζονται κατά τρόπο πιο τυποποιημένο.

Τέλος, άλλες μελέτες έχουν εξετάσει επίσης τη διαχείριση των πόρων στα πλέγματα με τη διατύπωση αυτής ως πρόβλημα «σακιδίων». Στην αναφορά [72] η κατανομή των πόρων σε ένα περιβάλλον πλέγματος διατυπώνεται ως πρόβλημα σακιδίων και αναπτύσσονται κι εφαρμόζονται τεχνικές ώστε να διατηρηθούν οι ιδιότητες QoS ενός χρονικού προγράμματος ενώ συγχρόνως να μεγιστοποιηθεί η χρησιμοποίηση των πόρων του πλέγματος. Αυτή η προσέγγιση, αν και παρουσιάζει πολύ ενδιαφέροντα αποτελέσματα δεν λαμβάνει υπόψη την πτυχή της κινητικότητας του πλέγματος (έχοντας λ.χ. μεταξύ άλλων και αναξιόπιστες συνδέσεις) ενώ επιπλέον δεν λαμβάνει υπόψη το μοντέλο αξιοπιστίας της υποδομής πλέγματος ώστε να παρασχεθεί ένα κατώτατο όριο ανοχής σφαλμάτων για τις εργασίες που πρόκειται να εκτελεστούν.

7 ΧΡΟΝΟΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕ ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΕΣ

7.1 Γενικά

Το κινητό πλέγμα επιτρέπει τόσο την κινητικότητα των χρηστών που ζητούν πρόσβαση σε κάποιο σταθερό πλέγμα όσο και των ίδιων των πόρων που είναι μέρος του πλέγματος. Και οι δύο περιπτώσεις παρουσιάζουν ιδιαιτερότητες και περιορισμούς που πρέπει να αντιμετωπιστούν [101]. Στην πρώτη περίπτωση οι συσκευές των κινητών χρηστών ενεργούν ως «διασυνδετικά» στοιχεία με το πλέγμα επιτρέποντας την υποβολή, τον έλεγχο και τη διαχείριση εργασιών σε ένα μοτίβο «οποτεδήποτε και οπουδήποτε». Σε αυτήν την περίπτωση το πλέγμα παρέχει σε αυτούς μια υψηλότερη αξιοπιστία, ή ίσως μια υψηλότερη απόδοση και οικονομικό όφελος. Οι φυσικοί περιορισμοί όμως των κινητών συσκευών καθιστούν απαραίτητη την προσαρμογή των υπηρεσιών που το πλέγμα μπορεί να παρέχει στις κινητές συσκευές των χρηστών. Σε εκείνες τις περιπτώσεις το κινητό πλέγμα έχει την έννοια της «πλεγματοποίησης» των κινητών πόρων. Στη δεύτερη περίπτωση οι ίδιοι οι πόροι του πλέγματος πρέπει να είναι κινητοί και πρέπει να υπογραμμιστεί ότι κάτι τέτοιο στις μέρες μας είναι αρκετά λογικό δεδομένου ότι οι αποδόσεις των σύγχρονων μικρών, κινητών συσκευών έχουν αυξηθεί σημαντικά. Τα laptops και τα PDAs μπορούν να παρέχουν αρκετά ισχυρή υπολογιστική ικανότητα ειδικά όταν συναθροίζονται στα λεγόμενα hotspots, που μπορούν να διαμορφώσουν στιγμιαία ένα πλέγμα στην συγκεκριμένη περιοχή. Αυτή η ικανότητα μπορεί να ευνοήσει τη χρήση των εφαρμογών πλέγματος ακόμη και σε περιπτώσεις που κάτι τέτοιο θα φάνταζε αδύνατον στο παρελθόν.

Η συντονισμένη εκτέλεση των υπολογιστικά απαιτητικών εργασιών καθώς και μερικές περιπτώσεις κατανεμημένων εφαρμογών πραγματικού χρόνου αποτελούν μερικά από τα

παραδείγματα που είναι ιδιαίτερου ενδιαφέροντος για περιβάλλοντα κινητού πλέγματος. Ειδικά όταν θεωρούνται ότι τα πλέγματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δυναμικά συστήματα πληροφοριών για να επιτρέψουν επιχειρησιακά μοντέλα πάνω στο λεγόμενο περιρρέοντα υπολογισμό, τότε προσδιορίζεται και η σημασία για το σχεδιασμό και τη δημιουργία των νέων σχημάτων και αρχιτεκτονικών για την αποδοτική διαχείριση τέτοιων συστημάτων. Αυτές οι εφαρμογές είναι που αποτελούν τους ιδανικούς υποψηφίους για να υιοθετήσουν λύσεις από την περιοχή των κινητών πλεγμάτων. Προκειμένου να γίνει αυτό όμως, τα υπάρχοντα πλέγματα πρέπει να εξοπλιστούν με τους σχετικούς μηχανισμούς προκειμένου να επιτύχουν στον τομέα της αποδοτικότητας. Οι συγκεκριμένες αρχιτεκτονικές που θα σχεδιαστούν για αυτόν το λόγο πρέπει οπωσδήποτε να περιέχουν ως βασικές δομικές μονάδες εκείνους τους μηχανισμούς που θα εξασφαλίσουν την ποιότητα υπηρεσιών (QoS) και την ανοχή σφαλμάτων (στοιχεία υποχρεωτικά για την εμπορική εκμετάλλευση αυτών των εφαρμογών).

Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται ένα σχήμα για την προώθηση όχι μόνο της ανοχής σφαλμάτων αλλά και των ιδιοτήτων QoS σε ανοιχτής αρχιτεκτονικής υπηρεσίες πλέγματος. Η ανοχή σφαλμάτων επιτυγχάνεται όπως είδαμε με την παραγωγή και τη διαχείριση των περιττών αντιγράφων των εργασιών που υποβάλλονται για την εκτέλεση στους κινητούς πόρους πλέγματος. Επιπλέον, προκειμένου να παραχθεί μια QoS μέθοδος που να είναι συμβατή με την έννοια ταξινόμησης πακέτων του Πρωτοκόλλου Διαδικτύου έκδοσης 6 (IPv6), και συνεπώς πλήρως ευθυγραμμισμένη με την προσπάθεια υπηρεσιών πλέγματος κινητών πόρων ενήμερων του υπάρχοντος δικτύου, σχεδιάζουμε ένα απλό μοντέλο καθορισμού προτεραιοτήτων που επιτρέπει τη διάκριση των αιτημάτων χρηστών σε κατηγορίες που μπορούν να ρυθμιστούν και να χρησιμοποιηθούν ως παράμετροι QoS από το χειριστή υποδομής πλέγματος.

7.2 Ανάγκη για ενισχυμένα χαρακτηριστικά ποιότητας σε κινητά πλέγματα

Το κινητό πλέγμα είναι ένα δυναμικό σύστημα οι περιβάλλουσες συνθήκες του οποίου υπόκεινται σε απρόβλεπτες αλλαγές: αποτυχίες συστημάτων ή δικτύων, υποβάθμιση απόδοσης συστημάτων, αφαίρεση μηχανών, παραλλαγές στο κόστος των πόρων, κ.λπ. Αυτό το πρόβλημα έχει έναν άμεσο αντίκτυπο στις διάφορες λειτουργίες του ίδιου του πλέγματος όπως για παράδειγμα η ανοχή σφαλμάτων και η χρονοδρομολόγηση εργασίας. Ειδικά το δεύτερο είναι ένα πρόβλημα που έχει ταξινομηθεί ως NP-πλήρες πρόβλημα, όπως έχουμε πει ήδη στην παράγραφο 4.6.2. Η φύση του προβλήματος είναι δύσκολη εξαιτίας του γεγονότος ότι πρέπει να εφαρμοστεί ένας αλγόριθμος που θα διέθετε τις εργασίες στους πόρους κατά τρόπο αποδοτικό και οικονομικό, ώστε να ελαχιστοποιηθεί η χρησιμοποίηση των πόρων, να επιτευχθεί μέγιστο κέρδος για τον πάροχο της υπηρεσίας και συγχρόνως να ικανοποιηθούν οι περιορισμοί των χρηστών (για ασφάλεια, ποιότητα της υπηρεσίας, ανοχή σφαλμάτων κ.λπ.).

Σε ένα περιβάλλον κινητού πλέγματος υπάρχουν πολλοί περισσότεροι περιορισμοί που θα έκαναν το πρόβλημα ακόμα πιο περίπλοκο. Οι μηχανισμοί βελτιστοποίησης πρέπει να λάβουν υπόψη όχι μόνο το κόστος και την εκτέλεση κάθε πόρου, αλλά και την τρέχουσα διαθεσιμότητα των πόρων στο πλέγμα και την αξιοπιστία τους για την εκτέλεση της συγκεκριμένης εφαρμογής κάτω από τους δεδομένους περιορισμούς QoS.

Προκειμένου να σχεδιαστούν και να αναπτυχθούν οι αρχιτεκτονικές που θα καλύψουν τα προαναφερθέντα ζητήματα προτείνουμε σε αυτήν την μελέτη έναν μηχανισμό που εμπλουτίζει τα πλέγματα κατά OGSA με έναν τρόπο που καλύπτει την παροχή ιδιοτήτων QoS όπως ο καθορισμός προτεραιοτήτων εργασιών και της ανοχής σφαλμάτων, ο οποίος

είναι ιδιαίτερα εφαρμόσιμος για τις ειδικές απαιτήσεις των κινητών πλεγμάτων. Το προτεινόμενο σχήμα καλείται να εμπλουτίσει τις υπηρεσίες JM και EPS του EMS (που περιγράφονται στην παράγραφο 5.6.3) προκειμένου να επιτύχει τα επιθυμητά αποτελέσματα.

7.3 Χρονοπρογραμματισμός με προτεραιότητες

Τα σύγχρονα συστήματα τηλεπικοινωνιών, όπως τα συστήματα κινητής τηλεφωνίας, ανήκουν στην κατηγορία κατανεμημένων συστημάτων πραγματικού χρόνου. Ειδικά η απαίτηση για πραγματικό χρόνο σε αυτά τα συστήματα είναι ιδιαίτερα σημαντική δεδομένου των επιπλέον απαιτήσεων σε ότι αφορά την πτυχή της απόδοσης αυτών των συστημάτων. Επιπρόσθετα, τα κινητά πλέγματα αποτελούνται συχνά από πολλούς φορείς παροχής υπηρεσιών («περιέκτες υπηρεσιών», service containers) που απεικονίζουν τους υπολογιστικούς πόρους, και ένα κύριο τμήμα μεσολογισμικού όπου οι υπηρεσίες του EMS (όπως η CSG και η EPS) κατοικοεδρεύουν. Προκειμένου να είμαστε σε θέση να προωθήσουμε τις ιδιότητες QoS που μπορούν να συμφωνήσουν με την έννοια της διαφοροποίησης υπηρεσιών, όπως χαρακτηρίζεται στα υποκείμενα δίκτυα IPv6 και MIPv6 αλλά και στο υπο-επίπεδο Ελέγχου Πρόσβασης Μέσου (Medium Access Control-MAC), πρέπει να εφαρμόσουμε ένα σχέδιο καθορισμού προτεραιοτήτων στις εργασίες που υποβάλλονται στο πλέγμα για εκτέλεση. Επιπλέον αυτός ο καθορισμός προτεραιοτήτων θα είναι σε θέση να διαχειριστεί χρονισμένη συμπεριφορά μεταξύ των τμημάτων του συστήματος (π.χ. μεταξύ του μεσολογισμικού και των περιεκτών υπηρεσιών), κάτι που απαιτείται σε τέτοια δυναμικά περιβάλλοντα όπως είναι τα κινητά πλέγματα. Με άλλα λόγια μια τέτοια προσέγγιση θα επιτρέψει μια περαιτέρω επέκταση των υπαρχόντων συστημάτων πλέματος για εφαρμογές πραγματικού χρόνου, που θα ήταν ιδιαίτερα χρήσιμη και

αποδοτική για τη συνεργασία που προβλέπεται μεταξύ των πλεγμάτων και των κινητών και αδόμητων δικτύων.

Η μελέτη εστιάζει στη συμπεριφορά του συστήματος κάτω από συνθήκες υπερφόρτωσης, όπου η υιοθέτηση του συγκεκριμένου μηχανισμού προτεραιοτήτων είναι κατάλληλη για να προσφέρει διαφοροποιημένη παροχή υπηρεσιών προς τους πελάτες.

Για αυτόν τον λόγο εισάγουμε ένα σχέδιο καθορισμού προτεραιοτήτων στο οποίο μπορούν να αποδοθούν οι ακόλουθες διακριτές προτεραιότητες:

- 1) *Μεσαία*: όπου η εργασία προστίθεται κανονικά στη σειρά αναμονής (μπορεί να μετονομαστεί σε κανονική).
- 2) *Χαμηλή*: η εργασία παραμένει στο τέλος της σειράς μέχρι να φύγουν όλες οι άλλες διαδικασίες διαφορετικής προτεραιότητας.
- 3) *Υψηλή*: η εργασία πηγαίνει μπροστά στη σειρά υπερδρασκελίζοντας εργασίες χαμηλής και μεσαίας προτεραιότητας, αλλά πίσω από τις ομότιμες προτεραιότητες και εκείνες που χαρακτηρίζονται «Κορυφής».
- 4) *Κορυφής*: Η εργασία πηγαίνει αμέσως στην κορυφή της ουράς. Ουσιαστικά γίνεται η επόμενη εργασία που υποβάλλεται σε επεξεργασία.

