

The background features a complex network of thin, light gray lines connecting various points, creating a web-like structure. Scattered throughout are numerous triangles of different sizes and orientations, some solid and some outlined. The overall aesthetic is modern and technical, suggesting a focus on systems or networks.

08

Κατανεμημένα Συστήματα

Επικοινωνία με Μηνύματα

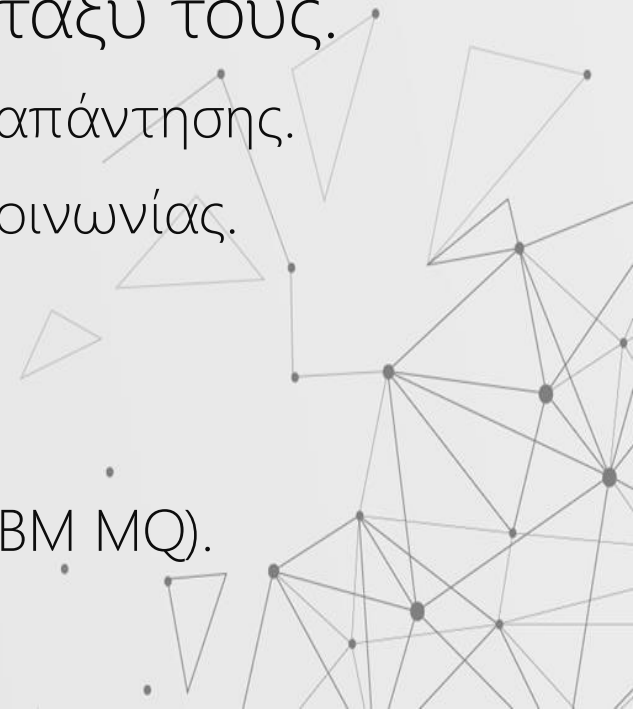


01

ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ ΜΕ
ΜΗΝΥΜΑΤΑ

Επικοινωνία με μηνύματα

- Η επικοινωνία με μηνύματα είναι ο πιο ευέλικτος τρόπος αλληλεπίδρασης σε κατανεμημένα συστήματα.
 - πιο κοντά στις τεχνολογίες δικτύων (μετάδοση πακέτων).
- Σχετικά «χαλαρή» διασύνδεση μεταξύ των διεργασιών που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους.
 - δεν υφίσταται «αυστηρή» σχέση αίτησης-απάντησης.
 - υποστήριξη ασύγχρονης και έμμεσης επικοινωνίας.
- Μεγάλο πεδίο εφαρμογών.
 - υπολογισμοί υψηλών επιδόσεων (MPI).
 - εμπορικές εφαρμογές μεγάλης κλίμακας (IBM MQ).
 - χαλαρές αλληλεπιδράσεις σε IoT (MQTT).



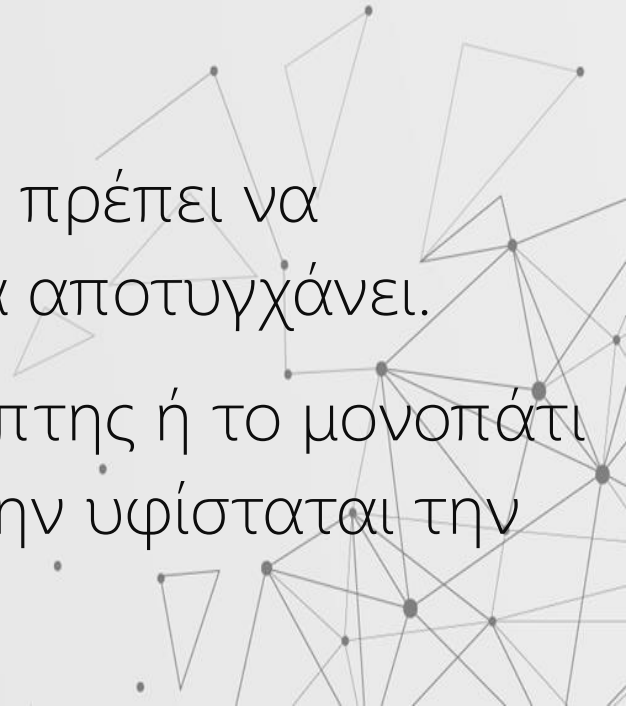
Ενδεικτικό API

- Η έννοια του άκρου επικοινωνίας μπορεί να διαφέρει σημαντικά, ανά περίπτωση, π.χ., να αντιστοιχεί σε κάποια συγκεκριμένη διεύθυνση ή σε κάποιο πιο αφαιρετικό αναγνωριστικό επικοινωνίας.

```
int send_msg(EndPoint dst, char *msg, int  
mlen);
```

```
int recv_msg(EndPoint *src, char **msg, int  
*mlen);
```

Παράδοση/διατήρηση μηνυμάτων

- Εγγυήσεις παράδοσης μηνυμάτων:
 - **Best-effort:** το σύστημα θα προσπαθήσει να επιδώσει το μήνυμα στον παραλήπτη, αλλά μπορεί να αποτύχει.
 - **Guaranteed:** το σύστημα εγγυάται πως το μήνυμα θα επιδοθεί στον παραλήπτη, αν αυτός υφίσταται.
 - Διατήρηση μηνυμάτων:
 - **Παροδική επικοινωνία:** ο παραλήπτης πρέπει να υφίσταται, διαφορετικά η επικοινωνία αποτυγχάνει.
 - **Διατηρούμενη επικοινωνία:** ο παραλήπτης ή το μονοπάτι επικοινωνίας προς αυτόν μπορεί να μην υφίσταται την στιγμή της αποστολής.
- 

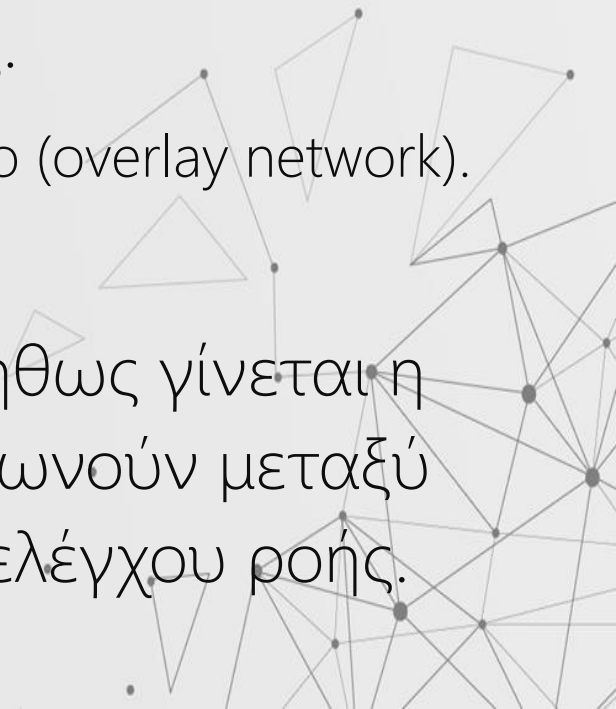
Μπλοκάρισμα αποστολέα

- Ασύγχρονη αποστολή:
 - το μήνυμα αντιγράφεται σε αποθήκη και η εφαρμογή συνεχίζει την εκτέλεση της.
- Ημι-ασύγχρονη αποστολή:
 - μπλοκάρισμα εφαρμογής μέχρι το μήνυμα να σταλεί πάνω από το δίκτυο (να παραδοθεί στην υπηρεσία δικτύου) .
- Ημι-σύγχρονη αποστολή:
 - η εφαρμογή μπλοκάρεται μέχρι το μήνυμα να αποθηκευτεί στην πλευρά του παραλήπτη.
 - χωρίς αυτό να επιδοθεί στον παραλήπτη.
- Σύγχρονη αποστολή:
 - η εφαρμογή μπλοκάρεται μέχρι το μήνυμα να επιδοθεί στον παραλήπτη.



