
Κατανεμημένα Συστήματα Εισαγωγή

Χάρης Μανιφάβας
Τμήμα Εφ. Πληροφορικής & Πολυμέσων
ΤΕΙ Κρήτης

Κατανεμημένα Συστήματα

- Περιεχόμενα
 - Ορισμός
 - Παράλληλη Επεξεργασία
 - Κατανεμημένη Επεξεργασία
 - Clusters
 - Παραδείγματα
 - Αρχές Σχεδίασης
 - Γενικές Απαιτήσεις
 - Ειδικές Απαιτήσεις

Κατανεμημένα Συστήματα

- Δύο εξελίξεις της τεχνολογίας επέτρεψαν την εμφάνιση ΚΣ
 - Ισχυροί μικροεπεξεργαστές
 - Δίκτυα δεδομένων ψηλών ταχυτήτων (LANs, WANs)
- Σήμερα είναι δυνατό να συνδεθεί ένας μεγάλος αριθμός υπολογιστών μέσω γρήγορων δικτύων
 - Δυνατότητα σύνδεσης πολλαπλών επεξεργαστών
- Αντίθετα, στο παρελθόν υπήρχαν κεντροποιημένα (συγκεντρωτικά) συστήματα, τα οποία αποτελούνταν από ένα κεντρικό υπολογιστή, περιφερειακά και ίσως κάποια τερματικά

Ορισμός

- Κατανεμημένο σύστημα είναι:

“Ένα σύνολο από ανεξάρτητους υπολογιστές το οποίο παρουσιάζεται στους χρήστες σαν ένα λογικό σύστημα”

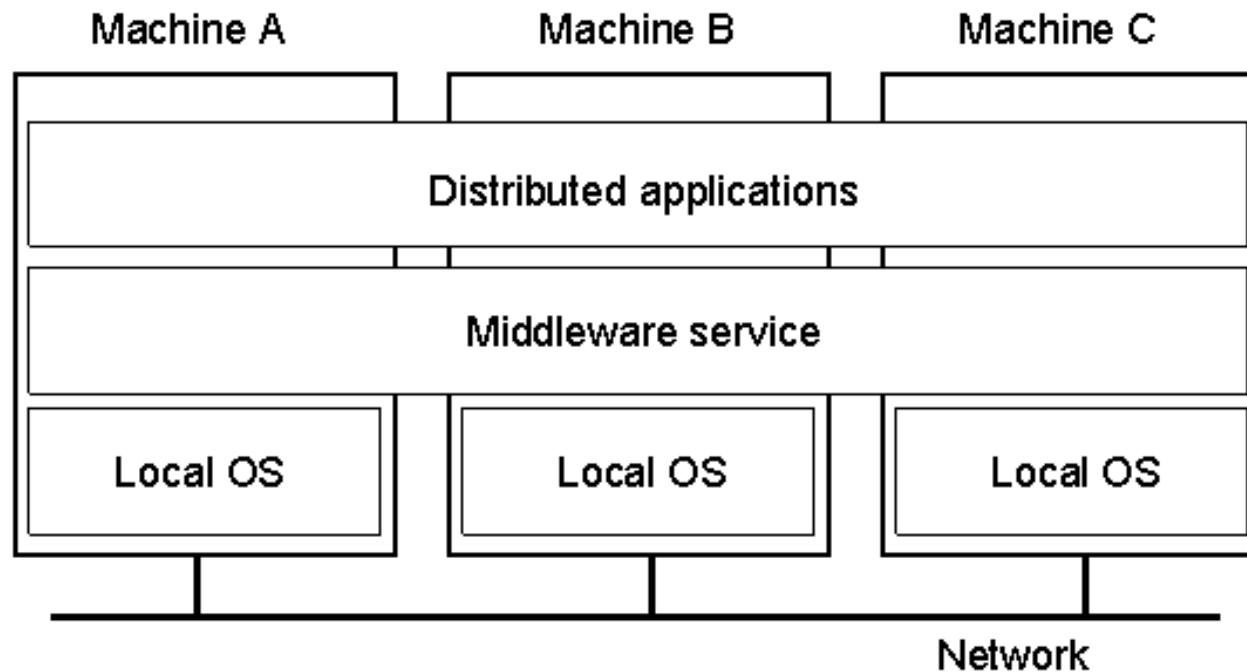
- Ο ορισμός αναφέρεται τόσο σε h/w όσο και σε s/w
- Οι διαφορές των υπολογιστών μεταξύ τους ή ο τρόπος με τον οποίο επικοινωνούν δεν απασχολούν τους χρήστες
- Οι χρήστες χρησιμοποιούν το σύστημα με σταθερό και ομοιόμορφο τρόπο

- “Γνωρίζεις ότι έχεις ένα κατανεμημένο σύστημα όταν η δυσλειτουργία ενός αγνώστου συστήματος δεν σου επιτρέπει να κάνεις τη δουλειά σου” Lamport

Middleware

- Προκειμένου να υποστηριχτούν διαφορετικά είδη υπολογιστών και δικτύων και παράλληλα να προσφέρουν μια ομοιόμορφη εικόνα στους τελικούς χρήστες, τα ΚΣ συνήθως αποτελούνται από ένα επίπεδο λογισμικού, το ενδιάμεσο λογισμικό (middleware)
- Το λογισμικό αυτό τοποθετείται λογικά μεταξύ ενός υψηλότερου επιπέδου που αποτελείται από τους χρήστες και τις εφαρμογές και ενός χαμηλότερου επιπέδου που αποτελείται από λειτουργικά συστήματα

Middleware



Παράδειγμα ΚΣ οργανωμένου σαν middleware, το επίπεδο του οποίου καλύπτει πολλά υπολογιστικά συστήματα

Παραδείγματα ΚΣ

- Δίκτυο σταθμών εργασίας σε μία εταιρεία
- Σύστημα workflow
- World Wide Web

Παράλληλη Επεξεργασία

- Η παράλληλη επεξεργασία είναι ένα ανερχόμενο αντικείμενο στην αρχιτεκτονική των υπολογιστών
 - Έχει στόχο τη βελτίωση της ταχύτητας επεξεργασίας χωρίς να βασίζεται στην βελτίωση της τεχνολογίας του υλικού
 - Μιλώντας γενικά ένας υπολογιστής θεωρείται παράλληλος αν αποτελείται από πολλές επεξεργαστικές μονάδες οι οποίες συνεργάζονται στενά για την λύση του ίδιου προβλήματος σε χρόνο μικρότερο από το χρόνο που θα χρειαζόταν ένας επεξεργαστής μόνος του για να λύσει το ίδιο πρόβλημα.
 - Οι επεξεργαστές αυτοί λέγονται *σφιχτά συνδεδεμένοι (tightly coupled)*
- Την τελευταία δεκαετία η θεωρία της παράλληλης επεξεργασίας άρχισε να αποδίδει καρπούς
 - Εμφανίστηκαν τα πρώτα εμπορικά παράλληλα συστήματα υπολογιστών με διπλούς ή τετραπλούς επεξεργαστές Pentium και με κόστος τόσο μικρό ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν από μια όχι ιδιαίτερα μεγάλη επιχείρηση ή ακόμα κι από έναν ιδιώτη στο σπίτι
 - Η παράλληλη επεξεργασία μπήκε πλέον στο χώρο του λεγόμενου “desktop computing”, δηλαδή στους υπολογιστές γραφείου