Δεδομένου ότι η προτεραιότητα μπορεί να θεωρηθεί ως προαιρετική πρέπει να υπάρχει μια προκαθορισμένη τιμή σε περίπτωση που αυτή δεν διευκρινίζεται από το χρήστη-πελάτη, η οποία στην περίπτωσή μας ορίζεται να είναι η Μεσαία. Αυτή η διάκριση δίνει την ευκαιρία να υπάρξουν τέσσερα είδη προτεραιότητας εργασιών, που κάνει το μεσολογισμικό πλέγματος να μπορεί με ειδικό χειρισμό για κάθε μία τους να προσαρμόζει το QoS. Σε περίπτωση που η προτεραιότητα τίθεται ως «μεσαία», τότε οι εργασίες εξυπηρετούνται στη σειρά με μια first-in-first-out (fifo) διαδικασία. Ειδικό χειρισμό έχουμε σε περιπτώσεις που οι προτεραιότητες των εργασιών τίθενται ως «χαμηλές», «υψηλές» ή «κορυφαίες». Αυτό το

σχέδιο καθορισμού προτεραιοτήτων, αν και απλό, παρέχει αρκετή ευχρηστία στη διαδικασία διάκρισης μεταξύ διαφορετικών κατηγοριών υπηρεσιών. Μπορούμε να θεωρήσουμε ότι η «κορυφαία» προτεραιότητα ισχύει στα ειδικά και κρίσιμα γεγονότα που είναι δεσμευμένα για τον έλεγχο των εφαρμογών που παρέχεται στην πλατφόρμα πλέγματος (περιλαμβάνοντας π.χ. ζητήματα ασφάλειας ή άλλες κρίσιμες και επείγουσες διαδικασίες για την ανάκαμψη και συντήρηση των περιεκτών υπηρεσιών). Οι προτεραιότητες που πρόκειται να παρασχεθούν στους πελάτες ως κατηγορίες διαφοροποίησης είναι εκείνες που χαρακτηρίζονται ως «υψηλές» και οι «μεσαίες/κανονικές», έτσι ώστε να υπάρχει τουλάχιστον μια βαθμίδα διαφοροποίησης μεταξύ τους. Η «χαμηλή» προτεραιότητα προβλέπεται κι αυτή για μερικές, διαχειριστικού χαρακτήρα, διαδικασίες batch (δηλ. για τη συντήρηση) που μπορούν να εκτελεστούν, χωρίς να είναι κρίσιμες, όταν δεν χρησιμοποιείται ευρέως το σύστημα πλέγματος (π.χ. κατά τη διάρκεια της νύχτας).

Εφαρμόζοντας τον Νόμο του Little για ένα σύστημα αναμονής [102] που ορίζει ότι: «ο μέσος αριθμός των εργασιών στο σύστημα = ρυθμός άφιξης εργασιών * μέσος χρόνο απόκρισης του συστήματος», παίρνουμε:

$$L_{System} = r_{arrival} * T_{System} \quad (25)$$

όπου $r_{arrival}$ είναι ο ρυθμός άφιξης εργασιών στο σύστημα πλέγματος, T_{System} ο απαιτούμενος χρόνος για μια εργασία έως ότου εκτελεστεί τελικά, και L_{System} το μήκος της ουράς αναμονής του συστήματος.

Στη γενική περίπτωση που δεν υπάρχουν προτεραιότητες όλες οι εργασίες που υποβάλλονται στο κινητό πλέγμα για εκτέλεση τοποθετούνται σε μια ουρά αναμονής μήκους L_q , και κάθε καινούρια εργασία πρέπει να τοποθετείται στο τέλος περιμένοντας. Η εκτέλεση κάθε εργασίας απαιτεί έναν μέσο χρόνο εξυπηρέτησης. Εάν μια εργασία είναι στον εξυπηρετητή

τότε χρειάζεται έναν μέσο χρόνο παραμονής για εξυπηρέτηση (T_{Av}) που είναι ο χρόνος αναμονής μιας νέας εργασία προτού τελειώσει ο εξυπηρετητής (υπολογιστικός πόρος) την προηγούμενη, προκειμένου να εκτελεσθεί αυτή τελικά. Η πιθανότητα ότι οι N_p υπολογιστικοί πόροι θα είναι απασχολημένοι είναι P_{N_p} , επομένως ο αναμενόμενος χρόνος για την εκτέλεση θα είναι: $P_{N_p} * T_{Av}$.

Άρα έχουμε:

$$T_q = L_q * T_{Server} + P_{N_p} * T_{Av} \quad (26)$$

όπου T_q είναι το μέσο χρονικό διάστημα που μια εργασία περιμένει στην ουρά αναμονής και T_{Server} ο μέσος χρόνο που παίρνει στον εξυπηρετητή για να στείλει την εργασία.

Η χρησιμοποίηση των συστημάτων αυτών μπορεί να εκφραστεί από: $U_{N_p}(\rho) = r_{arrival} / r_{service}$,

όπου $r_{service}$ είναι ο ρυθμός εξυπηρέτησης του συστήματος. Η τιμή του ρ πρέπει να είναι μεταξύ 0 και 1, διαφορετικά το σύστημα θα είναι ασταθές με την έννοια ότι οι εισερχόμενες εργασίες θα είναι περισσότερες από αυτές που θα μπορούν να επεξεργαστούν και ως εκ τούτου η χωρητικότητα του συστήματος θα ξεπερνιόταν (φαινόμενο υπερχείλισης).

Στην παρούσα εργασία υποτίθεται ότι η άφιξη των εργασιών στο σύστημα ακολουθεί μια κατανομή Poisson. Η Poisson χρησιμοποιείται επικρατέστερα για να μοντελοποιήσει τον αριθμό τυχαίων περιστατικών μερικών γεγονότων σε μια δεδομένη χρονική περίοδο (π.χ. ο αριθμός τηλεφωνημάτων που δέχεται ένας τηλεφωνητής σε μια συγκεκριμένη περίοδο). Για μια τυχαία Poisson μεταβλητή X , η πιθανότητα ότι η X έχει τιμή x δίνεται από τον τύπο:

$$P(X = x) = \frac{r^x e^{-r}}{x!}, x = 0, 1, \dots, \text{ όπου το } r \text{ είναι ο μέσος αριθμός περιστατικών στο}$$

συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Για τη κατανομή Poisson, έχουμε $E(X) = Var(X) = r$, το οποίο στην περίπτωση μας είναι ίσο με το ρυθμό άφιξης $r_{arrival}$.

Με βάση την χρονοδρομολόγηση εργασιών με προτεραιότητες σε ένα κινητό πλέγμα ερευνάται η συμπεριφορά του συστήματος υπό συνθήκες υπερφόρτωσης αλλά χωρίς να διακυβεύεται η σταθερότητα του συστήματος. Αν και το ποσοστό άφιξης είναι σταθερό για όλες τις διαφορετικές προτεραιότητες, εξετάζουμε την ισορροπία της χρησιμοποίησης όσον αφορά τους διαφορετικούς ρυθμούς εξυπηρέτησης. Στην πραγματικότητα, οι διακριτές προτεραιότητες έχουν επίδραση στο διαφορετικό ρυθμό εξυπηρέτησης για τις συγκεκριμένες κατηγορίες εργασιών. Αυτό σημαίνει ότι κάθε ουρά αναμονής προτεραιότητας θα αντιμετωπιστεί κατά τρόπο διαφορετικό, κάτι που θα οδηγήσει σε έναν διαφορετικό χρόνο αναμονής για τις εργασίες που περιμένουν μέσα στην ουρά για εκτέλεση.

7.4 Θέματα Υλοποίησης

7.4.1 Το περιβάλλον εκτέλεσης

Οι Υπηρεσίες Διαχείρισης Εκτέλεσης (όπως είδαμε και στην παράγραφο 5.6) πραγματεύονται τα προβλήματα σχετικά με τη δημιουργία και τη διαχείριση στιγμιότυπων εργασιών. Αντιμετωπίζουν ζητήματα όπως ο προσδιορισμός της τοποθεσίας όπου μια εργασία μπορεί να εκτελεσθεί, εξετάζοντας τους διάφορους περιορισμούς όπως ο τύπος και η διαθεσιμότητα μιας CPU, η ύπαρξη άδειας κ.λπ., ο προσδιορισμός μιας τοποθεσίας όπου είναι αποδοτικό να εκτελεσθεί μια εργασία, καθώς και τελικά η προετοιμασία, η διαχείριση και ο έλεγχος της ίδιας της εκτέλεσης.

Αποτελούνται όπως έχουμε δει, από τις ακόλουθες ενότητες:

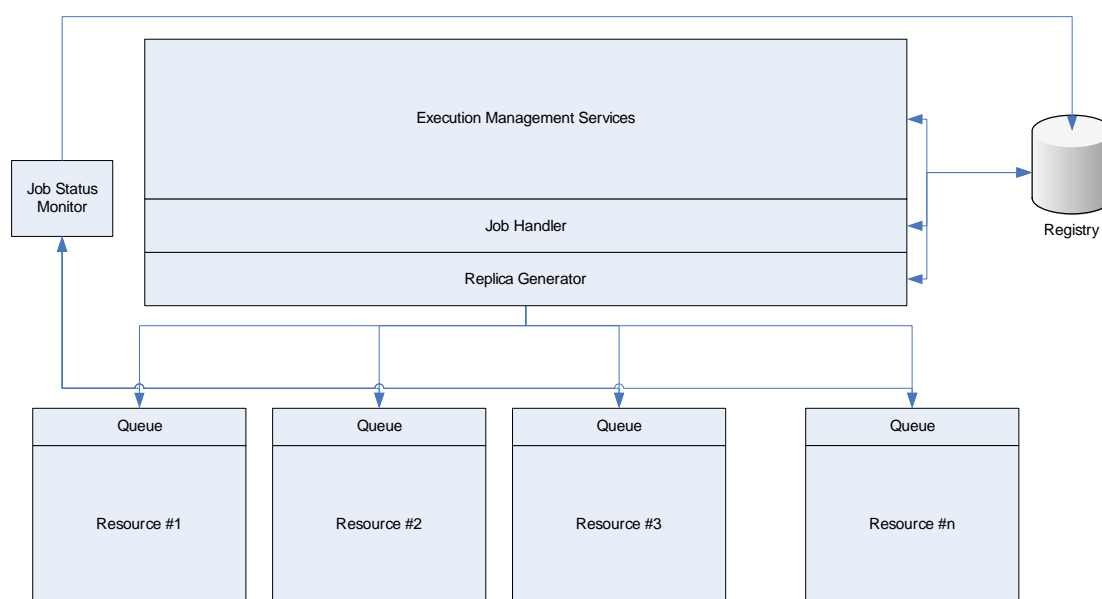
- 1) *Διαχειριστής εργασίας (JM)*
- 2) *Γεννήτρια Υποψηφίου Συνόλου (CSG)*
- 3) *Υπηρεσίες Σχεδιασμού Εκτέλεσης (EPS)*
- 4) *Υπηρεσία «εκ των προτέρων» Δέσμευσης (ARS)*

Το προτεινόμενο σχέδιο απεικονίζεται στην Εικόνα 28 και αποτελεί ενίσχυση των δραστηριοτήτων που επιτελούν οι Υπηρεσίες Διαχείρισης Εκτέλεσης (παράγραφος 5.6). Προσθέτει ή αλλάζει μερικές λειτουργίες κατά τον ακόλουθο τρόπο: i) Τους πόρους που μοντελοποιούν την επεξεργασία και διαχείριση πόρων, με την επέκταση ή την τροποποίηση της λειτουργίας του εγγράφου εργασίας και με την προσθήκη των λεπτομερειών για τη διαχείριση και τον έλεγχο εργασίας (όπως λ.χ. το μέρος όπου μια συγκεκριμένη εργασία εκτελείται αυτήν την περίοδο ή την κατάσταση της εργασίας), ii) Υπηρεσίες διαχείρισης και παρακολούθησης των εργασιών με την αλλαγή της ουράς εκτέλεσης και τον αλγόριθμο καθορισμού προτεραιοτήτων iii) Υπηρεσίες επιλογής των πόρων, κυρίως με τη χρησιμοποίηση των δυνατοτήτων από την γεννήτρια CSG.

Οι προφανείς επεκτάσεις του EMS στην προκειμένη περίπτωση είναι οι δύο συνημμένες υπηρεσίες, δηλαδή ο «χειριστής εργασίας» και η «γεννήτρια αντιγράφων». Το σχήμα συμπληρώνεται με την προσθήκη μιας υπηρεσίας «καταχώρησης» (Registry Service) και του χειρισμού των εργασιών στις σειρές αναμονής που τοποθετούνται «εικονικά» σε κάθε πόρο παρά το χειρισμό των εργασιών σε μια και μόνο ουρά.

Τέλος, ένας μηχανισμός που ονομάζεται *Παρακολούθηση Κατάστασης Εργασίας* ελέγχει τις εργασίες και ανακτά πληροφορίες για την κατάσταση τους από τη στιγμή που εισάγονται στις ουρές. Ο προτεινόμενος μηχανισμός προσφέρει προηγμένες ιδιότητες ανοχής

σφαλμάτων στο μεσολογισμικό πλέγματος ενώ συγχρόνως ολοκληρώνει έναν μηχανισμό διαχείρισης QoS με το να απεικονίζει τις ανάγκες του χρήστη στη λειτουργία του μεσολογισμικού. Το τελευταίο επιτυγχάνεται από την ταξινόμηση των εργασιών με βάση διάφορους παράγοντες όπως οι επιμέρους οικονομικές λεπτομέρειες, καταστάσεις επείγουσας ανάγκης, κ.λπ.



Εικόνα 28: Αρχιτεκτονική απεικόνιση των μηχανισμών ανοχής σφαλμάτων και προτεραιοτήτων

Η σημασία κάθε κατηγορίας στο σύστημα χαρακτηρίζεται από εκείνους τους παράγοντες που προέρχονται από τις ανάγκες των χρηστών και τις πολιτικές των συστημάτων.

Με αυτόν τον τρόπο, κάθε ορισμένη εργασία εμπίπτει σε μια από τις ακόλουθες κατηγορίες:

1) TOP. Αυτές οι εργασίες είναι ύψιστης προτεραιότητας. Αντιστοιχούν στην προτεραιότητα κορυφής και πρέπει να εκτελεσθούν το συντομότερο δυνατόν προκειμένου όχι μόνο να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις του πελάτη αλλά και ίσως επειδή αυτή η συγκεκριμένη εργασία βρίσκεται σε κρίσιμο στάδιο σε μία ροή εργασιών που δεν επιδέχεται πλέον αναβολή. Υπάρχουν πολύ λίγες εργασίες των οποίων η προτεραιότητά τους

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή

χαρακτηρίζεται ως TOP, κάτι που ομολογουμένως κρατά κάπως την ισορροπία στο όλο σύστημα.