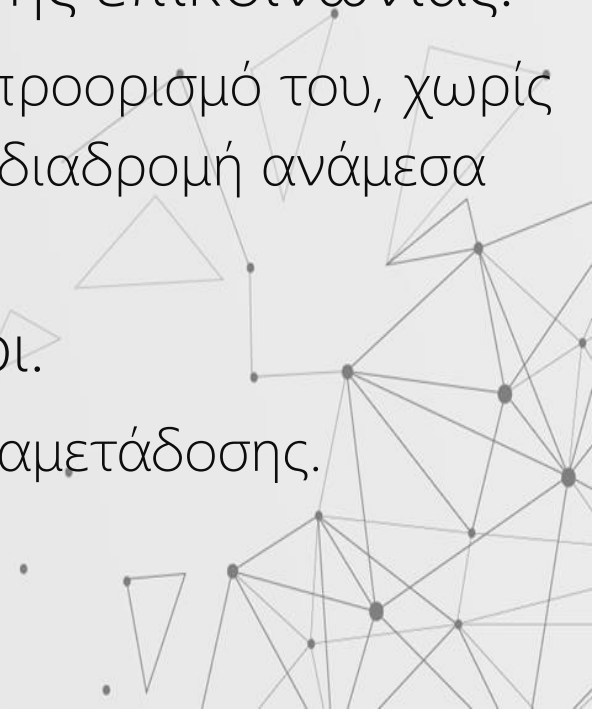
Ενδιάμεση αποθήκευση μηνυμάτων

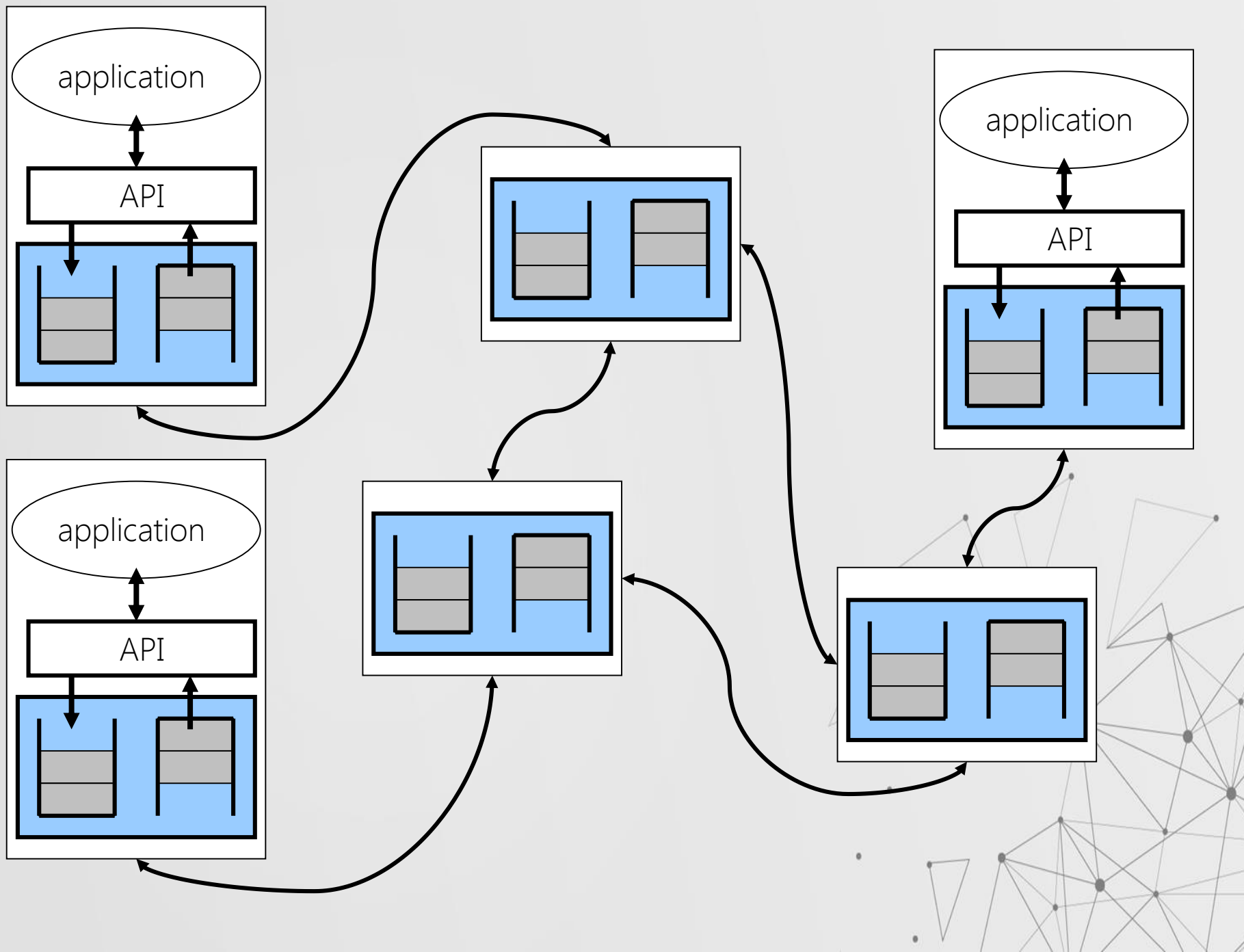
- Πλευρά αποστολέα.
 - αποφυγή μπλοκαρίσματος εφαρμογής.
 - μαζική αποστολή/μετάδοση μηνυμάτων.
- Πλευρά παραλήπτη.
 - απεμπλοκή αποστολής/παραλαβής.
- Ενδιάμεσοι αναμεταδότες/διακομιστές.
 - ένα «υπερ-δίκτυο» πάνω από το διαδίκτυο (overlay network).
 - πότε έχει νόημα κάτι τέτοιο;
- Οι αποθήκες είναι πεπερασμένες: συνήθως γίνεται η υπόθεση ότι οι διεργασίες που επικοινωνούν μεταξύ τους υλοποιούν δικό τους μηχανισμό ελέγχου ροής.