Παράλληλη Επεξεργασία

- Η παράλληλη επεξεργασία μπορεί να γίνει καλύτερα κατανοητή με ένα παράδειγμα:
 - Έστω ότι ο στόχος μας (η εφαρμογή) είναι να μεταφερθούν κάποιοι σάκοι με άμμο στις όχθες ενός ποταμού για προστασία από τις πλημμύρες
 - Έστω ότι οι σάκοι βρίσκονται σε μια μεγάλη αποθήκη και ότι για να γίνει το φράγμα χρειάζονται να μεταφερθούν 100000 σάκοι άμμου
 - Έστω επίσης ότι ένας άνθρωπος μόνος του (δηλ. ένας επεξεργαστής) εργαζόμενος οχτώ ώρες τη μέρα μπορεί να μεταφέρει 500 σάκους τη μέρα
 - Μ' αυτό το ρυθμό ένας άνθρωπος μόνος του θα ολοκληρώσει το έργο σε 200 μέρες δηλαδή περίπου 6.5 μήνες

 - Η δουλειά προφανώς θα επιταχυνθεί αν στο έργο δουλέψουν π.χ 100 άνθρωποι ταυτόχρονα
 - Τότε θεωρητικά το έργο θα τελειώσει στο 1/100 του χρόνου δηλαδή σε 2 μέρες

Παράλληλη Επεξεργασία

- ❑ Για να γίνει όμως αυτό οι άνθρωποι (επεξεργαστές) πρέπει να συνεργαστούν μεταξύ τους πράγμα που προϋποθέτει ότι επικοινωνούν μεταξύ τους με κάποιο αποδοτικό τρόπο
- ❑ Πρέπει για παράδειγμα να αποφύγουν να στοιβάζουν όλοι τους σάκους στο ίδιο σημείο αλλά να απλώνουν το φράγμα κατά μήκος όλου του ποταμού
- ❑ Πρέπει για παράδειγμα να συμφωνήσουν εκ των προτέρων ποιο κομμάτι του ποταμού θα επιχωματώσει ο καθένας (κατάτμηση του αλγορίθμου σε κομμάτια που θα εκτελεστούν παράλληλα)
- ❑ Επίσης θα πρέπει να υπάρχει κάποιος αποδοτικός τρόπος να διανέμονται οι σάκοι στον καθένα γιατί διαφορετικά αν προσπαθήσουν και οι 100 ταυτόχρονα να πάνε στην αποθήκη και να πάρουν ένα σάκο θα δημιουργηθεί συνωστισμός και αδιαχώρητο και τελικά πιθανώς δεν θα εξυπηρετηθεί κανείς
- ❑ Ενδεχομένως θα ήταν πιο αποδοτικό να δημιουργηθεί μια αλυσίδα όπου ο ένας θα δίνει στον άλλο από ένα σάκο και ο τελευταίος θα τον αποθέτει στον ποταμό
- ❑ Αυτό απαιτεί κάποια συνεννόηση μεταξύ των ανθρώπων η οποία επιτυγχάνεται στην περίπτωση μας με την απλή οπτική επαφή αλλά στην περίπτωση των υπολογιστών επιτυγχάνεται με ανταλλαγή μηνυμάτων μεταξύ των επεξεργαστών
- ❑ Τέλος θα πρέπει να ενημερώνει ο ένας τον άλλο ότι πιάνει δουλειά ή ότι σταματάει είτε διότι σταμάτησε η βάρδια του είτε για άλλο λόγο (πχ. ατύχημα)

Παράλληλη Επεξεργασία

- Από το παράδειγμα γίνεται σαφές ότι η παράλληλη επεξεργασία απαιτεί στενή συνεργασία μεταξύ των επεξεργαστών και ότι χαρακτηριστικό τους είναι ότι λύνουν κάποιο κοινό πρόβλημα
 - Ο στόχος της συνεργασίας είναι η επιτάχυνση της δουλειάς και η μεγαλύτερη απόδοση
 - Για τους λόγους αυτούς οι παράλληλοι υπολογιστές αποτελούνται από επεξεργαστές που βρίσκονται πολύ κοντά ο ένας με τον άλλο, όχι απλώς στο ίδιο δωμάτιο ή στο ίδιο κουτί αλλά συχνά πάνω στην ίδια κάρτα
 - Στόχος είναι η ελαχιστοποίηση του χρόνου επικοινωνίας μεταξύ τους και επομένως το δίκτυο διασύνδεσης έχει τυπικά πολύ μεγάλη ταχύτητα
 - Σε ορισμένες μάλιστα περιπτώσεις οι επεξεργαστές σχεδιάζονται ειδικά για τη λύση ενός συγκεκριμένου προβλήματος ή μιας κατηγορίας ομοειδών προβλημάτων (πχ. πολλαπλασιασμός πινάκων, βασικοί αλγόριθμοι επεξεργασίας εικόνας)
 - Αυτοί οι υπολογιστές λέγονται ειδικού σκοπού και βρίσκονται σε αντίθεση με τους υπολογιστές γενικού σκοπού που, όπως λέει και το όνομά τους, έχουν σχεδιαστεί να εκτελούν οποιαδήποτε εφαρμογή

Grid Computing

- Μια άλλη καινοτομία των τελευταίων ετών είναι η ραγδαία ανάπτυξη των δικτύων και η σχετικά φθηνή δημιουργία υπερ-ταχέων τυποποιημένων δικτύων τοπικής εμβέλειας ή ακόμη και ευρείας περιοχής
 - Τέτοια παραδείγματα είναι το GigaBit Ethernet, το ATM, και το WDM
 - Η διάδοση τέτοιων δικτύων έδωσε τη δυνατότητα ανάπτυξης ενός νέου υπολογιστικού μοντέλου όπου πολλοί, απλοί υπολογιστές γραφείου συνδεδεμένοι μέσα από το ταχύ δίκτυο μπορούν να λειτουργούν ως μια μεγάλη, εικονική παράλληλη μηχανή
 - Αυτή η τεχνολογία είναι γνωστή ως “grid-computing” ενώ οι ομάδες τέτοιων υπολογιστών καλούνται “clusters”
 - Η τεχνολογία αυτή αποτελεί μια γέφυρα μεταξύ παράλληλης και κατακεμημένης τεχνολογίας

