

Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας  
Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής & Τηλεπικοινωνιών

---

# Εισαγωγή στις Τηλεπικοινωνίες

## Ενότητα 2: Δίκτυα Τηλεπικοινωνιών

Αν. καθηγήτρια Μαλαματή Λούτα

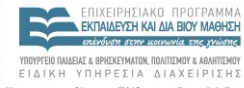
e-mail: [louta@uowm.gr](mailto:louta@uowm.gr)

Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

---



Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας



# Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



# Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ψηφιακά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



# Περιεχόμενα ενότητας 1/1

---

- **Συμφόρηση σε Δίκτυα Δεδομένων**
  - Επίδραση της Συμφόρησης.
  - Έλεγχος της Συμφόρησης.
  - Διαχείριση Κίνησης.



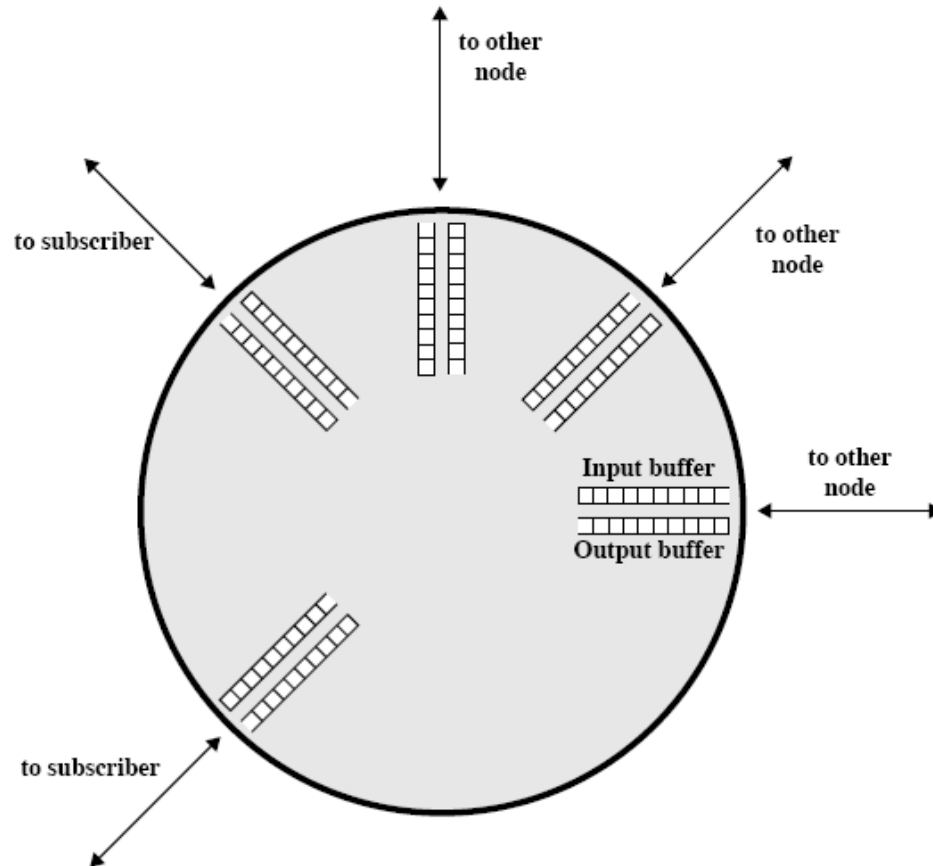
# Συμφόρηση σε Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων

## • Συμφόρηση

- Συμφόρηση εμφανίζεται όταν ο αριθμός των πακέτων που μεταδίδονται μέσω ενός δικτύου αγγίζει τον αριθμό των πακέτων που μπορεί να διαχειρισθεί το δίκτυο.
- Σκοπός του ελέγχου συμφόρησης είναι η διατήρηση του αριθμού των πακέτων μέσα στο δίκτυο κάτω από το επίπεδο στο οποίο η απόδοση του δικτύου μειώνεται δραματικά.
- Το φαινόμενο της συμφόρησης και του ελέγχου συμφόρησης είναι πολύπλοκο.
- Σε κάθε κόμβο δικτύου υπάρχει ένας αριθμός από θύρες που επιτρέπουν τη διασύνδεσή του με άλλους κόμβους δικτύου ή/και τερματικά συστήματα. Σε κάθε θύρα ενός κόμβου δικτύου υπάρχουν ουρές εισερχομένων πακέτων και ουρές εξερχομένων πακέτων (ενδιάμεσες μνήμες). Καθώς φτάνουν τα πακέτα αποθηκεύονται στην ενδιάμεση μνήμη εισόδου της αντίστοιχης θύρας. Ο κόμβος εξετάζει το εισερχόμενο πακέτο, παίρνει μία απόφαση δρομολόγησης και μετακινεί το πακέτο στην κατάλληλη ενδιάμεση μνήμη εξόδου. Αν ο ρυθμός με τον οποίο τα πακέτα φθάνουν και τοποθετούνται στις ουρές εισόδου των κόμβων ξεπερνά το ρυθμό με τον οποίο τα πακέτα μπορούν να μεταδοθούν (να επεξεργασθούν, να τοποθετηθούν στην ενδιάμεση μνήμη εξόδου και να μεταδοθούν), το μήκος των ουρών μεγαλώνει, καθώς και η καθυστέρηση που αντιμετωπίζουν τα πακέτα. Δεδομένου ότι οι ουρές των κόμβων έχουν πεπερασμένο μήκος, καθώς το μήκος τους αυξάνει, κάποια στιγμή θα υπερχειλίσουν με αποτέλεσμα την απώλεια των πακέτων στο δίκτυο.
  - Εμπειρικά, όταν η γραμμή για την οποία τοποθετούνται τα πακέτα σε ουρά έχει βαθμό χρήσης πάνω από 80%, το μήκος της ουράς αυξάνει σε επικίνδυνο βαθμό.



# Συμφόρηση σε Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων



**Ουρές Εισόδου και Εξόδου σε έναν Κόμβο Δικτύου**



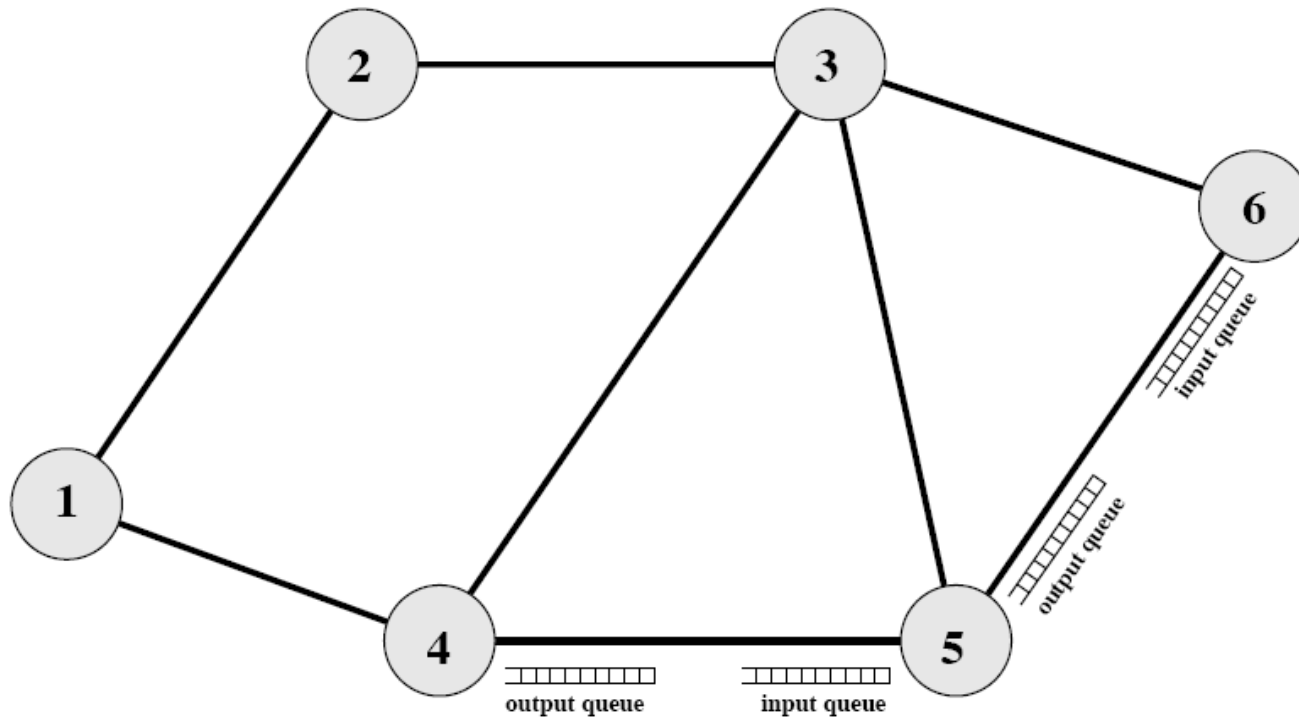
# Συμφόρηση σε Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων

## • Συμφόρηση

- Συμφόρηση μπορεί να προκληθεί από:
  - Ροές πακέτων που προέρχονται από διαφορετικές γραμμές εισόδου και χρειάζονται όλες την ίδια γραμμή εξόδου.
    - Αν η ενδιάμεση μνήμη είναι ανεπαρκής για την αποθήκευση όλων των πακέτων, τότε κάποια πακέτα θα χαθούν.
    - Η προσθήκη περισσότερης μνήμης δεν λύνει σε όλες τις περιπτώσεις το πρόβλημα, καθώς, αν οι δρομολογητές έχουν άπειρη ποσότητα μνήμης, μέχρι να έρθει η σειρά των πακέτων να εξυπηρετηθούν, οι χρόνοι ανάμονής των πακέτων θα έχουν ληξει και θα έχουν σταλεί αντίγραφα τους (ίσως και πολλαπλά), αυξάνοντας το φορτίο σε όλη τη διαδρομή μέχρι τον προορισμό.
  - Αργούς επεξεργαστές
    - Αν οι επεξεργαστές καθυστερούν στην εκτέλεση των απαιτούμενων διαχειριστικών ενεργειών, μπορεί να σχηματισθούν ουρές ακόμη και όταν υπάρχει περίσσεια χωρητικότητας στις γραμμές.
  - Γραμμές χαμηλού εύρους ζώνης
- Έλεγχος Συμφόρησης – Έλεγχος Ροής
  - Ο έλεγχος συμφόρησης σχετίζεται με τη διασφάλιση ότι το δίκτυο είναι σε θέση να μεταφέρει την προσφερόμενη κίνηση.
  - Ο έλεγχος ροής σχετίζεται με την κίνηση από σημείο σε σημείο ανάμεσα σε ένα συγκεκριμένο αποστολέα και σε ένα συγκεκριμένο παραλήπτη.



# Συμφόρηση σε Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων



## Δίκτυο Μεταγωγής Πακέτων & Ουρές Κόμβων





# Συμφόρηση σε Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων

## • Επίδραση της Συμφόρησης

### – Ιδανική περίπτωση:

- Άπειρη ενδιάμεση μνήμη στις ουρές των κόμβων του δικτύου.
- Επιβαρύνσεις που σχετίζονται με τη μετάδοση του πακέτου ή τον έλεγχο συμφόρησης θεωρούνται αμελητέες.

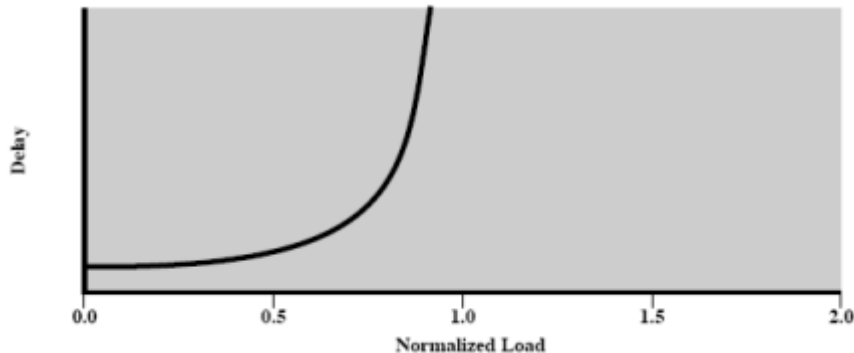
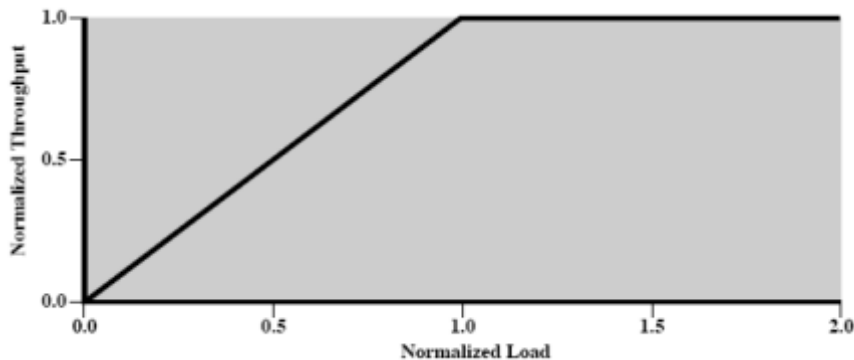
– Στην ιδανική περίπτωση, η διαμετακομιστική ικανότητα ενός δικτύου αυξάνει μέχρι ένα προσφερόμενο φορτίο που είναι ίσο με τη μέγιστη χωρητικότητα του δικτύου. Για υψηλότερα φορτία, η διαμετακομιστική ικανότητα του δικτύου παραμένει σταθερή (κανονικοποιημένη τιμή ίση με 1).

– Στην ιδανική περίπτωση, η καθυστέρηση που αντιμετωπίζει ένα πακέτο στο δίκτυο είναι αμελητέα για μικρά φορτία (καθυστέρηση διάδοσης στο δίκτυο από την πηγή στον προορισμό και καθυστέρηση επεξεργασίας σε κάθε κόμβο). Καθώς το φορτίο στο δίκτυο αυξάνεται, προστίθενται οι καθυστερήσεις στην ουρά του κάθε κόμβου με αποτέλεσμα να έχουμε αύξηση της συνολικής καθυστέρησης. Σε περίπτωση που το φορτίο ξεπεράσει τη χωρητικότητα του δικτύου, οι καθυστερήσεις αυξάνουν χωρίς όριο.



# Συμφόρηση σε Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων

## Ιδανικός Βαθμός Χρήσης ορτίου

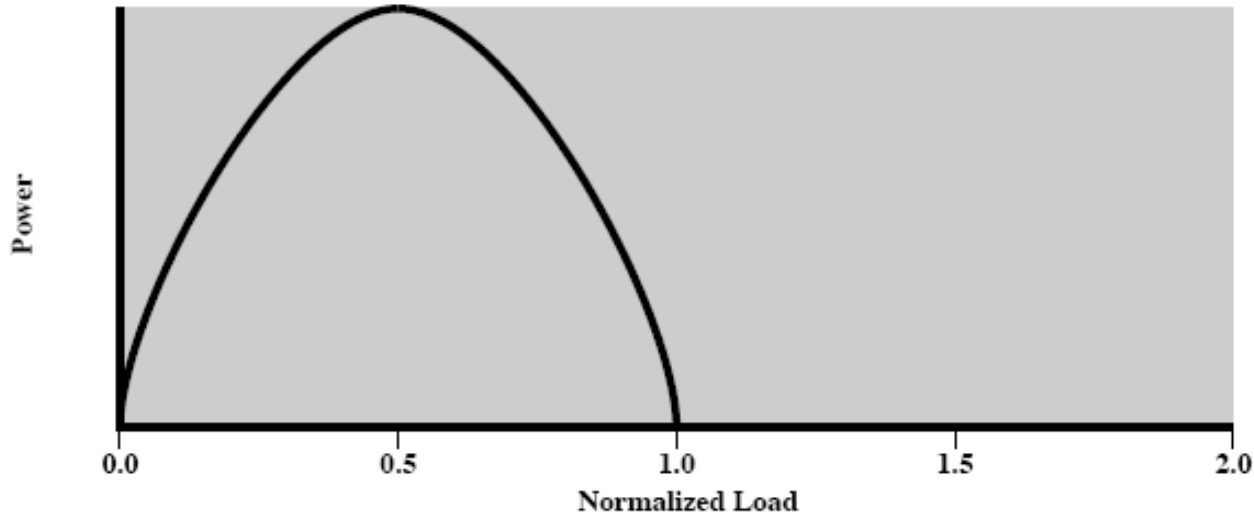


Αύξηση της Διαμετακομιστικής Ικανότητας του Δικτύου συνεπάγεται αύξηση της συνολικής καθυστέρησης των πακέτων στο δίκτυο (στο χρόνο διάδοσης και επεξεργασίας προστίθεται και η καθυστέρηση στις ουρές των κόμβων)



# Συμφόρηση σε Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων

---



## Ιδανικός Βαθμός Χρήσης Φορτίου

(Η ισχύς (*power*) ορίζεται ως ο λόγος της διαμετακομιστικής ικανότητας προς την καθυστέρηση)