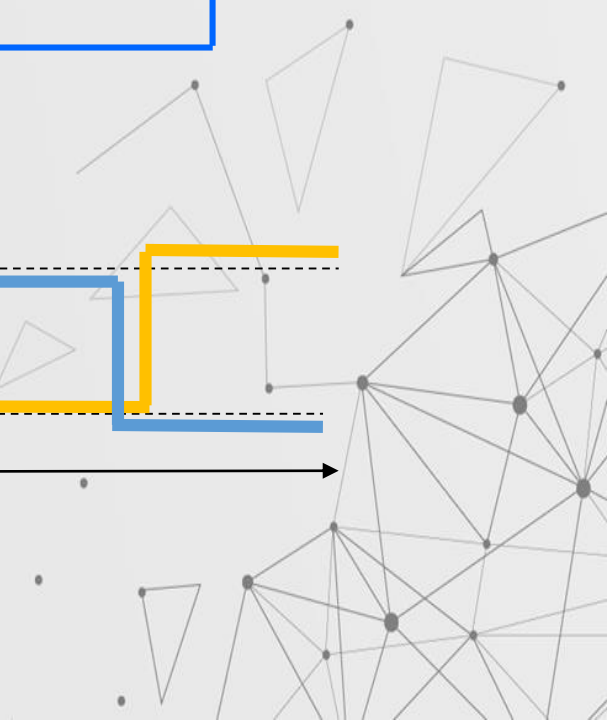
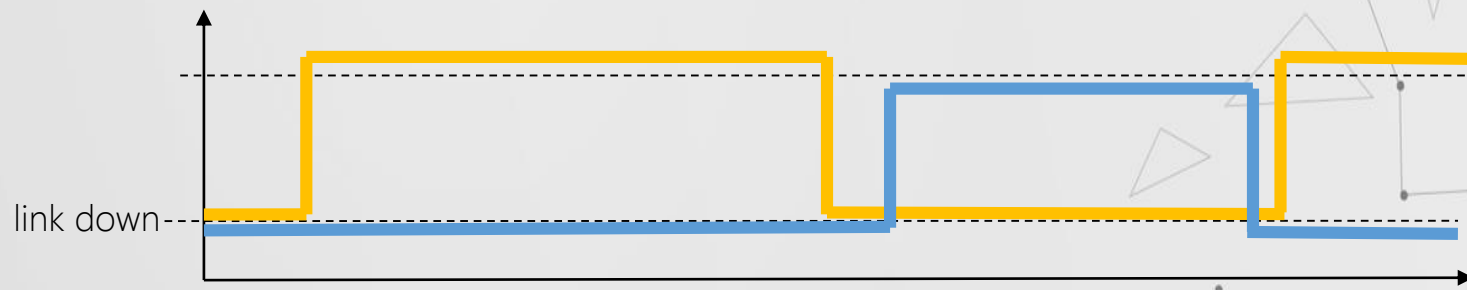
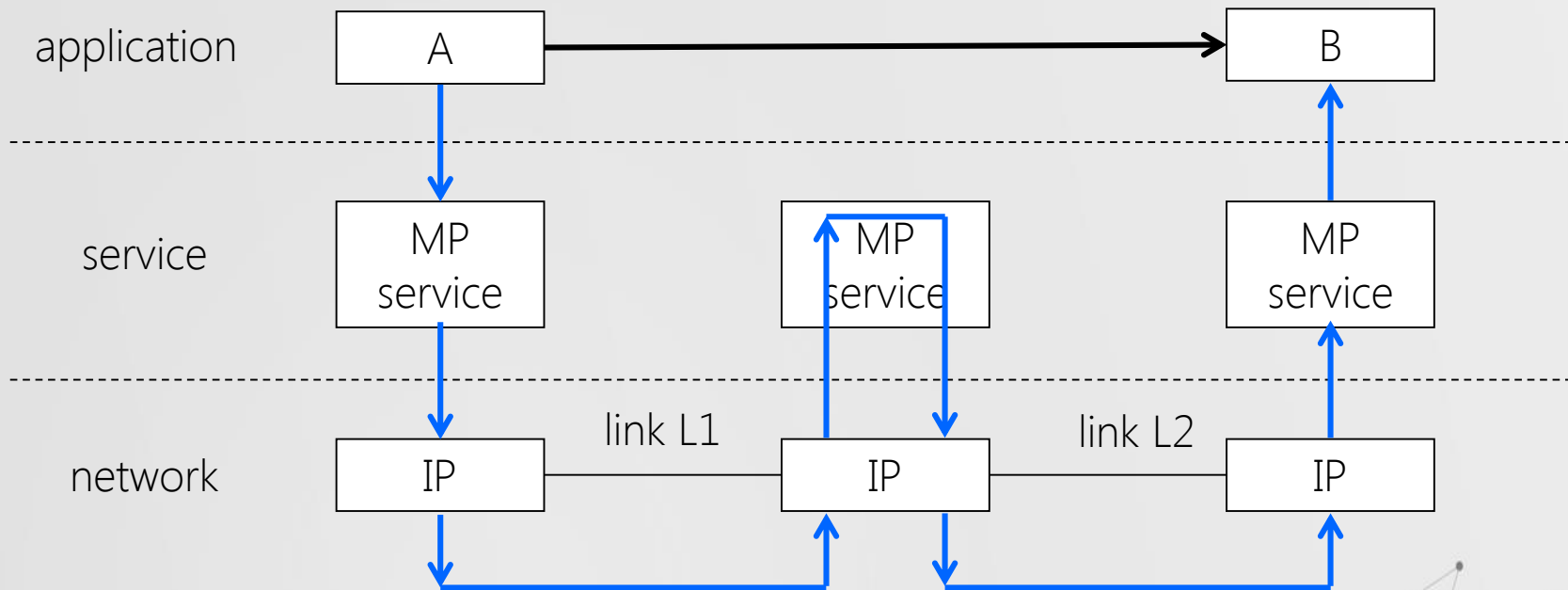


Δίκτυο διακομιστών/αναμεταδοτών

- Η μετάδοση των μηνυμάτων από τον αποστολέα προς τον παραλήπτη μπορεί να γίνει μέσω ενός δικτύου ενδιάμεσων διακομιστών.
 - ένα υπερ-δίκτυο, πάνω από το διαδίκτυο.
- Η ύπαρξη διακομιστών είναι χρήσιμη για καλύτερη κλιμάκωση και υλοποίηση διατηρούμενης επικοινωνίας.
 - ένα μήνυμα μπορεί να ταξιδέψει προς τον προορισμό του, χωρίς ποτέ να είναι συνεχώς διαθέσιμη η πλήρης διαδρομή ανάμεσα στον αποστολέα και στον παραλήπτη.
- Η διαχείριση γίνεται συνήθως με το χέρι.
 - εγκατάσταση μηχανημάτων/διεργασιών αναμετάδοσης.
 - τήρηση πινάκων δρομολόγησης.