2) HIGH. Οι εργασίες που εμπίπτουν σε αυτήν την κατηγορία είναι υψηλής σπουδαιότητας στη λειτουργία του συστήματος ή έχουν ειδικές απαιτήσεις στην προθεσμία τους (που τίθεται από τους χρήστες που είναι πρόθυμοι να πληρώσουν για αυτήν αποκτώντας έτσι μια προνομιακή μεταχείριση).

3) MID. Αυτές οι εργασίες είναι λιγότερο σημαντικές από τις δύο προαναφερθείσες κατηγορίες, ή δεν έχουν καμία ειδική απαίτηση για επεξεργασία (κανονική επεξεργασία).

4) LOW. Οι λιγότερο επείγουσες εργασίες που εκτελούνται. Η παραβίαση της προθεσμίας δεν είναι σε αυτήν την περίπτωση το σημαντικότερο ζήτημα. Οι εργασίες αυτές είναι χαμηλής σημασίας και προτεραιότητας για διάφορους λόγους (μεταξύ αυτών είναι εκείνες με ελαστικές προθεσμίες ή κάποιες ρουτίνες εκτέλεσης όπως μερικές διαδικασίες batch).

7.4.2 Υπηρεσία καταχώρησης

Το σύστημα χρησιμοποιεί μία υπηρεσία καταχώρησης για να καταγράψει την πρόοδο εκτέλεσης της εργασίας αλλά και την κατάσταση των πόρων και των ουρών αναμονής. Πληροφορίες όπως το πλήθος των πόρων, οι εργασίες και η πιθανότητα αποτυχίας τους κρατιούνται σε αυτήν την υπηρεσία καταχώρησης όχι μόνο για την ομαλή λειτουργία του αλγορίθμου χρονοδρομολόγησης (παρέχοντας δεδομένα εισόδου, υπολογίζοντας τα αποτελέσματα, κ.λπ.) αλλά και για στατιστικούς λόγους επίσης. Πολύτιμες πληροφορίες είναι δυνατόν να εξαχθούν ακόμα από τη συνάθροιση και την ανάλυση των αποτελεσμάτων που προέρχονται από τη μακροπρόθεσμη λειτουργία του συστήματος. Οι πληροφορίες που κρατιούνται μπορούν να ταξινομηθούν στις ακόλουθες τρεις κατηγορίες:

1. *Κατάσταση του μεσολογισμικού πλέγματος.* Αυτή η κατηγορία μπορεί περαιτέρω να διαιρεθεί σε δύο υποκατηγορίες. Αυτές είναι: i) Η κατάσταση των πόρων: Πληροφορίες σχετικές με τους πόρους και την κατάσταση των ουρών αναμονής μπορούν να βρεθούν στην προκειμένη περίπτωση. Για κάθε πόρο που προστίθεται στο σύστημα ορίζεται ένας νέος κωδικός προσδιορισμού αυτού. ii) Η κατάσταση των υπηρεσιών. Αυτή η υποκατηγορία περιλαμβάνει τις λεπτομέρειες σχετικά με τις διαθέσιμες υπηρεσίες στο περιβάλλον πλέγματος και πού αυτές οι υπηρεσίες μπορούν να βρεθούν.

2. *Κατάσταση των εργασιών.* Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει ένα αρχείο για κάθε εργασία. Σε κάθε τέτοιο αρχείο συμπεριλαμβάνονται πληροφορίες σχετικά με τη διαβαθμισμένη προτεραιότητα της εργασίας, την πιθανότητα αποτυχίας και τον αριθμό αντιγράφων της.

3. *Κατάσταση των αντιγράφων.* Η υπηρεσία καταχώρησης σώζει τα στοιχεία σχετικά με κάθε αντίγραφο εργασίας που στέλνεται στους αντίστοιχους πόρους για εκτέλεση. Τα στοιχεία αυτά αποτελούνται από έναν δείκτη στην αρχική εργασία και τις λεπτομέρειες της, έναν δείκτη στον ανατιθέμενο πόρο και ένα πεδίο που δείχνει την πρόοδο της εκτέλεσης, που διακρίνεται σε: i) «εκκρεμής», όταν ένα αντίγραφο εργασίας περιμένει σε μια ουρά αναμονής ή είναι ήδη στο στάδιο της εκτέλεσης, ii) «ολοκληρωμένη», όταν εκτελεσθεί το αντίγραφο εργασίας, και iii) «αποτυχημένη» όταν αποτυγχάνει να εκτελεσθεί το αντίγραφο εργασίας.

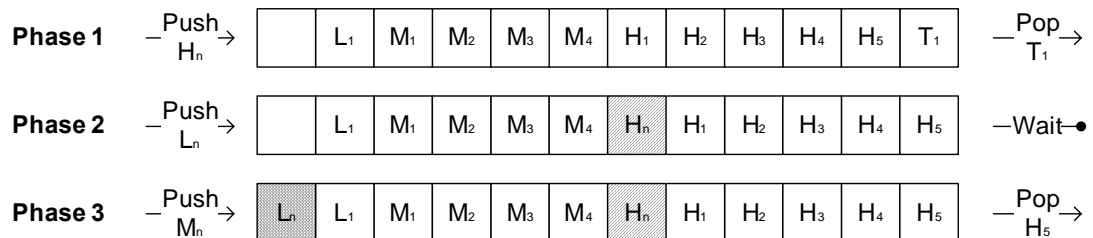
7.4.3 Περιγραφή Ροής Εργασιών

Μόλις φθάσει ένα αίτημα για μια εκτέλεση εργασίας, η γεννήτρια αντιγράφων ανακτά και επεξεργάζεται τα στοιχεία που συσχετίζονται με την αξιοπιστία της εργασίας. Αυτά τα στοιχεία εξάγονται από την υπηρεσία καταχώρησης. Με βάση την πιθανότητα αποτυχίας και

προκειμένου να διατηρηθεί το όριο ανοχής σφαλμάτων (παράγραφος 6.2), στέλνει ένα αίτημα για την παραγωγή ενός συγκεκριμένου ποσού αντιγράφων για τη συγκεκριμένη περίπτωση. Το αίτημα αυτό στη συνέχεια στέλνεται στο «χειριστή εργασίας».

Ο ρόλος της «γεννήτριας αντιγράφου» είναι διπλός. Εκτός από την «αντιγραφοποίηση» της εκτέλεσης των εργασιών (ουσιαστικά την παραγωγή αντιγράφων), πρέπει να ταξινομήσει τους διαθέσιμους πόρους – η πληροφορία των οποίων ανακτάται από την υπηρεσία CSG - βασισμένη στους αθροισμένους χρόνους εκτέλεσης στις αντίστοιχες ουρές αναμονής τους. Ο κατάλογος με τους ταξινομημένους πόρους επιστρέφεται έπειτα στο «χειριστή εργασίας» που αναθέτει στη συνέχεια κάθε αντίγραφο στο σχετικό πόρο του καταλόγου. Η ανάθεση είναι βασισμένη στην ακόλουθη λογική:

Κάθε εργασία, βασισμένη στην ταξινόμησή της, έχει μια συγκεκριμένη θέση σε κάθε ουρά αναμονής των πόρων στην οποία μπορεί να τοποθετηθεί. Αυτή η θέση δεν είναι απαραίτητος η τελευταία δεδομένου ότι ο αλγόριθμος καθορισμού προτεραιοτήτων δεν είναι FIFO. Κατά συνέπεια, ο χρόνος αναμονής $T_{Waiting}$ κάθε εργασίας ποικίλλει με βάση την ουρά αναμονής στην οποία θα τοποθετηθεί. Στην υλοποίηση που έχει ακολουθηθεί, η κάθε εργασία ανατίθεται στον πόρο με το μικρότερο χρόνο αναμονής $T_{Waiting}$ στην ουρά.



Εικόνα 29: Τρεις φάσεις μια ουράς πόρου

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή

Με αυτόν τον τρόπο η γεννήτρια αντιγράφου διαμορφώνει έναν ταξινομημένο κατάλογο πόρων, κάτι που σημαίνει ότι ο πρώτος πόρος του ταξινομημένου καταλόγου επιλέγεται πάντα από το χειριστή εργασίας για να του αναθέσει το επόμενο αντίγραφο προς επεξεργασία. Απομένει να απαντηθεί το ερώτημα πώς οι εργασίες αποκτούν την προτεραιότητα στην ουρά αναμονής. Είναι η ίδια η ταξινόμηση κάθε εργασίας που διέπει το μηχανισμό για την τοποθέτηση της στη σειρά αναμονής. Με άλλα λόγια, η εργασία με την πιο υψηλή προτεραιότητα τοποθετείται στη σειρά αναμονής μπροστά από τις εργασίες της μικρότερης προτεραιότητας. Ένα παράδειγμα αυτής της λειτουργίας παρουσιάζεται στην Εικόνα 29.

Σε αυτό το παράδειγμα παρουσιάζεται μια ουρά αναμονής γεμάτη με εργασίες. Υποτίθεται ότι αυτή η συγκεκριμένη ουρά αναμονής είναι αυτή με το μικρότερο χρόνο $T_{Waiting}$, έτσι ο χειριστής εργασίας στέλνει την επόμενη εργασία που φθάνει απευθείας στην ουρά αναμονής αυτού του πόρου. Η όλη διαδικασία εξελίσσεται σε τρεις φάσεις:

Φάση 1: Υπάρχουν: Μία εργασία TOP προτεραιότητας, 5 εργασίες της HIGH προτεραιότητας, 4 εργασίες της MID προτεραιότητας και μια LOW. Μία θυρίδα της ουράς αναμονής είναι αυτήν την περίοδο κενή. Οι εργασίες έχουν ήδη ταξινομηθεί με βάση την προτεραιότητά τους. Σε αυτό το σημείο του χρόνου μια νέα εργασία HIGH προτεραιότητας ωθείται μέσα ενώ η πρώτη εργασία στην κεφαλή της ουράς αναμονής βγαίνει έξω ώστε να εκτελεσθεί.

Φάση 2: Η πρόσφατα εισερχόμενη εργασία H_n τοποθετείται άμεσα μπροστά από τις εργασίες με μικρότερη προτεραιότητα. Σε αυτό το σημείο του χρόνου ο πόρος εκτελεί ακόμα την προηγούμενη εργασία, κατά συνέπεια καμία εργασία δεν θα βγει έξω. Εντούτοις, μια νέα εργασία αποστέλλεται. Αυτή η νέα εργασία L_n είναι ταξινομημένη ως LOW.

Φάση 3: Η νέα εργασία τοποθετείται στο τέλος της ουράς δεδομένου ότι είναι μικρότερης προτεραιότητας από όλες τις άλλες εργασίες εκτός από την L_1 . Σε αυτήν την περίπτωση λόγω FIFO στις ομότιμες προτεραιότητες συνεπάγεται ότι η L_n θα εκτελεσθεί μετά από την L_1 .

Ένα σημαντικό γεγονός είναι ότι οι διάφορες εργασίες στις ουρές αναμονής δύναται να είναι ίδιες λόγω του γεγονότος ότι μπορούν να είναι αντίγραφα της ίδιας πρωταρχικής εργασίας. Σε αυτήν την περίπτωση ο μηχανισμός δεν διακρίνει τα αντίγραφα, εντούτοις τα παρακολουθεί μέσω της υπηρεσίας καταχώρησης. Ο χειριστής εργασίας, εκτός από τη συνεχή ενημέρωση της υπηρεσίας καταχώρησης με την κατάσταση κάθε εργασίας, ενημερώνεται κι ο ίδιος από αυτήν για την κατάσταση των εργασιών στη δεδομένη χρονική περίοδο. Μόλις εκτελεσθεί επιτυχώς μια εργασία, το σύστημα αιτείται να αφαιρεθούν όλα τα αντίγραφα της από τις σειρές αναμονής ή ακόμα και να σταματήσει η εκτέλεσή τους σε περίπτωση που ήδη εκτελούνται. Αυτή η πτυχή του μηχανισμού δίνει ένα σημαντικό πλεονέκτημα επειδή όχι μόνο σιγουρεύει ότι μια εργασία θα εκτελεσθεί σε ένα συγκεκριμένο εγγυημένο επίπεδο ποιότητας αλλά θα εκτελεσθεί επίσης στο πιο σύντομο χρονικό διάστημα.

7.5 Αποτελέσματα προσομοίωσης μηχανισμού προτεραιοτήτων

Στη μελέτη μας εξετάζουμε το προτεινόμενο σχήμα από μια προοπτική του φορέα παροχής υπηρεσιών πλέγματος, ο οποίος αποσκοπεί στην εμπορική εκμετάλλευση του προκειμένου να ενισχύσει με αξιοπιστία και QoS μέσω προτεραιοτήτων την υποδομή κινητού πλέγματος. Για τον λόγο αυτόν οι υποθέσεις που κάνουμε για την προσομοίωση αφορούν κυρίως το γεγονός ότι, δοθείσης μιας συγκεκριμένης διάστασης της υποδομής πλέγματος (αριθμός πόρων, γνωστός ρυθμός άφιξης Poisson, φόρτος εργασίας), ποια αναλογία μεταξύ των HIGH

και MID εργασιών θα ήταν αποδοτική για την λειτουργία του συστήματος. Με άλλα λόγια, ποιο είναι το κατώφλι για τις εργασίες HIGH προτεραιότητας που μπορεί ο πάροχος να επιτρέψει και να *πουλήσει* ως ιδιότητα QoS στους χρήστες (που είναι πρόθυμοι να πληρώσουν περισσότερα για αυτό), αλλά συγχρόνως να μην υποσκεληθούν οι χρήστες με MID προτεραιότητας εργασίες.

Σε ένα τέτοιο περιβάλλον οι εργασίες με TOP προτεραιότητα θα ήταν αιτήματα έκτακτης ανάγκης (δηλ. κρίσιμα γεγονότα ασφάλειας, επείγουσες εργασίες για περιπτώσεις διαχείρισης καταστροφών) ενώ οι LOW προτεραιότητας θα ήταν κυρίως μερικές διαδικασίες batch που εκτελούνται για τη συντήρηση της υποδομής (δηλ. λήψη αντιγράφων ασφαλείας backups, αυτόματες ενημερώσεις λογισμικού, κ.ά.). Υποθέτουμε ότι και οι δύο αυτές περιπτώσεις ανήκουν στην αρμοδιότητα του φορέα παροχής υπηρεσιών πλέγματος και του διαχειριστή του, και δεν διατίθενται προς πώληση στη βάση των πελατών υπηρεσιών πλέγματος. Οι διαφορετικές κατηγορίες προτεραιότητας που προορίζονται για εμπορική εκμετάλλευση από τον διαχειριστή της υποδομής πλέγματος είναι οι HIGH και MID, και η σχέση που εκπορεύεται από την αναλογία αυτών θα εξεταστεί στα αποτελέσματα προσομοίωσης.

