



Κεφάλαιο 16: Τι γίνεται μέσα στο νέφος του iCloud;

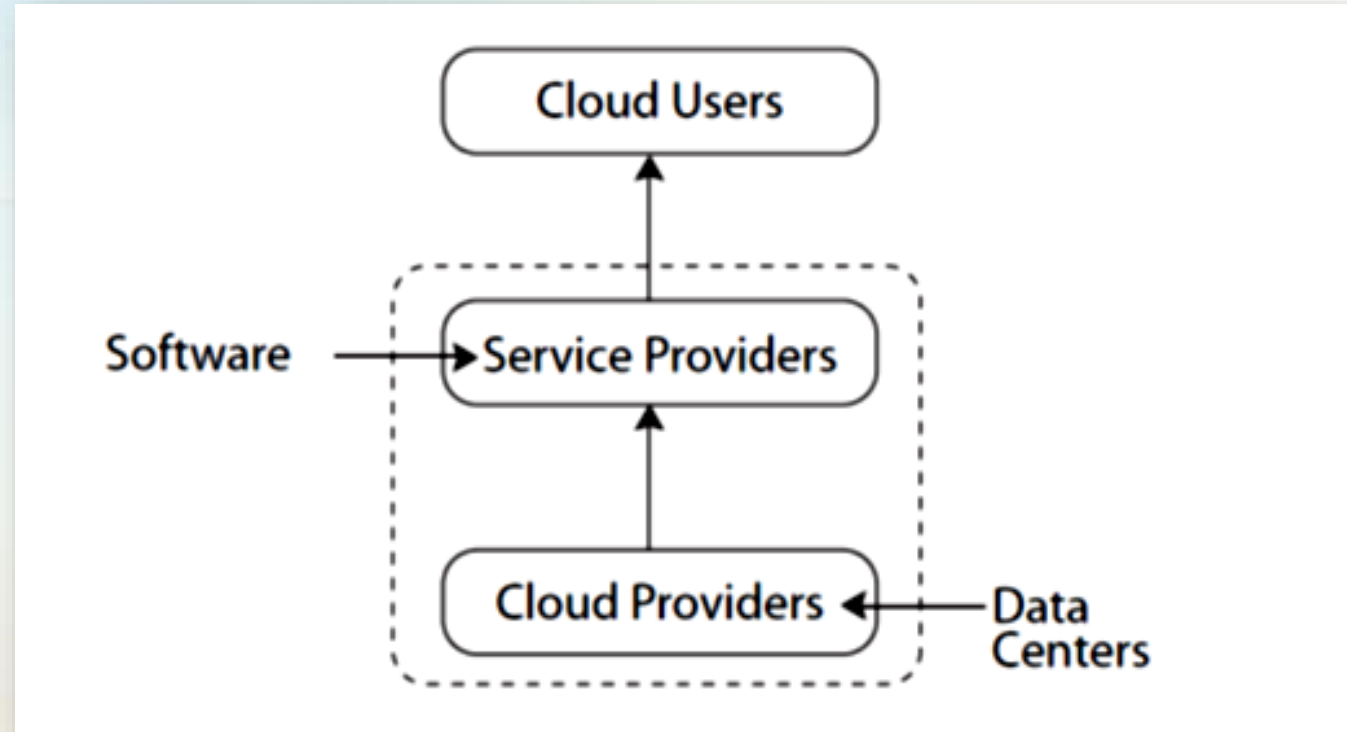
Καθηγητής Χρήστος Δουληγέρης
E-mail: cdoulig@unipi.gr
Γραφείο: 302



Μια σύντομη απάντηση

Εισαγωγή

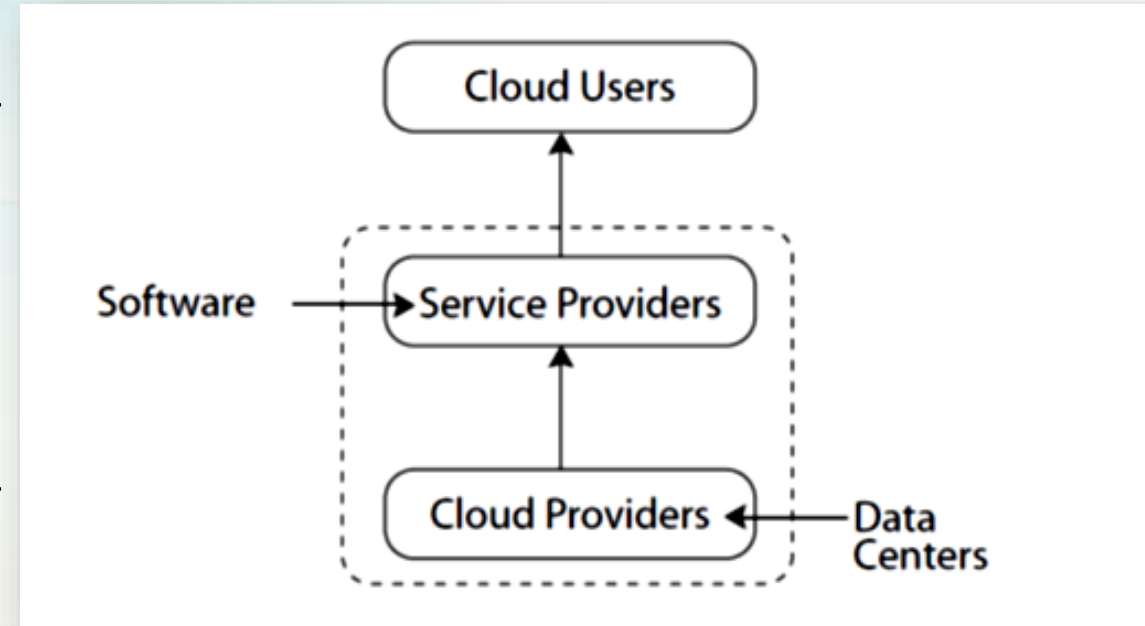
- Για πολλά χρόνια, ο στόχος της πληροφορικής και της δικτύωσης ήταν ότι οι χρήστες κάποια μέρα θα μπορούσαν να ενοικιάσουν εύκολα πόρους του Διαδικτύου (το “νέφος” σε μία συνηθισμένη απεικόνιση του δικτύου), με τρόπο που να είναι οικονομικότερος για όλα τα εμπλεκόμενα μέρη.
- Πολλά χαρακτηριστικά των υπηρεσιών νέφους δεν είναι καινούρια, κάποια στην πραγματικότητα είναι παλαιότερων δεκαετιών.
- Αρκετοί σχετικοί όροι έχουν χρησιμοποιηθεί στα μέσα μαζικής ενημέρωσης κάπως συγκεχυμένα όπως: **υπολογιστική νέφους**, **υπολογιστική κοινής ωφελείας** (utility computing), **υπολογιστική συστάδων** (clustered computing), το **λογισμικό σαν υπηρεσία** κτλ.



