

16 Τι γίνεται μέσα στο νέφος του iCloud;

16.1 Μία σύντομη απάντηση

Τον Ιούνιο του 2011, η Apple ανακοίνωσε την υπηρεσία της iCloud. Μέρος από τα εντυπωσιακά χαρακτηριστικά της είναι διαχείριση των ψηφιακών δικαιωμάτων του μουσικού περιχομένου. Το άλλο μέρος είναι ουσιαστικά η ικανότητα μεταφοράς ολόκληρου του σκληρού δίσκου του υπολογιστή σας μαζί σας οπουδήποτε, και η αναπαραγωγή μουσικής σε οποιαδήποτε συσκευή.

Το «νέφος» (cloud) είναι κάτι περισσότερο από απλή αποθήκευση. Για παράδειγμα, τον ίδιο μήνα, η Google παρουσίασε το ChromeBook, ένα φορητό υπολογιστή νέφους (“cloud laptop”) το οποίο είναι απλά ένας φυλλομετρητής με συνδεσιμότητα στο Διαδίκτυο, και όλες οι διεργασίες, η αποθήκευση και το λογισμικό, ~~είναι~~ ευρίσκονται σε κάποιο εξυπηρετητή της Google στον οποίο έχουμε πρόσβαση εξ αποστάσεως.

Οι νέες αυτές υπηρεσίες και ηλεκτρονικές συσκευές εντείνουν τις τάσεις που ξεκίνησαν με τις διαδικτυακές εφαρμογές του ηλεκτρονικού ταχυδρομείου (Gmail), του λογισμικού (Microsoft Office 365), και της διαχείρισης εγγράφων (Google Docs και Dropbox), όπου οι καταναλωτές χρησιμοποιούν το δίκτυο ως τους υπολογιστές τους, η απόλυτη τελική μορφή του διαδικτυακού υπολογισμού.

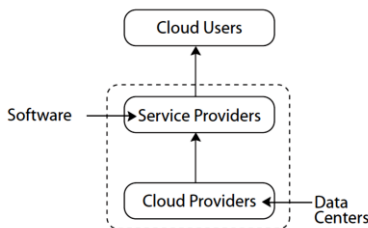
Στην αγορά, πολλοί πάροχοι εφαρμογών και επιχειρήσεις έχουν στραφεί επίσης στις υπηρεσίες νέφους και τρέχουν τις εφαρμογές και τα λογισμικά τους σε ενοικιαζόμενους και διαμοιραζόμενους πόρους σε **κέντρα δεδομένων** (data centers), αντί να φτιάξουν τα δικά τους. Τα κέντρα δεδομένων είναι εγκαταστάσεις που φιλοξενούν πολλούς εξυπηρετητές και συνδέονται μεταξύ τους μέσω μεταγωγών (switches). Μεγάλα κέντρα δεδομένων σήμερα μπορεί να ξεπερνούν τα 300 000 τετραγωνικά πόδια, φιλοξενώντας μισό εκατομμύριο εξυπηρετητές, και κοστίζουν εκατοντάδες εκατομμύρια δολάρια για να κατασκευαστούν.

Υπάρχουν τρεις κύριοι πάροχοι υπολογιστικού νέφους: το EC2 της Amazon, το Azure της Microsoft, και το AppEngine της Google. Πρωτοπόρος στις υπηρεσίες νέφους είναι η Amazon, παρόλο που για τους περισσότερους καταναλωτές Amazon σημαίνει ένα διαδικτυακό κατάστημα λιανικής πώλησης. Στην υπηρεσία νέφους της Amazon (S3), σήμερα μπορείτε να ενοικιάσετε ένα κομμάτι του νέφους προς \$0,115 ανά ώρα που διαθέτει ένα εικονικό πυρήνα (core), μία μονάδα EC2

και χωρητικότητα 160 GB. Οποιαδήποτε εισερχόμενη ποσότητα δεδομένων στο EC2 δεν χρεώνεται και για τους χρήστες υπολογιστών το 1 GB διατίθεται χωρίς χρέωση ενώ τα επόμενα 10 TB χρεώνονται με \$0,120 ανά GB.

Για πολλά χρόνια, ο στόχος της πληροφορικής και της δικτύωσης ήταν ότι οι χρήστες κάποια μέρα θα μπορούσαν να εινοκιάσουν εύκολα πόρους του διαδικτύου (το “νέφος”) σε μία συνηθισμένη απεικόνιση του δικτύου), με τρόπο που να είναι οικονομικότερος για όλα τα εμπλεκόμενα μέρη. Αυτή η μέρα είναι σήμερα. Χάρη στις τεχνολογικές εξελίξεις και τις νέες ανάγκες των εταιριών, η υπηρεσία νέφους εξελίσσεται ραγδαία.

Πολλά χαρακτηριστικά των υπηρεσιών νέφους δεν είναι καινούρια, κάποια στην πραγματικότητα είναι παλαιότερων δεκαετιών. Αρκετοί σχετικοί όροι έχουν χρησιμοποιηθεί στα μέσα μαζικής ενημέρωσης κάπως συγκεκριμένα όπως: υπολογιστική νέφους, **υπολογιστική κοινής ωφελείας (utility computing)**, **υπολογιστική συστάδων (clustered computing)**, το λογισμικό σαν υπηρεσία κτλ.



Σχήμα 16.1 Τα τρία τμήματα βιομηχανίας υπηρεσιών νέφους (cloud). Οι πάροχοι υπολογιστικού νέφους λειτουργούν κέντρα δεδομένων (data centers) που φιλοξενούν το υλικό, όπως ~~σφαιροειδούς διασυνδεδεμένων~~ διασυνδεδεμένους επεξεργαστές, και την ικανότητα αποθήκευσης και τη χωρητικότητα του δικτύου. Οι πάροχοι υπηρεσιών (service providers) τρέχουν υπηρεσίες νέφους μέσω του λογισμικού (software) τους. Οι χρήστες του νέφους (cloud users) περιλαμβάνουν τόσο τους καταναλωτές όσο και τις επιχειρήσεις για υπηρεσίες νέφους οι οποίες παρέχονται συλλογικά από τους παρόχους υπηρεσιών και τους παρόχους νέφους (cloud providers).

Για να αποσαφηνιστεί η ορολογία, παραπέμπουμε στο γράφημα στο Σχήμα 16.1. Υπάρχουν τρεις βασικές συνιστώσες της “τροφικής αλυσίδας”.

Οι **πάροχοι νέφους (cloud providers)** κατασκευάζουν και διαχειρίζονται πλατφόρμες υλικού, που αποτελούνται από υπολογιστικούς πόρους (εξυπηρετητές-servers), μεταγωγείς (switches) και πόρους αποθήκευσης (στοιχεία μνήμης -memory devices) οργανωμένα μέσα σε κέντρα δεδομένων. Υπάρχει ένα δίκτυο σε κάθε κέντρο

δεδομένων όπου οι κόμβοι είναι εξυπηρετητές και μεταγωγείς, και κάθε κέντρο δεδομένων με τη σειρά του γίνεται ένας κόμβος σε ολόκληρο το Διαδίκτυο.

Οι **πάροχοι υπηρεσιών** προσφέρουν το λογισμικό και τις εφαρμογές που τρέχουν σε κέντρα δεδομένων, και αλληλεπιδρούν με τους χρήστες. Για παράδειγμα, ένας προγραμματιστής εφαρμογών iPad μπορεί να [χρησιμοποιήσει/αποθηκεύσει](#) τους υπολογιστικούς και [τους](#) αποθηκευτικούς πόρους στο νέφος EC2 της Amazon για να παρέχει τις υπηρεσίες του. Μερικές φορές, ο πάροχος της υπηρεσίας είναι ο ίδιος με τον πάροχο του νέφους. Για παράδειγμα, οι μουσικές βιβλιοθήκες iCloud και η υπηρεσία ρευμάτων (streaming) από την Apple τρέχουν στο δικό της κέντρο δεδομένων.

Οι **χρήστες του νέφους** είναι καταναλωτές και επιχειρήσεις που χρησιμοποιούν υπηρεσίες που τρέχουν στα κέντρα δεδομένων. Οι χρήστες μπορούν να πάρουν το περιεχόμενο που θέλουν (π.χ. έγγραφα, βιβλία, μουσική, βίντεο) ή λογισμικά (π.χ. λογισμικό Office, μία εφαρμογή για το iPhone, σχεδόν κάθε λογισμικό που χρειάζεστε) από το «νέφος». Και μπορούν να τα λάβουν κατ' απαίτηση δε, οποιαδήποτε στιγμή, οπουδήποτε, και σε οποιαδήποτε συσκευή με σύνδεση στο Διαδίκτυο.

16.1.1 Ποια μοναδικά χαρακτηριστικά ορίζουν τις υπηρεσίες νέφους;

Για να καταστεί λειτουργική η συνολική τροφική αλυσίδα των υπηρεσιών νέφους, χρειαζόμαστε όλα τα ακόλουθα συστατικά:

1. **Υπολογιστικά και αποθηκευτικά συστήματα μεγάλης κλίμακας**, συχνά αξιοποιώντας τεχνικές εικονικοποίησης (virtualization) που μοιράζουν μία δεδομένη πηγή υλικού μεταξύ πολλών διαδικασιών, όπως αν ο καθένας είχε ένα κομμάτι αφοσιωμένων και απομονωμένων πόρων.
2. **Δικτύωση** μέσα σε ένα κέντρο δεδομένων, μεταξύ των κέντρων δεδομένων, και μέχρι τους τελικούς χρήστες (συντά με μία ασύρματη σύνδεση, όπως με WiFi ή 4G). Η διάσταση της δικτύωσης, φυσικά, θα είναι το επίκεντρο αυτού του κεφαλαίου, ειδικά της δικτύωσης εντός ενός δικτύου δεδομένων.
3. **Λογισμικά** που παρέχουν γραφικό περιβάλλον διεπαφής, διαχείριση ψηφιακών δικαιωμάτων, ασφάλεια και προστασία της ιδιωτικής ζωής, τιμολόγηση και χρέωση, κτλ.

Αν έχω δώσει την CPU και τον σκληρό δίσκο του προσωπικού υπολογιστή μου προς ενοικίαση, αυτό αποτελεί μία υπηρεσία νέφους? Πιθανότατα όχι. Λοιπόν, ποια είναι τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα μίας υπηρεσίας νέφους; Η λέξη-κλειδί είναι το κατ' απαίτηση, σε δύο διαστάσεις: [στο](#) χρόνο και [στην](#) κλίμακα.

- **Κατ' απαίτηση στο χρόνο**: μία υπηρεσία νέφους επιτρέπει στους χρήστες της να αλλάξουν τα αιτήματά τους σε πόρους σε ένα σύντομο χρονικό διάστημα, και πιθανώς μόνο για ένα μικρό χρονικό διάστημα.