Κατανεμημένη Επεξεργασία

- Η κατανεμημένη επεξεργασία μοιάζει σε πολλά σημεία με την παράλληλη επεξεργασία
 - Πρώτ' απ' όλα, όπως και στην παράλληλη επεξεργασία, έχουμε πολλούς υπολογιστές που επικοινωνούν μεταξύ τους και ανταλλάσσουν πληροφορίες
 - Σε αντίθεση όμως με την παράλληλη επεξεργασία οι αποστάσεις μεταξύ των υπολογιστών είναι συχνά ιδιαίτερα μεγάλες και για λόγους οικονομίας αλλά και για λόγους απόστασης συνδέονται μεταξύ τους με δίκτυα περιορισμένης ταχύτητας (πχ. modem, ISDN, ATM, FDDI, κλπ)
 - Οι τοπικοί υπολογιστές ενός κατανεμημένου συστήματος είναι σε μεγάλο βαθμό ανεξάρτητοι και χρειάζεται να επικοινωνούν λιγότερο συχνά απ' όσο οι επεξεργαστές ενός παράλληλου συστήματος
 - Οι υπολογιστές αυτοί λέμε ότι είναι χαλαρά συνδεδεμένοι (loosely coupled)
 - Αν και η ταχύτητα είναι ένα κριτήριο αξιολόγησης ενός κατανεμημένου συστήματος όπως και ενός παράλληλου συστήματος υπάρχουν κάποια πιο σημαντικά κριτήρια στην απόδοση των κατανεμημένων συστημάτων

Clusters

■ Cluster

- Ονομάζεται μια ομάδα υπολογιστών διασυνδεδεμένων μέσα από ένα τυποποιημένο δίκτυο πολύ υψηλής ταχύτητας με σκοπό τη συνεργασία μεταξύ τους για την επίλυση ενός συγκεκριμένου προβλήματος
- Συχνά τα δομικά υλικά ενός cluster είναι απλοί υπολογιστές γραφείου σαν αυτούς που μπορεί κανείς να βρεί στο εμπόριο σε φθηνή τιμή και χωρίς ιδιαίτερα χαρακτηριστικά
- Αυτό που δίνει αξία στο cluster είναι η επικοινωνία μεταξύ αυτών των υπολογιστικών κόμβων μέσα από ένα υπερταχύ δίκτυο τοπικής ή ευρείας περιοχής

Clusters

- Τα τελευταία χρόνια η ανάπτυξη πολύ γρήγορων δικτύων, όπως πχ το GB Ethernet, το ATM, και το WDM, διευκόλυνε την ανάπτυξη των clusters και έτσι οδήγησε στη δημιουργία μιας γκρίζας ζώνης μεταξύ παράλληλης και κατακεμημένης επεξεργασίας
- Πράγματι, η κύρια διαφορά μεταξύ παράλληλης και κατακεμημένης επεξεργασίας είναι η συχνότητα και η ποσότητα επικοινωνίας μεταξύ των κόμβων
- Στην παράλληλη επεξεργασία έχουμε στενή συνεργασία μέσα από πυκνή επικοινωνία, ενώ στην κατακεμημένη επεξεργασία η συνεργασία είναι χαλαρή και η επικοινωνία αραιότερη
- Με την τεχνολογία αυτή μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ένα τυποποιημένο δίκτυο, σχεδιασμένο κατ' αρχήν για κατακεμημένη επεξεργασία, έτσι ώστε να επιτύχουμε στενή συνεργασία μεταξύ των κόμβων μέσα από το δεδομένο μεγάλο εύρος ζώνης επικοινωνίας, εξομοιώνοντας στην ουσία τη λειτουργία ενός μεγάλου παράλληλου υπολογιστή

Clusters

- Το πρώτο προφανές πλεονέκτημα σχετίζεται με το κόστος
 - Αντί να αγοράσει κανείς ένα πολύ ακριβό παράλληλο σύστημα αγοράζει πολλούς φθηνούς υπολογιστές και τους συνδέει με ένα επίσης προσιτό σε κόστος δίκτυο
 - Συνολικά το κόστος είναι μικρότερο και επί πλέον το σύστημα είναι εύκολα επεκτάσιμο
- Ένα άλλο πλεονέκτημα των clusters είναι η ευκολία απομόνωσης σφαλμάτων και διόρθωσης βλαβών
 - Αν κάποιος υπολογιστής χαλάσει επισκευάζεται ή αντικαθίσταται με την αγορά ενός κανούργιου από το εμπόριο

Clusters

- Συνήθως, ένας κλασικός παράλληλος υπολογιστής προσφέρεται με κλειστή αρχιτεκτονική ενώ το λογισμικό του εξαρτάται από τη συγκεκριμένη εταιρεία και τη συγκεκριμένη αρχιτεκτονική
 - Στην περίπτωση των clusters, έχει αναπτυχθεί ανοιχτό λογισμικό το οποίο προσφέρει τη δυνατότητα επικοινωνίας σχεδόν απεριόριστου αριθμού κόμβων ενώ ο χρήστης μπορεί να επέμβη στη δημιουργία του παράλληλου κώδικα με χρήση εργαλείων όπως το MPI (Message Passing Interface)
 - Το βασικό μοντέλο προγραμματισμού εδώ είναι το “Ένα Πρόγραμμα Πολλά Δεδομένα” (Single Program Multiple Data – SPMD) κατ’ αντιστοιχία του SIMD, όπου το ίδιο πρόγραμμα εκτελείται από όλους τους κόμβους αλλά με διαφορετικά δεδομένα για κάθε κόμβο

Clusters

- Μειονεκτήματα
 - Ένα μειονέκτημα της τεχνολογίας των clusters είναι το γεγονός ότι η επικοινωνία γίνεται μέσα από το I/O bus το οποίο είναι βραδύτερο από το memory bus που χρησιμοποιείται στους καθαρόαιμους παράλληλους υπολογιστές
 - Επίσης στο cluster η επικοινωνία γίνεται με software σε αντίθεση με τους πολυεπεξεργαστές που χρησιμοποιούν hardware
- Γενικά τα clusters είναι κατάλληλα για μια πληθώρα εφαρμογών
 - Που απαιτούν μεγάλο πλήθος επεξεργαστικών κόμβων και συχνή επικοινωνία μεταξύ τους αλλά δεν έχουν υπερβολικές απαιτήσεις στο εύρος ζώνης επικοινωνίας ώστε να χρειάζεται να καταφύγουμε στη λύση του πολυεπεξεργαστή
 - Τέτοιες εφαρμογές είναι για παράδειγμα οι βάσεις δεδομένων, οι file servers, οι Web servers, οι εξομοιώσεις πολύπλοκων συστημάτων, κα.
 - Τα βασικά κριτήρια για το σχεδιασμό ενός cluster είναι το κόστος απόκτησης και συντήρησης του υλικού και του λογισμικού λαμβάνοντας υπ' όψη τη συγκεκριμένη εφαρμογή (ή τις εφαρμογές) που σκοπεύουμε να το χρησιμοποιήσουμε
 - Τυπικά, οι επιστημονικές εφαρμογές έχουν περισσότερες απαιτήσεις σε υπολογιστική ισχύ ενώ οι εφαρμογές βάσεων δεδομένων και επεξεργασίας συνδιαλλαγών έχουν μεγάλες απαιτήσεις σε αποθηκευτικό χώρο

Αρχές Σχεδίασης ενός ΚΣ

- Γενικές απαιτήσεις (Ισχύουν για οποιοδήποτε σύστημα)
 - Ευελιξία: ευκολία αλλαγής ή επέκτασης του συστήματος
 - Ανοιχτή υλοποίηση: πολλαπλοί προμηθευτές
 - Απόδοση: υψηλή ταχύτητα διεκπεραίωσης διεργασιών
 - Τα μέτρα αποτίμησης της επίδοσης περιλαμβάνουν το χρόνο απόκρισης, τη ρυθμαπόδοση και το βαθμό χρήσης (ή βαθμό απασχόλησης) των πόρων του συστήματος
 - Τα βασικά προβλήματα στον τομέα της επίδοσης είναι η καθυστέρηση στην επικοινωνία μέσω του δικτύου και η ανάγκη συγχρονισμού πολλαπλών μηχανών

