



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ  
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ  
ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

**Στρατηγικές Επιχειρηματικές Εξαρτήσεις στις Ροές  
Εργασίας σε Περιβάλλοντα Πλέγματος**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Ιωάννης Δ. Παπαγιάννης**

**Επιβλέπων:** Θεοδώρα Βαρβαρίγου  
Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάιος 2008





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ  
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ  
ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

**Στρατηγικές Επιχειρηματικές Εξαρτήσεις στις Ροές  
Εργασίας σε Περιβάλλοντα Πλέγματος**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ιωάννης Δ. Παπαγιάννης

**Επιβλέπων:** Θεοδώρα Βαρβαρίγου  
Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την Πέμπτη, 15 Μαΐου 2008.

Θεοδώρα Βαρβαρίγου  
Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Βασίλειος Λούμος  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Γεώργιος Στασινόπουλος  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάιος 2008

.....

Ιωάννης Δ. Παπαγιάννης

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

Copyright © Ιωάννης Δ. Παπαγιάννης, 2008

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.

## Περίληψη

Η ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια των ετερογενών και κατανεμημένων περιβαλλόντων, όπως τα περιβάλλοντα Πλέγματος, καθιστά εφικτή την επίλυση υπολογιστικά εντατικών προβλημάτων με αξιόπιστο και οικονομικό τρόπο. Η ευρεία αποδοχή που αναμένεται να γνωρίσουν τα περιβάλλοντα αυτά κάνει την ανάγκη δημιουργίας υποδομών οι οποίες θα επιτρέψουν την αποδοτική χρησιμοποίηση των πόρων, σύμφωνα με τις ανάγκες των χρηστών αλλά και τις επιθυμίες των παρόχων του εξοπλισμού, επιτακτική.

Μια από τις βασικές κατηγορίες ζητημάτων η οποία εξερευνάται στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι οι στρατηγικές εξαρτήσεις που ενδέχεται να εμφανίζονται μεταξύ των παρόχων κατά την εκτέλεση μιας ροής εργασίας. Καθώς το πλαίσιο εφαρμογής των ετερογενών και κατανεμημένων περιβαλλόντων διευρύνεται έξω από τα στενά πλαίσια συγκεκριμένων οργανισμών, είναι πολύ πιθανό να εμφανίζονται εξαρτήσεις μεταξύ των διαφόρων παρόχων υπηρεσιών. Οι εξαρτήσεις αυτές μπορεί να οδηγούν σε βελτίωση των παρεχόμενων υπηρεσιών των εμπλεκόμενων παρόχων ή και να εκφράζουν τον ανταγωνισμό μεταξύ τους.

Βασικό αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μοντελοποίηση των εξαρτήσεων αυτών και η μελέτη της επίδρασης που ενδέχεται να έχουν κατά την επιλογή των κατάλληλων παρόχων για την εκτέλεση μιας ροής εργασίας. Για τον λόγο αυτό, στην εργασία παρουσιάζεται ένας μηχανισμός μοντελοποίησης των στρατηγικών εξαρτήσεων και γίνεται χρήση του σε έναν αλγόριθμο επιλογής παροχών υπηρεσιών με εγγυήσεις ποιότητας υπηρεσίας.

## Λέξεις Κλειδιά

Στρατηγική Εξάρτηση, Επιχειρηματική Συνεργασία, Στρατηγική Συνεργασία, Περιβάλλον Πλέγματος, Πάροχος Υπηρεσίας, Ποιότητα Υπηρεσιών, Μηχανισμός Απεικόνισης Δυναμικών Ροών Εργασίας

## **Abstract**

The advent of heterogeneous and distributed environments, such as Grid environments, made feasible the solution of computational intensive problems in a reliable and cost-effective way. The rapid adoption these environments are expected to enjoy creates a need for infrastructure that allows the efficient resources utilization, not only according to user's needs but also taking into account service provider's preferences.

One of the fundamental issues that are explored throughout this diploma thesis are strategic relationships that may appear between service providers while executing an application workflow. As the application field of heterogeneous and distributed environments expands outside the narrow borders of single organizations, it is very likely that relationships will appear amongst various service providers. These relationships may be beneficial to the actual services provided but may also express the competition that is evident in every single market.

The main focus for this diploma thesis is the modeling of those strategic relationships and the study of their effect on the provider selection process during the execution of a user workflow. For this reason, this thesis presents an modeling mechanism for strategic relationships that is further applied on a mapping algorithm for workflow execution taking also into account quality of service constraints.

## **Keywords**

Strategic Relationship, Business Relationship, Strategic Cooperation, Grid Environment, Grid Market, Service Provider, Quality of Service, Workflow Mapping Algorithm

## Ευχαριστίες

Η διπλωματική εργασία που παρουσιάζεται στις επόμενες σελίδες εκπονήθηκε από τον Νοέμβριο του 2007 ως τον Μάιο του 2008 στο εργαστήριο Τηλεπικοινωνιών του τομέα Επικοινωνιών, Ηλεκτρονικής και Συστημάτων Πληροφορικής, στη Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω με κάθε δυνατό τρόπο τον Δρ. Δημοσθένη Κυριαζή, ο οποίος όχι μόνο με εισήγαγε στη συγκεκριμένη ερευνητική περιοχή αλλά προσέφερε χωρίς δισταγμό την βοήθεια του σε οποιαδήποτε απορία μου, όποτε και αν αυτή εμφανιζόταν. Η εμπειρία του αποδείχθηκε πολλές φορές ανεκτίμητος οδηγός στα περισσότερα από τα θέματα που με απασχόλησαν κατά την εκπόνηση της εργασίας.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την καθηγήτρια κ. Θεοδώρα Βαρβαρίγου, η οποία από την θέση της επιβλέπουσας της διπλωματικής μου εργασίας μου παρείχε καθοδήγηση, αμέριστη υποστήριξη και συμπαράσταση σε κάθε μου απόφαση η οποία αφορούσε τις μελλοντικές μου σπουδές. Η υποστήριξη της ήταν ανεκτίμητη, τόσο σε πρακτικό όσο και θεωρητικό επίπεδο καθώς ήταν ένας καταλυτικός παράγοντας για την απόφαση μου να συνεχίσω τις σπουδές μου σε μεταπτυχιακό επίπεδο.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου οι οποίοι στάθηκαν στο πλευρό μου από τα πρώτα μου μαθητικά χρόνια και δεν έπαψαν να μου δίνουν όχι μόνο κάθε ηθική και υλική βοήθεια αλλά και όλα τα απαραίτητα ερεθίσματα για να συνεχίζω με ενθουσιασμό τις σπουδές μου.

Παπαγιάννης Δ. Ιωάννης

Αθήνα, Μάιος 2008

## Περιεχόμενα

|       |                                                                                      |    |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1     | Γενικά για το Περιβάλλον Πλέγματος.....                                              | 12 |
| 1.1   | Ορισμός του Πλέγματος.....                                                           | 12 |
| 1.2   | Ταξινόμηση Υποδομών Πλέγματος.....                                                   | 13 |
| 1.3   | Σύγκριση Τεχνολογίας Πλέγματος με άλλες Τεχνολογίες.....                             | 15 |
| 1.4   | Πλεονεκτήματα.....                                                                   | 16 |
| 1.5   | Τομείς που ευνοούνται από την τεχνολογία Πλέγματος.....                              | 17 |
| 2     | Δυναμικές Ροές Εργασίας.....                                                         | 20 |
| 2.1   | Ορισμοί.....                                                                         | 21 |
| 2.2   | Κατηγορίες.....                                                                      | 22 |
| 2.3   | Καθορισμός Συγκεκριμένης Ροής Εργασίας.....                                          | 25 |
| 2.4   | Γλώσσα Περιγραφής.....                                                               | 26 |
| 3     | Ποιότητα Υπηρεσίας και Στρατηγικές Εξαρτήσεις.....                                   | 28 |
| 3.1   | Γενικά Στοιχεία.....                                                                 | 28 |
| 3.1.1 | Η Ποιότητα Υπηρεσίας σε περιβάλλον Πλέγματος.....                                    | 29 |
| 3.1.2 | Από το Ακαδημαϊκό στο Επιχειρηματικό Πλέγμα.....                                     | 31 |
| 3.1.3 | Προσέγγιση Λειτουργίας του Επιχειρηματικού Μοντέλου του Πλέγματος.....               | 32 |
| 3.2   | Παρούσα κατάσταση - Σχετικές εργασίες.....                                           | 35 |
| 3.3   | Κατηγοριοποίηση Παραμέτρων Ποιότητας Υπηρεσίας.....                                  | 37 |
| 3.4   | Κατηγορίες απαιτήσεων.....                                                           | 38 |
| 3.4.1 | Απαιτήσεις για το Κόστος.....                                                        | 38 |
| 3.4.2 | Απαιτήσεις για τη Διαθεσιμότητα.....                                                 | 40 |
| 3.4.3 | Απαιτήσεις για το Χρόνο Εκτέλεσης.....                                               | 40 |
| 3.4.4 | Κατηγορίες Απαιτήσεων για όλες τις Παραμέτρους.....                                  | 41 |
| 3.5   | Η Έννοια Των Στρατηγικών Εξαρτήσεων στις Ροές Εργασίας.....                          | 43 |
| 4     | Αλγόριθμος Απεικόνισης Δυναμικών Ροών Εργασίας.....                                  | 46 |
| 4.1   | Παρούσα Κατάσταση – Σχετικές Εργασίες.....                                           | 46 |
| 4.2   | Μηχανισμός Απεικόνισης Δυναμικών Ροών Εργασίας και Επιλογής Υπηρεσιών Πλέγματος..... | 49 |
| 4.3   | Προσδιορισμός του Προβλήματος και Λύση.....                                          | 51 |
| 4.3.1 | Αντικατάσταση Διαθεσιμότητας, Χρόνου και Κόστους από ένα Κοινό Μέγεθος.....          | 51 |
| 4.3.2 | Ανάγκη Τροποποίησης του Λόγου Κόστους και Χρόνου / Διαθεσιμότητα.....                | 52 |

|       |                                                                                                                                            |    |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.3.3 | Τροποποιημένος Λόγος Κόστους και Χρόνου / Διαθεσιμότητα .....                                                                              | 52 |
| 4.3.4 | Η Συνάρτηση Μετατροπής .....                                                                                                               | 53 |
| 4.4   | Επίδραση των Στρατηγικών Εξαρτήσεων.....                                                                                                   | 58 |
| 4.4.1 | Μοντελοποίηση των Στρατηγικών Εξαρτήσεων .....                                                                                             | 59 |
| 4.4.2 | Επιρροή Στρατηγικής Εξάρτησης.....                                                                                                         | 60 |
| 4.4.2 | Κοινωνικότητα Παρόχου Υπηρεσίας .....                                                                                                      | 67 |
| 4.5   | Αλγόριθμος Απεικόνισης Δυναμικών Ροών Εργασίας και Επιλογής<br>Υπηρεσιών με βάση την Ποιότητα Υπηρεσίας και τις Στρατηγικές Εξαρτήσεις.... | 71 |
| 5     | Αξιολόγηση του Προτεινόμενου Μηχανισμού.....                                                                                               | 78 |
| 5.1   | Υλοποίηση.....                                                                                                                             | 78 |
| 5.2   | Αξιολόγηση .....                                                                                                                           | 79 |
| 5.2.1 | Πειραματική Εκτέλεση 1: Απόδοση υπό περιορισμένο κόστος.....                                                                               | 82 |
| 5.2.2 | Πειραματική Εκτέλεση 2: Απόδοση χωρίς σημαντικούς περιορισμούς                                                                             | 85 |
| 5.2.3 | Πειραματική Εκτέλεση 3: Απόδοση στη μέση περίπτωση.....                                                                                    | 88 |
| 6     | Βιβλιογραφικές Αναφορές.....                                                                                                               | 91 |

## Ευρετήριο Σχημάτων

|                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------|----|
| Σχήμα 1                                                                    |    |
| Ανάλυση ροών εργασίας από την ροή της εφαρμογής .....                      | 23 |
| Σχήμα 2                                                                    |    |
| Ορισμοί ροής εργασίας .....                                                | 24 |
| Σχήμα 3                                                                    |    |
| Από το ακαδημαϊκό στο επιχειρηματικό πλέγμα .....                          | 31 |
| Σχήμα 4                                                                    |    |
| Ταξινόμηση παραμέτρων ποιότητας υπηρεσίας .....                            | 37 |
| Σχήμα 5                                                                    |    |
| Συνοπτική παρουσίαση μηχανισμού απεικόνισης ροών εργασίας .....            | 49 |
| Σχήμα 6                                                                    |    |
| Γραφική αναπαράσταση μεταβολής κόστους .....                               | 54 |
| Σχήμα 7                                                                    |    |
| Γραφική αναπαράσταση μεταβολής κόστους για συντελεστή βάρους ίσο με 0.8 .. | 54 |
| Σχήμα 8                                                                    |    |
| Γραφική αναπαράσταση μεταβολής κόστους για συντελεστή βάρους ίσο με 0.2 .. | 55 |
| Σχήμα 9                                                                    |    |
| Μια στρατηγικής εξάρτηση μεταξύ δύο παρόχων υπηρεσίας .....                | 58 |
| Σχήμα 10                                                                   |    |
| Υπολογίζοντας την Άμεση Επιρροή διαφορετικών Στρατηγικών Εξαρτήσεων .....  | 60 |
| Σχήμα 11                                                                   |    |
| Μια Στρατηγική Εξάρτηση με Μελλοντική Επιρροή .....                        | 62 |
| Σχήμα 12                                                                   |    |
| Μια αδιάφορη εξάρτηση για τον υπολογισμό της Μελλοντικής Επιρροής .....    | 63 |
| Σχήμα 13                                                                   |    |
| Υπολογίζοντας την Κοινωνικότητα Παρόχου Υπηρεσίας για δύο κόμβους .....    | 67 |
| Σχήμα 14                                                                   |    |
| Χειρισμός διαφορετικών τύπων Στρατηγικών Εξαρτήσεων .....                  | 68 |
| Σχήμα 15                                                                   |    |
| Σενάριο 3D Image Rendering .....                                           | 78 |
| Σχήμα 16                                                                   |    |
| Abstract Workflow και πάροχοι υπηρεσίας στο Concrete Workflow .....        | 79 |
| Σχήμα 17                                                                   |    |
| Οι πάροχοι του προβλήματος μαζί με τις στρατηγικές τους εξαρτήσεις .....   | 81 |
| Σχήμα 18                                                                   |    |
| Πείραμα 1, Βελτίωση των παραμέτρων ποιότητας ανά επανάληψη .....           | 84 |
| Σχήμα 19                                                                   |    |
| Πείραμα 2, Βελτίωση των παραμέτρων ποιότητας ανά επανάληψη .....           | 86 |
| Σχήμα 20                                                                   |    |
| Πείραμα 3, Βελτίωση των παραμέτρων ποιότητας ανά επανάληψη .....           | 89 |

## Ευρετήριο Πινάκων

|                                                                                                       |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Πίνακας 1                                                                                             |    |
| Αρχικές τιμές ποιότητας υπηρεσίας για κάθε πάροχο. ....                                               | 80 |
| Πίνακας 2                                                                                             |    |
| Στρατηγικές εξαρτήσεις μεταξύ παρόχων υπηρεσίας.....                                                  | 80 |
| Πίνακας 3                                                                                             |    |
| Πείραμα 1, Επαναλήψεις του αλγορίθμου για την βελτίωση της αρχικής ανάθεσης<br>παρόχων υπηρεσιών..... | 82 |
| Πίνακας 4                                                                                             |    |
| Πείραμα 2, Επαναλήψεις του αλγορίθμου για την βελτίωση της αρχικής ανάθεσης<br>παρόχων υπηρεσιών..... | 85 |
| Πίνακας 5                                                                                             |    |
| Πείραμα 3, Επαναλήψεις του αλγορίθμου για την βελτίωση της αρχικής ανάθεσης<br>παρόχων υπηρεσιών..... | 88 |

# 1 Γενικά για το Περιβάλλον Πλέγματος

## 1.1 Ορισμός του Πλέγματος

Η τεχνολογία των υπολογιστών και των τηλεπικοινωνιών γνωρίζει την κορύφωση τα τελευταία χρόνια καθώς αναπτύσσονται συνεχώς εφαρμογές που χαρακτηρίζονται από εξαιρετικές απαιτήσεις σε υπολογιστική ισχύ και χρόνο εκτέλεσης. Παράλληλα, εντείνεται η ζήτηση για πρόσβαση σε πληροφορίες σε κάθε γεωγραφικό σημείο ανεξάρτητα του μέσου γεγονός που αναδεικνύει κυρίαρχη την ανάγκη για τη διασύνδεση των κατανεμημένων πόρων και υποδομών με *ηλεκτρονικά δίκτυα* (electronic networks) και ειδικευμένο *ενδιάμεσο λογισμικό* (middleware) το οποίο θα επιτρέπει την εύκολη και φιλική πρόσβαση των χρηστών αποκρύπτοντας τις ετερογενείς τεχνολογικές υλοποιήσεις των προαναφερθέντων πόρων.

Το κατανεμημένο αυτό περιβάλλον που επιτρέπει το διαμοιρασμό και την από κοινού χρήση υπολογιστικών, αποθηκευτικών και άλλων πόρων, με τη συνδρομή του ενδιάμεσου λογισμικού, ονομάζεται *Πλέγμα Υπολογιστικών Συστημάτων* ή απλά Grid. Η ενοποίηση των δικτύων και του ενδιάμεσου λογισμικού σε μια ενιαία υποδομή με στόχο την κατανεμημένη αλλά ομογενή πρόσβαση στους πόρους του πλέγματος αναφέρεται ως *Ηλεκτρονική Υποδομή* (e-Infrastructure).

Τα τελευταία χρόνια, η ραγδαία εξάπλωση του διαδικτύου (Internet) σε συνδυασμό με τη διαθεσιμότητα δικτύων κορμού υψηλών ταχυτήτων και τη τεχνολογική ανάπτυξη των υπολογιστών αλλά και του λογισμικού, έχουν δημιουργήσει μια νέα δυναμική στην κλασσική έννοια του όρου «υπολογιστικό περιβάλλον». Στην παρούσα φάση, σημαντικός αριθμός υπολογιστικών πόρων, οι οποίοι περιλαμβάνουν υπολογιστική ισχύ, δεδομένα, υπηρεσίες, εργαλεία λογισμικού, επιστημονικά όργανα, κ.α., βρίσκονται κατανεμημένοι σε παγκόσμιο επίπεδο, δημιουργώντας την ανάγκη για ασφαλή, ομοιόμορφη, αξιόπιστη και

απομακρυσμένη πρόσβαση μέσω δικτύων ώστε να αξιοποιηθούν ικανοποιητικά οι δυνατότητες που αυτοί παρέχουν.

*Τα Πλέγματα είναι μια προσέγγιση της σύστασης δυναμικά δομημένων περιβαλλόντων, χρησιμοποιώντας υπολογιστικούς πόρους που είναι διεσπαρμένοι τόσο γεωγραφικά όσο και οργανωτικά. Ο όρος πλέγμα περιλαμβάνει το σύνολο της υποδομής (υλικό και λογισμικό) και των απαραίτητων υπηρεσιών για τη δημιουργία ενός ενιαίου (γεωγραφικά διεσπαρμένου) υπερ-υπολογιστικού περιβάλλοντος.*

Καθώς υπάρχουν πολλοί ορισμοί που όμως αλληλοσυμπληρώνονται και δεν αλληλοαναιρούνται, αναφέρουμε στη συνέχεια τον τεχνικό ορισμό του πλέγματος έτσι όπως δίνεται από την IBM[1]:

*Πλέγμα είναι η δυνατότητα, με τη χρήση ενός συνόλου από ανοικτά πρότυπα και πρωτόκολλα, της απόκτησης πρόσβασης σε εφαρμογές, δεδομένα, επεξεργαστική ισχύ, χώρο αποθήκευσης δεδομένων και μίας τεράστιας ποικιλίας από υπολογιστικούς πόρους που διατίθενται στο Internet. Το πλέγμα είναι ένα είδος παράλληλου και κατανεμημένου συστήματος που δίνει τη δυνατότητα να διαμοιρασμού, να επιλογής και συγκέντρωσης πόρων που κατανέμονται σε πολλαπλές λειτουργικές περιοχές βάσει της διαθεσιμότητας των πόρων, της χωρητικότητας, της επίδοσης, του κόστους και τις απαιτήσεις ποιότητας υπηρεσίας που καθορίζονται από το χρήστη.*

Από τα παραπάνω, γίνεται φανερό ότι ο όρος πλέγμα περιλαμβάνει το σύνολο της υποδομής, καθώς και των απαραίτητων υπηρεσιών για τη δημιουργία ενός ενιαίου υπερ-υπολογιστικού περιβάλλοντος, που αν και είναι γεωγραφικά διεσπαρμένο, εμφανίζεται με τρόπο διαφανή σε όλους τους χρήστες του. Αποτελεί ένα ενιαίο σύνολο υπολογιστικών πόρων, μια συμπαγή - αν και κατανεμημένη - υπολογιστική πλατφόρμα. Το περιβάλλον πλέγματος διασυνδέει ετερογενή υπολογιστικά περιβάλλοντα, με όμοια ή διαφορετική φιλοσοφία και υπηρεσίες, δημιουργώντας επιπλέον νέα σύνολα υπηρεσιών με αυξημένες υπολογιστικές δυνατότητες και νέους τρόπους αξιοποίησης των ποικίλων πόρων τους οποίους διαμοιράζει.

## **1.2 Ταξινόμηση Υποδομών Πλέγματος**

Υπάρχουν διάφορες ταξινομήσεις των υποδομών πλέγματος σε επίπεδο εφαρμογών, επαγγελματικής αξίας, επιστημονικής αποτελεσματικότητας και αρχιτεκτονικής. Μια από τις δημοφιλέστερες ταξινομήσεις σχετίζεται με το επίπεδο

πολυπλοκότητας της οργάνωσης και της έκτασης που καταλαμβάνει το όλο σύστημα.

Βάσει αυτής διακρίνονται οι ακόλουθες κατηγορίες:

- Departmental Grids, τα οποία εγκαθίστανται συνήθως σε ένα τομέα ενός οργανισμού και συνήθως προορίζονται για να εξυπηρετήσουν ένα και μόνο σκοπό. Εξωτερικά προστατεύονται με firewall κάτι το οποίο ταιριάζει στην περίπτωση αφού συνήθως η όποια επικοινωνία γίνεται εσωτερικά στον τομέα. Η περίπτωση αυτή είναι παρόμοια με αυτή των clusters. Υπάρχει όμως η διαφορά ότι το hardware που χρησιμοποιείται δε παρουσιάζει απαραίτητα ομοιογένεια. Επίσης υπάρχει μικρή μόνο ανάγκη για τον καθορισμό πολιτικής πρόσβασης και για την επίβλεψη της πρόσβασης. Τελικά ο σκοπός των departmental Grids είναι να συγκεντρώσουν και εικονοποιήσουν τους πόρους του τομέα έτσι ώστε να επιτευχθεί η καλύτερη δυνατή χρήση τους.
- Enterprise Grids, τα οποία ανήκουν σε μία οργανωμένη οντότητα όπως μια επιχείρηση και χρησιμοποιούνται για πολλούς σκοπούς. Υπάρχει η δυνατότητα επικοινωνίας με τον εξωτερικό κόσμο, η οποία δεν είναι αμφίδρομη καθώς οι πόροι καθαυτοί δε μετακινούνται έξω από τα όρια του firewall. Τα enterprise grids χρησιμοποιούνται από οργανισμούς που θέλουν με κάποιο τρόπο να συγκεντρώσουν τους πόρους τους που πριν ήταν διασκορπισμένοι σε διάφορα τμήματα τους. Στην περίπτωση αίτησης χρήσης πόρων από δύο ή και περισσότεροι τομείς της επιχείρησης εφαρμόζονται μηχανισμοί επίλυσης τέτοιων διενέξεων μέσω ενός συστήματος πολιτικών χρήσης (usage policies).
- Partner Grids, τα οποία είναι εγκαταστάσεις που ξεπερνούν το firewall μιας επιχείρησης και επιτρέπουν τη κοινή χρήση των πόρων από διάφορους οργανισμούς. Η ανάγκη για τα partner grids προέκυψε από την ανάγκη συνεργασίας μεταξύ διάφορων επιχειρησιακών οντοτήτων για την επίτευξη ενός κοινού στόχου. Η διάθεση πόρων στο εξωτερικό περιβάλλον ενός οργανισμού απαιτεί την ύπαρξη προτύπων και πολιτικών για την ασφάλεια, την επίβλεψη των διάφορων ενεργειών και το accounting.
- Open Grids, τα οποία αναμένεται να εμφανιστούν στο μέλλον και αναφέρονται σε μια πλατφόρμα που αποτελείται από υποδομή, μεσολογισμικό (middleware) και εφαρμογές που χρησιμοποιούνται από κοινού από διάφορους ανεξάρτητους οργανισμούς. Υπό φυσιολογικές συνθήκες ένα open grid δεν είναι αφιερωμένο στην επίτευξη ενός και μόνο στόχου. Αντίθετα οι συμμετέχοντες χρησιμοποιούν το σύστημα για να επιτύχουν τους δικούς τους ανεξάρτητους στόχους,

άλλες φορές δουλεύοντας μεμονωμένα και άλλες φορές συμμετέχοντας σε εικονικούς οργανισμούς. Το περιβάλλον πλέγματος θα προσφέρει τους πόρους και τις απαραίτητες υπηρεσίες για το έργο, καθώς και ένα μέσο για το sharing και την επικοινωνία μεταξύ των συνεργαζομένων. Οντότητες που δε χρειάζονται πλέον τους πόρους τους, θα μπορούν να τους αξιοποιούν διαθέτοντάς τους σε μία από τις υπάρχουσες υποδομές πλέγματος και αποκτώντας σε αντάλλαγμα οικονομικό κέρδος. Το open Grid (συχνά αναφέρεται και ως παγκόσμιο πλέγμα) θα αποτελέσει φυσικό επακόλουθο της παράλληλης ύπαρξης διάφορων enterprise grids και partner grids που θα επικοινωνούν μεταξύ τους με τη χρήση των ίδιων πρωτοκόλλων.

### **1.3 Σύγκριση Τεχνολογίας Πλέγματος με άλλες Τεχνολογίες**

Ο σχεδιασμός του πλέγματος έχει βασιστεί σε ένα ανοιχτό σύνολο προτύπων και πρωτοκόλλων τα οποία επιτρέπουν την επικοινωνία μεταξύ ετερογενών και γεωγραφικά κατανομημένων συστημάτων, όπως για παράδειγμα το Open Grid Services Architecture (OGSA).

Η δομή του πλέγματος θεωρούμε ότι αποτελεί εξέλιξη άλλων δομών και τεχνολογιών, όπως τα κατανομημένα συστήματα (distributed systems) και συγκεκριμένα τα υπολογιστικά περιβάλλοντα μεγάλης κλίμακας [2], ο παγκόσμιος ιστός (Web), οι υπολογισμοί ομοτίμων πόρων (peer-to-peer computing) και οι τεχνολογίες δυναμικής εικονικής οργάνωσης (dynamic virtualization). Λόγω αυτού, η τεχνολογία των υποδομών πλέγματος παρουσιάζει πολλές ομοιότητες με άλλες τεχνολογίες (στις οποίες βασίστηκε) αλλά και πολλές αντιθέσεις. Αναλυτικότερα:

- Όπως και στο Διαδίκτυο τα πλέγματα κρύβουν όλη την πολυπλοκότητα, και οι χρήστες απολαμβάνουν μια απλή και υλοποιημένη υπηρεσία. Σε αντίθεση όμως με το Διαδίκτυο το οποίο απλά χρησιμεύει για τη διευκόλυνση της επικοινωνίας, τα περιβάλλοντα πλέγματος επιτρέπουν πλήρη συνεργασία, με στόχο την επίτευξη κοινών επιχειρηματικών στόχων.
- Όπως και τα P2P συστήματα οι υποδομές πλέγματος επιτρέπουν στους χρήστες να μοιράζονται αρχεία. Σε αντίθεση όμως με τα P2P συστήματα, επιτρέπουν συνεργασίες πολλών με πολλούς (many-to-many) και δεν περιορίζονται στα αρχεία, αλλά χρησιμεύουν για συναλλαγές κάθε είδους πόρων.

- Όπως και τα καταναμημένα συστήματα (ή clusters) τα πλέγματα ενοποιούν υπολογιστικούς πόρους. Σε αντίθεση με τα καταναμημένα συστήματα (ή clusters) τα οποία χρειάζονται γεωγραφική εγγύτητα και ομοιογένεια των συστημάτων, τα συστήματα πλέγματος μπορεί να είναι γεωγραφικά καταναμημένα και ετερογενή.
- Όπως και οι τεχνολογίες εικονικής οργάνωσης συστημάτων (virtualization) τα πλέγματα βασίζονται στην εικονική οργάνωση (E.O.) πόρων. Σε αντίθεση με τις τεχνολογίες εικονικής οργάνωσης συστημάτων (virtualization) οι οποίες έχουν στόχο την οργάνωση και λειτουργία μια αυτόνομης εικονικής μηχανής, τα συστήματα πλέγματος επιτρέπουν την εικονική οργάνωση απέραντων, ανόμοιων, απομακρυσμένων πόρων.

## **1.4 Πλεονεκτήματα**

Πολλές εταιρίες επιδιώκουν να αξιοποιήσουν τα πλεονεκτήματα της σημερινής δομής του πλέγματος όσον αφορά τα οικονομικά και τα αποδοτικά οφέλη, χωρίς να περιορίζονται σε ένα σύστημα, που δεν θα αυξάνεται σύμφωνα με τις ανάγκες τους.

Για να παρέχουν στους πελάτες την λύση που χρειάζονται, οι επιχειρήσεις έχουν να λύσουν κυρίως προβλήματα που αφορούν την ασφάλεια και την ποιότητα των υπηρεσιών που παρέχονται στο πελάτη. Χρησιμοποιώντας τα πρότυπα που έχουν αναπτυχθεί, οι πελάτες τους έχουν τη δυνατότητα να κινηθούν σύμφωνα με την συμβατότητα με τις υπάρχουσες νέες τεχνολογίες πλέγματος, αλλά και να υιοθετήσουν καινούργιες καθώς αυτές εξελίσσονται, προσφέροντας νέα πλεονεκτήματα και ευκολίες.

Η πλατφόρμα του πλέγματος μπορεί να συνδυάζει τους περισσευούμενους πόρους σε ένα εταιρικό δίκτυο δημιουργώντας ένα ισχυρό περιβάλλον που μπορεί να μοιραστεί και να χρησιμοποιηθεί από ομάδες στην ίδια την εταιρία, ή ακόμη και σε γεωγραφικά απομακρυσμένες σε σχέση με την εταιρία ομάδες. Το πιο κοινό τεχνολογικό στοιχείο που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για αυτούς τους πόρους είναι οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές γραφείου (desktop PCs), οι οποίοι συνήθως λειτουργούν χαμηλότερα από τις δυνατότητές τους. Συνήθως το ποσοστό χρήσης της υπολογιστικής τους ισχύς είναι στο 10% των δυνατοτήτων τους ακόμα και στις πρωτεύουσες επαγγελματικές τους εφαρμογές. Οργανώνοντας την υπολογιστική

υποδομή σε επίπεδα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν έσοδο διαθέτοντας την για απαιτητικές εφαρμογές. Αυτό αποτελεί άμεσο όφελος για εταιρίες, που επιθυμούν να υλοποιήσουν τεχνολογίες πλέγματος, χωρίς να περιορίζονται από μελλοντικές εξελίξεις και προοπτικές.

Συνοψίζοντας τα κύρια πλεονεκτήματα της τεχνολογίας πλέγματος, κυρίως όσον αφορά την επιχειρηματική εφαρμογή της είναι:

- Χαμηλότερο κόστος υπολογισμού, καθώς η σχέση απόδοσης / τιμή είναι διαφορετική. Οι διάφορες υποδομές πλέγματος, ανάλογα με τον προσανατολισμό τους, δίνουν την δυνατότητα εκτέλεσης περισσότερων εργασιών με μικρότερες επενδύσεις σε διοίκηση και σε υλικό σε σχέση με τις συνηθισμένες που βασίζονται αποκλειστικά σε υλικό εξοπλισμό. Το περιβάλλον πλέγματος καταφέρνει να βελτιώσει τον λόγο απόδοσης προς τιμή σε έναν οργανισμό εξαρτώμενα πάντα από τις διαστάσεις του οργανισμού αυτού.
- Γρηγορότερα ερευνητικά αποτελέσματα. Το πλεόνασμα ισχύος που προκύπτει από το περιβάλλον πλέγματος, μπορεί να δώσει σε έναν οργανισμό την δυνατότητα για γρηγορότερα αποτελέσματα. Αυτό μάλιστα, αν πρόκειται για εταιρία, μπορεί να της δώσει τη δυνατότητα για να κάνει περισσότερες δουλειές και να κατακτήσει μεγαλύτερο μερίδιο αγοράς.
- Καλύτερα αποτελέσματα. Η αύξηση της ισχύος οδηγεί πολλές φορές σε αναθεώρηση των ερευνητικών προσανατολισμών και να δοκιμαστούν πολλά υποσχόμενες λύσεις, που προηγουμένα είχαν απορριφθεί λόγω περιορισμών σε χρόνο και χρήμα. Επίσης η ισχύς αυτή μπορεί να βοηθήσει ώστε να προκύψουν αποτελέσματα καλύτερης ποιότητας επιτρέποντας μεγαλύτερες αναλύσεις και δοκιμές.