- *Κατ' απαίτηση στην κλίμακα:* μία υπηρεσία [cloud-νέφους](#) επιτρέπει στους χρήστες της να ξεκινήσουν με ένα πολύ μικρό ελάχιστο επίπεδο ~~φορτίμα~~ [αποθηκευμένων](#) ~~των~~ πόρων (π.χ., 1,7 GB μνήμης RAM και 160GB της μνήμης για την EC2 της Amazon σήμερα), και όμως μπορεί να πάει πραγματικά σε μεγάλη κλίμακα (π.χ., η Target, η δεύτερη μεγαλύτερη αλυσίδα καταστημάτων λιανικής πώλησης στις ΗΠΑ, τρέχει τον ιστότοπο και τον έλεγχο των αποθεμάτων της σε ένα [ενοικιασμένο νέφος](#)).

16.1.2 Γιατί οι άνθρωποι διστάζουν με τις υπηρεσίες νέφους;

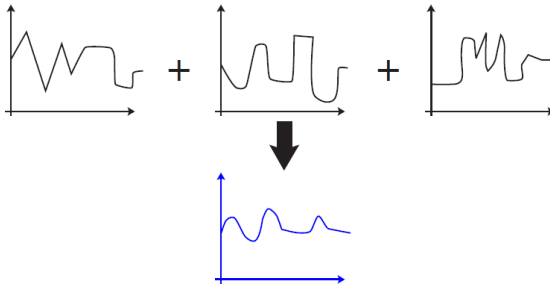
Οι υπηρεσίες νέφους αντιμετωπίζουν πολλές προκλήσεις, παρόλο που τα οφέλη ολοένα αυξάνουν. Ας τις αναφέρουμε εν συντομία πριν προχωρήσουμε.

Παρόμοια με τη σύγκριση πλεονεκτήματα-μειονεκτήματα μεταξύ της μεταγωγής πακέτου και της μεταγωγής κυκλώματος, όταν είστε σε μία κοινόχρηστη εγκατάσταση, η εγγύηση [της επιδόσεων επίδοσης](#) τίθεται σε κίνδυνο καθώς και η ασφάλεια και η προστασία της ιδιωτικής ζωής. Αν επιβαστείτε σε ένα λεωφορείο αντί για ταξί, πληρώνετε λιγότερο, αλλά μπορεί να μην καθίσετε και θα σας βλέπουν οι άλλοι επιβάτες του λεωφορείου. Αυτό είναι το τίμημα που πληρώνετε για να απολαύσετε τα πλεονεκτήματα των υπηρεσιών νέφους. Υπάρχουν πολλές τεχνολογίες που μετριάζουν τις αρνητικές πλευρές του νέφους για διάφορα τμήματα της αγοράς, αλλά το να [πάρτε-χρησιμοποιήσετε](#) το λεωφορείο δεν θα είναι ποτέ το ίδιο με το να [πάρτε-χρησιμοποιήσετε ένα ταξί](#).

Όπως απεικονίζεται από την διακοπή της λειτουργίας του νέφους της Amazon τον Απρίλιο του 2011, η διαθεσιμότητα της υπηρεσίας κατά πρώτο λόγο είναι μία από τις κορυφαίες ανησυχίες. Κύρια ρίζα των προβλημάτων της μη διαθεσιμότητας είναι οι λανθασμένες ρυθμίσεις δικτύου, τα σφάλματα [στο ηλεκτρολογισμικό-υλικολογισμικό](#) (firmware), και τα ελαττωματικά εξαρτήματα. Ο καλύτερος τρόπος για να ενισχυθεί η διαθεσιμότητα είναι ο πλεονασμός: εξαπλώστε την κυκλοφορία σας σε πολλούς παρόχους νέφους (υποθέτοντας ότι είναι αρκετά εύκολο να χωρίσετε και να συγχωνεύσετε την κυκλοφορία) και σε διαφορετικές ζώνες διαθεσιμότητας σε κάθε ένα από τους παρόχους.

16.1.3 Γιατί οι άνθρωποι προτιμούν τις υπηρεσίες νέφους;

Γιατί έχει άραγε κάποιο νόημα να παρέχουν και να χρησιμοποιούν τις υπηρεσίες νέφους; Η απάντηση είναι παρόμοια με πολλές άλλες επιχειρήσεις μίσθωσης, όπως με τις βιβλιοθήκες και τις εταιρίες ενοικιαζόμενων [αυτοκινήτων](#).



Σχήμα 16.2 Η στατιστική πολυπλεξία εξομαλύνει την εκρηκτικότητα των μεμονωμένων χρηστών. Ας υποθέσουμε ότι υπάρχουν τρεις χρήστες με ρυθμούς μετάδοσης με την πάροδο του χρόνου σύμφωνα με ~~τα χρονογράμματα~~ παραπάνω. Ο συνολικός ρυθμός μετάδοσής τους, ο οποίος φαίνεται στο κάτω διάγραμμα, είναι πολύ ομαλότερος. Πάροχοι νέφους επωφελούνται από μία τέτοια μείωση στην εκρηκτικότητα, εφ' όσον τα αιτήματα των χρηστών δεν κορυφώνονται ταυτόχρονα.

Συνοψίζουμε τα ~~παρακάτω~~ επιχειρήματα παρακάτω και θα δούμε ένα παράδειγμα σε μία άσκηση.

Σεως Για τους χρήστες του νέφους, το κύριο πλεονέκτημα είναι η συγκέντρωση των πόρων (resource pooling). Το κόστος οικοδόμησης και παροχής πόρων το επιμερίζονται πολλοί άλλοι χρήστες. Αυτό ονομάζεται μετατροπή από το "CapEx" στο OpEx-: αντί να δαπανώνται χρήματα σε κεφαλαιακές δαπάνες για να κατασκευαστούν ειδικές εγκαταστάσεις, οι χρήστες πληρώνουν ενοίκιο ως μέρος των επιχειρησιακών δαπανών τους για να μοιράζονται τις εγκαταστάσεις. Αυτό είναι παρόμοιο με τη μετάβαση από τη μεταγωγή κυκλώματος στη μεταγωγή πακέτου στο σχεδιασμό του Διαδικτύου. Ο κίνδυνος του λάθους υπολογισμού, όσον αφορά την ανάγκη για πόρους, μετατοπίζεται στους παρόχους του νέφους, ένα σημαντικό πλεονέκτημα αν η ζήτηση των πόρων ποικίλλει πολύ ή είναι απλά δύσκολο να την προβλέψουμε.

Αλλά γιατί οι πάροχοι νέφους να ενδιαφέρονται; Ο κύριος λόγος είναι τα πλεονεκτήματα της οικονομίας κλίμακας τόσο για την προσφορά όσο και για τη ζήτηση της επιχείρησης. Από την πλευρά της προσφοράς: ένας πάροχος νέφους μπορεί να προμηθεύσει ~~εξυπηρετητές~~ εξυπηρετητές, μεταγωγείς, εργασία, γη και ηλεκτρισμό σε σημαντικά μειωμένη τιμή λόγω της μεγάλης κλίμακας και της διαπραγματευτικής του ισχύος. Ακόμη και όταν συγκρίνεται με ένα κέντρο δεδομένων μεσαίου μεγέθους με χιλιάδες εξυπηρετητές, ένα κέντρο δεδομένων μεγάλης κλίμακας με εκατό χιλιάδες εξυπηρετητές μπορεί να επιτύχει συχνά ένα συντελεστή 5-7 σε πλε-

ονέκτημα κόστους ανά GB δεδομένων που αποθηκεύονται ή υποβάλλονται σε επεξεργασία.

Από την πλευρά της ζήτησης, η κλιμάκωση πάλι βοηθά μέσω της στατιστικής πολυπλεξίας. Οι διακυμάνσεις της ζήτησης κάθε χρήστη απορροφώνται σε μία μεγάλη ομάδα χρηστών, όπως φαίνεται στο Σχήμα 16.2. Αυτή είναι η ίδια αρχή πίσω από την υπερκάλυψη που κάνουν οι ISP σε κάθε σημείο συνάθροισης των δικτύων πρόσβασής τους: συναθροίζοντας πολλούς εκρηκτικούς χρήστες (bursty users) μειώνει την εκρηκτικότητα (burstiness). Φυσικά, η συνολική δεξαμενή μπορεί ακόμη να επιδεικνύει πρότυπα κορυφών-κοιλάδας (peak-valley) κάποια ώρα της ημέρας. Η μέση χρησιμοποίηση των εξυπηρετητών σε ένα κέντρο δεδομένων είναι συχνά κάτω από το 20% σήμερα. Αυτά τα πρότυπα κορυφών-κοιλάδας μπορεί να εξομαλυνθούν περισσότερο με χρήση της εξαρτώμενης από το χρόνο τιμολόγησης, όπως αναφέρεται στο Κεφάλαιο 12.

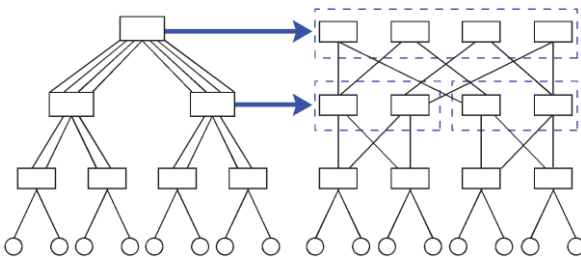
Στο νέφος είναι όλα σχετικά με την κλίμακα. Τα σημερινά μεγάλα κέντρα δεδομένων είναι πράγματι τεράστια, τόσο μεγάλα που το κόστος για την ηλεκτρική ενέργεια και την ψύξη τους αντιπροσωπεύουν μερικές φορές περισσότερο από το μισό του συνολικού κόστους. Αν το iPhone είναι ένας από τους μικρότερους υπολογιστές που χρησιμοποιούμε, κάθε κέντρο δεδομένων είναι ένας από τους μεγαλύτερους. Έχουμε κάνει μία σημαντική υπόθεση, ότι είναι εφικτό να κλιμακώσουμε ένα κέντρο δεδομένων. Διαφορετικά, θα πρέπει να περικόψετε όλα τα οφέλη που συνδέονται με την κλιμάκωση. Αλλά, όπως είδαμε στο Κεφάλαιο 10, η κλιμάκωση μπορεί επίσης να είναι ένα μειονέκτημα, όταν το καθένα (σε λογικές τιμές) στοιχείο του δικτύου μπορεί να έχει μόνο ένα μικρό αριθμό θυρών υψηλής απόδοσης. Εκτός αν έχετε τη σωστή τοπολογία δικτύου, η οικοδόμηση ενός κέντρου δεδομένων με 100.000 εξυπηρετητές μπορεί να είναι πολύ πιο ακριβή σε τιμή ανά μονάδα χωρητικότητας (ή εύρος ζώνης στην κοινή ορολογία), από τη δημιουργία ενός κέντρου δεδομένων με 10.000 εξυπηρετητές. Αυτό απηχεί το θέμα του Κεφαλαίου 10: η υψηλής απόδοσης η-συνδεσιμότητα ανά κόμβο δεν κλιμακώνεται πάνω από ένα ορισμένο σημείο, είτε τεχνολογικών ή ανθρώπινων δικτύων. Ωστόσο, θέλουμε (υψηλής απόδοσης) συνδεσιμότητα για ολόκληρο το δίκτυο για να κρατήσει την κλιμάκωση. Αυτό είναι το αντικείμενο της επόμενης ενότητας: πώς να επιτύχουμε τα πλεονεκτήματα της κλιμάκωσης για ένα δίκτυο χωρίς να υποστεί τον περιορισμό της κλίμακας ανά κόμβο.