Εισαγωγή (συνέχεια)

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.
- Οι **χρήστες του νέφους** είναι καταναλωτές και επιχειρήσεις που χρησιμοποιούν υπηρεσίες που τρέχουν στα κέντρα δεδομένων.



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 (συχνά με μία ασύρματη σύνδεση, όπως με WiFi ή 4G).
- 3. Λογισμικά** που παρέχουν γραφικό περιβάλλον διεπαφής, διαχείριση ψηφιακών δικαιωμάτων, ασφάλεια και προστασία της ιδιωτικής ζωής, τιμολόγηση και χρέωση, κτλ.

Ποια μοναδικά χαρακτηριστικά ορίζουν τις υπηρεσίες νέφους; (συνέχεια)

Ερώτηση: Αν έχω δώσει την CPU και το σκληρό δίσκο του προσωπικού υπολογιστή μου προς ενοικίαση, αυτό αποτελεί μία υπηρεσία νέφους;

Απάντηση: 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 νέφους επιτρέπει στους χρήστες της να ξεκινήσουν με ένα πολύ μικρό ελάχιστο επίπεδο αιτουμένων πόρων και να πάει πραγματικά σε μεγάλη κλίμακα.

Γιατί οι άνθρωποι διστάζουν με τις υπηρεσίες νέφους;

- 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 υλικό-λογισμικό (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 έναν από τους παρόχους.

Γιατί οι άνθρωποι προτιμούν τις υπηρεσίες νέφους;

Ερώτηση: 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:

- 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.

Γιατί οι άνθρωποι προτιμούν τις υπηρεσίες νέφους; (συνέχεια)

Ερώτηση: Αλλά γιατί οι πάροχοι νέφους να ενδιαφέρονται;

Απάντηση: Ο κύριος λόγος είναι τα πλεονεκτήματα της οικονομίας κλίμακας τόσο για την προσφορά όσο και για τη ζήτηση της επιχείρησης.

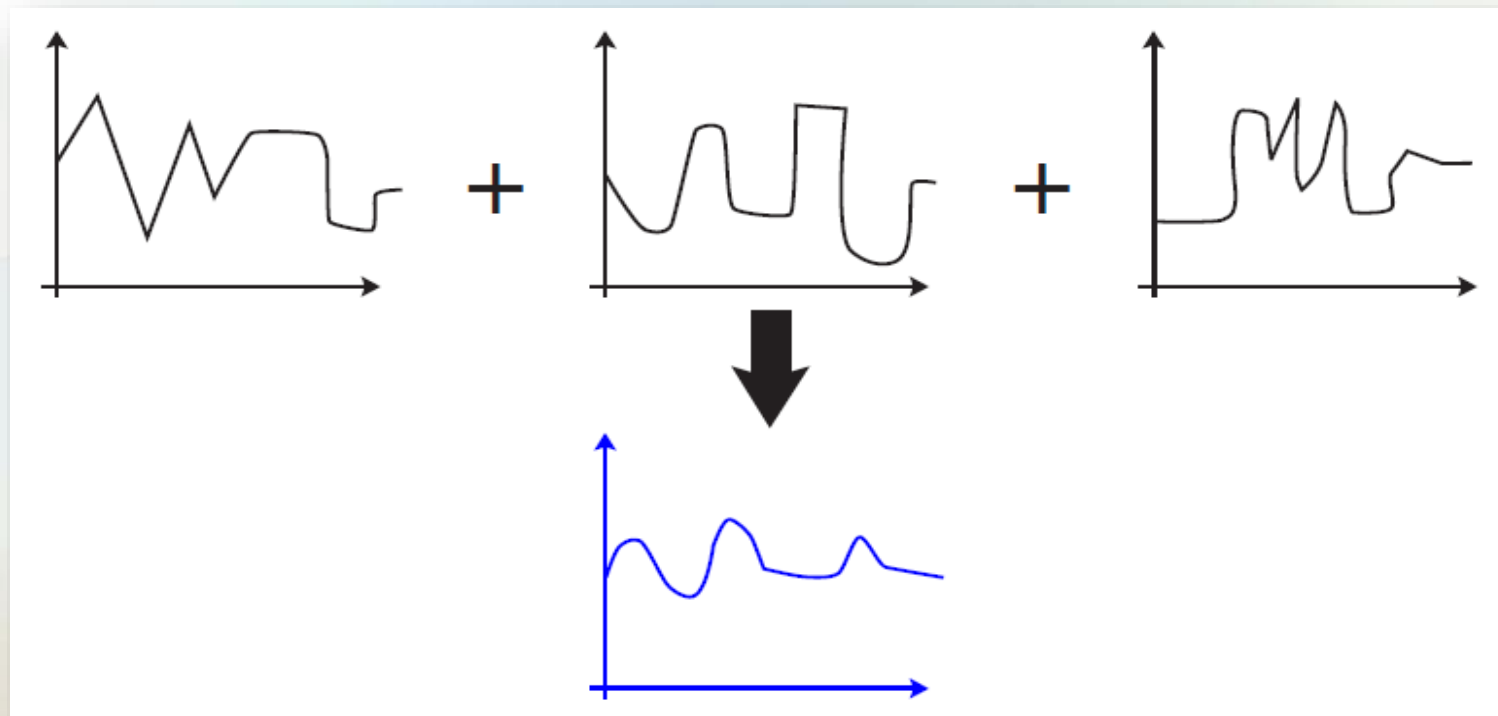
Από την πλευρά της προσφοράς:

