

# Το στρώμα ζεύξης δεδομένων

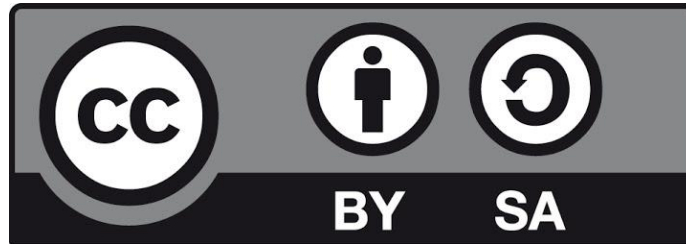
---

Εισηγητής: Χρήστος Δαλαμάγκας

[cdalamagkas@gmail.com](mailto:cdalamagkas@gmail.com)

# Άδεια χρήσης

Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται στη διεθνή άδεια χρήσης Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).



# 7 Layers of the OSI Model

## Application

- End User layer
- HTTP, FTP, IRC, SSH, DNS

## Presentation

- Syntax layer
- SSL, SSH, IMAP, FTP, MPEG, JPEG

## Session

- Synch & send to port
- API's, Sockets, WinSock

## Transport

- End-to-end connections
- TCP, UDP

## Network

- Packets
- IP, ICMP, IPSec, IGMP

## Data Link

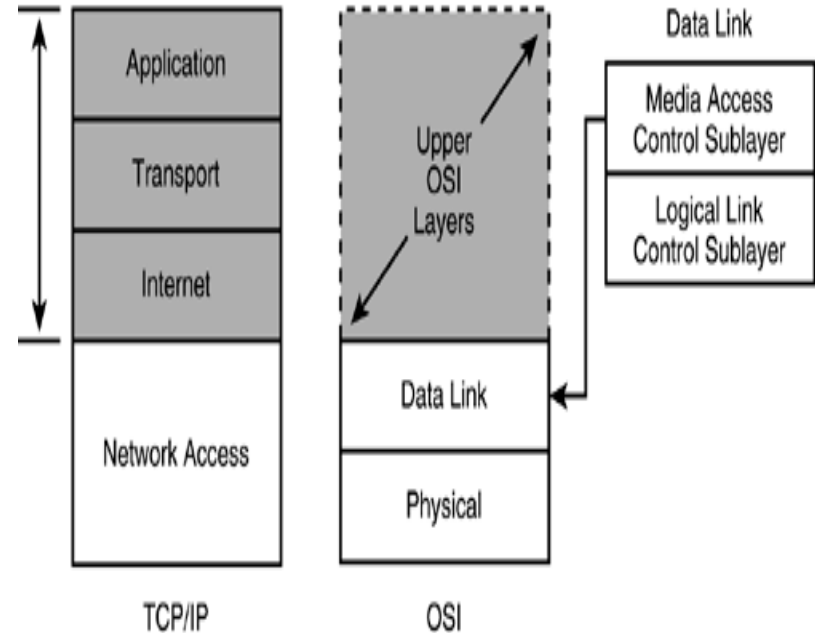
- Frames
- Ethernet, PPP, Switch, Bridge

## Physical

- Physical structure
- Coax, Fiber, Wireless, Hubs, Repeaters

# Το στρώμα πρόσβασης στο δίκτυο (network access layer)

- Το στρώμα πρόσβασης στο δίκτυο αποτελείται από δυο στρώματα κατά OSI:
  - Φυσικό στρώμα (Layer 1 – L1)
  - **Στρώμα ζεύξης δεδομένων (Layer 2 – L2)**
- Το network access layer συμπεριλαμβάνει τις αρμοδιότητες και των δυο χαμηλότερων στρωμάτων του OSI
- Το στρώμα ζεύξης δεδομένων αποτελείται από δυο υποστρώματα
  - Υπόστρωμα ελέγχου πρόσβασης (MAC)
  - Υπόστρωμα ελέγχου λογικών συνδέσεων (LLC)



