

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

Διπλωματική Εργασία

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ  
Μελέτη Εγκατάστασης Cluster  
στα Πλαίσια Εφαρμογών Πλέγματος  
Χρονοδρομολόγηση και Διαχείριση Εργασιών  
Σε Συστήματα Υπολογισμού Πλέγματος

*Εισηγητής & Επιβλέπων*

**ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ ΒΑΡΒΑΡΙΓΟΣ**

*εκπονήθηκε από τον*

**Πέτρου Ι. Πιστοφίδη**

---

*Πάτρα Ιούλιος 2005*

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τελευταία χρόνια η υπολογιστική ισχύς, τα αποθηκευτικά μέσα και οι τηλεπικοινωνίες αναβαθμίζονται διαρκώς προσφέροντας γόνιμο έδαφος για την ανάπτυξη πολύπλοκων, απαιτητικών εφαρμογών, τόσο στον χώρο της επιστημονικής έρευνας, όσο και στα πλαίσια της παραγωγής εμπορικών λύσεων. Παράλληλα, οι τεχνολογίες λογισμικού και οι επιστημονικές πλατφόρμες, συνιστούν υποδομές που παρέχουν απεριόριστες δυνατότητες για την υλοποίηση υπολογιστικών εργασιών υψηλής πολυπλοκότητας. Πρόκειται για εργασίες, αλγορίθμους και εξομοιώσεις, των οποίων η εκτέλεση είναι ικανή να εκμεταλλευτεί πλήρως την προσφερόμενη υπολογιστική ισχύ και του πιο εξελιγμένου standalone υπολογιστικού συστήματος.

Οι server και τα αποθηκευτικά συστήματα, που διατίθενται στην αγορά, εξελίσσονται συνεχώς βελτιστοποιώντας την ισορροπία τιμής/απόδοσης. Οι δικτυακές υποδομές συναγωνίζονται πλέον σε επίπεδο Gigabit και η ποιότητα υπηρεσιών τους, τις καθιστά ικανές να υποστηρίξουν αξιόπιστα οποιαδήποτε ανάγκη για επικοινωνία.

Στον επιστημονικό χώρο, όλο και περισσότερες ερευνητικές δραστηριότητες εκτονώνουν την ανάγκη τους για επεξεργασία και συλλογή τεράστιου όγκου δεδομένων, στις υποδομές που του προσφέρει ο τομέας HPC της πληροφορικής. Τα σύγχρονα περιβάλλοντα υλοποίησης, τα ανοικτού κώδικα επιστημονικά εργαλεία και η βιβλιοθήκες επιστημονικού υπολογισμού δίνουν απεριόριστες δυνατότητες για science oriented εφαρμογές. Πλέον το υλικό αν και δεν σταματάει να αναβαθμίζεται και να παρέχει μεγάλο φάσμα λύσεων, αρχίζει να υστερεί σε σχέση με την εκρηκτική κλιμάκωση των εφαρμογών υψηλών αποδόσεων.

Η λύση βρέθηκε στην μετάβαση από το μοντέλο των μεμονωμένων διακριτών πόρων στο μοντέλο της συνεργασίας κατανεμημένων πόρων. Εκεί, που οι υπερυπολογιστές υψηλού κόστους αδυνατούν να ανταποκριθούν, τα συστήματα κατανεμημένων workstation επαρκούν και υπόσχονται περισσότερα. Αυτό που εδώ και καιρό έλλειπε από τον χώρο των κατανεμημένων συστημάτων ήταν ο συνδεδετικός ιστός που θα έκανε αποδοτική και βέλτιστη την παράλληλη συνεργασία τους. Μια συνεργασία που έπρεπε να φτάσει επίπεδα συγχρονισμού και οργάνωσης παρόμοια με αυτά της αρχιτεκτονικής ενός ισχυρού standalone συστήματος.