- Ένας πάροχος νέφους μπορεί να προμηθεύσει εξυπηρετητές, 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 πλεονέκτημα 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. 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

Γιατί οι άνθρωποι προτιμούν τις υπηρεσίες νέφους; (συνέχεια)

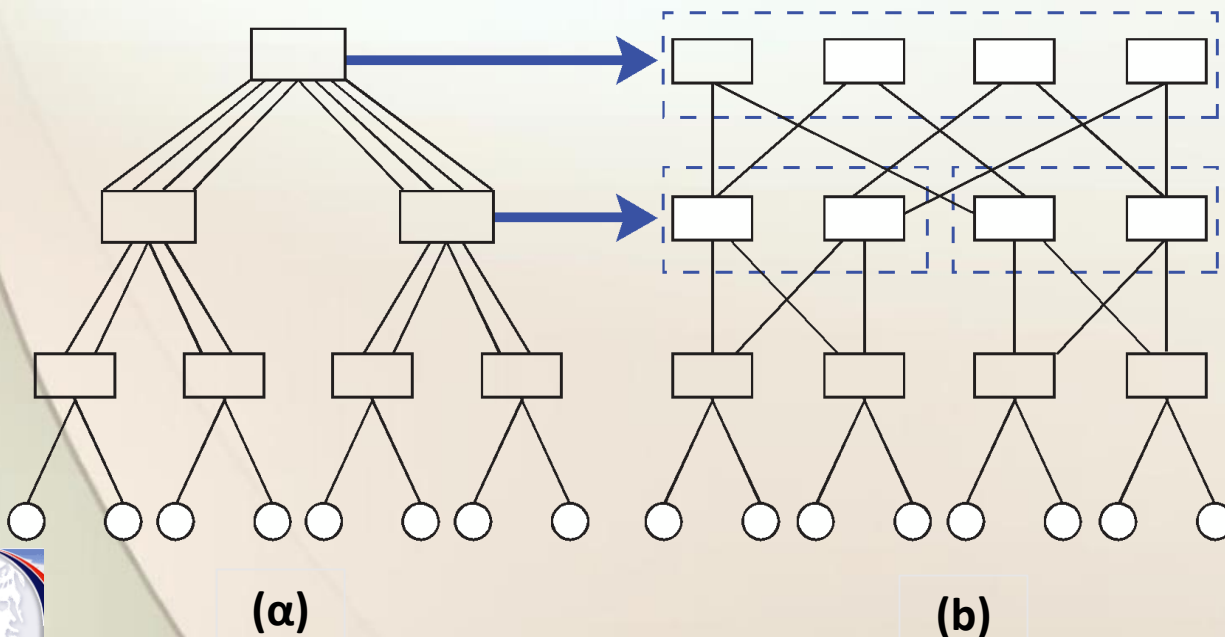


Η στατιστική πολυπλεξία εξομαλύνει την εκρηκτικότητα των μεμονωμένων χρηστών. Ας υποθέσουμε ότι υπάρχουν τρεις χρήστες με ρυθμούς μετάδοσης με την πάροδο του χρόνου σύμφωνα με τα σχήματα παραπάνω. Ο συνολικός ρυθμός μετάδοσής τους, ο οποίος φαίνεται στο κάτω διάγραμμα, είναι πολύ ομαλότερος. Πάροχοι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

Μια εκτενής απάντηση

Δημιουργώντας ένα μεγάλο δίκτυο χρησιμοποιώντας μικρούς μεταγωγείς

- Χρειαζόμαστε ένα δίκτυο μέσα σε ένα κέντρο δεδομένων.
- Μία λογική, αλλά κατώτερης ποιότητας λύση, είναι η δημιουργία ενός δένδρου, όπως στο παρακάτω σχήμα, όπου οι εξωτερικοί κόμβοι (κόμβοι χωρίς παιδιά) είναι οι εξυπηρετητές και οι υπόλοιποι κόμβοι είναι οι δρομολογητές.
- 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 εξυπηρετητές.