## Λειτουργίες στρώματος ζεύξης δεδομένων (DATA / L2)

- Η επικοινωνία κόμβων μέσω ενός κοινόχρηστου μέσου/καλωδίου στο Ethernet αποδείχτηκε μη επαρκής λύση
- Οι συγκρούσεις ήταν συχνό φαινόμενο και η διεπεραιωτικότητα του δικτύου αρκετά χαμηλή
- Ο μόνος τρόπος για να αποφύγουμε τις συγκρούσεις είναι σε κάθε segment να έχουμε αποκλειστικά δυο συσκευές/διεπαφές
- Το στρώμα ζεύξης δεδομένων συνδέει πολλά network segments μεταξύ τους, ώστε να έχουμε ένα ενιαίο δίκτυο
- Το αποτέλεσμα είναι παρόμοιο με τη διασύνδεση στο L1, όλες οι συσκευές φαίνονται να είναι στο ίδιο δίκτυο

# Λειτουργίες στρώματος ζεύξης δεδομένων (DATA / L2)

- Υποεπίπεδο MAC (IEEE 802.3)

- **Μετάδοση:** Δημιουργία frames (τελική ακολουθία 0 και 1 που θα μπει στη γραμμή) και κατασκευή του πεδίου FCS για έλεγχο σφαλμάτων
- **Λήψη:** αποσυναρμολόγηση του πλαισίου, αναγνώριση διεύθυνσης MAC προορισμού και αναγνώριση σφαλμάτων
- Έλεγχος πρόσβασης στο μέσο μετάδοσης του LAN (όχι στο OSI!)

- Υποεπίπεδο LLC (IEEE 802.2) *(εκτός ύλης)*

- Λογισμικό που παρέχει διεπαφή με τα ανώτερα στρώματα
- Προαιρετικό για το Ethernet

# Ethernet στο Στρώμα ζεύξης δεδομένων

---

# Το υπόστρωμα MAC του Ethernet

- Τα δεδομένα των κόμβων θα πρέπει να έχουν την κατάλληλη μορφή, ώστε να μεταφέρονται από το ένα segment στο άλλο
- Το Ethernet καθορίζει συγκεκριμένη μορφή για τα δεδομένα που μεταδίδονται, ώστε να παραδίδονται αξιόπιστα στην κατάλληλη συσκευή
- Κάθε μονάδα δεδομένων αποτελείται από 64 μέχρι 1518 byte. Προαιρετικά, μέχρι 1522 byte, αν χρησιμοποιούνται VLAN tags (802.1Q)
- Η μονάδα δεδομένων στο στρώμα 2 αποκαλείται **πλαίσιο** (frame)



# Η δομή του πλαισίου Ethernet

Layer	Preamble	Start of frame delimiter	MAC destination	MAC source	802.1Q tag (optional)	EtherType	Payload	FCS (32-bit CRC)	Interpacket gap
Layer 2 Ethernet frame  Layer 1 Ethernet packet & IPG	7 bytes	1 byte	6 bytes	6 bytes	(4 bytes)	2 bytes	46-1500 bytes	4 bytes	12 bytes
			← 64–1522 octets →						
	← 72–1530 octets →								← 12 octets →

Preamble	SFD	Destination MAC Address	Source MAC Address	EtherType	Payload			FCS
----------	-----	-------------------------	--------------------	-----------	---------	--	--	-----

# Η δομή του πλαισίου Ethernet

- **Preamble:** Τα πρώτα 8 byte προετοιμάζουν τον δέκτη να λάβει δεδομένα. Θεωρούμε ότι το προοίμιο αντιστοιχίζεται στο φυσικό επίπεδο
- **Destination address:** 6 byte καταλαμβάνει η διεύθυνση της συσκευής για την οποία προορίζεται το πλαίσιο
- **Source address:** 6 byte καταλαμβάνει η διεύθυνση της συσκευής από την οποία προέρχεται το πλαίσιο
- **EtherType:** 2 byte καταλαμβάνει ένας αριθμός που υποδεικνύει το είδος των δεδομένων που ενθυλακώνονται στο πλαίσιο Ethernet (πχ IPv4, IPv6, ARP κλπ)
- Τα παραπάνω λέγονται δεδομένα ελέγχου ή επιβαρύνσεων γιατί είναι αναγκαία για να κάνουν δυνατή τη μετάδοση των ωφέλιμων δεδομένων (Payload)
- Συνολικά, τουλάχιστον 22 bytes επιβαρύνσεων προηγούνται πριν τα δεδομένα