## **1.5 Τομείς που ευνοούνται από την τεχνολογία Πλέγματος**

Η τεχνολογία πλέγματος έχει ήδη εφαρμοστεί σε ερευνητικό επίπεδο σε διάφορους τομείς και αναμένεται να υιοθετηθεί για την επίτευξη των στόχων που οριοθετούνται σε κάθε τομέα. Αναλυτικότερα:

- Στον τομέα της ιατρικής, της βιολογίας και της γενετικής η τεχνολογία πλέγματος μπορεί να παρέχει σημαντικές υπηρεσίες στη διάγνωση νοσημάτων και στην αξιόπιστη διάγνωση μέσω της επεξεργασίας ιατρικών εικόνων. Εφαρμογές,

όπως η διάγνωση με τη βοήθεια ιατρικών απεικονίσεων και η ανάλυση πρωτεϊνών και βιομοριακών μεθόδων, βασίζονται σε μεγάλο βαθμό στην αυτοματοποιημένη συγκέντρωση και επεξεργασία μεγάλου όγκου δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, καθώς και στην διανομή των αποτελεσμάτων της επεξεργασίας σε γεωγραφικά διασπαρμένες τοποθεσίες. Το πρόβλημα απαίτησης σε υπολογιστικούς πόρους γίνεται ακόμα εντονότερο αν ληφθεί υπόψη ότι για να επιτευχθεί η επεξεργασία με τη βοήθεια του μεγάλου όγκου των παραγόμενων δεδομένων, σε συνθήκες πραγματικού χρόνου, αυτά θα πρέπει να συσχετιστούν με επίσης μεγάλο όγκο ιστορικών δεδομένων. Η υιοθέτηση της τεχνολογίας πλέγματος μπορεί να δώσει στις εφαρμογές αυτές τους πόρους που χρειάζονται έτσι ώστε να παράγουν χρήσιμα αποτελέσματα, γρήγορα και αποδοτικά.

- Οι αγορές χρήματος είναι από τους νέους τομείς που έχουν αρχίσει να υιοθετούν την τεχνολογία πλέγματος. Τράπεζες, ασφαλιστικές εταιρείες, χρηματιστηριακές επιχειρήσεις και αναλυτές, όλοι έχουν τη δυνατότητα να βελτιώσουν την ποιότητα των υπηρεσιών που παρέχουν κάνοντας χρήση της τεχνολογίας πλέγματος, η οποία μπορεί να παρέχει γρήγορες υπηρεσίες στη μελέτη χρηματοοικονομικών αναλύσεων και επίλυσης σχετικών προβλημάτων όπως ταυτοποίηση ρίσκου σε επενδυτικά σχέδια, διαδικασίες, απαιτήσεις και κόστος, κατηγοριοποίηση, ποσοτικοποίηση, διαχείριση και ανίχνευση ρίσκου.
- Ο επιστημονικός και ο εκπαιδευτικός κλάδος αποτελούν αυτή τη στιγμή τους κύριους χρήστες της τεχνολογίας πλέγματος. Εδώ υπάρχουν δύο κατηγορίες χρηστών. Η πρώτη περιλαμβάνει ερευνητικά ινστιτούτα και τμήματα που διεξάγουν έρευνα πάνω στην επιστήμη των υπολογιστών. Η κατηγορία αυτή δεν υιοθετεί τις περισσότερες φορές τις εμπορικές λύσεις αλλά δημιουργεί τις δικές της. Τα μέλη της θεωρούν τους εαυτούς τους κυρίως ως παρέχοντες παρά ως καταναλωτές της τεχνολογίας πλέγματος. Η δεύτερη κατηγορία, που σχετίζεται κυρίως με τη δημόσια έρευνα, θεωρείται κυρίως ως καταναλωτής της τεχνολογίας πλέγματος. Τυπικά παραδείγματα εδώ, η NASA με τα διαστημικά της προγράμματα και η φυσική υψηλών ενεργειών, αντικείμενο έρευνας μεγάλων ινστιτούτων όπως το CERN. Άλλοι τομείς της επιστήμης, που ανήκουν στους συχνούς χρήστες της τεχνολογίας πλέγματος, αποτελούν η χημεία και η μηχανική που περιλαμβάνουν εφαρμογές υπολογιστικά απαιτητικές ή εφαρμογές που στηρίζονται στην εξόρυξη δεδομένων (data mining).

- Ο βιομηχανικός και κατασκευαστικός τομέας αποτελεί αποδεδειγμένα ένα χώρο, όπου η εφαρμογή της τεχνολογίας πλέγματος μπορεί να αποδειχθεί εξαιρετικά ωφέλιμη. Στη αυτοκινητοβιομηχανία, ο σχεδιασμός αυτοκινήτων και φορτηγών απαιτεί γρήγορους και βελτιστοποιημένους πόρους για να επιταχυνθεί. Στο κατασκευαστικό τομέα γίνεται σε μεγάλο βαθμό η χρήση υπολογιστικών προσομοιώσεων. Τυπικές εφαρμογές που ευνοούνται στην περίπτωση αυτή είναι η δυναμική των ρευστών, ο σχεδιασμός με τη βοήθεια υπολογιστή, ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων και προσομοιώσεις συγκρούσεων.

# 2

## Δυναμικές Ροές Εργασίας

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, με βάση διεισδυτικά πρότυπα διαδικτύου, τα πλέγματα επιτρέπουν την κοινή χρήση υπολογιστικών και πληροφοριακών πόρων εκτός των ορίων επιμέρους τμημάτων ή οργανισμών, με ασφαλή και εξαιρετικά αποτελεσματικό τρόπο. Τα πλέγματα υποστηρίζουν την κοινή χρήση, τη διασύνδεση και τη χρήση διαφόρων πόρων, ενσωματωμένων στο πλαίσιο ενός δυναμικού υπολογιστικού συστήματος.

Η διαχείριση των λειτουργιών της ροής εργασίας κάποιας εφαρμογής σε περιβάλλον πλέγματος απαιτεί την ενορχήστρωση των προαναφερθέντων κατανεμημένων πόρων [3]. Σε αυτό το πλαίσιο, η ροή εργασίας είναι σημαντικός παράγοντας για τη σύνθεση των εφαρμογών σε πλέγματα, προσφέροντας αρκετά πλεονεκτήματα [4], όπως:

- Δυνατότητα ανάπτυξης δυναμικών εφαρμογών με ενορχήστρωση κατανεμημένων πόρων
- Αξιοποίηση πόρων που βρίσκονται σε συγκεκριμένο τομέα με στόχο την αύξηση της απόδοσης ή τη μείωση των δαπανών εκτέλεσης
- Εκτέλεση πολλών απομακρυσμένων διαχειριστικών τομέων με στόχο την απόκτηση συγκεκριμένων δυνατοτήτων επεξεργασίας
- Ενοποίηση πολλών ομάδων που συμμετέχουν στη διαχείριση διαφορετικών τμημάτων της ροής εργασίας, ενισχύοντας έτσι τις συνεργασίες μεταξύ οργανισμών

## 2.1 Ορισμοί

Καθώς η ροή εργασίας είναι μια ευρεία τεχνολογική έννοια, στη συγκεκριμένη παράγραφο διευκρινίζεται η ορολογία που αφορά τους ορισμούς της ροής εργασίας που χρησιμοποιούνται στη συνέχεια της παρούσας εργασίας.

Όσο αφορά το γενικό ορισμό, η ομάδα WfMC (Workflow Management Coalition) κάνει την εξής πρόταση [5]: "Ροή εργασίας είναι η αυτοματοποίηση μιας επιχειρηματικής διαδικασίας, στο σύνολό της ή εν μέρει, κατά την οποία έγγραφα, πληροφορίες ή εργασίες μεταφέρονται μεταξύ των συμμετεχόντων προκειμένου να εκτελεστεί κάποια δράση, σύμφωνα με ένα σύνολο διαδικαστικών κανόνων."

Διαφορετικά, η ροή εργασίας μπορεί να οριστεί ως η ενορχήστρωση ενός συνόλου δραστηριοτήτων με στόχο την επίτευξη ενός πολύπλοκου στόχου, ενώ στα περιβάλλοντα πλέγματος, η ροή εργασίας περιλαμβάνει διαδικασίες εφαρμογών, επιχειρηματικές διαδικασίες και διαδικασίες υποδομής [6]. Η ροή εργασίας είναι ένας αρχιτεκτονικά σημαντικός παράγοντας για τη δυναμική διαλειτουργικότητα και προσαρμογή σε διαφορετικά επιχειρηματικά μοντέλα, που μπορούν να συμπεριληφθούν στη γενική έννοια πολιτικές ροής εργασίας, και πλαίσια ανάπτυξης. Τα μοντέλα ροής εργασίας χρησιμοποιούνται προκειμένου να οριστεί μια ροή εργασίας τόσο σε επίπεδο εργασιών όσο και σε επίπεδο δομής.

Η έρευνα που διεξάγεται για την τεχνολογία πλέγματος έχει διατυπώσει ακόμη δύο ορισμούς, που είναι προσανατολισμένοι κυρίως προς την επιστήμη των υπολογιστών:

Workflow είναι ένα σχέδιο αλληλεπίδρασης διάφορων επιχειρηματικών διεργασιών, χωρίς να αντιστοιχεί απαραίτητα σε ένα καθορισμένο σύνολο από επιχειρηματικές διεργασίες. Όλες αυτές οι αλληλεπιδράσεις μπορεί να είναι μεταξύ υπηρεσιών (services) που λειτουργούν σε ένα μόνο κέντρο δεδομένων ή μεταξύ ενός εύρους από διαφορετικές πλατφόρμες και υλοποιήσεις οπουδήποτε.

Grid Workflow είναι ένας εύκολος τρόπος δημιουργίας νέων υπηρεσιών συνδυάζοντας ήδη υπάρχουσες υπηρεσίες. Μια νέα υπηρεσία (service) μπορεί να δημιουργηθεί και να χρησιμοποιηθεί καταχωρώντας τον ορισμό ενός workflow σε μία workflow engine.

Στη συνέχεια και βάσει των παραπάνω ορισμών παρουσιάζονται οι κατηγορίες των ροών εργασίας.

## 2.2 Κατηγορίες

Οι ροές εργασίας παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στην αρχιτεκτονική του πλέγματος κυρίως όσον αφορά την ευέλικτη και δυναμική συνάθροιση των υπηρεσιών που προσφέρονται μέσω του πλέγματος. Χρησιμεύει στην αναπαράσταση και σύνθεση της λειτουργικής και επιχειρηματικής λογικής σε μια εφαρμογή.

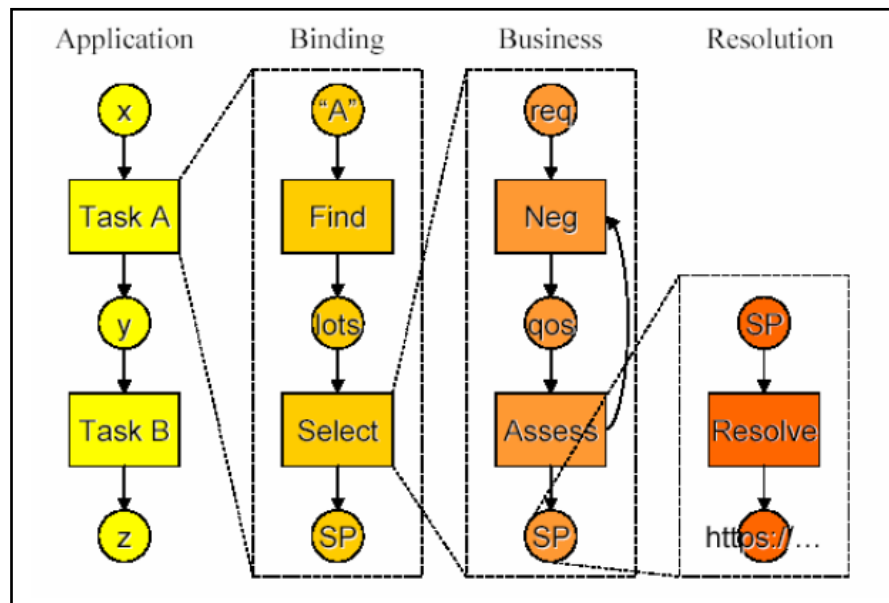
Ανάλογα με το περιεχόμενο των ροών εργασίας και αναφορικά με τη περιγραφή αυτού, μπορεί να είναι γενικές, ώστε να περιλαμβάνουν την περιγραφή των βημάτων μιας εφαρμογής (application workflow) είτε πιο συγκεκριμένα ώστε να περιλαμβάνουν και να περιγράφουν τις διεργασίες που αφορούν όχι καθαυτή την εκτέλεση της εφαρμογής, αλλά τη χρήση υπηρεσιών, που αφορούν την εύρεση και επιλογή των υπηρεσιών, που υλοποιούν κάθε βήμα της εφαρμογής. Βάσει αυτού, η εκτέλεση κάθε βήματος στη ροή εργασίας μιας εφαρμογής έχει ως αποτέλεσμα τη δυναμική δημιουργία επιπλέον ροών εργασίας. Για παράδειγμα, η εκτέλεση ενός βήματος (Task A) της ροής εργασίας εφαρμογής (application workflow) έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία μιας επιπλέον (Binding) ροής εργασίας, που αφορά το συσχετισμό του βήματος με την εύρεση των υπηρεσιών και την επιλογή αυτής, που τελικά θα χρησιμοποιηθεί για την υλοποίηση του βήματος. Στο δεύτερο αυτό workflow, το βήμα της επιλογής της υπηρεσίας εισάγει μιας νέας (Business) ροής εργασίας, που περιγράφει τη διαδικασία επιλογής εφαρμόζοντας τις παραμέτρους ποιότητας υπηρεσίας. Στο τέλος της επιλογής εισάγεται και μια τελευταία (Resolution) ροή εργασίας, που περιγράφει τα βήματα που γίνονται προκειμένου να χρησιμοποιηθεί η επιλεγθείσα υπηρεσία για την υλοποίηση του Task A. Από αυτό το σχήμα διαπιστώνουμε τελικά ότι όχι μόνο η εφαρμογή αλλά και οι επιχειρησιακές (business) διεργασίες που χρησιμοποιούνται από το σύστημα, εισάγουν workflows που μπορούν να αναπαρασταθούν και να διαχειρισθούν με έναν ενιαίο τρόπο από το σύστημα.. Δομικά αυτά οι ροές εργασίας δε διαφέρουν, αλλά διαφέρουν σίγουρα ως προς τις σημασιολογικές πληροφορίες που τα συνοδεύουν. Με βάση αυτή την παρατήρηση μπορούμε να χωρίσουμε τις ροές εργασίας σε δύο κατηγορίες:

- Ροές Εργασίας Εφαρμογών (application workflows), που περιλαμβάνουν workflows που αναπτύσσονται και διαχειρίζονται από τους δημιουργούς της εφαρμογής, έτσι ώστε να μπορούν να εκτελεστούν σε περιβάλλον πλέγματος. Δηλαδή ο δημιουργός της εφαρμογής ή γενικά όποιος θέλει να την εκτελέσει σε υποδομή

πλέγματος δημιουργεί μια ροή εργασίας εφαρμογής, που υλοποιεί την εργασία που θέλει να πραγματοποιήσει.

- Ροές Εργασίας Πολιτικής (policy workflows), που περιλαμβάνουν επιχειρησιακές διεργασίες, που αναπαρίστανται και αναπτύσσονται ώστε να επιτρέπουν τη δυναμική αναπαράσταση της ροής εργασίας.

Τα παραπάνω παρουσιάζεται στο σχήμα της επόμενης σελίδας (Σχήμα 1).



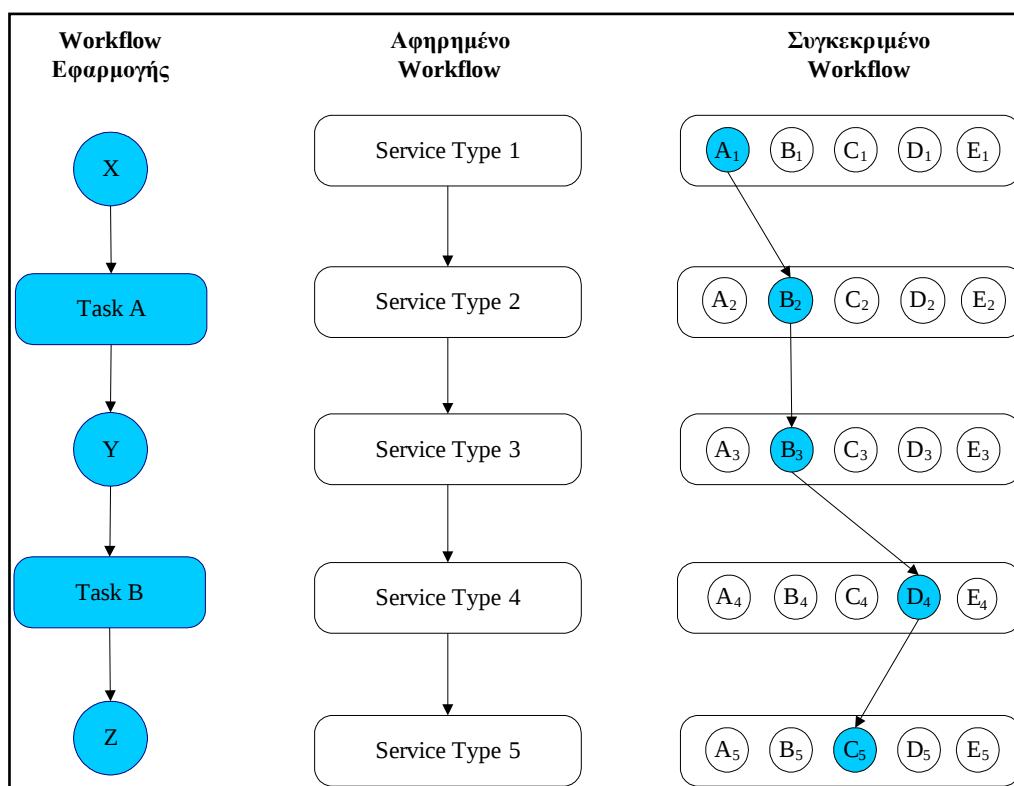
**Σχήμα 1: Ανάλυση ροών εργασίας από την ροή της εφαρμογής**

Επιπρόσθετα οι ροές εργασίας χωρίζονται και ανάλογα με το αν είναι γνωστό πως ακριβώς θα υλοποιηθούν οι διεργασίες που αυτά περιλαμβάνουν. Σε αυτή την περίπτωση έχουμε τις ακόλουθες δύο κατηγορίες - αφηρημένες (abstract) και συγκεκριμένες (concrete)[7],[8]:

- Συγκεκριμένη ροή εργασίας (Concrete workflow) - αναφέρονται επίσης και ως εκτελέσιμες ροές εργασίας στη βιβλιογραφία [9] - ονομάζεται μία σύνθεση υπηρεσιών, η οποία παρέχει τόσο σημασιολογικές πληροφορίες όσο και πληροφορίες εκτέλεσης, οι οποίες αφορούν τη σύνθεση του workflow, τόσο από την πλευρά των υπηρεσιών, που το αποτελούν όσο και από την πλευρά της πλήρης σύνθεσής του. Ένα συγκεκριμένο workflow μπορεί να θεωρηθεί ως ένα μονοπάτι, που προκύπτει από την επιλογή στιγμιότυπων των υπηρεσιών έτσι ώστε να επιτευχθεί το workflow της εφαρμογής (application workflow).

- Αφηρημένη ροή εργασίας (abstract workflow). Για να κατασκευαστεί ένα συγκεκριμένο workflow, συνδυάζεται το workflow εφαρμογής (application workflow) με τις παραμέτρους ποιότητας υπηρεσίας (QoS). Ένα ενδιάμεσο βήμα προς το στόχο αυτό αποτελεί η κατασκευή ενός αφηρημένου workflow, το οποίο προκύπτει ως η σύνθεση των υπηρεσιών που υλοποιούν την εφαρμογή. Παρέχονται όμως μόνο πληροφορίες για το είδος της υπηρεσίας που χρειάζεται σε κάθε βήμα καθώς και οι είσοδοι και έξοδοι αυτού. Δεν περιλαμβάνει πληροφορίες για το ποιος κόμβος συγκεκριμένα θα είναι αυτός που τελικά θα παρέχει την υπηρεσία.

Οι προαναφερθείσες κατηγορίες παρουσιάζονται στο σχήμα που ακολουθεί (Σχήμα 5):



**Σχήμα 2: Ορισμοί ροής εργασίας**

Αναλύοντας περισσότερο τις παραπάνω κατηγορίες, στα αφηρημένα μοντέλα, οι εργασίες περιγράφονται με μη συγκεκριμένη μορφή χωρίς να γίνεται αναφορά σε συγκεκριμένους πόρους πλέγματος για την εκτέλεση των εργασιών αυτών ενώ παράλληλα δίνεται η δυνατότητα στους χρήστες να ορίσουν ροές εργασίας με ευέλικτο τρόπο, απομονώνοντας τις λεπτομέρειες εκτέλεσης. Επίσης, τα αφηρημένα μοντέλα παρέχουν μόνο πληροφορίες για την έννοια των υπηρεσιών και σχετικά με τον τρόπο σύνθεσης της ροής εργασίας. Επομένως, είναι εφικτή η κοινή χρήση των

περιγραφών της ροής εργασίας μεταξύ των χρηστών του πλέγματος, γεγονός που είναι κρίσιμης σημασίας για τους συμμετέχοντες σε εικονικούς οργανισμούς.

Στα συγκεκριμένα μοντέλα, οι εργασίες της ροής εργασίας αντιστοιχίζονται σε συγκεκριμένους πόρους και, επομένως, το μοντέλο παρέχει πληροφορίες σχετικά με την έννοια των υπηρεσιών και την εκτέλεση σχετικά με τον τρόπο σύνθεσης της ροής εργασίας, τόσο για τις υποστάσεις υπηρεσιών όσο και για τη συνολική σύνθεση (για παράδειγμα σχέσεις στη ροή δεδομένων, δομές ροής ελέγχου). Σε αντιστοιχία με τα αφηρημένα μοντέλα και σε σχέση με τους εικονικούς οργανισμούς, οι εργασίες που περιλαμβάνονται σε ένα συγκεκριμένο μοντέλο μπορεί επίσης να αναφέρονται σε αιτήματα μετακίνησης δεδομένων με στόχο τη δημοσιοποίηση των προσφάτως εξαγμένων δεδομένων στον εικονικό οργανισμό[7]. Πρέπει να διευκρινιστεί ότι οι υποστάσεις υπηρεσιών δεν αντιστοιχούν απαραίτητα σε πόρους του πλέγματος εφόσον, εντός κάποιου πόρου, μπορεί να υπάρχουν και να εκτελούνται περισσότερες από μια υποστάσεις υπηρεσιών.

Με βάση τους ορισμούς των μοντέλων ροής εργασίας, οι εργασίες στα αφηρημένα μοντέλα είναι φορητές και μπορούν να απεικονισθούν σε οποιαδήποτε κατάλληλη υπηρεσία πλέγματος με χρήση κατάλληλων μηχανισμών ανίχνευσης και απεικόνισης. Σε αυτή την κατεύθυνση, το βασικό θέμα της παρούσας εργασίας είναι ένας νέος μηχανισμός απεικόνισης ροής εργασίας, το αποτέλεσμα του οποίου είναι μια συγκεκριμένη ροή εργασίας, κάνοντας όμως χρήση της έννοιας των στρατηγικών εξαρτήσεων η οποία θα παρουσιαστεί στη συνέχεια. Η συγκεκριμένη ροή εργασίας μπορεί να αντιμετωπιστεί ως "διαδρομή", μια επιλογή υποστάσεων υπηρεσιών από τύπους υπηρεσιών με συγκεκριμένη σειρά προκειμένου να επιτευχθεί ο στόχος της εκτέλεσης της ροής εργασίας μιας συγκεκριμένης εφαρμογής.

## **2.3 Καθορισμός Συγκεκριμένης Ροής Εργασίας**

Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο, ένα από τα αντικείμενα της παρούσας εργασίας είναι ο προσδιορισμός και η περιγραφή της διαδικασίας που πρέπει να εφαρμοσθεί προκειμένου να οριστεί η συγκεκριμένη ροή εργασίας με δεδομένα τη ροή εργασίας μιας εφαρμογής και τις απαραίτητες παραμέτρους ποιότητας υπηρεσιών (QoS). Αυτό το θέμα έρευνας αναφέρεται ως Περιορισμοί QoS Ροής Εργασίας (Workflow QoS Constraints) και παραμένει ένας από τους

σημαντικούς παράγοντες των Συστημάτων Διαχείρισης Ροής Εργασίας σε Πλέγμα (Grid Workflow Management System) και, ειδικότερα, στο πεδίο Σχεδιασμού Ροής Εργασίας (Workflow Design) [10].

Γενικά, οι μηχανισμοί απεικόνισης ροής εργασίας είναι αναπόσπαστα τμήματα της παροχής ποιότητας υπηρεσιών καθώς αυτός είναι ο μόνος τρόπος για να εκτιμηθεί, υπολογιστεί και καθοριστεί η τελική απεικόνιση των ροών εργασίας καθώς και η επιλογή των διαθέσιμων τύπων και υποστάσεων υπηρεσιών προκειμένου να προσφερθεί ποιότητα υπηρεσιών στον τελικό χρήστη από ένα σύνολο παρόχων υπηρεσιών.

## **2.4 Γλώσσα Περιγραφής**

Η δυναμική φύση των ροών εργασίας αναφέρεται στην προσαρμογής τους και στη δέσμευση στο χρόνο εκτέλεσης επιχειρησιακών διεργασιών σύμφωνα με διάφορα μοντέλα. Ο δημιουργός της ροής εργασίας της εφαρμογής δε χρειάζεται να είναι ενήμερος για το πώς ακριβώς θα εκτελεστεί. Αρκεί να παρέχονται μαζί με την περιγραφή της ροής και στοιχεία για το πώς θα έπρεπε να εκτελεστεί (όπως για παράδειγμα ποιες είναι οι είσοδοι κάθε διεργασίας, τι εξόδους δίνουν, με ποιες άλλες επικοινωνούν κ.α.). Ο τρόπος που παρέχονται αυτές οι πληροφορίες θα πρέπει να είναι τυποποιημένος, έτσι ώστε να υπάρχει ένας κοινός τρόπος περιγραφής. Επίσης χρειάζεται ένας ενιαίος τρόπος περιγραφής των υπηρεσιών που παρέχονται, το τι κάνουν, από ποιες διεργασίες αποτελούνται, ποιος τις παρέχει και ποιες είναι οι προϋποθέσεις για να τις χρησιμοποιήσει κάποιος. Πιο συγκεκριμένες απαιτήσεις που πρέπει να πληροί μια γλώσσα περιγραφής ροών εργασίας είναι οι ακόλουθες:

- Δυνατότητα ορισμού αφηρημένων (abstract) ροών εργασίας. Πρέπει να είναι δυνατή η περιγραφή ροών χωρίς να καθορίζονται συνδέσεις μεταξύ κάθε εργασίας και μιας υπηρεσίας που την υλοποιεί, έτσι ώστε οι συνδέσεις να γίνονται στο χρόνο εκτέλεσης.
- Σημασιολογική περιγραφή εργασιών. Κάθε εργασία σε μια αφηρημένη ροή εργασίας πρέπει να διαθέτει μια περιγραφή ή τουλάχιστον να είναι ενός καθορισμένου τύπου εργασίας, επιτρέποντας έτσι την εύρεση κατά το χρόνο εκτέλεσης μια υπηρεσίας που να την υλοποιεί.

- Απεικόνιση ροών εργασίας. Πρέπει να υπάρχει η δυνατότητα δημιουργίας συνδέσεων αφηρημένων εργασιών με πιο λεπτομερείς ροές, οι οποίες θα εισάγονται στη θέση των εργασιών κατά το χρόνο εκτέλεσης.
- Διαχείριση ροών εργασίας υψηλής τάξης. Πρέπει να υπάρχει η δυνατότητα να αντιμετωπίζονται οι ροές εργασίας ως δεδομένα, έτσι ώστε μια εργασία να μπορεί να έχει ως είσοδο μια ροή εργασίας και να επιστρέφει μια άλλη ως έξοδο.

Έχουν αναπτυχθεί διάφορες γλώσσες περιγραφής ροών εργασίας όπως για παράδειγμα η BPEL [11] και η OWL-S [12]. Η γλώσσα που δημιουργήθηκε είναι η OWL-WS και καλύπτει την ανάγκη ενιαίας περιγραφής για όλες τις προηγούμενες απαιτήσεις αποτελεί επέκταση της σημασιολογικής γλώσσας OWL-S, που χρησιμοποιείται για την περιγραφή υπηρεσιών.

# 3

## Ποιότητα Υπηρεσίας και Στρατηγικές Εξαρτήσεις

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο παρουσιάζεται η έννοια της Ποιότητας Υπηρεσίας καθώς και η ανάγκη διασφάλισης αυτής για την υιοθέτηση επιχειρηματικών μοντέλων σε περιβάλλον πλέγματος. Επιπλέον, περιγράφονται οι παράμετροι που καθορίζουν και «ποσοτικοποιούν» την ποιότητα και οι κατηγορίες απαιτήσεων ποιότητας για συγκεκριμένες παραμέτρους. Το κεφάλαιο καταλήγει εισάγοντας την η έννοια των στρατηγικών εξαρτήσεων των παραμέτρων υπηρεσιών μεταξύ των διαφόρων παρόχων.

### 3.1 Γενικά Στοιχεία

Ο όρος «Ποιότητα Υπηρεσίας» (Quality of Service - QoS) χρησιμοποιήθηκε αρχικά ως ορολογία στα δίκτυα υπολογιστών για να αποδώσει την ικανότητα ενός δικτύου να παρέχει καλύτερες υπηρεσίες για συγκεκριμένη κίνηση (network traffic) χρησιμοποιώντας τα διάφορα πρωτόκολλα δικτύου. Η ανάγκη για αξιόπιστα δίκτυα και η βελτίωση των υπηρεσιών που προσέφεραν αυτά δημιούργησε αυτή την παράμετρο, που τώρα θεωρείται ένας πολύ βασικός παράγοντας αξιολόγησης.

Η μελέτη μηχανισμών απεικόνισης ροών εργασίας με στόχο το καθορισμό συγκεκριμένης ροής εργασίας απαιτεί την ανάλυση θεμάτων αναφορικά με την ποιότητα υπηρεσίας που θα προσφέρεται για το σύνολο της ροής εργασίας καθώς η επιλογή των πόρων και των παρόχων θα πρέπει να έχει ως αποτέλεσμα παροχή υπηρεσιών με συγκεκριμένο χρόνο απόκρισης, απόδοση, διαθεσιμότητα και ασφάλεια, έτσι ώστε η παραγωγικότητα και η χρησιμότητα των συνδυασμένων πόρων να είναι πολύ μεγαλύτερη από τις δυνατότητές τους ξεχωριστά. Στο

συγκεκριμένο κεφάλαιο διατυπώνονται θέματα σχετικά με τις απαιτήσεις και τις παραμέτρους που πρέπει να ικανοποιούνται προκειμένου να υπάρχει δυνατότητα δυναμικής απεικόνισης ροών εργασίας για διαφορετικές επιχειρηματικές διαδικασίες. Επίσης, αυτές οι παράμετροι ταξινομούνται με βάση την προέλευσή τους (για παράδειγμα, μπορεί να πρόκειται για παραμέτρους της εφαρμογής ή για παραμέτρους που ορίζονται από το χρήστη) ενώ αναλύονται συγκεκριμένες περιπτώσεις για τον προαναφερθέν μηχανισμό απεικόνισης ροών εργασίας.

### **3.1.1 Η Ποιότητα Υπηρεσίας σε περιβάλλον Πλέγματος**

Η σημασία της ποιότητας των παρεχόμενων υπηρεσιών σε περιβάλλον πλέγματος σύστημα είναι πολύ μεγάλη, αφού αυτό που κάνει μια υπηρεσία προσίτη στον πελάτη, εκτός από την ίδια την υπηρεσία, είναι η ποιότητά της. Επίσης η ιδιαιτερότητα των πλεγμάτων πρώτον ως προς τη συνεργασία ετερογενών συστημάτων και δεύτερον ως προς την αρχιτεκτονική τους (Service Oriented Architecture) έκανε πιο εμφανή την ανάγκη προσδιορισμού της ποιότητας των υπηρεσιών. Η συμμετοχή πολλών διαφορετικών συστημάτων στο ίδιο περιβάλλον πλέγματος απαιτεί μια κοινή παράμετρο αξιολόγησής τους αλλά και των υπηρεσιών που προσφέρουν. Επιπρόσθετα, η αρχιτεκτονική που χρησιμοποιείται σε τέτοια περιβάλλοντα είναι βασισμένη στις υπηρεσίες και λόγω αυτού, η εισαγωγή του παράγοντα της προσφερόμενης ποιότητας υπηρεσίας είναι εφικτή σε όλα τα επίπεδα της δομής του πλέγματος.

Τα χαρακτηριστικά της ποιότητας υπηρεσίας μπορούν να διαχωριστούν σε δύο κατηγορίες: αυτά που βασίζονται στα ποσοτικά και αυτά που βασίζονται στα ποιοτικά χαρακτηριστικά μιας υποδομής πλέγματος. Τα πρώτα αναφέρονται σε ιδιότητες όπως η απόδοση του επεξεργαστή, η καθυστέρηση του δικτύου, ο διαθέσιμος αποθηκευτικός χώρος κλπ., ενώ τα δεύτερα έχουν σχέση με την αξιοπιστία των υπηρεσιών και την ικανοποίηση του χρήστη.