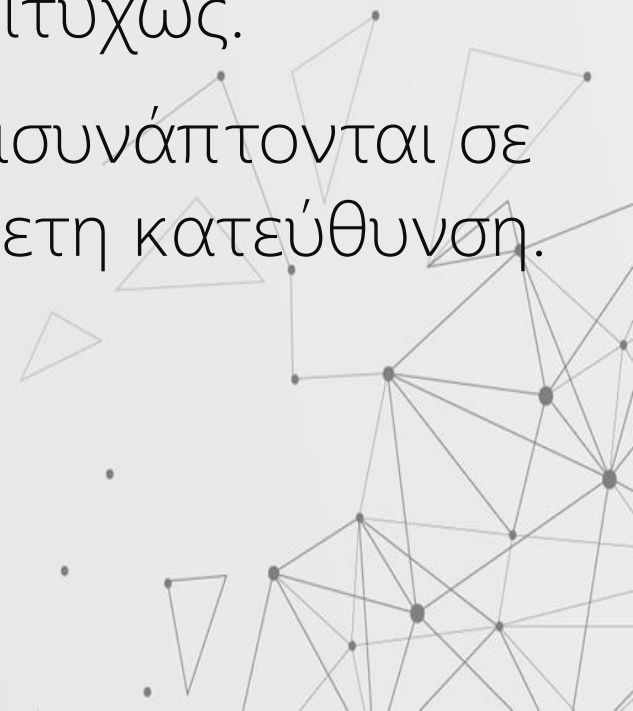




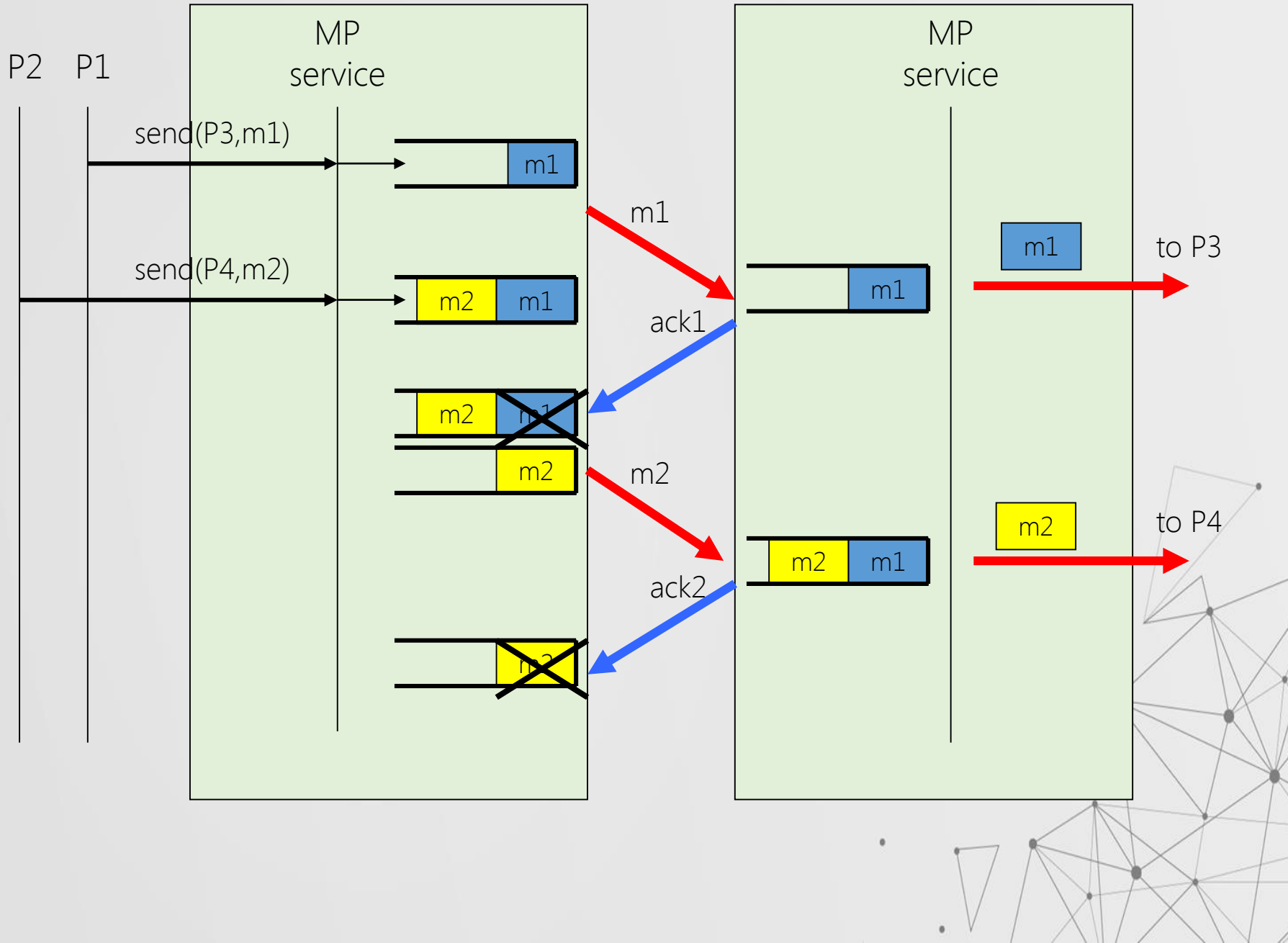


Πρωτόκολλο μετάδοσης μηνυμάτων

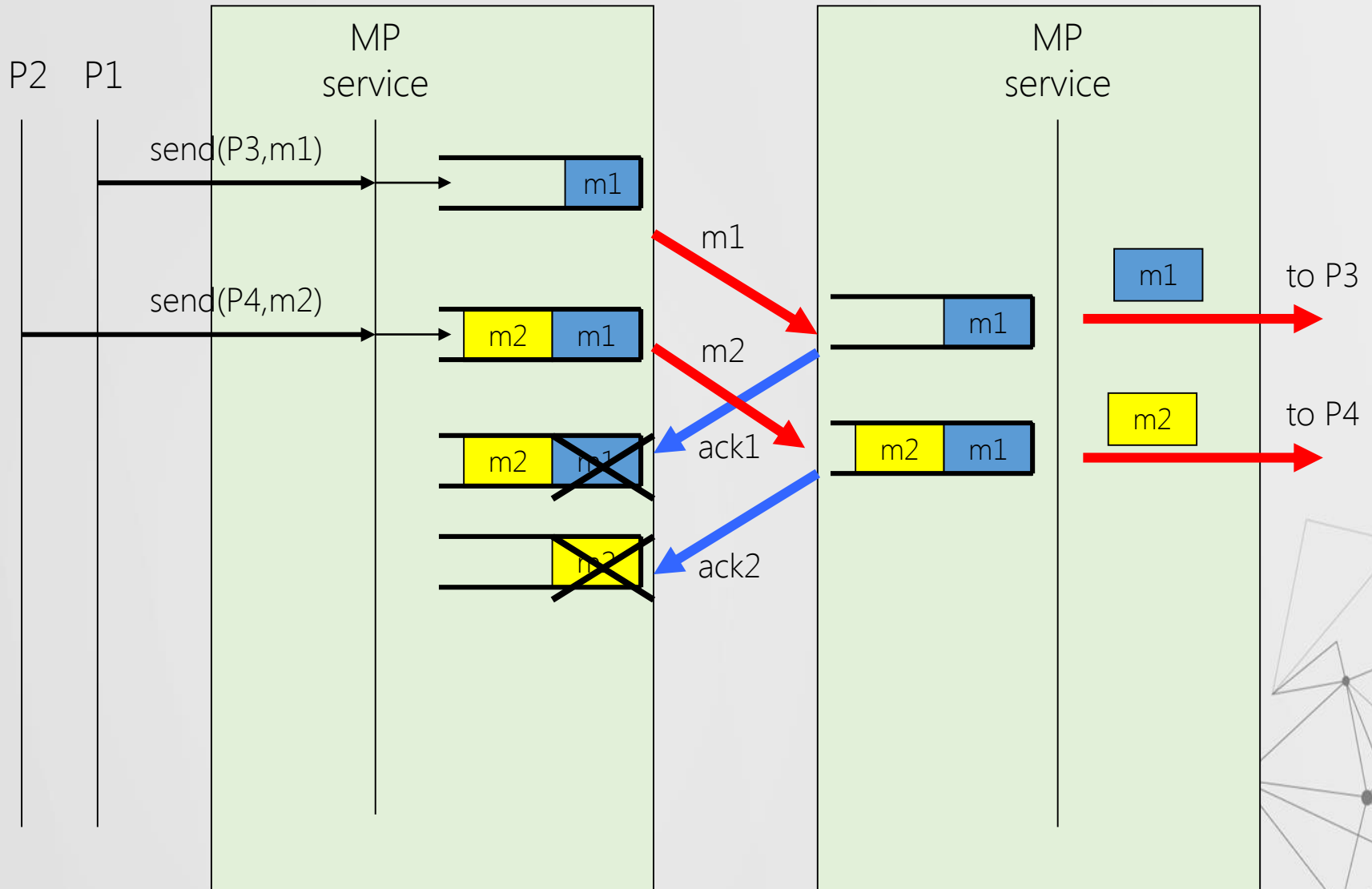
- **Stop & Wait:** το επόμενο μήνυμα στέλνεται μόνο αφού επιβεβαιωθεί η παραλαβή του προηγούμενου.
- **Send-Ack:** το επόμενο μήνυμα στέλνεται χωρίς αναμονή, αλλά η άλλη πλευρά πρέπει να στέλνει ξεχωριστές (μαζικές) επιβεβαιώσεις για τα μηνύματα που παρέλαβε (και αποθήκευσε) επιτυχώς.
- **Ack-Piggybacking:** επιβεβαιώσεις επισυνάπτονται σε μηνύματα που στέλνονται σε αντίθετη κατεύθυνση.
- Βασικό πρωτόκολλο μεταφοράς.
 - Διαφανές για την εφαρμογή.
 - π.χ., UDP ή TCP ...