# Η δομή του πλαισίου Ethernet

- Μετά τις επιβαρύνσεις ακολουθούν τουλάχιστον 46 byte δεδομένων που αντιστοιχούν στην ωφέλιμη πληροφορία
- Αν τα πραγματικά δεδομένα δεν φτάνουν τα 46 byte, τότε η διεπαφή Ethernet προσθέτει μηδενικά στα bit που απομένουν (padding)
- Μετά τα ωφέλιμα δεδομένα, ακολουθεί μια ακολουθία FEC που χρησιμεύει στον έλεγχο και διόρθωση σφαλμάτων στο πλαίσιο, μήκους 4 byte
- Ένα σωστά διαμορφωμένο πλαίσιο Ethernet πρέπει συνολικά να έχει μήκος 64 byte

$$6 + 6 + 2 + 46 + 4 = 64$$

- Μετά τη μετάδοση, θα πρέπει τουλάχιστον για χρόνο αντίστοιχο με τη μετάδοση 12 byte να υπάρξει κενό στη μετάδοση

# Διευθύνσεις MAC (EUI-48)

- Κάθε κόμβος σε ένα δίκτυο Ethernet έχει μια φυσική διεύθυνση ή διεύθυνση υλικού (hardware address), ώστε να αναγνωρίζεται μοναδικά σε όλο το δίκτυο
- Έχει μήκος 48 bit ή 6 byte και αναγράφεται στο δεκαεξαδικό σύστημα ως έξι διψήφιοι δεκαεξαδικοί αριθμοί χωρισμένοι με παύλες (windows), ανω-κάτω τελείες (linux) ή τελείες (cisco)

74-ea-3a-cd-06-40

74:ea:3a:cd:06:40

74ea.3acd.0640

# Διευθύνσεις MAC (EUI-48)

- Οι διευθύνσεις MAC απαρτίζονται από δυο μέρη των 24ων δυαδικών ψηφίων.
  - Το πρώτο μέρος το οποίο ονομάζεται (μοναδική) Ταυτότητα του Οργανισμού (OUI – Organizational Unique Identifier), χορηγείται από την IEEE και διατίθεται αποκλειστικά στον κατασκευαστή υλικού.
  - Το δεύτερο μέρος το προσδιορίζει ο κατασκευαστής υλικού με δική του ευθύνη.
- Κατά τη μετάδοση αποστέλλεται το πιο σημαντικό byte (MSB) πρώτα, αλλά για κάθε byte αποστέλλεται πρώτα το λιγότερο σημαντικό bit (LSB). Αυτή η μέθοδος αποστολής ονομάζεται Little Endian σε επίπεδο byte.
- Πχ αν είναι να μεταδοθεί ο αριθμός 74 (0111 0100), τότε μεταδίδεται με την αντίστροφη σειρά (0010 1110)

# Είδη διευθύνσεων MAC

- Διεύθυνση ευρυεκπομπής (**broadcast**)

- Έτσι ονομάζεται η διεύθυνση FF-FF-FF-FF-FF-FF
- Πλαίσιο με αυτή τη διεύθυνση προορισμού αφορά όλους τους κόμβους και παραλαμβάνεται από όλους όσους ανήκουν στο ίδιο τοπικό δίκτυο.

- Διεύθυνση πολυδιανομής (**multicast**)

- Διευθύνσεις που έχουν το LSB του πρώτου byte ίσο με 1. Δηλαδή οι διευθύνσεις 01-XX-XX-XX-XX-XX
- Συνήθως οι διευθύνσεις αντιστοιχούν σε πρωτόκολλα που δουλεύουν στο L2
- Πλαίσιο με αυτή τη διεύθυνση προορισμού επίσης λαμβάνεται από όλους τους κόμβους, με τη δυνατότητα να φιλτραριστεί