Αρχές Σχεδίασης ενός ΚΣ

- Ειδικές απαιτήσεις (Ισχύουν ειδικά για κατακεμημένα συστήματα)
 - Διαφάνεια: εικόνα ενός ενιαίου συστήματος
 - Κλιμάκωση: απεριόριστη αύξηση επεξεργαστών
 - Αξιοπιστία: υψηλή διαθεσιμότητα (availability), ασφάλεια λειτουργίας (security), ανοχή στα σφάλματα (fault tolerance)
 - Η ασφάλεια είναι κρίσιμη για να δεχτούν οι χρήστες τη συμμετοχή των μηχανών τους σε ένα κατακεμημένο σύστημα, ενώ η ανοχή στα σφάλματα είναι επίσης σημαντική αφού οι πηγές σφαλμάτων πολλαπλασιάζονται όσο μεγαλώνει το σύστημα, επηρεάζοντας τη διαθεσιμότητά του

Αρχές Σχεδίασης ενός ΚΣ

- Η ευελιξία, η ανοιχτή υλοποίηση και η επίδοση αποτελούν βασικούς σχεδιαστικούς στόχους για οποιοδήποτε σύστημα, καταναμημένο ή μη
- Αντίθετα, η διαφάνεια και η κλιμάκωση είναι ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των καταναμημένων συστημάτων τα οποία εμφανίζονται επανειλημμένα κατά τη σχεδίασή τους
 - Για το λόγο αυτό θα μελετήσουμε αυτούς τους παράγοντες πιο αναλυτικά παρακάτω
- Τέλος, η αξιοπιστία είναι ένα χαρακτηριστικό το οποίο αν και είναι σημαντικό και σε ένα μη καταναμημένο σύστημα, αποκτά μεγαλύτερη σημασία σε ένα καταναμημένο σύστημα
 - Αφού αν δε ληφθεί σοβαρά υπόψη κατά τη σχεδίαση του συστήματος μπορεί να οδηγήσει σε παράδοξα όπως ένα σφάλμα σε μία μόνο μηχανή να δημιουργεί προβλήματα σε ολόκληρο το σύστημα

Στόχοι ενός ΚΣ

- Ένα ΚΣ πρέπει να ικανοποιεί τις παρακάτω προϋποθέσεις
 - Συνδέει με ευκολία χρήστες και πόρους
 - Παρουσιάζει διαφάνεια (transparency)
 - Υποστηρίζει ανοικτές αρχιτεκτονικές (openness)
 - Είναι κλιμακωτό (scalable)
 - Στο μέγεθος
 - Γεωγραφικά
 - Διαχειριστικά

Συνδεσιμότητα

- Εύκολο για τους χρήστες η πρόσβαση σε απομακρυσμένους πόρους
 - Ελεγχόμενη χρήση κοινών πόρων
 - π.χ. εκτυπωτές, δίσκοι, δίκτυα
 - Διευκόλυνση της συνεργασίας
 - π.χ. groupware, e-commerce
 - Ασφάλεια

Διαφάνεια

- Απόκρυψη του γεγονότος ότι διεργασίες και πόροι είναι απομακρυσμένα στο χώρο
 - Παρασκηνιακή επίτευξη της εικόνας ενός ενιαίου συστήματος για τους χρήστες, χωρίς να είναι ορατή η διασπορά των πόρων σε διαφορετικές μηχανές και η ανάγκη επικοινωνίας τους μέσω του δικτύου
- Το ΚΣ εμφανίζεται στον χρήστη σαν να ήταν ένα μοναδικό σύστημα υπολογιστή
 - Απόκρυψη της κατανομής από τους χρήστες

Διαφάνεια

Transparency	Description
Access	Hide differences in data representation and how a resource is accessed
Location	Hide where a resource is located
Migration	Hide that a resource may move to another location
Relocation	Hide that a resource may be moved to another location while in use
Replication	Hide that a resource may be shared by several competitive users
Concurrency	Hide that a resource may be shared by several competitive users
Failure	Hide the failure and recovery of a resource
Persistence	Hide whether a (software) resource is in memory or on disk

Διάφορες μορφές διαφάνειας σε ένα καταναμημένο σύστημα

Διαφάνεια

■ Είδη διαφάνειας

- Προσπέλασης (access transparency): προσπέλαση πόρων με ενοποιημένο τρόπο
 - Σημαίνει ότι οι χρήστες μπορούν να προσπελάσουν όλους τους πόρους του συστήματος χωρίς να αναγκάζονται να αντιμετωπίσουν τους διαφορετικούς τρόπους αναπαράστασης δεδομένων κάθε μηχανής
 - Αυτό σημαίνει ότι το κατακεμημένο σύστημα θα πρέπει να παρέχει έναν ενοποιημένο τρόπο προσπέλασης σε όλους τους πόρους του συστήματος

- Τοποθεσίας (location transparency): προσπέλαση πόρων χωρίς να γνωρίζουμε θέση
 - Σημαίνει ότι οι χρήστες μπορούν να προσπελάσουν τους πόρους του συστήματος χωρίς να γνωρίζουν τη μηχανή που παρέχει τους πόρους αυτούς
 - Αυτό σημαίνει (τουλάχιστον) ότι τα ονόματα των πόρων θα πρέπει να είναι λογικά και να μην κωδικοποιούν στοιχεία για τη θέση των πόρων

Διαφάνεια

- Είδη διαφάνειας
 - Μετανάστευσης: μετακίνηση πόρων χωρίς αλλαγή προσπέλασης
 - Διαφάνεια μετανάστευσης (migration transparency) σημαίνει ότι οι πόροι μπορούν να μετακινούνται ανάλογα με τις ανάγκες των εφαρμογών χωρίς να αλλάζει ο τρόπος προσπέλασής τους
 - Αυτό προφανώς προϋποθέτει και διαφάνεια τοποθεσίας, αφού αλλιώς είναι αδύνατον να αλλάξει η θέση ενός πόρου χωρίς να αλλάξει ο τρόπος προσπέλασής του
 - Μετάθεσης: μετακίνηση πόρων κατά τη χρήση τους
 - Διαφάνεια μετάθεσης (relocation transparency) σημαίνει ότι οι πόροι μπορούν να μετακινούνται ακόμη και όταν χρησιμοποιούνται, χωρίς να αλλάξει ο τρόπος προσπέλασής τους
 - Η διαφάνεια μετάθεσης είναι δηλαδή μια πιο ισχυρή μορφή διαφάνειας μετανάστευσης, και προϋποθέτει προφανώς και τη διαφάνεια τοποθεσίας