Υπάρχουν αρκετές παράμετροι που εξαιτίας της ιδιομορφίας του περιβάλλοντος πλέγματος (δυναμική εισαγωγή ετερογενών υπολογιστικών και μη συστημάτων) δεν είναι εύκολο να προσδιοριστούν, καθώς βασικές πληροφορίες μπορούν να εξαχθούν από προγράμματα παρακολούθησης (monitoring) και άλλα συστήματα μοντέλα προτυποποίησης των πόρων. Βάσει των απαιτήσεων ενός χρήστη

σε περιβάλλον πλέγματος και των πληροφοριών που μπορούν να εξαχθούν από το περιβάλλον πλέγματος, παρουσιάζονται οι παρακάτω κατηγορίες πληροφορίας αναφορικά με την ποιότητα υπηρεσίας:

- Διαθεσιμότητα: η πληροφορία αυτή μπορεί να δοθεί με μορφή ένδειξης, για το αν είναι διαθέσιμο το στιγμιότυπο της υπηρεσίας (service up-and-running), και άλλα απαραίτητα αρχεία και βιβλιοθήκες.
- Απόδοση: ο προσδιορισμός αυτής της παραμέτρου είναι αρκετά δύσκολος εξαιτίας της αδυναμίας μοντελοποίησης ενός γενικού τρόπου εξαγωγής της πληροφορίας. Παρόλα αυτά μπορούμε να θεωρήσουμε ότι υπολογίζοντας το χρόνο απόκρισης, τη ταχύτητα του επεξεργαστή και κάποιες άλλες τιμές ενδεικτικές για την αποδοτικότητα και ικανότητα του συστήματος, έχουμε μια αφηρημένη εικόνα για την παράμετρο αυτή.
- Αξιοπιστία: η παράμετρος αυτή πηγάζει από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων της διαθεσιμότητας. Η διαθεσιμότητα μιας υπηρεσίας για μεγάλο διάστημα χρόνου, της αποδίδει αξιοπιστία.
- Κόστος: η παράμετρος αυτή έχει να κάνει αποκλειστικά με την τιμολόγηση των υπηρεσιών σε σχέση με το χρόνο κλπ.
- Στατιστικά στοιχεία για την ποιότητα του αποτελέσματος (Quality of the Result): τα στοιχεία αυτά επιτυγχάνονται από την αξιολόγηση των υπηρεσιών από τους πελάτες, αποδίδοντας ένα βαθμό ικανοποίησης του χρήστη.
- Στατιστικά στοιχεία για την παραβίαση των συμβολαίων SLA: μια ένδειξη για την κατάσταση μιας υπηρεσίας σε σχέση με το συμφωνηθέν SLA θα αποτελούσε χρήσιμη πληροφορία

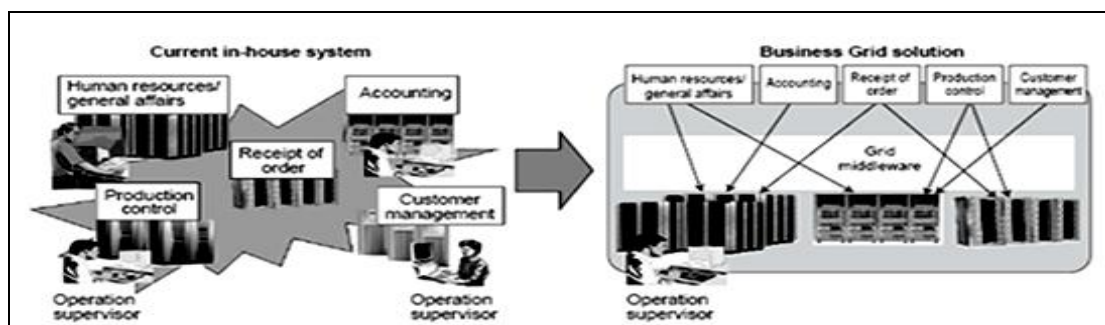
Οι δύο πρώτες κατηγορίες ανήκουν στα ποσοτικά χαρακτηριστικά, σύμφωνα με τον αρχικό διαχωρισμό, ενώ τα υπόλοιπα αφορούν την ποιότητα της παρεχόμενης υπηρεσίας και ανήκουν στα ποιοτικά. Παρόλο που οι ιδιότητες οι σχετικές με την ποιότητα της υπηρεσίας (ποιοτικά χαρακτηριστικά) είναι πολύ σημαντικές στην αξιολόγηση της προσφερόμενης ποιότητας, είναι δύσκολο να υπολογιστούν αντικειμενικά, αφού βασίζονται κατά πολύ στην ανάδραση πληροφορίας από τον χρήστη. Λόγω αυτού οι μηχανισμοί απεικόνισης ροών εργασίας επικεντρώνονται σε ποσοτικά χαρακτηριστικά όπως η διαθεσιμότητα (availability), το κόστος (cost) και ο χρόνος εκτέλεσης / μιας εργασίας (execution time).

### 3.1.2 Από το Ακαδημαϊκό στο Επιχειρηματικό Πλέγμα

Η χρήση συμβολαίων παροχής υπηρεσιών (SLAs) στις υπηρεσίες έδωσε τις προδιαγραφές για την ανάπτυξη της τεχνολογίας πλέγματος και εκτός του ερευνητικού τομέα. Στο χώρο του e-business οι απροσδόκητες αλλαγές στο φόρτο εργασιών, στον όγκο πληροφοριών ή στις απαιτήσεις επεξεργασίας δημιούργησαν την απαίτηση για ευέλικτα, μικρού κόστους και μεγάλης αξιοπιστίας συστήματα. Πάνω σε αυτήν την απαίτηση στηρίχθηκε η τεχνολογία πλέγματος για την δημιουργία του επιχειρηματικού (Business) Grid [13] με σκοπό την εμπορική εκμετάλλευση των παρεχόμενων υπηρεσιών. Πιο συγκεκριμένα οι στόχοι του επιχειρηματικού πλέγματος είναι οι ακόλουθοι:

- Κοινόχρηστη χρήση πόρων, μέσω δικτύωσης υπολογιστών των υπολογιστών απομακρυσμένων κέντρων πληροφοριών (data centers)
- Μείωση του κόστους στις επιχειρήσεις με τη χρήση ευέλικτων υποδομών και αυτόνομων συστημάτων ελέγχου
- Δυναμική εισαγωγή και χρήση πόρων με την ταυτόχρονη διοχέτευση φόρτου εργασίας σε διαφορετικές απομακρυσμένες περιοχές
- Απλοποίηση, συνολικά των υποδομών και τη δημιουργία αξιόπιστων συστημάτων που θα υποστηρίζουν διασπορά εργασίας, ανάκτηση κατεστραμμένων πληροφοριών και άλλα λειτουργικά συστήματα και συστήματα ασφαλείας.

Τα παραπάνω παρουσιάζονται γραφικά στο σχήμα της επόμενης σελίδας (Σχήμα 3), όπου όπως φαίνεται η υποδομή του επιχειρηματικού πλέγματος βελτιστοποιεί την εκμετάλλευση των πόρων μιας επιχείρησης με αποτέλεσμα τη μείωση του κόστους και την αύξηση της παραγωγικότητας.



Σχήμα 3: Από το ακαδημαϊκό στο επιχειρηματικό πλέγμα

### 3.1.3 Προσέγγιση Λειτουργίας του Επιχειρηματικού Μοντέλου του Πλέγματος

Η χρήση ενός περιβάλλοντος πλέγματος δεν περιορίζεται στην εκμετάλλευση των παρεχόμενων συστημάτων εντός μιας επιχείρησης με σκοπό την μείωση κόστους, την αύξηση της παραγωγικότητας και μείωση του κύκλου παραγωγής, αλλά και στην εμπορική εκμετάλλευση αυτών των τεχνολογιών και των υπηρεσιών πλέγματος. Η απαίτηση της αγοράς για εξειδίκευση στην παροχή υπηρεσιών και η συγκεκριμένη υπηρεσιοστρεφής αρχιτεκτονική του πλέγματος επιτρέπει το προαναφερθέν.

Για την περιγραφή της λειτουργίας ενός τέτοιου συστήματος κρίνεται απαραίτητη η αναφορά των ρόλων και των οντότητων που συμμετέχουν σε αυτό. Βάσει αυτού, αναφέρεται αρχικά ο πάροχος της υπηρεσίας (Service Provider). Πρόκειται για γενικό όρο και μπορεί να διασπαστεί και σε άλλες υπό-οντότητες, αφού οι παρεχόμενες υπηρεσίες που σχετίζονται είναι υπηρεσίες δικτύου, πόρων (αποθηκευτικών, υπολογιστικών κλπ.), εφαρμογών (application services) κ.α. Κάποιες από τις παραπάνω υπηρεσίες μπορούν να παρέχονται από τον ίδιο οργανισμό ή να είναι διαμοιρασμένες σε περισσότερους. Σε κάθε περίπτωση, για την ομαλή και αποδοτική συνεργασία μεταξύ των πάροχων και των χρηστών μιας υπηρεσίας υπάρχουν τα συμβόλαια παροχής υπηρεσιών (SLAs) που διασφαλίζουν τους όρους συνεργασίας. Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενα κεφάλαια, τα SLAs θα πρέπει να διασφαλίσουν και την ποιότητα των παρεχομένων υπηρεσιών και αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την εισαγωγή στο σύστημα και ενός άλλου ρόλου, του QoS Provider, που αναφέρεται σε μια οντότητα η οποία θα επικοινωνεί με άλλους πάροχους υπηρεσιών, θα συλλέγει πληροφορίες και θα προσδιορίζει την ποιότητα των προσφερομένων υπηρεσιών από και μεταξύ κάθε πλευράς. Ο ρόλος αυτός είναι πολύ σημαντικός αφού διασφαλίζει την ποιότητα της υπηρεσίας πλέγματος που παρέχεται. Φυσικά η τελευταία οντότητα του συστήματος είναι ο πελάτης / χρήστης των

παρεχόμενων υπηρεσιών του πλέγματος, από τις απαιτήσεις του οποίου γίνονται όλες οι προσπάθειες για τη βελτίωση της ποιότητας των υπηρεσιών.

### 3.1.3.1 QoS Provider

Σε συνέχεια των παραπάνω, στην παρούσα παράγραφο αναλύονται και περιγράφονται οι προδιαγραφές λειτουργίας του QoS Provider. Η συγκεκριμένη οντότητα (ως πάροχος QoS πληροφορίας) θα πρέπει:

- Να έχει πρόσβαση σε πληροφορίες των πόρων μιας υποδομής πλέγματος που άλλοι χρήστες μπορεί να μην έχουν
- Να έχει υλοποίηση γενικής χρήσης έτσι ώστε να μπορεί να εφαρμοστεί σε διαφόρων τύπων πόρους
- Να είναι συμβατή με τις τεχνολογίες που εφαρμόζονται στα περιβάλλοντα πλέγματος
- Η υλοποίησή της να είναι δημοσίως διαθέσιμη ώστε οποιοσδήποτε επιθυμεί on-demand πληροφορία να μπορεί να την αποκτήσει
- Να γίνεται καταγραφή και επεξεργασία των πληροφοριών αυτών όχι μόνο για τεκμηρίωση της ποιότητας των προσφερομένων υπηρεσιών αλλά και για βελτίωση της λειτουργίας όλου του πλέγματος.

Η ποιότητα υπηρεσιών σε περιβάλλον πλέγματος σχετίζεται άμεσα με τους όρους που την προσδιορίζουν και την καθορίζουν. Στη συνέχεια αναλύουμε τους όρους που χρησιμοποιούνται από το μηχανισμό απεικόνισης ροών εργασίας για την επιλογή υπηρεσιών πλέγματος που προσφέρουν το επιθυμητό επίπεδο ποιότητας υπηρεσίας με βάση τις απαιτήσεις του χρήστη όπως αυτές εκφράζονται με συγκεκριμένους όρους. Είναι προφανές ότι υπάρχουν πολυάριθμες παράμετροι που είναι ιδιαίτερου ενδιαφέροντος στις υποδομές πλεγμάτων. Η μελέτη εστιάστηκε αρχικά στη Διαθεσιμότητα, στην Αποδοτικότητα, στην Αξιοπιστία και στο Κόστος, καθώς έχουν επιλεγεί ως αντιπροσωπευτικές ενδεικτικές παράμετροι για τη συνολική διαδικασία απεικόνισης ροών εργασίας και το σύνολο των παραμέτρων μπορεί να επεκταθεί ή να τροποποιηθεί ώστε να συμπεριλάβει άλλες παραμέτρους.

### 3.1.3.2 Διαθεσιμότητα

Ο όρος διαθεσιμότητα (Availability) περιλαμβάνει παραμέτρους όπως τη διαθεσιμότητα των εφαρμογών, των πόρων, του δικτύου κ.α. Το σημαντικότερο στοιχείο στην ποιότητα μιας υπηρεσίας πλέγματος, αλλά και γενικά μιας οποιαδήποτε

υπηρεσίας, είναι το κατά πόσο αυτή και οι τυχόν εξαρτήσεις αυτής είναι διαθέσιμες. Ποιο αναλυτικά τα στοιχεία που χαρακτηρίζουν τη συγκεκριμένη παράμετρο είναι τα ακόλουθα:

- Διαθέσιμος ελεύθερος χώρος
- Εύρος δικτύου
- Απαραίτητες βιβλιοθήκες-αρχεία
- Υποστηριζόμενα πρωτόκολλα υπηρεσιών
- Κατάσταση υπηρεσιών εφαρμογών

Τα παραπάνω είναι οι στοιχειώδεις προϋποθέσεις για την εκτέλεση μιας εφαρμογής σε περιβάλλον πλέγματος. Επιπρόσθετα, θέτοντας σαν στόχο τη χρήση πληροφορίας για τον καθορισμό της διαθεσιμότητας, δε γίνεται αναζήτηση συγκεκριμένων παραμέτρων για κάθε είδος συστήματος ή πόρου.

### **3.1.3.3 Αποδοτικότητα**

Ένα επιπλέον χαρακτηριστικό που είναι πολύ σημαντικό και καθοριστικό για την ποιότητα της υπηρεσίας που παρέχεται είναι η απόδοση των συστημάτων (Performance) που συμμετέχουν στο πλέγμα. Ο καθορισμός τέτοιων παραμέτρων που θα προσδιορίζουν την απόδοση, είναι αρκετά δύσκολος και διαφέρει από σύστημα σε σύστημα. Επίσης η ταχύτητα με την οποία μπορεί να αλλάξει η κατάσταση ενός συστήματος από αποδεκτής απόδοσης σε μη αποδεκτής δυσκολεύει ακόμη περισσότερο την μοντελοποίηση τέτοιων μηχανισμών. Λαμβάνοντας υπόψη ότι το μεγαλύτερο μέρος των συστημάτων που συμμετέχουν θα είναι υπολογιστικές μονάδες, κάποιες μελέτες έχουν καταλήξει σε παραμέτρους όπως :

- Συχνότητα ρολογιού επεξεργαστή
- Υπολογισμός MFLOPs (Millions Floating Operations per second)
- Μέσο Εύρος ζώνης μνήμης
- Μέσο εύρος ζώνης σκληρού δίσκου
- Διαθέσιμη μνήμη
- Χρόνος εκτέλεσης εργασίας

Καθώς μια σειρά παραμέτρων μπορούν να προστεθούν στις παραπάνω, η μελέτη θα πρέπει να επικεντρωθεί σε αυτήν (ή αυτές) που αποτελούν βασικά κριτήρια. Βάσει αυτού ως χαρακτηριστικό της αποδοτικότητας ενός κόμβου θεωρούμε το χρόνο που απαιτείται για την εκτέλεση μιας εργασίας καθώς αυτός είναι

αντιπροσωπευτικός και περιλαμβάνει άλλα χαρακτηριστικά όπως η διαθέσιμη μνήμη και η συχνότητα ρολογιού του επεξεργαστή.

#### **3.1.3.4 Αξιοπιστία**

Η αξιοπιστία (Reliability) κάθε παρεχόμενης υπηρεσίας έχει άμεση σχέση με την διαθεσιμότητά της σε σύγκριση με την χρονική διάρκεια αυτής. Εκτός από αυτό όμως, η αξιοπιστία εξαρτάται και από παραμέτρους όπως η συχνότητα εμφάνισης σφαλμάτων ή την πιθανότητα εμφάνισής τους.

Συνολικά όμως η αξιοπιστία της υπηρεσίας διαπιστώνεται από μακροχρόνια παρακολούθηση των παραμέτρων της διαθεσιμότητας, απόδοσης και συνολικής επεξεργασίας τους.

#### **3.1.4.5 Κόστος**

Το κόστος (Cost) αναφέρεται στο κόστος που απαιτείται για την ολοκλήρωση της εκτέλεσης μιας υπηρεσίας. Θα πρέπει στο σημείο αυτό να σημειωθεί ότι η εκτέλεση δεν αναφέρεται υποχρεωτικά σε εκτέλεση εργασιών αλλά σε υπηρεσίες (για παράδειγμα αίτηση και δέσμευση αποθηκευτικού χώρου σε κάποιο πόρο του πλέγματος).

Επιπρόσθετα εκτός από το κόστος μιας υπηρεσίας στο περιβάλλον πλέγματος υφίσταται και το κόστος ως ρήτρα που μπορεί κάποιο από τα εμπλεκόμενα μέρη να πρέπει να πληρώσει στην περίπτωση μη εκπλήρωσης των συμβατικών του υποχρεώσεων – όπως αυτές περιγράφονται στα συμβόλαια παροχής υπηρεσιών (SLAs).

### **3.2 Παρούσα κατάσταση - Σχετικές εργασίες**

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, ο όρος πλέγμα αναφέρεται σε μεγάλης κλίμακας διαχείριση και κοινή χρήση πόρων. Η συνεργασία των παρόχων υπηρεσιών και των χρηστών είναι απαραίτητο να καθορίζεται από συγκεκριμένους κανόνες, έτσι ώστε να είναι ξεκάθαρη η σχέση μεταξύ παροχών υπηρεσιών και καταναλωτών, ποιος επιτρέπεται να χρησιμοποιήσει τους πόρους, ποιους πόρους, κάτω από ποιες συνθήκες κλπ. Οι κανονισμοί αυτοί προτυποποιήθηκαν και έτσι δημιουργήθηκαν τα συμβόλαια SLA.

Οι παλαιότερες προσπάθειες για την εισαγωγή της έννοιας της ποιότητας υπηρεσίας στη διαχείριση των πόρων είχαν μεγάλο ενδιαφέρον και σημαντικά αποτελέσματα. Υπάρχουν διάφορες παράμετροι για τους μηχανισμούς διαχείρισης των παραμέτρων της ποιότητας υπηρεσίας προκειμένου να βελτιστοποιηθεί η διαδικασία επιλογής στα πλαίσια μιας ροής εργασίας. Γενικά, ο τρόπος που γίνεται αντιληπτή η λειτουργία QoS στις τρέχουσες αρχιτεκτονικές πλεγμάτων είναι μέρος της διαδικασίας διαπραγμάτευσης SLA όπως περιγράφεται στις αναφορές [14] [15] και [16]. Οι περιορισμοί και οι προτιμήσεις του τελικού χρήστη αναλύονται συντακτικά σε αρκετούς παρόχους υπηρεσιών μέσω της λειτουργικότητας που παρέχεται από μεσίτη (συνήθως την υπηρεσία διαχείρισης SLA) για την ανεύρεση των κατάλληλων παρόχων υπηρεσιών. Ο Sahai [17] πρότεινε την υποστήριξη της QoS πληροφορίας σε SLA οντότητες στα ευρείας χρήσης (εμπορικά) πλέγματα. Αν και πολύ ενδιαφέρουσα προσέγγιση, δεν αναπτύχθηκε σημαντικά και είναι ακόμα σε ερευνητικό στάδιο. Ένα γενικό μοντέλο με την ονομασία SNAP (Service Negotiation and Acquisition Protocol) προτάθηκε από τον Czajkowski [18]. Το μοντέλο αυτό διακρίνει τρία είδη συμβολαίων SLA για την ανάθεση των εργασιών στο πλέγμα, Task SLA (TSLA), Resource SLA (RSLA), Bind SLA (BSLA). Το πρώτο από αυτά εμπεριέχει τις απαιτήσεις για την ποιότητα της υπηρεσίας που ζητήθηκε. Ο Keahey πρότεινε την αρχιτεκτονική VAS (Virtual Application Service) για την διαχείριση της ποιότητας στα πλέγματα. Η αρχιτεκτονική αυτή εισήγαγε καινούριους τρόπους διαπραγμάτευσης του επιπέδου της ποιότητας των υπηρεσιών και των απαιτήσεων. Βάσει των παραπάνω, η διαχείριση των πόρων του πλέγματος είναι σημαντική προκειμένου να επιτευχθεί βελτιστοποίηση της κατανομής τους [19], και κρίνεται καθοριστική ως προς τη δυνατότητα του πλέγματος να ανταποκριθεί στο απαιτούμενο επίπεδο ποιότητας υπηρεσιών προς όλους τους χρήστες [20],[21].

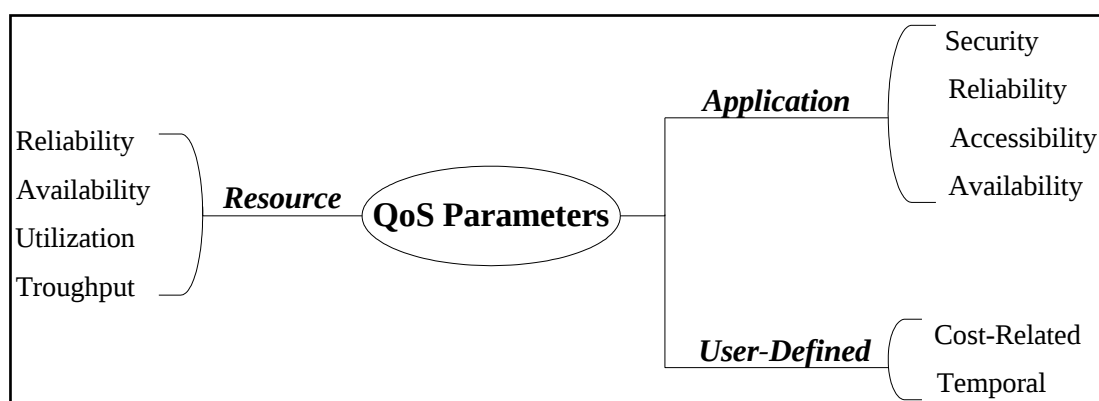
Τέλος, η προσέγγιση GARA (Globus Architecture for Reservation and Allocation) [22] αντιμετωπίζει το ζήτημα παροχής ποιότητας στο επίπεδο της διευκόλυνσης και της παροχής βασικών μηχανισμών για την υποστήριξη ποιότητας υπηρεσίας, δηλαδή διαμόρφωση, ανεύρεση, επιλογή και εκχώρηση πόρων. Η τρέχουσα έμφαση της παραπάνω προσέγγισης βρίσκεται στην υποστήριξη της ταυτοποίησης και έγκρισης αιτήματος εκχώρησης πόρων [23] με συγκεκριμένες παραμέτρους υπηρεσίας.

Στις επόμενες ενότητες παρουσιάζεται μια καινοτόμο κατηγοριοποίηση των παραμέτρων που καθορίζουν και «ποσοτικοποιούν» την ποιότητα υπηρεσίας σε

περιβάλλοντα πλέγματος καθώς οι παράμετροι αναμένεται να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο την εκτίμηση και την διασφάλιση της παρεχόμενης ποιότητας. Επιπρόσθετα, παρουσιάζονται οι κατηγορίες των απαιτήσεων ποιότητας βάσει των προαναφερθέντων παραμέτρων που αποτελούν βασικό σημείο και προϋπόθεση επιτυχούς λειτουργίας του μηχανισμού που περιγράφεται στο επόμενο κεφάλαιο της εργασίας.

### 3.3 Κατηγοριοποίηση Παραμέτρων Ποιότητας Υπηρεσίας

Βασικό σημείο για την επιλογή των υπηρεσιών / πόρων που θα εκτελέσουν μια εργασία σε περιβάλλον πλέγματος (όπως αυτή ορίζεται σε μια αφηρημένη ροή εργασίας) είναι οι παράμετροι που καθορίζουν την προσφερθείσα ποιότητα υπηρεσίας. Λόγω αυτού υπεισέρχεται το θέμα του ποιες είναι αυτές οι παράμετροι-περιορισμοί της ποιότητας υπηρεσίας, πώς καθορίζονται και πώς αυτές αντανακλούν τις προτιμήσεις του χρήστη, που θέλει να εκτελέσει μια εφαρμογή σε περιβάλλον πλέγματος. Υπάρχει πλήθος παραμέτρων ειδικού ενδιαφέροντος για τις αρχιτεκτονικές πλέγματος όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο. Οι παράμετροι μπορεί να καθορίζονται από την ίδια την εφαρμογή ή από το χρήστη ή μπορεί να είναι παράμετροι, που χαρακτηρίζουν τους πόρους / κόμβους του πλέγματος. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζονται οι κατηγορίες των παραμέτρων οι οποίες αναλύονται στη συνέχεια (Σχήμα 4):



Σχήμα 4: Ταξινόμηση παραμέτρων ποιότητας υπηρεσίας

Οι παραπάνω κατηγορίες προκύπτουν ως συνέπεια της λογικής κατηγοριοποίησής τους, που σημαίνει ότι οι παράμετροι που ανήκουν στην ίδια κατηγορία έχουν κοινές ιδιότητες και είναι οι ακόλουθες:

- Παράμετροι εφαρμογής (application parameters). Σχετίζονται με την προσφερόμενη ποιότητα υπηρεσίας από την άποψη της εφαρμογής. Για παράδειγμα, ρυθμίζοντας ορισμένες παραμέτρους της εφαρμογής είναι δυνατόν να επηρεαστεί η διαθεσιμότητα (availability) του πόρου.
- Παράμετροι καθοριζόμενοι από χρήστη (user-defined parameters). Αποτελούν παραμέτρους που εκφράζουν τις απαιτήσεις / περιορισμούς του χρήστη που καταχωρεί το προς εκτέλεση application workflow. Συνήθως αποτελούν απαιτήσεις ή περιορισμούς σχετικά με το κόστος της όλης διαδικασίας ή σε σχέση με τη διαθεσιμότητα που πρέπει να προσφέρει ένας πόρος.
- Παράμετροι των πόρων (resource parameters). Αποτελούν τις παραμέτρους που σχετίζονται με όλα τα είδη πόρων, όπως υπολογιστικοί πόροι (computational resources), αποθηκευτικοί πόροι (storage resources) και πόροι δικτύου (network resources). Από την άποψη αυτή η διαδικτυακή υποδομή μπορεί να θεωρηθεί σαν ένα σύνολο αλληλεπιδρώντων πόρων που προσφέρουν ένα συγκεκριμένο επίπεδο ποιότητας υπηρεσίας.

### **3.4 Κατηγορίες απαιτήσεων**

Εκτός των παραμέτρων και της ταξινόμησής τους, οι χρήστες μπορούν επίσης να δηλώσουν τους περιορισμούς και τις προτιμήσεις τους. Αυτή η πρωτοποριακή άποψη παρέχει επιπρόσθετη αξία στη διαδικασία απεικόνισης ροών εργασίας καθώς η επιλογή γίνεται λαμβάνοντας υπόψη και τις προτιμήσεις του χρήστη. Προκειμένου να είναι αυτό εφικτό, προσδίδεται συντελεστής βαρύτητας στις παραμέτρους ποιότητας. Με βάση αυτό και θεωρώντας ως αρχικές ενδεικτικές παραμέτρους τη διαθεσιμότητα, το κόστος και το χρόνο εκτέλεσης προσδιορίζονται οι παρακάτω κατηγορίες απαιτήσεων.

#### **3.4.1 Απαιτήσεις για το Κόστος**

Όταν δημιουργείται η αφηρημένη ροή εργασίας, η υπηρεσία εύρεσης υπηρεσιών αναλαμβάνει να βρει τις κατάλληλες υποστάσεις υπηρεσιών (service

instances), που θα είναι υποψήφιες για να χρησιμοποιηθούν σε κάθε βήμα της αφηρημένης ροής εργασίας. Η προσφορά κάθε στιγμιότυπου υπηρεσίας χαρακτηρίζεται και από ένα συγκεκριμένο κόστος το οποίο λαμβάνεται υπόψη για την επιλογή του ή όχι. Το κόστος αυτό συνήθως εκφράζεται σε μία χρηματική ή νομισματική μονάδα (για παράδειγμα 10€). Υπάρχουν διάφορα είδη απαιτήσεων σε σχέση με το κόστος. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι αυτές οι απαιτήσεις θέτουν περιορισμό στο ποσό που θα ξοδευτεί, αλλά δεν αναφέρονται στο πώς θα γίνει διαχείριση του ποσού αυτού. Ο χρήστης μπορεί ίσως να ενδιαφέρεται για το πώς θα ξοδευτούν για παράδειγμα δε θα ήθελε να δώσει χρήματα για έναν πόρο τη στιγμή που υπάρχει αντίστοιχος πόρος που απαιτεί λιγότερα χρήματα. Σε αυτή την περίπτωση χρειάζεται μια επιπλέον παράμετρος η οποία θα συζητηθεί αργότερα. Ορισμένες κατηγορίες απαιτήσεων για το κόστος είναι:

- Απαίτηση ανώτερου συνολικού κόστους. Σε αυτή την περίπτωση ο χρήστης θέτει ένα ανώτατο όριο για το συνολικό κόστος το οποίο δεν πρέπει να ξεπεραστεί. Αν αθροιστούν τα κόστη, που χρειάζονται για τη χρήση των πόρων, δε θα πρέπει το ποσό που προκύπτει να είναι μεγαλύτερο από το ανώτατο αυτό όριο.
- Απαίτηση ανώτερου κόστους ανά υπηρεσία. Σε αυτή την περίπτωση ο χρήστης καθορίζει ένα ανώτατο όριο κόστους για κάθε τύπο υπηρεσίας. Το κόστος που απαιτεί η χρήση των υπηρεσιών, που θα επιλεγθούν για την εκτέλεση των επιμέρους τύπων υπηρεσιών, δε θα πρέπει να ξεπερνάει το κόστος που έχει οριστεί για κάθε τύπο υπηρεσίας.
- Αδιαφορία για το ύψος του κόστους. Σε αυτή την περίπτωση ο χρήστης δεν ενδιαφέρεται για το πόσα χρήματα θα ξοδέψει. Η τρίτη αυτή περίπτωση ισοδυναμεί ουσιαστικά με τις προηγούμενες περιπτώσεις αλλά θέτοντας ως ανώτατο όριο κόστους ένα πάρα πολύ μεγάλο ποσό.
- Επιλογή της φθηνότερης λύσης. Σε αυτή την περίπτωση θα πρέπει να επιλέγονται για κάθε τύπο υπηρεσίας οι υπηρεσίες με το μικρότερο κόστος.

### 3.4.2 Απαιτήσεις για τη Διαθεσιμότητα

Η διαθεσιμότητα δίνεται με τη μορφή ποσοστού (για παράδειγμα 50% διαθεσιμότητα). Κατηγορίες απαιτήσεων που έχουν σχέση με τη διαθεσιμότητα (availability) είναι:

- Απαίτηση κατώτερου ορίου στη διαθεσιμότητα για κάθε υπηρεσία. Στην περίπτωση αυτή απαιτείται από τις προσφορές, που υλοποιούν κάθε μία τύπο υπηρεσίας, να έχουν διαθεσιμότητα η οποία δε θα είναι μικρότερη από το όριο που έχει τεθεί.
- Απαίτηση κατώτερου ορίου στη διαθεσιμότητα του συνδυασμού όλων των υπηρεσιών. Σε αυτή την περίπτωση απαιτείται η συνδυασμένη διαθεσιμότητα των υπηρεσιών, που υλοποιούν κάθε τύπο υπηρεσίας, να μην είναι κατώτερη από το όριο που έχει τεθεί.
- Αντίστοιχα και με τις κατηγορίες για το κόστος μπορεί να θεωρηθεί και εδώ η επιπλέον περίπτωση να μη τίθεται κατώτερο όριο για τη διαθεσιμότητα. Αυτό ισοδυναμεί με τις προηγούμενες περιπτώσεις όπου το όριο της ελάχιστης διαθεσιμότητας τίθεται ίσο με 0%.
- Επιλογή της βέλτιστης διαθεσιμότητας. Σε αυτή την περίπτωση θα πρέπει να επιλέγονται για κάθε τύπο υπηρεσίας οι υπηρεσίες που προσφέρουν τη μεγαλύτερη διαθεσιμότητα.

### 3.4.3 Απαιτήσεις για το Χρόνο Εκτέλεσης

Αναφορικά με το χρόνο εκτέλεσης των εργασιών αναφέρεται στο χρόνο που οι πάροχοι δημοσιεύουν μέσω των συμβολαίων SLAs και μετριέται σε μονάδες χρόνου (για παράδειγμα 100 μονάδες χρόνου - ώρες). Οι κατηγορίες απαιτήσεων που έχουν σχέση με το χρόνο εκτέλεσης είναι οι εξής:

- Απαίτηση ανώτερου συνολικού χρόνου εκτέλεσης. Σε αυτή την περίπτωση ο χρήστης θέτει ένα ανώτατο όριο για το συνολικό χρόνο εκτέλεσης το οποίο δεν πρέπει να ξεπεραστεί. Αν αθροιστούν οι χρόνοι, που χρειάζονται για την εκτέλεση των υπηρεσιών που συμπεριλαμβάνονται σε μια ροή εργασίας, δε θα πρέπει να ξεπερνούν το ανώτατο αυτό όριο.
- Απαίτηση ανώτερου χρόνου ανά υπηρεσία. Σε αυτή την περίπτωση ο χρήστης καθορίζει ένα ανώτατο όριο χρόνου για κάθε τύπο υπηρεσίας. Ο χρόνος που

απαιτείται για την εκτέλεση των υπηρεσιών δε θα πρέπει να ξεπερνάει το χρόνο που έχει οριστεί για κάθε τύπο υπηρεσίας.

- Αδιαφορία για το συνολικό χρόνο εκτέλεσης. Σε αυτή την περίπτωση ο χρήστης δεν ενδιαφέρεται για το συνολικό χρόνο εκτέλεσης της ροής εργασίας. Η τρίτη αυτή περίπτωση ισοδυναμεί ουσιαστικά με τις προηγούμενες περιπτώσεις αλλά θέτοντας ως ανώτατο όριο χρόνου το άπειρο.
- Επιλογή του μικρότερου χρόνου εκτέλεσης. Σε αυτή την περίπτωση θα πρέπει να επιλέγονται για κάθε τύπο υπηρεσίας οι υπηρεσίες με το μικρότερο χρόνο εκτέλεσης ώστε ο συνολικός χρόνος εκτέλεσης που θα προκύψει για τη ροή εργασίας να είναι ο μικρότερος δυνατός.