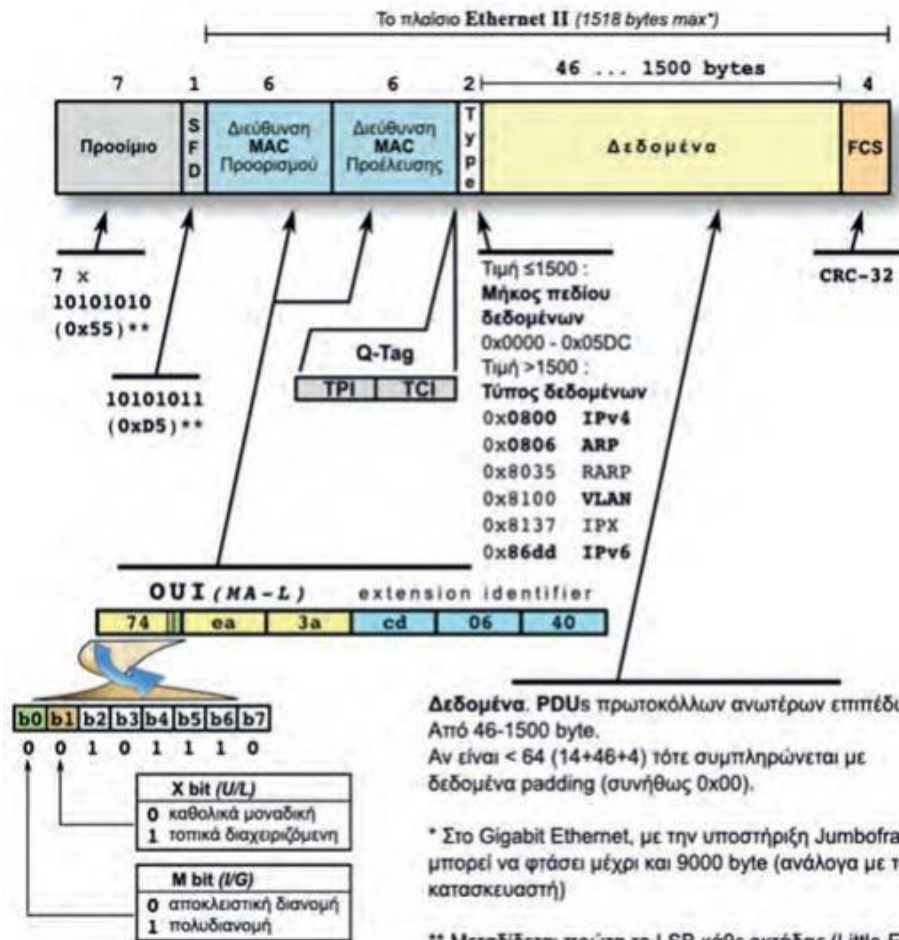
- Διεύθυνση μονοεκπομπής (**unicast**)

- Αντιστοιχίζεται σε μια φυσική (ή εικονική) διεπαφή
- Πλαίσιο με αυτή τη διεύθυνση προορισμού αφορά μόνο τον κόμβο που έχει διεπαφή με τη συγκεκριμένη διεύθυνση

# Μη έγκυρα πλαίσια και MTU

- Με βάση το μήκος τους κατηγοριοποιούμε τα μη έγκυρα πλαίσια Ethernet ως εξής
  - **Runt frame:** Το πλαίσιο με μήκος μικρότερο των 64 byte. Αποτέλεσμα τέτοιων πλαισίων είναι ο εντοπισμός συγκρούσεων. Όταν σε half-duplex ένας κόμβος εντοπίσει μετάδοση στο κανάλι Rx, τότε θα διακόψει αμέσως τη μετάδοσή του. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μεταδοθεί ένα πλαίσιο μικρότερο των 64 byte. Αιτίες: χαλασμένη NIC και duplex mismatch
  - **Baby giant frame:** Το πλαίσιο με μήκος ωφέλιμων δεδομένων παραπάνω από 1500 και μέχρι 1600 byte
  - **Jumbo frame:** Το πλαίσιο με μήκος ωφέλιμων δεδομένων μέχρι 9000 byte.
- Στο Ethernet ορίζεται το Maximum Transport Unit (MTU), το μεγαλύτερο frame που μπορεί να ληφθεί και να δεχθεί επεξεργασία, στα 1500 byte.