Διαφάνεια

■ Είδη διαφάνειας

- Αναπαραγωγής (replication transparency): πολλαπλά αντίγραφα πόρων
 - Σημαίνει ότι ένας πόρος μπορεί να αναπαραχθεί σε πολλαπλά αντίγραφα, για αύξηση είτε της διαθεσιμότητας είτε της επίδοσης του συστήματος, χωρίς το πλήθος ή η θέση των αντιγράφων να είναι ορατά στους χρήστες του πόρου
 - Αυτό σημαίνει ότι όλα τα αντίγραφα πρέπει να προσπελούνται με το ίδιο όνομα, πράγμα που υπονοεί ότι απαιτείται και διαφάνεια τοποθεσίας

- Ταυτοχρονισμού (concurrency transparency): παράλληλη χρήση του ίδιου πόρου
 - Σημαίνει ότι πολλαπλοί χρήστες μπορούν να προσπελούνουν ταυτόχρονα (ή ψευδοταυτόχρονα) τον ίδιο πόρο, χωρίς να αντιλαμβάνονται ότι βρίσκονται σε ανταγωνισμό και χωρίς να δημιουργούνται προβλήματα συνέπειας των δεδομένων
 - Αυτό συνήθως απαιτεί παροχή μηχανισμών κατανεμημένων κλειδωμάτων ή κατανεμημένων συναλλαγών

Διαφάνεια

- Είδη διαφάνειας
 - Αποτυχίας (failure transparency): απόκρυψη αποτυχιών από το σύστημα
 - Σημαίνει ότι οι αποτυχίες σε ένα μέρος του κατακευματισμένου συστήματος δε θα πρέπει να γίνονται αντιληπτές από χρήστες που δεν εμπλέκονται με το μέρος αυτό
 - Αφού η κλιμάκωση ενός κατακευματισμένου συστήματος στατιστικά πολλαπλασιάζει τις βλάβες που μπορεί να συμβούν σε αυτό, η διαφάνεια αποτυχίας είναι απαραίτητη για να αποφεύγονται τα γενικευμένα προβλήματα λειτουργίας του συστήματος λόγω τοπικών αποτυχιών

Διαφάνεια

- Είδη διαφάνειας

Ο τελευταίος τύπος διαφάνειας που συνδέεται συχνά με τα κατανεμημένα συστήματα είναι η **διαφάνεια διατήρησης** (persistence transparency), η οποία αφορά την απόκρυψη του αν ένας πόρος βρίσκεται σε πτητική (volatile) μνήμη ή είναι αποθηκευμένος σε κάποιο δίσκο. Για παράδειγμα, πολλές αντικειμενοστρεφείς βάσεις δεδομένων διαθέτουν μηχανισμούς για την άμεση κλήση μεθόδων που σχετίζονται με αποθηκευμένα αντικείμενα. Εκείνο που συμβαίνει στο παρασκήνιο είναι ότι ο διακομιστής βάσεων δεδομένων αντιγράφει πρώτα την κατάσταση του αντικειμένου από το δίσκο στην κύρια μνήμη, εκτελεί τη λειτουργία, και ενδεχομένως ξαναγράφει την κατάσταση πίσω στο δευτερεύοντα αποθηκευτικό χώρο. Ο χρήστης, όμως, δεν αντιλαμβάνεται ότι ο διακομιστής μεταφέρει την κατάσταση μεταξύ πρωτεύουσας και δευτερεύουσας μνήμης. Η διατήρηση παίζει σημαντικό ρόλο στα κατανεμημένα συστήματα, αλλά είναι εξίσου σημαντική και στα μη κατανεμημένα συστήματα.

Διαφάνεια

- Η διαφάνεια δεν είναι πάντα εφικτή ή εύκολα υλοποιήσιμη
 - Αν και η διαφάνεια είναι πάντοτε ευπρόσδεκτη σε ένα καταναμημένο σύστημα, η επίτευξή της μπορεί να κοστίζει υπερβολικά
 - Για παράδειγμα, αν ένα αρχείο έχει αναπαραχθεί σε πολλαπλά αντίγραφα, αν σε κάθε ενημέρωσή του πρέπει να ενημερώνονται όλα τα αντίγραφα, τότε οι ενημερώσεις μπορεί να απαιτούν υπερβολικό χρόνο για να ολοκληρωθούν, ειδικά αν τα αντίγραφα είναι απομακρυσμένα
 - Γενικά, ορισμένοι φυσικοί περιορισμοί, όπως η καθυστέρηση επικοινωνίας (ταχύτητα μετάδοσης σήματος) σε ένα δίκτυο ευρείας περιοχής, δεν μπορούν να εξαλειφθούν, με αποτέλεσμα να εμφανίζεται συχνά το δίλημμα αν θα προτιμήσουμε τη διαφάνεια ή την επίδοση

- Διαφάνεια ή απόδοση?
 - Μεγάλο κόστος επίτευξης πλήρους διαφάνειας
 - Αδυναμία απόκρυψης εγγενών περιορισμών
 - Trade-off διαφάνειας και απόδοσης του συστήματος

Ανοικτή Αρχιτεκτονική

- Ανοικτό κατακευμεμένο σύστημα
 - Ένα σύστημα το οποίο παρέχει υπηρεσίες σύμφωνα με προκαθορισμένους κανόνες έτσι ώστε να μπορούν να συνεργάζονται υλοποιήσεις από διαφορετικούς κατασκευαστές οι οποίες εκτελούνται σε διαφορετικές πλατφόρμες
 - Οι κανόνες αυτοί περιγράφουν την σύνταξη και σημασιολογία και κωδικοποιούνται σε πρωτόκολλα
 - π.χ. πρωτόκολλα δικτύων
 - Στα ΚΣ οι υπηρεσίες καθορίζονται από interfaces/IDLs
 - Τα IDLs (Interface Definition Language) βοηθούν στην περιγραφή τέτοιων πρωτοκόλλων
 - Ανεξάρτητοι παραγωγοί μπορούν να κατασκευάσουν διαφορετικές υλοποιήσεις των ίδιων interfaces με αποτέλεσμα διαφορετικά ΚΣ να λειτουργούν με ακριβώς τον ίδιο τρόπο
 - Ένας κατάλληλος ορισμός interface πρέπει να είναι ολοκληρωμένος και ουδέτερος

Ανοικτή Αρχιτεκτονική

- Δια-λειτουργικότητα (interoperability)
 - Έχουμε όταν δύο υλοποιήσεις ενός συστήματος ή στοιχείων συστήματος από διαφορετικούς κατασκευαστές μπορούν να συνυπάρξουν και να συν-λειτουργήσουν εφόσον και οι δύο ακολουθούν ένα κοινό πρότυπο
- Φορητότητα (portability)
 - Η δυνατότητα μίας εφαρμογής η οποία έχει αναπτυχθεί για ένα ΚΣ A να μπορεί να εκτελεστεί σε ένα διαφορετικό ΚΣ B το οποίο όμως παρέχει τα ίδια interfaces όπως το A
- Ευελιξία (flexibility)
 - Δυνατότητα ένα σύστημα να διαμορφωθεί από διαφορετικά στοιχεία υλοποιημένα από διαφορετικούς κατασκευαστές ή προγραμματιστές
 - Το σύστημα είναι μία συλλογή επιμέρους στοιχείων τα οποία μπορούν εύκολα να προσαρμοστούν ή να αντικατασταθούν