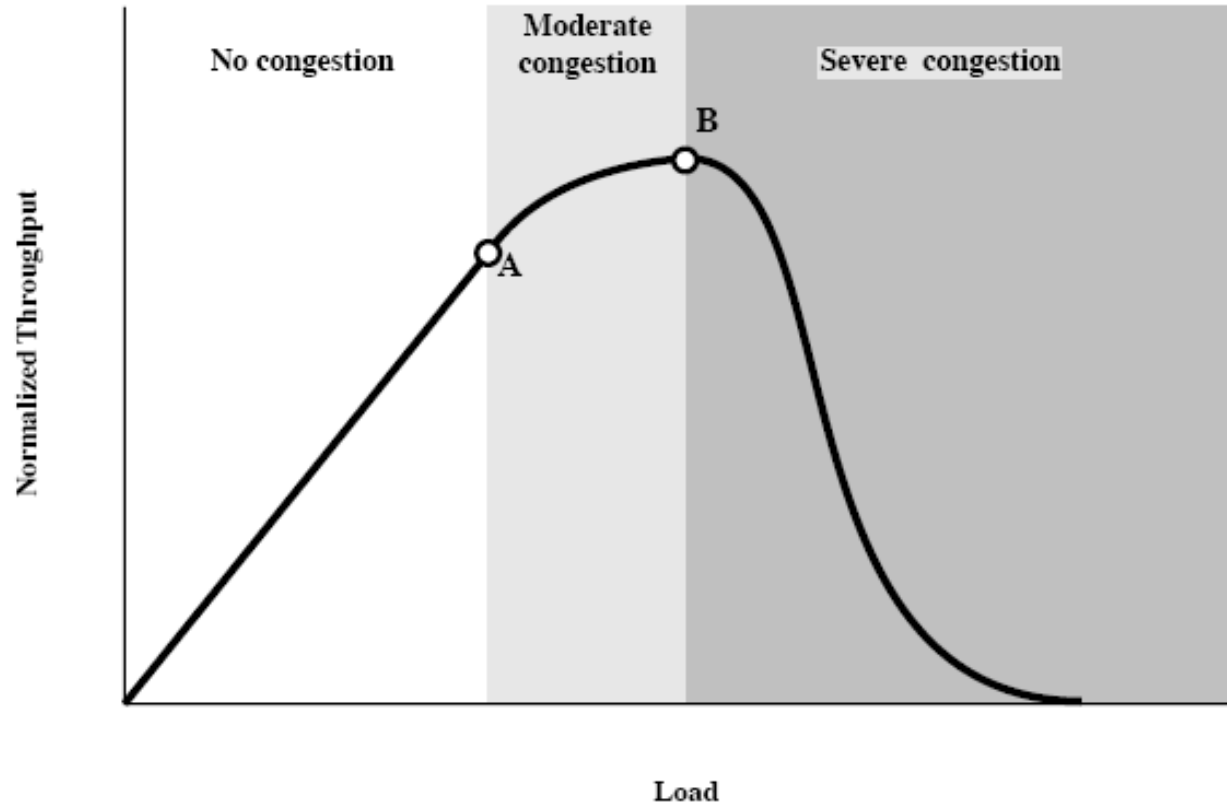
# Συμφόρηση σε Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων

## • Επίδραση της Συμφόρησης

- Στην περίπτωση που οι ουρές των κόμβων είναι πεπερασμένες, σε μικρά φορτία, η διαμετακομιστική ικανότητα του δικτύου αυξάνει με την αύξηση του προσφερομένου φορτίου. Σε κάποιο σημείο, η διαμετακομιστική ικανότητα αυξάνει με μικρότερο ρυθμό από ότι αυξάνει ο ρυθμός του προσφερομένου φορτίου. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το δίκτυο εισέρχεται σε μία κατάσταση μέτριας συμφόρησης. Το δίκτυο συνεχίζει να διαχειρίζεται το φορτίο με αυξημένες όμως καθυστερήσεις.
- Η διαφορά της διαμετακομιστικής ικανότητας από την ιδανική περίπτωση οφείλεται στο ότι το φορτίο δεν κατανέμεται ομοιόμορφα σε όλο το δίκτυο. Μερικοί κόμβοι μπορεί να παρουσιάζουν μέτρια συμφόρηση, ενώ άλλοι μπορεί να παρουσιάζουν σοβαρή συμφόρηση και να χρειαστεί να απορρίψουν φορτίο κίνησης.
- Επιπρόσθετα, καθώς το φορτίο συνεχίζει να αυξάνει στο δίκτυο, το δίκτυο θα προσπαθήσει να αποφύγει τις περιοχές υψηλής συμφόρησης δρομολογώντας τα πακέτα από περιοχές με μικρότερη συμφόρηση. Για να επιτευχθεί η λειτουργία δρομολόγησης όμως πρέπει να ανταλλαχθεί ένας σημαντικός αριθμός από μηνύματα δρομολόγησης ανάμεσα στους κόμβους για να προειδοποιήσουν ο ένας τον άλλο για την περιοχή συμφόρησης. Τα μηνύματα αυτά μειώνουν τη διαθέσιμη χωρητικότητα για τα πακέτα δεδομένων.
- Με τη συνεχιζόμενη αύξηση του φορτίου, οδηγούμαστε τελικά σε μείωση της διαμετακομιστικής ικανότητας του δικτύου. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η ενδιάμεση μνήμη σε κάθε κόμβο είναι πεπερασμένου μεγέθους. Όταν η ενδιάμεση μνήμη γεμίσει, ο κόμβος πρέπει να απορρίψει πακέτα. Οι πηγές, εκτός από τα καινούργια πακέτα, αναμεταδίδουν και τα πακέτα που έχουν απορριφθεί. Αυτό χειροτερεύει την κατάσταση, καθώς όλο και περισσότεροι κόμβοι υπερφορτώνονται. Κάτω από αυτές τις συνθήκες η διαμετακομιστική ικανότητα του δικτύου τείνει στο 0.



# Συμφόρηση σε Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων

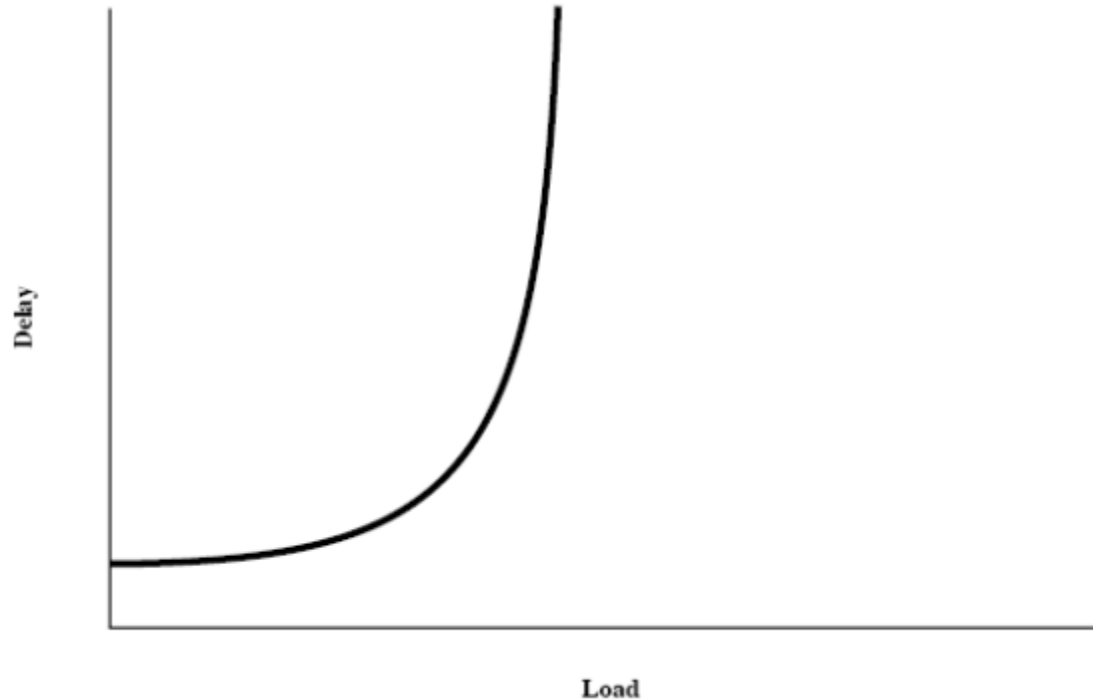


**Οι συνέπειες της συμφόρησης**



# Συμφόρηση σε Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων

---



**Οι συνέπειες της συμφόρησης**



# Συμφόρηση σε Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων

---

- **Έλεγχος Συμφόρησης**

- Έλεγχος Συμφόρησης Ανοικτού Βρόχου

- Προσπαθεί να εξασφαλίσει μέσω καλής σχεδίασης ότι δεν θα εμφανισθεί συμφόρηση. Κατά τη διάρκεια λειτουργίας του συστήματος δεν είναι δυνατόν να γίνουν διορθώσεις, καθώς αποφάσεις λαμβάνονται χωρίς να δίδεται σημασία στην τρέχουσα κατάσταση του δικτύου.