# Δομή πλαισίου και διεύθυνσης MAC στο Ethernet





# Συσκευές στο L2 και ορολογία

---

# Γέφυρα (Bridge)

- Είναι η συσκευή που δημιουργεί ένα νέο δίκτυο, διασυνδέοντας πολλαπλά network segment
- Η γέφυρα δεν κάνει τα network segment ένα, αλλά επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ αυτών σε L2
- Η επικοινωνία είναι σαν να βρίσκονταν οι συσκευές στο ίδιο καλώδιο, απλώς απαλλάσσονται από ενδεχόμενο σύγκρουσης
- Η γέφυρα μπορεί να φιλτράρει πλαίσια αν χρειαστεί
- Η γέφυρα μπορεί να διασυνδέσει δίκτυα στο ίδιο ή σε διαφορετικό μέσο μετάδοσης (fibre/twisted, twisted/wireless)



# Γέφυρα πολλαπλών θυρών (Μεταγωγέας/Switch)

- Ο μεταγωγέας διασυνδέει πολλά network segment μεταξύ τους
- Κάθε κόμβος τοποθετείται σε διαφορετικό segment, το οποίο αποτελείται μόνο από τον κόμβο και τη θύρα του μεταγωγέα
  - Σε λειτουργία half-duplex, κάθε θύρα μεταγωγέα είναι και ένα collision domain
  - Σε λειτουργία full-duplex απαλείφονται τα collision domain
- Ο μεταγωγέας στέλνει (μετάγει) ένα πλαίσιο στην κατάλληλη θύρα ώστε να φτάσει στον προορισμό του



# Ο πίνακας MAC

- Πλεονέκτημα του μεταγωγέα είναι ότι γνωρίζει προς ποια θύρα να προωθήσει ένα πλαίσιο, ώστε αυτό να φτάσει στον προορισμό του
- Για να επιλέξει ο μεταγωγέας την κατάλληλη θύρα εξόδου ενός εισερχόμενου πλαισίου, συμπληρώνει τον πίνακα MAC
- Κάθε καταχώριση του πίνακα MAC αποτελείται τουλάχιστον από μια διεύθυνση MAC και τη θύρα του μεταγωγέα, πίσω από την οποία βρίσκεται η εν λόγω διεύθυνση
- Ο μεταγωγέας συμβουλεύεται τον πίνακα MAC για κάθε πλαίσιο που λαμβάνει, ώστε να το προωθήσει στην κατάλληλη θύρα

# Ο πίνακας MAC

- Για να προωθήσει ένα πλαίσιο, ο μεταγωγέας εξετάζει τη διεύθυνση προορισμού του πλαισίου
- Στις περιπτώσεις που:
  - Η διεύθυνση προορισμού δεν υπάρχει στον πίνακα MAC
  - Η διεύθυνση είναι τύπου ευρυεκπομπής ή πολυδιανομής

Ο μεταγωγέας προωθεί το πλαίσιο από όλες τις θύρες, εκτός από αυτή από την οποία το έλαβε (flooding)