Σε αυτή την ανάγκη απαντάει η τεχνολογία του πλέγματος. Μια τεχνολογία που ξεκίνησε με πολλές αντιρρήσεις και αμφισβητήσεις σχετικά με τον ρόλο και τον στόχο της. Το πλέγμα και οι εφαρμογές του, αποτελούν την απάντηση στις ανάγκες για προτυποποίηση και ανάπτυξη ενιαίων πρωτοκόλλων για την επικοινωνία γεωγραφικά κατανεμημένων πόρων.

### Ιστορικό Τεχνολογίας Πλέγματος

Η πρώτη λύση στις αυξανόμενες ανάγκες για υπολογιστική ισχύ, δόθηκε από τους κόλπους της clustering δραστηριότητας. Σύντομα η τεχνολογία αυτή συνάντησε τα όριά της με τις υπολογιστικές ανάγκες να κλιμακώνονται κατά τάξεις μεγέθους και να ξεπερνούν κατά πολύ τις δυνατότητες ενός μεμονωμένου cluster. Ήταν φανερό ότι οι προσπάθειες έπρεπε να εστιαστούν όχι στην συνεργασία όμοιων συστημάτων και αρχιτεκτονικών, αλλά στην επίτευξη επικοινωνίας μεταξύ τελείως ανομοιογενών πόρων.

Η ομοιομορφία και η ομοιογένεια συναντώνται μόνο στα πλαίσια παρόμοιων επιλογών και σκοπών. Με άλλα λόγια η ομοιογένεια χαρακτηρίζει τον εξοπλισμό και τις δυνατότητες, που εξυπηρετούν συχνά ένα κοινό ερευνητικό ή αναπτυξιακό στόχο. Ένα τέτοιο μοντέλο συστημάτων έχει εξ' αρχής στοιχεία που οριοθετούν την

κλιμάκωσή του και είναι δεδομένο, ότι οι προοπτικές του περιορίζονται στα στενά πλαίσια της συμβατότητας του υλικού/λογισμικού.

Η υποστήριξη της ανομοιογένειας είναι το κλειδί της κλιμάκωσης και της απεριόριστης υπολογιστικής ισχύος. Σκοπός πλέον δεν ήταν η βέλτιστη απόδοση συνεργασίας όμοιων συστημάτων, αλλά η διαμόρφωση ενός κοινού πλαισίου επικοινωνίας, οποιοδήποτε συστήματος μπορεί να χαρακτηριστεί ως πόρος. Οι υλοποιήσεις και τα πρωτόκολλα προσανατολίζονται πλέον ξεκάθαρα προς την module ανάπτυξη λογισμικού. Το Πλέγμα αρχίζει να παίρνει την πρώτη του μορφή, μέσα από την προσπάθεια για συμμετοχή όλων των πόρων. Αρχίζουν να διαμορφώνονται τα πρώτα πορίσματα, που αποσαφηνίζουν τους άξονες πορείας της Τεχνολογίας Πλέγματος:

- Εκμετάλλευση πόρων που υπο-χρησιμοποιούνται.
- Συνεργασία όλων των υπολογιστικών συστημάτων από PDA μέχρι υπερ-υπολογιστές και cluster.
- Συνεργασία όλων των πόρων με στόχο την παράλληλη επεξεργασία πολύπλοκων εργασιών.
- Οι πόροι είναι πολύ ασταθείς. Η αποτυχία πόρου είναι ο κανόνας (Failure is the rule).

Οι πρώτες ιδέες και προσπάθειες αρχίζουν να εμφανίζονται. Οι χώροι του HPC, clustering και parallel computing απαιτούν να δουν μια πρώτη υλοποίηση, για να μπορέσουν να κατανοήσουν την ιδέα του πλέγματος και να διακρίνουν το problem space της. Το καλοκαίρι του 1998, μια ερευνητική ομάδα με background στα παράλληλα συστήματα και επικεφαλής τον ερευνητή Ian Foster, παρουσιάζει την έκδοση 1.0 του Globus Toolkit. Μια υλοποίηση ανοικτού κώδικα, που ισχυρίζεται ότι αποτελεί την πρώτη πλατφόρμα πλέγματος.