- Περιλαμβάνει:

- » Απόφαση σχετικά με το πότε αποδεχόμαστε τη νέα κίνηση.
        - » Απόφαση σχετικά με το πότε θα απορριφθούν πακέτα και ποια.
        - » Απόφαση σχετικά με χρονοπρογραμματισμό σε διάφορα σημεία του δικτύου.

- Έλεγχος Συμφόρησης Κλειστού Βρόχου

- Βασίζονται στην έννοια της ανάδρασης.

- Περιλαμβάνει:

- Παρακολούθηση του συστήματος για να εντοπιστεί πότε και πού εμφανίζεται η συμφόρηση.
      - Μεταβίβαση της πληροφορίας στα σημεία όπου πρέπει αν ληφθεί δράση.
      - Προσαρμογή της λειτουργίας του συστήματος για επιδιόρθωση του προβλήματος.



# Συμφόρηση σε Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων

---

- **Έλεγχος Συμφόρησης**

- Έλεγχος Συμφόρησης Κλειστού Βρόχου

- Για την παρακολούθηση της συμφόρησης στο δίκτυο μπορούμε να εξετάσουμε:
      - Το ποσοστό των πακέτων που απορρίπτονται λόγω έλλειψης περιοχών προσωρινής αποθήκευσης.
      - Το μέσο μήκος των ουρών.
      - Το πλήθος των πακέτων των οποίων λήγουν οι χρόνοι αναμονής και αναμεταδίδονται.
      - Η μέση καθυστέρηση των πακέτων.
      - Η τυπική απόκλιση της καθυστέρησης των πακέτων.
    - Αυξημένες τιμές όλων των παραπάνω υποδηλώνουν αυξημένη συμφόρηση στο δίκτυο.





# Συμφόρηση σε Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων

- Έλεγχος Συμφόρησης

- Έλεγχος Συμφόρησης Κλειστού Βρόχου

- Για τη μεταβίβαση πληροφορίας συμφόρησης στα σημεία όπου πρέπει να ληφθεί δράση μπορεί να ακολουθηθεί κάποιο από τα ακόλουθα:
      - Ο δρομολογητής που εντοπίζει τη συμφόρηση στέλνει ένα πακέτο στην προέλευση ή στις προελεύσεις της κίνησης ανακοινώνοντας το πρόβλημα.
        - » Τα πακέτα αυτά αυξάνουν το φορτίο.
      - Ο δρομολογητής που εντοπίζει τη συμφόρηση ειδοποιεί τους γειτονικούς του κόμβους για το σχετικό πρόβλημα μεταβάλλοντας την τιμή ενός bit στο πεδίο του πακέτου, το οποίο δεσμεύεται για ειδοποίηση συμφόρησης, όταν η συμφόρηση ξεπερνά ένα οριακό επίπεδο.
      - Οι πηγές ή οι δρομολογητές στέλνουν διερευνητικά πακέτα, ρωτώντας ρητά εάν υπάρχει συμφόρηση. Αυτή η πληροφόρηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη συνέχεια για να δρομολογηθεί η κίνηση, ώστε να παρακαμφθούν τυχόν προβληματικές περιοχές.
    - Στη προσαρμογή της λειτουργίας του συστήματος για την επιδιόρθωση του προβλήματος προσοχή πρέπει να δοθεί στη χρονική κλίμακα των αποφάσεων, καθώς πολύ γρήγορες αντιδράσεις μπορούν να οδηγήσουν το σύστημα σε αστάθεια, ενώ πολύ αργές αντιδράσεις στο πρόβλημα δεν θα έχουν την παραμικρή αξία.



# Συμφόρηση σε Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων

---

## • Πολιτικές Πρόληψης Συμφόρησης

Layer	Policies
Transport	<ul style="list-style-type: none"><li>• Retransmission policy</li><li>• Out-of-order caching policy</li><li>• Acknowledgement policy</li><li>• Flow control policy</li><li>• Timeout determination</li></ul>
Network	<ul style="list-style-type: none"><li>• Virtual circuits versus datagram inside the subnet</li><li>• Packet queueing and service policy</li><li>• Packet discard policy</li><li>• Routing algorithm</li><li>• Packet lifetime management</li></ul>
Data link	<ul style="list-style-type: none"><li>• Retransmission policy</li><li>• Out-of-order caching policy</li><li>• Acknowledgement policy</li><li>• Flow control policy</li></ul>



# Συμφόρηση σε Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων

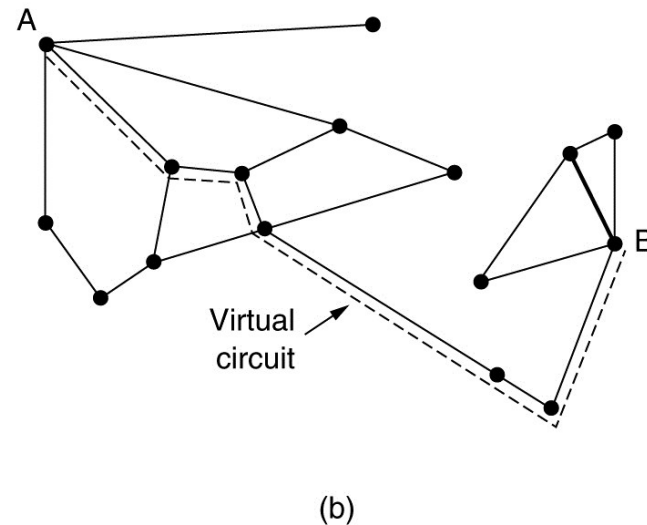
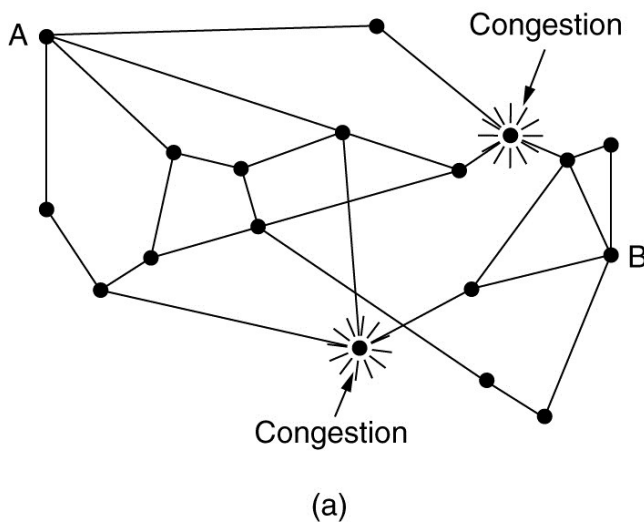
- **Έλεγχος Συμφόρησης σε Δίκτυα Μεταγωγής Νοητών Κυκλωμάτων**
  - Έλεγχος Αποδοχής Νέων Συνδέσεων (*Admission Control*)
    - Αν γίνει αντιληπτό ότι υπάρχει συμφόρηση στο δίκτυο, τότε δεν εγκαθιδρύονται άλλα νοητά κυκλώματα, έως ότου το δίκτυο επανέλθει σε κανονική λειτουργία.
      - Για παράδειγμα, στο τηλεφωνικό δίκτυο όταν υπερφορτώνεται ένας μεταγωγέας υλοποιεί έλεγχο αποδοχής με το να μην παρέχει τόνο επιλογής στο συνδρομητή.
  - Διαπραγμάτευση συμφωνίας κίνησης ανάμεσα στον υπολογιστή υπηρεσίας και στο δίκτυο κατά την εγκαθίδρυση του νοητού κυκλώματος.
    - Κατά την εγκαθίδρυση μίας λογικής σύνδεσης, ο χρήστης και το δίκτυο συνάπτουν ένα συμβόλαιο, το οποίο καθορίζει το ρυθμό δεδομένων και άλλα χαρακτηριστικά της ροής κίνησης. Η συμφωνία καθορίζει συνήθως τον όγκο και τη μορφή της κίνησης, την απαιτούμενη ποιότητα υπηρεσίας και άλλες παραμέτρους.
    - Για να τηρήσει τη συμφωνία το δίκτυο, συνήθως, δεσμεύει πόρους (π.χ. χώρο προσωρινής αποθήκευσης στους δρομολογητές, εύρος ζώνης στις γραμμές μετάδοσης) κατά μήκος της διαδρομής καθώς εγκαθιδρύει το κύκλωμα.
      - Οι δεσμεύσεις των πόρων μπορούν να επιτελούνται συνεχώς (κανονική λειτουργία του δικτύου ή να πραγματοποιούνται μόνο όταν το δίκτυο είναι σε συμφόρηση).
    - Το δίκτυο εγγυάται μία καθορισμένη ποιότητα υπηρεσίας, όσο η ροή κίνησης είναι σύμφωνη με τις παραμέτρους του συμβολαίου.
    - Επιπρόσθετη κίνηση είτε απορρίπτεται, είτε δρομολογείται σε μία βάση υπηρεσίας βέλτιστης προσπάθειας, αντιμετωπίζοντας όμως πιθανότητα απόρριψης σε περίπτωση συμφόρησης.
    - Σε περίπτωση που οι διαθέσιμοι πόροι του δικτύου δεν επαρκούν για την εξυπηρέτηση της νέας λογικής σύνδεσης, τότε το δίκτυο απορρίπτει την αίτηση δημιουργίας νέας λογικής σύνδεσης.