### 3.4.4 Κατηγορίες Απαιτήσεων για όλες τις Παραμέτρους

Συνοπτικά οι κατηγορίες απαιτήσεων για όλες τις προαναφερθέντες παραμέτρους είναι οι ακόλουθες:

- Κατώφλια / Όρια. Σε αυτή την περίπτωση, ο χρήστης ορίζει κατώφλια στις τιμές των παραμέτρων. Αυτό σημαίνει ότι το συνολικό κόστος δεν πρέπει να υπερβεί έναν προκαθορισμένο προϋπολογισμό, ότι η διαθεσιμότητα πρέπει να είναι τουλάχιστον σε ένα συγκεκριμένο επίπεδο (εκφρασμένο με ποσοστιαία τιμή) και ότι πρέπει να τηρηθεί μια χρονική προθεσμία. Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι τα όρια μπορεί να ισχύουν ταυτόχρονα για μια ή περισσότερες παραμέτρους.
- Βελτιστοποίηση διαθεσιμότητας. Σε αυτή την περίπτωση, η επιλογή των υπηρεσιών γίνεται με την παραδοχή ότι ο κύριος παράγοντας επιλογής είναι η παράμετρος διαθεσιμότητάς τους και λόγω αυτού η αντιστοίχιση των ροών εργασίας γίνεται σε υπηρεσίες πλέγματος με τις υψηλότερες τιμές διαθεσιμότητας.
- Βελτιστοποίηση κόστους. Σε αυτή την περίπτωση, το κόστος των υπηρεσιών είναι ο κύριος παράγοντας κατά τη διαδικασία επιλογής. Το αποτέλεσμα της αντιστοίχισης είναι μια συγκεκριμένη ροή εργασίας (concrete workflow) που επιτυγχάνει το μικρότερο συνολικό κόστος.
- Βελτιστοποίηση χρόνου. Όμοια με τη διαθεσιμότητα και τη βελτιστοποίηση του κόστους, η επιλογή των υπηρεσιών γίνεται σε σχέση με το χρόνο

εκτέλεσής τους προκειμένου να επιτευχθεί ο μικρότερος δυνατός συνολικός χρόνος εκτέλεσης για τη ροή εργασίας.

- Βέλτιστη λύση. Σε αυτή την περίπτωση, οι συντελεστές βαρύτητας για τις τρεις (3) παραμέτρους είναι ίσοι και οι υπηρεσίες που επιλέγονται προσφέρουν τη βέλτιστη τιμή διαθεσιμότητας και χρόνου εκτέλεσης για το αντίστοιχο κόστος τους.

### **3.5 Η Έννοια Των Στρατηγικών Εξαρτήσεων στις Ροές Εργασίας**

Όπως είδαμε στην ενότητα 1.2, τα πλέγματα τα τελευταία χρόνια γνώρισαν αρκετές φάσεις εξέλιξης. Ξεκινώντας ως μια τεχνολογία η οποία αρχικά περιοριζόταν στα στενά όρια μιας επιχείρησης ή ενός ερευνητικού οργανισμού, το τελευταίο χρονικό διάστημα έχουμε μια επέκταση της τεχνολογίας σε τομείς που ως τότε ήταν εκτός σκοπιάς. Η πρώτη φάση επέκτασης ήταν τα Partner Grids, όπου πολλές επιχειρήσεις, παρατηρώντας τα οφέλη που τα ως τότε χρησιμοποιούμενα Enterprise Grids έφεραν στην χρησιμοποίηση του σταθερού εξοπλισμού τους, προσπάθησαν να τα επεκτείνουν σε όλο το δίκτυο των συνεργατών τους. Με τον τρόπο αυτό, εάν ένας συνεργάτης διέθετε πλεονάζοντες υπολογιστικούς πόρους τότε μπορούσε να τους διαθέσει σε άλλους συνεργαζόμενους φορείς και έτσι να πετύχει μεγαλύτερη χρησιμοποίηση του εξοπλισμού του. Η προσέγγιση αυτή είναι συμφέρουσα για κάθε εμπλεκόμενο καθώς κάθε συμμετέχοντας αποκτά της δυνατότητα να χρησιμοποιεί υπολογιστικούς πόρους των συνεργατών του όταν τους χρειάζεται με μόνη υποχρέωση την παραχώρηση των δικών του πόρων όταν αυτοί δεν χρησιμοποιούνται.

Η αμοιβαία αυτή παραχώρηση υπολογιστικών πόρων μεταξύ συνεργατών ήταν το πρώτο ψήγμα της επερχόμενης γενιάς των Open Grids. Μέσα από αυτή την ανταλλαγή υπολογιστικών πόρων, σύντομα έγινε κατανοητό ότι αν το σχήμα αυτό επεκταθεί σε παγκόσμια κλίμακα φεύγοντας από τα στενά όρια των συνεργατών μιας επιχείρησης, τότε τα οφέλη μεγεθύνονται χωρίς ορατά μειονεκτήματα. Σε ένα παγκόσμιο Open Grid, καθένας μπορεί να παρέχει τους υπολογιστικούς πόρους που διαθέτει και δεν χρησιμοποιεί σε όποιον ενδιαφέρεται για την χρήση τους. Το αντάλλαγμα που μπορεί να λάβει είναι η δυνατότητα χρήσης του ίδιου συστήματος όταν ο ίδιος το χρειάζεται ή ακόμα και η άμεση χρηματική αποζημίωση για την παροχή της υπηρεσίας. Με τον τρόπο αυτό, η νέα γενιά των Ανοιχτών Πλεγμάτων οδηγεί στην δημιουργία μιας αγοράς υπολογιστικής ισχύος, η οποία θα περιγράφεται από συγκεκριμένους κανόνες και πρακτικές.

Η επέκταση αυτή της τεχνολογίας των πλεγμάτων σε παγκόσμιο επίπεδο εισάγει μερικές ενδιαφέρουσες πτυχές οι οποίες δεν ήταν παρούσες στις προηγούμενες γενιές «κλειστών» πλεγμάτων μέσα σε επιχειρήσεις ή οργανισμούς. Σε έναν κόσμο όπου η υπολογιστική ισχύς θα εισάγεται στο σύστημα από διάφορους παρόχους, δεν είναι καθόλου σίγουρο ότι οι πάροχοι αυτοί θα επιθυμούν την

αρμονική τους συνεργασία. Ο χρήστης ενός τέτοιου συστήματος πάντα θα αναζητά έναν συνδυασμό παρόχων υπολογιστικών πόρων οι οποίοι θα είναι σε θέση να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις του όσο το δυνατόν καλύτερα. Όπως είδαμε στις προηγούμενες παραγράφους τις συγκεκριμένης ενότητας, υπάρχουν ποσοτικά μέτρα που περιγράφουν τόσο τις απαιτήσεις που ένας χρήστης μπορεί να έχει όσο και τις προσφορές υπηρεσιών των παρόχων. Με βάση τις συγκεκριμένες περιγραφές απαιτήσεων χρήστη και προσφορών υπηρεσιών, η παρούσα γενιά middleware μπορεί και δημιουργεί concrete workflows που εκτελούν με δεδομένες απαιτήσεις ποιότητας υπηρεσίας το abstract workflow που ο χρήστης εισάγει.

Για να γίνει όμως ένα τέτοιο σύστημα πραγματικά καθολικό πρέπει να είναι σε θέση να αναπαραστήσει και να εκμεταλλευτεί την ύπαρξη συνεργασιών των παρόχων υπηρεσιών. Όσο το πλέγμα παρέμενε περιορισμένο στα στενά όρια ενός οργανισμού, τότε η υπόθεση ότι κάθε πάροχος υπηρεσίας δίνει την ίδια υπηρεσία σε κάθε περίπτωση ήταν ασφαλής. Σε ένα παγκόσμιο όμως σύστημα μερικοί πάροχοι μπορεί να βρίσκονται σε στενότερη συνεργασία μεταξύ τους από ότι άλλοι και έτσι να αλλάζουν τις παραμέτρους ποιότητας των προσφερόμενων υπηρεσιών τους ανάλογα με τις επιλογές του χρήστη. Η αλλαγή αυτή των παραμέτρων ποιότητας των παρεχόμενων υπηρεσιών ορισμένων παρόχων ανάλογα με τις επιλογές του χρήστη ονομάζεται *Στρατηγική Εξάρτηση* και η ύπαρξη τους μπορεί να επιδρά άμεσα στον μηχανισμό επιλογής υποστάσεων υπηρεσιών ενός συστήματος πλέγματος.

Για να γίνει καλύτερα κατανοητό το παραπάνω, παρουσιάζεται στην συνέχεια μια αναλογία των Στρατηγικών Εξαρτήσεων στην υπάρχουσα αγορά των τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών. Όταν κανείς θέλει να αγοράσει τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες, συνήθως διαθέτει μια σειρά από επιλογές παρόχων για καθεμία από αυτές. Έτσι ένας καταναλωτής μπορεί να επιλέξει έναν πάροχο σταθερής τηλεφωνίας, έναν δεύτερο πάροχο κινητής τηλεφωνίας και έναν τρίτο πάροχο υπηρεσιών πρόσβασης στο Internet. Η επιλογή του αυτή συνήθως βασίζεται σε αντικειμενικά κριτήρια που έχουν να κάνουν με την ποιότητα των υπηρεσιών των παρόχων σε συνδυασμό με το κόστος τους. Έτσι ο καταναλωτής θα μπορούσε να επιλέξει απλώς τον φθηνότερο πάροχο για κάθε υπηρεσία ή να κάνει μια πιο σύνθετη επιλογή ανάλογα με την αξιοπιστία και το κόστος των παρεχόμενων υπηρεσιών. Στη πραγματική όμως τηλεπικοινωνιακή αγορά, όπως και σε κάθε άλλη αγορά, οι πάροχοι των διαφόρων υπηρεσιών βρίσκονται συχνά σε στρατηγικές εξαρτήσεις μεταξύ τους. Έτσι η επιλογή ενός παρόχου σταθερής τηλεφωνίας μπορεί να κάνει μια συνεργαζόμενη εταιρία

κινητής τηλεφωνίας να δώσει ένα της προϊόν στον συγκεκριμένο πελάτη σε φθηνότερη τιμή. Με την ίδια λογική, μια ανταγωνιστική εταιρία υπηρεσιών Internet, καθώς έχει όφελος από το να εκτοπίσει τους ανταγωνιστές της, θα μπορούσε να αυξήσει την τιμή ενός πολύ ανταγωνιστικού της προϊόντος αν ο χρήστης επιλέξει μια υπηρεσία από κάποιον ανταγωνιστικό συνασπισμό. Έτσι η επιλογή του χρήστη δεν είναι πάντα απλή καθώς αν θέλει να εντοπίσει το απολύτως καλύτερο συνδυασμό παρόχων πρέπει να λάβει υπόψη του τις συγκεκριμένες στρατηγικές εξαρτήσεις.

Η αναλογία των κόσμων των υπολογιστικών πλεγμάτων είναι άμεση. Ένας μηχανισμός απεικόνισης ενός workflow εφαρμογής σε ένα concrete workflow που θα οδηγηθεί προς εκτέλεση στο πλέγμα δεν μπορεί να αγνοήσει τέτοιες εξαρτήσεις. Οι εξαρτήσεις αυτές είναι κοινός τόπος σε οποιαδήποτε άλλη ανταγωνιστική αγορά και έτσι είναι σίγουρο πως θα εμφανιστούν και στις υπηρεσίες πλέγματος όταν αυτές αρχίσουν να χρησιμοποιούνται από πολλούς διαφορετικούς φορείς. Στόχος λοιπόν ενός άριστου μηχανισμού απεικόνισης θα ήταν να εκμεταλλευτεί όλες τις πιθανές στρατηγικές εξαρτήσεις μεταξύ των παρόχων υπηρεσιών ώστε να οδηγηθεί σε ένα τελικό πλάνο εκτέλεσης που να είναι ακόμα πιο αποδοτικό για τον χρήστη των υπηρεσιών του πλέγματος.

# 4

## Αλγόριθμος Απεικόνισης Δυναμικών Ροών Εργασίας

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται το μοντέλο και ο μηχανισμός απεικόνισης δυναμικών ροών εργασίας σε υπηρεσίες πλέγματος με στόχο την παροχή ποιότητας υπηρεσιών και την εκμετάλλευση πιθανών Στρατηγικών Εξαρτήσεων. Γίνεται προσδιορισμός του προβλήματος και προτείνεται ένας αλγόριθμος για την προαναφερθείσα απεικόνιση ενώ παράλληλα περιγράφεται ένα σχήμα δημιουργίας περισσότερων ροών εργασίας προς όφελος του τελικού χρήστη.

### **4.1 Παρούσα Κατάσταση – Σχετικές Εργασίες**

Με στόχο την εξασφάλιση παροχής ποιότητας υπηρεσίας με τη χρήση μηχανισμών απεικόνισης ροών εργασίας, υπάρχουν διάφορες προσεγγίσεις για τον τρόπο διαχείρισης των πληροφοριών σχετικά με την προσφερθείσα ποιότητα. Στις βιβλιογραφικές αναφορές [24] και [25] περιγράφονται οι αλγόριθμοι OLB, UDA, Suffrage, GSA, Tabu κλπ με βασικό στόχο το μικρότερο δυνατό άνοιγμα, όπου λαμβάνεται υπόψη μόνο η απόδοση του συστήματος αλλά δεν συνυπολογίζεται η απαίτηση του χρήστη για ποιότητα υπηρεσιών.

Στις αναφορές [26] και [27] παρουσιάζονται τρεις αλγόριθμοι όπου χρησιμοποιούνται δυο παράμετροι – κόστος και χρόνος εκτέλεσης – προκειμένου να εκφραστεί η διάσταση της ποιότητας υπηρεσιών. Αυτές οι παράμετροι χρησιμοποιούνται στην υλοποίηση ενός μηχανισμού επιλογής, που αναφέρεται σε εφαρμογές που αποτελούνται από παραμετρικές διαδικασίες που είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους αναφορικά με τη σειρά εκτέλεσής τους. Ο πρώτος αλγόριθμος

ελαχιστοποιεί το κόστος, ο δεύτερος ελαχιστοποιεί το κόστος σε σχέση με το χρόνο και ο τρίτος είναι γενικός και δεν στοχεύει στη βελτιστοποίηση κάποιας παραμέτρου αλλά εκχωρεί στους "φθηνότερους" κόμβους έναν αριθμό εργασιών που είναι αντιστρόφως ανάλογος ως προς το χρόνο που χρειάζεται κάθε κόμβος για την ολοκλήρωση μιας εργασίας.

Παρόμοια, στην αναφορά [28] περιγράφεται ένας αλγόριθμος χρονοπρογραμματισμού που λαμβάνει υπόψη δυο (2) κύριες παραμέτρους (κόστος και χρόνο). Περιλαμβάνονται τέσσερις προσαρμόσιμοι αλγόριθμοι χρονοπρογραμματισμού με περιορισμούς ως προς το χρόνο εκτέλεσης και το κόστος. Αυτοί οι αλγόριθμοι χρησιμοποιούνται για τη βελτιστοποίηση του κόστους – στα πλαίσια των περιορισμών χρόνου και προϋπολογισμού, για τη βελτιστοποίηση του χρόνου – στα πλαίσια των περιορισμών χρόνου και προϋπολογισμού, για συντηρητική βελτιστοποίηση του χρόνου – στα πλαίσια των περιορισμών χρόνου και προϋπολογισμού και για τη βελτιστοποίηση κόστους και χρόνου – στα πλαίσια των περιορισμών χρόνου και προϋπολογισμού.

Επίσης, στην αναφορά [29] παρουσιάζεται ένας τρόπος διαχείρισης της ποιότητας υπηρεσίας μιας ροής εργασίας και μέθοδοι πρόβλεψης, ανάλυσης και παρακολούθησης της ποιότητας. Γίνεται εκτίμηση της ποιότητας για συγκεκριμένα μεγέθη - χρόνος, κόστος και αξιοπιστία - με τη χρήση δυο μεθόδων: ανάλυσης και προσομοίωσης. Σε αυτή την περίπτωση η διαχείριση των παραμέτρων γίνεται μεμονωμένα, όπως στις αναφορές [26] και [27], και όχι με συνδυασμένο τρόπο ενώ η συνολική αξιολόγηση προκύπτει από τις επιμέρους εργασίες, γεγονός που καθιστά την παροχή ποιότητας υπηρεσιών για όλη τη ροή εργασίας ανέφικτη καθώς η αξιολόγηση θα έπρεπε να πραγματοποιείται με αντίστροφο τρόπο.

Στις αναφορές [30] και [31] προτείνονται ορισμένοι αλγόριθμοι χρονοπρογραμματισμού βελτιστοποίησης με τον περιορισμό του χρόνου και του κόστους στο μοντέλο Nimrod-G. Το Nimrod-G είναι βασισμένο στους όρους της αγοράς σύστημα χρονοπρογραμματισμού και διαχείρισης πόρων για περιβάλλοντα πλέγματος [31]. Επιπλέον ενσωματώνει το πρόγραμμα Libra το οποίο χρησιμοποιεί έναν χρονοπρογραμματιστή για τον υπολογισμό συστάδων (cluster) [32]. Υποστηρίζει περιορισμούς χρονοπροθεσμίας και προϋπολογισμού που ορίζονται από το χρήστη για τη ρύθμιση της παροχής και ζήτησης πόρων στο πλέγμα με αξιοποίηση των υπηρεσιών ανταλλαγής πόρων GRACE (Grid Architecture for Computational

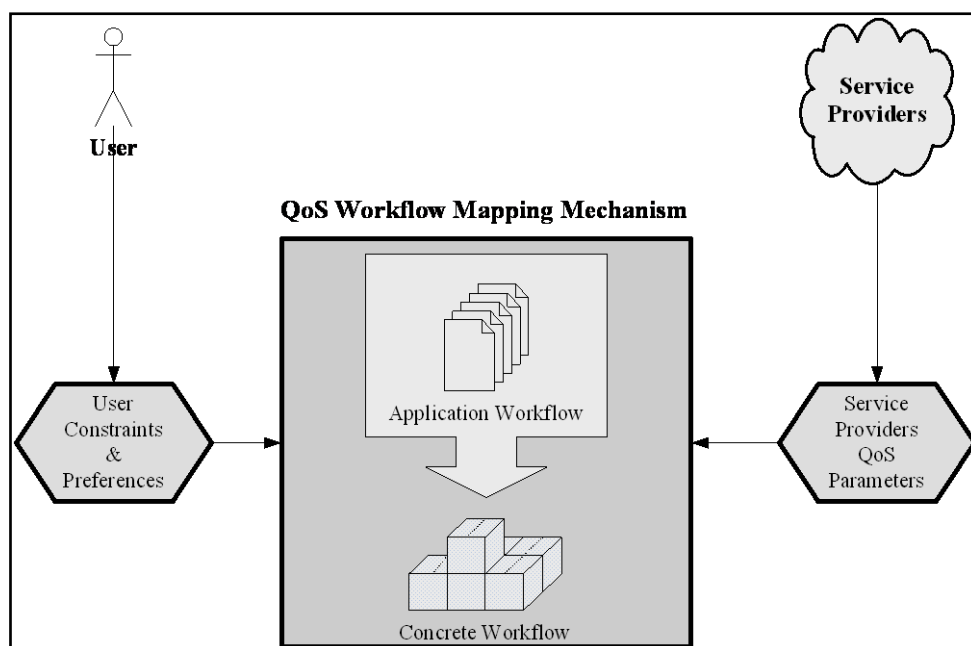
Economy) [33], [34]. Το Nimrod-G [35] επιτρέπει στους χρήστες να παραχωρούν και να συναθροίζουν υπηρεσίες πόρων ανάλογα με τη διαθεσιμότητα, τη δυναμικότητα, την απόδοση και το κόστος τους καθώς και τις απαιτήσεις του χρήστη για ποιότητα υπηρεσίας. Το DAGMan [36] είναι ένα σύνολο βιβλιοθηκών C που δίνει στο χρήστη δυνατότητα χρονοπρογραμματισμού υπηρεσιών με βάση σχέσεις εξάρτησης. Το DAGMan είναι μέρος του έργου Condor και επεκτείνει το *Condor Job Scheduler* (μηχανισμός χρονοπρογραμματισμού εργασιών Condor) προκειμένου να διαχειρίζεται εξαρτήσεις μεταξύ εργασιών. Όπως υποδηλώνεται από το όνομά του, το DAGMan απεικονίζει ένα σύνολο εξαρτήσεων εργασιών ως κατευθυντικό ακυκλικό γράφημα. Χρησιμοποιεί το DAG ως δομή δεδομένων για την απεικόνιση των εξαρτήσεων των εργασιών. Άλλες ενδιαφέρουσες εργασίες με θέμα τους αλγορίθμους επιλογής και χρονοπρογραμματισμού παρουσιάζονται στις αναφορές [37] και [38], όπου στην πρώτη οι συγγραφείς παρουσιάζουν έναν ευρετικό αλγόριθμο χρονοπρογραμματισμού εργασιών με περιορισμούς στην ποιότητα υπηρεσίας, ενώ η δεύτερη διαχειρίζεται το πρόβλημα χρονοπρογραμματισμού κατανεμημένων εργασιών σε πλέγματα με χρήση πολλών ταυτόχρονων αιτημάτων. Παράλληλα στη βιβλιογραφία [39], [40] και [41] συναντώνται θέματα που αφορούν στην πρόβλεψη του χρόνου εκτέλεσης εργασιών και χρησιμοποιούνται για τη δρομολόγηση και την παροχή ποιότητας υπηρεσίας. Τέλος, έχουν υλοποιηθεί μηχανισμοί που ενσωματώνουν πολιτικές χρονοδρομολόγησης με παράλληλη εκτίμηση κόστους όπως αναφέρεται στις [42], [43] και [44].

Η διαφορά μεταξύ των συστημάτων που παρουσιάζονται σε αυτή την ενότητα και του μηχανισμού που αναπτύχθηκε και παρουσιάζεται στη συνέχεια έγκειται στο ότι τα συστήματα που παρουσιάστηκαν παραπάνω αναφέρονται στην επιλογή υπηρεσιών και κόμβων με βάση τις παραμέτρους της ποιότητας υπηρεσίας αντιμετωπίζοντας μόνο τις ειδικές περιπτώσεις ελαχιστοποίησης μιας από τις παραμέτρους ενώ παράλληλα όλες οι παράμετροι έχουν τον ίδιο συντελεστή βαρύτητας. Επιπρόσθετα αν και οι δυνατότητες πολλών συστημάτων είναι αξιόλογες [45], [46], σε κανένα από αυτά δεν γίνεται χρήση πιθανών Στρατηγικών Εξαρτήσεων για την περεταίρω βελτίωση της τελικής απεικόνισης. Στο μηχανισμό που παρουσιάζεται στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, οι παράμετροι που εκφράζουν την ποιότητα υπηρεσίας αντιμετωπίζονται και με συνδυασμένο τρόπο, εισάγεται η περίπτωση όπου ο χρήστης ορίζει τις προτιμήσεις του και επομένως μια

από τις παραμέτρους μπορεί να παίζει σημαντικότερο ρόλο στη διαδικασία επιλογής (της εκχωρείται συντελεστής βαρύτητας) ενώ τέλος, γίνεται χρήση των Στρατηγικών Εξαρτήσεων που πιθανόν υπάρχουν ώστε να προκύψει ένα ακόμη καλύτερο τελικό αποτέλεσμα.

## **4.2 Μηχανισμός Απεικόνισης Δυναμικών Ροών Εργασίας και Επιλογής Υπηρεσιών Πλέγματος**

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ο σκοπός των μηχανισμών απεικόνισης δυναμικών ροών εργασίας και επιλογής υπηρεσιών πλέγματος για διαχείριση της προσφερθείσας ποιότητας υπηρεσίας είναι ο προσδιορισμός και η περιγραφή των διαδικασιών που πρέπει να ολοκληρωθούν προκειμένου να οριστεί η συγκεκριμένη ροή εργασίας (concrete workflow) με δεδομένα τη ροή εργασίας μιας εφαρμογής (application workflow) καθώς και τις παραμέτρους και τις προτιμήσεις της ποιότητας υπηρεσίας. Κάθε ροή εργασίας περιλαμβάνει τύπους υπηρεσιών που μπορούν να εκτελεστούν από ένα σύνολο υπηρεσιών (υποψήφιος), οι οποίες συνοδεύονται από πληροφορίες σχετικά με την παρεχόμενη ποιότητα υπηρεσίας εκφρασμένες με συγκεκριμένες παραμέτρους (όπως αυτές περιγράφηκαν στην ενότητα 3.3). Ο μηχανισμός απεικόνισης της ροής εργασίας επιτρέπει την επιλογή των υποστάσεων υπηρεσιών (υποψηφίων) για κάθε τύπο υπηρεσίας με βάση τη ροή εργασίας της εφαρμογής (application workflow), τους περιορισμούς και τις προτιμήσεις του χρήστη καθώς και τις παραμέτρους QoS για κάθε υπηρεσία. Τα δεδομένα εισόδου του προαναφερθέντος μηχανισμού παρουσιάζονται στο σχήμα που ακολουθεί (Σχήμα 5) και αναλύονται στη συνέχεια:



Σχήμα 5: Συνοπτική παρουσίαση μηχανισμού απεικόνισης ροών εργασίας

- Ροή εργασίας εφαρμογής με πληροφορίες Ταξινόμησης, που υποδηλώνουν ποιος από τους τύπους υπηρεσιών παίζει σημαντικότερο ρόλο στη ροή εργασίας. Αυτός ο παράγοντας πρέπει να συμπεριληφθεί στη ροή εργασίας της εφαρμογής η οποία παρέχεται από τους σχεδιαστές της εφαρμογής (για παράδειγμα ποια υπηρεσία είναι υψηλότερης σημασίας: μετακίνηση περισσότερων δεδομένων ή χρόνος εκτέλεσης) καθώς υποδηλώνει τη σειρά εκτέλεσης των τύπων υπηρεσιών. Το τελικό αποτέλεσμα αυτού του βήματος είναι η κατασκευή της αφηρημένης ροής εργασίας (abstract workflow), με τις διαθέσιμες υπηρεσίες ανά τύπο υπηρεσίας.
- Περιορισμοί και προτιμήσεις Ποιότητας Υπηρεσιών που ορίζονται από το χρήστη. Ένα σύνολο περιορισμών (για παράδειγμα κατώφλια / όρια σε συγκεκριμένες τιμές των παραμέτρων) μαζί με πιθανές προτιμήσεις του χρήστη, που αποδίδουν ένα συντελεστή βαρύτητας στις παραμέτρους ποιότητας και αναλύονται μέσα στο μηχανισμό απεικόνισης της ροής εργασίας.
- Πληροφορίες Ποιότητας Υπηρεσιών για τις υπηρεσίες πλέγματος. Κάθε υπηρεσία ενός τύπου υπηρεσιών συνοδεύεται από πληροφορίες ποιότητας (παραμέτρους) που θα χρησιμοποιηθούν κατά τη διαδικασία επιλογής, όπως αυτές δημοσιεύονται από τους παρόχους των υπηρεσιών. Στις πληροφορίες

αυτές εντάσσονται και οι Στρατηγικές Εξαρτήσεις, δηλαδή πως αλλάζουν οι παραπάνω παράμετροι ποιότητας ανάλογα με την επιλογή άλλων παρόχων.

### **4.3 Προσδιορισμός του Προβλήματος και Λύση**

Στις παραγράφους που ακολουθούν γίνεται προσδιορισμός του προβλήματος επιλογής υπηρεσιών και απεικόνισης ροών εργασίας σε υπηρεσίες που προσφέρονται από περιβάλλοντα πλέγματος καθώς και παρουσίαση της λύσης αυτού.

#### **4.3.1 Αντικατάσταση Διαθεσιμότητας, Χρόνου και Κόστους από ένα Κοινό Μέγεθος**

Το πρόβλημα που καλείται να επιλύσει ένας μηχανισμός απεικόνισης ροών εργασίας και επιλογής υπηρεσιών παρουσιάζει πολλές ομοιότητες με την κατηγορία προβλημάτων εύρεσης του συντομότερου μονοπατιού (shortest path problem). Σε αυτή την περίπτωση κρίνεται χρήσιμη η αντικατάσταση του κόστους χρήσης ενός πόρου, του χρόνου εκτέλεσης και της διαθεσιμότητας που προκύπτει για αυτόν από ένα κοινό μέγεθος. Λόγω αυτού απαιτείται ο υπολογισμός του λόγου του κόστους και χρόνου προς τη διαθεσιμότητα που ουσιαστικά αντιστοιχεί στο κόστος και το χρόνο ανά μονάδα διαθεσιμότητας για κάθε υποψήφια υπηρεσία πλέγματος. Ο λόγος αυτός θα αποτελεί οδηγό για την επιλογή μεταξύ δύο υπηρεσιών ίδιου τύπου. Προφανώς ανάμεσα σε δύο στιγμιότυπα υπηρεσίας θα πρέπει να επιλέγεται αυτό με το μικρότερο κόστος και χρόνο εκτέλεσης ανά μονάδα διαθεσιμότητας (εφόσον βέβαια δεν υπάρχουν συγκεκριμένες προτιμήσεις για τις παραπάνω παραμέτρους όπως περιγράφηκε στην ενότητα 4.3 και επομένως να επιτυγχάνεται η μεγαλύτερη δυνατή διαθεσιμότητα με το μικρότερο δυνατό κόστος και χρόνο εκτέλεσης ενώ παράλληλα θα πρέπει να τηρούνται τα όρια του χρήστη για τις παραμέτρους.

Βασικό κριτήριο θα πρέπει να είναι η διαθεσιμότητα καθώς εάν μια υπηρεσία δεν ικανοποιεί το όριο για τη διαθεσιμότητα, τότε θα επιλέγεται κάποιο άλλη ακόμη και αν ο λόγος της νέας επιλογής είναι μεγαλύτερος από αυτόν την αρχικής. Αντίστοιχα, εάν η επιλογή μιας υπηρεσίας οδηγεί σε παραβίαση του περιορισμού συνολικού κόστους, θα πρέπει να επιλεγεί κάποια άλλη ώστε ο περιορισμός να ικανοποιείται ακόμη και αν ο λόγος κόστος και χρόνος / διαθεσιμότητα την καθιστά λιγότερο συμφέρουσα.

#### **4.3.2 Ανάγκη Τροποποίησης του Λόγου Κόστους και Χρόνου / Διαθεσιμότητα**

Μέχρι στιγμής έχει γίνει αναλυτική αναφορά στο κόστος, στο χρόνο και στη διαθεσιμότητα ως παραμέτρους για την επιλογή των υπηρεσιών. Εκτός όμως από τις παραπάνω παραμέτρους υπάρχει και μια ακόμη που αφορά στο εάν ενδιαφέρει το χρήστη περισσότερο το κόστος, ο χρόνος εκτέλεσης ή η διαθεσιμότητα. Για παράδειγμα, μπορεί να είναι επιθυμητό να δοθεί περισσότερο βάρος στην εύρεση μιας λύση χαμηλού κόστους ακόμη και αν υπάρχουν αναλογικά σημαντικές αρνητικές επιπτώσεις στη διαθεσιμότητα. Δηλαδή είναι δυνατόν ο χρήστης να προτιμά να έχει μια οικονομικότερη λύση με μικρότερη διαθεσιμότητα, αντί μιας λιγότερο οικονομικής λύσης για την επιλογή και χρήση μιας υπηρεσίας ακόμη και αν αυτή προσφέρει τέτοια διαθεσιμότητα, ώστε ο λόγος κόστους και χρόνου / διαθεσιμότητα να είναι μικρότερος.

Βάσει των παραπάνω είναι προφανές ότι ο απλός λόγος κόστους και χρόνου προς τη διαθεσιμότητα είναι ανεπαρκής για να εκφράσει την επιπλέον παράμετρο ως προτίμηση του χρήστη. Επομένως θα πρέπει να τροποποιηθεί ώστε να είναι δυνατόν να ικανοποιούνται και αυτή η επιπλέον παράμετρος του ενδιαφέροντος για το κόστος, το χρόνο εκτέλεσης και τη διαθεσιμότητα.