Η ιστορία υλοποιήσεων πλεγμάτων μόλις ξεκίνησε. Το Globus Toolkit, κάθε μήνα που περνάει θέτει νέα δεδομένα για την τεχνολογία, που σε 7 χρόνια θα οδηγή όλους τους τομείς της επιστήμης και θα λαμβάνει την μεγαλύτερη χρηματοδότηση από οποιοδήποτε άλλο τομέα της πληροφορικής. Με την έκδοση 2.0 του Globus Toolkit έχουν προτυποποιηθεί τα βασικά χαρακτηριστικά και οι ρόλοι μιας αρχιτεκτονικής πλέγματος. Resource Broker, Resource Allocation, Resource Management, Scheduling, Monitoring, User Interface, ένα ένα τα δομικά στοιχεία που οικοδομούν το πλέγμα εξελίσσονται με την ουσιαστική συνεισφορά όλων των επιστημονικών πεδίων καταναμημένων συστημάτων. Το Globus Toolkit λειτουργεί στα περισσότερα πανεπιστήμια και ερευνητικά εργαστήρια των ΗΠΑ. Οι δυνατότητές του, αποδεικνύουν ότι η τεχνολογία πλέγματος είναι η απάντηση στην αυξημένη ζήτηση υπολογιστικής ισχύος. Τα cluster συνδέονται το ένα μετά το άλλο και οι πρώτες δυνατότητες κλιμάκωσης είναι πρακτικά ορατές.

Η βιομηχανία της πληροφορικής παρατηρεί την πορεία του Globus και με δεδομένη την ζήτηση για υπολογιστική ισχύ, αποφασίζει να συμμετάσχει ενεργά, με στόχο το κέρδος και εν συνεχεία, τον απεγκλωβισμό της Τεχνολογίας Πλέγματος από τον ερευνητικό χώρο. Η παραγωγή εμπορικών λύσεων είναι ακόμα μακριά. Στα επόμενα δύο χρόνια οι περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες χτίζουν ανεξάρτητες υλοποιήσεις πάνω στην υποδομή του GT2. IBM, Sun, Compaq, Avaki και πολλοί άλλοι vendors πληροφορικής συμμετέχουν και ανακοινώνουν εμπορικές λύσεις που δεν συναντούν τα release days τους.

Διαμορφώνεται το Global Grid Forum, που στόχο έχει να προσανατολίσει την ερευνητική δραστηριότητα του Πλέγματος, και να φέρνει σε επαφή τους επιστήμονες και τις αναπτυξιακές μονάδες. Σύντομα μετατρέπεται σε κομβικό σημείο, το οποίο

αναλαμβάνει τον έλεγχο και την προτυποποίηση των υλοποιήσεων και των πρωτοκόλλων, που αρχίζουν και πηγάζουν από κάθε πανεπιστήμιο της υφηλίου.

Η τελευταία διετία 2004-2005 οδηγεί την Τεχνολογία Πλέγματος σε μια κορύφωση. Το Globus Toolkit προσφέρει τις εκδόσεις 3 και 4. Τα πρότυπα και τα πρωτόκολλα έχουν γίνει αρκετά ισχυρά και αξιόπιστα, με αποτέλεσμα η συνεργασία να γίνεται σε επίπεδο inter-Grid. Η δύσκαμπτη, πολύπλοκη προγραμματιστική υποδομή του Globus και των άλλων υλοποιήσεων διασπάται σε αυτόνομες, δια-λειτουργικές υπηρεσίες. Η αρχιτεκτονική OGSA, η υποδομή OGSi (του GT3) και η εισαγωγή των Grid Services κλιμακώνουν την ευελιξία των πλεγματικών συστημάτων. Η συνεργασία των πόρων είναι πιο εύκολη και οι πρώτες αξιόλογες εμπορικές λύσεις έρχονται να ανταποκριθούν σε υπαρκτές ανάγκες μεγάλων επιχειρήσεων (βιομηχανίες, τράπεζες κ.α.). Το 2005 ξεκινάει με την Τεχνολογία Πλέγματος να λαμβάνει τις μεγαλύτερες χρηματοδοτήσεις. Η τελευταία έκδοση 4 του Globus Toolkit υλοποιεί το νέο πρότυπο WSRF (Web Service Resource Framework). Οι υπηρεσίες Grid και Web ενώνονται και αποτελούν ενιαία τεχνολογία που υπακούει στις προδιαγραφές του νέου Framework. Όλες οι λειτουργίες και οι υπηρεσίες αποτελούν μονάδες λογισμικού που προσαρμόζονται και λειτουργούν παντού. Τα πρωτόκολλα είναι ευρέως αποδεκτά και όλες οι υλοποιήσεις είναι τουλάχιστον συμβατές με την OGSA αρχιτεκτονική. Τα πλέγματα κλιμακώνονται σε χιλιάδες και δεκάδες χιλιάδες επεξεργαστών. Τα Gbit των δικτυακών συνδέσεων και τα TB των αποθηκευτικών silo κάνουν φανερό ότι η Τεχνολογία Πλέγματος δεν γνωρίζει όρια.