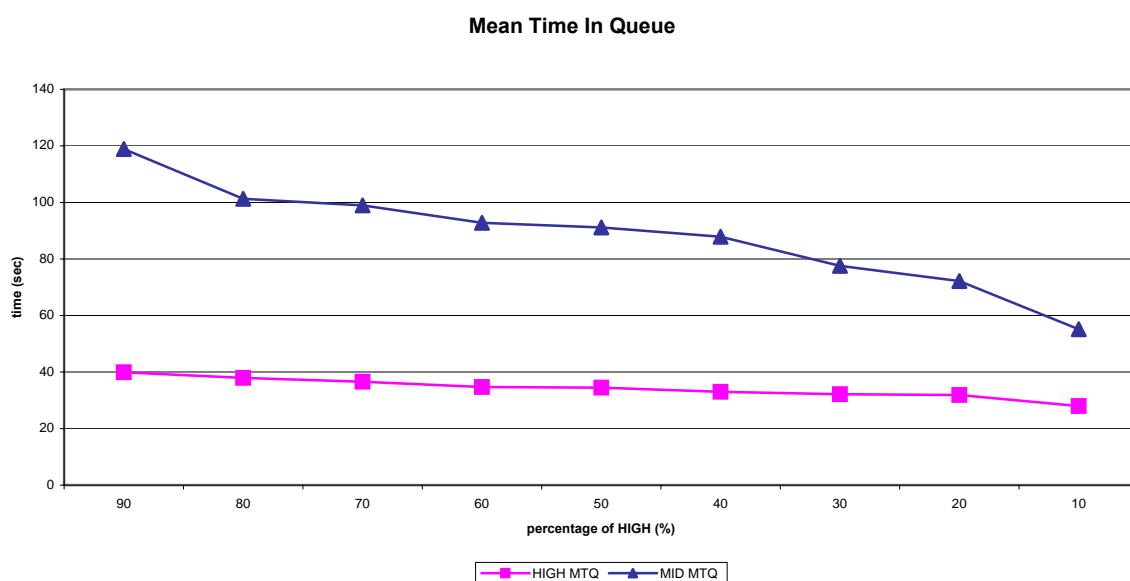
7.5.1 Προτεραιότητες χωρίς αντίγραφο

Οι παράγοντες που επηρεάζουν τον μέσο χρόνο αναμονής στην ουρά (Mean Time in Queue – MTQ) των εργασιών (ανεξάρτητα από το εάν αναφερόμαστε σε HIGH ή MID ουρές αναμονής) είναι: i) *το μέγεθος του πλέγματος* (δηλ. οι πόροι που το αποτελούν οι όποιοι έχουν επιπτώσεις στη ρυθμοαπόδοση της εκτέλεσης εργασίας), ii) *ο ρυθμός άφιξης των εργασιών*, iii) *ο μέσος χρόνος εκτέλεσης της ίδιας της εργασίας* (που συσχετίζεται απευθείας

με το φόρτο εργασίας), και iv) η αναλογία των HIGH και MID προτεραιοτήτων μέσα στις ουρές αναμονής.

Για αυτόν τον λόγο εξετάζεται πώς η αναλογία των HIGH και MID προτεραιοτήτων επηρεάζει πρακτικά τον MTQ, δεδομένου ότι κρατάμε σταθερές τις άλλες τρεις παραμέτρους: Το ρυθμό άφιξης ως κατανομή Poisson με $r = r_{arrival} = 13 \text{ sec}$, το χρόνο εκτέλεσης μιας εργασίας σε έναν συγκεκριμένο πόρο (είναι επίσης κατανομή Poisson με $r = 66 \text{ sec}$), και 5 διαθέσιμοι πόροι πλέγματος των ίδιων ικανοτήτων (υπολογιστικό ρυθμό, χρόνο απόκρισης, κ.λπ.). Η επιλογή αυτών των παραμέτρων έχει γίνει στη βάση ότι οι τιμές τους συνθέτουν ένα σταθερό σύστημα ουρών αναμονής. Επιπλέον, η πιθανότητα αποτυχίας για κάθε πόρο ορίζεται να είναι 5%.

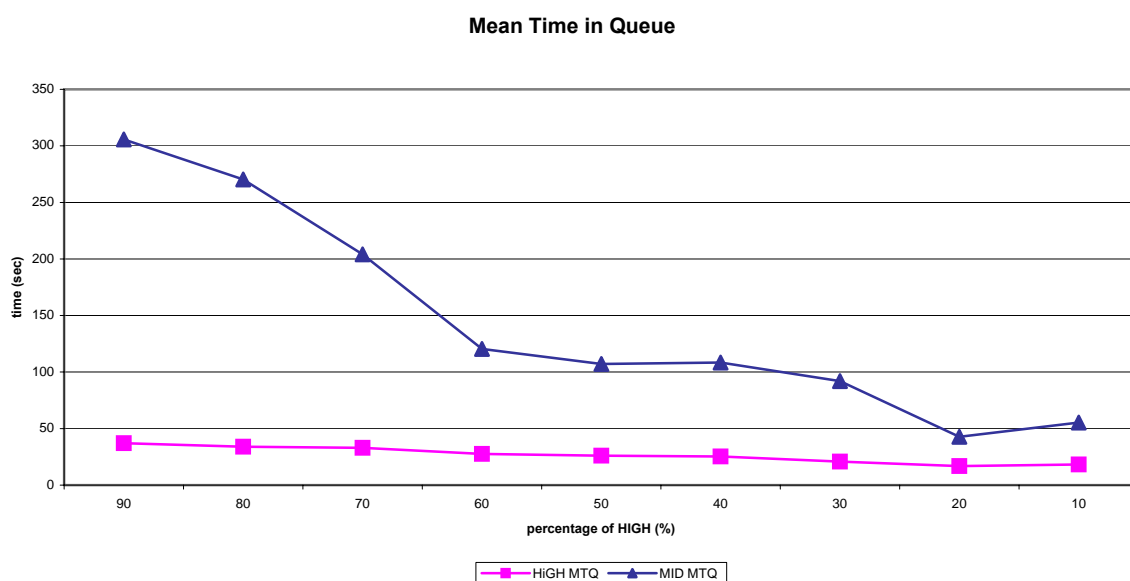
Κάθε πείραμα της προσομοίωσης περιλαμβάνει την επιτυχή εκτέλεση 300 αιτημάτων υπηρεσιών (εργασίες). Στη συνέχεια προσδιορίζονται οι τιμές MTQ. Προκειμένου να υπάρξουν αξιοποιήσιμα αποτελέσματα που να είναι και τυχαία, κάθε πείραμα επαναλαμβάνεται 10 φορές (κρατώντας σταθερά το μέγεθος της υποδομής, το ρυθμό άφιξης, το ρυθμό εκτέλεσης κάθε εργασίας, και την αναλογία των HIGH και MID). Στην περίπτωση που το δεδομένο μέγεθος πλέγματος και ο δεδομένος ρυθμός άφιξης εργασιών παραμένουν σταθερά ενώ ο χρόνος εκτέλεσης μιας εργασίας μειώνεται (παραδείγματος χάριν <64 sec), τότε η αναλογία προτεραιοτήτων MID και HIGH δεν επηρεάζει τον MTQ. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί από το γεγονός ότι όταν ο χρόνος εκτέλεσης παίρνει μικρότερη τιμή από μια συγκεκριμένη (έχοντας τον ίδιο ρυθμό άφιξης), τότε η ρυθμοαπόδοση της υποδομής πλέγματος είναι αρκετά ικανοποιητική ώστε να αδειάσει τις ουρές αναμονής με έναν τρόπο που δεν καθιστά προφανή το διαχωρισμό των διαφορετικών προτεραιοτήτων.



Εικόνα 30: Μέσος χρόνος αναμονής στην ουρά για διάφορους λόγους προτεραιοτήτων HIGH/MID. (Άφιξη εργασιών και εκτέλεση είναι Poisson κατανομές με μέσες τιμές 13 sec και 66 sec αντίστοιχα)

Στην περίπτωση όπου ο χρόνος εκτέλεσης μιας εργασίας αυξάνεται (παραδείγματος χάριν >68 sec), τότε το σύστημα παρουσιάζει μια ασταθή συμπεριφορά που επηρεάζει τον MTQ για τις MID προτεραιότητες, που καταλήγουν στην υπερχειλίση των ουρών αναμονής. Μια παρόμοια συμπεριφορά παρατηρείται όταν αλλάζει ο ρυθμός άφιξης ενώ συγχρόνως διατηρείται σταθερός ο χρόνος εκτέλεσης. Μια πολύ ενδιαφέρουσα παρατήρηση από τα αποτελέσματα προσομοίωσης είναι ότι ο MTQ των HIGH εργασιών δεν έχει απότομη αλλαγή σε σχέση με την αναλογία HIGH/MID. Αυτή η γνώση θα μπορούσε να οδηγήσει έναν πάροχο υπηρεσιών πλέγματος να επιτρέψει έναν μεγαλύτερο αριθμό εργασιών HIGH προτεραιότητας (που αυξάνουν προφανώς και το κέρδος του) χωρίς να αυτό να έχει σημαντική επίπτωση στην ποιότητα υπηρεσίας των εργασιών HIGH προτεραιότητας.

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή



Εικόνα 31: Μέσος χρόνος αναμονής στην ουρά για διάφορους λόγους προτεραιοτήτων HIGH/MID. (Άφιξη εργασιών Poisson με μέση τιμή 13 sec και ο χρόνος εκτέλεσης εργασιών τυχαίος αριθμός μεταξύ 16 sec και 116 sec)

Αφ' ετέρου, ο MTQ για τις MID εργασίες αλλάζει σημαντικά έχοντας ως αντίκτυπο την αύξηση του MTQ για τις εργασίες αυτές όσο υπάρχει αύξηση στο ποσοστό των HIGH.

Σαν γενικό συμπέρασμα στην προαναφερθείσα συζήτηση μπορούμε θίξουμε το ζήτημα ότι υπάγεται στην προτίμηση του παρόχου της υποδομής πλέγματος και στην τεχνο-οικονομική ανάλυσή του το να προσδιορίσει την κατάλληλη αναλογία των HIGH και MID προτεραιοτήτων με βάση την εκτίμησή του για το ρυθμό άφιξης εργασιών, το μέγεθος του πλέγματος που θα χρησιμοποιηθεί και το είδος της εφαρμογής που θα προσφερθεί (που σημαίνει ουσιαστικά το χρόνο για την εξυπηρέτηση του αιτήματος χρηστών, δηλ. ο χρόνος εκτέλεσης της εργασίας).

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή

Συγχρόνως η αναλογία πρέπει να επιλεγεί με μια τέτοια μορφή που θα επιτρέψει μια λογική χρονική περίοδο MTQ για τις MID προτεραιότητες, διαφορετικά διακινδυνεύεται το γεγονός να μην τηρηθεί η προθεσμία D_i για τη δεδομένη εργασία, αλλά μερικές φορές αυτό υπόκειται στη φύση των ίδιων των εργασιών. Παραδείγματος χάριν, εάν οι υποβληθείσες εργασίες έχουν έναν μέσο χρόνο εκτέλεσης περίπου μιας ώρας (όπως μερικές εφαρμογές επεξεργασίας τρισδιάστατης εικόνας), τότε ένας χρόνος αναμονής σε μια ουρά της τάξης των 10 λεπτών είναι αποδεκτός. Αλλά σε άλλες εφαρμογές πραγματικού χρόνου (δηλ. ερωτήσεις σε βάσεις δεδομένων, κρίσιμες εφαρμογές ανάκτησης πληροφοριών) τότε ακόμα και ο χρόνος αναμονής ενός λεπτού είναι σημαντικός για την κατάλληλη λειτουργία του συστήματος.

7.5.2 Προτεραιότητες με αντίγραφα

Στην περίπτωση προσομοίωσής που εξετάζεται, δεδομένου ότι η πιθανότητα αποτυχίας είναι 5% για κάθε πόρο του πλέγματος και δεδομένου ότι η επιθυμητή αξιοπιστία είναι 99%, τότε κάθε εργασία θα αντιγραφεί, διπλασιάζοντας έτσι το φόρτο εργασίας που υποβάλλεται στο σύστημα πλέγματος για εκτέλεση. Εντούτοις, αυτό δεν σημαίνει ότι όλα τα αντίγραφα θα εκτελεστούν.