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
- (b) 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 .

Δημιουργώντας ένα μεγάλο δίκτυο χρησιμοποιώντας μικρούς μεταγωγείς (συνέχεια)

- 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.
- **Ερώτηση:** Τί θα συμβεί όμως αν οι εξωτερικοί κόμβοι (εξυπηρετητές) θέλουν να αξιοποιήσουν πλήρως το εύρος ζώνης τους (bandwidth) ώστε να επικοινωνήσουν με άλλους εξυπηρετητές ταυτόχρονα;

Απάντηση: Τότε έχουμε έναν παράγοντα συμφόρησης της τάξεως των 200 φορές.

- 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 δένδρο επικάλυψης.
- Χωρίς να έχει σημασία το πώς θα το κόψουμε, ένα δένδρο δεν είναι επεκτάσιμο.
- Πολλά δένδρα θα μπορούσε να ήταν μία καλύτερη λύση

Δημιουργώντας ένα μεγάλο δίκτυο χρησιμοποιώντας μικρούς μεταγωγείς (συνέχεια)

- **Ερώτηση:** Είναι ακόμα δυνατή η κατασκευή ενός μεγάλου δικτύου με μικρούς μεταγωγείς, όπως ακριβώς όταν κατασκευάζεται ένα αξιόπιστο δίκτυο από αναξιόπιστα συστατικά;
- **Απάντηση:** Ναι, αν είμαστε αρκετά έξυπνοι όσον αφορά την τοπολογία του δικτύου, και αν μεταβούμε από ένα δένδρο σε ένα **δίκτυο μεταγωγής πολλαπλών 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**.
 - Το βασικό μήνυμα εδώ είναι ότι **“η ίδια η συνδεσιμότητα είναι ένας πόρος που πρέπει να τον οικοδομήσουμε και πρέπει να τον οικοδομήσουμε προσεκτικά”**.

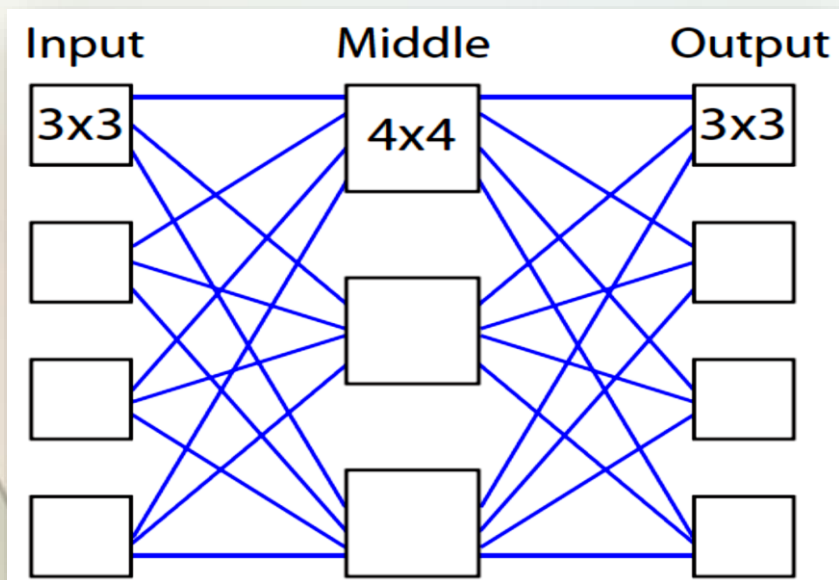
Δημιουργώντας ένα μεγάλο δίκτυο χρησιμοποιώντας μικρούς μεταγωγείς (συνέχεια)

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: η διαίρεση όλων των συνδέσεων σε δύο ισομέγεθθ μισά του δικτύου ονομάζεται διχοτόμηση περικοπής (bisection cut) και η χειρότερη περίπτωση της διαίρεσης σε δύο τμήματα οποιωνδήποτε δυνατών συνδυασμών μισών του δικτύου ονομάζεται διχοτόμηση εύρους ζώνης (bisection bandwidth).
- Μία τρίτη μετρική είναι ένα κλασικό κριτήριο που χρησιμοποιείται στη μεταγωγή κυκλώματος:
 - ένα δίκτυο ονομάζεται **μη απορρίπτον** (nonblocking) αν οποιοδήποτε ζεύγος (αχρησιμοποίητης) εισόδου και (αχρησιμοποίητης) εξόδου μπορεί να διασυνδεθεί κάθε φορά όταν φτάνει σύνοδος 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.