### **Αντικείμενο Διπλωματικής**

Από την έκδοση 3 του Globus Toolkit και την εμφάνιση των πρώτων πλεγματικών υπηρεσιών, όλα τα πανεπιστήμια του κόσμου άρχισαν να επενδύουν σε υπολογιστική υποδομή για την εξυπηρέτηση των ερευνητικών τους δραστηριοτήτων. Από συλλογές παλαιότερου εξοπλισμού, μέχρι ολοκαίνουργα cluster, όλο το φάσμα των πόρων άρχισε να οργανώνεται και να χρησιμοποιείται για την ενεργή συμμετοχή στο αγώνα δρόμου υπολογιστικής ισχύος.

Με δεδομένο ότι τα κατανομημένα συστήματα αποτελούν ισχυρές υποδομές υψηλών προδιαγραφών, κάθε πανεπιστήμιο, αλλά και κάθε επιχείρηση πρέπει να γνωρίζει αρκετά καλά την σύνθεση και τα χαρακτηριστικά του εξοπλισμού που μπορεί να ανταποκριθεί στις ανάγκες και τα σχέδιά τους. Το κόστος, η αθροιστική ισχύς, ο αποθηκευτικός χώρος και η δυνατότητες επέκτασης αποτελούν γενικές παραμέτρους, που λαμβάνονται υπόψη κατά την επιλογή. Κάθε μια από τις παραμέτρους αυτές, περιέχει πολλά χαρακτηριστικά και επιλογές, που διαδραματίζουν ουσιαστικό ρόλο στο τελικό αποτέλεσμα. Η υπολογιστική ισχύς έχει πλέον μετατραπεί σε αντικείμενο γοήτρου και υλικό προβολής για τα πανεπιστήμια και τα εργαστήρια. Οι επιλογές σε εξοπλισμό γίνονται πρόχειρα και χωρίς κατάλληλες μελέτες και προδιαγραφές. Τα αποτελέσματα είναι η ύπαρξη χιλιάδων short-lived συστημάτων cluster, τα οποία όχι μόνο δεν ικανοποιούν τα minimum των αναγκών, αλλά κοστίζουν σε χρόνο του προσωπικού διαχείρισης. Μια σωστή μελέτη εξοπλισμού και λογισμικού (πλατφόρμας), εξασφαλίζει ότι το σύστημα γρήγορα θα φτάσει σε επίπεδα σταθερής απόδοσης και ισορροπημένης λειτουργίας. Επίπεδα που το καθιστούν αρκετά αξιόπιστο για να γίνει αποδεκτό στο συνεργατικό πλαίσιο ενός ευρύτερου πλέγματος.