#### **4.3.3 Τροποποιημένος Λόγος Κόστους και Χρόνου / Διαθεσιμότητα**

Σε συνέχεια των προηγούμενων, ο τροποποιημένος λόγος κόστους και χρόνου / διαθεσιμότητα προκύπτει από την πρόσθεση των παραμέτρων για το κόστος, το χρόνο εκτέλεσης και τη διαθεσιμότητα, οι οποίες θα λειτουργούν ως βάρη για τα αντίστοιχα μεγέθη. Τα βάρη αυτά θα μεταβάλλονται ανάλογα με το εάν ο χρήστης εκφράσει ενδιαφέρον για το κόστος, το χρόνος ή τη διαθεσιμότητα. Επίσης θα πρέπει να μεταβάλλονται και σύμφωνα με το ύψος του κόστους, του χρόνου και της διαθεσιμότητας. Σκοπός είναι με τη μεταβολή των παραμέτρων να προσαρμόζεται ο λόγος έτσι ώστε να αντανakλά τις πραγματικές προτιμήσεις. Βάσει αυτών, ο λόγος γίνεται:

$$\frac{(f_{Cost} * Cost) * (f_{Time} * Time)}{f_{Availability} * Availability}$$

Το βάρος  $f_{\text{Cost}}$  είναι αυτό που μεταβάλλει το κόστος, το βάρος  $f_{\text{Time}}$  αυτό που μεταβάλλει το χρόνο και το βάρος  $f_{\text{Availability}}$  αυτό που μεταβάλλει τη διαθεσιμότητα. Με το ανωτέρω εννοούμε ότι τελικά το κόστος, ο χρόνος ή αντίστοιχα η διαθεσιμότητα, που θα συμμετέχει στον αρχικό τύπο, θα παρουσιάζεται τροποποιημένο σε σχέση με το αυθεντικό. Δηλαδή το βάρος  $f_{\text{Cost}}$  θα ενισχύει τη συμβολή του κόστους στη διαμόρφωση του λόγου, με αποτέλεσμα στο τελικό κλάσμα να εμφανίζεται ένα πλασματικό κόστος. Αντίστοιχα και τα βάρη  $f_{\text{Time}}$  και  $f_{\text{Availability}}$  θα ενισχύουν τη συμβολή του χρόνου εκτέλεσης και της διαθεσιμότητας στη διαμόρφωση του λόγου, με αποτέλεσμα στο τελικό κλάσμα να εμφανίζεται ένας πλασματικός-τροποποιημένος χρόνος ή διαθεσιμότητα. Το μέγεθος της ενίσχυσης και για τα τρία (3) μεγέθη θα εξαρτάται από δύο παράγοντες:

- Για ποιο από τα μεγέθη έχει εκφράσει μεγαλύτερο ενδιαφέρον ο χρήστης. Εάν για παράδειγμα έχει εκφράσει για το κόστος θα πρέπει το βάρος  $f_{\text{Cost}}$  να τείνει να ενισχύσει το κόστος περισσότερο απ' ό,τι τα βάρη  $f_{\text{Time}}$  και  $f_{\text{Availability}}$  θα τείνουν να ενισχύσουν το χρόνο και τη διαθεσιμότητα αντίστοιχα.
- Την τιμή του κάθε μεγέθους. Αυτό σημαίνει ότι για παράδειγμα εάν υπάρχουν δύο προσφορές, από τις οποίες η μία έχει μεγαλύτερο κόστος από την άλλη, τότε η ενίσχυση που θα εισάγει το  $f_{\text{Cost}}$  θα είναι διαφορετική για το κάθε κόστος. Ουσιαστικά όσο μεγαλύτερο είναι το κόστος τόσο μεγαλύτερη θα πρέπει να είναι και η ενίσχυση. Αντίστοιχα το ίδιο ισχύει και στην περίπτωση του χρόνου εκτέλεσης και της διαθεσιμότητας.

#### 4.3.4 Η Συνάρτηση Μετατροπής

Με βάση όσα αναφέρθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο είναι προφανές ότι τα βάρη  $f_{\text{Cost}}$ ,  $f_{\text{Time}}$  και  $f_{\text{Availability}}$  δεν έχουν σταθερή τιμή αλλά αποτελούν συναρτήσεις, για τις οποίες πρέπει να καθοριστούν οι μεταβλητές και τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά τους (για παράδειγμα αν θα είναι αύξουσες, ποιοι θα είναι οι σταθεροί όροι που θα περιλαμβάνουν κ.α.). Θα πρέπει στο σημείο αυτό να σημειωθεί ότι δεν υπάρχει μια συγκεκριμένη συνάρτηση που να μοντελοποιεί πιστά τον τρόπο με τον οποίο ο χρήστης αντιμετωπίζει το κόστος, το χρόνο ή τη διαθεσιμότητα, καθώς εμπλέκεται το υποκειμενικό στοιχείο. Παρόλα αυτά είναι δυνατόν όμως να δημιουργηθούν συναρτήσεις που δίνουν αρκετά ικανοποιητικά αποτελέσματα, όσον

αφορά το πώς η προτίμηση στα προαναφερθέντα μεγέθη επηρεάζει τελικά το λόγο τους.

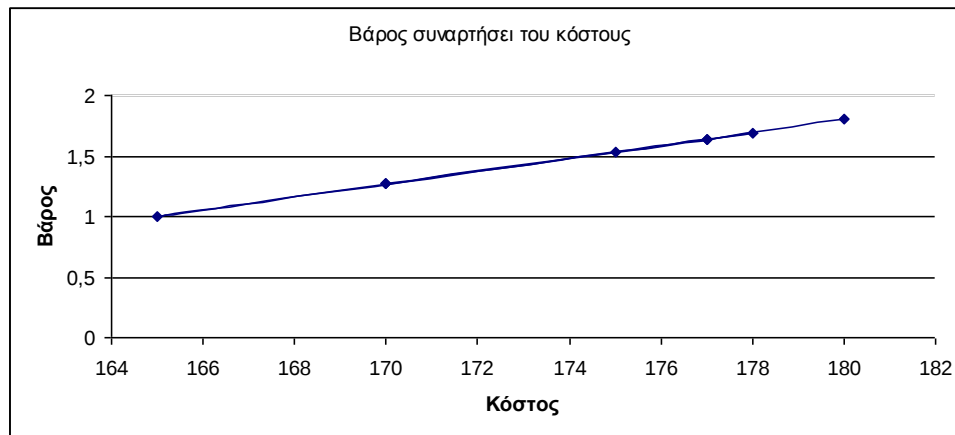
Στη συνέχεια παρουσιάζεται η γενική μορφή της συνάρτησης με την οποία προκύπτουν τα  $f_{Cost}$ ,  $f_{Time}$  και  $f_{Availability}$ , τα χαρακτηριστικά της οποίας είναι:

- Η συνάρτηση  $f_{Cost}$  έχει ως μεταβλητές το κόστος της προσφοράς και το  $CostSlope$  που σχετίζεται με το ενδιαφέρον του χρήστη για το κόστος. Αντίστοιχα οι συναρτήσεις  $f_{Time}$  και  $f_{Availability}$  έχουν ως μεταβλητές το χρόνο εκτέλεσης και τη διαθεσιμότητα της προσφοράς και τα μεγέθη  $TimeSlope$  και  $AvailabilitySlope$  που θα σχετίζεται με το ενδιαφέρον για το χρόνο και τη διαθεσιμότητα αντίστοιχα.
- Πεδίο ορισμού για το κόστος, το χρόνο και τη διαθεσιμότητα. Λόγω της φύσης των υπηρεσιών πλέγματος το κόστος είναι δυνατόν να είναι μόνο θετικό καθώς δεν υπάρχουν προσφορές υπηρεσίας με αρνητικό κόστος. Όσον αφορά το χρόνο και τη διαθεσιμότητα, επίσης όπως και το κόστος, είναι δυνατόν να έχουν μόνο θετικές τιμές, με τη διαθεσιμότητα να λαμβάνει τιμές που έχουν ως άνω όριο το 100, καθώς έχει ήδη αναφερθεί ότι η διαθεσιμότητα υπολογίζεται σε μονάδες επί τοις εκατό.
- Οι συναρτήσεις  $f_{Cost}$ ,  $f_{Time}$  και  $f_{Availability}$  θα πρέπει να είναι αύξουσες συναρτήσεις. Αυτό στην περίπτωση του κόστους σημαίνει ότι μεγάλες τιμές κόστους θα τείνουν να γίνουν πολύ μεγαλύτερες από όσο τείνουν οι μικρές τιμές κόστους. Το αντίστοιχο ισχύει και για το χρόνο και τη διαθεσιμότητα. Έστω ότι έχουμε μια γραμμική συνάρτηση, τότε ένα παράδειγμα γραφικής παράστασης, που αναπαριστά το βάρος που αντιστοιχεί σε κάθε κόστος υπηρεσίας εμφανίζεται στην επόμενη σελίδα (Σχήμα 6).

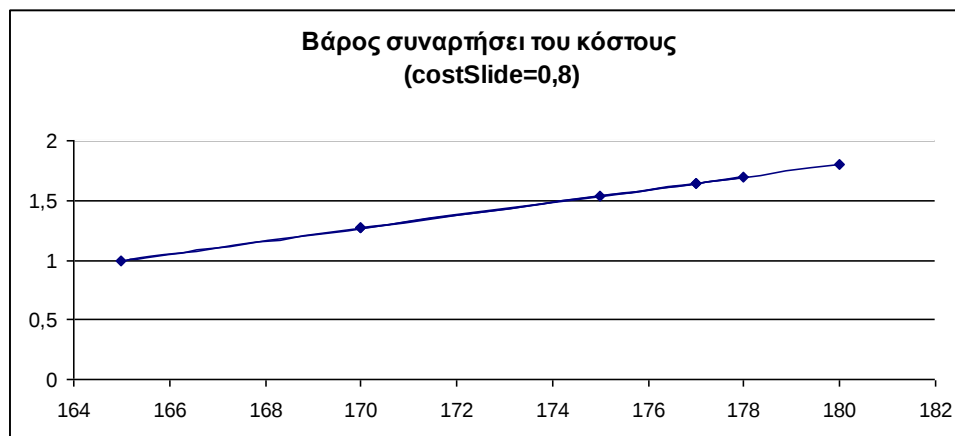
Το διάγραμμα αφορά τα βάρη που αντιστοιχούν στα κόστη των προσφορών για μια υπηρεσία και είναι ενδεικτικό, όπου φαίνεται ότι σε μεγαλύτερο κόστος αντιστοιχεί και μεγαλύτερο βάρος. Αυτό σημαίνει ότι όσο μεγαλύτερο είναι το κόστος, τόσο ακόμη μεγαλύτερο θα είναι το πλασματικό κόστος που αντιλαμβάνεται ο χρήστης. Αντίστοιχα ισχύουν και για το χρόνο και τη διαθεσιμότητα.

Οι αυξητικές τάσεις της συνάρτησης θα πρέπει να καθορίζονται από το ενδιαφέρον για το κόστος ( $CostSlope$ ), τη διαθεσιμότητα ( $AvailabilitySlope$ ) και το χρόνο ( $TimeSlope$ ). Αυτό σημαίνει ότι η καθεμία από τις παραπάνω

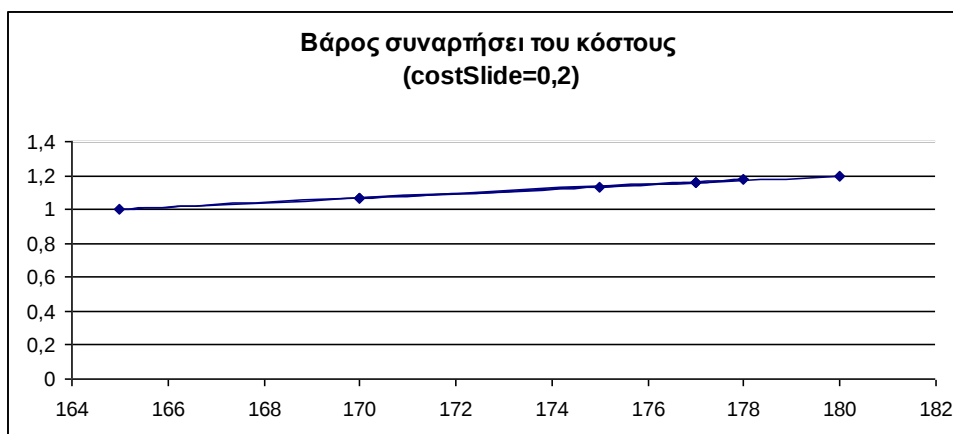
παραμέτρους θα πρέπει να διατηρείται αν γίνει παραγωγή της αντίστοιχης συνάρτησης. Επίσης όσο μεγαλύτερη τιμή έχει, τόσο μεγαλύτερη θα πρέπει να είναι και η αυξητική τάση της συνάρτησης. Χρησιμοποιώντας πάλι ενδεικτικά την παραπάνω γραμμική συνάρτηση, στην περίπτωση του κόστους παρουσιάζονται στη συνέχεια οι μεταβολές για δύο διαφορετικές τιμές του CostSlope στα Σχήματα 7 και 8:



Σχήμα 6: Γραφική αναπαράσταση μεταβολής κόστους



Σχήμα 7: Γραφική αναπαράσταση μεταβολής κόστους για συντελεστή βάρους ίσο με 0.8



**Σχήμα 8:** Γραφική αναπαράσταση μεταβολής κόστους για συντελεστή βάρους ίσο με 0.2

Από τα παραπάνω φαίνεται ότι όταν το CostSlope είναι μικρότερο, δηλαδή το ενδιαφέρον για το κόστος είναι μικρό, τότε το βάρος που αντιστοιχεί σε κάθε κόστος είναι μικρότερο από αυτό που αντιστοιχεί, όταν το ενδιαφέρον για το κόστος είναι μεγαλύτερο. Αντίστοιχα ισχύουν και για το χρόνο και τη διαθεσιμότητα.

- Όπως έχει ήδη αναφερθεί οι προτιμήσεις του χρήστη εκφράζονται ως τιμή κλίσης (slope factors) για τις παραμέτρους QoS που αφορούν τη διαθεσιμότητα, το κόστος και το χρόνο τα CostSlope, TimeSlope και AvailabilitySlope θα πρέπει να συνδέονται με κάποια σχέση. Η σχέση αυτή μπορεί να διαφέρει αναλόγως με τη μορφή της συνάρτησης (για παράδειγμα αν είναι της μορφής  $y=ax$  ή  $y=ax^2$ ), θα πρέπει όμως σε κάθε περίπτωση να δείχνει ότι αύξηση ενός εκ των μεγεθών προκαλεί μείωση των άλλων. Επομένως:

$$AvailabilitySlope + CostSlope + TimeSlope \leq a$$

όπου  $a$  μη μηδενικός θετικός αριθμός. Στο μηχανισμό που αναπτύχθηκε το  $a$  τέθηκε ίσο με 3, ενώ θα μπορούσε να είναι κάποιος άλλος μεγαλύτερος αριθμός οπότε οι ακραίες τιμές για τα CostSlope, TimeSlope και AvailabilitySlope θα μεγάλωναν, δίνοντας τη δυνατότητα για ακόμη πιο αυξητικές τάσεις στις συναρτήσεις. Τελικά, πάντως, η επιλογή της τιμής της σταθεράς  $a$  μπορεί να διαφέρει ανάλογα με τη μορφή της συνάρτησης  $f_{Cost}$ ,  $f_{Time}$  και  $f_{Availability}$  ενώ μπορεί να είναι παραμετρική οριζόμενη από το χρήστη.

- Επιπρόσθετα θα πρέπει η συνάρτηση να λαμβάνει υπόψη και τις διαφορές μεταξύ των τιμών καθώς για παράδειγμα στην περίπτωση του κόστους δεν έχει σημασία κατά την επιλογή των υπηρεσιών το ύψος του κόστους καθαυτό, αλλά η σχέση μεταξύ των κοστών των προσφορών. Αντίστοιχα ισχύουν και για το χρόνο εκτέλεσης και τη διαθεσιμότητα. Αυτό επιτυγχάνεται με την αντικατάσταση της μεταβλητής της συνάρτησης, με τον τύπο:

$$x' = \frac{x - \min}{\max - \min}$$

όπου  $\max$  είναι το μέγιστο κόστος, χρόνος ή διαθεσιμότητα που συναντάται στις προσφορές για την υπηρεσία που εξετάζεται και  $\min$  το ελάχιστο. Υπάρχει επιπλέον η επιλογή να προστεθεί στον παρονομαστή ένας πολύ μικρός θετικός όρος που θα προστίθεται έτσι ώστε να αποφευχθεί ο μηδενισμός του παρονομαστή στην περίπτωση που  $\max$  και  $\min$  είναι το ίδιο (κάτι που βέβαια είναι πολύ δύσκολο να συμβεί). Επίσης, επειδή κατά τον υπολογισμό του βάρους που αντιστοιχεί στην ελάχιστη διαθεσιμότητα, μηδενίζεται ο αριθμητής και επομένως όλοι οι όροι της συνάρτησης που περιλαμβάνουν τον ανωτέρω τύπο, θα πρέπει να υπάρχει και ένας σταθερός όρος στη συνάρτηση έτσι ώστε να αποφεύγεται ο μηδενισμός της και στη συνέχεια κατά τον υπολογισμό του τροποποιημένου λόγου κόστους και χρόνου / διαθεσιμότητα να αποφεύγεται η διαίρεση με το 0. Τα παραπάνω αποφεύγονται καθώς η τελικές συναρτήσεις προκύπτουν εκθετικά των παραπάνω μεγεθών όπως παρουσιάζονται αναλυτικά στη συνέχεια:

$$F_{Availability}(x) = \exp\left(AvailabilitySlope * \frac{x - MinAvailabilityValue}{MaxAvailabilityValue - MinAvailabilityValue}\right)$$

$$F_{Cost}(x) = \exp\left(CostSlope * \frac{x - MinCostValue}{MaxCostValue - MinCostValue}\right)$$

$$F_{Time}(x) = \exp\left(TimeSlope * \frac{x - MinTimeValue}{MaxTimeValue - MinTimeValue}\right)$$

όπου  $x$  είναι η τιμή της διαθεσιμότητας, του κόστους και του χρόνου για κάθε υπηρεσία και  $MinCostValue$ ,  $MinAvailabilityValue$ ,  $MinTimeValue$ ,

MaxCostValue, MaxAvailabilityValue και MaxTimeValue είναι οι ελάχιστες και οι μέγιστες τιμές αυτών των τριών ενδεικτικών παραμέτρων

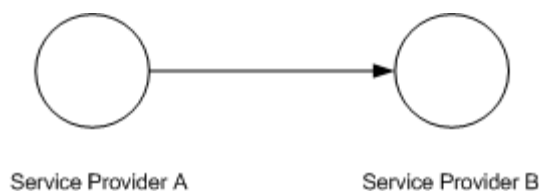
Οι παραπάνω συναρτήσεις σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν αποδεικνύεται ότι δεν είναι μοναδικές. Η μορφή των συναρτήσεων και οι τιμές των σταθερών όρων που αυτές περιέχουν μπορούν να αποτελέσουν περαιτέρω αντικείμενο έρευνας. Προέκυψαν ως αποτέλεσμα έρευνας και δοκιμών και λειτουργούν παρέχοντας ικανοποιητικά αποτελέσματα όπως παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 5

#### **4.4 Επίδραση των Στρατηγικών Εξαρτήσεων**

Όπως περιγράφει η ενότητα 3.5, η ύπαρξη των στρατηγικών εξαρτήσεων αλλάζει αρκετά την βέλτιστη λύση στο πρόβλημα της εύρεσης του καλύτερου πλάνου εκτέλεσης ενός application workflow. Ο βασικός στόχος τους προτεινόμενου αλγόριθμου είναι να σχηματίσει ένα κατάλληλο μέτρο της ποιότητας των στρατηγικών εξαρτήσεων ενός παρόχου υπηρεσίας. Στη συνέχεια, προωθώντας στην διαδικασία επιλογής αυτούς τους παρόχους που διαθέτουν πολύ ποιοτικές στρατηγικές εξαρτήσεις και μπορεί να επηρεάσουν θετικά πολλούς άλλους κόμβους, το τελικό αποτέλεσμα είναι πολύ πιθανόν να βελτιωθεί. Σαν αποτέλεσμα, ο προτεινόμενος αλγόριθμος εφαρμόζει μια ευριστική προσέγγιση ελπίζοντας ότι με το να προωθεί στην διαδικασία επιλογής όσους παρόχους επηρεάζουν θετικά αρκετούς άλλους παρόχους ενώ ταυτόχρονα αποφεύγει όσους μειώνουν τις επιδόσεις άλλων θα καταλήξει σε μια καλύτερη τελική ανάθεση εργασιών. Φυσικά, σύμφωνα με όσα έχουν αναφερθεί στις προηγούμενες παραγράφους, ο αλγόριθμος στοχεύει στην επιλογή των παρόχων που όχι μόνο ικανοποιούν ορισμένα επίπεδα ποιότητας υπηρεσίας για το μικρότερο δυνατό κόστος αλλά μοντελοποιεί και την επιθυμία του χρήστη για την βελτίωση κάθε μιας από τις παραμέτρους ποιότητας. Εκφράζοντας λοιπόν τόσο τις εξαρτήσεις ανάμεσα στους παρόχους όσο και τις επιθυμίες του χρήστη, ο αλγόριθμος προσπαθεί να προτείνει το καλύτερο δυνατό concrete workflow για τις εργασίες που του ανατίθενται από τις εφαρμογές του χρήστη.

#### 4.4.1 Μοντελοποίηση των Στρατηγικών Εξαρτήσεων

Ένα από τα βασικά θέματα που πρέπει να διερευνηθεί είναι το πώς μοντελοποιούνται οι στρατηγικές εξαρτήσεις στον χώρο των παρόχων υπηρεσίας. Η προτεινόμενη λύση παρατηρεί τις στρατηγικές εξαρτήσεις από μια εξωτερική προοπτική, καθώς εστιάζει στο πώς η επιλογή ενός παρόχου υπηρεσίας επηρεάζει τους άλλους παρόχους. Με τον τρόπο αυτό, κάθε στρατηγική εξάρτηση μοντελοποιείται σαν μια κατευθυνόμενη ακμή στον γράφο του προβλήματος που ξεκινά από τον πάροχο υπηρεσίας A και καταλήγει στον πάροχο υπηρεσίας B. Πηγή της ακμής είναι ο πάροχος ο οποίος προκαλεί την εξάρτηση και προορισμός είναι ο πάροχος ο οποίος αλλάζει τις παραμέτρους υπηρεσίας του σε αντίδραση την επιλογή της πηγής.



**Σχήμα 9: Μια στρατηγική εξάρτηση μεταξύ δύο παρόχων υπηρεσίας**

Στο παράδειγμα του σχήματος 9, ο πάροχος υπηρεσίας A προκαλεί μια αλλαγή στις παραμέτρους ποιότητας του παρόχου B και η κατάσταση αυτή αναπαρίσταται ως μια ακμή από τον κόμβο A στον κόμβο B. Σε περίπτωση που η επιλογή του παρόχου B επηρεάζει με την σειρά της τις τιμές του παρόχου A, τότε απαιτείται η ύπαρξη και δεύτερης ακμής αντίστροφης κατεύθυνσης.

Ο παραπάνω τρόπος μοντελοποίησης χαρακτηρίζεται σαν «εξωτερικός» καθώς τοποθετεί τον κόμβο που προκαλεί την εξάρτηση, αντί για αυτόν που επηρεάζεται, στο κέντρο της προσοχής. Στον χώρο των παρόχων υπηρεσιών, οι πάροχοι που επηρεάζουν πολλούς άλλους παρόχους θα εμφανίζονται σαν πηγές πολλών ακμών και σαν αποτέλεσμα η συνολική τους επίδραση μπορεί να εκτιμηθεί. Η αντίθετη αντίληψη, το να ξεκινούν όλες οι ακμές από τους επηρεαζόμενους παρόχους, έχει το μειονέκτημα από μεταφέρει το επίκεντρο της προσοχής μακριά από τους παρόχους που μπορούν να επηρεάσουν αλλήλους και δεν είναι κατάλληλη για έναν ευριστικό αλγόριθμο που λαμβάνει αποφάσεις ανάλογα με την βέλτιστη δυνατή μελλοντική βελτίωση.

Ένας περιορισμός ο οποίος πρέπει να υπογραμμιστεί στο σημείο αυτό είναι το ότι όλες οι στρατηγικές εξαρτήσεις πρέπει να αναφέρονται σε παρόχους διαφορετικών υπηρεσιών. Μια στρατηγική εξάρτηση, είτε θετική είτε αρνητική, δεν έχει νόημα μεταξύ δύο παρόχων της ίδιας υπηρεσίας καθώς οι πάροχοι αυτοί δεν πρόκειται ποτέ να επιλεγούν ταυτόχρονα στο τελικό concrete workflow.

#### 4.4.2 Επιρροή Στρατηγικής Εξάρτησης

Το πιο σημαντικό κομμάτι για την επιτυχία κάθε ευριστικού αλγορίθμου είναι ο σχεδιασμός της ευριστικής συνάρτησης. Επιθυμώντας να κατασκευάσουμε μια συνάρτηση η οποία χαρακτηρίζει την επιρροή ενός παρόχου υπηρεσίας, χρειαζόμαστε σε πρώτη φάση έναν τρόπο έκφρασης της επιρροής μιας συγκεκριμένης στρατηγικής εξάρτησης. Σε αυτή την ενότητα προτείνεται ένα μέτρο το οποίο χαρακτηρίζει διάφορες εκφράσεις της επιρροής μιας στρατηγικής εξάρτησης σε μια προσπάθεια να αναπαραστήσει κάθε της πτυχή, σχετική η απόλυτη. Το μέτρο αυτό αποτελείται από 3 διακριτές συνιστώσες επιρροής: την επιρροή στο κόστος, στον χρόνο εκτέλεσης και στην διαθεσιμότητα υπηρεσίας. Τα 3 αυτά μέτρα προκύπτουν από τις ακόλουθες εξισώσεις.

Συμβολίζουμε:

$$SRI_{cost/time/availability}(\text{trigger, affected, levels})$$

σαν ένα μέτρο της επιρροής μιας στρατηγικής εξάρτησης (Strategic Relationship Influence, SRI) όπου:

-*trigger*: ο πάροχος υπηρεσίας που προκαλεί την στρατηγική εξάρτηση.

-*affected*: ο πάροχος υπηρεσίας που αλλάζει τις ποιοτικές του παραμέτρους.

-*levels*: το σύνολο των διεργασιών πάνω στις οποίες μετράμε την επιρροή

Το μέτρο SRI αποτελείται από δύο προσθετέους, με τον καθένα να αναπαριστά δύο διακριτά μέρη της επιρροής μιας στρατηγικής εξάρτησης:

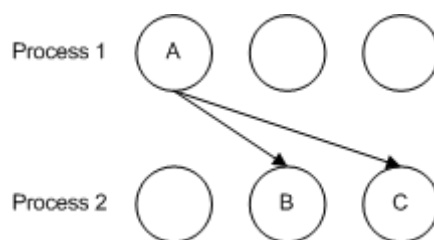
$$\begin{aligned} SRI(\text{trigger, affected, levels}) \\ = \text{Immediate Influence}(\text{trigger, affected}) \\ + \text{Future Influence}(\text{affected, levels}) \end{aligned}$$

Οι όροι αυτοί αναλύονται λεπτομερώς στις δύο επόμενες υποενότητες. Σημειώνεται τέλος πως σε όλες τις επόμενες ενότητες, το μέτρο SRI μαζί με αυτά που θα παρουσιαστούν στη συνέχεια πρέπει να υπολογίζονται για κάθε παράμετρο ποιότητας

υπηρεσίας με τον ίδιο ακριβώς τρόπο, εκτός και αν υπάρχει ρητή σημείωση για το αντίθετο.

#### 4.4.2.1 Άμεση Επιρροή

Ο πρώτος προσθετός του μέτρου SRI που ορίζεται στη παρούσα ενότητα είναι η Άμεση Επιρροή (Immediate Influence). Η επιρροή αυτή ορίζεται ως το πραγματικό πλεονέκτημα ή μειονέκτημα που κερδίζει ένας πάροχος υπηρεσίας από την επιλογή του παρόχου που προκαλεί την εξάρτηση. Η Άμεση Επιρροή ορίζεται σε όρους επίδρασης στις παραμέτρους ποιότητας υπηρεσίας. Είναι απαραίτητο να λαμβάνει υπόψη κατά τον υπολογισμό της όχι μόνο τις ρητές αλλαγές των αρχικών τιμών του παρόχου αλλά και να εκφράζει την δυναμική των ίδιων των αρχικών του τιμών.



**Σχήμα 10: Υπολογίζοντας την Άμεση Επιρροή διαφορετικών Στρατηγικών Εξαρτήσεων**

Στο παραπάνω παράδειγμα, ο πάροχος υπηρεσίας A επηρεάζει και τον πάροχο B και τον πάροχο C. Καθώς θέλουμε να μετρήσουμε την Άμεση Επιρροή κάθε εξάρτησης, το πρώτο πρόβλημα που πρέπει να λάβουμε υπόψη μας είναι πόσο κάθε πάροχος αλλάζει τις παραμέτρους ποιότητας της υπηρεσίας του. Επιπρόσθετα, μια απλή μέτρηση της αλλαγής δεν είναι αρκετή καθώς μπορεί να δώσει εσφαλμένη αντίληψη για την πραγματική επιρροή της εξάρτησης. Στο παραπάνω παράδειγμα οι δύο εξαρτήσεις μπορεί να βελτιώνουν τους δύο παρόχους με το ίδιο ακριβώς ποσό και έτσι οι δύο εξαρτήσεις (προς B και C) να φαίνονται εξίσου σημαντικές. Στη πραγματικότητα όμως, ο πάροχος C ίσως να είναι ένας αρκετά κακός πάροχος με αποτέλεσμα η βελτίωση σε αυτόν να είναι αδιάφορη σε σχέση με μια ισόποση βελτίωση σε έναν ήδη αποδοτικό πάροχο όπως π.χ. τον B.

Από τα παραπάνω, συμβολίζουμε σαν I.I. την Άμεση Επιρροή (Immediate Influence) μιας στρατηγικής εξάρτησης και έχουμε:

$$I_{cost/time} = \frac{Old\ Value - New\ Value}{Old\ Value} e^{Slope \frac{Max\ Value - Old\ Value}{Max\ Value - Min\ Value}}$$

ενώ

$$I_{availability} = \frac{New\ Value - Old\ Value}{Old\ Value} e^{Slope \frac{Old\ Value - Min\ Value}{Max\ Value - Min\ Value}}$$

όπου:

-Value είναι η τιμή της αντίστοιχης παραμέτρου ποιότητας για την οποία υπολογίζουμε το μέτρο..

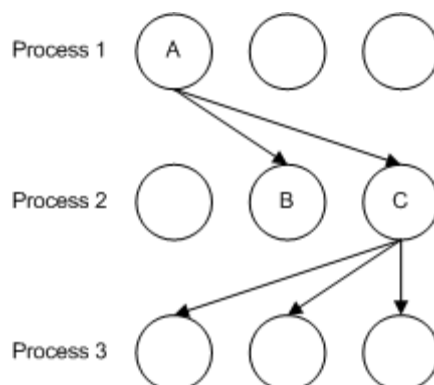
-Minimum and Maximum τιμες αναφέρονται στις τιμές των αντιστοίχων παραμέτρων ποιότητας μέσα σε ένα τύπο υπηρεσίας

Ο πρώτος κλασματικός παράγοντας αναπαριστά την σχετική αλλαγή των τιμών μιας παραμέτρου ποιότητας υπηρεσίας. Όσο καλύτερη είναι αυτή η αλλαγή τόσο μεγαλύτερο είναι το όφελος από την συγκεκριμένη στρατηγική εξάρτηση. Ο δεύτερος παράγοντας έχει διπλό ρόλο. Ο πρώτος ρόλος είναι να ενισχύσει τις τιμές του μέτροι I.I. για όσους παρόχους είναι ήδη πολύ κοντά στους καλύτερους ενός τύπου υπηρεσίας. Ο δεύτερος είναι να εκφράσουν το ενδιαφέρον του χρήστη για κάποια συγκεκριμένη παράμετρο ποιότητας πολλαπλασιάζοντάς με ένα παράγοντα κλίσης τον οποίο αναλύσαμε στην προηγούμενη ενότητα. Επισημαίνεται στο σημείο αυτό πως η εκθετική συνάρτηση επιτυγχάνει να δώσει πολύ υψηλότερες τιμές I.I. στους ήδη αποδοτικούς παρόχους και έτσι ένας μη αποδοτικός πάροχος πρέπει να βελτιώσει πάρα πολύ τις τιμές του για να αντιμετωπίσει μικρές μειώσεις από ήδη αποδοτικούς παρόχους. Η διαφοροποίηση τέλος μεταξύ των τύπων υπολογισμού του κόστους/χρόνου και της διαθεσιμότητας προέρχεται από το γεγονός ότι καλύτερες τιμές διαθεσιμότητας είναι οι υψηλές, σε αντίθεση με ότι συμβαίνει με το κόστος και τον χρόνο.

Οι τιμές που μπορεί να λάβει το μέτρο της Άμεσης Επιρροής είναι θετικές όταν η παράμετρος ποιότητας βελτιώνεται και αρνητικές σε διαφορετική περίπτωση. Όταν μια παράμετρος μένει ανεπηρέαστη από μια εξάρτηση τότε το μέτρο μηδενίζεται. Επιπρόσθετα, αλλαγές σε κρίσιμους παρόχους υπηρεσίας αναπαρίσταται με μεγάλες απόλυτες τιμές Άμεσης Επιρροής, θετικές για βελτιώσεις και αρνητικές για το αντίθετο.

#### 4.4.2.2 Μελλοντική Επιρροή

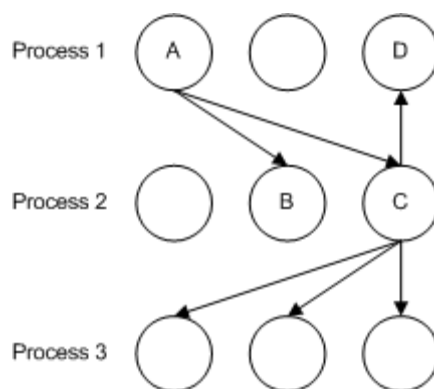
Σύμφωνα με την προηγούμενη ενότητα, κατά τον υπολογισμό του SRI, το πρώτο και βασικό είδος επιρροής που πρέπει να λάβουμε υπόψη μας είναι η Άμεση. Δυστυχώς, η επιρροή αυτή δεν είναι ικανοποιητική για την πλήρη περιγραφή της επίδραση μιας στρατηγικής συνεργασίας σε ένα σύνολο από διαφορετικούς τύπους υπηρεσίας.



**Σχήμα 11: Μια Στρατηγική Εξάρτηση με Μελλοντική Επιρροή**

Το παραπάνω σχήμα προσθέτει στο σχήμα 9 ένα νέο τύπο υπηρεσίας τον οποίο παρέχουν 3 νέοι πάροχοι. Συνεχίζουμε να θέλουμε να υπολογίσουμε το SRI για τις εξαρτήσεις από τον πάροχο A στον παρόχους B και C. Ας υποθέσουμε ότι ο B και C είναι δύο ταυτόσημοι πάροχοι όπου βελτιώνουν την υπηρεσία τους ακριβώς με τον ίδιο τρόπο. Σαν αποτέλεσμα, οι τιμές I.I. της Άμεσης Επιρροής θα είναι ταυτόσημες. Σε μια δευτερη ματιά στον γράφο που σχηματίζεται, μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι η εξάρτηση A-C είναι στην πραγματικότητα καλύτερη, όχι λόγω άμεσης βελτίωσης τους επηρεαζόμενου κόμβου αλλά σε όρους μελλοντικού κέρδους. Εάν όλοι οι πάροχοι στον τύπο υπηρεσίας 3 βελτιώνουν τις προσφερόμενες παραμέτρους ποιότητας τότε το συνολικό SRI για την εξάρτηση A-C πρέπει να είναι μεγαλύτερο από αυτό της σχέσης A-B. Η Μελλοντική Επιρροή μιας στρατηγικής εξάρτησης προσπαθεί να αναπαραστήσει αυτή ακριβώς την επίδραση.