# Συμφόρηση σε Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων

- Έλεγχος Συμφόρησης σε Δίκτυα Μεταγωγής Νοητών Κυκλωμάτων

- Δρομολόγηση των εικονικών κυκλωμάτων αποφεύγοντας τις προβληματικές περιοχές του δικτύου που εμφανίζουν συμφόρηση.



# Συμφόρηση σε Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων

---

- **Έλεγχος Συμφόρησης**

- Όταν φθάσουμε σε κατάσταση συμφόρησης μπορεί να ακολουθηθεί μία από τις δύο γενικές στρατηγικές:

- Η πρώτη στρατηγική για τη μείωση του φορτίου είναι η άρνηση εξυπηρέτησης χρηστών, η υποβάθμιση της ποιότητας υπηρεσίας σε άλλους, η απαίτηση από τους χρήστες να χρονοπρογραμματίζουν τις μεταδόσεις τους με πιο προβλέψιμο τρόπο.
      - Απόρριψη κάθε εισερχόμενου πακέτου για το οποίο δεν υπάρχει διαθέσιμος χώρος ενδιάμεσης μνήμης.
    - Σύμφωνα με τη δεύτερη στρατηγική, ο κόμβος που παρουσιάζει προβλήματα υπερφόρτωσης ασκεί κάποιο έλεγχο ροής στους γειτονικούς του κόμβους με αποτέλεσμα η ροή της κίνησης να παραμένει διαχειρίσιμη.
      - Με τον τρόπο αυτό, η συμφόρηση σε ένα σημείο δικτύου μπορεί να διαδοθεί γρήγορα σε μία ολόκληρη περιοχή ή σε όλο το δίκτυο.



# Συμφόρηση σε Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων

- Έλεγχος Συμφόρησης

- Άσκηση Πίεσης προς τα πίσω (*Backpressure*)

- Αν ένας κόμβος αντιμετωπίζει συμφόρηση, τότε ο κόμβος μπορεί να μειώσει ή να σταματήσει τη ροή των πακέτων από τους γειτονικούς του κόμβους. Αν αυτός ο περιορισμός επιμένει, οι γειτονικοί κόμβοι θα αρχίζουν να αντιμετωπίζουν και αυτοί κατάσταση συμφόρησης, οπότε με τη σειρά τους θα πρέπει να μειώσουν ή να σταματήσουν την κίνηση στις εισερχόμενες συνδέσεις τους.
    - Αυτός ο περιορισμός της ροής της κίνησης διαδίδεται προς τα πίσω (αντίθετα προς τη ροή της κίνησης δεδομένων) στις πηγές, οι οποίες περιορίζουν τη ροή νέων πακέτων στο δίκτυο.
    - Η τεχνική της εφαρμογής πίεσης προς τα πίσω είναι περιορισμένης χρησιμότητας, καθώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ένα δίκτυο με σύνδεση που επιτρέπει έλεγχο ροής άλμα προς άλμα (π.χ. X.25).
      - Το ATM και το *Frame Relay* δεν παρέχουν δυνατότητα ελέγχου ροής άλμα προς άλμα.



# Συμφόρηση σε Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων

- Έλεγχος Συμφόρησης

- Πακέτο Φραγής (*Choke Packet*)

- Ένα πακέτο φραγής είναι ένα πακέτο ελέγχου που παράγεται σε έναν κόμβο που αντιμετωπίζει συνθήκες συμφόρησης και μεταδίδεται πίσω στον κόμβο της πηγής για να περιορίσει τη ροή της κίνησης.
    - Παράδειγμα πακέτου φραγής αποτελεί το *ICMP Source Quench* πακέτο (*Internet Control Message Protocol-ICMP*).
    - Ένας κόμβος δικτύου στέλνει ένα *ICMP Source Quench* πακέτο στην πηγή σε περίπτωση που πρέπει να απορρίψει κάποιο πακέτο λόγω κατάστασης συμφόρησης.
      - Για κάθε πακέτο που απορρίπτει στέλνει στην πηγή ένα *ICMP Source Quench* πακέτο.
    - Επιπρόσθετα, ένας κόμβος δικτύου μπορεί να στείλει ένα *ICMP Source Quench* πακέτο σε περίπτωση που οι ενδιαμέσες μνήμες του πλησιάζουν τη μέγιστη χωρητικότητά τους.
      - Στην περίπτωση αυτή, τα πακέτα εξακολουθούν να διαχειρίζονται από τους κόμβους και να παραδίδονται στους προορισμούς τους.
    - Κατά συνέπεια, η λήψη του πακέτου *ICMP Source Quench* δεν δηλώνει κατά ανάγκη απόρριψη κάποιου πακέτου από το δίκτυο.
    - Σε κάθε περίπτωση, όταν η πηγή λάβει ένα *ICMP Source Quench* πακέτο, μειώνει το ρυθμό με τον οποίο στέλνει κίνηση μέχρι να σταματήσει η αποστολή πακέτων *ICMP Source Quench*. Πιο συγκεκριμένα, αφού η πηγή έχει μειώσει το ρυθμό αποστολής πακέτων, αγνοεί τυχόν πρόσθετα πακέτα φραγής τα οποία λαμβάνει για κάποιο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα (καθώς αναφέρονται στο ίδιο πρόβλημα) και παρακολουθεί για λήψη νέων πακέτων φραγής αμέσως μετά. Εάν φθάσει ένα πακέτο φραγής σημαίνει ότι εξακολουθεί να υπάρχει συμφόρηση και η πηγή μειώνει ακόμη περισσότερο τη ροή, ενώ αν δεν φθάσει πακέτο κατά την περίοδο αναμονής, η πηγή μπορεί να αυξήσει πάλι το ρυθμό αποστολής κίνησης στο δίκτυο.



# Συμφόρηση σε Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων

---

- **Έλεγχος Συμφόρησης**

- Πακέτο φραγής από κόμβο σε κόμβο

- Σε μεγάλες ταχύτητες ή σε μεγάλες αποστάσεις, η αποστολή ενός πακέτου φραγής δεν λειτουργεί πολύ καλά επειδή η αντίδραση είναι αρκετά αργή.

- Με βάση την πληροφορία δρομολόγησης

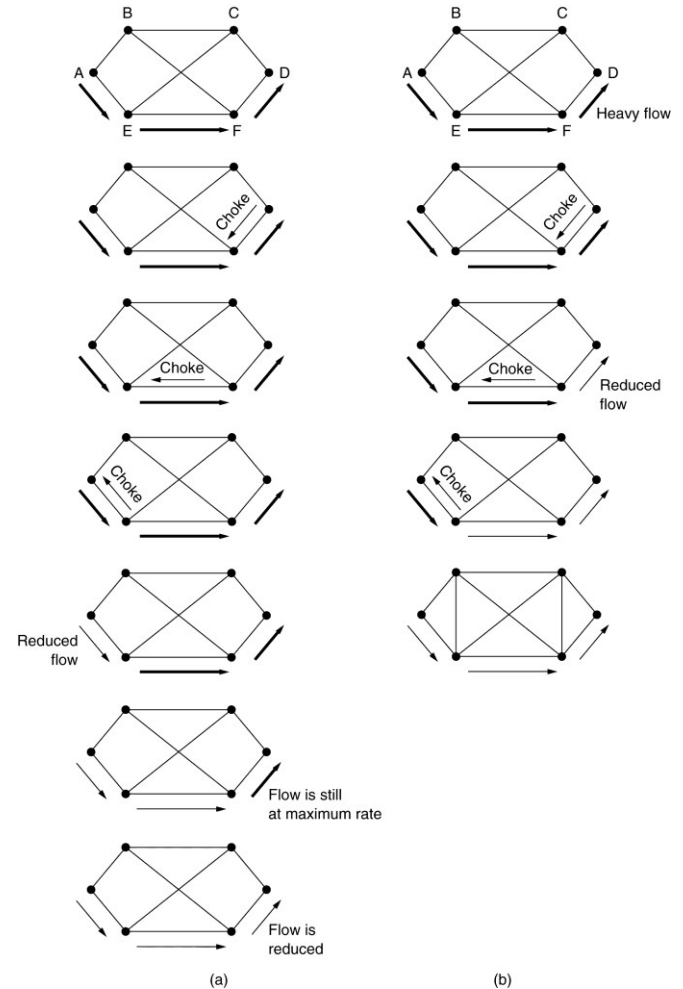
- Οι αλγόριθμοι δρομολόγησης περιλαμβάνουν πληροφορίες καθυστέρησης σύνδεσης με άλλους κόμβους, οι οποίες επηρεάζουν τις αποφάσεις δρομολόγησης. Αυτή η πληροφορία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να επηρεάσει και το ρυθμό με τον οποίο αποστέλλονται νέα πακέτα στο δίκτυο. Υπάρχει όμως πιθανότητα οι καθυστερήσεις αυτές να μεταβάλλονται πολύ γρήγορα με αποτέλεσμα να μην μπορούν να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά για έλεγχο συμφόρησης.