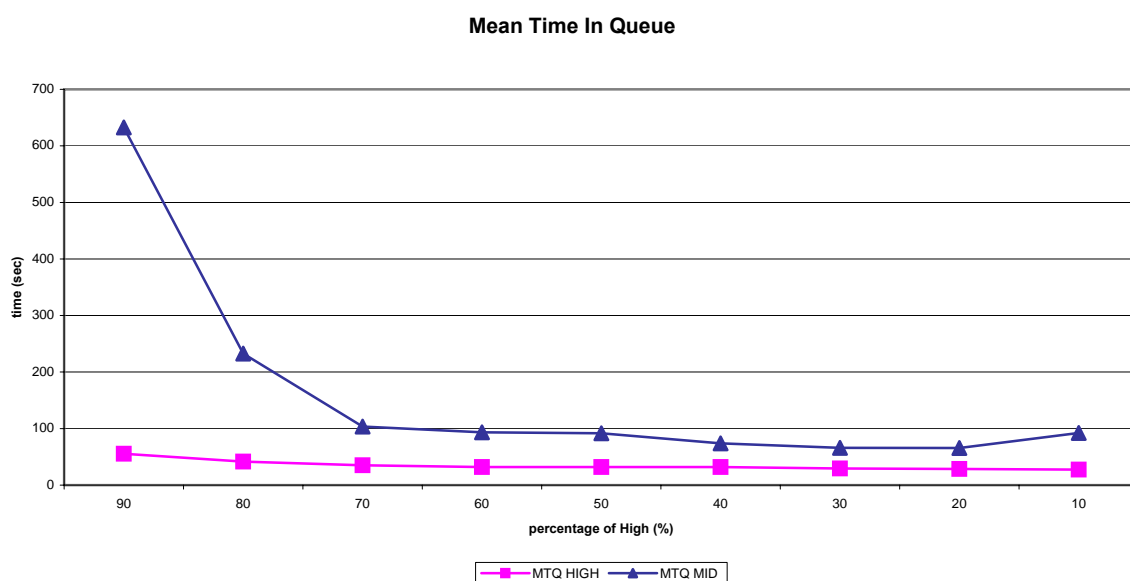
Προκειμένου να διατηρηθεί η σταθερότητα ενός τέτοιου συστήματος, ο αριθμός των διαθέσιμων πόρων του πλέγματος πρέπει να αυξηθεί. Ή εναλλακτικά, πρέπει να υιοθετηθεί μια άλλη πολιτική αποδοχής αφιχθέντων εργασιών ειδάλλως αυτός ο διπλασιασμός του φόρτου εργασίας θα οδηγήσει στην υπερχείλιση των σειρών αναμονής. Αλλά γενικά, η δυνατότητα κλιμάκωσης ενός τέτοιου συστήματος εξαρτάται από την διαστασιολόγηση που θα υιοθετηθεί από τον ιδιοκτήτη υποδομής πλέγματος, ο οποίος θα χρησιμοποιήσει τους

απαραίτητους πόρους βασιζόμενος στο ρυθμό άφιξης των εργασιών πριν μπουν σε διαδικασία δημιουργίας αντιγράφων.

Αυτή η διαδικασία δεν υπονοεί απαραίτητως το διπλασιασμό των πόρων. Όπως έχει ήδη περιγραφεί ο αλγόριθμος που εφαρμόζεται στο μεσολογισμικό, προβλέπει τέτοιες συνθήκες και τις χειρίζεται κατάλληλα με τη διαγραφή από τις σειρές αναμονής οποιωνδήποτε αντιγράφων των οποίων ένα όμοιό τους έχει εκτελεσθεί επιτυχώς. Στα αντίστοιχα αποτελέσματα προσομοίωσης έχουμε αυξήσει τον αριθμό των πόρων πλέγματος από 5 σε 9.

Πάλι, στην περίπτωση με τα αντίγραφα, το πείραμα τελειώνει μόλις εκτελεσθούν 300 εργασίες (άσχετα από εάν είναι αντίγραφα ή όχι). Κάθε πείραμα εκτελείται 10 φορές για λόγους υπέρβασης του τυχαίου.

Σε αυτήν την περίπτωση η συμπεριφορά του σχήματος καθορισμού προτεραιοτήτων δεν αλλάζει. Υπάρχει όμως πλέον η διαφορά που οφείλεται στην αυξημένη αξιοπιστία που έχει επιτευχθεί με την επέκταση των πρόσθετων πόρων πλέγματος. Ακριβέστερα, για την προαναφερθείσα προσομοίωση, η γενική αξιοπιστία του συστήματος έχει αυξηθεί από 95% σε 99,75% αυξάνοντας τους πόρους κατά 40%. Εάν η αξιοπιστία ήταν διαφορετικού ποσοστού (παραδείγματος χάριν από 60% σε 99% που είναι κάτι συχνό στα αναξιόπιστα κινητά περιβάλλοντα) τότε περισσότεροι πόροι πλέγματος θα απαιτούταν για τα αντίγραφα.



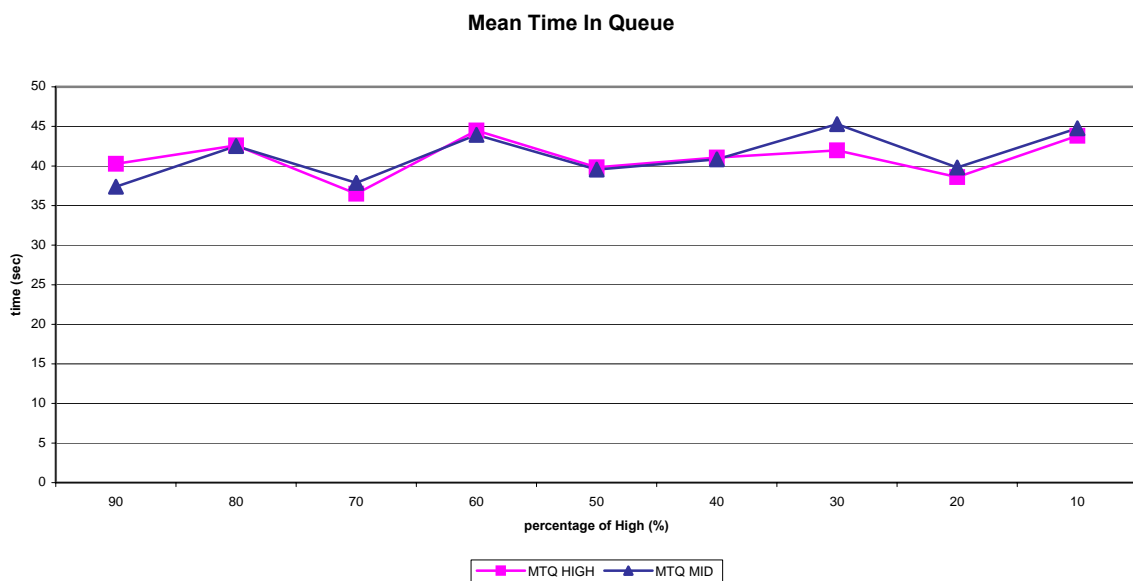
Εικόνα 32: Μέσος χρόνος αναμονής στην ουρά για διάφορους λόγους προτεραιότητας HIGH/MID με αντίγραφα εργασιών. (Αφιξη εργασιών και εκτέλεση είναι κατανομές Poisson με μέσες τιμές 13 sec και 66 sec αντίστοιχα)

Η ομοιομορφία στους πόρους πλέγματος και το γεγονός ότι είναι των ίδιων ικανοτήτων επηρεάζει γενικά τον συνολικό χρόνο εκτέλεσης και τον MTQ για όλες τις εργασίες. Αυτό σημαίνει ότι όταν υποβάλλεται κάθε εργασία στο πλέγμα, τα αντίγραφα που παράγονται ανατίθενται στους άλλους διαθέσιμους πόρους για εκτέλεση. Κατ' αυτό τον τρόπο, όταν εκτελείται μια εργασία σε έναν πόρο παρατηρείται ότι τα αντίγραφα της είναι πιθανόν να εκτελούνται ταυτόχρονα σε έναν άλλο πόρο του πλέγματος. Αυτό δεν θα συνέβαινε στην περίπτωση που θα είχαμε μια τυχαία γεμισμένη ουρά αναμονής για κάθε πόρο. Στην τελευταία περίπτωση, η ακύρωση της εκτέλεσης κάποιων συγκεκριμένων εργασιών θα ήταν συχνότερη δεδομένου ότι οι ολοκληρωθείσες εργασίες θα ενημέρωναν το μεσολογισμικό για να διαγράψει τα υπόλοιπα αντίγραφα τους από τις σειρές αναμονής, διατηρώντας έτσι μια πιο αποδοτική χρησιμοποίηση του συστήματος.

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή

	HIGH/MID ratio	90/10	80/20	70/30	60/40	50/50	40/60	30/70	20/80	10/90
Mean	No repl.	16.6	16	16	14.7	15	15.2	14.9	16.2	14.9
Failed Tasks	Replic.	1.6	1.7	2.2	1.5	1.5	2.5	0.5	0.5	0.5

Πίνακας 6: Μέσος αριθμός αποτυχημένων εργασιών για διάφορα στιγμιότυπα HIGH/MID και για τις 2 περιπτώσεις (με αντίγραφα και χωρίς) που αφορούν στα παραδείγματα των Εικόνων Εικόνα 30 και Εικόνα 32



Εικόνα 33: Παράδειγμα 2 ισοδύναμων ουρών HIGH και MID χωρίς προτεραιότητες και αντίγραφα: 150 εργασίες με ρυθμό άφιξης 13 sec (Poisson) σε Grid με 5 πόρους και χρόνο εκτέλεσης κάθε εργασίας 66 sec (Poisson)

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή

Μια ενδιαφέρουσα παρατήρηση για την περίπτωση που έχουμε αντίγραφα, είναι ότι σε περιπτώσεις ποσοστού μεγαλύτερο από 80% των HIGH προτεραιοτήτων, τότε ο MTQ των MID προτεραιότητας εργασιών είναι πολύ μεγάλος και ο ρυθμός εξυπηρέτησης (ο ρυθμός που μια εργασία αφήνει επιτυχώς το σύστημα πλέγματος) των MID εργασιών είναι μικρότερος από το ρυθμός άφιξης. Αυτό οδηγεί στην ύπαρξη ασταθούς συστήματος με υψηλό κίνδυνο υπερχείλισης στις σχετικές ουρές αναμονής.

Για λόγους συνέπειας παρουσιάζουμε επίσης την περίπτωση των δύο διαφορετικών ουρών αναμονής αλλά χωρίς μηχανισμούς ανοχής σφαλμάτων και καθορισμού προτεραιοτήτων (Εικόνα 33). Όπως μπορεί να φανεί, δεν υπάρχει καμία διαφορά συμπεριφοράς ως προς τις τάξεις προτεραιότητας. Με βάση αποκλειστικά το τυχαίο για την περίπτωση εκτέλεσης, οι MTQ τιμές κυμαίνονται μεταξύ δύο χρονικών διαστημάτων που βασίζονται μόνο σε ιδιότητες όπως ο ρυθμός άφιξης των εργασιών, του χρόνου εκτέλεσης και του μεγέθους του πλέγματος. Καμία σταθερότητα στη συμπεριφορά δεν μπορεί να εγγυηθεί, και έτσι καμία ιδιότητα QoS δεν μπορεί να εφαρμοστεί.

7.6 Σχετικές εργασίες - Βιβλιογραφία

Διάφορες προσεγγίσεις έχουν αναφερθεί και έχουν εφαρμοστεί για τα πλέγματα για την επίτευξη ανοχής σφαλμάτων και QoS (όπως έχουμε ήδη δει, π.χ. [47][76]). Εντούτοις το προτεινόμενο σχήμα θα μπορούσε να εφαρμοστεί σε μια συγκεκριμένη κατηγορία εφαρμογών. Παραδείγματος χάριν, στο Condor [67] εφαρμόζεται η τεχνική checkpointing και η μετανάστευση διαδικασιών, εντούτοις αυτά είναι χρησιμοποιήσιμα σχεδόν μόνο για αντίστοιχες υλοποιήσεις, κάτι όμως που δεν είναι κατάλληλο για σύντομες εργασίες με μικρό χρόνο εκτέλεσης. Μερικά εργαλεία για την ανάπτυξη μηχανισμών ανεκτικών σε σφάλματα βασίστηκαν στο Globus Toolkit όπως για παράδειγμα το FATOM [103]. Το

FATOM είναι ένας μηχανισμός ανοχής σφαλμάτων των διεπαφών περάσματος μηνύματος (Message Passing Interfaces, MPIs) και των παράλληλων εφαρμογών για κατανεμημένα συστήματα στον υπολογισμό πλέγματος. Ο σημαντικότερος μηχανισμός του FATOM είναι η αναπαραγωγή αντιγράφου των διαδικασιών.

Η Αρχιτεκτονική Globus για Δέσμευση και Κατανομή (Globus Architecture for Reservation and Allocation - GARA) [104] ασχολείται με το QoS στο επίπεδο διευκόλυνσης και παροχής βασικών μηχανισμών για την υποστήριξη QoS, δηλαδή διαμόρφωση των πόρων, ανακάλυψη, επιλογή, και κατανομή. Αυτή η αρχιτεκτονική στοχεύει ιδιαίτερα στη χρησιμοποίηση των υπηρεσιών Globus για να υποστηρίξει την κατανομή πόρων, και χρησιμοποιεί ειδικευμένα στοιχεία διεύθυνσης πόρων (όπως π.χ. Diffserv) για να υποστηρίξει τον έλεγχο αποδοχής και την προσαρμογή εφαρμογών στις άκρες των δικτύων.

Η τρέχουσα έμφαση βρίσκεται στην υποστήριξη της ταυτοποίησης και έγκρισης αιτήματος [105]. Ο Condor-G έχει χρησιμοποιηθεί εκτενώς στο πλαίσιο Globus και παρέχει ένα ουσιαστικό στιγμιότυπο του Globus / GRAM (Grid Resource Allocation and Management). Εντούτοις, ο Condor-G υποστηρίζει μόνο συγκεκριμένους τύπους πόρων, διαμορφώνεται στατικά και μη-επεκτάσιμα, και έχει σοβαρούς περιορισμούς από την άποψη της προσαρμογής: το μόνο που μπορεί να κάνει είναι να μεταναστεύει ή να επανεκκινά τις εργασίες στην περίπτωση αποτυχιών [106]. Ο Nimrod-G [107] επιτρέπει στους χρήστες να μισθώσουν και να αθροίσουν τις υπηρεσίες των πόρων ανάλογα με τη διαθεσιμότητα, την ικανότητα, την απόδοση, το κόστος τους, και τις απαιτήσεις QoS των χρηστών. Η τιμή των πόρων μπορεί να ποικίλει κατά διαστήματα και από έναν χρήστη σε άλλον. Κατά το χρόνο εκτέλεσης, ο χρήστης μπορεί ακόμη και να προβεί σε προσφορά και να διαπραγματευτεί για τους καλύτερους δυνατούς, οικονομικώς αποδοτικούς πόρους από τους φορείς παροχής

υπολογιστικών υπηρεσιών. Επιπλέον ενσωματώνει το πρόγραμμα Libra το οποίο χρησιμοποιεί έναν χρονοπρογραμματιστή για τον υπολογισμό συστάδων (cluster) [108].