Κλιμάκωση

- Πολλοί ορισμοί για την κλιμάκωση (scalability)
 - Ένα σύστημα μπορεί να είναι μεταβλητό όσο αφορά στα:
 - Μέγεθος
 - Προσθήκη περισσότερων χρηστών/πόρων στο σύστημα
 - Γεωγραφία
 - Χρήστες/πόροι μπορεί να είναι απομακρυσμένοι μεταξύ τους
 - Διαχείριση
 - Ευκολία στη διαχείριση, ακόμη και αν το ΚΣ περιλαμβάνει διαφορετικούς οργανισμούς
- Η αύξηση του μεγέθους έχει ένα αντίτιμο στην απόδοση
 - Στόχος είναι η κλιμάκωση να μη γίνεται σε βάρος της επίδοσης, αφού η αύξηση του μεγέθους ενός συστήματος δυσχεραίνει το συγχρονισμό και την επικοινωνία

Κλιμάκωση Μεγέθους

- Κλιμάκωση μεγέθους: αύξηση μηχανών και χρηστών
 - π.χ., δυνατότητα αύξησης του πλήθους των επεξεργαστών από δεκάδες, που υποστηρίζονται ακόμη και σε ορισμένα συστήματα πολυεπεξεργαστών, σε χιλιάδες ή και σε εκατομμύρια, που διατίθενται μέσω του Διαδικτύου
 - Όχι συγκεντρωτικές υπηρεσίες, δεδομένα και αλγόριθμοι
 - Δεν υπάρχει πουθενά πλήρης πληροφόρηση
 - Αποφάσεις μόνο με τοπικά στοιχεία
 - Ανοχή σε αποτυχίες μηχανών
 - Δεν υπάρχει καθολικό ρολόι

Κλιμάκωση Μεγέθους

Concept	Example
Centralized services	A single server for all users
Centralized data	A single on-line telephone book
Centralized algorithms	Doing routing based on complete information

■ Κλιμάκωση Μεγέθους

□ Κεντρικός server

- Ανασχετικός παράγοντας καθώς ο αριθμός των χρηστών αυξάνει
- Υπερφόρτωση επικοινωνίας
- Περιπτώσεις όπου η χρήση πολλαπλών server δεν είναι δυνατή (π.χ. λόγω ασφάλειας)

□ Συγκεντρωτικά data

- Υπερφόρτωση επικοινωνίας

□ Αποκεντρωμένοι αλγόριθμοι

- Κανένα μηχάνημα δεν έχει πλήρη πληροφόρηση για τη συνολική κατάσταση του συστήματος
- Κάθε μηχανή παίρνει αποφάσεις στηριζόμενη σε πληροφορίες που είναι διαθέσιμες τοπικά
- Δυσλειτουργία μίας μηχανής δεν επηρεάζει τον αλγόριθμο

Κλιμάκωση Μεγέθους

- Η κλιμάκωση μεγέθους απαιτεί να εγκαταλείψουμε τις συγκεντρωτικές υπηρεσίες, τα συγκεντρωτικά δεδομένα και τους συγκεντρωτικούς αλγόριθμους που έχουμε στα συστήματα ενός επεξεργαστή
- Οι συγκεντρωτικές υπηρεσίες δημιουργούν προβλήματα λόγω της αδυναμίας τους να εξυπηρετήσουν μεγάλο πλήθος αιτήσεων από ολόκληρο το σύστημα χωρίς να γίνουν σημεία συμφόρησης
 - Για παράδειγμα, ένας συγκεντρωτικός εξυπηρετητής πιστοποίησης ταυτότητας των χρηστών μπορεί να είναι επιθυμητός από πλευράς ασφαλείας, αφού θα χρειάζεται να παρακολουθούμε μία μόνο μηχανή, είναι όμως σίγουρο ότι θα δημιουργήσει προβλήματα κατά τη σύνδεση των χρηστών όταν αυτοί αυξηθούν αρκετά
- Παρόμοιο πρόβλημα δημιουργούν και τα συγκεντρωτικά δεδομένα, πάλι επειδή μπορεί να οδηγήσουν σε προβλήματα συμφόρησης κατά την προσπέλασή τους
 - Για παράδειγμα, μια συγκεντρωτική βάση δεδομένων δεν απαιτεί προηγμένους αλγόριθμους συγχρονισμού αντιγράφων όπως μια κατακεμημένη βάση, θα γίνει όμως σημείο συμφόρησης όταν αυξηθούν οι χρήστες της

Κλιμάκωση Μεγέθους

- Ένα άλλο μειονέκτημα των συγκεντρωτικών αλγορίθμων είναι ότι απαιτούν υπερβολική επικοινωνία για να συγκεντρώσουν τα δεδομένα εισόδου σε μία μηχανή, και πιθανόν για να διανείμουν αργότερα τα αποτελέσματα στο σύστημα
 - Για παράδειγμα, ένας συγκεντρωτικός αλγόριθμος δρομολόγησης μπορεί να είναι απλός στην υλοποίηση, απαιτεί όμως συγκέντρωση δεδομένων από όλους τους δρομολογητές του συστήματος για να λειτουργήσει.
 - Έτσι, προτιμάμε τους καταναμημένους αλγόριθμους, δηλαδή αυτούς που ικανοποιούν τις ακόλουθες συνθήκες:
 - Καμία διεργασία δεν έχει πλήρεις πληροφορίες για την κατάσταση του συστήματος. Κάτι τέτοιο θα είχε υπερβολικό κόστος επικοινωνίας
 - Οι διεργασίες πρέπει να λαμβάνουν αποφάσεις που βασίζονται μόνο σε τοπικές πληροφορίες. Μόνο η ατελής εικόνα της κατάστασης του συστήματος που έχει κάθε διεργασία μπορεί να χρησιμοποιηθεί
 - Η αποτυχία μίας μηχανής δεν πρέπει να δημιουργεί προβλήματα στον αλγόριθμο. Αλλιώς το σύστημα θα γίνεται όλο και πιο αναξιόπιστο όσο αυξάνονται οι μηχανές του.
 - Δεν μπορούμε να υποθέσουμε ότι υπάρχει ένα καθολικό ρολόι. Αυτό οφείλεται στην απρόβλεπτη καθυστέρηση και την αναξιόπιστία των επικοινωνιών που αποτρέπουν τον τέλειο συγχρονισμό των ρολογιών

Κλιμάκωση

- Γεωγραφική κλιμάκωση: αύξηση αποστάσεων
 - Ένα ΚΣ που επεκτείνεται γεωγραφικά συνήθως παρουσιάζει προβλήματα απόδοσης
- Η γεωγραφική κλιμάκωση απαιτεί αντιμετώπιση των αναπόφευκτων προβλημάτων των επικοινωνιών ευρείας περιοχής, όπως η καθυστέρηση διάδοσης των σημάτων
 - Για παράδειγμα, όταν μία μηχανή εκτελεί μια απομακρυσμένη κλήση διαδικασίας σε μία μηχανή που βρίσκεται χιλιάδες χιλιόμετρα μακριά της, είναι δύσκολο να αποκρύψουμε το σημαντικό πρόσθετο κόστος της καθυστέρησης διάδοσης
 - Σύγχρονη επικοινωνία
 - Ο client που ζητά μία υπηρεσία γίνεται block μέχρι να πάρει απάντηση
 - Η προσέγγιση δουλεύει καλά σε LANs όχι όμως σε WANs
 - Οι διαδραστικές εφαρμογές έχουν χρονικές απαιτήσεις