16.2 Μία Εκτενής Απάντηση

16.2.1 Δημιουργώντας ένα μεγάλο δίκτυο χρησιμοποιώντας μικρούς μεταγωγείς

Χρειαζόμαστε ένα δίκτυο μέσα σε ένα κέντρο δεδομένων. Πολλές από τις εφαρμογές που φιλοξενούνται σε ένα κέντρο δεδομένων απαιτούν μεταφορά δεδομένων και έλεγχο πακέτων μεταξύ των εξυπηρετητών που βρίσκονται σε διαφορετικές τοποθεσίες μέσα σε αυτό το μεγάλο κτήριο. Μία λογική, αλλά κατώτερης ποιότητας λύση, είναι η δημιουργία ενός δένδρου, όπως στο Σχήμα 16.3(a), όπου οι εξωτερικοί κόμβοι (κόμβοι χωρίς παιδιά) είναι οι εξυπηρετητές και οι υπόλοιποι κόμβοι είναι οι δρομολογητές. Τα χαμηλά επίπεδα συνδέσεων υποστηρίζουν συχνά Ethernet του 1Gbps, ενώ τα ανώτερα επίπεδα των 10Gbps. Οι τρεις πιο γρήγοροι μεταγωγείς είναι αρκετά μεγάλοι, και ο καθένας έχει πολλές συνδέσεις των 10Gbps. Η κατασκευή αυτών των μεγάλων μεταγωγέων είναι πολύ ακριβή. Όσο ο αριθμός των εξωτερικών κόμβων αυξάνεται στις 100.000 και περισσότερο, γίνεται τεχνολογικά ανέφικτη η κατασκευή του ριζικού μεταγωγέα (root switch). Ένας κορυφαίος μεταγωγέας μπορεί να υποστηρίξει σήμερα μόνο 1.280 ~~διακομιστές εξυπηρετητές~~ εξυπηρετητές.

Έτσι θα πρέπει να ξεκινήσουμε να ξανά-ενημερώνουμε όσο ανεβαίνουμε το δένδρο. Κάποιες φορές ο δείκτης υπερκάλυψης τρέχει τόσο γρήγορα όσο 1:200 σε ένα μεγάλο κέντρο δεδομένων. Τί θα συμβεί όμως αν οι εξωτερικοί κόμβοι (~~διακομιστές εξυπηρετητές~~) θέλουν να αξιοποιήσουν πλήρως το εύρος ζώνης τους (bandwidth) ώστε να επικοινωνήσουν με άλλους εξυπηρετητές ταυτόχρονα; Τότε έχουμε έναν παράγοντα συμφόρησης της τάξεως των 200 φορών. Το όλο πρόβλημα συγκέντρωσης των πόρων αντιμετωπίζεται με την κατακερμάτισή τους: οι αδρανείς εξυπηρετητές δεν μπορεί να χρησιμοποιηθούν επειδή δεν γίνεται να χρησιμοποιήσουμε τη χωρητικότητα που υπάρχει μεταξύ τους σε ένα ~~δέντρο δένδρο~~ δέντρο επικάλυψης. Χωρίς να έχει σημασία το πώς θα το κόψουμε, ένα δένδρο δεν είναι επεκτάσιμο. Πολλά δένδρα θα μπορούσε να ήταν μία καλύτερη λύση, όπως ~~το~~ στο P2P στο Κεφάλαιο 15, αλλά δεν μπορούμε να ανταλλάξουμε τους ανώτερους κόμβους-φύλλα με τους από πάνω σε ένα πολύ-δένδρο (multi-tree) σαν αυτό, επειδή οι κόμβοι-φύλλα είναι εξυπηρετητές και οι από πάνω μεταγωγείς.



Σχήμα 16.3 Από δένδρο σε παχύ δένδρο (fat tree). (a) Δείχνει ένα δένδρο που υποστηρίζει 8 εξυπηρετητές (οι κόμβοι-φύλλα εμφανίζονται ως κύκλοι) με 4 μεταγωγείς

δύο εισόδων και δύο εξόδων, 2 μεταγωγείς τεσσάρων εισόδων και τεσσάρων εξόδων και με 1 μεταγωγέα οκτώ εισόδων και οκτώ εξόδων. Η κατασκευή των μεγαλύτερων μεταγωγέων είναι πολύ ακριβή. Όταν ο ριζικός μεταγωγέας είναι πολύ μεγάλος, γίνεται ανέφικτη η κατασκευή ενός τέτοιου δικτύου, και πρέπει να χρησιμοποιηθεί η υπερκάλυψη καθώς ανεβαίνουμε το δένδρο. Σε αντίθεση στο (β), δύο μικροί μεταγωγείς (ο καθένας με δύο εισόδους και δύο εξόδους) έχουν συλλογικά το ρόλο του μεταγωγέα μεγέθους 4×4 , και τέσσερις μικροί μεταγωγείς έχουν συλλογικά το ρόλο του μεταγωγέα μεγέθους 8×8 .

Με σχόλια [C1]: Δεν φαίνεται α και β στο σχήμα.

Είναι ακόμα δυνατή η κατασκευή ενός μεγάλου δικτύου με μικρούς μεταγωγείς, όπως ακριβώς όταν κατασκευάζεται ένα αξιόπιστο δίκτυο από αναξιόπιστα συστατικά;

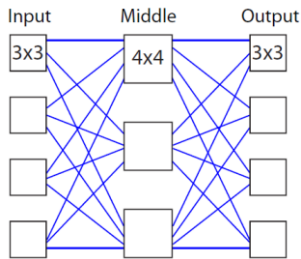
Η απάντηση είναι ναι, αν είμαστε αρκετά έξυπνοι όσον αφορά την τοπολογία του δικτύου, και ~~να~~ αν μεταβούμε από ένα δένδρο σε ένα **δίκτυο μεταγωγής πολλών σταδίων** (multi-stage switched network). Αντί να κατασκευάσουμε ένα δίκτυο μεγάλης κλίμακας, κλιμακώνοντας τον αριθμό των θυρών ανά δρομολογητή χτυπώντας έτσι το οικονομικό και τεχνολογικό ανώτατο όριο, θα πρέπει να επεκτείνουμε την τοπολογία όσο θέλουμε. Θα χρησιμοποιήσουμε πολλούς μικρούς μεταγωγείς για να φτιάξουμε έναν μεγάλο, με τον ίδιο αριθμό συνδέσεων ανά μεταγωγέα σε κάθε επίπεδο.

Αυτός ο κλάδος δικτύωσης έχει μελετηθεί πολύ στην εποχή της μεταγωγής κυκλώματος, όταν έγινε αδύνατη η κατασκευή ενός αρκετά μεγάλου ενιαίου μεταγωγέα ο οποίος θα διαχειριζόταν όλες τις τηλεφωνικές κλήσεις. Στη συνέχεια μελετήθηκαν τα **δίκτυα διασύνδεσης** για πολύ-πύρηνους επεξεργαστές και παράλληλο υπολογισμό. Σήμερα η μελέτη των δικτύων διασύνδεσης έχει αναβιώσει στο πλαίσιο της δικτύωσης των κέντρων δεδομένων και των υπηρεσιών νέφους.

Το βασικό μήνυμα εδώ είναι ότι η ίδια η συνδεσιμότητα είναι ένας πόρος που πρέπει να τον οικοδομήσουμε, και πρέπει να τον οικοδομήσουμε προσεκτικά.

Υπάρχουν πολλοί τρόποι για να ποσοτικοποιήσουμε το κατά πόσο καλή είναι μία τοπολογία διασύνδεσης. Έχουμε επικεντρωθεί στην επίδοση και όχι στην καθυστέρηση.

- Η χειρότερη περίπτωση της ανά ζεύγη από άκρο-προς-άκρο χωρητικότητας (π.χ. από έναν κόμβο-φύλλο σε έναν άλλο σε ένα δένδρο) είναι μία περίπτωση.
- Η **διχοτόμηση του εύρους ζώνης** είναι μία άλλη μετρική: παρόμοια με το διαχωρισμό ~~σφραγιστους~~ κοινωνικούς γράφους του Κεφαλαίου 8, η διαίρεση όλων των συνδέσεων σε δύο ισομέγεθη μισά του δικτύου ονομάζεται **διχοτόμηση περικοπής** (bisection cut) και η χειρότερη περίπτωση της διαίρεσης σε δύο τμήματα οποιονδήποτε δυνατών συνδυασμών μισών του δικτύου ονομάζεται **διχοτόμηση εύρους ζώνης** (bisection bandwidth).



Σχήμα 16.4 Ένα παράδειγμα δικτύου Clos. Πρόκειται για ένα δίκτυο Clos τριών επιπέδων (3,3,4), το οποίο υποστηρίζει 12 εισόδους και 12 εξόδους χρησιμοποιώντας μόνο μεταγωγείς 3x3 και 4x4. Υπάρχουν 4 από αυτούς τους μεταγωγείς μεγέθους 3x3 στο στάδιο εισόδου, 4 από αυτούς στο στάδιο εξόδου και 3 από τους μεταγωγείς μεγέθους 4x4 στο μεσαίο στάδιο. Κάθε μεταγωγέας εισόδου είναι συνδεδεμένος σε κάθε ένα από τους μεταγωγείς μεσαίου σταδίου. Κάθε μεταγωγέας εξόδου είναι επίσης συνδεδεμένος σε κάθε ένα από τους μεταγωγείς μεσαίου σταδίου.

- Μία τρίτη μετρική είναι ένα κλασικό κριτήριο που χρησιμοποιείται στη μεταγωγή κυκλώματος: ένα δίκτυο ονομάζεται μη απορρίπτον (nonblocking) αν οποιοδήποτε ζεύγος (αχρησιμοποίητης) εισόδου και (αχρησιμοποιητής) εξόδου μπορεί να διασυνδεθεί κάθε φορά όταν φτάνει σύννοδος κίνησης (ή αίτηση μεταγωγής). Ονομάζονται **μη απορρίπτοντα** με αναδιάταξη (rearrangeably nonblocking) αν κάποια υπάρχοντα ζεύγη συνδέσεων απαιτείται να αναδιαταχθούν ώστε να επιτευχθεί η ιδιότητα της μη απόρριψης.

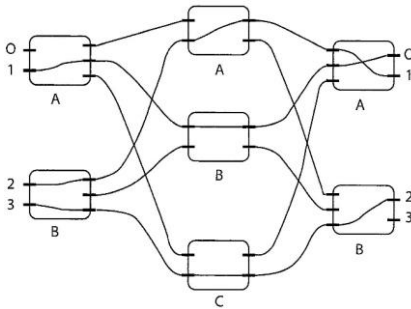
Το 1953 εφευρέθηκε η πιο διάσημη τοπολογία δικτύου διασύνδεσης, η οποία ονομάζεται δίκτυο Clos. Ένα παράδειγμα φαίνεται στο Σχήμα 16.4. Ο γενικός ορισμός ενός δικτύου Clos είναι ο ακόλουθος. Κάθε δίκτυο Clos ορίζεται από τρεις ακεραίους: (n, m, r) . Κάθε μεταγωγέας εισόδου είναι $n \times m$, και υπάρχουν r μεταγωγείς εισόδου. Συμμετρικά κάθε μεταγωγέας εξόδου είναι $m \times n$ και υπάρχουν επίσης r μεταγωγείς εξόδου. Οι μεταγωγείς του μεσαίου σταδίου πρέπει να είναι $r \times r$, και υπάρχουν m από αυτούς.