Επιπλέον, υπάρχουν διάφορες προσεγγίσεις που προσπαθούν να ασχοληθούν με την πτυχή QoS στο επίπεδο δικτύων, κάτι που είναι ιδιαίτερου ενδιαφέροντος δεδομένου ότι θα μπορούσε να αποτελέσει έναν δυνάμει μηχανισμό που θα μπορούσε να ενσωματωθεί για να παρέχει μια «από άκρο εις άκρο» λύση QoS για τα κινητά πλέγματα (προσέγγιση που ακολουθείται στο πρόγραμμα Akogrimo [34]). Στα αδόμητα ασύρματα δίκτυα τα πρωτόκολλα δρομολόγησης πρέπει να ελαχιστοποιήσουν το χρόνο που απαιτείται για να συγκλίνουν μετά από τις αλλαγές στην τοπολογία προκειμένου να καλύψουν τις απαιτήσεις QoS. Για αυτόν τον λόγο η εστίαση γίνεται στα πρωτόκολλα Ελέγχου Πρόσβασης Μέσου (MAC) για την ευρυζωνική ασύρματη τοπική πρόσβαση. Οι απαιτήσεις QoS για την υπηρεσία μεταφοράς δεδομένων του πρωτοκόλλου MAC περιλαμβάνουν την υποστήριξη για καθορισμένους από το χρήστη τύπους κυκλοφορίας και παραμέτρους σύνδεσης. Ασύρματα LANs παρέχουν την ευρυζωνική ασύρματη τοπική πρόσβαση και προσφέρουν ικανότητες ενδοεπικοινωνίας στις κινητές εφαρμογές. Αυτή η τεχνολογία υποστηρίζεται από το πρότυπο IEEE 802.11. Ασύρματα LANs παρέχονται επίσης από το High Performance Radio LAN (HIPERLAN) Type 1 που καθορίζεται από την ευρωπαϊκή ομάδα RES-10 του European Telecommunications Standards Institute (ETSI). Οι εγγυήσεις QoS επιτυγχάνονται μέσω ενός σχήματος προτεραιότητας στη λειτουργία συντονισμού σημείου (Point Coordination Function - PCF) στο IEEE 802.11, ενώ το HIPERLAN για να επιτύχει QoS καθορίζει ένα σχήμα προτεραιότητας πρόσβασης καναλιών βασισμένο στη διάρκεια ζωής των πακέτων.

Ο καθορισμός προτεραιοτήτων εφαρμόζεται επίσης ως ταξινόμηση πακέτων στο πρωτόκολλο IPv6. Η ταξινόμηση μπορεί να βασιστεί στην προτεραιότητα IPv6, το σημείο ελέγχου διαφοροποιημένων υπηρεσιών (Differentiated Services Control Point - DSCP), και

άλλες συγκεκριμένες τιμές του IPv6 πρωτοκόλλου που μπορούν να διευκρινιστούν στους καταλόγους πρόσβασης IPv6. Μετά από τον καθορισμό του ποιες εφαρμογές χρειάζονται QoS, μπορεί να επιτευχθεί, με ποικίλα κριτήρια αντιστοιχιών, η δημιουργία κατηγοριών βασισμένων στα χαρακτηριστικά των εφαρμογών για την ταξινόμηση της κυκλοφορίας. Το πρωτόκολλο IPv6, με πεδίο διευθύνσεων IP των 128 bits (σε σύγκριση με το παλαιότερο IPv4 με 32 bits) ανταποκρίνεται σε αυτήν την ανάγκη με το να επιτρέπει στο πεδίο "Τάξη" ("Class") στην επικεφαλίδα του IPv6 πακέτου να χρησιμεύσει ως πεδίο προτεραιότητας. Με βάση αυτό το πεδίο οι δρομολογητές λαμβάνουν τη σωστή απόφαση να μετάγουν το πακέτο με μια συγκεκριμένη προτεραιότητα.

8 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

8.1 Γενικά

Οι κινητές υποδομές πλέγματος μπορούν να γίνουν οι πλατφόρμες επάνω στις οποίες μπορεί να εφαρμοστεί ο λεγόμενος «διάχυτος υπολογισμός» (pervasive computing). Εντούτοις, τα πλέγματα που βασίζονται στην σύσταση OGSA πρέπει να λάβουν υπόψη μερικές από τις ειδικές απαιτήσεις που τα κινητά πλέγματα εισφέρουν ώστε να τα καταστήσουν πιο κατάλληλα για την υλοποίηση και την εμπορική εκμετάλλευσή τους. Μερικές από αυτές είναι η ανοχή σφαλμάτων (λόγω του ιδιαίτερα αναξιόπιστου περιβάλλοντος των κινητών και αδόμητων δικτύων) και η δυνατότητα να ενσωματωθούν απλοί και αποδοτικοί μηχανισμοί QoS που να είναι ευθυγραμμισμένοι με τους μηχανισμούς QoS των υποκείμενων δικτύων. Στην παρούσα διατριβή παρουσιάζεται μια επαύξηση των βασισμένων σε OGSA πλεγμάτων για την ειδική υποστήριξη αυτών των δύο λειτουργιών με έναν τρόπο που θα επέτρεπε την απλότητα και την αποδοτικότητα στην κάλυψη των ειδικών αναγκών των κινητών πλεγμάτων.

Προτείνεται και μελετάται ένα μοντέλο ανοχής σφαλμάτων για τα περιβάλλοντα κινητού πλέγματος το οποίο βασίζεται στη δημιουργία πλεοναζόντων αντιγράφων κάθε πρωταρχικής εργασίας που αποστέλλεται από το χρήστη για εκτέλεση στους πόρους του πλέγματος. Οι εργασίες αυτές αντιγράφονται βάσει της πιθανότητας αποτυχίας των πόρων του πλέγματος και το επιθυμητό όριο ανοχής σφαλμάτων που επιθυμεί ο πάροχος και διαχειριστής των υπηρεσιών πλέγματος. Η εκτίμηση της πιθανότητας αποτυχίας μιας εργασία που χρονοδρομολογείται σε έναν πόρο πλέγματος για εκτέλεση βασίζεται στο πρότυπο αξιοπιστίας κατά Weibull. Δεδομένου όμως ότι τα πρόσθετα αντίγραφα προκαλούν μια

σημαντική επιβάρυνση στο συνολικό φόρτο εργασίας που ανατίθεται στη συνολική υπολογιστική ικανότητα του πλέγματος, εισάγουμε έναν πρόσθετο μηχανισμό, βασισμένο στη διατύπωση «σακιδίου 0-1», προκειμένου να διαχειριστούμε τις εργασίες και τα αντίγραφά τους ώστε να μεγιστοποιηθεί η χρησιμοποίηση των πόρων πλέγματος και το επιτυχόμενο κέρδος. Τέσσερις διαφορετικοί αλγόριθμοι έχουν χρησιμοποιηθεί και συγκριθεί για το σκοπό αυτό (οπισθοδρόμηση, branch-and-bound, δυναμικός προγραμματισμός με «μνημόνευση» και ένας άπληστος ευριστικός αλγόριθμος βασισμένος στη βελτιστοποίηση της πυκνότητας κέρδους). Το μοντέλο έχει προσομοιωθεί και έχει αξιολογηθεί για ποικίλες εργασίες με ένα διαφορετικό σύνολο πιθανοτήτων αποτυχίας για τις εργασίες και τα αντίγραφά τους και κάτω από τις διακριτές περιπτώσεις για το συσχετισμό μεταξύ του βάρους των εργασιών και του κέρδους από την επιτυχή εκτέλεση τους. Τα αποτελέσματα έχουν δείξει την αποδοτικότητα του προτεινόμενου μοντέλου ως προς το χρόνο απόκρισης των αλγορίθμων, τη χρησιμοποίηση των πόρων πλέγματος και τη μεγιστοποίηση κέρδους και είναι ελπιδοφόρα για μελλοντική έρευνα σε αυτό το θέμα που είναι ζωτικής σημασίας όσο τα κινητά πλέγματα θα καθιερώνονται σαν ένα σύγχρονο υπολογιστικό παράδειγμα στην καθημερινή ζωή.

Το συγκεκριμένο σχέδιο δημιουργίας αντιγράφων έχει επιλεχτεί (αντί μιας checkpointing λύσης) προκειμένου να επιτραπεί η εύκολη υιοθέτηση του στις διάφορες πλατφόρμες χωρίς απαραίτητη γνώση της ίδιας της εφαρμογής και του πηγαίου της κώδικα. Επιπλέον, βοηθά στο να αντιμετωπιστούν περιπτώσεις με ιδιαίτερα σύντομους χρόνους εκτέλεσης (που συμβαίνει σε πολλά συστήματα πραγματικού χρόνου) και ιδιαίτερα στα κινητά πλέγματα λόγω των ιδιαίτερα αναξιόπιστων συνδέσεων ή των περιορισμών λόγω κινητών συσκευών (π.χ. διάρκεια ζωής μπαταριών).

Το σχήμα καθορισμού προτεραιοτήτων έχει επιλεγεί με έναν τέτοιο τρόπο που θα επιτρέψει μια ικανοποιητική διαφοροποίηση μεταξύ των προτεραιοτήτων εργασιών (επιτρέποντας να αντιμετωπιστεί ως μετρική QoS), αλλά και συγχρόνως θα είναι απλό στην έννοια και τη χρήση. Πιο περίπλοκα και λεπτομερή σχήματα (που επιτρέπουν παραδείγματος χάριν 10 διαφορετικές κατηγορίες προτεραιοτήτων εργασίας) μπορούν επίσης να εφαρμοστούν, χωρίς να υπάρχει περιορισμός παρά μόνο από τον ίδιο τον ιδιοκτήτη της πλατφόρμας πλέγματος. Επιπλέον, η περίπτωση τον καθορισμό προτεραιοτήτων ως πτυχή QoS είναι πλήρως ευθυγραμμισμένη με το σχήμα προτεραιότητας που εφαρμόζεται ως QoS στο στρώμα δικτύου των IPv6 και MIPv6 πρωτοκόλλων, αλλά και του υπο-επιπέδου MAC στις περιπτώσεις των ασύρματων δικτύων.

Τα αποτελέσματα προσομοίωσης που έχουν παραχθεί παρουσιάζουν την αποδοτικότητα αυτού του συστήματος ως απλού και εύκολου στην εφαρμογή του ως υποσυστήματος σε ένα OGSA- βασισμένο κινητό πλέγμα. Για δεδομένες περιπτώσεις ρυθμού άφιξης εργασιών και ικανότητες των κινητών πόρων πλέγματος, που δεν είναι δύσκολο να προσδιοριστούν από τους χειριστές/διοικητές της υποδομής πλέγματος, μια απλή προσέγγιση μπορεί να ακολουθηθεί που να εμπλουτίζει το σύστημα με τις προηγμένες ιδιότητες στην ανοχή σφαλμάτων και ποιότητας υπηρεσιών. Τα αποτελέσματα έχουν δείξει ότι αυτή η διαφοροποίηση μεταξύ των υψηλών και μεσαίων προτεραιοτήτων, είναι αποδοτική και αρκετή για να κρατήσει μέσα σε ένα συγκεκριμένο όριο τον χρόνο αναμονής στις ουρές πριν από την εκτέλεση, ενισχύοντας έτσι με QoS χαρακτηριστικά τους χρήστες που είναι πρόθυμοι να πληρώσουν για μια τέτοια υψηλή προτεραιότητα, αλλά συγχρόνως να μην παραμελείται η μεσαία προτεραιότητα και οι αντίστοιχες προθεσμίες των εργασιών.

8.2 Συνεισφορά - Καινοτομία

Η διατριβή αυτή παρουσιάζει μια σειρά ζητημάτων που αποτελούν συνεισφορά και καινοτομία στον ευρύτερο χώρο των πλεγμάτων και κινητών πλεγμάτων γενικότερα. Επιχειρεί μια ενδελεχή περιγραφή των συστατικών στοιχείων μια ανοιχτής αρχιτεκτονικής για πλέγματα σύμφωνα με τις σύγχρονες τάσεις που συναντώνται στην παγκόσμια βιβλιογραφία. Δίνει ουσιαστικά έναν πλήρη προσδιορισμό της έννοιας του Κινητού Πλέγματος, των ειδών της κινητικότητας που αυτό πρέπει να επιτρέπει και μια ουσιαστική συζήτηση πάνω σε θέματα που αφορούν διαχείριση πόρων σε τέτοια ετερογενή και ευμετάβλητα περιβάλλοντα.

Στη συνέχεια παρουσιάζει μια καινοτόμο αρχιτεκτονική κινητού πλέγματος, που χρησιμοποιώντας τις θεμελιώδεις έννοιες της OGSA, διαμορφώνει το πλαίσιο μέσα στο οποίο μπορούν να χτιστούν κινητά πλέγματα που θα λαμβάνουν υπόψη αρχές κινητικότητας, αλληλεπιδρώντας με στοιχεία δικτύου μέσα σε μια υποδομή IPv6. Σε μια τέτοια αρχιτεκτονική, ο πυρήνας του περιβάλλοντος διαχείρισης εκτέλεσης εργασιών βρίσκεται στο μεσολογισμικό πλέγματος και επιφορτίζεται με ένα πλήθος αρμοδιοτήτων προκειμένου να διατηρήσει την αξιοπιστία αλλά και το επίπεδο ποιότητας υπηρεσιών προς τους τελικούς χρήστες.