Κλιμάκωση

- Γεωγραφική κλιμάκωση – αντιμετώπιση προβλημάτων
 - Αντικατάσταση σύγχρονης επικοινωνίας με ασύγχρονη
 - Δηλαδή, αντί η εφαρμογή να παραμένει αδρανής μέχρι να ολοκληρωθεί η απομακρυσμένη κλήση διαδικασίας, να συνεχίζει με άλλες εργασίες και να διακόπτεται όταν επιστραφεί η απάντηση από τον εξυπηρετητή ώστε να την λάβει κανονικά
 - Αυτή είναι η τακτική που ακολουθεί ένα λειτουργικό σύστημα όταν μία κλήση του πυρήνα απαιτεί μεγάλη αναμονή μέχρι να επιστραφούν τα ζητούμενα δεδομένα από μία συσκευή: η διεργασία που έκανε την κλήση εμποδίζεται και ο έλεγχος δίνεται σε κάποια άλλη έτοιμη διεργασία ή σε κάποιο άλλο νήμα της ίδιας διεργασίας
 - Βέβαια, αν η διεργασία που έκανε την κλήση χρειάζεται τα αποτελέσματά της για να συνεχίσει, η ίδια δεν κερδίζει τίποτα, ενώ έχει γίνει πιο περίπλοκη η μέθοδος επικοινωνίας
 - Κατανομή πόρων στο δίκτυο
 - Με τέτοιο τρόπο ώστε τα κατάλληλα δεδομένα να βρίσκονται πλησιέστερα στους αντίστοιχους χρήστες
 - Για παράδειγμα, μια βάση δεδομένων τηλεφωνικού καταλόγου μπορεί να διαμεριστεί έτσι ώστε ο τοπικός κατάλογος κάθε πόλης να βρίσκεται κοντά στους συνδρομητές της πόλης αυτής, αφού οι χρήστες είναι πιο πιθανό να αναζητήσουν τοπικά από ότι υπεραστικά τηλέφωνα
 - Σε αυτή τη μέθοδο, εάν τα δεδομένα έχουν μια φυσική κατάτμηση, το μόνο πρόβλημα είναι να διασφαλίσουμε ότι όλες οι αιτήσεις θα κατευθύνονται στη σωστή τοποθεσία με διαφανή τρόπο

Κλιμάκωση

- Γεωγραφική κλιμάκωση – αντιμετώπιση προβλημάτων
 - Αναπαραγωγή αντιγράφων σε πολλαπλές τοποθεσίες
 - Αν όλα τα δεδομένα χρειάζονται σε όλες τις τοποθεσίες, μια άλλη λύση είναι η αναπαραγωγή αντιγράφων σε πολλαπλές τοποθεσίες, έτσι ώστε όλοι ή οι περισσότεροι χρήστες να έχουν ένα αντίγραφο κοντά τους
 - Στην περίπτωση αυτή όμως εισάγονται προβλήματα συγχρονισμού των αντιγράφων, τα οποία οξύνονται όσο περισσότερο ενημερώνονται τα δεδομένα
 - Αντίγραφα (replication)
 - Αυξάνει διαθεσιμότητα (availability)
 - Ισορροπεί τον φόρτο
 - Κρύβει καθυστερήσεις στην επικοινωνία
 - Οδηγεί σε καλύτερη απόδοση

Κλιμάκωση

- Γεωγραφική κλιμάκωση – αντιμετώπιση προβλημάτων
 - Ενταμίευση δεδομένων σε κρυφές μνήμες
 - Μια παραλλαγή της αναπαραγωγής είναι η ενταμίευση των δεδομένων στις κρυφές μνήμες των μηχανών, έτσι ώστε αν ζητηθούν ξανά οι πληροφορίες που έχουν ήδη ληφθεί, να μπορούν να επιστραφούν από την τοπική κρυφή μνήμη
 - Αυτή η τεχνική όμως εισάγει ακόμη σημαντικότερα προβλήματα συγχρονισμού και συνέπειας από ότι η αναπαραγωγή, αφού μπορεί να χρησιμοποιηθεί από οποιαδήποτε μηχανή (και μπορεί να υπάρχουν εκατομμύρια μηχανές) και όχι μόνο από τα λίγα αντίγραφα ενός εξυπηρετητή
 - Caching
 - Ειδική μορφή αντιγράφου
 - Κατασκευή αντιγράφων όσο αφορά data/services κοντά στον client
 - Η απόφαση παίρνεται από τον client και όχι από τον server
 - Σημαντικό πρόβλημα η επικαιροποίηση των αντιγράφων
 - Π.χ. Web page vs. stock quote