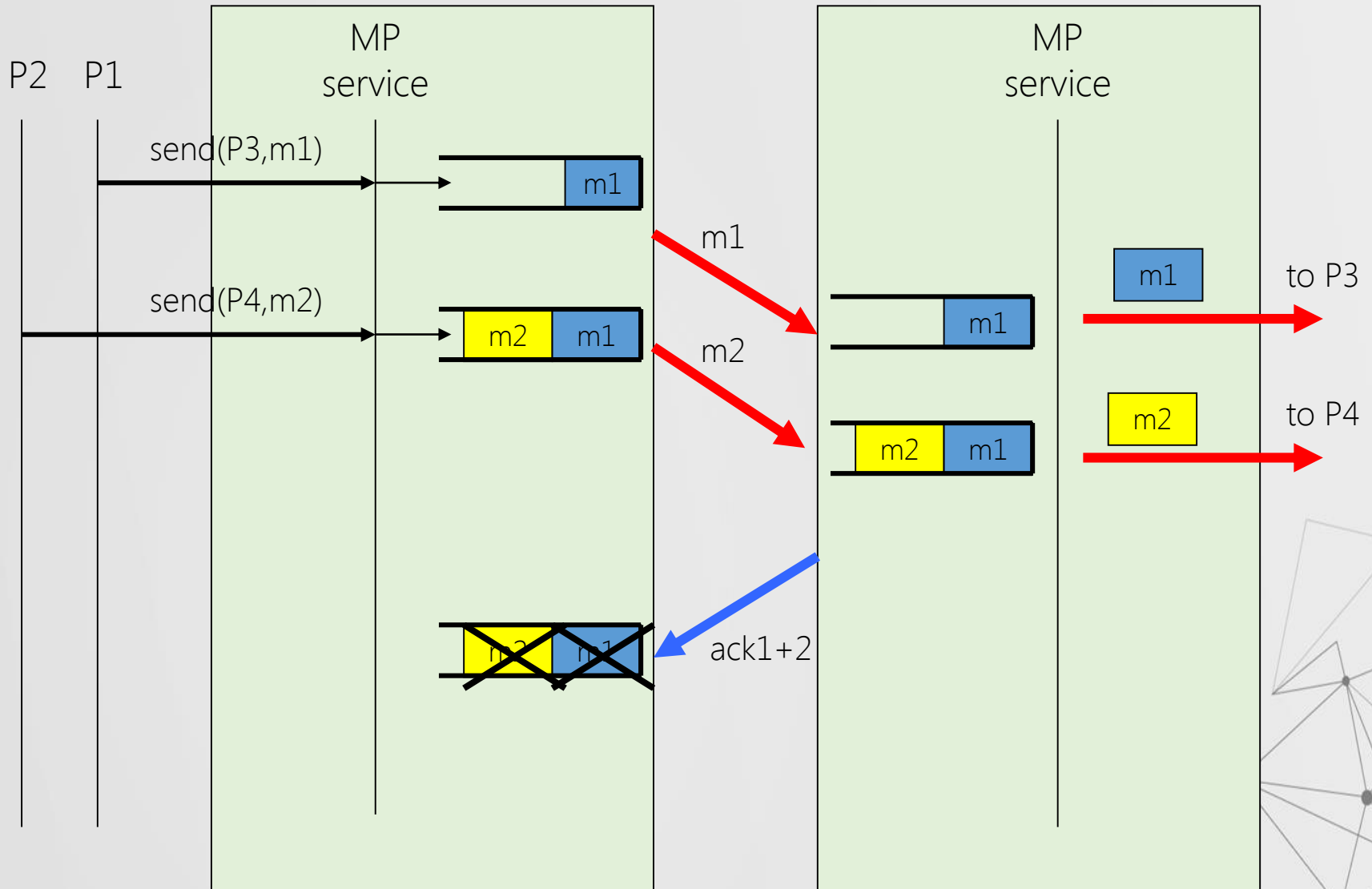
Stop & Wait



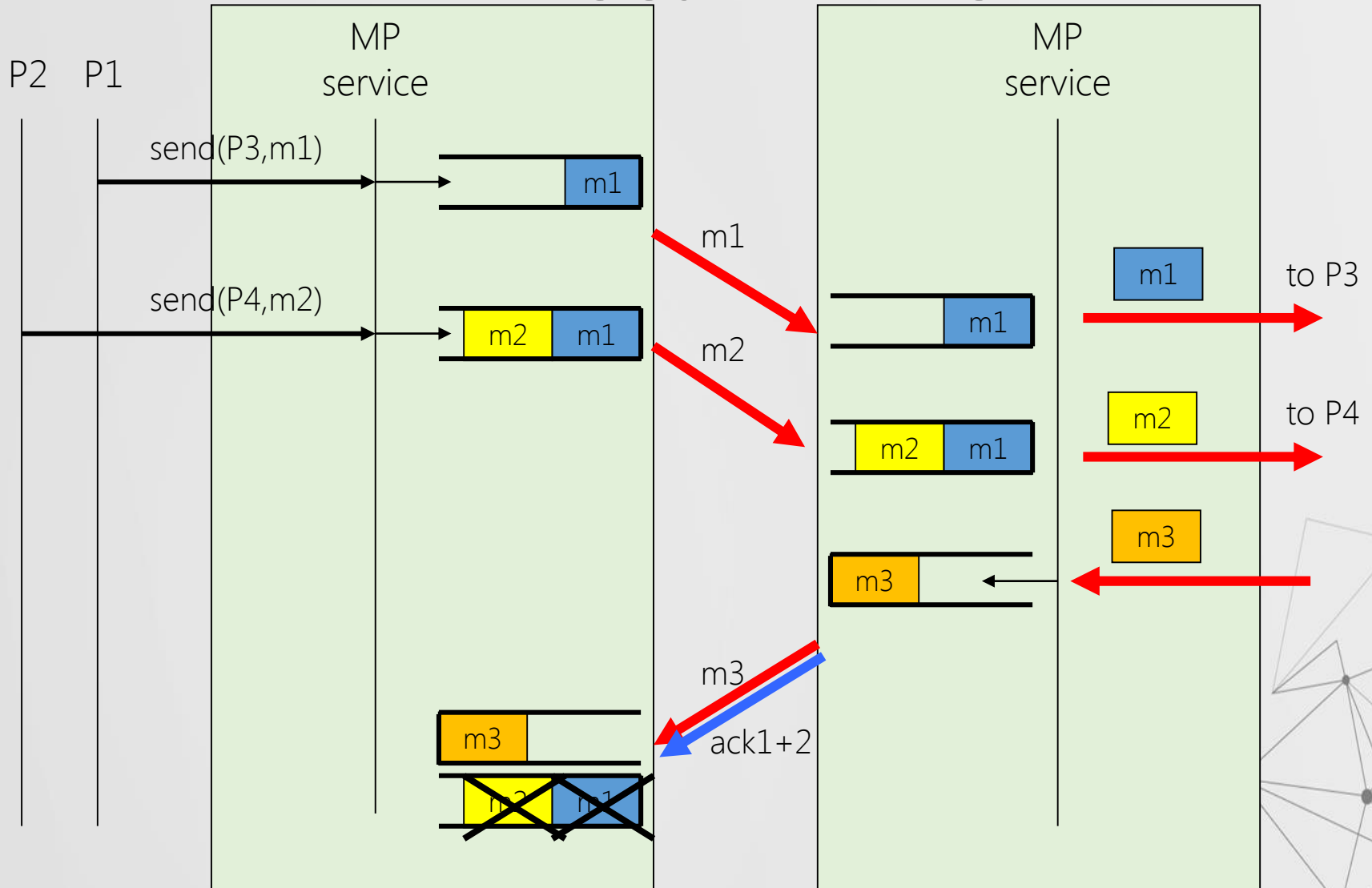
Send-Ack



Send-Ack (2)