Το πρώτο πρόβλημα που πρέπει να επιλυθεί κατά τον υπολογισμό της Μελλοντικής Επιρροής μιας στρατηγικής εξάρτησης είναι το ποιες μελλοντικές στρατηγικές εξαρτήσεις πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά τον υπολογισμό.



**Σχήμα 12: Μια αδιάφορη εξάρτηση για τον υπολογισμό της Μελλοντικής Επιρροής**

Το σχήμα 12 επαναλαμβάνει τον χώρο των τύπων υπηρεσίας του σχήματος 11 προθέτοντας μια νέα σχέση από τον πάροχο C στον πάροχο D. Η ερώτηση που τίθεται είναι: πρέπει να ληφθεί υπόψη η εξάρτηση C-D κατά τον υπολογισμό της Μελλοντικής Επιρροής της εξάρτησης A-C; Η απάντηση είναι όχι. Η Μελλοντική Επιρροή της εξάρτησης A-C θέλει να αναπαραστήσει το περαιτέρω δυναμικό της εξάρτησης σε περίπτωση που ο πάροχος A επιλεγεί από τον αλγόριθμο. Σαν αποτέλεσμα, το γεγονός ότι ο πάροχος C μπορεί να βελτιώσει κάποιον άλλο πάροχο στον τύπο υπηρεσίας 1 είναι αδιάφορο στην εξάρτηση A-C καθώς αυτή απαιτεί την επιλογή του παρόχου A στον συγκεκριμένο τύπο υπηρεσίας. Επιπρόσθετα, οποιαδήποτε εξάρτηση υπάρχει με παρόχους άλλων τύπων υπηρεσιών όπου ο αλγόριθμος έχει ήδη κάνει την επιλογή του και πάλι αγνοείται στον υπολογισμό καθώς δεν μπορεί να επηρεάσει τον αλγόριθμο επιλογής στο μέλλον. Ο κανόνας αυτός έχει μια και μοναδική εξαίρεση στην περίπτωση όπου ο επηρεαζόμενος κόμβος έχει ήδη επιλεγεί από τον αλγόριθμο οπότε και πρέπει να προσμετρήσουμε την εξάρτηση.

Η Μελλοντική Επιρροή δεν περιορίζεται σε ένα επίπεδο. Αντίθετα, οποιοσδήποτε από τους παρόχους του τύπου υπηρεσίας 3 θα μπορούσε με τη σειρά του να έχει ενδιαφέρουσες επιρροές τις οποίες πρέπει να λάβουμε υπόψη. Αυτές οι εξαρτήσεις σε μετέπειτα τύπους υπηρεσίας φυσικά έχουμε μειούμενο ενδιαφέρον και η επίδρασή τους πρέπει να μειώνεται σταδιακά. Ακόμη, καθώς υπολογίζεται η μελλοντική επίδραση σε μετέπειτα επίπεδα, όλες οι επιλογές παρόχων σε τύπους υπηρεσιών που προηγούνται πρέπει να θεωρούνται δεδομένες. Στο παραπάνω παράδειγμα, υποθέτουμε ότι καθένας από τους παρόχους του τύπου υπηρεσίας 3 έχει

στρατηγικές εξαρτήσεις με ένα νέο τύπο υπηρεσίας 4. Θέλουμε και πάλι να υπολογίσουμε το SRI της εξάρτησης A-C. Κατά τον υπολογισμό της Μελλοντικής Επιρροής των παρόχων του τύπου 3, οι επιλογές των παρόχων για τους τύπους 1 και 2 πρέπει να θεωρούνται δεδομένες και λαμβάνονται υπόψη μόνο οι εξαρτήσεις από τον τύπο 3 στον τύπο 4. Οι παραπάνω περιορισμοί εγγυώνται ότι ο υπολογισμός της Μελλοντικής Επιρροής θα τερματίσει μετά από τόσες επαναλήψεις όσες ο τρέχον αριθμός των ενεργών τύπων υπηρεσίας.

Ένα άλλο ενδιαφέρον ζήτημα που προκύπτει από τον υπολογισμό της Μελλοντικής Επιρροής μιας στρατηγικής εξάρτησης είναι το πώς μπορεί να συνοψίσει τη μελλοντική επιρροή ενός παρόχου με πολλαπλές μελλοντικές εξαρτήσεις. Στο ανωτέρω παράδειγμα, ακριβώς αυτό το ζήτημα εμφανίζεται στον πάροχο C κατά την υπολογισμό του SRI της στρατηγικής εξάρτησης A-C. Αυτός ο πάροχος έχει 3 ενδιαφέρουσες στρατηγικές εξαρτήσεις μερικές εκ των οποίων μπορεί να είναι ευεργετικές ενώ άλλες μπορεί να αποδειχθούν επιβλαβείς. Επιπρόσθετα, σε ένα ευρύτερο παράδειγμα ένας μικρός αριθμός εξαρτήσεων μπορεί να είναι πολύ αρνητικός ενώ η μεγάλη πλειοψηφία των υπόλοιπων εξαρτήσεων είναι θετική. Σε μια τέτοια κατάσταση η συνολική Μελλοντική Επιρροή δεν πρέπει να συνθλιβεί υπό το βάρος των λίγων πολύ αρνητικών εξαρτήσεων αλλά πρέπει να αντικατοπτρίζει το γεγονός ότι η μεγάλη πλειοψηφία των εξαρτήσεων του παρόχου είναι ευεργετική.

Ολοκληρώνοντας, το τελευταίο ζήτημα που πρέπει να διερευνηθεί είναι το ειδικό βάρος που έχει η Μελλοντική Επιρροή μιας στρατηγικής συνεργασίας σε σχέση με την Άμεση. Στο προηγούμενο παράδειγμα, ας υποθέσουμε ότι οι πάροχοι B και C έχουν ταυτόσημες αρχικές παραμέτρους ποιότητας υπηρεσίας. Ακόμη, η στρατηγική εξάρτηση A-B είναι έντονα επωφελής για τον πάροχο B ενώ η εξάρτηση A-C δεν βελτιώνει παρά ελάχιστα τον πάροχο C. Το πρόβλημα που εμφανίζεται αφορά την σύγκριση μιας σχέσης με υψηλή Άμεση Επιρροή όπως η A-B με μια σχέση με περιορισμένη Άμεση αλλά υψηλή Μελλοντική Επιρροή. Με άλλα λόγια, το ερώτημα που πρέπει να απαντηθεί είναι το πότε η Μελλοντική Επιρροή είναι αρκετά σημαντική ώστε να μπορεί να συγκριθεί με την Άμεση. Η απάντηση σε αυτό το πρόβλημα πηγάζει από την παρατήρηση ότι όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των πιθανών στρατηγικών εξαρτήσεων σε μελλοντικούς τύπους υπηρεσιών τόσο το δυσκολότερο πρέπει να είναι για την Μελλοντική Επιρροή για να συγκριθεί με την άμεση. Από την άλλη πλευρά, όσο περισσότερες παροχές υπηρεσιών επηρεάζει ένας δεδομένος πάροχος τόσο η Μελλοντική Επιρροή γίνεται πιο σημαντική.

Συμβολίζοντας σαν  $F.I.(affected, levels)$  την Μελλοντική Επιρροή (Future Influence) ενός επηρεαζόμενου κόμβου πάνω σε ένα σύνολο από επίπεδα τύπων υπηρεσιών έχουμε:

$$F.I.(affected, levels) = \frac{1}{Num[remLevels]} \sum_{\forall n \in adj(affected, remLevels)} (F_{balancing} SRI(affected, n, remLevels))$$

$$F_{balancing} = \begin{cases} F_{bpositive}, SRI(affected, n, remLevels) > 0 \\ F_{bnegative}, SRI(affected, n, remLevels) < 0 \end{cases}$$

$$F_{bpositive} = \frac{Num[c = adj(affected, remLevels): SRI(affected, c, remLevels > 0)]}{Num[adj(affected, remLevels)]}$$

$$F_{bnegative} = \frac{Num[c = adj(affected, remLevels): SRI(affected, c, remLevels < 0)]}{Num[adj(affected, remLevels)]}$$

όπου:

- $remLevels$  είναι το σύνολο ( $levels-level(affected)$ ) που αναπαριστά τους υπόλοιπους τύπους υπηρεσίας πάνω στους οποίους υπολογίζεται η Μελλοντική Επιρροή

- $Num[]$  επιστρέφει τον αριθμό των διαφορετικών τύπων υπηρεσιών σε ένα σύνολο υπηρεσιών.

- $adj(affected, remLevels)$  είναι το σύνολο των γειτονικών παρόχων του  $affected$  μέσα σε ένα δεδομένο σύνολο τύπων υπηρεσιών  $remLevels$

Οι παραπάνω εξισώσεις περιγράφουν τον υπολογισμό της Μελλοντικής Επιρροής μιας συγκεκριμένης στρατηγικής εξάρτησης. Το πράγμα που είναι άξιο σχολιασμού είναι το ότι η Μελλοντική Επιρροή υπολογίζεται αναδρομικά χρησιμοποιώντας την ολική Επιρροή  $SRI$  όλων των μελλοντικών εξαρτήσεων. Ο υπολογισμός αυτός περιορίζεται σε τύπους υπηρεσιών στους οποίους δεν έχει ακόμα παγιωθεί η επιλογή του τελικού παρόχου. Καθώς ο αλγόριθμος διασχίζει τα επίπεδα των τύπων υπηρεσιών για να υπολογίσει αναδρομικά την Μελλοντική Επιρροή, κάθε φορά θεωρεί την επιλογή στο τρέχον επίπεδο παγιωμένη και με τον τρόπο αυτό τελικά ο υπολογισμός μπορεί να τερματίσει.

Πριν την πρόσθεση των Επιρροών των στρατηγικών εξαρτήσεων ενός παρόχου, ένα στάδιο εξισορρόπησης προηγείται. Στο στάδιο αυτό χρησιμοποιούνται δύο παράγοντες εξισορρόπησης, οι  $F_{bpositive}$  και  $F_{bnegative}$  οι οποίοι πολλαπλασιάζουν

αντίστοιχα κάθε θετικό ή αρνητικό SRI. Οι παράγοντες αυτοί αναπαριστούν την ισορροπία μεταξύ εξαρτήσεων με θετική και αρνητική επιρροή και επιτυγχάνουν την ενίσχυση των τιμών αυτών που πλειοψηφούν. Μειώνοντας λοιπόν την επίδραση της Μελλοντικής Επιρροής των εξαρτήσεων που μειοψηφούν, το μέτρο δεν επηρεάζεται από μεμονωμένες, πιθανότατα κακόβουλες εξαρτήσεις. Για να επιτευχθεί το παραπάνω, οι συντελεστές  $F_{balancing}$  υπολογίζονται σαν ο συνολικός αριθμός των εξαρτήσεων κάθε κατηγορίας ως προς το συνολικό αριθμό των εξαρτήσεων του παρόχου.

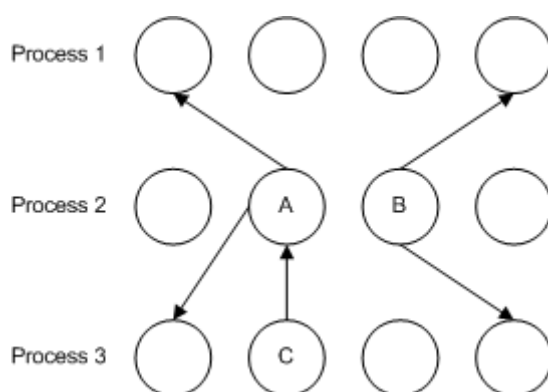
Αφού υπολογιστεί η τιμή του SRI για κάθε εξάρτηση του επηρεαζόμενου κόμβου, το μέτρο προσθέτει όλες τις παραπάνω τιμές και το τελικό αποτέλεσμα προκύπτει από την διαίρεση με έναν νέο παράγοντα εξισορρόπησης. Σύμφωνα με όσα ελέγχθησαν προηγουμένως, αυτός ο παράγοντας εξισορρόπησης αναπαριστά την συσχέτιση μεταξύ της Άμεσης και της Μελλοντικής Επιρροής μιας στρατηγικής εξάρτησης. Διαιρώντας με το ήμισυ των πιθανών μελλοντικών στρατηγικών εξαρτήσεων, η σημασία της Μελλοντικής Επιρροής μειώνεται σημαντικά. Η μείωση αυτή είναι μεγαλύτερη όταν οι υπολογισμοί γίνονται για τους πρώτους τύπους υπηρεσίας αλλά ελαττώνεται καθώς οι επιλογές τύπων υπηρεσιών που απομένουν να παγιωθούν λιγοστεύουν. Με άλλα λόγια, όταν υπολογίζονται οι Επιρροές των στρατηγικών εξαρτήσεων στις αρχικές επαναλήψεις του αλγορίθμου, το ενδιαφέρον περιορίζεται στην Άμεση Επιρροή. Όταν όμως επιλογές παρόχων παγιώνονται τότε η μελλοντική Επιρροή γίνεται ολοένα και πιο σημαντική. Από μια άλλη οπτική γωνία, ο παράγοντας αυτός αναπαριστά το πόσες ίδιες μελλοντικές στρατηγικές εξαρτήσεις είναι απαραίτητες για να υπερκεράσουν την Άμεση Επιρροή μιας ισάξιας εξάρτησης. Για τον λόγο αυτό, καλύτερα αποτελέσματα εμφανίζονται όταν ο αριθμός αυτός είναι ίσος με το μισό των πιθανών εξαρτήσεων και γι' αυτό το λόγο ο συντελεστής διαιρείται με 2.

#### 4.4.2 Κοινωνικότητα Παρόχου Υπηρεσίας

Μέχρι το σημείο αυτό, έχουμε δημιουργήσει ένα μέτρο το οποίο αναπαριστά την πραγματική αξία μιας στρατηγικής συνεργασίας. Το μέτρο αυτό που συμβολίστηκε ως S.R.I. έχει ένα ευρύ σύνολο από χρήσιμα χαρακτηριστικά τα οποία

θα χρησιμοποιηθούν με στόχο την δημιουργία μιας αποδοτικής ευριστικής συνάρτησης. Η ευριστική συνάρτηση μεταφέρει την προσοχή μακριά από τις στρατηγικές εξαρτήσεις μεταθέτοντάς στην στους ίδιους τους παρόχους υπηρεσίας. Ο βασικός της στόχος είναι το να χρησιμοποιήσει τις ιδιότητες των στρατηγικών εξαρτήσεων κάθε παρόχου και να χαρακτηρίσει τον ίδιο τον πάροχο με βάση τις προοπτικές εκμετάλλευσής του σε μελλοντικές στρατηγικές εξαρτήσεις. Το νέο αυτό μέτρο το οποίο θα υπολογιστεί για κάθε πάροχο υπηρεσίας ονομάζεται Κοινωνικότητα Παρόχου Υπηρεσίας (Service Provider Friendliness, S.P.F.) και στη συνέχεια εξερευνώνται μερικές από τις ενδιαφέρουσες ιδιότητές του.

Το πρώτο ενδιαφέρον ζήτημα το οποίο πρέπει να διερευνηθεί κατά τον υπολογισμό της Κοινωνικότητας ενός παρόχου είναι το ποιες από τις στρατηγικές εξαρτήσεις του πρέπει να ληφθούν υπόψη.

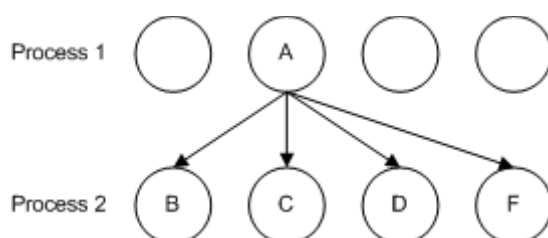


**Σχήμα 13: Υπολογίζοντας την Κοινωνικότητα Παρόχου Υπηρεσίας για τους κόμβους A και B.**

Στο παράδειγμα του σχήματος 13, είναι επιθυμητός ο υπολογισμός ενός μέτρου που θα μας εκφράσει το ποιος από τους παρόχους A ή B είναι καταλληλότερος για επιλογή στον τύπο υπηρεσίας 2. Το μέτρο αυτό, το οποίο ονομάστηκε Κοινωνικότητα (SPF), πρέπει να χρησιμοποιήσει τα SRI των στρατηγικών εξαρτήσεων κάθε παρόχου ώστε να καταλήξει σε ένα αποτέλεσμα. Στο παραπάνω παράδειγμα γίνεται η υπόθεση ότι οι πάροχοι A και B χαρακτηρίζονται από παρόμοιες τιμές παραμέτρων ποιότητας υπηρεσίας με τον πάροχο B να είναι ελαφρώς καλύτερος. Οι πάροχοι A και B επηρεάζουν δύο άλλους παρόχους οι οποίοι είναι ταυτόσημοι και βελτιώνουν τις τιμές τους ακριβώς με τον ίδιο τρόπο. Πρόσθετα, ο πάροχος A αλλάζει ενδεχομένως την τιμή του αν επιλεγεί ο πάροχος C.

Το πρόβλημα που εμφανίζεται είναι το ποιός από τους παρόχους A ή B είναι προτιμητέος. Αν ληφθεί υπόψη η εξάρτηση C-A τότε ο πάροχος A φαντάζει ως η καλύτερη επιλογή. Με μια προσεκτικότερη όμως ματιά, ο πάροχος B μπορεί αυτή τη στιγμή να προσδώσει καλύτερες παραμέτρους ποιότητας αυτή τη στιγμή ενώ έχει την ίδια επιρροή στο εναπομείναν σύνολο παρόχων. Καθώς ο αλγόριθμος θα κληθεί στη συνέχεια να επιλέξει κάποιον πάροχο στον τύπο υπηρεσίας 3, κανένας δεν μπορεί να εγγυηθεί ότι ο πάροχος C θα είναι η τελική του επιλογή μιας και το μέτρο SRI είναι αδιάφορο για της ιδιότητες του παρόχου που ενεργοποιεί μια στρατηγική εξάρτηση. Για τον λόγο αυτό ο πάροχος A δεν πρέπει να πάρει μεγαλύτερη αξία λόγω της εξάρτησης C-A και έτσι η επιλογή τους αλγορίθμου στον τύπο υπηρεσίας 2 πρέπει να είναι ο πάροχος B. Συνοψίζοντας, κατά τον υπολογισμό της ευριστικής συνάρτησης SPF για έναν πάροχο δεν πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οποιεσδήποτε στρατηγικές εξαρτήσεις επηρεάζουν τον ίδιο τον πάροχο αλλά μόνο το πώς ο πάροχος αυτός μπορεί να επηρεάσει άλλους.

Ένα άλλο ενδιαφέρον θέμα που επανεμφανίζεται κατά τον υπολογισμό της Κοινωνικότητας SPF όπως εμφανίστηκε κατά τον υπολογισμό της Επιρροής SRI είναι το πώς να συνοψίσουμε τις επιρροές παρόχων διαφορετικού τύπου.



**Σχήμα 14: Χειρισμός διαφορετικών τύπων Στρατηγικών Εξαρτήσεων**

Στο παραπάνω σχήμα ο πάροχος A επηρεάζει όλους τους παρόχους του τύπου υπηρεσίας 2 με SRI -10, 3, 3 και 3 αντίστοιχα. Ο πάροχος A λοιπόν έχει θετική στρατηγική επιρροή για το συνολικό workflow, παρότι αυτή μπορεί να καταστραφεί από μια μόνο πολύ αρνητική επιρροή. Με στόχο η συγκεκριμένη επίδραση να ελαχιστοποιηθεί, εξισορροπητικοί παράγοντες εισάγονται και πάλι στη διαδικασία έτσι ώστε να ληφθεί υπόψη η κατανομή μεταξύ θετικών και αρνητικών επιδράσεων.

Αντιμετωπίζοντας λοιπόν τα παραπάνω προβλήματα και συμβολίζοντας σαν SPF την Κοινωνικότητα ενός Παρόχου Υπηρεσίας έχουμε:

$$\begin{aligned}
 &SPF_{cost|time|availability}(provider, levels) \\
 &= \frac{\sum_{levels} (Affected\ Nodes * \overline{SRI_{cost|time|availability}(provider)} * F_{balancing})}{Num[levels]} \\
 &F_{balancing} = \begin{cases} F_{bpositive}, SRI(provider) > 0 \\ F_{bnegative}, SRI(provider) < 0 \end{cases} \\
 &F_{bpositive} = \frac{Num[c = adj(provider, curLevel): SRI(provider) > 0]}{Num[adj(provider, curLevel)]} \\
 &F_{bnegative} = \frac{Num[c = adj(provider, curLevel): SRI(provider) < 0]}{Num[adj(provider, curLevel)]}
 \end{aligned}$$

όπου:

- provider* είναι ο πάροχος για τον οποίο υπολογίζεται το SPF.
- levels* είναι το σύνολο των τύπων υπηρεσίας πάνω στους οποίους υπολογίζεται στο SPF.
- curLevel* είναι ο τρέχον τύπος υπηρεσίας από το δεδομένο σύνολο *levels*
- Affected Nodes* είναι ο αριθμός των γειτονικών κόμβων του *provider* στο *curLevel*.
- Μέσο SRI* είναι ο αριθμητικός μέσος των SRI για τις στρατηγικές εξαρτήσεις οι οποίες ενεργοποιούνται από τον *provider* και επηρεάζουν άλλους παρόχους μόνο στο *curLevel*. Κάθε SRI εξισορροπείται.
- Balancing Factors* είναι οι παράγοντες εξισορρόπησης και υπολογίζονται όπως στην Μελλοντική Επιρροή αριθμώντας το είδος των SRI ανά επίπεδο.

Για τον υπολογισμό λοιπόν της Κοινωνικότητας SPF ενός παρόχου, όλες οι εξωτερικές στρατηγικές του εξαρτήσεις ομαδοποιούνται ανά επηρεαζόμενο τύπο υπηρεσίας. Για κάθε τύπο υπηρεσίας εξισορροπείται το SRI των εξαρτήσεων και υπολογίζεται ο αριθμητικός μέσος των μεγεθών που προκύπτουν. Εκφράζοντας το γεγονός ότι περισσότερες στρατηγικές εξαρτήσεις ανά τύπο υπηρεσίας είναι πιο επιθυμητές, το αποτέλεσμα πολλαπλασιάζεται με τον πραγματικό αριθμό των επηρεαζόμενων παρόχων του τύπου υπηρεσίας. Αφού υπολογιστούν τα παραπάνω για κάθε τύπο υπηρεσίας, το τελικό αποτέλεσμα είναι απλώς ο μέσος όρος των αποτελεσμάτων ανά επίπεδο.

Το παραπάνω μέτρο είναι η ευριστική συνάρτηση η οποία θα χρησιμοποιηθεί στον αλγόριθμο απεικόνισης των δυναμικών ροών εργασίας για να χαρακτηρίσει το μελλοντικό στρατηγικό δυναμικό ενός παρόχου. Με άλλα λόγια, κάθε πάροχος με

υψηλό SPF είναι πολύ πιθανόν να ωφελήσει σημαντικά τις διαθέσιμες επιλογές του αλγορίθμου στη συνέχεια και γι' αυτό πρέπει να έχει περισσότερες πιθανότητες να επιλεγεί. Ως μέγεθος πρέπει να υπολογιστεί χωριστά για κάθε παράμετρο ποιότητας υπηρεσίας, για το κόστος, τον χρόνο εκτέλεσης και την διαθεσιμότητα όπως περιγράφεται στην επόμενη ενότητα. Η συγκεκριμένη ευριστική έχει όλα τα απαραίτητα χαρακτηριστικά καθώς επωφελείται τόσο από τις χρήσιμες στρατηγικές εξαρτήσεις που υπάρχουν με συνεπή τρόπο ενώ ταυτόχρονα φροντίζει να αγνοήσει πιθανές κακόβουλες μειωνηφούσες εξαρτήσεις μεταξύ ανταγωνιστικών παρόχων.

#### **4.5 Αλγόριθμος Απεικόνισης Δυναμικών Ροών Εργασίας και Επιλογής Υπηρεσιών με βάση την Ποιότητα Υπηρεσίας και τις Στρατηγικές Εξαρτήσεις**

Στην συνέχεια της εργασίας περιγράφεται ένας καινοτόμος αλγόριθμος απεικόνισης δυναμικών ροών εργασίας με στόχο την επιλογή των παρόχων υπηρεσιών σε κάθε τύπο που χαρακτηρίζονται από τις πιο επιθυμητές τιμές ποιότητας ενώ ταυτόχρονα γίνεται εκμετάλλευση των στρατηγικών εξαρτήσεων οι οποίες ενδέχεται να υπάρχουν. Ο βασικός στόχος του αλγορίθμου είναι το να καταλήξει στη βέλτιστη επιλογή παρόχων με βάση τις διαφημιζόμενες παραμέτρους ποιότητας και τις αντίστοιχες απαιτήσεις του χρήστη. Η στρατηγική του αλγορίθμου ξεκινά με τον εντοπισμό παρόχων υπηρεσιών οι οποίοι μπορούν με ελάχιστο κόστος να παρέχουν στον χρήστη ένα πλάνο εκτέλεσης που ικανοποιεί τις ελάχιστες απαιτήσεις του (επέλεξε τους παρόχους που παρέχουν το επιθυμητό επίπεδο διαθεσιμότητας με το ελάχιστο δυνατό κόστος). Στη συνέχεια, πάροχοι οι οποίοι διαθέτουν καλύτερα επίπεδα ποιότητας υπηρεσίας (σε όρους διαθεσιμότητας και χρόνου εκτέλεσης) για ένα δεδομένο συνολικό προϋπολογισμό επιλέγονται και στη συνέχεια εναλλάσσονται με τις αρχικές επιλογές του αλγορίθμου με σκοπό αυτός να καταλήξει στο βέλτιστο πλάνο εκτέλεσης.

Στη συνέχεια περιγράφονται λεπτομερώς τα κύρια βήματα του αλγορίθμου μαζί με όσες μικρότερες διαδικασίες τα απαρτίζουν.

*Βήμα 1: Υπολογισμός των βοηθητικών τιμών (πilotων για την ολοκλήρωση του αλγορίθμου)* με στόχο τον ορισμό των μέτρων τα οποία χαρακτηρίζουν τα επίπεδα

ποιότητας υπηρεσίας κάθε παρόχου καθώς και το δυναμικό τους για την εκμετάλλευση των μελλοντικών στρατηγικών εξαρτήσεων.

- i. Υπολογισμός των ελάχιστων και μέγιστων τιμών για την διαθεσιμότητα, το κόστος και τον χρόνο εκτέλεσης για κάθε τύπο υπηρεσίας βασιζόμενος στις προσφορές των παρόχων υπηρεσιών.
- ii. Υπολογισμός των τιμών πιλότων για την διαθεσιμότητα, το κόστος και τον χρόνο εκτέλεσης με βάση τις μέγιστες και ελάχιστες τιμές τους και τις επόμενες συναρτήσεις:

$$F_{Availability}(x) = \exp\left( AvailabilitySlope * \frac{x - MinAvailabilityValue}{MaxAvailabilityValue - MinAvailabilityValue} \right)$$

$$F_{Cost}(x) = \exp\left( CostSlope * \frac{x - MinCostValue}{MaxCostValue - MinCostValue} \right)$$

$$F_{Time}(x) = \exp\left( TimeSlope * \frac{x - MinTimeValue}{MaxTimeValue - MinTimeValue} \right)$$

Στις παραπάνω συναρτήσεις,  $x$  είναι η τιμή του κόστους, του χρόνου και της διαθεσιμότητας για κάθε τύπο υπηρεσίας ενώ  $MinAvailabilityValue$ ,  $MaxAvailabilityValue$ ,  $MinCostValue$ ,  $MaxCostValue$ ,  $MinTimeValue$  και  $MaxTimeValue$  είναι οι ελάχιστες και οι μέγιστες τιμές των παραμέτρων αυτών σύμφωνα με το προηγούμενο βήμα.

Οι συναρτήσεις αυτές, οι οποίες προέκυψαν από συνεχείς δοκιμές και εξομοιώσεις, είναι μη γραμμικές με θετική κλίση και ενισχύουν την επίδραση οποιασδήποτε αλλαγής στην διαθεσιμότητα, το κόστος και τον χρόνο σύμφωνα με τις επιθυμίες του χρήστη και τις σχετικές τιμές των παραμέτρων αυτών μέσα σε κάθε τύπο υπηρεσίας.

- iii. Υπολογισμός της Επιρροής των Στρατηγικών Εξαρτήσεων (SRI) για όλες τις Στρατηγικές Εξαρτήσεις στον χώρο του προβλήματος και στη συνέχεια υπολογισμός της Κοινωνικότητας κάθε Παρόχου Υπηρεσίας (SPF) για κάθε παράμετρο ποιότητας, κόστος, χρόνο εκτέλεσης και διαθεσιμότητα.
- iv. Υπολογισμός των ελάχιστων και μέγιστων τιμών του SPF (κόστος, χρόνος και διαθεσιμότητα) για κάθε τύπο υπηρεσίας όπως προέκυψαν από το προηγούμενο βήμα.
- v. Υπολογισμός των τροποποιημένων τιμών της συνάρτησης SPF για καθεμία από τις κατηγορίες κόστους, χρόνου εκτέλεσης και διαθεσιμότητας βασισμένη στις ελάχιστες και μέγιστες τιμές τους με χρήση των συναρτήσεων:

$$ConvSPF_{Availability}(x) = 1,08^{(AvailabilitySlope * H(x, MinSPF_{Availability}, MaxSPF_{Availability}))}$$

$$ConvSPF_{Cost}(x) = 1,08^{(CostSlope * H(x, MinSPF_{Cost}, MaxSPF_{Cost}))}$$

$$ConvSPF_{Time}(x) = 1,08^{(TimeSlope * H(x, MinSPF_{Time}, MaxSPF_{Time}))}$$

$$H(x, min, max) = \begin{cases} \frac{x - min}{max - min}, & max > 0, min > 0 \\ \frac{x - max}{max - min}, & max < 0, min < 0 \\ \frac{x}{max}, & max > 0, min < 0, x > 0 \\ -\left|\frac{x}{min}\right|, & max > 0, min < 0, x < 0 \end{cases}$$

Στις παραπάνω συναρτήσεις  $x$  είναι η τιμή των  $SPF_{availability}$ ,  $SPF_{cost}$  and  $SPF_{time}$  για κάθε πάροχο υπηρεσίας και  $Min/Max$  είναι οι ελάχιστες και μέγιστες τιμές κάθε παραμέτρου ποιότητας υπηρεσίας, σύμφωνα με το προηγούμενο υποβήμα. Η συνάρτηση  $H()$  είναι μια βοηθητική συνάρτηση η οποία μετατρέπει τις απόλυτες τιμές της κοινωνικότητας σε σχετικές μέσα σε ένα τύπο υπηρεσίας. Με τον τρόπο αυτό γίνεται καλύτερη η ενσωμάτωση της Κοινωνικότητας στο μέτρο που θα υπολογιστεί στην συνέχεια, καθώς αυτό που ενδιαφέρει είναι κυρίως η σχετική τιμή της Κοινωνικότητας κάθε παρόχου μέσα σε ένα τύπο υπηρεσίας. Η χρήση της είναι απαραίτητη εδώ, σε αντίθεση με το υποβήμα ii καθώς η  $SPF$  μπορεί να λάβει αρνητικές τιμές και κάτι τέτοιο πρέπει να αντικατοπτρίζεται στα τελικά αποτελέσματα σαν μείωση των αρχικών προτεινόμενων παραμέτρων (το μεγεθος  $ConvSPF$  γίνεται μικρότερο της μονάδας). Η βάση της εκθετικής συνάρτησης θα εξηγηθεί στο υποβήμα vii.

- vi. Υπολογισμός των νέων τιμών των παραμέτρων ποιότητας υπηρεσίας οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν στην συνέχεια με βάση τις εξής συναρτήσεις:

$$NewCostValue = \frac{InitialCostValue * F_{Cost}(InitialCostValue)}{ConvSPF_{Cost}(InitialCostValue)}$$

$$NewTimeValue = \frac{InitialTimeValue * F_{Time}(InitialTimeValue)}{ConvSPF_{Time}(InitialTimeValue)}$$

$$NewAvailabilityValue = InitAvValue * F_{Availability}(InitAvValue) * ConvSPF_{Availability}(InitAvValue)$$

Στις εξισώσεις αυτές  $InitAvValue$ ,  $InitialCostValue$  and  $InitialTimeValue$  είναι οι τιμές των παραμέτρων όπως αυτές ελήφθησαν από τις προσφορές των παρόχων.

- vii. Υπολογισμός του *ConvertedIndex* το οποίο θα χρησιμοποιηθεί στη συνέχεια ως το μέτρο σύμφωνα με το οποίο ο αλγόριθμος θα επιλέγει παρόχους υπηρεσιών:

$$\text{ConvertedIndex} = \frac{\text{NewCostValue} * \text{NewTimeValue}}{\text{NewAvailabilityValue}}$$

Ο δείκτης αυτός είναι το βασικό κριτήριο επιλογής υπηρεσιών καθώς αναπαριστά για κάθε πάροχο το προσφερόμενο επίπεδο διαθεσιμότητας αναφορικά με το κόστος και το χρόνο εκτέλεσης. Επιπρόσθετα τροποποιείται ανάλογα με την πιθανή ύπαρξη στρατηγικών εξαρτήσεων και δίνει καλύτερα αποτελέσματα για πιο «κοινωνικούς» παρόχους. Όσο μικραίνει ο δείκτης αυτός τόσο υψηλότερο γίνεται το επίπεδο ποιότητας υπηρεσίας που προσφέρεται από έναν πάροχο καθώς απαιτείται μικρότερο κόστος και χρόνος εκτέλεσης για ένα υψηλότερο επίπεδο διαθεσιμότητας.