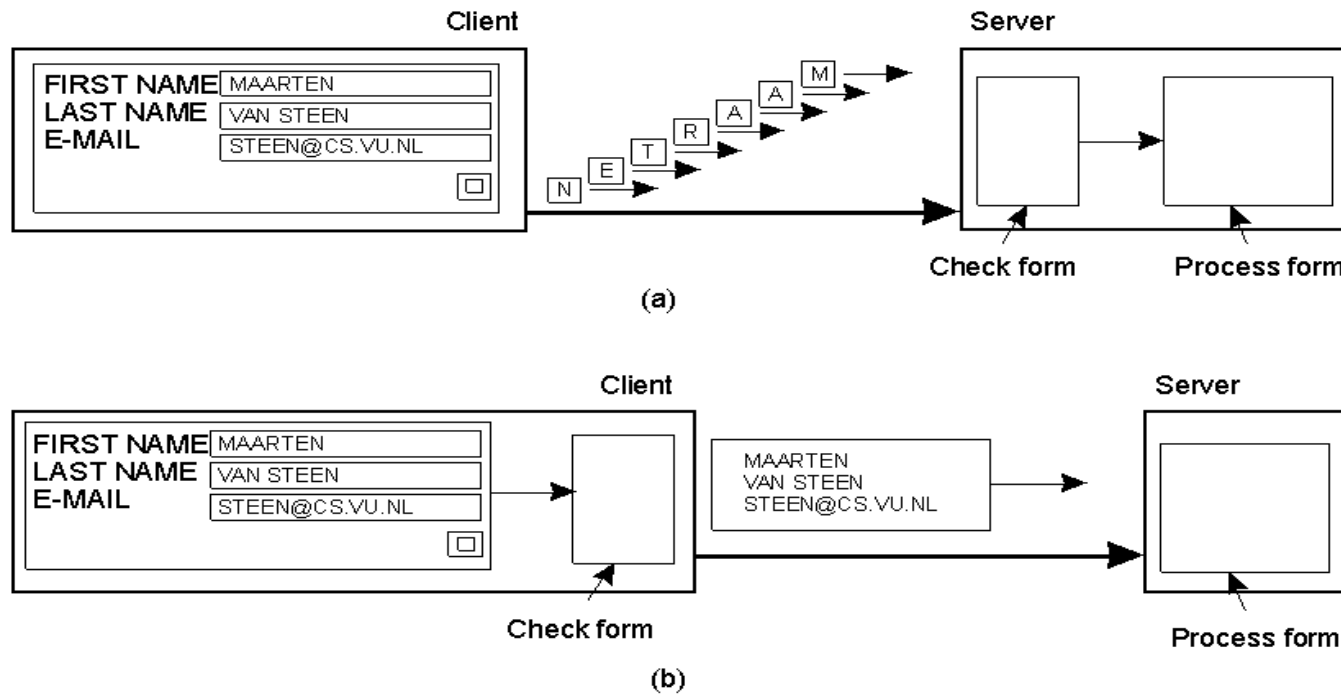
Κλιμάκωση

- Διαχείριση
 - Σε ένα ΚΣ έχουμε πολλούς και ανεξάρτητους διοικητικά τομείς
 - Υπάρχουν αντιθέσεις όσο αφορά στις πολιτικές που κάθε τομέας εφαρμόζει σε θέματα χρήσης πόρων, πληρωμών, ασφάλειας κλπ
 - Π.χ. στον ίδιο τομέα οι χρήστες εμπιστεύονται τον administrator και τους υπόλοιπους χρήστες
 - Η εμπιστοσύνη όμως δεν είναι η ίδια και για άλλους τομείς
 - Ένας τομέας πρέπει να προστατεύεται από επιθέσεις από ένα άλλο τομέα
 - Read only file system
 - Χρήση ακριβών πόρων

Κλιμάκωση

- Τεχνικές για την επίτευξη κλιμάκωσης
- Απόκρυψη καθυστερήσεων στην επικοινωνία
 - Κάνε κάτι άλλο καθώς περιμένεις απάντηση από τον server
 - Ασύγχρονη επικοινωνία
 - Αυτό δεν είναι δυνατό στις διαδραστικές εφαρμογές
 - Στόχος είναι η μείωση του επικοινωνιακού φόρτου
 - π.χ. συμπλήρωση φόρμας βάσης δεδομένων
 - Κάποιοι υπολογισμοί αντί να γίνονται στον server γίνονται στον client

Κλιμάκωση



Διαφορά μεταξύ του να επιτρέπεις :

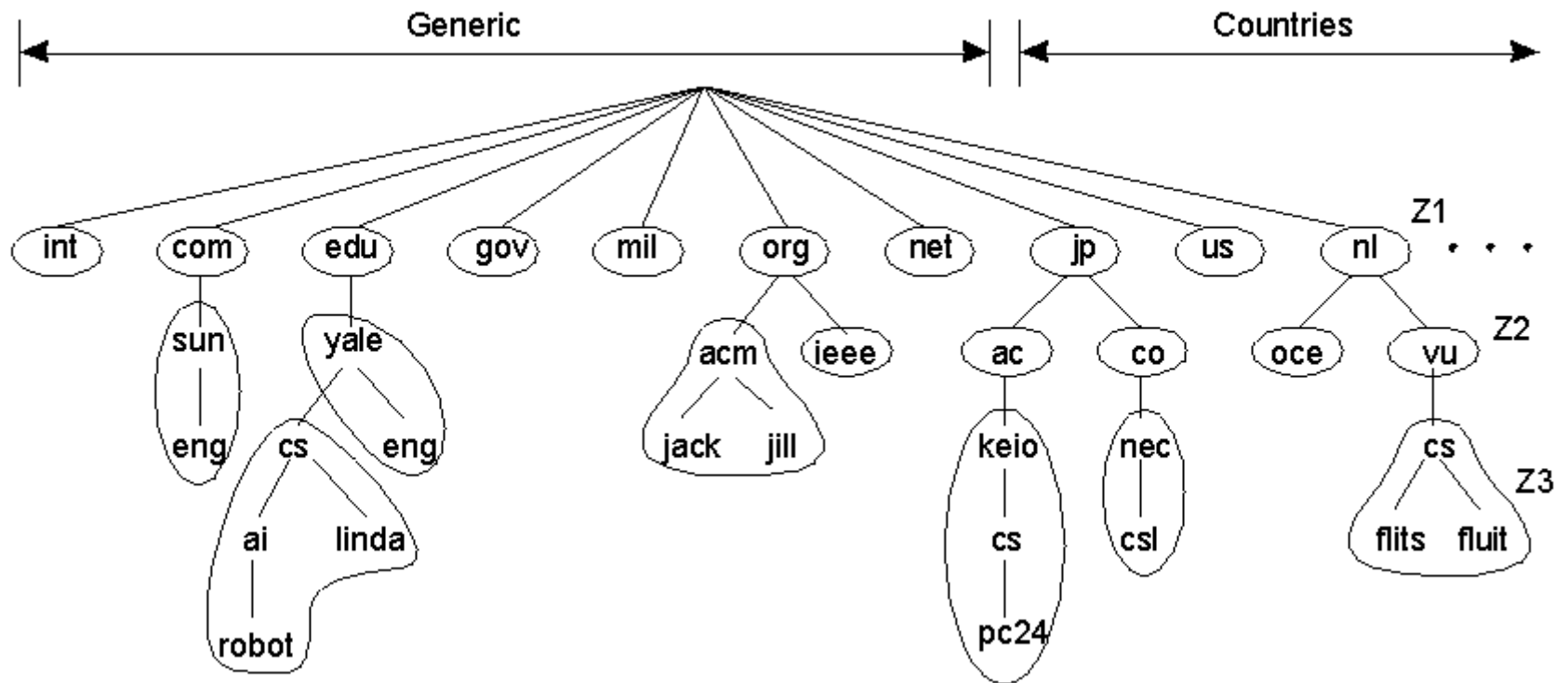
- a) τον server ή
- b) τον client να ελέγχει τις φόρμες καθώς αυτές συμπληρώνονται

Κλιμάκωση

■ Κατανομή

- Διαίρεσε ένα στοιχείο σε μικρότερα κομμάτια και μοίρασε σε όλο το σύστημα
- Π.χ. DNS – Domain Name Service
- Για την αντιστοίχιση ονομάτων σε διευθύνσεις δεν χρησιμοποιείται ένας μόνο server
- Ιεραρχικά δομημένο σαν δέντρο
- χωρισμός σε ζώνες (μη επικαλυπτόμενες) – τομείς αρμοδιότητας (domains)
- Τα ονόματα σε κάθε ζώνη εξυπηρετούνται από ένα server
- nl.vu.cs.flits

Κλιμάκωση



Παράδειγμα διαχωρισμού του χώρου ονομάτων DNS σε ζώνες

Google's Cluster

- L.A. Barroso, J. Dean, and U. Hölzle (March/April 2002). "Web search for a planet: The Google cluster architecture" (PDF). *IEEE Micro* 23: 22–28.
 - <http://dcagency.netfirms.com./m2022.pdf>
- The Google Linux Cluster
 - <http://www.uwtv.org/programs/displayevent.aspx?rID=2879>
- Underneath the Covers at Google: Current Systems and Future Directions
 - <http://sites.google.com/site/io/underneath-the-covers-at-google-current-systems-and-future-directions>
- Google platform
 - http://en.wikipedia.org/wiki/Google_platform