Καθένας από τους μεταγωγείς εισόδου και εξόδου είναι συνδεδεμένος με κάθε έ θ έ ν α ν από τους μεταγωγείς τ ο υ μεσαίου σταδίου. Αυτή είναι μία πλούσια συνδεσιμότητα που χρησιμοποιεί μικρούς μεταγωγείς για να υποστηρίξει rn ζεύγη θυρών εισόδου και εξόδου, όπως φαίνεται στο Σχήμα 16.4.

Υποθέτοντας ότι έναν-έναν κεντρικός ελεγκτής επιλέγει τα μοτίβα μεταγωγής, μπορεί να αποδειχτεί εύκολα ότι αν το $m \geq 2n-1$, τότε, ένα δίκτυο Clos είναι μη α-

πορρίπτον. Υποθέστε ότι ένα νέο αίτημα μεταγωγής φθάνει σε μία συγκεκριμένη θύρα εισόδου ενός μεταγωγέα με είσοδο A και πρέπει να μεταβιβαστεί σε μία θύρα εξόδου του μεταγωγέα με έξοδο B. Στη χειρότερη περίπτωση, η κάθε μία από τις άλλες $n-1$ θύρες A θα είναι ήδη κατειλημμένες, και κάθε μία από τις άλλες $n-1$ θύρες B θα είναι ήδη κατειλημμένες, και το πιο σημαντικό είναι ότι κάθε μία από αυτές τις $2n-2$ συνδέσεις περνά μέσα από ένα διαφορετικό μεταγωγέα μεσαίου σταδίου. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να έχουμε έναν επιπλέον μεταγωγέα μεσαίου σταδίου σε ένα τέτοιο σενάριο χειρότερης περίπτωσης. Αυτό σημαίνει ότι αν υπάρχουν $m \geq 2n-1$ μεσαίοι μεταγωγείς, έχουμε επιτύχει τη μη απορρίψη.

Αυτό φαίνεται στο Σχήμα 16.5 σε ένα δίκτυο Clos (2, 3, 3). Το μοτίβο κίνησης είναι τέτοιο ώστε τώρα η θύρα εισόδου 1 χρειάζεται να συνδεθεί με τη θύρα εξόδου 0, η θύρα εισόδου 2 με τη θύρα εξόδου 1, η θύρα εισόδου 3 με τη θύρα εξόδου 2, και η θύρα εισόδου 0 με τη θύρα εξόδου 3. Στο σημείο αυτό έχουν ήδη, όπως φαίνεται, συνδεθεί τρία ζεύγη θυρών εισόδου-εξόδου. Θέλουμε να συνδέσουμε τη θύρα εισόδου 0 με τη θύρα εξόδου 3. Η άλλη θύρα εισόδου που διαμοιράζεται τον ίδιο μεταγωγέα A πρώτου σταδίου συνδέεται με το μεταγωγέα B στο δεύτερο στάδιο. Αν δεν υπήρχε άλλος ένας μεταγωγέας μεσαίου σταδίου, ο A στην περίπτωση αυτή, δεν θα υπήρχε κανένας τρόπος να συνδεθεί η θύρα εισόδου 0 με τη θύρα εξόδου 3 χωρίς να γίνει αναδιάταξη των υπάρχουσών διασυνδέσεων. Αλλά με την παρουσία του μεταγωγέα A, το δίκτυο Clos είναι μη απορρίπτον.

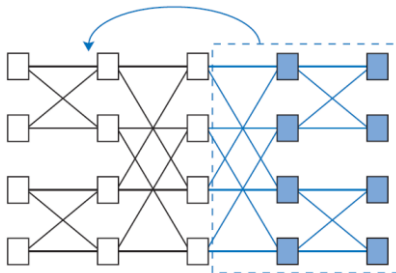


Σχήμα 16.5. Ένα παράδειγμα που δείχνει ότι όταν $m \geq 2n-1$ το δίκτυο Clos είναι μη απορρίπτον. Το σημείο κλειδί είναι ότι με αρκετά μεγάλο m υπάρχουν αρκετοί μεταγωγείς μεσαίου σταδίου ακόμα και κάτω από την χειρότερη περίπτωση προτύπου κυκλοφορίας και καλωδίωσης. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, $n=2$, $m=3$, και $r=2$. Η καλωδίωση μεταξύ των μεταγωγέων είναι προκαθορισμένη από πριν από το σχεδιασμό του μεταγωγέα Clos.

Είναι επίσης ενδιαφέρον να δούμε ότι το r δεν επηρεάζεται στη σχέση μη απόρριψης $Mm > 2n - 1$. Άλλα φυσικά, αν το r είναι πολύ μεγάλο, οι μεταγωγείς μεσαίου σταδίου θα έχουν ένα μεγάλο αριθμό θυρών. Μεγαλύτερο r σημαίνει ότι υπάρχουν περισσότεροι μεταγωγείς εισόδου-εξόδου και μεγαλύτεροι μεταγωγείς μεσαίου σταδίου, το οποίο μπορεί να κατασκευαστεί αναδρομικά από δίκτυα Clos τριών σταδίων χρησιμοποιώντας μόνο μικρούς μεταγωγείς.

Παίρνει λίγο περισσότερο χρόνο για να δείξουμε ότι αν $m \geq n$, τότε ένα δίκτυο Clos είναι απορρίπτον με αναδιάταξη. Θα το δούμε αυτό σε μία άσκηση.

Ένα δίκτυο Clos μπορεί να έχει το τμήμα εισόδου και το τμήμα εξόδου του διπλωμένα. Ένα διπλωμένο δίκτυο Clos ονομάζεται συχνά *χοντρό-παχύ* (fat) δένδρο. Δεν πρέπει να μπερδευτούμε με αυτή την ορολογία, ένα χοντρό δένδρο κλιμακώνεται πέρα από τις δυνατότητες ενός απλού δένδρου. Μπορεί να επιτύχει τη μέγιστη διχοτόμηση εύρους ζώνης χωρίς να χρειάζεται η υπερκάλυψη της κίνησης καθώς ανεβαίνουμε τα επίπεδα του δένδρου. Αυτό φαίνεται στο Σχήμα 16.6. Τα *χοντρό-παχύ δένδρα* έχουν εφαρμοστεί σε πολλά κέντρα δεδομένων ως ο κλασικός τρόπος κλιμάκωσής τους.



Σχήμα 16.6 Από το δίκτυο Clos σε ένα *χοντρό-παχύ* (fat) δένδρο. Λόγω συμμετρίας γύρω από το μεσαίο στάδιο αυτού του δικτύου Clos 5 σταδίων, τα δύο δεξιά στάδια μπορεί να διπλωθούν στα δύο αριστερά στάδια. Ένα διπλωμένο δίκτυο Clos το ονομάζουμε χοντρό δένδρο. Τώρα κάθε σύνδεση είναι αμφίδρομη στο *χοντρό-παχύ* δένδρο.

Υπάρχουν αρκετές εναλλακτικές λύσεις ως προς τα δίκτυα Clos, όπως του υπερκύβου (hypercube), του πλέγματος (mesh), της πεταλούδας (butterfly), κτλ. Μία παραλλαγή που ονομάζεται VL2 χτίζει μικρά δένδρα, ενώ τα δένδρα είναι ακόμη επεκτάσιμα και στη συνέχεια χτίζει ένα δίκτυο Clos ανάμεσα στις ρίζες των *δένδρων* αυτών, όπως φαίνεται στο Σχήμα 16.7.

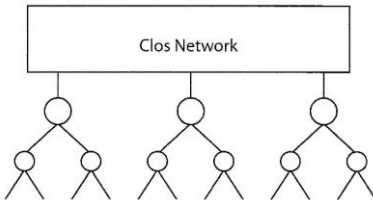
Με δεδομένη μία τοπολογία χρειαζόμαστε ακόμα να τρέξει η δρομολόγηση, να γίνει ο έλεγχος συμφόρησης και να γίνει ο προγραμματισμός της κυκλοφορίας στο δίκτυο. Ορισμένα από αυτά τα θέματα θα επισημανθούν στο Προχωρημένο Υλικό. Όταν η συνδεσιμότητα στο δίκτυο Clos είναι αρκετά πλούσια, ακόμη και η απλή τυχαίοποιημένη δρομολόγηση μπορεί να εξισορροπήσει την κυκλοφορία αρκετά καλά ώστε να επιτευχθεί ένα εύρος ζώνης κοντά στη βέλτιστη διχοτόμηση. Σε ορισμένα ιδιόκτητα συστήματα όπως το Infiniband, χρησιμοποιείται μία ακόμη απλούστερη προσέγγιση, η ντετερμινιστική δρομολόγηση.

16.2.2 Συγκρίνοντας τοπολογίες Δικτύου: Διαδίκτυο, κέντρα δεδομένων, και P2P

Πριν περάσουμε σε ενδεικτικά παραδείγματα τοπολογιών κέντρων δεδομένων, να σταματήσουμε για να σκεφτούμε τρεις τρόπους σχεδιασμού και επιλογής κατάλληλου μεγέθους τοπολογιών, για κάθε ένα βασικό τύπο δικτύων ενσύρματης τεχνολογίας. Μπορούμε επίσης να εξερευνήσουμε τα βαθύτερα αίτια πίσω από αυτές τις διαφορετικές σχεδιαστικές επιλογές.

1. *Η ραχοκοκαλιά του Διαδικτύου*: Προσφέρετε μεγαλύτερη χωρητικότητα στις διασυνδέσεις και μετά προσεχτικά εξετάστε την πιθανότητα δρομολόγησης πολλαπλών διαδρομών (multipath routing). Από την στιγμή που η δρομολόγηση δεν ανταποκρίνεται στο φορτίο της ζεύξης σε πραγματικό χρόνο αυτή η δουλειά του ελέγχου συμφόρησης δίνεται στο επίπεδο μεταφοράς, και οι ακραίοι υποδοχείς αντιδρούν στα μεταβαλλόμενα φορτία σε μία γρήγορη κλίμακα σύμφωνα με το πρότυπο TCP.
2. *Δίκτυα Κέντρων Δεδομένων*: Προσφέρετε μεγαλύτερη συνδεσιμότητα αυξάνοντας τον αριθμό των διαθέσιμων μονοπατιών, και μετά τρέξτε ένα τεράστιο αριθμό πολλαπλών διαδρομών, είτε προσεκτικά είτε τυχαία. Γιατί να μην το κάνουμε αυτό για την ραχοκοκαλιά του Διαδικτύου; Επειδή η υπερπροσφορά συνδεσιμότητας είναι πιο ακριβή από την υπερπροσφορά χωρητικότητας στην κλίμακα χωρητικότητας του Διαδικτύου, εκτός αν χρησιμοποιηθεί επικάλυψη, όπως στο P2P.
3. *Δίκτυο επικάλυψης πολλαπλής εκπομπής P2P*: Η υπερπροσφορά συνδεσιμότητας ξεχωρίζει από την υπερπροσφορά χωρητικότητας—με το να αυξάνεται και ο αριθμός των διαδρομών και των πηγών και μετά τρέξτε μεγάλα ποσά από κατασκευές πολλαπλών δένδρων διαλέγοντας όχι μόνο μονοπάτια δρομολόγησης αλλά και σχέσεις πηγής-προορισμού είτε τυχαία είτε στοχευμένα. Πέρα από τη δημιουργία μίας αρκετά πλούσιας σε συνδέσεις τοπολογίας με τη δυνατότητα επιλογής μεταξύ πολλών μονοπατιών, δημιουργούνται επίσης πολλά ταυτόχρονα δένδρα πολύ-εκπομπής, πιθανόν ένα ανά μία ομάδα από byte.