Η παρούσα διπλωματική εργασία στοχεύει να παρουσιάσει τις παραμέτρους, που πρέπει να ληφθούν υπόψη στην επιλογή του εξοπλισμού και του λογισμικού ενός cluster. Επίσης, προτείνει λύση για την σύνθεση του Cluster στο EAITY της Πάτρας, στα πλαίσια της συμμετοχής του στο πρόγραμμα Πλέγματος EGEE1. Το πρόγραμμα αυτό βρίσκεται υπό την διεύθυνση του εργαστηρίου CERN, που εδώ και χρόνια αποτελεί κινητήρια δύναμη των ευρωπαϊκών υλοποιήσεων πλέγματος (DataGRID,

EDG, LCG, gLite). Στο Cluster σχεδιάζεται η εγκατάσταση και χρήση της πλατφόρμας LCG και μετέπειτα της πλατφόρμας gLite. Η αρχιτεκτονική και τα χαρακτηριστικά και των δύο θα αναλυθούν και θα συγκριθούν με αντίστοιχες σύγχρονες υλοποιήσεις. Πιο συγκεκριμένα η παρούσα εργασία δομείται στα εξής κεφάλαια:

#### Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup>

Περιγραφή των προδιαγραφών που πρέπει να διέπουν όλη την διαδικασία προμήθειας και εγκατάστασης ενός cluster, από την επιλογή εξοπλισμού μέχρι την εγκατάσταση και χρήση. Κάθε τομέας, ο οποίος αποτελεί άξονα επιλογών, αναλύεται σε αυτό το κεφάλαιο και παρουσιάζονται αναλυτικά οι επιλογές που υπάρχουν και τα σημεία στα οποία πρέπει να δοθεί προσοχή.

#### Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup>

Στο κεφάλαιο αυτό, αναλύονται οι βασικές προδιαγραφές που πρέπει να πληρεί μια πλατφόρμα πλέγματος. Παρουσιάζονται οι σύγχρονες τεχνολογίες και οι προσανατολισμοί που αποτελούν τα μέσα και τα θεμέλια, αντίστοιχα, των σύγχρονων εφαρμογών. Εξετάζονται οι υλοποιήσεις του Globus Toolkit 4, LCG και gLite. Για κάθε υλοποίηση γίνεται μελέτη των βασικών στοιχείων της αρχιτεκτονικής τους.

#### Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup>

Το κεφάλαιο αυτό μελετάει μια από τις σημαντικότερες λειτουργίες μια πλατφόρμας πλέγματος. Πρόκειται για το λογισμικό που αναλαμβάνει την διαχείριση των πόρων και των εργασιών. Τα πακέτα αυτά, περιλαμβάνουν αλγορίθμους χρονοπρογραμματισμού, διαχείρισης σειρών και παρακολούθησης διαδικασιών. Η πλατφόρμα LCG προσφέρει ποιοτική συνεργασία με μερικά από τα πιο ισχυρά πακέτα που υπάρχουν. Για κάθε ένα από αυτά, γίνεται απαρίθμηση των χαρακτηριστικών, των δυνατοτήτων και των αδυναμιών τους.

#### Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup>

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται η διαδικασία εγκατάστασης και διαμόρφωσης της πλατφόρμας LCG 2.x. Με αναλυτικές, βήμα προς βήμα, οδηγίες και παραδείγματα επεξηγούνται οι ενέργειες που οδηγούν σε μια επιτυχημένη εγκατάσταση.

#### Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup>

Το κεφάλαιο 5 παρέχει στους διαχειριστές μεθόδους ελέγχου και εξακρίβωσης της σωστής λειτουργίας της πλατφόρμας LCG. Με χρήση έτοιμων scripts και μελέτη του επιστρεφόμενου αποτελέσματος, ο διαχειριστής μπορεί να κρίνει την κατάσταση του συστήματος και να συμπεράνει την διαθεσιμότητα και απόδοση των βασικών υπηρεσιών.

#### Κεφάλαιο 6<sup>ο</sup>

Στο τελευταίο κεφάλαιο περιγράφονται βασικά σενάρια χρήσης, που θα πρέπει να πραγματοποιούνται από τους διαχειριστές σε καθημερινή βάση. Τα παραδείγματα αποτελούν σημεία αναφοράς για την σωστή επιτέλεση διαχειριστικών και εκτελεστικών διαδικασιών.