Στο σημείο αυτό απαραίτητο είναι να διαλευκανθεί η σημασία της βάσης 1,08 της εκθετικής συνάρτησης του υποβήματος  $v$ . Παρατηρώντας τον τρόπο που τα ConnSPFs χρησιμοποιούνται στον υπολογισμό του *ConvertedIndex*, βλέπουμε πως ο πιο κοινωνικός κόμβος σε κάθε τύπο υπηρεσίας θα έχει μέγιστο ConnSPF ίσο με  $1,08^{\text{Slope}}$ . Παρατηρούμε ότι αν ο πιο κοινωνικός πάροχος είναι γενικά καλύτερος για κάθε τύπο QoS τότε το *ConvertedIndex* του θα πολλαπλασιαστεί με

$$1/(1,08^{\text{cSlope}} 1,08^{\text{tSlope}} 1,08^{\text{aSlope}}) = 1/1,08^{\text{cSlope} + \text{tSlope} + \text{aSlope}}$$

Με δεδομένο ότι

$$\text{AvailabilitySlope} + \text{CostSlope} + \text{TimeSlope} \leq 3$$

το *ConvertedIndex* του πιο κοινωνικού παρόχου θα πολλαπλασιαστεί το πολύ με  $1,08^{-3}$  δηλαδή μείωση κατά περίπου 25%. Η βάση 1,08 δίνει ένα σημαντικό όφελος στον πιο κοινωνικό πάροχο ενώ προσαρμόζει την μείωση όλων των ενδιάμεσων κοινωνικά παρόχων το πολύ μέχρι 25%. Με τον τρόπο αυτό, αν ένας πάροχος ήταν 25% καλύτερος από κάποιον άλλο, τότε όσες στρατηγικές εξαρτήσεις και να αποκτήσει ο δεύτερος ποτέ δεν θα μπορέσει να υπερκεράσει τον πρώτο. Με τον τρόπο αυτό περιορίζεται η επίδραση των στρατηγικών εξαρτήσεων σε λογικά πλαίσια ενώ πρόσθετα ο αλγόριθμος μπορεί να ρυθμίζεται ώστε να δίνει μεταβλητό βάρος στις στρατηγικές εξαρτήσεις. Η συγκεκριμένη τιμή 1,08 που καταλήγει σε μέγιστη βελτίωση 25% απέδωσε πειραματικά καλύτερα από όλες τις άλλες σύμφωνα με τα παραδείγματα εκτέλεσης που ακολουθούν στην επόμενη ενότητα.

Βήμα 2: Αρχική απεικόνιση ροής εργασίας σε παρόχους υπηρεσίας οι οποίοι μπορούν να δώσουν το απαραίτητο επίπεδο διαθεσιμότητας δίχως να παραβιάζεται ο περιορισμός κόστους.

- i. Για κάθε τύπο υπηρεσίας, κατηγοριοποίηση των παρόχων με αύξουσα σειρά *NewCostValue*. Όλοι οι πάροχοι οι οποίοι δεν μπορούν να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις διαθεσιμότητας του χρήστη αποκλείονται από το βήμα αυτό. Ο αποκλεισμός αυτός είναι προσωρινός καθώς οι πάροχοι υπηρεσίας ενδέχεται να αλλάξουν το επίπεδο της παρεχόμενης διαθεσιμότητας υπό την επίδραση κάποιας στρατηγικής εξάρτησης.
- ii. Επιλογή του παρόχου με το γενικά μικρότερο *NewCostValue* μεταξύ όλων των τύπων υπηρεσιών.
- iii. Σε περίπτωση που ο συγκεκριμένος τύπος υπηρεσίας προκαλεί κάποια στρατηγική εξάρτηση τότε οι παράμετροι ποιότητας του επηρεαζόμενου παρόχου αλλάζουν σύμφωνα με την εξάρτηση.
- iv. Η επιλογή στο προηγούμενο βήμα θεωρείται τελική και το *NewCostValue* υπολογίζεται ξανά για κάθε εναπομείναντα πάροχο υπηρεσίας. Με ένα τύπο υπηρεσίας λιγότερο, το μέτρο SRF αλλάζει για κάθε εναπομείναντα πάροχο και ο επανυπολογισμός είναι απαραίτητος. Το βήμα αυτό αποτελεί ουσιαστικά τον νέο υπολογισμό της ευριστικής συνάρτησης του προβλήματος μετά από μια επανάληψη του αλγορίθμου.
- v. Τα βήματα i έως iv επαναλαμβάνονται μέχρι να γίνουν τελικές επιλογές σε κάθε τύπο υπηρεσίας.
- vi. Το συνολικό κόστος εκτέλεσης υπολογίζεται και τους παρόχους που έχουν επιλεγεί στις προηγούμενες επαναλήψεις. Εάν ξεπερνά τον περιορισμό κόστους του χρήστη τότε δεν μπορεί να υπάρξει αντιστοίχιση που να ικανοποιεί τις απαιτήσεις του και ο αλγόριθμος σταματά. Σε διαφορετική περίπτωση ο αλγόριθμος μπαίνει στο επόμενο στάδιο βελτιστοποίησης.

Βήμα 3: Ορισμός ενός υποψηφίου παρόχου για κάθε τύπο υπηρεσίας. Η αιτία αυτού του βήματος είναι η ανακάλυψη των υποψηφίων οι οποίοι παρέχουν υψηλότερα επίπεδα ποιότητας υπηρεσίας και στρατηγικής σημασίας σε σχέση με τις προκαταρκτικές επιλογές του αλγορίθμου.

- i. Για κάθε τύπο υπηρεσίας επιλέγεται ο πάροχος με το μικρότερο *ConvertedIndex* σε σχέση με την προκαταρκτική επιλογή του αλγορίθμου. Αν κανένας πάροχος δεν μπορεί να βρεθεί που να είναι καλύτερος από τον προκαταρκτικό τότε δεν

μπορεί να γίνει βελτιστοποίηση στον συγκεκριμένο τύπο και αυτός αποκλείεται από τα επόμενα βήματα. Η επιλογή τότε στον συγκεκριμένο τύπο υπηρεσίας θεωρείται τελική και τα μεγέθη *SRF/ConvertedIndex* υπολογίζονται ξανά για κάθε εναπομείναντα τύπο. Εάν κάτι τέτοιο συμβεί σε κάθε τύπο υπηρεσίας της ροής εργασίας τότε ο αλγόριθμος τερματίζει και η αρχική επιλογή παρόχων θεωρείται και τελική. Διαφορετικά ο αλγόριθμος συνεχίζει στο επόμενο υποβήμα.

- ii. Επιλογή των υποψηφίων παρόχων κάθε τύπου υπηρεσίας με την απολύτως μικρότερη τιμή *ConvertedIndex*.
- iii. Υπολογισμός της διαφοράς μετά διαθεσιμότητας, κόστους, χρόνου εκτέλεσης,  $SRF_{availability}$ ,  $SRF_{cost}$  και  $SRF_{time}$  μεταξύ των επιλογών που έγιναν στο βήμα 2 και των πιθανότερων αντικαταστατών τους του προηγούμενου υποβήματος.

Βήμα 4: Δημιουργία μιας λίστας των “καλύτερων υποψηφίων” για κάθε τύπο υπηρεσίας ώστε να εντοπιστούν οι καλύτερες τελικές αντικαταστάσεις.

- i. Για κάθε διαφορά που υπολογίστηκε στο βήμα 3, το *ConvertedIndex* υπολογίζεται εκ νέου. Αυτό που συμβαίνει είναι ο εκ νέου υπολογισμός του βήματος 1 του αλγορίθμου θεωρώντας σαν αρχικές τιμές των παρόχων υπηρεσιών τις διαφορές οι οποίες προέκυψαν από το προηγούμενο υποβήμα. Στην συνέχεια οι αλλαγές θα γίνουν με βάση αυτές τις «εικονικές» τιμές των παραμέτρων ποιότητας (π.χ. είναι προτιμότερο να χρησιμοποιήσουμε 6 μονάδες κόστους για να αυξήσουμε την διαθεσιμότητα κατά 4% παρά να χρησιμοποιήσουμε 10 μονάδες για να της αυξήσουμε κατά 5%, με την ίδια λογική να εφαρμόζεται και για τις αυξήσεις των μέτρων SPF).
- ii. Οι πάροχοι τους προηγούμενου υποβήματος ταξινομούνται με βάση τις «εικονικές» τιμές *ConvertedIndex* και αυτός με την μικρότερη τιμή επιλέγεται προσωρινά ως αντικαταστάτης στην αρχική προεπιλογή παρόχων. Ο πάροχος αυτός είναι εκείνος με το μεγαλύτερο όφελος για την τελική ανάθεση υπηρεσιών.
- iii. Με βάση την νέα συνολική επιλογή παροχών, το συνολικό κόστος της ροής εργασίας υπολογίζεται εκ νέου. Για να γίνει κάτι τέτοιο, όσες επιλογές έχουν γίνει ως τώρα, μαζί με την τρέχουσα υποψήφια, θεωρούνται προσωρινά τελικές. Με βάση τις επιλογές αυτές, επαναλαμβάνεται το βήμα 2 του αλγορίθμου για τους εναπομείναντες τύπους υπηρεσίας. Το βήμα 2 καταλήγει σε μια ανάθεση

- παρόχων υπηρεσιών η οποία διαθέτει ελάχιστο κόστος. Εάν ο περιορισμός κόστους του χρήστη είναι μεγαλύτερος από αυτό το ελάχιστο κόστος τότε η επιλογή του αλγορίθμου που έγινε στο προηγούμενο υποβήμα θεωρείται τελική. Στη περίπτωση αυτή ο αντίστοιχος τύπος υπηρεσίας εξαιρείται από τις μελλοντικές επαναλήψεις του αλγορίθμου, οι τύποι υπολογισμού των SPF/SRI τροποποιούνται αντίστοιχα και ο αλγόριθμος προχωρά στο επόμενο υποβήμα. Σε διαφορετική περίπτωση η συγκεκριμένη επιλογή παρόχου εξαιρείται μόνιμα από τις διαθέσιμες προσφορές, η επιλογή παρόχου δεν θεωρείται τελική στο συγκεκριμένο τύπο υπηρεσίας και το υποβήμα αυτό επαναλαμβάνεται για τον επόμενο υποψήφιο πάροχο της λίστας με το μικρότερο *ConvertedIndex*. Αν δεν υπάρχει άλλος διαθέσιμος πάροχος τότε και πάλι ο αλγόριθμος συνεχίζει στο επόμενο υποβήμα.
- iv. Ο αλγόριθμος επαναλαμβάνεται ξεκινώντας από το βήμα 3 για όσους τύπους υπηρεσίας δεν έχει γίνει ακόμη τελική επιλογή και υπάρχουν ακόμα πιθανοί αντικαταστάτες. Μόλις γίνουν τελικές επιλογές σε κάθε τύπο ο αλγόριθμος τερματίζει.

# 5

## Αξιολόγηση του Προτεινόμενου Μηχανισμού

Στις προηγούμενες ενότητες της εργασίας έγινε μια αναλυτική περιγραφή της έννοιας των στρατηγικών εξαρτήσεων καθώς και του πως οι εξαρτήσεις αυτές είναι δυνατόν να επιδράσουν στην διαδικασία επιλογής παρόχων υπηρεσιών σε ένα περιβάλλον πλέγματος. Με στόχο την εκμετάλλευση του δυναμικού των εξαρτήσεων αυτών για την δημιουργία πιο αποδοτικών αναθέσεων, προτάθηκε ένας αλγόριθμος επιλογής παρόχων ο οποίος όχι μόνο εκμεταλλεύεται την ύπαρξη στρατηγικών εξαρτήσεων αλλά επίσης λαμβάνει υπόψη του τις προτιμήσεις του χρήστη για την βελτίωση κάθε παραμέτρου ποιότητας υπηρεσίας ξεχωριστά. Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται μερικά παραδείγματα εκτέλεσης του αλγορίθμου αυτού. Τα παραδείγματα αυτά ξεκινούν με την εκτέλεση σε ένα περιβάλλον περιορισμένο από το κόστος όπου η εκμετάλλευση των στρατηγικών εξαρτήσεων είναι απαραίτητη για την δημιουργία μιας ανάθεσης την οποία ο χρήστης δύναται να αποπληρώσει. Στη συνέχεια παρουσιάζεται ένα παράδειγμα εκτέλεσης σε περιβάλλον χωρίς πρακτικούς περιορισμούς κόστους όπου οι στρατηγικές εξαρτήσεις χρησιμοποιούνται με γνώμονα την απόλυτη γενική βελτίωση της ποιότητας της ανάθεσης. Τέλος, ο μηχανισμός δοκιμάζεται σε ένα ενδιάμεσο περιβάλλον όπου η χρήση των στρατηγικών εξαρτήσεων δεν είναι απαραίτητη για την επιτυχία του.

### 5.1 Υλοποίηση

Τα πειράματα που ακολουθούν, τα οποία επιδεικνύουν την λειτουργία του αλγορίθμου, έγιναν εικονικά με την βοήθεια μιας προσωπικά ανεπτυγμένης εφαρμογής εξομοίωσης. Η εφαρμογή αυτή αναπτύχθηκε με στόχο την συνεχή διεξαγωγή πειραμάτων κατά την φάση σχεδιασμού του αλγορίθμου και παρέχει μια ικανοποιητική πλατφόρμα για την επαλήθευση του αλγορίθμου. Η φύση του αλγορίθμου αυτού είναι τόσο γενική ώστε με κανένα τρόπο δεν μπορεί να περιοριστεί

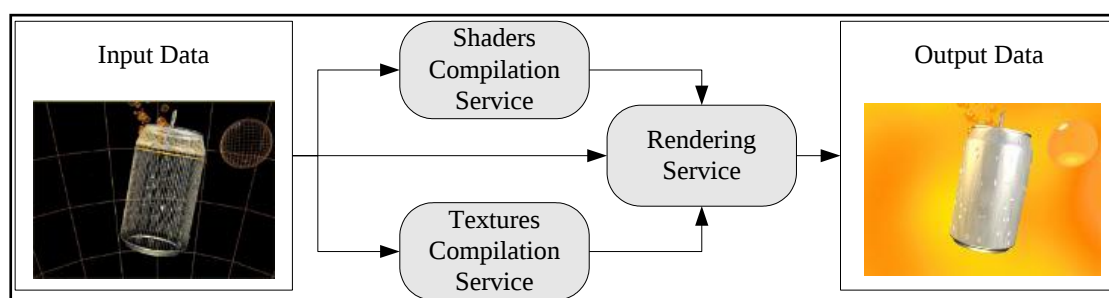
σε μια συγκεκριμένη αρχιτεκτονική εφαρμογής grid middleware. Για τον λόγο αυτό δεν έγινε καμιά προσπάθεια ενσωμάτωσής του σε κάποιο λογισμικό της τρέχουσας γενιάς. Από την άλλη πλευρά, το επίπεδο αφαίρεσης που δημιουργείται από την εφαρμογή αυτή δεν βοηθά μόνο με το να αποκρύπτει όλες τις λεπτομέρειες υλοποίησης μέσα σε ένα πραγματικό σύστημα middleware αλλά επίσης υπογραμμίζει τις εφαρμογές που ο μηχανισμός αυτός μπορεί να έχει σε πολλά άλλα περιβάλλοντα που δεν σχετίζονται με τα πλέγματα.

Η εφαρμογή η οποία επιδεικνύει τον αλγόριθμο η οποία μόλις περιγράφει μπορεί να βρεθεί μετά από επικοινωνία με τον συγγραφέα. Όλα τα αποτελέσματα στις επόμενες ενότητες έχουν ληφθεί με την χρήση της συγκεκριμένης εφαρμογής.

## 5.2 Αξιολόγηση

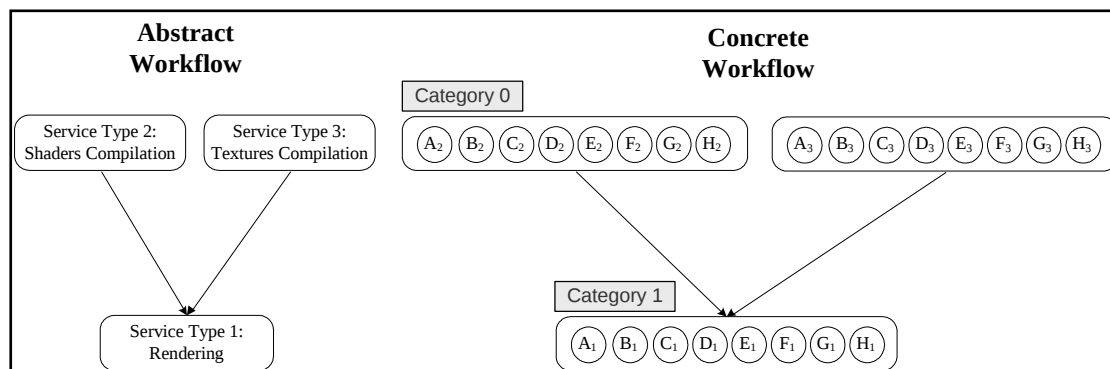
Έχοντας ως βασικό στόχο την παροχή της εξομοίωσης με πραγματικά δεδομένα, επιλέχτηκε η χρήση ενός παραδείγματος από έναν προϋπάρχοντα αλγόριθμο ανάθεσης υπηρεσιών ο οποίος αποδίδει άριστα σε περιβάλλον όπου δεν υπάρχουν στρατηγικές εξαρτήσεις[46]. Στα επόμενα πειράματα θα υπογραμμισθεί η απόδοση του αλγορίθμου ως διαδικασία επιλογής παρόχων υπηρεσίας δίχως να θυσιάζεται η ποιότητα υπηρεσίας.

Σύμφωνα με το σενάριο στην αρχική εργασία[46], θα αναπαρασταθεί μια κλασική διαδικασία υπολογισμού μιας εικόνας μέσω 3D rendering, διαδικασία η οποία μπορεί να εκμεταλλευτεί την επεξεργαστική ισχύ που παρέχει ένα περιβάλλον πλέγματος. Όχι μόνο το 3D rendering απαιτεί μεγάλα ποσά επεξεργαστικής ισχύος αλλά επίσης δύναται να διασπαστεί σε απλούστερες διαδικασίες οι οποίες εκτελούνται παράλληλα και για γι' αυτό είναι ιδανική διεργασία για εκτέλεση σε κατανεμημένα περιβάλλοντα.



Σχήμα 15: Σενάριο 3D Image Rendering

Το παραπάνω σενάριο χωρίζεται 3 απλούστερους τύπους υπηρεσίας οι οποίοι απαιτούν εκτέλεση: Shaders Compilation, Textures Compilation και τελικά Image Rendering. Οι υπηρεσίες αυτές παρέχονται από οκτώ διαφορετικούς παρόχους έκαστη, όπως φαίνεται στο επόμενο σχήμα:



**Σχήμα 16: Abstract Workflow και πάροχοι υπηρεσίας στο Concrete Workflow**

Όλοι οι παραπάνω πάροχοι υπηρεσίας περιγράφονται σε όρους ποιότητας με τις εξής τιμές:

| Πάροχος Υπηρεσίας | Τιμή Διαθεσιμότητας (%) | Τιμή Κόστους | Τιμή Χρόνου Εκτέλεσης |
|-------------------|-------------------------|--------------|-----------------------|
| A <sub>1</sub>    | 96.50                   | 180.32       | 300.25                |
| B <sub>1</sub>    | 90.10                   | 175.20       | 400.05                |
| C <sub>1</sub>    | 87.30                   | 165.66       | 442.43                |
| D <sub>1</sub>    | 93.80                   | 178.90       | 321.78                |
| E <sub>1</sub>    | 92.40                   | 177.75       | 320.65                |
| F <sub>1</sub>    | 90.20                   | 177.10       | 330.12                |
| G <sub>1</sub>    | 89.50                   | 170.24       | 370.94                |
| H <sub>1</sub>    | 90.10                   | 170.69       | 368.49                |
| A <sub>2</sub>    | 90.68                   | 70.35        | 3.27                  |
| B <sub>2</sub>    | 80.15                   | 62.76        | 6.64                  |
| C <sub>2</sub>    | 97.66                   | 79.39        | 9.15                  |
| D <sub>2</sub>    | 99.84                   | 82.27        | 5.85                  |
| E <sub>2</sub>    | 70.15                   | 60.19        | 7.53                  |
| F <sub>2</sub>    | 88.38                   | 69.84        | 5.99                  |
| G <sub>2</sub>    | 95.03                   | 74.44        | 3.12                  |

|                |       |        |      |
|----------------|-------|--------|------|
| H <sub>2</sub> | 90.60 | 72.90  | 2.28 |
| A <sub>3</sub> | 98.01 | 110.44 | 4.67 |
| B <sub>3</sub> | 81.90 | 80.94  | 5.89 |
| C <sub>3</sub> | 95.83 | 99.73  | 7.40 |
| D <sub>3</sub> | 90.64 | 96.90  | 5.12 |
| E <sub>3</sub> | 89.95 | 87.19  | 6.10 |
| F <sub>3</sub> | 97.58 | 105.84 | 4.99 |
| G <sub>3</sub> | 95.10 | 100.34 | 4.48 |
| H <sub>3</sub> | 94.58 | 100.96 | 5.19 |

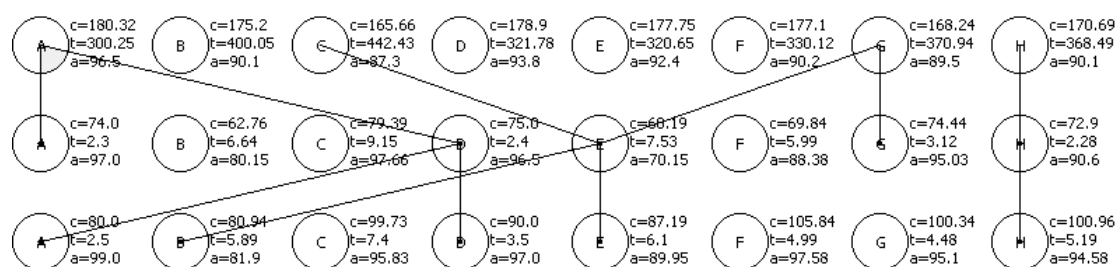
**Πίνακας 1: Αρχικές τιμές ποιότητας υπηρεσίας για κάθε πάροχο.**

Πάρα από τις βασικές τιμές ποιότητας, οι πάροχοι υπηρεσίας εμπλέκονται σε διάφορες στρατηγικές εξαρτήσεις. Οι εξαρτήσεις αυτές περιγράφονται λεπτομερώς στον επόμενο πίνακα:

| Πάροχος που προκαλεί | Πάροχος που επηρεάζεται | Νέο Κόστος | Νέος Χρόνος | Νέα Διαθεσιμότητα |
|----------------------|-------------------------|------------|-------------|-------------------|
| G <sub>1</sub>       | G <sub>2</sub>          | 70         | 3.00        | 94.60             |
| G <sub>1</sub>       | E <sub>2</sub>          | 50         | 3.00        | 94.60             |
| C <sub>1</sub>       | E <sub>2</sub>          | 63         | 8.00        | 69.00             |
| E <sub>2</sub>       | B <sub>3</sub>          | 75         | 5.00        | 85.00             |
| E <sub>2</sub>       | E <sub>3</sub>          | 80         | 5.00        | 91.00             |
| H <sub>1</sub>       | H <sub>2</sub>          | 50         | 2.20        | 94.00             |
| H <sub>2</sub>       | H <sub>3</sub>          | 78         | 4.0         | 95.00             |
| A <sub>0</sub>       | A <sub>1</sub>          | 74         | 2.3         | 97.00             |
| A <sub>0</sub>       | D <sub>1</sub>          | 75         | 2.4         | 96.50             |
| D <sub>1</sub>       | A <sub>2</sub>          | 80         | 2.5         | 99.00             |
| D <sub>1</sub>       | D <sub>2</sub>          | 90         | 3.5         | 97.00             |

**Πίνακας 2: Στρατηγικές εξαρτήσεις μεταξύ παρόχων υπηρεσίας**

Με στόχο της καλύτερης οπτικής αντίληψής τους, οι πάροχοι υπηρεσίας και οι στρατηγικές εξαρτήσεις στις οποίες εμπλέκονται φαίνονται στο επόμενο σχήμα:



**Σχήμα 17: Οι πάροχοι του προβλήματος μαζί με τις στρατηγικές τους εξαρτήσεις**

### 5.2.1 Πειραματική Εκτέλεση 1: Απόδοση υπό περιορισμένο κόστος

Ο χρήστης δηλώνει τους εξής περιορισμούς: (i) Μέγιστο Κόστος 300 μονάδες και (ii) Ελάχιστη Διαθεσιμότητα 50%. Επιπρόσθετα, ο χρήστης θέλει να λάβει την καλύτερη δυνατή υπηρεσία για τα χρήματά του και σαν αποτέλεσμα θέτει τις προτιμήσεις του ως εξής (i) Cost Slope=0.00, (ii) Availability Slope=1.5, (iii) Time Slope 1.5. Έτσι, ενδιαφέρεται κυρίως για την ταυτόχρονη μεγιστοποίηση τόσο του χρόνου εκτέλεσης όσο και της διαθεσιμότητας ενώ δεν επιθυμεί το να περιορίσει το κόστος σημαντικά κάτω από τα επίπεδα των 300 μονάδων ή να επιλέξει παρόχους με υψηλό δείκτη απόδοσης-τιμής.

Πριν ξεκινήσει η εκτέλεση του αλγορίθμου, μπορεί να γίνει μια πολύ ενδιαφέρουσα παρατήρηση: η δοθείσα ροή εργασίας δεν μπορεί να εκτελεστεί στο αρχικό πλέγμα με μόνο 300 μονάδες κόστους δίχως να γίνει χρήση των στρατηγικών εξαρτήσεων. Όπως φαίνεται από τον πίνακα 1, οι απόλυτα φθηνότεροι πάροχοι ανά τύπο υπηρεσίας είναι οι C<sub>1</sub>, E<sub>2</sub> και B<sub>3</sub> οι οποίοι καταλήγουν σε ένα συνολικό κόστος 306.79 μονάδων. Επιπρόσθετα, ο πάροχος E<sub>2</sub> βρίσκεται σε ανταγωνιστή εξάρτηση με τον πάροχο C<sub>1</sub> και αυξάνει το κόστος του μόλις αυτός επιλέγεται, αυξάνοντας έτσι ακόμη περισσότερο το ελάχιστο δυνατό κόστος που απαιτείται. Το συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι οι παραπάνω περιορισμοί του χρήστη δεν είναι δυνατόν να ικανοποιηθούν από οποιονδήποτε αλγόριθμο ανάθεσης ο οποίος αγνοεί τις στρατηγικές εξαρτήσεις των παρόχων.

Η αρχική λύση η οποία εντοπίζεται από τον αλγόριθμο και στη συνέχεια βελτιώνεται είναι η G<sub>1</sub>, E<sub>2</sub> και B<sub>3</sub>. Η λύση αυτή έχει αρχικό κόστος 293.24 μονάδων και μπορεί να επαληθευτεί ότι είναι πράγματι η απολύτως φθηνότερη. Για να

επιτευχθεί αυτό το χαμηλό κόστος γίνεται χρήση της στρατηγικής εξάρτησης ( $G_1$  προς  $E_2$ ) η οποία μειώνει το κόστος του  $E_2$ . Είναι σημαντικό το ότι ο  $G_1$  δεν είναι ο απολύτως φθηνότερος πάροχος στον τύπο υπηρεσίας 1 αλλά παρόλα αυτά επιλέγεται καθώς βελτιώνει το συνολικό κόστος της ροής εργασίας.

Από το σημείο αυτό ο αλγόριθμος προσπαθεί να βελτιώσει την αρχική ανάθεση παρόχων με γνώμονα την βελτίωση της Διαθεσιμότητας και του Χρόνου Εκτέλεσης. Για να το πετύχει, εντοπίζει κόμβους αντικατάστασης με καλύτερη τιμή *ConvertedIndex* οι οποίοι συνήθως καταλήγουν σε μια πιο αποδοτική συνολική ανάθεση της ροής εργασίας. Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζεται μια επισκόπηση των βημάτων αυτών.

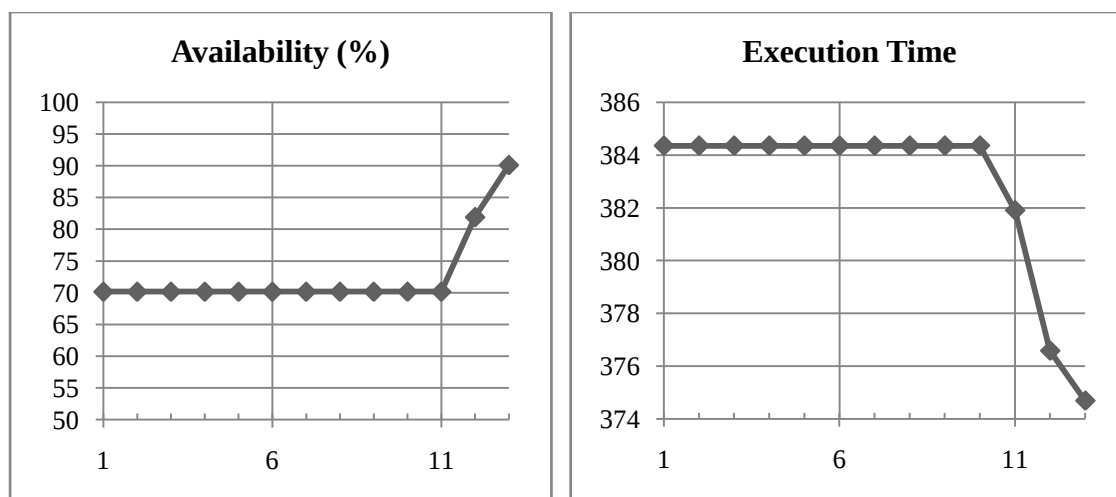
| Επανάληψη | Αρχ. Πάροχος | Νέος Πάροχος | Διαφορά Κόστους | Διαφορά Διαθεσιμ. | Διαφορά Χρόνου | Αποδοχή |
|-----------|--------------|--------------|-----------------|-------------------|----------------|---------|
| 1         | $G_1$        | $A_1$        | -12.079         | 7.0               | 70.69          | Όχι     |
| 2         | $G_1$        | $D_1$        | -10.659         | 4.29              | 49.16          | Όχι     |
| 3         | $G_1$        | $E_1$        | -9.50           | 2.90              | 50.29          | Όχι     |
| 4         | $G_1$        | $F_1$        | -8.85           | 0.70              | 40.81          | Όχι     |
| 5         | $E_2$        | $H_2$        | -12.71          | 20.44             | 5.25           | Όχι     |
| 6         | $E_2$        | $G_2$        | -14.25          | 24.87             | 4.41           | Όχι     |
| 7         | $E_2$        | $A_2$        | -10.15          | 20.53             | 4.26           | Όχι     |
| 8         | $E_2$        | $D_2$        | -22.08          | 29.68             | 1.68           | Όχι     |
| 9         | $E_2$        | $F_2$        | -9.65           | 18.22             | 1.54           | Όχι     |
| 10        | $G_1$        | $B_1$        | -2.57           | 0.89              | 10.00          | Όχι     |
| 11        | $G_1$        | $H_1$        | -2.44           | 0.59              | 2.44           | Ναι     |
| 12        | $E_2$        | $H_2$        | 10.18           | 23.84             | 5.33           | Ναι     |
| 13        | $B_3$        | $H_3$        | 2.93            | 13.09             | 1.88           | Ναι     |

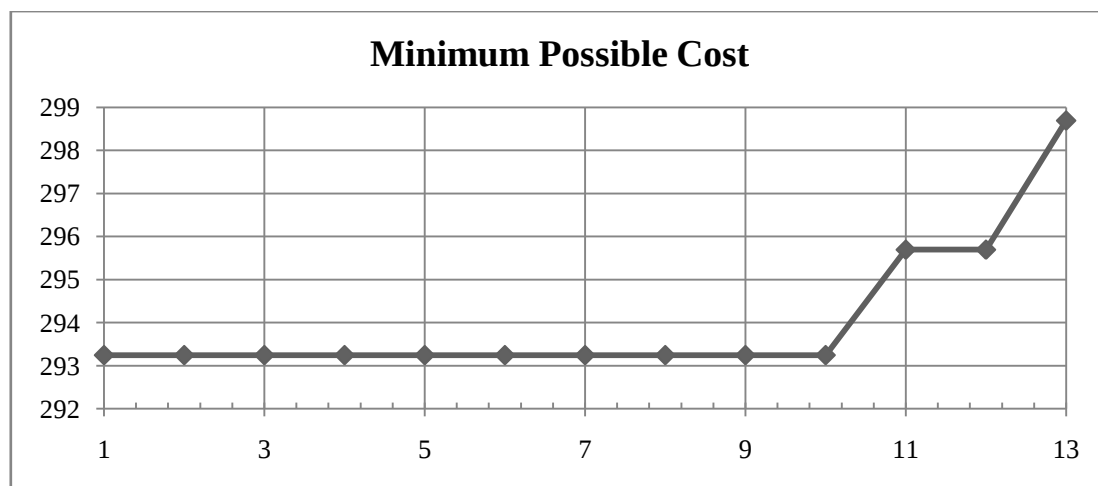
**Πίνακας 3: Πείραμα 1, Επαναλήψεις του αλγορίθμου για την βελτίωση της αρχικής ανάθεσης παρόχων υπηρεσιών**

Η τελική ανάθεση είναι η  $H_1$ ,  $H_2$  και  $H_3$  με συνολικό κόστος 298.69 μονάδων, 90.1% διαθεσιμότητα και 374.69 μονάδες χρόνου. Στον παραπάνω πίνακα, αρνητικό πρόσημο στη στήλη του κόστους σημαίνει ότι ο προτεινόμενος πάροχος απαιτεί περισσότερα χρήματα από την τρέχουσα επιλογή. Από την άλλη πλευρά, αρνητικό πρόσημο στις διαφορές Διαθεσιμότητας και Χρόνου Εκτέλεσης σημαίνουν ότι ο νέος

κόμβος έχει χειρότερες τιμές στις αντίστοιχες παραμέτρους. Συνολικά λοιπόν, μεγάλες αρνητικές τιμές δεν είναι επιθυμητές σε καμιά στήλη.