Η κύρια συμβολή αυτής της εργασίας, ωστόσο, βρίσκεται στην ανάλυση της ανοχής σφαλμάτων στα κινητά πλέγματα από ένα αποδοτικό σχήμα δημιουργίας αντιγράφων εργασιών για τις διαφορετικές πιθανότητες αποτυχίας των πόρων, και που στοχεύει να ολοκληρωθεί στο μεσολογισμικό πλέγματος ανεξάρτητα από την πολιτική χρονοδρομολόγησης που εφαρμόζεται σε αυτό. Η μελέτη συμβάλλει στον ορισμό ενός μοντέλου παραγωγής αντιγράφων εργασιών με βάση τη συνάρτηση αξιοπιστίας Weibull των επιμέρους πόρων ενός κινητού πλέγματος, και με βάση το κατώτερο επιθυμητό όριο ανοχής

σφαλμάτων. Επιπλέον, διατυπώνει τη διαχείριση των εργασιών και των πλεοναζόντων αντιγράφων τους ως πρόβλημα σακιδίου και μελετάει το σύστημα από τη μεριά του παρόχου υπηρεσιών πλέγματος προκειμένου να μεγιστοποιηθεί το όφελος με τον πλέον αποδοτικό τρόπο. Υλοποιεί και μελετά τη λύση αυτού του προβλήματος μέσω συγκεκριμένων αλγορίθμων που είναι ευρέως γνωστοί στη σχετική περιοχή για την απλότητα και την αποδοτικότητα τους στην επίλυση τέτοιου είδους προβλημάτων. Δείχνει ότι η χρήση αυτών των αλγορίθμων σε παρόμοια σενάρια μπορεί να βελτιώσει τη γενική χρησιμοποίηση των πόρων ως αποτέλεσμα της ελαχιστοποίησης των αποτυχιών εργασιών. Η πειραματική σύγκριση αυτών των αλγορίθμων τόσο στο επίπεδο του χρόνου όσο και της λύσης που προσφέρουν για μεγιστοποίηση του κέρδους καταδεικνύει τα συγκριτικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα αυτών για συγκεκριμένα στιγμιότυπα εισόδου του προβλήματος. Εξετάζει τη σχέση μεταξύ του επιθυμητού κατώτατου ορίου ανοχής σφαλμάτων σε ένα περιβάλλον κινητού πλέγματος, της περίπτωσης συσχετισμού για το βάρος-κέρδος των εργασιών και της χωρητικότητας μιας δεδομένης υποδομής πλέγματος, προκειμένου να μπορούν να σχεδιαστούν εμπορικά βιώσιμα κινητά πλέγματα.

Εισάγει ένα σχήμα ανάθεσης προτεραιοτήτων σε εργασίες για παροχή ποιότητας υπηρεσιών προς τελικούς χρήστες που είναι διατεθειμένοι να επωμιστούν το επιπλέον κόστος. Το σχήμα αυτό μπορεί να λειτουργήσει συμπληρωματικά προς άλλους μηχανισμούς παροχής ποιότητας υπηρεσιών (όπως για παράδειγμα την εκ των προτέρων δέσμευση πόρων). Επιπλέον, μπορεί να συνδυαστεί με τις κλάσεις προτεραιοτήτων του IPv6 πρωτοκόλλου προκειμένου να παρέχει μια από άκρο-εις-άκρο (end-to-end) ποιότητα υπηρεσίας που θα ενσωματώνει τόσο το επίπεδο εφαρμογής, όσο και το επίπεδο μεσολογισμικού πλέγματος και το επίπεδο δικτύου.

Αυτό όμως που καθιστά την μελέτη συνεπή με τις αρχές του υπολογισμού πλέγματος είναι μεταξύ άλλων η δυνατότητα του προτεινόμενου σχήματος να παρέχει υποστήριξη για δυναμικά και ετερογενή περιβάλλοντα και να επιτρέπει, εκτός από τη βελτιστοποίηση απόδοσης ενός συστήματος, μια τεχνική αυτοδιαχείρισης μέσω απλών και γενικού σκοπού μηχανισμών. Με αυτήν την προσέγγιση μπορούμε να έχουμε έναν απλό μηχανισμό βασισμένο στις συγκεκριμένες απαιτήσεις των κινητών πλεγμάτων, ο οποίος να ενισχύει τις αρχιτεκτονικές δομές των πλεγμάτων και να παρέχει ποιότητα υπηρεσιών σε ιδιαίτερα αναξιόπιστες υποδομές.

8.3 Μελλοντική εργασία

Η μελέτη που εκπονήθηκε στη διατριβή αυτή επιτρέπει τη συζήτηση για ποικίλα ζητήματα μελλοντικής έρευνας στην περιοχή της ανοχής σφαλμάτων πλέγματος και των οικονομικών παραμέτρων που αυτά συνεπάγονται προκειμένου να ενισχυθεί η θέση τους στις εμπορικές εφαρμογές. Μια ενδιαφέρουσα πτυχή είναι να επεκταθεί η μελέτη και σε άλλες υλοποιήσεις και προσεγγίσεις των αλγορίθμων επίλυσης «σακιδίου 0/1» (παραδείγματος χάριν στοχαστικός δυναμικός προγραμματισμός, ή κάποια άλλα πιο αποδοτικά heuristics) που παρουσιάζουν καλύτερα θεωρητικά αποτελέσματα στη βιβλιογραφία [92][93][94]. Παρόλο που είναι αναμενόμενο να είναι πιο σύνθετοι στην εφαρμογή και τη διαχείρισή τους, θα ήταν ενδιαφέρον να μελετηθεί υπό το καθεστώς των πειραματικών μετρήσεων η διαφορά στην απόδοσή τους. Με δεδομένες τις αποτυχίες στους πόρους ενός τέτοιου δυναμικού περιβάλλοντος είναι ενδιαφέρον να μελετηθεί επίσης πώς αυτές οι αλλαγές (στην τοπολογία και την υπολογιστική ικανότητα του πλέγματος) προκαλούν επιπτώσεις στην αποδοτικότητα και στην απόκλιση από τις προθεσμίες των εργασιών που θέτουν οι χρήστες. Μπορεί να υποθέσει κανείς ότι η αποτυχία να εκτελεσθεί μια εργασία (ή έστω ένα από τα αντίγραφα

της) οδηγεί σε ένα κόστος για το σύστημα. Αυτό το κόστος μπορεί να είναι λόγω της κατανάλωσης πόρων έστω και για μια μερική αποτυχημένη εκτέλεση ή της τιμής μιας ποινικής ρήτρας που πρέπει να καταβληθεί στο χρήστη λόγω της αποτυχίας να επιτευχθεί η προθεσμία ή ακόμα και λόγω παραβίασης των όρων του SLA. Είναι ενδιαφέρον να εξεταστεί πώς σε ένα τέτοιο δυναμικό περιβάλλον θα μπορούσε να αναπτυχθεί ένα βιώσιμο οικονομικό πρότυπο για τον υπολογισμό του κόστους των αντιγράφων, έτσι ώστε, όχι μόνο το βάρος της συνολικής εργασίας να αυξάνει, αλλά να σταθμίζεται και το κέρδος που θα μπορεί να αποκομιστεί. Τέλος, θα μπορούσε να σχεδιαστεί και να αναπτυχθεί ένα υβριδικό πρότυπο για το μεσολογισμικό που θα υπολόγιζε το αναμενόμενο κέρδος και θα αποφάσιζε ποια στρατηγική θα ήταν ιδανική να ακολουθήσει από την άποψη της βελτιστοποίησης απόδοσης και κέρδους.

ΓΛΩΣΣΑΡΙΟ

AAA	Authentication, Authorization, Accounting
AKOGRIMO	Access to Knowledge through Grids in a Mobile World
API	Application Programming Interface
ARS	Advance Reservation Service
ASP	Application Service Providers
B2B	Business to Business
BaseVO	Base Virtual Organization
BB	Branch-and-Bound
BT	BackTracking
BPM	Business Process Model
CDF	Cumulative Distribution Function
CPU	Central Processing Unit
CR	Capacity Ratio
CSG	Candidate Set Generator
CU	Currency Units
DCE	Distributed Computing Environment
DiffServ	Differentiated Services
DN	Distinguished Name
DP	Dynamic Programming
DSCP	Differentiated Services Control Point
EGA	Enterprise Grid Alliance
EMS	Execution Management Services
EPS	Execution Planning Services
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FIFO	First-In-First-Out
GARA	Globus Architecture for Reservation and Allocation
GGF	Global Grid Forum
GR	Greedy algorithm
GRAM	Grid Resource Allocation and Management
GTv4	Globus Toolkit version 4
HIPERLAN	High Performance Radio LAN
HTTP	HyperText Transfer Protocol
HTML	HyperText Markup Language
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IETF	Internet Engineering Task Force
IIS	Internet Information Services
IntServ	Integrated Services
IP	Internet Protocol
IrDA	Infrared Data Association
ISO	International Standards Organization
IT	Information Technology
JM	Job Manager
LAN	Local Area Network
LSE	Least Square Errors
MAC	Media Access Control
MDVO	Mobile Dynamic Virtual Organization
MFLO	Million Floating Operations
MFLOPS	Million Floating Operations Per Second
MIPv6	Mobile Internet Protocol version 6
MLE	Maximum Likelihood Estimation

MOWS	Management of Web Services
MPI	Message Passing Interface
MTBF	Mean Time Between Failures
MTQ	Mean Time in Queue
MTTF	Mean Time To Failure
MTTR	Mean Time To Repair
MUWS	Management by Using Web Services
NGG	Next Generation Grid
NP-hard	Non-deterministic Polynomial-time hard
OASIS	Organization for the Advancement of Structured Information Standards
OGF	Open Grid Forum
OGSA	Open Grid Services Architecture
OpVO	Operational Virtual Organization
OSI	Open Systems Interconnection
PC	Personal Computer
PCF	Point Coordination Function
PDA	Personal Digital Assistant
PDF	Probability Density Function
P2P	Peer to Peer
QoS	Quality of Service
RM	Resource Management
SC	Service Container
SCr	Service Consumer
SDK	Software Development Kits
SIP	Session Initiation Protocol
SLA	Service Level Agreements
SLM	Service Level Manager
SOA	Service Oriented Architecture
SOAP	Simple Object Access Protocol
SSP	Storage Service Provider
SP	Service Provider
VD	Virtual Domains
VO	Virtual Organization
VPN	Virtual Private Network
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
URI	Universal Resource Identifier
WAN	Wide Area Network
WFL	Weibull Failure Law
WLAN	Wireless Local Access Network
WS	Web Service
WSDL	Web Services Description Language
WSDM	Web Services Distributed Management
WSN	Web Services Notification
WSRF	Web Services Resource Framework
WSRF.NET	Web Service Resource Framework on Microsoft .NET platform
XML	Extensible Markup Language

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Foster, I., Kesselman, C. and Tuecke, S. The Anatomy of the Grid: Enabling Scalable Virtual Organizations. *International Journal of Supercomputer Applications*, 15 (3). 200-222. 2001.
- [2] Foster, I. What is the Grid? A Three Point Checklist. *GRID Today*, July 20, 2002.
- [3] Sun Grid Engine, Sun, <http://wwws.sun.com/software/gridware/>
- [4] Portable Batch System, Veridian, <http://www.openpbs.org/>
- [5] Condor, <http://www.cs.wisc.edu/condor/>
- [6] Entropia, <http://www.entropia.com/>
- [7] United Devices, <http://www.ud.com/>
- [8] Storage Resource Broker, <http://www.npaci.edu/DICE/SRB/>
- [9] GriPhyN, <http://www.griphyn.org/>
- [10] PPDG, <http://www.ppdg.net/>
- [11] EU DataGrid, <http://www.eu-datagrid.org/>
- [12] iVDGL, <http://www.ivdgl.org/>
- [13] DataTAG, <http://www.datatag.org/>
- [14] Information Power Grid, <http://www.ipg.nasa.gov/>
- [15] Distributed ASCI Supercomputer (DAS-2), <http://www.cs.vu.nl/das2/>
- [16] DOE Science Grid, <http://www.doesciencegrid.org/>
- [17] DISCOM Grid, <http://www.cs.sandia.gov/discom/>
- [18] Global Grid Forum (GGF), <http://www.ggf.org/>
- [19] Enterprise Grid Alliance (EGA) <http://www.gridalliance.org/>
- [20] Open Grid Forum (OGF) <http://www.ogf.org/>

- [21] The Open Grid Services Architecture, Version 1.5 (available at <http://www.ggf.org/documents/GFD.80.pdf>)
- [22] OASIS Web Services Resource Framework (WSRF). <http://www.oasis-open.org>
- [23] Web Services Activity, <http://www.w3.org/2002/ws/>
- [24] Web Services Description Language (WSDL) Version 2.0, <http://www.w3.org/TR/wsd120/>
- [25] Simple Object Access Protocol <http://www.w3.org/TR/soap/>.
- [26] Web Services Interoperability Organization (WS-I), <http://www.ws-i.org/>
- [27] OASIS Web Services Distributed Management (WSDM) http://www.oasis-open.org/committees/tc_home.php?wg_abbrev=wsdm
- [28] Globus Toolkit, <http://www.globus.org/>
- [29] WSRF.NET project, <http://www.cs.virginia.edu/~gsw2c/wsrf.net.html>
- [30] Litke, A., Skoutas, D. and Varvarigou, T. Mobile Grid Computing: Changes and Challenges of Resource Management in a Mobile Grid Environment. 5th International Conference on Practical Aspects of Knowledge Management, Workshop: Access to Knowledge through the Grid in a Mobile World, Vienna, Austria, December 2, 2004, www.mobilegrids.org/docs/pakm2004/papers/3_Mobile-Grid-Computing.pdf
- [31] D. Bruneo, M. Scarpa, A. Zaia, A. Puliafito, “Communication Paradigms for Mobile Grid Users”, 3rd International Symposium on Cluster Computing and the Grid May 2003, To-kyo, Japan
- [32] H. Schulzrinne, and E. Wedlund “Application Layer Mobility using SIP”, ACM Mobile Computing and Communications Review, vol. 4, no.3, July 2000, pp. 47-57.