Δημιουργώντας ένα μεγάλο δίκτυο χρησιμοποιώντας μικρούς μεταγωγείς (συνέχεια)

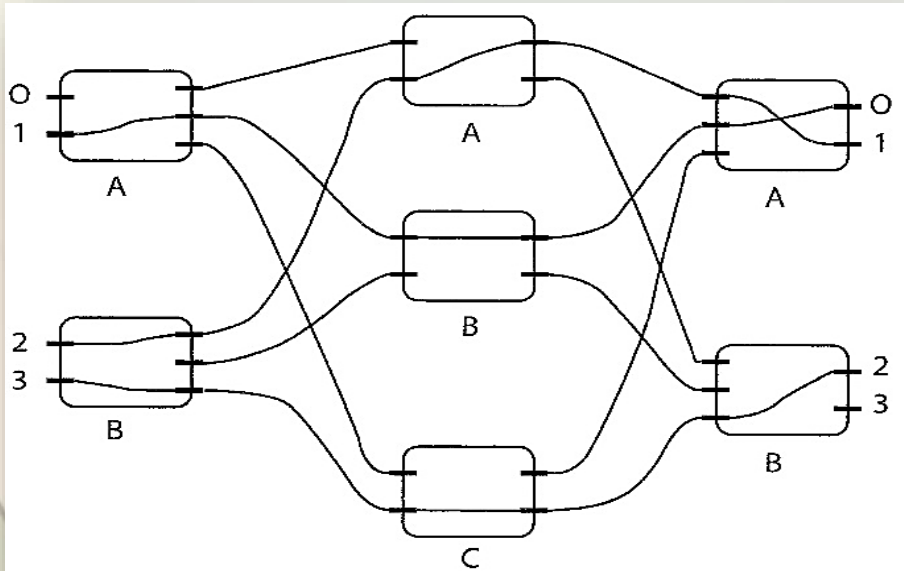
- Μία **τοπολογία δικτύου διασύνδεσης Clos** ορίζεται από τρεις ακεραίους: (n, m, r) . Κάθε μεταγωγέας εισόδου είναι $n \times m$ και υπάρχουν r μεταγωγείς εισόδου. Συμμετρικά κάθε μεταγωγέας εξόδου είναι $m \times n$ και υπάρχουν επίσης r μεταγωγείς εξόδου. Οι μεταγωγείς του μεσαίου σταδίου πρέπει να είναι $r \times r$ και υπάρχουν m από αυτούς.
- Καθένας από τους μεταγωγείς εισόδου και εξόδου είναι συνδεδεμένος με κάθε έναν από τους μεταγωγείς του μεσαίου σταδίου. Αυτή είναι μία πλούσια συνδεσιμότητα που χρησιμοποιεί μικρούς μεταγωγείς για να υποστηρίξει nr ζεύγη θυρών εισόδου και εξόδου.



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 3×3 και 4×4 . Υπάρχουν 4 από αυτούς τους μεταγωγείς μεγέθους 3×3 στο στάδιο εισόδου, 4 από αυτούς στο στάδιο εξόδου και 3 από τους μεταγωγείς μεγέθους 4×4 στο μεσαίο στάδιο.

Δημιουργώντας ένα μεγάλο δίκτυο χρησιμοποιώντας μικρούς μεταγωγείς (συνέχεια)

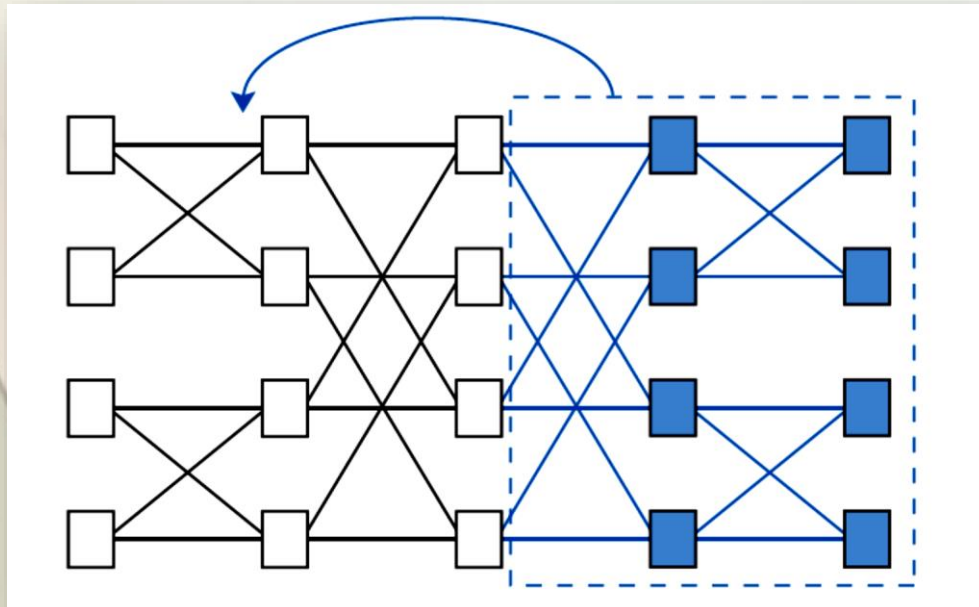
- Υποθέτοντας ότι ένας κεντρικός ελεγκτής επιλέγει τα μοτίβα μεταγωγής, μπορεί να αποδειχτεί εύκολα ότι αν το $m \geq 2n - 1$, τότε, ένα δίκτυο Clos είναι μη απορρίπτον.
- Υποθέστε ότι ένα νέο αίτημα μεταγωγής φθάνει σε μία συγκεκριμένη θύρα εισόδου ενός μεταγωγέα με είσοδο A και πρέπει να μεταβιβαστεί 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 απόρριψη.



Ένα παράδειγμα ($n = 2$, $m = 3$, και $r = 2$) 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 τη χειρότερη περίπτωση προτύπου κυκλοφορίας και καλωδίωσης.