# Συμφόρηση σε Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων

Έλεγχος Συμφόρησης με  
πακέτα αποπνιγμού από  
κόμβο σε κόμβο



# Συμφόρηση σε Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων

## • Έλεγχος Συμφόρησης

### – Σηματοδοσία Ενδεχόμενης Συμφόρησης

- Σε μία κατάσταση συμφόρησης δικτύου είναι δυνατόν:
  - (α) να αυξηθεί η καθυστέρηση που αντιμετωπίζουν τα πακέτα κατά μήκος της διαδρομής τους από την πηγή στον προορισμό.
  - (β) να έχουμε απώλειες πακέτων, καθώς πακέτα μπορούν να απορρίπτονται από το δίκτυο.
- Αν μία πηγή είναι ικανή να ανιχνεύει αυξημένες καθυστερήσεις και πακέτα που απορρίπτονται από το δίκτυο, τότε θεωρεί πιθανή μία κατάσταση συμφόρησης στο δίκτυο.
- Αν όλες οι πηγές μπορούν να ανιχνεύσουν κατάσταση συμφόρησης στο δίκτυο και μειώσουν τη ροή της κίνησης προς το δίκτυο, τότε η συμφόρηση του δικτύου θα μειωθεί.
- Μέτρηση της καθυστέρησης ανάμεσα σε δύο τερματικά σημεία μπορεί να γίνει με την αποστολή ειδικών πακέτων (*probe packets*), στα οποία υπάρχει χρονική σήμανση (*time-stamps*) αναχώρησης από κάποιο σημείο. Η αποστολή αυτών των πακέτων όμως έχει ως αποτέλεσμα την πρόσθετη επιβάρυνση στο δίκτυο.
- Ο έλεγχος συμφόρησης με βάση την ενδεχόμενη σηματοδοσία είναι ευθύνη των τερματικών συστημάτων και δεν απαιτεί καμία ενέργεια από τους κόμβους του δικτύου.
- Η ενδεχόμενη σηματοδοσία μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως τεχνική ελέγχου συμφόρησης και σε δίκτυα χωρίς σύνδεση (π.χ. Διαδίκτυο), αλλά και σε δίκτυα με σύνδεση (π.χ. *Frame Relay*).
  - Στο Διαδίκτυο το Στρώμα Μεταφοράς (*TCP* πρωτόκολλο / *connection-oriented*) περιλαμβάνει μηχανισμούς για την επιβεβαίωση παράδοσης των πακέτων και την κανονικοποίηση της ροής κίνησης από την πηγή στον προορισμό.
  - Αντίστοιχα, σε δίκτυα *Frame Relay*, το πρωτόκολλο ελέγχου *LAPF* περιλαμβάνει λειτουργίες με αυτές του *TCP* για έλεγχο ροής και σφαλμάτων.



# Συμφόρηση σε Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων

## • Έλεγχος Συμφόρησης

### – Σηματοδοσία Εμφανούς Συμφόρησης

- Στις τεχνικές σηματοδοσίας εμφανούς συμφόρησης το δίκτυο ειδοποιεί τα τερματικά συστήματα για αυξανόμενη συμφόρηση μέσα στο δίκτυο και τα τερματικά συστήματα μειώνουν τη ροή κίνησης φορτίου μέσα στο δίκτυο.
- Συνήθως, οι τεχνικές σηματοδοσίας εμφανούς συμφόρησης εφαρμόζονται σε δίκτυα με σύνδεση και ελέγχουν τη ροή των πακέτων σε ξεχωριστές συνδέσεις.
- Οι τεχνικές σηματοδοσίας εμφανούς συμφόρησης εφαρμόζονται σε μία από τις δύο κατευθύνσεις:
  - Προς τα πίσω (*Backward*)
    - » Ενημερώνει τον αποστολέα (χρησιμοποιώντας ένα πακέτο με κατεύθυνση προς τον αποστολέα) ότι στο δίκτυο υπάρχει κίνδυνος συμφόρησης και πρέπει να ελαττωθεί ο ρυθμός αποστολής δεδομένων. Η πληροφορία μεταδίδεται προς τα πίσω είτε μεταβάλλοντας κάποιο πεδίο στην επικεφαλίδα ενός πακέτου δεδομένων που έχει κατεύθυνση προς την πηγή, είτε μεταδίδοντας ξεχωριστά πακέτα ελέγχου στην πηγή.
  - Προς τα εμπρός (*Forward*)
    - » Ενημερώνει τις επόμενες συσκευές του δικτύου ή τον τελικό αποδέκτη ότι στο δίκτυο υπάρχει συμφόρηση και τα δεδομένα που έχουν αποσταλεί θα ληφθούν με μεγαλύτερες καθυστερήσεις από τις συνήθεις. Ο παραλήπτης ενημερώνει τον αποστολέα, ώστε προσωρινά να περιορίσει τον όγκο των δεδομένων που αποστέλλει. Η πληροφορία μεταδίδεται και σε αυτή την περίπτωση είτε αλλάζοντας την τιμή κάποιου πεδίου στην επικεφαλίδα ενός πακέτου δεδομένων ή με αποστολή ξεχωριστών πακέτων ελέγχου.