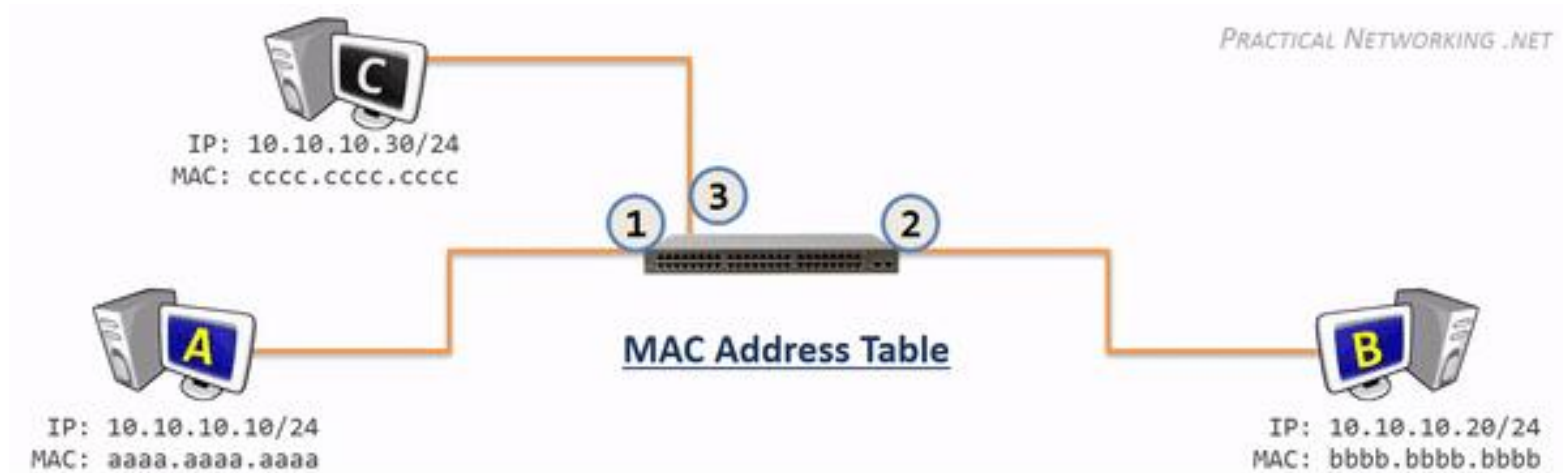
# Ο πίνακας MAC

- Ο πίνακας «χτίζεται» παρατηρώντας δυο πράγματα
  - Τη διεύθυνση MAC πηγής ενός εισερχόμενου πλαισίου
  - Τη θύρα από την οποία εισήλθε το πλαίσιο
- Κρατώντας αυτές τις δυο πληροφορίες, ο μεταγωγέας γνωρίζει τη θύρα από την οποία θα «βγάλει» ένα πλαίσιο.

```
Switch>en
Switch#show mac address-table
      Mac Address Table
-----
Vlan    Mac Address      Type      Ports
----    -
20      001b.10a0.2500    DYNAMIC   Gi1/0
20      001b.10ae.7d00    DYNAMIC   Gi0/0
30      001b.108c.8700    DYNAMIC   Gi1/2
30      001b.10ae.7d00    DYNAMIC   Gi0/0
30      0050.7966.6803    DYNAMIC   Gi1/1
Total Mac Addresses for this criterion: 5
Switch#
```

# Παράδειγμα πίνακα MAC

(gif)