Η εξέλιξη των παραπάνω σχεδιασμών δένδρων είναι η ακόλουθη: (1) Επιλέξτε μία σταθερή τοπολογία, κάντε τις ζεύξεις πιο γρήγορες και πιο έξυπνες. (2) Εμπλουτίστε την τοπολογία αυξάνοντας τη συνδεσιμότητα. (3) Την ίδια ώρα, δημιουργήστε πολλές τοπολογίες για να έχετε να επιλέγετε.



Σχήμα 16.7 Το Εικονικό Επίπεδο 2 («Virtual Layer 2» (VL2)) αξιοποιεί τη χωρική ιεραρχία στα κέντρα δεδομένων. Πολλοί εξυπηρετητές συνδέονται σε δένδρα, και στη συνέχεια τα δένδρα συνδέονται μεταξύ τους μέσω ενός δικτύου Clos.

Στο τέλος, οι (2) και (3) μπορεί να φτάσουν κοντά στο όριο της διχοτόμησης του εύρους ζώνης και στο όριο χωρητικότητας του P2P αντίστοιχα, αλλά η (1) δεν μπορεί να επιτύχει την πλήρη αξιοποίηση του εύρους ζώνης. Επιπλέον, εάν υπάρχει αρκετή υπερπροσφορά συνδεσιμότητας, μπορείτε ακόμη και να επιλέξετε μεταξύ των συνδέσεων τυχαία (όπως στα VL2 και BitTorrent) και να είστε αρκετά κοντά στο όριο. Η υπερπροσφορά συνδεσιμότητας είναι πιο αποδοτική από την υπερπροσφορά χωρητικότητας, αν μπορείτε να το αντέξετε οικονομικά.

Γιατί υπάρχουν τέτοιες διαφορές μεταξύ των (1), (2) και (3); Η επιλογή του σχεδιασμού του δικτύου εξαρτάται επίσης από τον κυρίαρχο παράγοντα του κόστους. Στη ραχοκοκαλιά του Διαδικτύου, το να σκάψετε χαντάκια αποτελεί το κυρίαρχο κόστος για τους ISP. Και οι ζεύξεις είναι πολύ μακριές, καθώς καλύπτουν χιλιάδες μίλια, περιορισμένες από την παρουσία ινών και πληθυσμού. Είναι πολύ ακριβό να δημιουργήσετε συνδεσιμότητα. Σε ένα κέντρο δεδομένων, το δίκτυο μέσα σε ένα μεγάλο κτίριο αποτελεί ένα σχετικά μικρό κλάσμα του κόστους, σε σύγκριση με το κόστος των εξυπηρετητών, του ηλεκτρικού ρεύματος και της ψύξης. Έτσι η υπερπροσφορά συνδεσιμότητας έχει οικονομικό νόημα. Το P2P είναι ένα δίκτυο επικάλυψης, έτσι η συνδεσιμότητα είναι μία λογική παρά μία φυσική ιδέα και ακόμη φτηνότερη να υπερπροσφερθεί. Η συνδεσιμότητα του P2P μπορεί να διαχειριστεί δυναμικά μέσω σημάτων ελέγχου χωρίς να σκαφτούν χαντάκια.

Επιπρόσθετα στο κόστος των δομών, η προβλεψιμότητα και η ευελιξία των απαιτήσεων της κίνησης αποτελεί μία άλλη ριζική αιτία για αυτές τις θεμελιωδώς διαφορετικές επιλογές στο σχεδιασμό δικτύων. Στο Διαδίκτυο, η-οι πίνακες κίνησης είναι σχετικά προβλέψιμοι. Οι διακυμάνσεις των πινάκων κίνησης στο Διαδίκτυο συμβαίνουν στο χρόνο και όχι στο χώρο, και έτσι μπορούν να αντιμετωπιστούν

είτε από την υπερ-προσφορά χωρητικότητας είτε από την χρονοεξαρτώμενη τιμολόγηση. Στα κέντρα δεδομένων, οι απαιτήσεις της κίνησης είναι αρκετά ευμετάβλητες και δεν έχουν ακόμη γίνει πλήρως κατανοητές, ένας άλλος λόγος για να υπερ-προσφέρετε χωρητικότητα. Στο P2P, έχετε την επιλογή να αλλάξετε τον πίνακα της κίνησης διαλέγοντας διαφορετικούς ομότιμους (peers). Με αυτό τον τρόπο, αξιοποιείται αυτή η ευελιξία ώστε να επιτυγχάνεται μεγαλύτερο κέρδος για το συγκεκριμένο κόστος ("bang for the buck").

16.3 Παραδείγματα

16.3.1 Επέκταση και αναδίπλωση ενός δικτύου Clos

Σε αυτό το παράδειγμα, επιδεικνύουμε πώς θα επεκτείνουμε ένα δίκτυο Clos από 3 στάδια σε 5 στάδια, και στη συνέχεια να αναδιπλώσουμε για να πετύχουμε τη συμμετρία πριν κάνουμε την αναδίπλωση σε τοπολογία χωνδρού-παχέος δένδρου.

Όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 16.8, ακολουθούμε μία αλληλουχία η οποία αποτελείται από 5 βήματα.

- Βήμα 1: Ξεκινάμε με ένα συγκεκριμένο δίκτυο Clos τριών σταδίων όπου $n = 2, m = 2, r = 4$. Θα θέλαμε να αντικαταστήσουμε τα μεσαία στάδια με τους μεγαλύτερους μεταγωγείς με μικρούς μεταγωγείς μεγέθους 2×2 .
- Βήμα 2: Κατασκευάζουμε το διεπτόδικο Clos τριών σταδίων, όπου $n = 2; m = 2; r = 2$.
Το καθένα από αυτά τα δίκτυα Clos μπορεί να ενεργεί ως ένας μεταγωγέας 4×4 .
- Βήμα 3: Τώρα αντικαθιστούμε τον μεταγωγέα του κεντρικού σταδίου στο Βήμα 1 με τα νέα δίκτυα Clos τριών σταδίων του Βήματος 2. Αυτή η αναδρομική λειτουργία επεκτείνει το αρχικό δίκτυο Clos τριών σταδίων σε πέντε στάδια. Υπάρχουν περισσότεροι μεταγωγείς, αλλά είναι όλοι τώρα μικροί (μεγέθους 2×2).
- Βήμα 4: Συμμορφωνόμαστε με το τυπικό πρότυπο σύνδεσης του σταδίου εισόδου κατάλληλα αναδιατάσσοντας τις θέσεις των μεταγωγέων στο στάδιο 2 και στο στάδιο 4.
- Βήμα 5: Τέλος, μπορούμε να διπλώσουμε το πέντε-επιπέδων Clos σε τριών σταδίων παχέος δένδρου, ώστε κάθε ζεύξη να είναι αμφίδρομη τώρα.

Μορφοποίηση: Γραμματοσειρά: 11 στ.

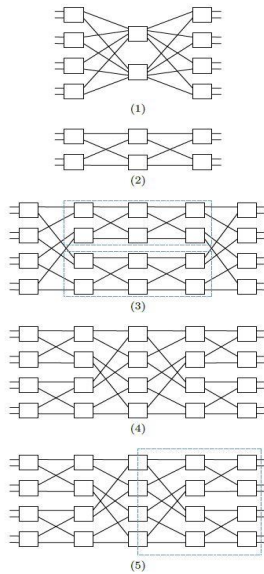
Μορφοποίηση: Γραμματοσειρά: Πλάγια

Μορφοποίηση: Γραμματοσειρά: Πλάγια

Μορφοποίηση: Γραμματοσειρά: Πλάγια

16.3.2 Μέγιστη ροή, ελάχιστη περικοπή

Το διχοτομημένο εύρος ζώνης είναι μία ειδική περίπτωση του προβλήματος της κοπής του μεγέθους ενός δικτύου. Υπάρχει ένα πολυδιαφημισμένο αποτέλεσμα το οποίο συνδέει τα μεγέθη των κοπών σε ένα γράφο με το μέγιστο ποσόν της ροής η οποία μπορεί να δρομολογηθεί μέσω του δικτύου.



Σχήμα 16.8 Μετατρέψτε ένα δίκτυο Clos (2,2,4) των τριων σταδίων σε ένα ~~χωρικό~~ παχύ δένδρο των 3-σταδίων ~~με~~ μόνο με μεταγωγείς 2x2. Ο καθένας από τους μεταγωγείς του μεσαίου σταδίου στο αρχικό δίκτυο Clos αντικαθίσταται από ένα δίκτυο Clos (2,2,2) των τριων σταδίων. Ύστερα αναδιατάσσονται οι μεταγωγείς στα βήματα 2 και 4. Τέλος, διπλώστε το δίκτυο σε ένα πιο συμπαγές με αμφίδρομες συνδέσεις

Θεωρήστε έναν κατευθυνόμενο γράφο με τις χωρητικότητες των ακμών να απεικονίζονται στο Σχήμα 16.9 (α). Θέλουμε να μάθουμε ποια είναι η μέγιστη ροή από την πηγή s μέχρι τον προορισμό t . Το Σχήμα 16.9 (β) δίνει τη λύση υπολογίζοντας τη μέγιστη ροή χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο Ford-Fulkerson, τον ~~οποίο~~ οποίο είδαμε σε μία άσκηση στο Κεφάλαιο 13.

Μορφοποίηση: Επισήμανση

Σε γενικές γραμμές, μία περικοπή (S, T) του δικτύου $G = (V, E)$ ορίζεται σε σχέση με ένα δεδομένο ζεύγος πηγής-προορισμού (s, t) . Πρόκειται για μία διαμέριση του συνόλου V των κόμβων σε δύο υποσύνολα: S και $T = V - S$ (οι κόμβοι στο σύνολο V εκτός από εκείνους που ανήκουν στο σύνολο S), έτσι ώστε $s \in S$ και $t \in T$.

Όπως και στο Κεφάλαιο 8, η χωρητικότητα της κοπής (S, T) , ή το μέγεθος της κοπής του, να είναι το άθροισμα των ~~χωρητικότητων~~ ~~χωρητικότητων στις των συνδέσεις~~ ~~συνδέσεων~~ από το S στο T . Μία ελάχιστη περικοπή ενός δικτύου είναι η περικοπή εκείνη της οποίας η χωρητικότητα είναι η ελάχιστη σε σχέση με όλες τις περικοπές του δικτύου. Το Σχήμα 16.9 (*) δείχνει μία ελάχιστη κοπή στο δίκτυο.