Δημιουργώντας ένα μεγάλο δίκτυο χρησιμοποιώντας μικρούς μεταγωγείς (συνέχεια)

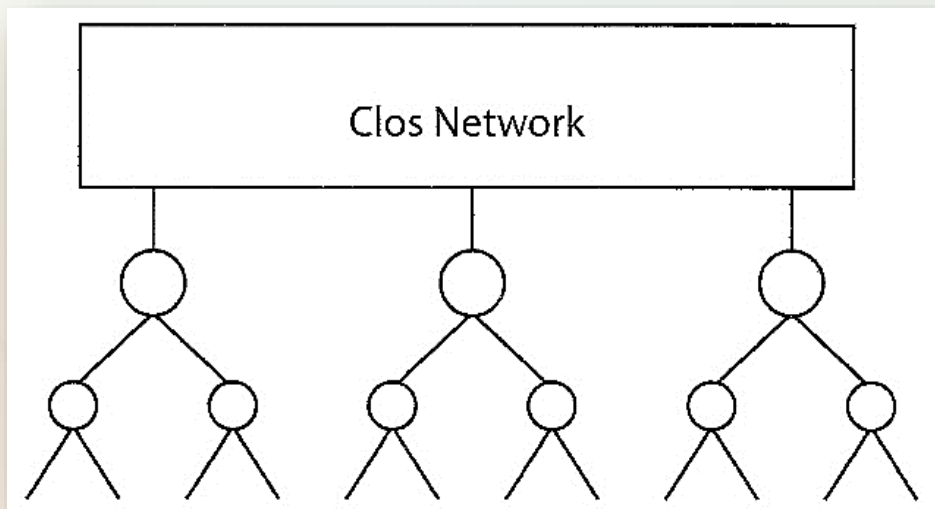
- Ένα δίκτυο Clos μπορεί να έχει το τμήμα εισόδου και το τμήμα εξόδου του διπλωμένα.
- Ένα διπλωμένο δίκτυο Clos ονομάζεται συχνά παχύ (fat) δένδρο. Δεν πρέπει να μπερδευτούμε με αυτήν την ορολογία, ένα χοντρό δένδρο κλιμακώνεται πέρα από τις δυνατότητες ενός απλού δένδρου.
- Μπορεί να επιτύχει τη μέγιστη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



Από το δίκτυο Clos σε ένα 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 παχύ δένδρο.

Δημιουργώντας ένα μεγάλο δίκτυο χρησιμοποιώντας μικρούς μεταγωγείς (συνέχεια)

- 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 παρακάτω σχήμα.
- Με δεδομένη μία τοπολογία χρειαζόμαστε ακόμα να τρέξει η δρομολόγηση, να γίνει ο έλεγχος συμφόρησης και να γίνει ο προγραμματισμός της κυκλοφορίας στο δίκτυο.



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.

Συγκρίνοντας τοπολογίες Δικτύου: Διαδίκτυο, κέντρα δεδομένων, και P2P

1. Η ραχοκοκαλιά του Διαδικτύου:

- Προσφέρετε μεγαλύτερη χωρητικότητα στις διασυνδέσεις και μετά προσεχτικά εξετάστε την πιθανότητα δρομολόγησης πολλαπλών διαδρομών (multipath routing).
- Από τη 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:

- Προσφέρεται μεγαλύτερη συνδεσιμότητα αυξάνοντας τον αριθμό των διαθέσιμων μονοπατιών και μετά τρέξετε έναν τεράστιο αριθμό πολλαπλών διαδρομών, είτε προσεκτικά είτε τυχαία.
- **Ερώτηση:** Γιατί να μην το κάνουμε αυτό για τη ραχοκοκαλιά του Διαδικτύου;

Απάντηση: Επειδή η υπερπροσφορά συνδεσιμότητας είναι πιο ακριβή από την υπερπροσφορά χωρητικότητας στην κλίμακα χωρητικοτήτων του Διαδικτύου, εκτός αν χρησιμοποιηθεί επικάλυψη, όπως στο P2P.

Συγκρίνοντας τοπολογίες Δικτύου: Διαδίκτυο, κέντρα δεδομένων, και P2P (συνέχεια)

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 τοπολογία με τη δυνατότητα επιλογής μεταξύ πολλών μονοπατιών, δημιουργούνται επίσης πολλά ταυτόχρονα δένδρα πολύ-εκπομπής, πιθανόν ένα ανά μία ομάδα από byte.

Συγκρίνοντας τοπολογίες Δικτύου: Διαδίκτυο, κέντρα δεδομένων, και P2P (συνέχεια)

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 τοπολογία 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, φτιάξτε 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.

Συγκρίνοντας τοπολογίες Δικτύου: Διαδίκτυο, κέντρα δεδομένων, και P2P (συνέχεια)

Ερώτηση: Γιατί υπάρχουν τέτοιες διαφορές μεταξύ των (1), (2) και (3);

Απάντηση (1/2): 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 δημιουργήσουμε 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 υπερ-προσφερθεί.
- Η συνδεσιμότητα του P2P μπορεί να διαχειριστεί δυναμικά μέσω σημάτων ελέγχου χωρίς να σκαφτούν χαντάκια.