- [33] The K*Grid project, <http://gridcenter.or.kr/MobileGrid/index.php>
- [34] AKOGRIMO (“Access to Knowledge through the Grid in a Mobile World”) FP6-2003-IST-004293 Integrated Project, <http://www.akogrimo.org>
- [35] R. Moreno, “Job scheduling and Resource Management Techniques in Dynamic Grid Environments” 1st European Across Grids Conference, February 2003, Spain
- [36] A. Abraham, R. Buyya, B. Nath, “Nature’s Heuristics for Scheduling Jobs on Computational Grids”, International Conference on Advanced Computing and Communications, December 2000, India
- [37] S. Bhatti, S. Sorensen, P. Clark, J. Crowcroft, “Network QoS for Grid Systems”, International Journal of High Performance Computing Applications Vol. 17, No. 3, 219-236 (2003).
- [38] D. Johnson, et al, “Mobility Support in IPv6”, RFC 3775
- [39] R. Koodli, “Fast Handovers for Mobile IPv6”, RFC 4068
- [40] J. Jaehnert , J. Zhou, R.L. Aguiar, et all, “Moby Dick: A Pure-IP 4G Architecture, Computer Communications” Elsevier Computer Communications, Vol 28/9 pp 1014-1027, Jun 2005
- [41] J. Rosenberg, et al, “SIP: Session Initiation Protocol”, RFC 3261
- [42] R. Braden, D. Clark, S. Shenker, “Integrated Services in the Internet Architecture: an Overview”, RFC 1633
- [43] S. Blake, D. Black, M. Carlson, E. Davies, Z. Wang, W. Weiss, “An Architecture for Differentiated Services”, RFC 2475

- [44] W. Saabeel and T.M. Verduijn and L. Hagdorn and K. Kumar, “A Model for Virtual Organisation: A structure and Process Perspective” in *Electronic Journal of Organizational Virtualness*
- [45] T.J. Strader and F. Lin and M.J. Shaw, “Information Structure for Electronic Virtual Organization Management in Decision Support Systems”, volume 23, 1998, pages 75-94
- [46] M.R. Lyu, “Software Fault Tolerance”, John Wiley & Sons - Chichester - UK – 1995
- [47] A. Nguyen-Tuong, “Integrating Fault-Tolerance Techniques in Grid Applications”, PhD Dissertation, University of Virginia, August 2000
- [48] K. Ramamritham, J.A. Stankovic, and P.-F. Shiah, "Efficient Scheduling Algorithms for Real-time Multiprocessor Systems," *IEEE Trans. on Parallel and Distributed Systems*, vol.1, no.2, pp.184-194, Apr. 1990.
- [49] Scheduling Working Group of the Grid Forum, Document: 10.5, September 2001.
- [50] F. Wang, K. Ramamritham, J.A. Stankovic, “Determining redundancy levels for fault tolerant real-time systems”, *IEEE Trans. Computers*, vol 44, 1995 Feb.
- [51] D. Pisinger, “Algorithms for Knapsack Problems”, Ph.D. Thesis, Feb. 1995, Dept. of Computer Science, University of Copenhagen.
- [52] J. B. Weissman, “Fault Tolerant Computing on the Grid: What are My Options?” *HPDC 1999*
- [53] S. Hwang and C. Kesselman “A Flexible Framework for Fault Tolerance in the Grid”, *Journal of Grid Computing* 1: 251–272, 2003

- [54] A. Nguyen-Tuong, and A.S. Grimshaw, “Using Reflection to Incorporate Fault-Tolerance Techniques in Distributed Applications,” Computer Science Technical Report, University of Virginia, CS 98-34, 1998.
- [55] S.J. Chapin, D. Katramatos, J. Karpovich, A. Grimshaw, “Resource management in Legion”, *Future Generation Comput. Syst.* 15 (5/6) (1999) 583–594.
- [56] H. Casanova, J. Dongarra, C. Johnson and M. Miller, “Application-Specific Tools”, in I. Foster and C. Kesselman (eds.), *The GRID: Blueprint for a New Computing Infrastructure*, Chapter 7, pp. 159–180, 1998
- [57] J.S. Plank, H. Casanova, M. Beck, J.J. Dongarra, “Deploying fault tolerance and task migration with NetSolve”, *Future Gener. Comput. Syst.*, Vol 15 (5) (1999) 745–755.
- [58] A.S. Grimshaw, A. Ferrari and E.A. West, “Mentat”, in G.V. Wilson and P. Lu (eds.), *Parallel Programming Using C++*, Chapter 10, pp. 382–427, 1996
- [59] F.C. Gartner, “Fundamentals of Fault-Tolerant Distributed Computing in Asynchronous Environments”, *ACM Computing Surveys*, Vol. 31, No. 1, 1999
- [60] Q. Chen, M. Ferris, and J. T. Linderoth, "FATCOP 2.0: Advanced Features in an Opportunistic Mixed Integer Programming Solver," *Annals of Operations Research* 103 (2001), pp. 17-32
- [61] H. Zhuge, X. Sun, J. Liu, E. Yao, and X. Chen , “A Scalable P2P Platform for the Knowledge Grid”, *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 17(12)(2005)1721-1736
- [62] Q. Lv, P. Cao, E. Cohen, K. Li, and S. Shenker, “Search and Replication in Unstructured Peer-to-Peer Networks,” *Proc. 16th Int’l Conf. Supercomputing*, pp. 84-95, June 2002

- [63] A. Litke, D. Skoutas, T. Varvarigou “Mobile Grid Computing: Changes and Challenges of Resource Management in a Mobile Grid Environment”, “Access to Knowledge through the Grid in a Mobile World” Workshop, held in conjunction with 5th Int. Conf. on Practical Aspects of Knowledge Management, (PAKM 2004) Vienna. Available at: www.mobilegrids.org/docs/pakm2004/papers/3_Mobile-Grid-Computing.pdf
- [64] D. Abramson, R. Sasic, J.Giddy and B. Hall, “Nimrod: A Tool for Performing Parametised Simulations using Distributed Workstations”, The 4th IEEE Symposium on High Performance Distributed Computing, Virginia, August 1995.
- [65] D. Abramson, R. Buyya, J. Giddy, A computational economy for grid computing and its implementation in the Nimrod-G resource broker, *Future Gener. Comput. Syst.* 18 (8) (2002) 1061–1074
- [66] F. Berman, A. Chien, K. Cooper, J. Dongarra, I. Foster, D. Gannon, L. Johnsson, K. Kennedy, C. Kesselman, J. Mellor-Crummey, D.Reed, L. Torczon, and R. Wolski. “The GrADS Project: Software Support for High-Level Grid Application Development”. *International Journal of High Performance Computing Applications*, Winter 2001 (Volume 15, Number 4), pp. 327-344.
- [67] J. Frey, T. Tannenbaum, I. Foster, M. Livny, and S. Tuecke, “Condor-G: A computation management agent for multiinstitutional grids”, *Cluster Computing* 5 (2002), 237-246.
- [68] M. Faerman, S. Figueira, J. Hayes, G. Obertelli, J. Schopf, G. Shao, S. Smallen, N. Spring, A. Su, D. Zagorodnov, “Adaptive Computing on the Grid Using AppLeS”, *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, Volume 14 , Issue 4 (April 2003), p. 369 – 382

- [69] C. Weng, X. Lu, “Heuristic scheduling for bag-of-tasks applications in combination with QoS in the computational grid”, *Future Generation Computer Systems* 21 (2005) 271–280
- [70] V. Subramani, R. Kettimuthu, S. Srinivasan, P. Sadayappan, Distributed job scheduling on computational grids using multiple simultaneous requests, in *Proc. of the 11th IEEE International Symposium on High Performance Distributed Computing*, Edinburgh, Scotland, July 2002, pp. 359–367
- [71] The Unicore project, <http://www.unicore.org/forum.htm>
- [72] R. Parra-Hernandez, D. Vanderster and N. J. Dimopoulos “Resource Management and Knapsack Formulations on the Grid”, in *Proc. of the 5th IEEE/ACM Int. Workshop on Grid Computing (GRID’04)*
- [73] J.Y-T. Leung and M.L. Merrill, “A Note on Preemptive, “Scheduling of Periodic, Real-Time Tasks,” *Information Processing Letters*, Nov. 1980, pp. 115-118.
- [74] L. E. Jackson and G. N. Rouskas, “Deterministic Preemptive Scheduling of Real Time Tasks,” *IEEE Computer*, vol. 35, no. 5, pp. 72-79, May 2002.
- [75] A. S. Tanenbaum, M. van Steen, “Distributed Systems: Principles and Paradigms”. 1st edition, Prentice Hall, Computer Science
- [76] T. Varvarigou, J. Trotter, "Module replication for fault-tolerant real-time distributed systems" *IEEE Transactions on Reliability*, vol. 47, no. 1, pp. 8-18, 1998
- [77] D. A. Reed, C. Lu, C. L. Mendes, “Reliability challenges in large systems”, *Future Generation Computer Systems* 22 (2006) 293–302
- [78] D. Nurmi, J. Brevik, R. Wolski “Modeling Machine Availability in Enterprise and Wide-area Distributed Computing Environments” UCSB Computer Science Technical Report Number CS2003-28.

- [79] D. C. Montgomery, G. C. Runger “Applied Statistics and Probability for Engineers”, an Interactive e-text, 3rd edition.
- [80] Paul L. Meyer, “Introductory Probability and Statistical Applications” (2nd ed.), Chapter 11, 1970, Addison-Wesley
- [81] Richard L. Scheaffer “Introduction to Probability and Its Applications” (2nd ed.), Section 4.9, (1995, Duxbury).
- [82] R. B. Abernethy, “The New Weibull Handbook”. 4th edition ISBN 0-9653062-1-6.
- [83] N. Doulamis, A. Doulamis, A. Panagakis, K. Dolkas, T. Varvarigou and E. Varvarigos, “A Combined Fuzzy -Neural Network Model for Non-Linear Prediction of 3D Rendering Workload in Grid Computing,” IEEE Trans. on Systems Man and Cybernetics, Part-B
- [84] Xiaoshan He, Xian-He Sun, and Gregor von Laszewski, "QoS Guided Min-Min Heuristic for Grid Task Scheduling", Journal of Computer Science and Technology, Special Issue on Grid Computing, 18(4), 2003.
- [85] L. Carrington, A. Snaveley, N. Wolter, “A performance prediction framework for scientific applications”, Future Generation Computer Systems 22 (2006) 336–346.
- [86] R. Wolski, N. Spring, and J. Hayes, “The Network Weather Service: A Distributed Resource Performance Forecasting Service for Metacomputing”, Future Generation Computer Systems, Vol. 15, (1999), pp. 757-768.
- [87] L. Gong, X.H. Sun, and E. Waston, "Performance Modeling and Prediction of Non-Dedicated Network Computing", IEEE Trans. on Computer, Vol 51, No 9, September, 2002.
- [88] Y. Gao, H. Rong, J. Z. Huang, “Adaptive grid job scheduling with genetic algorithms”, Future Generation Computer Systems 21 (2005), pp. 151–161.

- [89] A. Litke, K. Tserpes, T. Varvarigou “Computational Workload Prediction for Grid oriented Industrial Applications: The case of 3D-image rendering” in proceedings of Cluster Computing and Grid 2005 (CCGrid2005) Vol. 2, pp. 962- 969.
- [90] D. Pisinger, “Algorithms for Knapsack Problems”, Ph.D. Thesis, Feb. 1995, Dept. of Computer Science, University of Copenhagen.
- [91] A. Litke, K. Tserpes, K. Dolkas, T. Varvarigou, “A Task Replication and Fair Resource Management Scheme for Fault Tolerant Grids”, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 3470, (Advances in Grid Computing - EGC 2005), pp 1022 - 1031
- [92] S. Martello, D. Pisinger, P. Toth “New trends in exact algorithms for the 0-1 knapsack problem”, European Journal of Operational Research 2000;123:325–332.
- [93] S. Martello, P. Toth, “Knapsack Problems: Algorithms and Computer Implementations”, John Wiley & Sons, 1990
- [94] D. Ghosh, “Heuristics for Knapsack Problems: Comparative Survey and Sensitivity Analysis”, Fellowship Dissertation, IIM Calcutta, India, 1997.
- [95] G. Ghosh, B. Goldengorin "The binary knapsack problem: solutions with guaranteed quality," Research Report 01A64, University of Groningen, 2001.
- [96] P. C. Chu , J. E. Beasley, “A Genetic Algorithm for the Multidimensional Knapsack Problem”, Journal of Heuristics, v.4 n.1, p.63-86, June 1998
- [97] C. Cotta, J. M. Troya, “A hybrid genetic algorithm for the 0-1 multiple knapsack problem”. In G. D. Smith, N. C. Steele, and R. F. Albrecht, editors, Artificial neural nets and genetic algorithms 3, pages 251-255. Springer-Verlag, 1998.
- [98] Anabela B. Simões, Ernesto Costa, "An Evolutionary Approach to the Zero/One Knapsack Problem: Testing Ideas from Biology", in Proc. of the Fifth Int. Conf. on

- Neural Networks and Genetic Algorithms (ICANNGA'01), pp. 236-239, Prague, April-2001
- [99] S. Sahni, “Data Structures, Algorithms, and Applications in Java” 2nd Edition, Silicon Press 2004
- [100] B. R. Preiss, “Data Structures and Algorithms with Object-Oriented Design Patterns in C++” John Wiley & Sons , 1999
- [101] S.-M. Park, Y.-B. Ko, and J.-H. Kim, “Disconnected Operation Service in Mobile Grid Computing,” International Conference on Service Oriented Computing, (ICSOC'2003), Trento, Italy, Dec 2003
- [102] R.B.Cooper, Introduction to Queueing Theory (2nd edition). 1981. 347 pp. available: www.cse.fau.edu/~bob/publications/IntroToQueueingTheory_Cooper.pdf
- [103] Y. Sheen, C.-H. Huang. “FATOM: An MPI Based Fault Tolerance Middleware for Grid Computing”, Proceedings of the Eleventh Workshop on Compiler Techniques for High-Performance Computing, 2005, pp. 195-200.
- [104] Foster, C. Kesselman, C. Lee, B Lindell, K. Nahrstedt, A. Roy , “A Distributed Resource Management Architecture that Supports Advance Reservation and Co-Allocation”, Proceedings of the International Workshop on QoS, pp.27-36, 1999
- [105] Al-Ali, R.; Rana, O.; Walker, D.; Jha, S. & Sohail, S. “G-QoS: Grid Service Discovery Using QoS Properties.” Computing and Informatics Journal, 21 (4), 2002. 363-82.
- [106] Wei Cai, Geoff Coulson, Paul Grace, Gordon Blair, Laurent Mathy, Wai Kit Yeung, “The Gridkit Distributed Resource Management Framework”, Proceeding of European Grid Conference, Science Park Amsterdam, The Netherlands, February 14 - 16 2005.

- [107] Buyya R, Abramson D, Giddy J. “Nimrod-G: An architecture for a resource management and scheduling system in a global computational grid.” Proceedings 4th International Conference and Exhibition on High Performance Computing in Asia-Pacific Region (HPC ASIA 2000), Beijing, China, 14–17 May 2000. IEEE Computer Society Press: Los Alamitos, CA, 2000.
- [108] Jahanzeb Sherwani, Nosheen Ali, Nausheen Lotia, Zahra Hayat, and Rajkumar Buyya, “Libra: A Computational Economy based Job Scheduling System for Clusters”, International Journal of Software: Practice and Experience, Volume 34, Issue 6, Pages: 573-590, Wiley Press, USA, May 2004.