Στο παραπάνω παράδειγμα γίνεται εμφανές το πόσο ο αλγόριθμος περιορίζεται από το χαμηλούς χρηματικούς πόρους που είναι διαθέσιμοι. Οι πρώτες προτεινόμενες αλλαγές, παρότι είναι οι καλύτερες για την συνολική βελτίωση διαθεσιμότητας και χρόνου εκτέλεσης, δεν είναι δυνατόν να γίνουν αποδεκτές διότι είναι πολύ ακριβές. Μετά από έναν αριθμό επαναλήψεων, έχουμε την περίπτωση μιας εναλλαγής η οποία είναι οικονομικά εφικτή αλλά παρόλα αυτά δεν πραγματοποιείται (επανάληψη 11). Η αιτία της απόφασης αυτή είναι η εξής: σε περίπτωση που η επιλογή αυτή γίνει αποδεκτή ο αλγόριθμος θα χάσει το πλεονέκτημα της στρατηγικής συνεργασίας ( $G_1$  προς  $E_2$ ) και τελικά θα είναι ανίκανος να βρει μια αρκετά φθηνή απεικόνιση. Αντίθετα όμως, στην επανάληψη 12 ο πάροχος  $H_1$  έχει με την σειρά του αρκετά καλές στρατηγικές εξαρτήσεις και έτσι μπορεί να αντικαταστήσει τον πάροχο  $G$ . Από το σημείο αυτό και μετά οι καλύτερες επιλογές που προτείνονται είναι οικονομικά αποδεκτές και η αντιστοίχιση τερματίζει. Στα σχήματα που ακολουθούν παρατηρείται η εξέλιξη των παραμέτρων ποιότητας υπηρεσίας της ανάθεσης εργασιών σε κάθε επανάληψη του αλγορίθμου μέχρι αυτός να τερματίσει.





Σχήμα 18: Πείραμα 1, Βελτίωση των παραμέτρων ποιότητας ανά επανάληψη

### 5.2.2 Πειραματική Εκτέλεση 2: Απόδοση χωρίς σημαντικούς περιορισμούς

Ο χρήστης ορίζει τους εξής περιορισμούς: (i) Μέγιστο Κόστος=400 μονάδες και (ii) Ελάχιστη Διαθεσιμότητα=90%. Επιπρόσθετα, ο χρήστης και πάλι αδιαφορεί για την καλύτερη αξιοποίηση των χρημάτων του καθώς χρειάζεται απλώς μια ανάθεση που θα εξασφαλίζει την ταυτόχρονη μεγιστοποίηση της διαθεσιμότητας με την ελαχιστοποίηση του χρόνου εκτέλεσης. Για τον λόγο αυτό, ορίζει τις προτιμήσεις του ως εξής: (i) Cost Slope=0.00, (ii) Availability Slope=1.5, (iii) Time Slope 1.5.

Παρατηρώντας το κόστος χρήσης καθενός από τους 24 παρόχους υπηρεσίας του πλέγματος, είναι εμφανές ότι με 400 μονάδες κόστους οποιαδήποτε επιλογή παρόχων είναι οικονομικά αποδεκτή. Για τον λόγο αυτό, το συγκεκριμένο πείραμα εστιάζει στην αντίθετη κατάσταση από αυτή που είδαμε ως τώρα: ποια είναι η απόδοση του αλγορίθμου στην βελτίωση της ανάθεσης των ροών εργασίας όταν στην πράξη ο περιορισμός κόστους είναι δυνατόν να αγνοηθεί.

Σύμφωνα με την περιγραφή της προηγούμενης ενότητας, ο αλγόριθμος ξεκινά με την απολύτως φθηνότερη ανάθεση η οποία ικανοποιεί τον περιορισμό διαθεσιμότητας. Στην συγκεκριμένη περίπτωση η αρχική ανάθεση είναι η  $H_0$ ,  $H_1$ , και  $H_2$ , το τελικό αποτέλεσμα του προηγούμενου πειράματος. Η αρχική αυτή λύση κοστίζει 298.69 μονάδες και έχει διαθεσιμότητα 90.1%. Από την συζήτηση που ακολούθησε το προηγούμενο πείραμα, η ανάθεση αυτή είναι πράγματι η φθηνότερη που μπορεί να δώσει διαθεσιμότητα ίση με 90%.

Στη συνέχεια ο αλγόριθμος εισέρχεται και πάλι στη φάση βελτίωσης όπου προσπαθεί αν εντοπίζει μια πιο αποδοτική ανάθεση με τους διαθέσιμους του πόρους. Καθώς στη περίπτωση αυτή οι πόροι του είναι πρακτικά ανεξάντλητοι, η καλύτερη εναλλαγή η οποία προτείνεται σε κάθε επανάληψη θα γίνεται άμεσα αποδεκτή ως η ολικά καλύτερη λύση. Για τον λόγο αυτό, το πιο σημαντικό στοιχείο στην εκτέλεση αυτή είναι η καταλληλότητα των προτάσεων του αλγορίθμου ανά επίπεδο. Στον πίνακα που ακολουθεί συνοψίζονται και πάλι οι επαναλήψεις αυτές.

| Επανάληψη | Αρχ. Πάροχος   | Νέος Πάροχος   | Διαφορά Κόστους | Διαφορά Διαθεσιμ. | Διαφορά Χρόνου | Αποδοχή |
|-----------|----------------|----------------|-----------------|-------------------|----------------|---------|
| 1         | H <sub>1</sub> | A <sub>1</sub> | -9.62           | 6.40              | 68.24          | Ναι     |
| 2         | H <sub>2</sub> | D <sub>2</sub> | -2.09           | 5.90              | -0.12          | Ναι     |
| 3         | H <sub>3</sub> | A <sub>3</sub> | 20.95           | 4.42              | 2.69           | Ναι     |

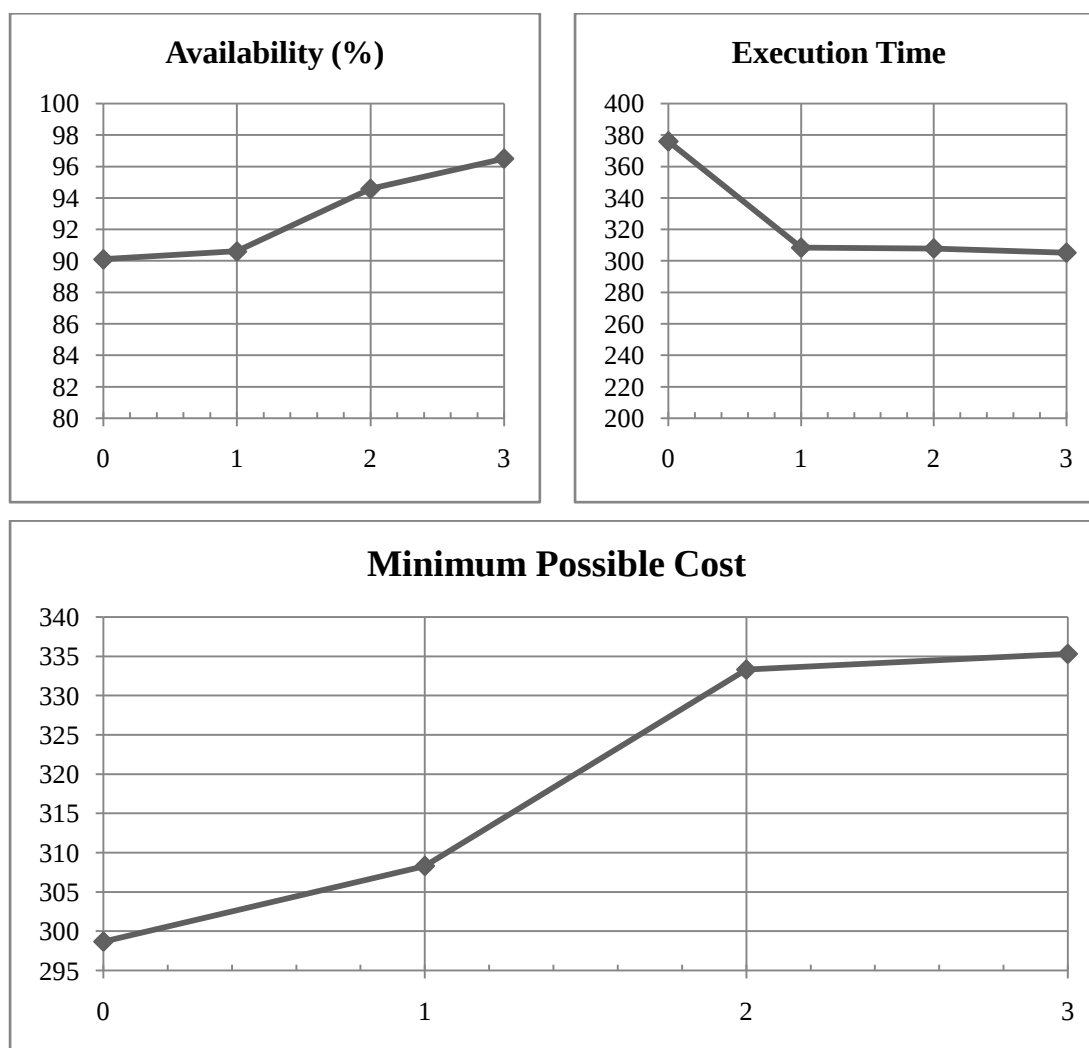
**Πίνακας 4: Πείραμα 2, Επαναλήψεις του αλγορίθμου για την βελτίωση της αρχικής ανάθεσης παρόχων υπηρεσιών**

Μετά από μόλις τρεις επαναλήψεις, ο αλγόριθμος σταματά με τελική ανάθεση την A<sub>1</sub>, D<sub>2</sub> και A<sub>3</sub>, συνολικού κόστους 335 μονάδων με επίπεδο διαθεσιμότητας 96.5% και χρόνο εκτέλεσης 305.15 μονάδων. Πράγματι, η εναλλαγή που προτάθηκε σε κάθε επίπεδο έγινε άμεσα αποδεκτή καθώς ο προϋπολογισμός ήταν ικανοποιητικός.

Η περισσότερη ενδιαφέρουσα παρατήρηση που μπορεί να γίνει για την παραπάνω εκτέλεση αφορά το πώς οι στρατηγικές εξαρτήσεις χρησιμοποιήθηκαν για την επίτευξη ενός επιπέδου αποδοτικότητας που ήταν προηγουμένως αδύνατο στο αρχικό πλέγμα. Αν οι στρατηγικές εξαρτήσεις αγνοηθούν τότε κανένας αλγόριθμος δεν μπορεί να πετύχει τέτοια ποιότητα υπηρεσίας. Οι γενικά καλύτερες επιλογές ανα επίπεδο είναι οι A<sub>1</sub>, G<sub>2</sub> και G<sub>3</sub> (θεωρώντας χρόνο εκτέλεσης και διαθεσιμότητα παραμέτρους με την ίδια σημασία) αλλά καταλήγουν σε χειρότερα συνολικά αποτελέσματα. Η συγκεκριμένη ανάθεση είναι η καλύτερη δυνατή όταν κανείς ενδιαφέρεται τόσο για την διαθεσιμότητα όσο και για τον χρόνο εκτέλεσης, καθώς κάθε άλλος συνδυασμός αυξάνει μεν την μία παράμετρο εις βάρος όμως της άλλης.

Τέλος, είναι απαραίτητη η διαλεύκανση της επιλογής του αλγορίθμου στην δεύτερη επανάληψη. Έχοντας επιλέξει τον πάροχο A<sub>1</sub> στον πρώτο τύπο υπηρεσίας, ο συνολικά καλύτερος πάροχος στον δεύτερο τύπο υπηρεσίας είναι ο A<sub>2</sub>, επηρεασμένος

θετικά από την επιλογή του  $A_1$ . Αλλά αντί ο αλγόριθμος να προτείνει τον συγκεκριμένο πάροχο για εναλλαγή με την αρχική επιλογή, επιλέγει τελικά τον πάροχο  $D_2$  παρότι προσφέρει χειρότερα επίπεδα ποιότητας. Ο λόγος πίσω από αυτή την επιλογή είναι το αυξημένο μέτρο S.R.F. που διαθέτει ο πάροχος  $D_2$  σε σύγκριση με τον  $A_2$ : αντίθετα με τον  $A_2$ , ο  $D_2$  διαθέτει κάποιες στρατηγικές εξαρτήσεις οι οποίες ενδέχεται να ωφεληθούν την συνολική ανάθεση και γι' αυτό επιλέγεται. Ευτυχώς, αυτό ακριβώς συμβαίνει στην τρίτη επανάληψη του αλγορίθμου όπου ο θετικά επηρεασμένος  $A_3$  είναι η γενικά καλύτερη επιλογή. Οι επαναλήψεις αυτές και η επίδρασή τους στην προτεινόμενη ανάθεση του αλγορίθμου είναι η εξής:



Σχήμα 19: Πείραμα 2, Βελτίωση των παραμέτρων ποιότητας ανά επανάληψη

### 5.2.3 Πειραματική Εκτέλεση 3: Απόδοση στη μέση περίπτωση

Ο χρήστης ορίζει τους εξής περιορισμούς: (i) Μέγιστο Κόστος=320 μονάδες και (ii) Ελάχιστη Διαθεσιμότητα=80%. Επιπρόσθετα, ο χρήστης δεν εκφράζει καμιά προτίμηση υπέρ κάποιας παραμέτρου και απλώς αφήνει τον αλγόριθμο να εντοπίσει την γενικά καλύτερη ανάθεση παρόχων. Για τον λόγο αυτό, ορίζει τις προτιμήσεις του ως εξής: (i) Cost Slope=1.00, (ii) Availability Slope=1.00, (iii) Time Slope 1.00.

Σύμφωνα με τις προηγούμενες εκτελέσεις, η περίπτωση αυτή βρίσκεται σε ενδιάμεση κατάσταση. Η απολύτως φθηνότερες αναθέσεις που μπορεί να γίνουν βρίσκονται ελαφρώς κάτω από τις 300 μονάδες κόστους ενώ από την άλλη πλευρά η απολύτως αποδοτικότερη ανάθεση κοστίζει 335 μονάδες. Συνεπώς η περίπτωση αυτή βρίσκεται στο ενδιάμεσο και χρησιμεύει σαν μια επισκόπηση της απόδοσης στη μέση περίπτωση.

Για άλλη μια φορά, ο αλγόριθμος ξεκινά από την απολύτως φθηνότερη λύση για το δεδομένο επιθυμητό επίπεδο διαθεσιμότητας και στη συνέχεια προσπαθεί να την βελτιώσει με διαδοχικές εναλλαγές. Η αρχική αυτή λύση είναι αυτή την φορά η  $G_1$ ,  $E_2$  και  $B_3$ . Το συνολικό κόστος της λύσης είναι 295,24 μονάδες με διαθεσιμότητα 85% και χρόνο εκτέλεσης 378,94 μονάδων. Η αρχική αυτή λύση χρησιμοποιεί δύο διαδοχικές στρατηγικές εξαρτήσεις για να είναι τόσο αποδοτική και είναι από μόνη της αρκετή για να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις του χρήστη. Συνεπώς η πρόκληση για βελτίωσή της είναι εδώ ακόμη μεγαλύτερη καθώς οποιαδήποτε αλλαγή και να γίνει στα δύο πρώτα επίπεδα θα καταστρατηγήσει κάποια από τις παραπάνω εξαρτήσεις.

Η φάση βελτιστοποίησης περιγράφεται στον επόμενο πίνακα:

| Επανάληψη | Αρχ. Πάροχος | Νέος Πάροχος | Διαφορά Κόστους | Διαφορά Διαθεσιμ. | Διαφορά Χρόνου | Αποδοχή |
|-----------|--------------|--------------|-----------------|-------------------|----------------|---------|
| 1         | $G_1$        | $A_1$        | -12.07          | 7.0               | 70.69          | Ναι     |
| 2         | $E_2$        | $D_2$        | -14.81          | 26.34             | 5.13           | Όχι     |
| 3         | $E_2$        | $A_2$        | -13.81          | 26.84             | 5.23           | Όχι     |
| 4         | $E_2$        | $H_2$        | -12.71          | 20.44             | 5.25           | Όχι     |
| 5         | $E_2$        | $G_2$        | -14.25          | 24.87             | 4.41           | Όχι     |
| 6         | $E_2$        | $F_2$        | -9.65           | 18.22             | 1.54           | Όχι     |
| 7         | $E_2$        | $B_2$        | -2.57           | 10.0              | 0.89           | Ναι     |
| 8         | $B_3$        | $G_3$        | -19.40          | 13.19             | 1.40           | Όχι     |

|    |                |                |        |       |       |     |
|----|----------------|----------------|--------|-------|-------|-----|
| 9  | B <sub>3</sub> | F <sub>3</sub> | -24.90 | 15.67 | 0.89  | Όχι |
| 10 | B <sub>3</sub> | H <sub>3</sub> | -20.01 | 12.67 | 0.69  | Όχι |
| 11 | B <sub>3</sub> | D <sub>3</sub> | -15.96 | 8.73  | 0.76  | Όχι |
| 12 | B <sub>3</sub> | E <sub>3</sub> | -6.25  | 8.04  | -0.20 | Όχι |
| 13 | B <sub>3</sub> | B <sub>3</sub> | 0.00   | 0.00  | 0.00  | Ναι |

**Πίνακας 5: Πείραμα 3, Επαναλήψεις του αλγορίθμου για την βελτίωση της αρχικής ανάθεσης παρόχων υπηρεσιών**

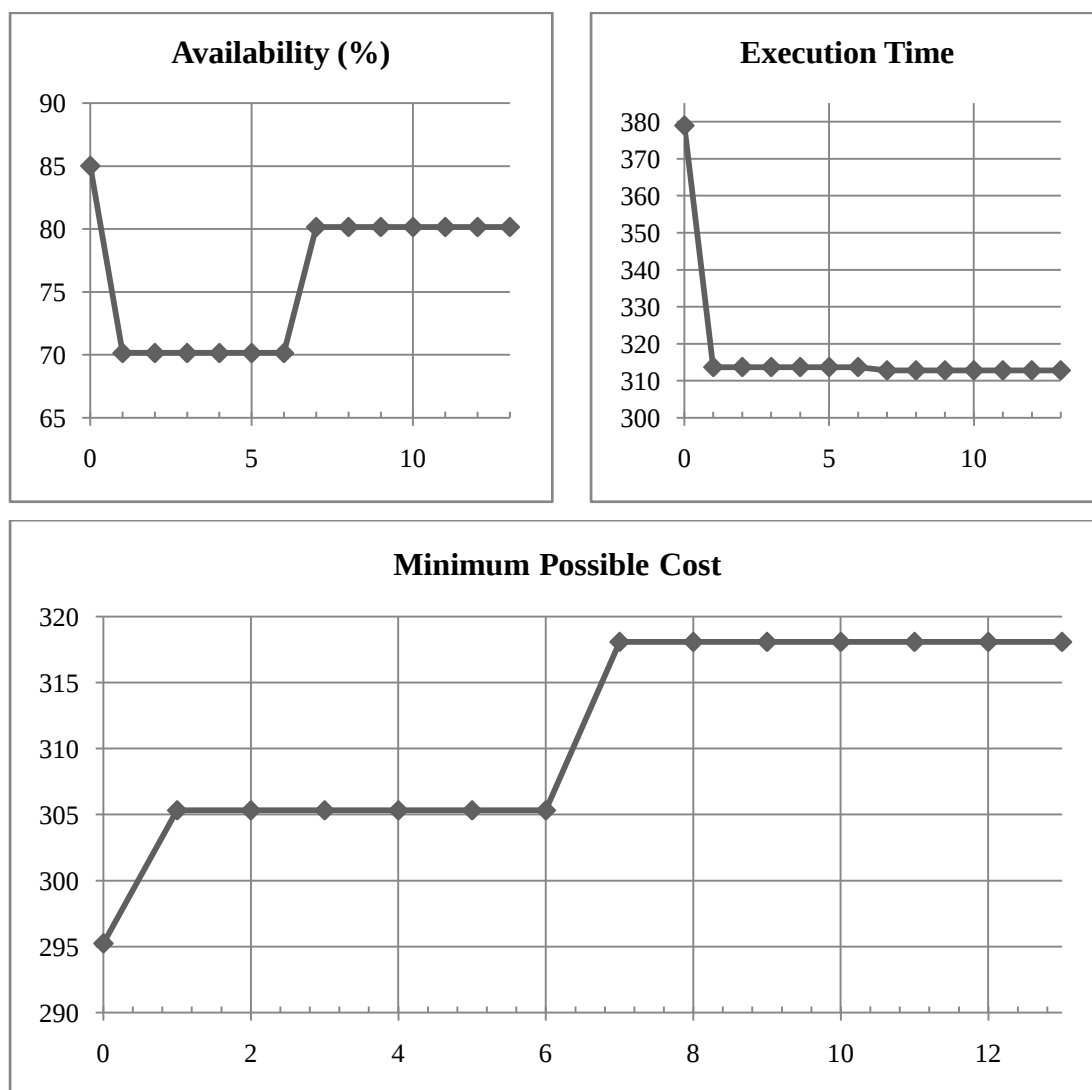
Η τελική λύση στην οποία καταλήγει ο αλγόριθμος στην περίπτωση αυτή είναι η A<sub>1</sub>, B<sub>2</sub> και B<sub>3</sub> με συνολικό κόστος 318.08, διαθεσιμότητα 80,15% και χρόνο εκτέλεσης 312.78 μονάδες. Η βελτίωση αυτή η οποία επετεύχθη δεν φαίνεται αρχικά ιδιαίτερα σημαντική. Η αρχική επιλογή από την οποία ξεκίνησε ο αλγόριθμος ήταν περίπου 20 μονάδες φθηνότερη ενώ παράλληλα προσέφερε καλύτερη διαθεσιμότητα. Αντίθετα η συγκεκριμένη μόνο οριακά ξεπερνά το όριο του 80% ενώ εξαντλώντας σχεδόν τους διαθέσιμους πόρους.

Με μια όμως περισσότερο προσεκτική ματιά βλέπουμε ότι η λύση αυτή είναι στην ουσία καλύτερη από την αρχική. Σε πρώτη φάση, έχει βελτιωθεί εμφανώς ο χρόνος εκτέλεσης ο οποίος έχει πέσει από τις 379 μονάδες στις 312, μείωση διόλου αμελητέα. Από την άλλη πλευρά, η διαθεσιμότητα φαίνεται να πέφτει από το 85% στο 80,15% πράγμα αρκετά αρνητικό. Παρατηρώντας όμως καλύτερα την συγκεκριμένη επιλογή κόμβων, βλέπουμε ότι το χαμηλό αυτό επίπεδο διαθεσιμότητας είναι αποτέλεσμα της επιλογής του παρόχου B<sub>2</sub>, σε αντίθεση με την διαθεσιμότητα των άλλων παρόχων (A<sub>1</sub> και B<sub>3</sub>) η οποία έχει αυξηθεί στη κατηγορία τους. Έτσι στον τύπο υπηρεσίας 1, ο οποίος αντιστοιχεί στο rendering της εικόνας και έχει την μεγαλύτερη συμμετοχή στον ολικό χρόνο εκτέλεσης (μερίδιο περίπου 97%), η διαθεσιμότητα είναι πολύ αυξημένη, ίση με 96,5% σε σχέση με την αρχική τιμή της (89,5%). Άρα γενικά μπορούμε να πούμε πως η διαθεσιμότητα έχει ουσιαστικά βελτιωθεί, αλλά καθώς η ονομαστική της τιμή καθορίζεται από την χειρότερη εμφανιζόμενη τιμή, εμφανίζεται τελικά χαμηλή.

Συνοψίζοντας λοιπόν τα παραπάνω, βλέπουμε ότι σε ακόμα μια περίπτωση ο αλγόριθμος απέδωσε ικανοποιητικά δίνοντας μια λύση αρκετά καλή η οποία έχει βελτιωμένες τιμές διαθεσιμότητας και χρόνου εκτέλεσης για το δεδομένο κόστος. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι στη συγκεκριμένη εκτέλεση ο αλγόριθμος τελικά δεν χρησιμοποίησε καμιά στρατηγική εξάρτηση καθώς μπόρεσε να εντοπίσει μια

ικανοποιητική λύση χωρίς την βοήθειά τους. Πράγματι, μελετώντας καλύτερα τις συγκεκριμένες στρατηγικές εξαρτήσεις βλέπουμε ότι η χρήση τους οδηγεί είτε σε φθηνότερες αλλά χειρότερες αναθέσεις είτε σε καλύτερες αλλά ακριβότερες. Οπότε με την αποφυγή τους ο αλγόριθμος κατάφερε να καταλήξει σε μια μέτρια λύση αντίστοιχη των διαθέσιμων πόρων.

Στο σχήμα που ακολουθεί φαίνεται για άλλη μια φορά η διακύμανση των παραμέτρων ποιότητας μετά από κάθε εκτέλεση του αλγορίθμου.



Σχήμα 20: Πείραμα 3, Βελτίωση των παραμέτρων ποιότητας ανά επανάληψη

# 6

## Βιβλιογραφικές Αναφορές

- [1] IBM, Grid Computing: Past, Present and Future, “An Innovation Perspective”, June, 2006, <http://www-03.ibm.com/grid/pdf/innovperspective.pdf>
- [2] 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.
- [3] A. Mayer, S. McGough, N. Furmento, W. Lee, M. Gulamali, S. Newhouse, and J. Darlington, “Workflow Expression: Comparison of Spatial and Temporal Approaches”, Workflow in Grid Systems Workshop, GGF-10, Berlin, March 9, 2004.
- [4] D.P. Spooner, J. Cao, S. A. Jarvis, L. He, and G. R. Nudd, “Performance-aware Workflow Management for Grid Computing”, The Computer Journal, Oxford University Press, London, UK, 2004.
- [5] Workflow Management Coalition, Terminology & Glossary, Document Number WPMC-TC-1011, Issues 3.0, February 1999.
- [6] I. Altintas, A. Birnbaum, K. Baldridge, W. Sudholt, M. Miller, C. Amoreira, Y. Potier, and B. Ludaescher, “A Framework for the Design and Reuse of Grid Workflows”, International Workshop on Scientific Applications on Grid Computing (SAG'04), LNCS 3458, Springer, 2005
- [7] E. Deelman, J. Blythe, Y. Gil, and C. Kesselman, “Workflow Management in GriPhyN”, The Grid Resource Management, Kluwer, Netherlands, 2003
- [8] E. Deelman, J. Blythe, Y. Gil, C. Kesselman, G. Mehta, S. Patil, M. H. Su, K. Vahi, M. Livny, “Pegasus: Mapping Scientific Workflow onto the Grid”, Across Grids Conference 2004, Nicosia, Cyprus, 2004
- [9] B. Ludäscher, I. Altintas, and A. Gupta, “Compiling Abstract Scientific Workflows into Web Service Workflows”, 15th International Conference on

- Scientific and Statistical Database Management, Cambridge, Massachusetts, USA., IEEE CS Press, pp. 241-244, Los Alamitos, CA, USA., July 09-11, 2003
- [10] Jia Yu, Rajkumar Buyya, “A Taxonomy of Workflow Management Systems for Grid Computing”, Journal of Grid Computing, Volume 3, Issue 3 - 4, pp. 171-200, Springer, 2005
- [11] W. van der Aalst, A. ter Hofstede, B. Kiepuszewski, and A. Barros, “Workflow patterns”. Distributed and Parallel Databases, 14(1):551, 2003
- [12] <http://www.w3.org/Submission/OWL-S/>
- [13] Web Services Description Language (WSDL) Version 2.0, <http://www.w3.org/TR/wsdl20/>
- [14] G. Bochmann and A. Hafid. “Some Principles for Quality of Service Management”, Technical report, Universite de Montreal, 1996
- [15] R. J. Al-Ali, K. Amin, G. von Laszewski, O. F. Rana, D. W. Walker, M. Hategan, N. J. Zaluzec: “Analysis and Provision of QoS for Distributed Grid Applications”, pp. 163-182, Journal of Grid Computing, 2004
- [16] Padgett, J., K. Djemame, and P. Dew, “Grid-based SLA Management”, Lecture Notes in Computer Science, pp. 1282-1291, 2000
- [17] A. Sahai and S. Graupner and V. Machiraju and A. Moorsel. (Specifying and Monitoring) Guarantees in Commercial Grids through SLA. Proceedings of the 3rd IEEE/ACM CCGrid2003, 2003
- [18] K. Czajkowski and I. Foster and C. Kesselman and V. Sander and S. Tuecke SNAP: A Protocol for Negotiating Service Level Agreements and Coordinating Resource Management in Distributed Systems. Proceedings of the 8th Workshop on Job Scheduling Strategies for Parallel Processing, 2002
- [19] F. Wang, K. Ramamritham, J.A. Stankovic, “Determining redundancy levels for fault tolerant real-time systems”, IEEE Trans. Computers, vol 44, 1995 Feb
- [20] Scheduling Working Group of the Grid Forum, Document: 10.5, September 2001
- [21] 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
- [22] I. 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

- [23] Al-Ali, R.; Rana, O.; Walker, D.; Jha, S. & Sohail, S. “G-QoSM: Grid Service Discovery Using QoS Properties.” Computing and Informatics Journal, 21 (4), 2002. 363-82
- [24] Min-You Wu, Wei Shu, H. Zhang, “Segmented min-min: a static mapping algorithm for meta-tasks on heterogeneous computing systems”, Heterogeneous Computing Workshop, 2000
- [25] Shanshan Song, Yu-Kwong Kwok, Kai Hwang, “Security- Driven Heuristics and A Fast Genetic Algorithm for Trusted Grid Job Scheduling Parallel and Distributed Processing Symposium”, 19th IEEE International 04-08 April 2005
- [26] R. Buyya, M. Murshed, D. Abramson, “A Deadline and Budget Constrained Cost-Time Optimization Algorithm for Scheduling Task Farming Applications on Global Grids”, Proceedings of the 2002 International Conference on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications(PDPTA702), 2002
- [27] R. Buyya, D. Abramson, S. Venugopal, “The Grid Economy”, Proceedings of the IEEE Volume 93, Issue 3, pp. 698-714, Mar 2005
- [28] Li Kenli, Tang Xiaoyong, Zhaohuan, “Grid Classified Optimization Scheduling Algorithm under the Limitation of Cost and Time”, Proceedings of the Second International Conference on Embedded Software and Systems (ICESS’05), 0-7695-2512-1/05 IEEE
- [29] Jorge Cardoso, Amit Sheth and John Miller, “Workflow Quality of Service”, Proceedings of the International Conference on Enterprise Integration and Modeling Technology and International Enterprise Modeling Conference (ICEIMT/IEMC’02), Kluwer Publishers, April 2002
- [30] J. Cardoso, J. Miller, A. Sheth, J. Arnold, “Modeling Quality of Service for Workflows and Web Service Processes”, Technical Report, LSDIS Lab, Department of Computer Science University of Georgia, 2002
- [31] D. Angulo, I. Foster, C. Liu, and L. Yang, "Design and Evaluation of a Resource Selection Framework for Grid Applications", Proceedings of IEEE International Symposium on High Performance Distributed Computing (HPDC-11), Edinburgh, Scotland, 2002
- [32] 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

- [33] R. Buyya, J. Giddy, D. Abramson, An Evaluation of Economy-based Resource Trading and Scheduling on Computational Power Grids for Parameter Sweep Applications, The Second Workshop on Active Middleware Services, In conjunction with HPDC 2001, 2000, Pittsburgh, USA (Kluwer Academic Press)
- [34] R. Buyya, D. Abramson, and J. Giddy, A Case for Economy Grid Architecture for Service-Oriented Grid Computing, 10th IEEE International Heterogeneous Computing Workshop, with IPDPS 2001, SF, California, USA, April 2001
- [35] R. Buyya, D. Abramson, J. Giddy, “An Economy Driven Resource Management Architecture for Computational Power Grids”, International Conference on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications, Las Vegas, USA., 2000
- [36] DAGMan, <http://www.cs.wisc.edu/condor/dagman/>
- [37] C. Weng, X. Lu, “Heuristic scheduling for bag-of-tasks applications in combination with QoS in computational grid”, Future Generation Computer Systems, pp. 271-280, 2005
- [38] V. Subramani, R. Ketimuthu, S. Srinivasan, P. Sadayappan, “Distributed job scheduling on computational grids using multiple simultaneous requests”, Proceedings of the 11th IEEE International Symposium on High Performance Distributed Computing, pp. 359-367, Edinburgh, Scotland, 2002
- [39] 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
- [40] L. Carrington, A. Snavey, N. Wolter, “A performance prediction framework for scientific applications”, Future Generation Computer Systems 22 (2006) 336–346
- [41] 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
- [42] D. Abramson, R. Sosic, 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
- [43] The Unicore project, <http://www.unicore.org/forum.htm>

- [44] 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
- [45] Dimosthenis Kyriazis, Konstantinos Dolkas, Andreas Menychtas and Theodora Varvarigou, “A new Workflow Mapping Mechanism for Grids”, *IST Mobile & Wireless Communication Summit 2006, Myconos - Greece, 04-08 June 2006*
- [46] Dimosthenis Kyriazis, Konstantinos Tserpes, Andreas Menychtas, Antonios Litke and Theodora Varvarigou, “An innovative Workflow Mapping Mechanism for Grids in the frame of Quality of Service”, *Future Generation Computer Systems (The International Journal of Grid Computing)*, Elsevier, 2007