# Τομέας ευρυεκπομπής (Broadcast domain)

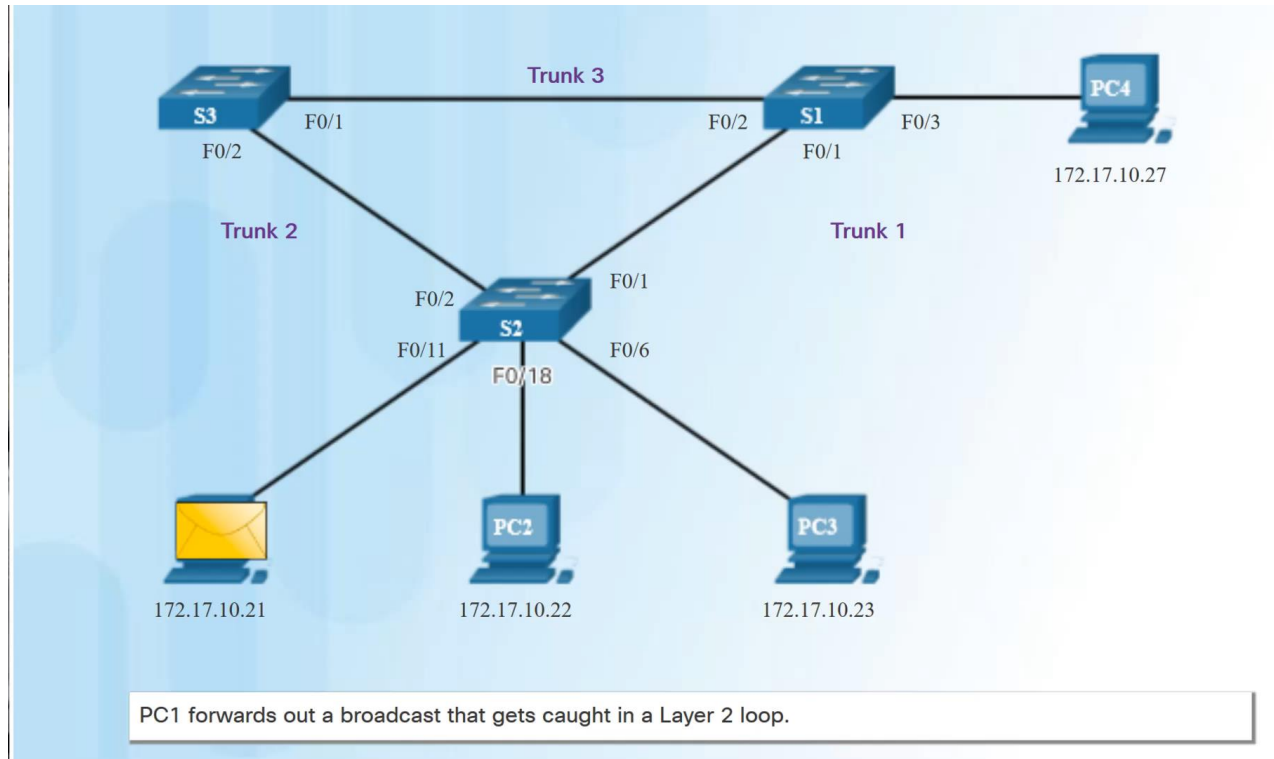
- Είναι ένας λογικός ορισμός ενός δικτύου, στο οποίο όλοι οι κόμβοι μπορούν να επικοινωνήσουν ο ένας με τον άλλον με χρήση μηνυμάτων ευρυεκπομπής στο L2
- Ο τομέας ευρυεκπομπής μπορεί να καταλαμβάνει μόνο ένα network segment, αλλά κυρίως εκτείνεται σε πολλά network segment, μέσω των διασυνδέσεων που προσφέρει ο μεταγωγέας
- Τα collision domain συνήθως περιλαμβάνονται μέσα σε ένα broadcast domain
- Τα collision domain τα «σπάνε» οι συσκευές L2
- Αντίστοιχα, τα broadcast domain «σπάνε» από συσκευές L3 (router)



# Προβλήματα στα δίκτυα L2

- Όταν ο τομέας ευρυεκπομπής είναι μεγάλος, τότε το δίκτυο επιβαρύνεται από πολλά μηνύματα broadcast. Αυτό θα μπορούσε να οδηγήσει σε κατάρρευση κάποια στιγμή
- Συχνός κίνδυνος σε ένα δίκτυο L2 είναι η δημιουργία βρόχων μεταγωγής (switching loops)
  - Είναι μια δυσάρεστη κατάσταση, κατά την οποία ένα frame ευρυεκπομπής «παγιδεύεται» σε ένα δίκτυο μεταγωγέων
  - Αυτή η κατάσταση είναι επικίνδυνη και μπορεί να καταστρέψει τους μεταγωγείς!
- Το πρωτόκολλο STP είναι ένας τρόπος απαλοιφής των βρόχων
- Το STP (IEEE 802.1D) ξεκινά τη λειτουργία του από τον κάθε μεταγωγέα μιας τοπολογίας, πριν ξεκινήσει η μετάδοση δεδομένων
- Το πρωτόκολλο μπλοκάρει τις πλεονάζουσες θύρες που μπορεί να προκαλέσουν βρόχο

# Παράδειγμα καταιγίδας ευρυεκπομπών



# Τρόποι αντιμετώπισης βρόχων

- Αρχικά, ψάχνουμε στις προδιαγραφές του μεταγωγέα, αν υποστηρίζει κάποια έκδοση του STP
  - Αν υποστηρίζει, τότε φροντίζουμε να είναι ενεργοποιημένο
  - Κάποιες συσκευές μπορεί να μην ενεργοποιούν αυτόματα το STP και να χρειαστεί να το ενεργοποιήσουμε μόνοι μας μέσω ενός διαχειριστικού περιβάλλοντος
- Αν η συσκευή δεν υποστηρίζει STP, τότε πρέπει να είμαστε πολύ προσεκτικοί, ώστε να μην τη συνδέσουμε ταυτόχρονα με δυο μεταγωγείς και προκαλέσουμε βρόχο