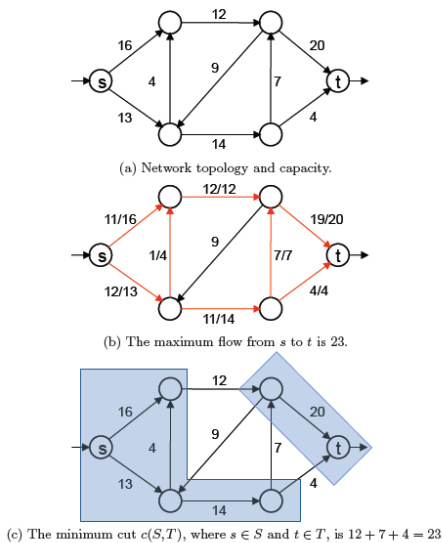
Το **θεώρημα της μέγιστης ροής και ελάχιστης περικοπής** (max-flow min-cut theorem) δηλώνει ότι το μέγιστο ποσό της ροής περνώντας από την πηγή στον προορισμό είναι ίσο με την ελάχιστη περικοπή του δικτύου σε σχέση με το ζεύγος πηγής-προορισμού. Σε αυτό το παράδειγμα, και οι δύο αριθμοί ισούνται με 23 μονάδες.

16.4 Προχωρημένο Υλικό

Τα κέντρα δεδομένων φιλοξενούν μία πληθώρα υπηρεσιών, από οικονομικές, ασφάλειας, αναζήτησης στο ~~διαδίκτυο~~ ~~Διαδίκτυο~~, υπολογισμού δεδομένων σε ηλεκτρονικό ταχυδρομείο, παιχνίδια, κατανομή περιεχομένου και κοινωνική δικτύωση. Όλες αυτές οι εφαρμογές λειτουργούν σε διαφορετικές κλίμακες χρόνου και ανήκουν σε διαφορετικές κλάσεις κυκλοφορίας και με διαφορετικές ποιότητες υπηρεσιών. Για παράδειγμα, οι διαδραστικές υπηρεσίες όπως τα παιχνίδια, ~~τα ρεό-~~ ~~ματαιοι ροές~~ βίντεο (video streaming), και η φωνή πάνω από το IP είναι ευαίσθητα στις καθυστερήσεις του δικτύου, ενώ άλλες υπηρεσίες, όπως η μεταφορά μεγάλων αρχείων και εφαρμογών εξόρυξης δεδομένων είναι ευαίσθητα στη διακίνηση. Επίσης, για την αποτελεσματική κατανομή του φόρτου εργασίας, συνθετικά στοιχεία μίας ενιαίας αίτησης ~~μπορούν~~ ~~μπορεί~~ να διανεμηθούν, επεξεργαστούν, και συναρμολογηθούν σε πολλούς εξυπηρετητές που βρίσκονται σε διάφορα κέντρα δεδομένων. Όλα αυτά αποτελούν ενδιαφέροντα πρότυπα κίνησης, τόσο μέσα σε ένα κέντρο δεδομένων ~~όσο~~ και πάνω στην ραχοκοκαλιά ενός δικτύου το οποίο συνδέει πολλαπλά κέντρα δεδομένων πάνω από μία μεγάλη γεωγραφική έκταση. Επικεντρωνόμαστε στη διαχείριση της κυκλοφορίας μέσα σε ένα κέντρο δεδομένων, ειδικά στους τέσσερις βαθμούς ελευθερίας: (1) τοπολογία, (2) τοποθέτηση, (3) δρομολόγηση, και (4) χρονο-προγραμματισμό.

Οι τοπολογίες των κέντρων δεδομένων θα πρέπει να είναι επεκτάσιμες. Η τοπολογία των συνδεδεμένων εξυπηρετητών θα είναι ένα θέμα-κλειδί στο σχεδιασμό, όπως συζητήθηκε προηγουμένως σε αυτό το Κεφάλαιο. ~~Το~~ Σχήμα 16.10 δείχνει κάποιες τυπικές τοπολογίες κέντρων δεδομένων με διασυνδεδεμένους μεταγωγείς. Τα περισσότερα κέντρα δεδομένων, για παράδειγμα τα βασισμένα σε δένδρα, το VL2

, και τα χονδρά-παγέα δένδρα ακολουθούν μία αρχιτεκτονική τριών επιπέδων. Στον πυθμένα βρίσκεται το επίπεδο πρόσβασης όπου κάθε εξυπηρετητής συνδέεται σε ένα (ή δύο) μεταγωγείς πρόσβασης. Κάθε μεταγωγέας πρόσβασης συνδέει ένα (ή δύο) μεταγωγείς στο επίπεδο συνάθροισης, και, τέλος, κάθε συνάθροιση από μεταγωγείς συνδέεται με πολλούς μεταγωγείς στον πυρήνα του κέντρου δεδομένων. Στην BCube, οι εξυπηρετητές υποτίθεται ότι διαθέτουν πολλαπλές θύρες εισόδου και εξόδου, έτσι ώστε να μπορούν να είναι μέρος της υποδομής του δικτύου και προωθούν πακέτα για λογαριασμό άλλων μεταγωγέων.



Σχήμα 16.9 Η μέγιστη ροή ισούται με την ελάχιστη περικοπή. Στη μεσαία γραφική παράσταση, το a/b σημαίνει ότι χρησιμοποιούνται σε ένα σύνδεσμο a μονάδες χωρητικότητας, μέσα από ένα σύνολο μονάδων b που είναι διαθέσιμο.

Αλγόριθμοι, όπως είναι ο αλγόριθμος Ford-Fulkerson, μπορεί-μπορούν να υπολογίσουν τη μέγιστη ροή από την πηγή s προς τον προορισμό t . Αυτή πρέπει να είναι ίση με το ελάχιστο μέγεθος της τομής, όπου το s ανήκει στην μία πλευρά της τομής και το t στην άλλη.

Με σχόλια [C2]: Μπορεί να μπου οι υπολεζάντες στα ελληνικά; Αν είναι πολύ δύσκολο, άστο.

Μορφοποίησης: Γραμματοσειρά: Πλάγια

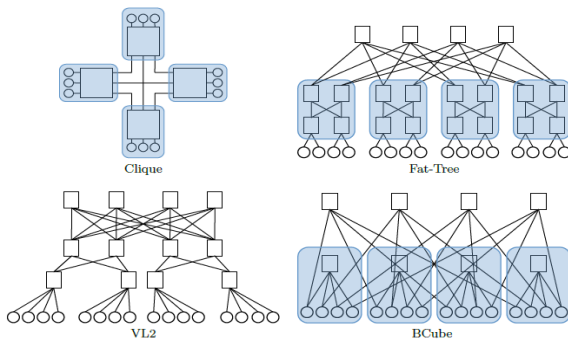
Μορφοποίησης: Γραμματοσειρά: Πλάγια

Μορφοποίησης: Γραμματοσειρά: Πλάγια

Μορφοποίησης: Γραμματοσειρά: Πλάγια

Η τοποθέτηση των VM μπορεί να κρατήσει τοπικά την κυκλοφορία. Οι πελάτες του νέφους συνήθως νοικιάζουν πολλά μηχανήματα με διαφορετικές χωρητικότητες, όπως απαιτείται, και πληρώνουν ανά μηχανήμα ανά ώρα.

Τα κέντρα δεδομένων με βάση την εικονικοποίηση έχουν γίνει η κύρια πλατφόρμα φιλοξενίας για ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών. Η τεχνική της εικονικοποίησης παρέχει μία ευέλικτη οικονομικά αποδοτική κατανομή των πόρων στα κέντρα δεδομένων. Για παράδειγμα, τόσο το EC2 της Amazon όσο και το GoGrid χρησιμοποιούν την εικονικοποίηση για την υποστήριξη πολλαπλών εικονικών μηχανών (Virtual Machines - VM) σε ένα φυσικό κέντρο. Μία ανατεθειμένη εργασία συνήθως συνδράμει σε μία μικρή ομάδα από VM τα οποία είναι τοποθετημένα σε διαφορετικούς κεντρικούς υπολογιστές οι οποίοι επικοινωνούν μεταξύ τους, έχοντας διαφορετικές απαιτήσεις ποσότητες διαθέσιμων πόρων για κάθε VM για την κεντρική μονάδα επεξεργασίας (CPU) και τη μνήμη.



Σχήμα 16.10 Υπάρχουν πολλές πιθανές τοπολογίες για να αναβαθμιστεί ένα κέντρο δεδομένων. Είδαμε το χωιρό-παγύ δένδρο σαν-ως ένα διπλωμένο δίκτυο Clos, το VL2 σαν-ως ένα δένδρο συνδυασμένο με ένα δίκτυο Clos, και υπάρχουν και άλλες επιλογές σανόπως οι-τις κλίκες και πως οι κύβους. Οι κύκλοι είναι οι εξυπηρετητές και οι τετράγωνα οι μεταγωγείς.

Έχει γίνει μία σειρά από προτάσεις για να βελτιωθεί η ευελιξία μέσα σε ένα κέντρο δεδομένων, δηλαδή, κάθε εξυπηρετητής να μπορεί δυναμικά να καταχωρηθεί-κα-ταχωριστεί σε οποιονδήποτε κεντρικό υπολογιστή ο οποίος βρίσκεται σε οποιοδήποτε σημείο στο κέντρο δεδομένων, ενώ παράλληλα διατηρείται η κατάλληλη ασφάλεια και η απομόνωση πως-της επίδοσης μεταξύ των υπηρεσιών. Η μεγιστοποίηση του διχοτομημένου εύρους ζώνης του δικτύου θα μπορούσε να θεωρηθεί ως

ένα πρόβλημα καθολικής βελτιστοποίησης - εξυπηρετητές από όλες τις εφαρμογές πρέπει να τοποθετούνται έτσι ώστε να εξασφαλιστεί ότι ~~με~~-το άθροισμα της κίνησής τους δεν έχει επιφέρει κορεσμό σε οποιονδήποτε σύνδεσμο.

Η επιλογή διαδρομής εκμεταλλεύεται τη δυνατότητα πολλαπλών διαδρομών. Τα κέντρα δεδομένων επίσης βασίζονται στην πολλαπλότητα των διαδρομών στην προσπάθειά τους να επεκτείνουν τη ~~υ~~ συνδεσιμότητα με τον κεντρικό υπολογιστή. Οι τοπολογίες των κέντρων δεδομένων συχνά παίρνουν τη μορφή πολυδιάστατων δένδρων που εκτείνονται σε μία ή πολλές διαδρομές μεταξύ των κεντρικών υπολογιστών. Η επιλογή της διαδρομής μπορεί τότε να προσαρμόζεται στη συμφόρηση και στη διαθέσιμότητα του εύρους ζώνης μεταξύ των διαφορετικών συνιστωσών του δικτύου.

Ο χρονο-προγραμματισμός είναι ένας ακόμη βαθμός ελευθερίας στη διαχείριση της κυκλοφορίας σε ένα κέντρο δεδομένων. Το βασικό πρόβλημα του χρονο-προγραμματισμού ~~εργασιών-εργασιών~~ είναι σημαντικό για μία ευρεία ποικιλία συστημάτων, από ένα λειτουργικό σύστημα ενός έξυπνου τηλέφωνο μέχρι ένα δίκτυο διασύνδεσης. Υποθέτουμε προς το παρόν ότι υπάρχει ένας κεντρικός υπολογιστής, ο οποίος συλλέγει όλα τα δεδομένα και υπολογίζει την έξοδο. Στο Κεφάλαιο 18, θα συναντήσετε την πρόκληση του καταναμημένου χρονο-προγραμματισμού στο WiFi.