Ack-Piggybacking

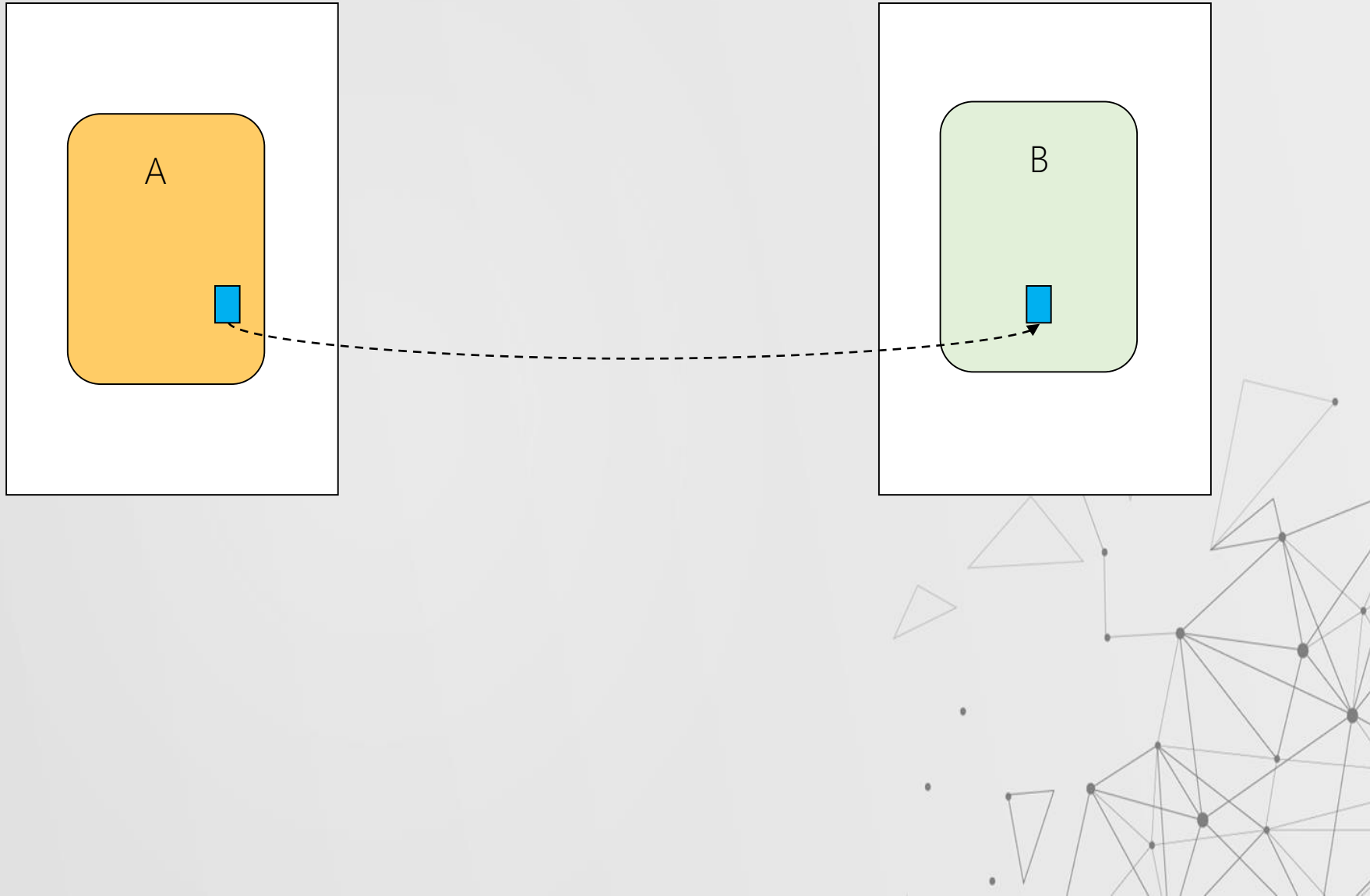


Παροδικά άκρα/στοιχεία επικοινωνίας

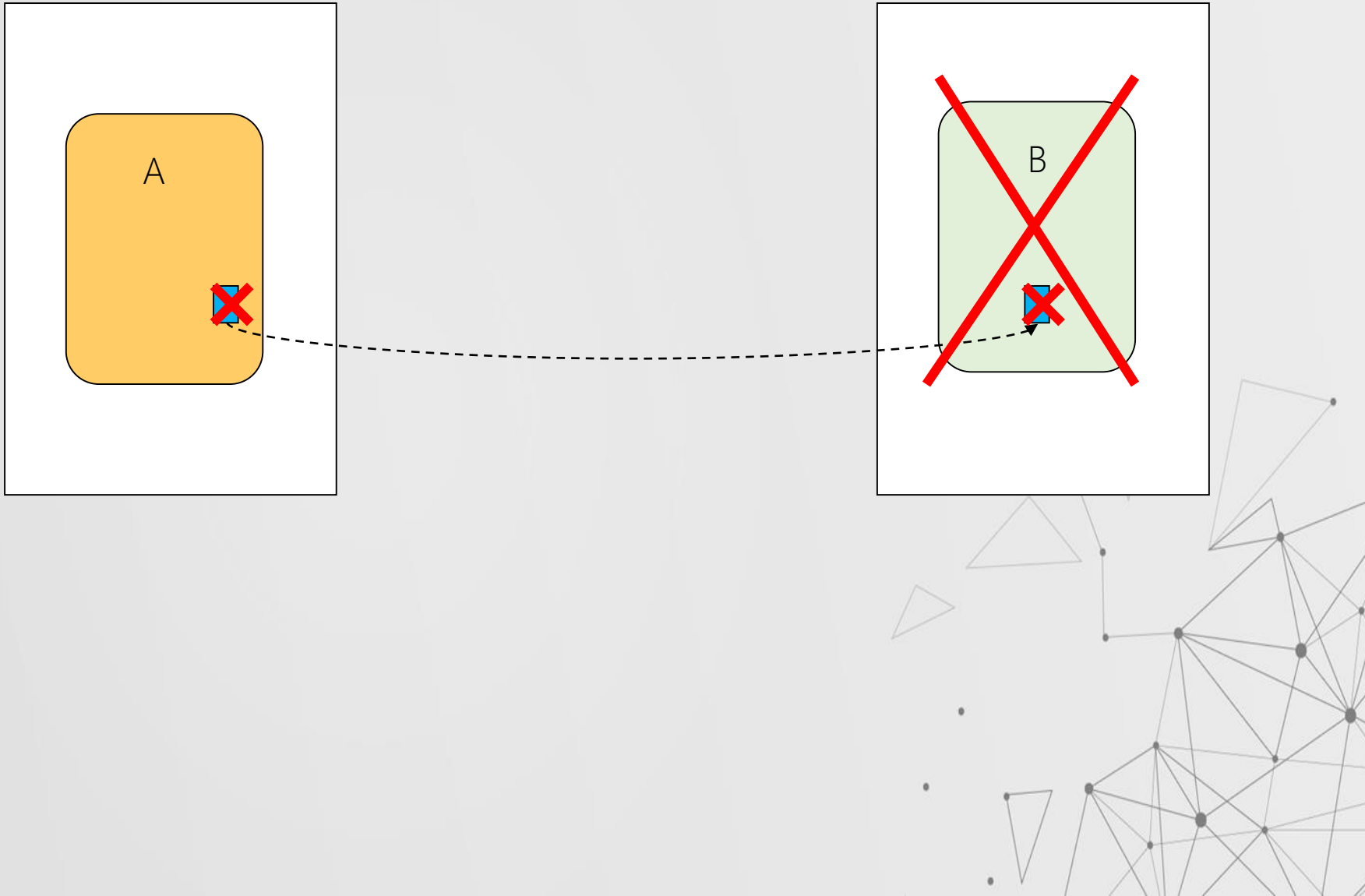
- Τα άκρα/στοιχεία επικοινωνίας είναι προσωρινά.
- Στενά συσχετισμένα με την ζωή των διεργασιών που τα δημιουργούν.
- Αν η διεργασία τερματιστεί, το άκρο επικοινωνίας χάνει την ισχύ του, και η όποια περαιτέρω απόπειρα επικοινωνίας με αυτό αποτυγχάνει.
- Παράδειγμα: UDP/IP sockets/ports.