Συγκρίνοντας τοπολογίες Δικτύου: Διαδίκτυο, κέντρα δεδομένων, και P2P (συνέχεια)

Ερώτηση: Γιατί υπάρχουν τέτοιες διαφορές μεταξύ των (1), (2) και (3);

Απάντηση (2/2): Επιπρόσθετα στο κόστος των δομών, η προβλεψιμότητα και η ευελιξία των απαιτήσεων της κίνησης αποτελεί μία άλλη ριζική αιτία γι' αυτές τις θεμελιωδώς διαφορετικές επιλογές στο σχεδιασμό δικτύων.

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

Παραδείγματα

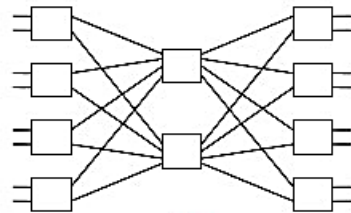
Επέκταση και αναδίπλωση ενός δικτύου Clos

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

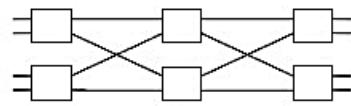
Όπως απεικονίζεται στο Σχήμα της επόμενης διαφάνειας, ακολουθούμε μία αλληλουχία η οποία αποτελείται από 5 βήματα.

- **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 δίκτυο 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 το 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.

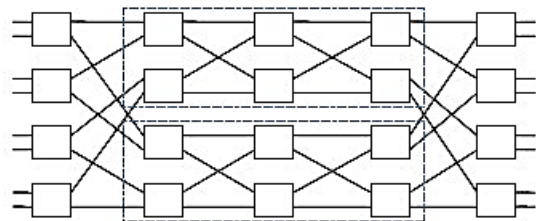
Επέκταση και αναδίπλωση ενός δικτύου Clos (συνέχεια)



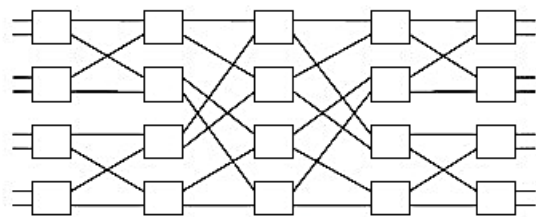
(1)



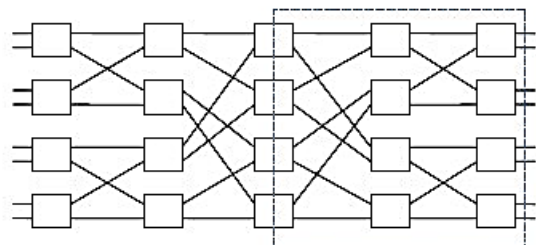
(2)



(3)



(4)



(5)

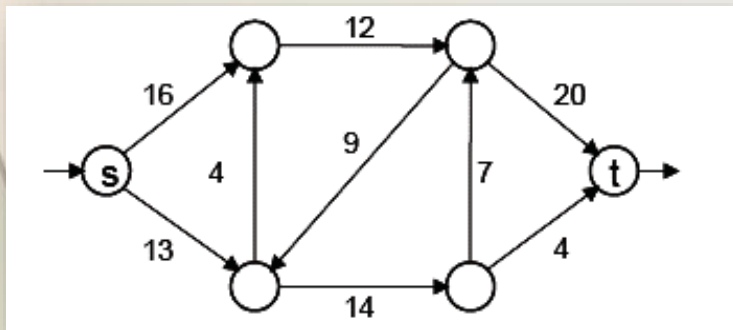
Μετατρέψτε ένα δίκτυο Clos (2,2,4) των τριων σταδίων σε ένα παχύ δένδρο των 3 -σταδίων μόνο με μεταγωγείς 2x2. Ο καθένας από τους μεταγωγείς του μεσαίου σταδίου στο αρχικό δίκτυο Clos αντικαθίσταται από ένα δίκτυο Clos (2,2,2) των τριων σταδίων. Ύστερα αναδιατάσσονται οι μεταγωγείς στα βήματα 2 και 4.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

Μέγιστη ροή, ελάχιστη περικοπή

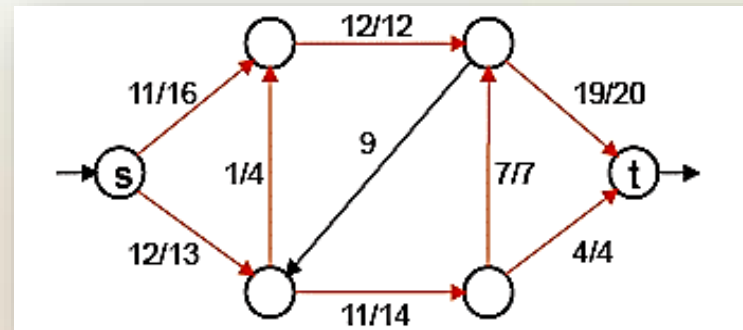
Το διχοτομημένο εύρος ζώνης είναι μία ειδική περίπτωση του προβλήματος της κοπής του μεγέθους ενός δικτύου. Υπάρχει ένα πολυδιαφημισμένο αποτέλεσμα το οποίο συνδέει τα μεγέθη των κοπών σε ένα γράφο με το μέγιστο ποσόν της ροής η οποία μπορεί να δρομολογηθεί μέσω του δικτύου.

Θεωρήστε έναν κατευθυνόμενο γράφο με τις χωρητικότητες των ακμών να απεικονίζονται στο Σχήμα (a). Θέλουμε να μάθουμε ποια είναι η μέγιστη ροή από την πηγή s μέχρι τον προορισμό t .