- Η είσοδος για το πρόβλημα της χρονοδρομολόγησης είναι μία λίστα εργασιών, η καθεμία από τις οποίες έχει μερικά χαρακτηριστικά: το μέγεθος της εργασίας (ή γενικότερα, η ποσότητα των πόρων που απαιτούνται για το κάθε είδος των πόρων), μία αυστηρή προθεσμία ή ένα κόστος που υπερβαίνει την προθεσμία, και μία ποιότητα των υπηρεσιών που αναμένεται (για παράδειγμα, η ελάχιστη ρυθμιζόμενη). Μερικές φορές υπάρχουν επίσης εξαρτήσεις μεταξύ των θέσεων εργασίας ~~η-οι-οποία-οποίες~~ μπορεί να ~~απεικονιστεί-απεικονιστούν~~ ως ένας γράφος, όπου κάθε κόμβος είναι μία εργασία και κάθε κατεύθυνση είναι μία εξάρτηση μεταξύ δύο εργασιών.
- Η έξοδος είναι ένας χρονοπρογραμματισμός: ποιες-~~η~~ εργασίες καταλαμβάνουν ποια μέρη του κάθε πόρου κατά τη διάρκεια κάθε χρονοσχισμής.
- Κάποια κριτήρια για να κρίνουμε πόσο καλός είναι ένας χρονοπρογραμματισμός είναι, π.χ., η κατανομή των χρόνων απόκρισης (ο χρόνος που χρειάζεται για να ξεκινήσει μία εργασία που εξυπηρετούν), η κατανομή του χρόνου ολοκλήρωσης μίας εργασίας, η αποτελεσματικότητα της χρήσης όλων των πόρων, και η κατανομή των πόρων. Μερικές από αυτές τις μετρικές θα μελετηθούν στις ασκήσεις του Κεφαλαίου 20.

Ο χρονοπρογραμματισμός έχει ερευνηθεί εκτενώς στη θεωρία αναμονής, στο δυναμικό προγραμματισμό, στην αλγοριθμική θεωρία, στη θεωρία γράφων, κτλ. Υπάρχουν πάρα πολλές παραλλαγές σε αυτή την σύντομη περίληψη. Ορισμένες κύ-

ριες πολιτικές χρονοπρογραμματισμού περιλαμβάνονται στα ακόλουθα, με αυτονόητα ονόματα. Θα δούμε μερικές από αυτές στο Κεφάλαιο 17.

- Πρώτο έρχεται πρώτο εξυπηρετείται (First Come, First Served): κάθε φορά που υπάρχει ένας διαθέσιμος πόρος, η πρώτη δουλειά που φτάνει τον καταλαμβάνει.
- Η μικρότερη εργασία εξυπηρετείται πρώτη (Smallest Job First): Όταν υπάρχουν πολλές εργασίες που περιμένουν να χρονοπρογραμματιστούν, οι μικρότερες εργασίες εξυπηρετούνται πρώτες. Αυτό βοηθά στη μείωση των χρόνων απόκρισης, αν εμείς απλά μετρήσουμε τον αριθμό των θέσεων εργασίας, χωρίς να τις σταθμίσουμε με βάση το μέγεθος.
- Η πρώτη να ολοκληρωθεί εργασία (First to Finish/Finish Job): Αυτό βοηθά να μειώσει τους χρόνους ολοκλήρωσης αν μετράμε τον αριθμό των ολοκληρωμένων εργασιών.
- Η μεγαλύτερη-μεγαλύτερη ουρά εξυπηρετείται πρώτη (Longest Queue First/First): Ομαδοποιούμε τις εργασίες με βάση τον τύπο του πόρου που ζητούν, και κάθε ομάδα έχει μία ουρά που κρατάει τις εργασίες που περιμένουν να χρονοπρογραμματιστούν. Αυτή η πολιτική βοηθά στην αποφυγή της δημιουργίας μεγάλων ουρών καθώς φτάνουν στις ουρές περισσότερες εργασίες φτάνουν στις ουρές.

Μορφοποίηση: Γραμματοσειρά: Πλάγια

Μορφοποίηση: Γραμματοσειρά: Πλάγια

Μορφοποίηση: Γραμματοσειρά: Πλάγια

Μορφοποίηση: Γραμματοσειρά: Πλάγια

Συνδυασμένη βελτιστοποίηση: Η τοπολογία, οι VM, η τοποθέτηση, η διασύνδεση και ο χρονοπρογραμματισμός εργασιών είναι τέσσερις από τους βαθμούς ελευθερίας πάνω-κατά στη διαχείριση της κυκλοφορίας μέσα σε ένα κέντρο δεδομένων. Η βελτιστοποίηση σε κάθε ένα από αυτά ξεχωριστά μπορεί να είναι αρκετά αναποτελεσματική:

Μορφοποίηση: Ελληνικά

- Η κακώς σχεδιασμένη τοπολογία του δικτύου περιορίζει το εύρος ζώνης και την ποικιλομορφία της διαδρομής μεταξύ των επικοινωνούντων κόμβων.
- Υπο-βέλτιστες τοποθετήσεις των VM εισάγουν περιττή κυκλοφορία.
- Η αγνόηση της δρομολόγησης, ακόμη και σε καλά σχεδιασμένες τοπολογίες, μπορεί να οδηγήσει σε υπο-αξιοποίηση των πόρων του δικτύου.
- Ο αναποτελεσματικός χρονο-προγραμματισμός μπορεί να περιορίσει τις διαδρομές που διατίθενται μεταξύ των εξυπηρετητών, το οποίο με τη σειρά του μειώνει την αποτελεσματικότητα της δρομολόγησης.

Έχοντας ένα συνδυασμένο έλεγχο όλων των «κουμπιών» παρέχει μία ευκαιρία για την πλήρη εκμετάλλευση των πόρων των κέντρων δεδομένων. Για παράδειγμα, οι φορείς εκμετάλλευσης έχουν τον έλεγχο τόσο στο πού να τοποθετήσουν ~~σε~~ τις VM, τα οποία ανταποκρίνονται στη ζήτηση των πόρων, όσο και στο πώς να δρομολογήσουν την κυκλοφορία μεταξύ των VM.

Σύνοψη

Πλαίσιο 16 Το νέφος αναβαθμίζεται κλιμακωτά

Οι υπηρεσίες υπολογιστικού νέφους παρέχουν [στους χρήστες τους](#) το πλεονέκτημα της συγκέντρωσης των πόρων [στους χρήστες τους](#) και [στους παρόχους](#) το πλεονέκτημα της οικονομίας κλίμακας [στους παρόχους](#). Ένα μεγάλο δίκτυο μπορεί να κτιστεί με μικρούς μεταγωγείς χρησιμοποιώντας δίκτυα μεταγωγής πολλαπλών σταδίων. Η συνδεσιμότητα γίνεται ένας πόρος, όπως η χωρητικότητα. Ένα δίκτυο Clos είναι ένα τυπικό παράδειγμα το οποίο απεικονίζει πώς αυτά τα υποδείγματα συνδεσιμότητας μπορούν να άρουν τους περιορισμούς και να πετύχουν μεγάλη αποδοτικότητα στη χρήση των πόρων.

Περαιτέρω Μελέτη

Το θέμα της οικοδόμησης μεγάλων δικτύων από μικρούς μεταγωγείς είναι τόσο παλιό όσο και νέο. Οι ρίζες του πηγάζουν πίσω στο σχεδιασμό του τηλεφωνικού δικτύου και η σύγχρονη κύρια εφαρμογή του [ηφες](#) θεωρείται ένα από τα πιο «θερμά» στη δικτυακή βιομηχανία σήμερα.

1. Η κλασική εργασία του Clos του 1953 στην οποία οφείλεται το ξεκίνημα του σχεδιασμού των δικτύων μεταγωγής:

[↕ C](#)
Clos, “A study of non-blocking switching networks” Bell System Technical Journal, vol. 32, no. 2, pp. 406-424, 1953.
2. Το παρακάτω είναι ένα πρότυπο εγχειρίδιο μεταπτυχιακού επιπέδου για τα δίκτυα:

W. J. Dally and B. P. Towles, Principles and Practices of Interconnection Networks, Morgan Kaufmann, 2004.
3. Το παρακάτω βιβλίο παρέχει μία προσγειωμένη εισαγωγή σε βασικά στοιχεία του υπολογισμού νέφους, με λεπτομέρειες σχετικά με την πρακτική πλευρά:

B. Sosinsky, Cloud Computing Bible, Wiley, 2011.
4. Το παρακάτω είναι μία εύκολα προσβάσιμη, γενική επισκόπηση των ερευνητικών προβλημάτων του υπολογιστικού νέφους:

A. Greenberg, J. Hamilton, D. A. Maltz, and P. Patel, “The cost of a cloud: Research problems in data center networks,” ACM Sigcomm Computer Communication Review, vol. 39, no. 1, pp. 68-73, 2009.

Μορφοποιήθηκε: Εσοχή: Αριστερά: 0.25", Χωρίς κουκκίδες ή αρίθμηση

Μορφοποίησης: Αγγλικά (Ηνωμένων Πολιτειών)

5. Το παρακάτω είναι ένα ολοκληρωμένο βιβλίο για τη μαθηματική θεμελίωση του καταναμημένου υπολογισμού:
D. P. Bertsekas and J. N. Tsitsiklis, Parallel and Distributed Computation: Numerical Methods, Athena Scientific, 1997.

Ασκήσεις

16.1 Πάμε στο ~~σύννεφο~~-νέφος ή όχι; ***

Το ερευνητικό κέντρο βιολογίας της Bumpershoot Corporation παράγει 600 GB νέα στοιχεία σε κάθε εργαστηριακό πείραμα. Ας υποθέσουμε ότι τα δεδομένα που παράγονται μπορεί να παραλληλιζούνται εύκολα με μία αμελητέα επιβάρυνση.