Παροδικά άκρα/στοιχεία επικοινωνίας



Παροδικά άκρα/στοιχεία επικοινωνίας

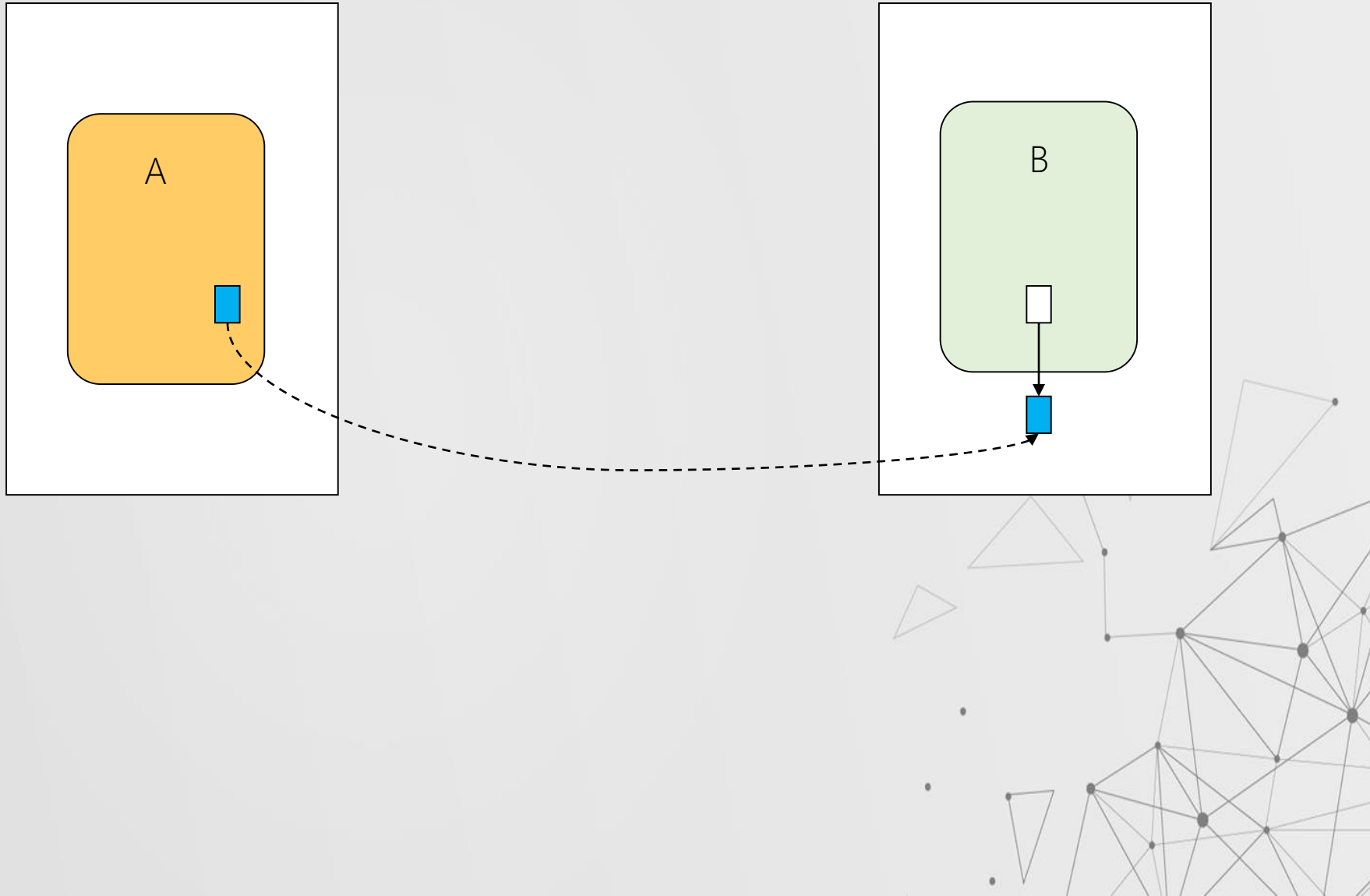


Μόνιμα άκρα/στοιχεία επικοινωνίας

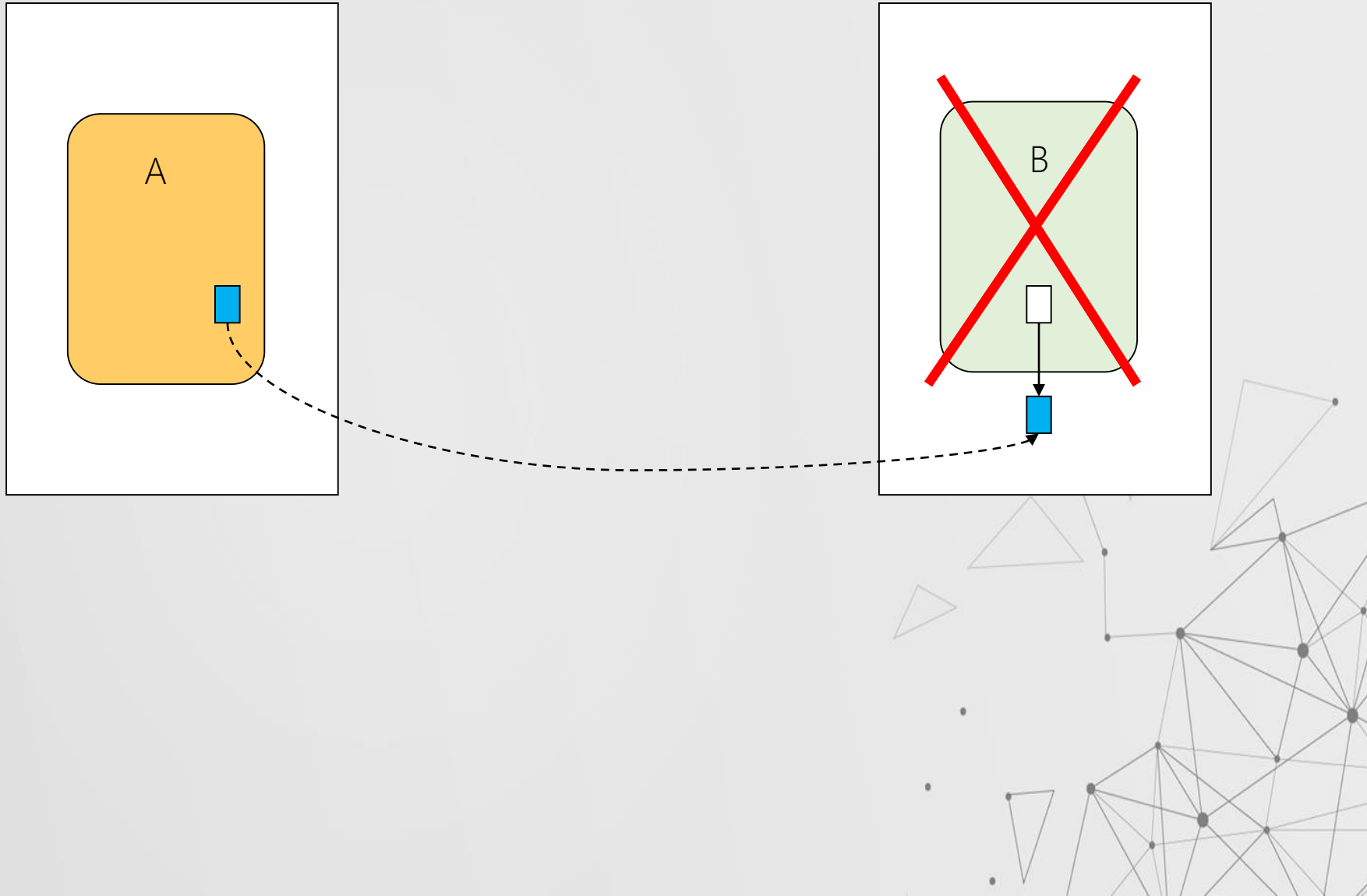
- Τα άκρα/στοιχεία επικοινωνίας είναι μόνιμα.
- Δεν είναι στενά συσχετισμένα με την ζωή των διεργασιών που τα δημιουργήσαν.
- Αν η διεργασία τερματιστεί, το άκρο επικοινωνίας εξακολουθεί να ισχύει, και μπορεί να χρησιμοποιηθεί από άλλες διεργασίες.
- Παράδειγμα: mailboxes.