# Συμφόρηση σε Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων

## • Έλεγχος Συμφόρησης

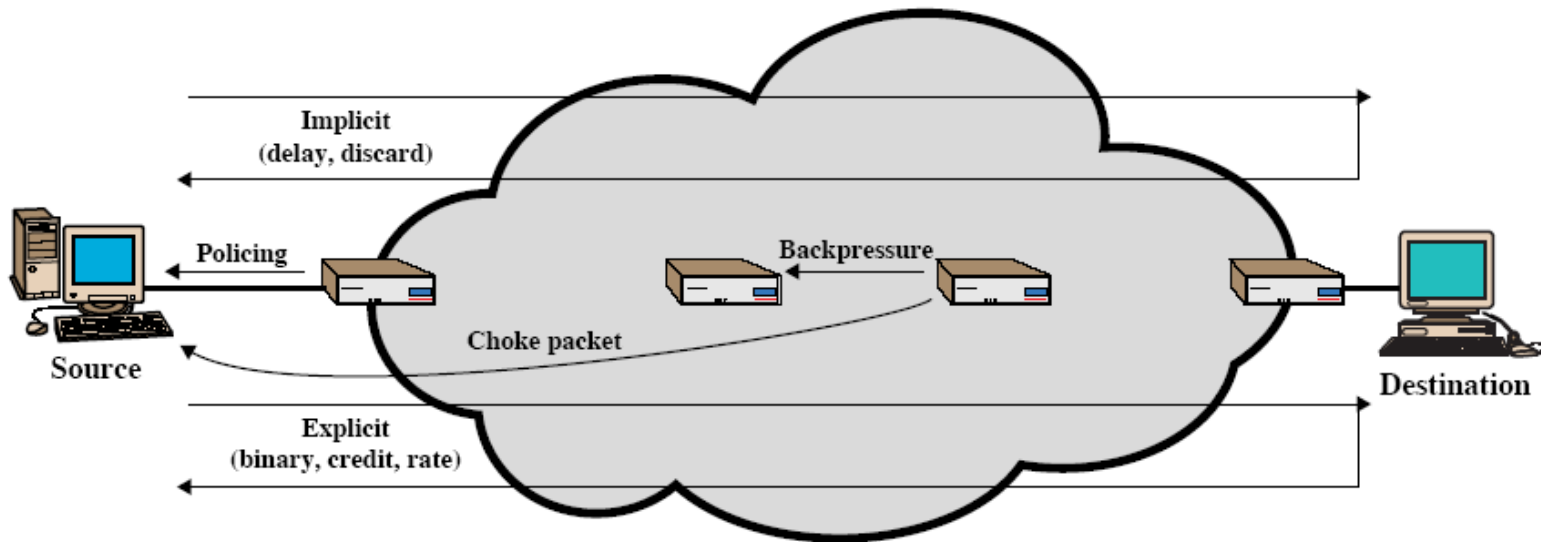
### – Σηματοδοσία Εμφανούς Συμφόρησης

#### • Διακρίνουμε τρεις κατηγορίες:

- Δυαδική Σηματοδοσία: Χρησιμοποιείται ένα πεδίο *1 bit* στην επικεφαλίδα ενός πακέτου δεδομένων, του οποίου η τιμή υποδηλώνει αν το πακέτο αυτό συνάντησε συμφόρηση κατά τη διαδρομή του μέσα στο δίκτυο. Την τιμή αυτού του πεδίου μεταβάλλει οποιοσδήποτε κόμβος του δικτύου που βρίσκεται σε κατάσταση συμφόρησης.
- Σηματοδοσία με Πίστωση: Το σχήμα αυτό βασίζεται στην παροχή συγκεκριμένης πίστωσης σε μία πηγή όσον αφορά μία λογική σύνδεση. Η πίστωση δηλώνει τον όγκο των δεδομένων που μπορεί μία πηγή να μεταδώσει στο δίκτυο. Μία πηγή μπορεί να αποστέλλει δεδομένα στο δίκτυο, μόνο εφόσον διαθέτει πίστωση. Εάν αυτή εξαντληθεί, η πηγή θα πρέπει να περιμένει επιπρόσθετη πίστωση πριν να στείλει επιπρόσθετα δεδομένα.
  - » Τα σχήματα σηματοδοσίας με πίστωση χρησιμοποιούνται συνήθως για έλεγχο ροής από άκρο σε άκρο, όπου το σύστημα προορισμού χρησιμοποιεί πίστωση για να αποτρέψει την πηγή να υπερχειλίσει τις ενδιάμεσες μνήμες του.
- Σηματοδοσία βασισμένη στο Ρυθμό: Τα σχήματα αυτά παρέχουν ένα άνω όριο του ρυθμού δεδομένων με τον οποίο κάποια πηγή μπορεί να αποστείλει δεδομένα στο δίκτυο πάνω από μία λογική σύνδεση. Για τον έλεγχο συμφόρησης κάθε κόμβος κατά μήκος της λογικής σύνδεσης μπορεί να μειώσει το όριο ρυθμού δεδομένων με την αποστολή ενός μηνύματος ελέγχου στην πηγή.



# Συμφόρηση σε Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων



## Μηχανισμοί Ελέγχου Συμφόρησης



# Συμφόρηση σε Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων

- Έλεγχος Συμφόρησης

- Διαχείριση Κίνησης & Έλεγχος Συμφόρησης

- Στην περίπτωση εμφάνισης σοβαρής κατάστασης συμφόρησης σε ένα δίκτυο (όπου οι κόμβοι του δικτύου θα αναγκασθούν να απορρίψουν πακέτα), καθίσταται αναγκαία η θέσπιση προτεραιοτήτων/κανόνων βάσει των οποίων θα γίνεται η απόρριψη των πακέτων.

- Σύμφωνα με ένα απλό μηχανισμό, τα πακέτα θα μπορούσαν να απορρίπτονται σύμφωνα με τη σειρά που έφθασαν σε κάποιο κόμβο που αντιμετωπίζει σοβαρή συμφόρηση (τα πακέτα τα οποία φθάνουν ενώ δεν υπάρχει διαθέσιμη χωρητικότητα στην ενδιάμεση μνήμη των κόμβων απορρίπτονται).

- Μηχανισμός Δίκαιης Μεταχείρισης.

- » Απουσία άλλων απαιτήσεων, θα θέλαμε όλες οι ροές να υποφέρουν από τη συμφόρηση στον ίδιο βαθμό. Αν κάθε κόμβος διατηρεί ξεχωριστή ενδιάμεση μνήμη με το ίδιο μήκος για κάθε λογική σύνδεση (ή για κάθε ζευγος πηγή – προορισμού), τότε οι ουρές με το μεγαλύτερο φορτίο κίνησης θα έχουν πιο συχνές απορρίψεις, επιτρέποντας στις συνδέσεις χαμηλής κίνησης δίκαιη κατανομή της χωρητικότητας.



# Συμφόρηση σε Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων

---

- **Έλεγχος Συμφόρησης**

- Διαχείριση Κίνησης & Έλεγχος Συμφόρησης

- Στην περίπτωση εμφάνισης σοβαρής κατάστασης συμφόρησης σε ένα δίκτυο (όπου οι κόμβοι του δικτύου θα αναγκασθούν να απορρίψουν πακέτα), καθίσταται αναγκαία η θέσπιση προτεραιοτήτων/κανόνων βάσει των οποίων θα γίνεται η απόρριψη των πακέτων.

- Μηχανισμοί Διασφάλισης Ποιότητας Υπηρεσίας.

- » Κατά τη διάρκεια συμφόρησης, οι ροές κίνησης με διαφορετικές απαιτήσεις πρέπει να αντιμετωπίζονται διαφορετικά και να τους παρέχεται διαφορετική ποιότητα υπηρεσίας.
        - » Για παράδειγμα, ένας κόμβος μπορεί να μεταδίδει πακέτα υψηλότερης προτεραιότητας μπροστά από πακέτα χαμηλότερης προτεραιότητας στην ίδια ουρά.
        - » Επιπρόσθετα, ένας κόμβος μπορεί να διατηρεί διαφορετικές ουρές για διαφορετικά επίπεδα ποιότητας υπηρεσίας και να παρέχει προτεραιότητα στα υψηλότερα επίπεδα.



# Συμφόρηση σε Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων

- Έλεγχος Συμφόρησης

- Τεχνικές Διαχείρισης Κίνησης & Έλεγχος Συμφόρησης

- Αλγόριθμοι Ελέγχου Προτεραιότητας.

- Εισαγωγή προτεραιοτήτων μπορούμε να έχουμε στο πεδίο του χώρου (απώλειες πακέτων) και στο πεδίο του χρόνου (χρονική καθυστέρηση πακέτων).

- Πεδίο του Χώρου:

- » Σχήμα Διαμοιρασμού Ενταμίευσης με Αποβολή (Common Sharing with Push Out)

- Στο σχήμα αυτό χρησιμοποιείται ένας ενταμιευτής για όλα τα πακέτα ανεξαρτήτως κλάσης υπηρεσίας. Όταν ο ενταμιευτής είναι γεμάτος, η άφιξη ενός πακέτου υψηλής προτεραιότητας σηματοδοτεί την απόρριψη ενός πακέτου χαμηλής προτεραιότητας, ενώ ένα πακέτο χαμηλής προτεραιότητας που φθάνει σε μία γεμάτη ουρά απορρίπτεται. Για τη διατήρηση της σειράς διαδοχής των πακέτων και για λόγους απλότητας η πολιτική που ακολουθείται για την απόρριψη των πακέτων είναι η *Last In First Drop - LIFD*.

- » Σχήμα Μερικού Διαμοιρασμού Ενταμίευσης (Partial Buffer Sharing) – Για να αποφευχθεί η συνεχής απόρριψη πακέτων χαμηλής προτεραιότητας, στο σχήμα αυτό, τα πακέτα χαμηλότερης προτεραιότητας έχουν πρόσβαση σε ενταμιευτή μόνο όταν η κατάσταση του συστήματος είναι μικρότερη ή ίση μίας τιμής  $A$ , ενώ τα πακέτα υψηλής προτεραιότητας έχουν πρόσβαση στον ενταμιευτή αρκεί να υπάρχει χώρος διαθέσιμος. Το σχήμα αυτό μπορεί να οδηγήσει σε υποχρησιμοποίηση του συνολικού χώρου του ενταμιευτή, αφού είναι πιθανό να απορρίπτονται πακέτα χαμηλότερης προτεραιότητας αν και ο ενταμιευτής δεν είναι γεμάτος. Η παράμετρος  $A$  πρέπει να προσαρμόζεται στις εκάστοτε συνθήκες του φορτίου κίνησης του δικτύου.





# Συμφόρηση σε Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων

- Έλεγχος Συμφόρησης

- Τεχνικές Διαχείρισης Κίνησης & Έλεγχος Συμφόρησης

- Αλγόριθμοι Ελέγχου Προτεραιότητας.

- Εισαγωγή προτεραιοτήτων μπορούμε να έχουμε στο πεδίο του χώρου (απώλειες πακέτων) και στο πεδίο του χρόνου (χρονική καθυστέρηση πακέτων).

- Πεδίο του Χώρου:

- » Σύμφωνα με το Σχήμα Καθολικού Χωρισμού Ενταμιευτή με Διαμοιρασμό Ενταμίευσης (Complete Buffer Partitioning but Complete Buffer Sharing), ο ενταμιευτής διαιρείται σε δύο ανεξάρτητα τμήματα, ένα για κάθε κλάση προτεραιοτήτων. Και τα δύο τμήματα έχουν πρόσβαση στο κοινό εύρος ζώνης. Αν  $S1$  είναι το μέγεθος του ενταμιευτή που αφιερώνεται στα πακέτα υψηλής προτεραιότητας και  $S2$  είναι το μέγεθος του ενταμιευτή για τα πακέτα χαμηλής προτεραιότητας, τότε ο λόγος  $S1/S2$  δίδει το λόγο προτίμησης που έχουν τα πακέτα υψηλής προτεραιότητας. Αυτός ο λόγος πρέπει να προσαρμόζεται στις συνθήκες του φορτίου κίνησης του δικτύου.