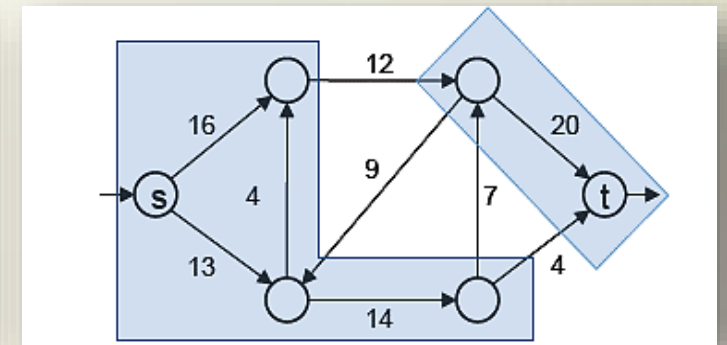
- Το Σχήμα (b) δίνει τη λύση υπολογίζοντας τη μέγιστη ροή χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο Ford-Fulkerson.
- Σε γενικές γραμμές, μία περικοπή (S, T) του δικτύου $G = (V, E)$ ορίζεται σε σχέση με ένα δεδομένο ζεύγος πηγής-προορισμού (s, t) .
- Πρόκειται για μία διαμερισμό του συνόλου V των κόμβων σε δύο 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 $t \in T$.



(a) Τοπολογία δικτύου και χωρητικότητα.



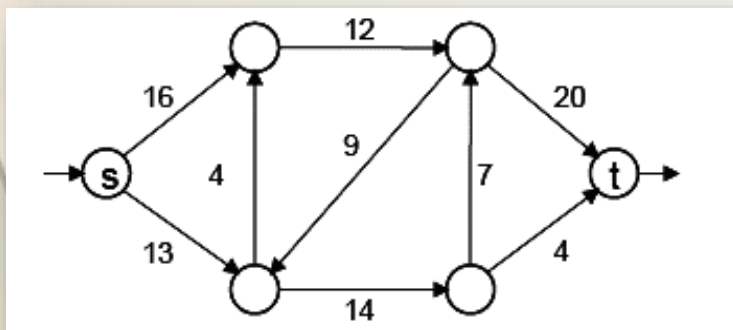
(b). Η μέγιστη ροή από s σε t είναι 23.



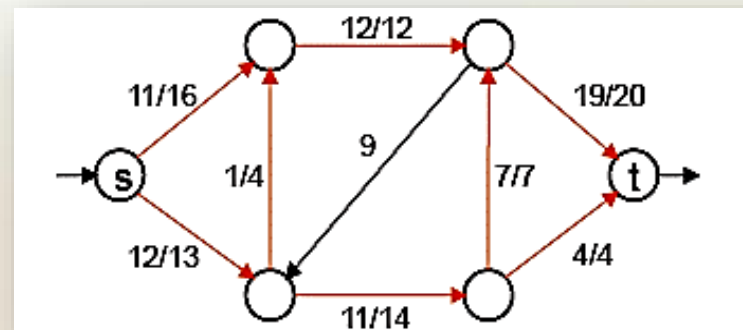
(c) Η ελάχιστη περικοπή $c(S, T)$, όπου $s \in S$ και $t \in T$, είναι $12 + 7 + 4 = 23$.

Μέγιστη ροή, ελάχιστη περικοπή (συνέχεια)

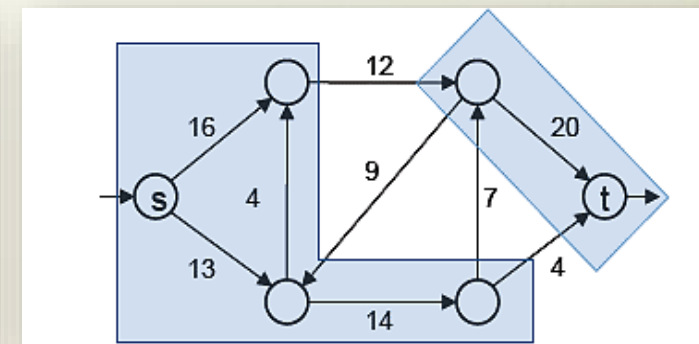
- Η χωρητικότητα της κοπής (S, T), ή το μέγεθος της κοπής του, να είναι το άθροισμα των χωρητικοτήτων των συνδέσεων από το S στο T .
- Μία ελάχιστη περικοπή ενός δικτύου είναι η περικοπή εκείνη της οποίας η χωρητικότητα είναι η ελάχιστη σε σχέση με όλες τις περικοπές του δικτύου. Το Σχήμα (c) δείχνει 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.



(a) Τοπολογία δικτύου και χωρητικότητα.



(b). Η μέγιστη ροή από s σε t είναι 23.



(c) Η ελάχιστη περικοπή $c(S, T)$, όπου $s \in S$ και $t \in T$, είναι $12 + 7 + 4 = 23$.

Σύνοψη

Πλαίσιο 16: Το νέφος αναβαθμίζεται κλιμακωτά

Οι υπηρεσίες υπολογιστικού νέφους παρέχουν στους χρήστες τους το πλεονέκτημα της συγκέντρωσης των πόρων και στους παρόχους το πλεονέκτημα της οικονομίας κλίμακας. 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.

Τέλος Κεφαλαίου 16 Ερωτήσεις;;;