(α) Έστω ότι η Amazon Web Services (AWS) ~~πωλεί~~-πωλεί ώρες CPU στην τιμή των \$ 0.10/hr ανά Elastic Compute Cloud (EC2), όπου το καθένα διαρκεί 2 ώρες για να επεξεργαστεί 1 GB των πειραματικών δεδομένων. Το τέλος μεταφοράς δεδομένων είναι \$0.15/GB. Ποια είναι η τιμή που θα πρέπει να πληρώσετε για την επεξεργασία χρησιμοποιώντας την υπηρεσία EC2;

(β) Ας υποθέσουμε ότι ο ρυθμός μεταφοράς δεδομένων από το ερευνητικό κέντρο προς την AWS είναι 20 Mbps. Ποιος είναι ο συνολικός χρόνος που απαιτείται για τη μετάδοση και την επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων που χρησιμοποιούν την υπηρεσία EC2;

(γ) Η Bumpershoot Corporation διαθέτει 24 υπολογιστές από μόνη της, η κάθε μία από τις οποίες απαιτεί 2 ώρες για να επεξεργαστεί ένα GB δεδομένων. Ας υποθέσουμε ότι το τέλος συντήρησης (συμπεριλαμβανομένης της ηλεκτρικής ενέργειας του λογισμικού, του υλικού, κτλ.) είναι \$15 ανά υπολογιστή ανά πείραμα. Ποιο είναι το συνολικό ποσό του χρόνου και του κόστους που απαιτείται για την επεξεργασία του πειράματος; Στην Bumpershoot Corporation είναι πρόθυμοι να χρησιμοποιήσουν την υπηρεσία EC2;

(δ) Είδαμε στα ερωτήματα (β) και (γ) ότι ο χρόνος μετάδοσης είναι ένα πρόβλημα στην υπολογιστική νέφος. Μπορείτε να σκεφτείτε έναν τρόπο για να ξεπεραστεί αυτό το εμπόδιο έτσι ώστε η Bumpershoot να μπορεί ακόμα να επεξεργαστεί το πείραμα χρησιμοποιώντας την υπηρεσία EC2 μέσα σε μία ημέρα;

16.2 Ιδανική ρυθμαπόδοση **

Θεωρήστε ένα δίκτυο διασύνδεσης σε ένα τσιπ μικροεπεξεργαστή, που αναπαρίσταται από ένα κατευθυνόμενο γράφο $G = (V, E)$, όπου $V = \{\mu_i : i = 1, \dots, |V|\}$ το σύνολο των κόμβων που αναπαριστούν τα τερματικά και τους δρομολογητές στο τσιπ, και $E = \{e_c :$

Μορφοποίηση: Γραμματοσειρά: Πλάγια

Μορφοποίηση: Γραμματοσειρά: Πλάγια

Μορφοποίηση: Γραμματοσειρά: Πλάγια

Μορφοποίηση: Γραμματοσειρά: Πλάγια

Μορφοποίηση: Γραμματοσειρά: Πλάγια

Μορφοποίηση: Γραμματοσειρά: Πλάγια

Μορφοποίηση: Γραμματοσειρά: Πλάγια

Μορφοποίηση: Γραμματοσειρά: Πλάγια

Μορφοποίηση: Γραμματοσειρά: Πλάγια

16.3 Βελτιστοποίηση Συσκευασίας **

Οι κόμβοι και οι ζεύξεις (κανάλια) μίας δικτύων διασύνδεσης πάνω στο chip κατασκευάζονται σε αρθρώματα συσκευασιών (packaging modules). Η τοπολογία του δικτύου μαζί με την τεχνολογία συσκευασίας καθορίζουν τους περιορισμούς στο εύρος ζώνης του καναλιού. Σε αυτή την ερώτηση στοχεύουμε να υπολογίσουμε ένα άνω όριο στο μικρότερο πλάτος-εύρος του καναλιού, W_{min} .

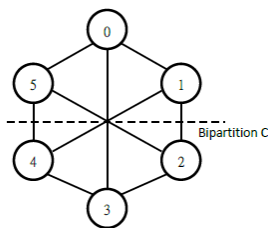
Θεωρήστε ένα δίκτυο όπου τα κανάλια αποτελούνται από καλώδια μονής κατεύθυνσης, το καθένα από τα οποία έχει εύρος ζώνης f μονάδες. Για ένα αυθαίρετο κόμβο v_n , υποθέστε ότι έχει διαθέσιμες W_n ακίδες (pins), μαζί με δ_n^+ εξερχόμενα κανάλια και δ_n^- εισερχόμενα κανάλια. Αφού όλα τα κανάλια $\delta_n = \delta_n^+ + \delta_n^-$ συνδέονται στον κόμβο v_n είναι ανάγκη να διαμοιράζονται τις W_n ακίδες, έχουμε

$$w_{min} \leq f \frac{W_n}{\delta_n}$$

Επί πλέον, εξετάστε μία αυθαίρετη διχοτόμηση C του δικτύου, όπου υπάρχουν B_C κανάλια μεταξύ δύο συνόλων από κόμβους. Σε μία συγκεκριμένη τεχνολογία συσκευασίας, λόγω του περιορισμένου χώρου μεταξύ των δύο συνόλων από κόμβους, ο αριθμός των καλωδίων ενδιάμεσα οριοθετείται από κάποιον αριθμό W_C επίσης. Έτσι, έχουμε το ακόλουθο άνω όριο:

$$W_{min} \leq f \frac{W_C}{B_C}$$

Τώρα θεωρήστε ένα γράφο Cayley, μαζί με μία διχοτόμηση, όπως φαίνεται στο Σχήμα 16.12. Θεωρήστε ότι κάθε καλώδιο έχει εύρος ζώνης $f = 1Gb$, κάθε κόμβος έχει $W_n = 140$ ακίδες, και μπορεί να υπάρχουν το πολύ $W_C = 200$ καλώδια ανάμεσα στους διαμερισμούς του C . Δώστε ένα ανώτατο όριο επειδή το ελάχιστο εύρος ζώνης W_{min} του καναλιού αυτού του δικτύου.



Σχήμα 16.12 Διχοτόμηση του γραφήματος Cayley με 6 κόμβους. Κάθε ζεύξη αντιπροσωπεύει δύο κανάλια μονής κατεύθυνσης που πηγαίνουν σε αντίθετες κατευθύνσεις.

Μορφοποίηση: Γραμματοσειρά: Πλάγια

16.4 Εναλλακτικές λύσεις για τα δίκτυα Clos ***

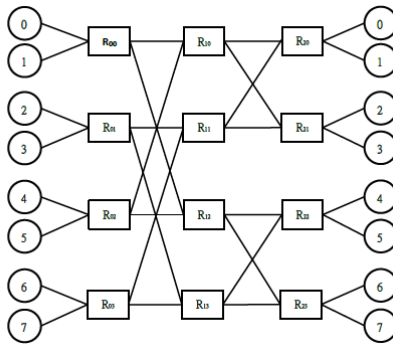
(α) Λαμβάνοντας υπ' όψιν το δίκτυο ~~της πεταλούδας~~ Πεταλούδας που φαίνεται στο Σχήμα 16.13, όπου κάθε κανάλι έχει μία μονάδα εύρους ζώνης, και τα πακέτα στέλνονται από τις πύλες εισόδου (συμβολίζονται ~~από τους~~ από τους κύκλους στα αριστερά) στις πύλες εξόδου (συμβολίζονται ~~από τους~~ από τους κύκλους στα δεξιά).

Η μία-Ποια είναι η ιδανική ρυθμαπόδοση υποθέτοντας τη χρήση του τυχαίου μοτίβου κυκλοφορίας, δηλαδή κάθε θύρα εισόδου s στέλνει $\frac{1}{8}$ της μονάδας κίνησης σε κάθε θύρα εξόδου d , και μοναδιαία ρυθμαπόδοση κάθε θύρας;

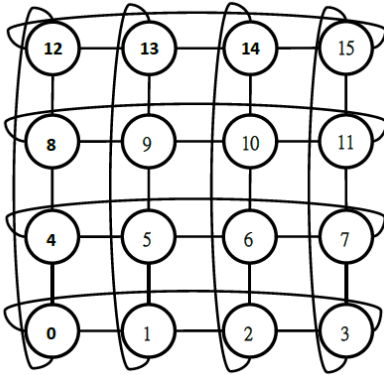
Ποια είναι η ιδανική ρυθμαπόδοση υποθέτοντας τη Ψ χρήση του μοτίβου κίνησης περιστροφή-μετάθεση του bit; Αυτό σημαίνει ότι η θύρα εισόδου με διεύθυνση (σε δυαδική) $a_2 a_1 a_0$ στέλνει πακέτα στη θύρα εξόδου με διεύθυνση $a_1 a_0 a_2$. Για παράδειγμα η θύρα εισόδου $5 = (101)_2$ στέλνει πακέτα μόνο στη θύρα εξόδου $3 = (011)_2$.

Μορφοποίησης: Γραμματοσειρά: Πλάγια

Μορφοποίησης: Γραμματοσειρά: Πλάγια

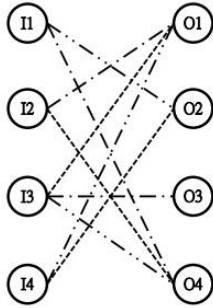


Σχήμα 16.13: Ένα παράδειγμα της δικτύωσης Πεταλούδας



Σχήμα 16.14 Ένα παράδειγμα δικτύωσης κύβου.

(β) Επαναλάβετε το ερώτημα (α) για το δίκτυο κύβου που φαίνεται στο Σχήμα 16.14, όπου κάθε κανάλι έχει μία μονάδα εύρους ζώνης και κάθε κόμβος είναι τόσο θύρα εισόδου όσο και θύρα εξόδου.



Σχήμα 16.14 Θεωρήστε το δίκτυο Clos μεγέθους (3,3,4) που είδαμε. Σε αυτό τον γράφο οι κόμβοι αριστερά και δεξιά παριστάνουν μεταγωγείς εισόδου/εξόδου και οι

σύνδεσμοι με τρεις διαφορετικούς τύπους διακεκομμένης γραμμής παριστάνουν τον ρόλο των μεσαίων μεταγωγέων.

16.5 Μη απορρίπτον Δίκτυο-δίκτυο Clos μη απορρίπτον με αναδιάταξη ***

Έχουμε δει πόσο μεγάλο πρέπει να είναι το m για να είναι ένα δίκτυο Clos μη απορρίπτον. Αποδεικνύεται ότι το m μπορεί να είναι σημαντικά μικρότερο εάν απαιτήσουμε την πιο αδύναμη συνθήκη της μη απόρριψης με αναδιάταξη.

(α) Σχεδιάστε έναν αλγόριθμο για τη δρομολόγηση της κίνησης σε ένα δίκτυο Clos μεγέθους (m, n, r) , με $m \geq n$.

(β) Θεωρήστε ένα δίκτυο Clos (3,3,4) μαζί με την κυκλοφορία του ~~ως~~ όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 16.15. Στο Σχήμα 16.15 κάθε κόμβος αντιπροσωπεύει ένα μεταγωγέα εισόδου/εξόδου, καθώς και οι ζεύξεις με 3 διαφορετικά διακεκομμένα στυλ αντιπροσωπεύουν τους μεσαίους μεταγωγείς που έχουν ανατεθεί: οι σύνοδοι (I2, O4), (I3, Σ1) και (I4, O2) δρομολογούνται μέσω του μεσαίου μεταγωγέα 1, οι σύνοδοι (I1, O4), (I2, Σ1) και (I3, O3) δρομολογούνται μέσω του μεσαίου μεταγωγέα 2 και οι σύνοδοι (I1, O2), (I3, O4) και (I4, O1) δρομολογούνται μέσω του μεσαίου μεταγωγέα 3.

Τώρα, δρομολογήστε μία νέα κλήση (I4, O3) με βάση τον αλγόριθμό σας ~~στο~~ (α).

Μορφοποίηση: Γραμματοσειρά: Πλάγια

Μορφοποίηση: Γραμματοσειρά: Πλάγια

Μορφοποίηση: Γραμματοσειρά: Πλάγια

Μορφοποίηση: Γραμματοσειρά: Πλάγια