# Συμφόρηση σε Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων

## • Έλεγχος Συμφόρησης

### – Τεχνικές Διαχείρισης Κίνησης & Έλεγχος Συμφόρησης

#### • Αλγόριθμοι Ελέγχου Προτεραιότητας.

– Εισαγωγή προτεραιοτήτων μπορούμε να έχουμε στο πεδίο του χώρου (απώλειες πακέτων) και στο πεδίο του χρόνου (χρονική καθυστέρηση πακέτων).

#### – Πεδίο του Χρόνου:

- » Διάκριση υπηρεσιών σε δύο κατηγορίες. Αυτές που είναι ευαίσθητες στη χρονική καθυστέρηση και αυτές που δεν είναι. Στις υπηρεσίες της πρώτης κατηγορίας πρέπει να παρέχεται υψηλή προτεραιότητα πρόσβασης.
- » Τεχνική Επικεφαλής Σειράς (Head of Line - HOL) – Το πακέτο εισέρχεται στην ουρά μπροστά από όλα τα μη ευαίσθητα πακέτα (αυτά που έχουν χαμηλή προτεραιότητα) και τα πακέτα που έχουν την ίδια προτεραιότητα μεταδίδονται σύμφωνα με το σχήμα *First Come First Served - FCFS*.
- » Τεχνική Επικεφαλής Σειράς με Άλματα (Head of Line Priority Jumps – HOL+PJ) – Τα πακέτα χωρίζονται σε κλάσεις. Σε κάθε κλάση ανατίθεται μία προτεραιότητα εκπομπής. Πακέτα της ίδιας κλάσης ενταμιεύονται στην ίδια ουρά. Αν ο χρόνος παραμονής του πακέτου σε μία ουρά υπερβεί μία προκαθορισμένη τιμή, το πακέτο μεταπηδά στην ουρά υψηλότερης προτεραιότητας. Τα πακέτα όλων των κλάσεων, εκτός της υψηλότερης κλάσης, συνεχίζουν τα άλματα μέχρι να εξυπηρετηθούν ή να βρεθούν στην ουρά υψηλότερης προτεραιότητας.



# Συμφόρηση σε Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων

- Έλεγχος Συμφόρησης

- Τεχνικές Διαχείρισης Κίνησης & Έλεγχος Συμφόρησης

- Αλγόριθμοι Ελέγχου Προτεραιότητας.

- Εισαγωγή προτεραιοτήτων μπορούμε να έχουμε στο πεδίο του χώρου (απώλειες πακέτων) και στο πεδίο του χρόνου (χρονική καθυστέρηση πακέτων).
      - Σύμφωνα με πιο πολύπλοκα σχήματα είναι δυνατόν να ορισθούν διαφορετικές κατηγορίες υπηρεσιών με **διαφορετικές προτεραιότητες απώλειας** και **χρονικής καθυστέρησης πακέτων**.
        - » Όταν ένα πακέτο φθάσει στον ενταμιευτή, αν ο ενταμιευτής δεν είναι γεμάτος το πακέτο εισέρχεται στην ουρά σε μία θέση ανάλογη της ευαισθησίας του ως προς την καθυστέρηση πρόσβασης (δηλαδή μπαίνει στην ουρά μπροστά από όλα τα πακέτα που ανήκουν σε τάξεις χαμηλότερης προτεραιότητας πρόσβασης και μετά από όλα τα πακέτα υψηλότερης προτεραιότητας πρόσβασης-εάν υπάρχουν).
        - » Αν ο ενταμιευτής είναι γεμάτος, ένα πακέτο που ανήκει στην τάξη χαμηλότερης προτεραιότητας ως προς τις απώλειες απορρίπτεται από την ουρά και το πακέτο υψηλότερης προτεραιότητας εισέρχεται σε μία κατάλληλη θέση όπως και προηγουμένως.
        - » Εάν δεν υπάρχει πακέτο που να ανήκει σε τάξη χαμηλότερης προτεραιότητας ως προς τις απώλειες, τότε το εισερχόμενο πακέτο απορρίπτεται.
        - » Ανάμεσα στα πακέτα που ανήκουν στην τάξη χαμηλότερης προτεραιότητας ως προς τις απώλειες, η επιλογή του πακέτου που θα απορριφθεί γίνεται με το σχήμα *LIFD*, το οποίο είναι το πιο κατάλληλο για τη διατήρηση της διαδοχής των πακέτων.



# Συμφόρηση σε Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων

---

Κλάση Υπηρεσίας	Προτεραιότητα στο Χώρο	Προτεραιότητα στο Χρόνο
B	3	2
D	4	4

---

Ορισμός κλάσεων υπηρεσίας με διαφορετικές προτεραιότητες στο πεδίο του χώρου και στο πεδίο του χρόνου



# Συμφόρηση σε Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων

---

A		C	B	B	A
	C	B	B	A	A
C	C	C	B	B	A
	C	C	C	B	A

Ορισμός κλάσεων υπηρεσίας με διαφορετικές προτεραιότητες στο πεδίο του χώρου και στο πεδίο του χρόνου



# Συμφόρηση σε Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων

---

- Έλεγχος Συμφόρησης

- Τεχνικές Διαχείρισης Κίνησης & Έλεγχος Συμφόρησης

- Αλγόριθμος RED (Random Early Detection/Drop).

- Στόχος: Μείωση απορρίψεων ριπής και αύξηση δικαιοσύνης.
      - Ο αλγόριθμος RED λειτουργεί με βάση δύο τιμές (άνω όριο-Max Threshold και κάτω όριο – Min Threshold) ως προς το μέγεθος της ουράς του δρομολογητή που είναι κατειλημμένο, καθώς και με μία πιθανότητα MPD (Mark Probability Denominator).
      - Για κάθε εισερχόμενο πακέτο υπολογίζεται το μέσο μήκος της ουράς.
        - » Εάν το μέγεθος της ουράς είναι μικρότερο από το Min Threshold τότε το πακέτο γίνεται αποδεκτό και εξυπηρετείται από το δρομολογητή.
        - » Εάν το μέγεθος της ουράς είναι μεγαλύτερο από το Max Threshold, τότε το πακέτο απορρίπτεται.
        - » Εάν το μέγεθος της ουράς βρίσκεται ανάμεσα στο Min Threshold και στο Max Threshold, τότε το πακέτο θα απορριφθεί βάσει μίας πιθανότητας με μέγιστη τιμή ίση με MPD.



# Συμφόρηση σε Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων

---

- Έλεγχος Συμφόρησης

- Τεχνικές Διαχείρισης Κίνησης & Έλεγχος Συμφόρησης

- WFQ (Weighted Fair Queuing)

- Υλοποιούνται διαφορετικές ουρές στο δρομολογητή.

- Οι ουρές έχουν διαφορετικά βάρη.

- Εάν  $n$  ροές έχουν βάρη  $w_1, w_2, \dots, w_n$  και ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης δεδομένων του καναλιού είναι  $B$ , τότε ο ρυθμός αποστολής που μπορεί να στείλει η  $i$ -οστή ροή είναι:

$$B \cdot w_i / (w_1 + w_2 + \dots + w_n)$$



---

# Τέλος Ενότητας





# Σημείωμα Αναφοράς

---

- Copyright Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών, Λούτα Μαλαματή. «Δίκτυα Τηλεπικοινωνιών». Έκδοση: 1.0. Κοζάνη 2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:

<https://eclass.uowm.gr/courses/ICTE278/>



# Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».

[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.



# Διατήρηση Σημειωμάτων

---

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.



# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων

---

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

## Εικόνες/Σχήματα/Διαγράμματα/Φωτογραφίες

1. William Stallings, "Επικοινωνίες Υπολογιστών και Δεδομένων", 8η εκδοση
2. Andrew Tanenbaum, "Δίκτυα Υπολογιστών"
3. Α. Αλεξόπουλος και Γ. Λαγογιάννης, "Τηλεπικοινωνίες και Δίκτυα Υπολογιστών"  
Στο μάθημα Δίκτυα Τηλεπικοινωνιών, επιπρόσθετα στη βιβλιογραφία έχουμε και το Ιάκωβος Βενιέρης, "Δίκτυα Ευρείας Ζώνης"
4. Τεχνολογίες αποκατάστασης εδαφών και υπογείων υδάτων από επικίνδυνους ρύπους, Ε. Γιδαράκος, Μ. Αιβαλιώτη, Εκδόσεις Ζυγός, Θεσσαλονίκη, 2005.
5. Περιβάλλον και βιομηχανική ανάπτυξη, τόμος Β, Καλδέλης Ιωάννης Κ., Κονδύλη Αιμιλία Μ., εκδόσεις Σταμούλη ΑΕ, 2006.