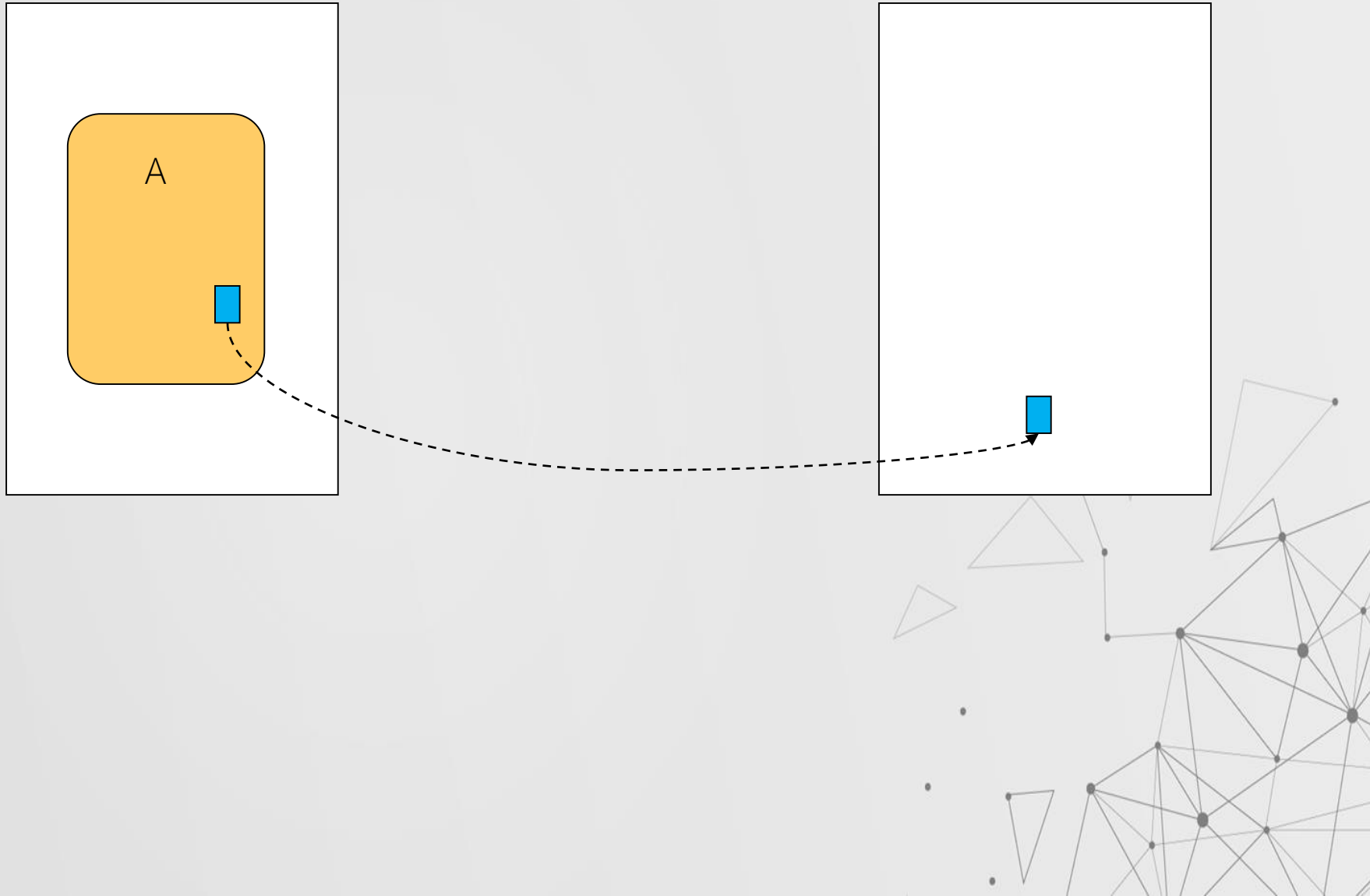
Μόνιμα άκρα/στοιχεία επικοινωνίας



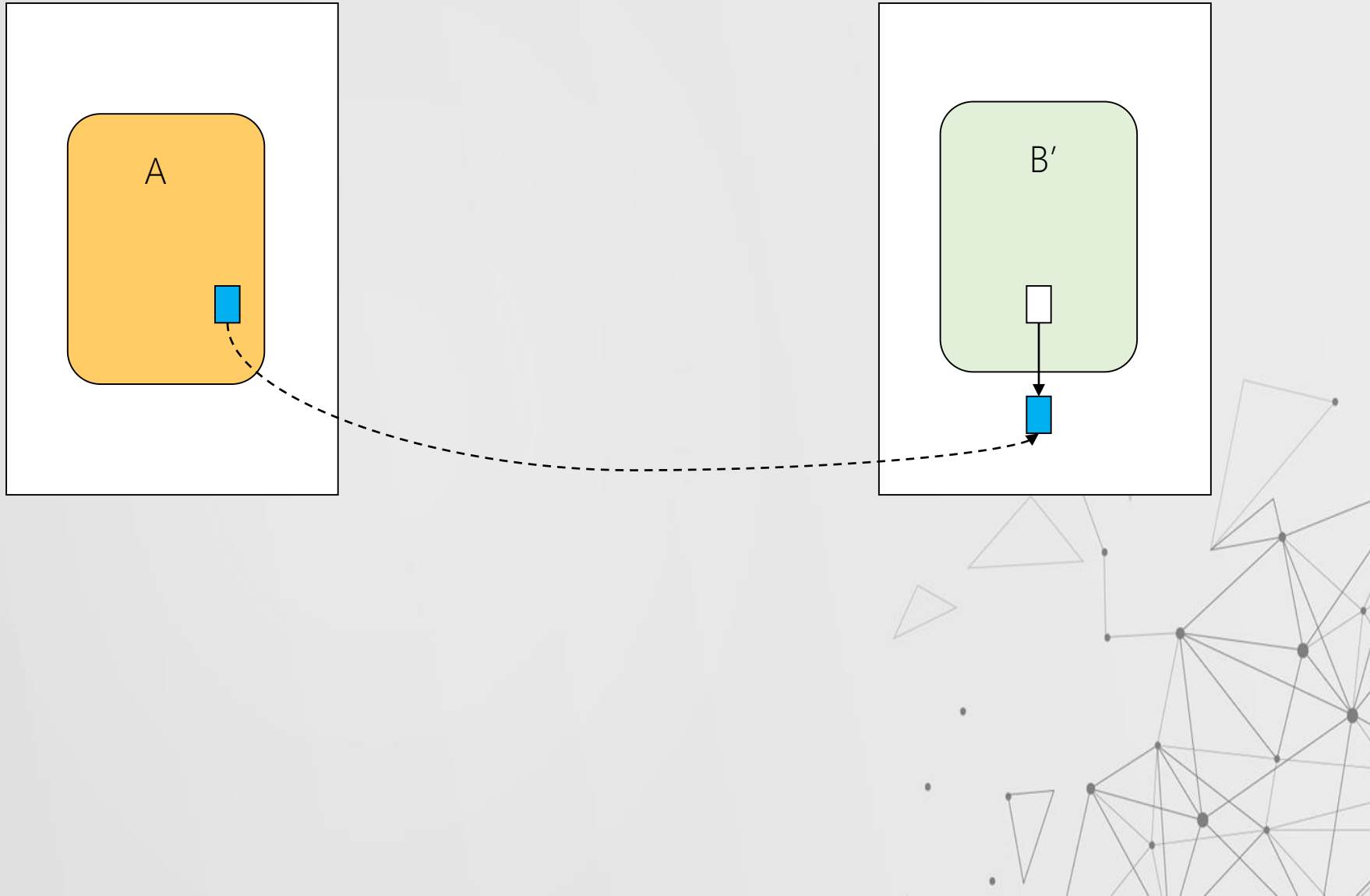
Μόνιμα άκρα/στοιχεία επικοινωνίας



Μόνιμα άκρα/στοιχεία επικοινωνίας

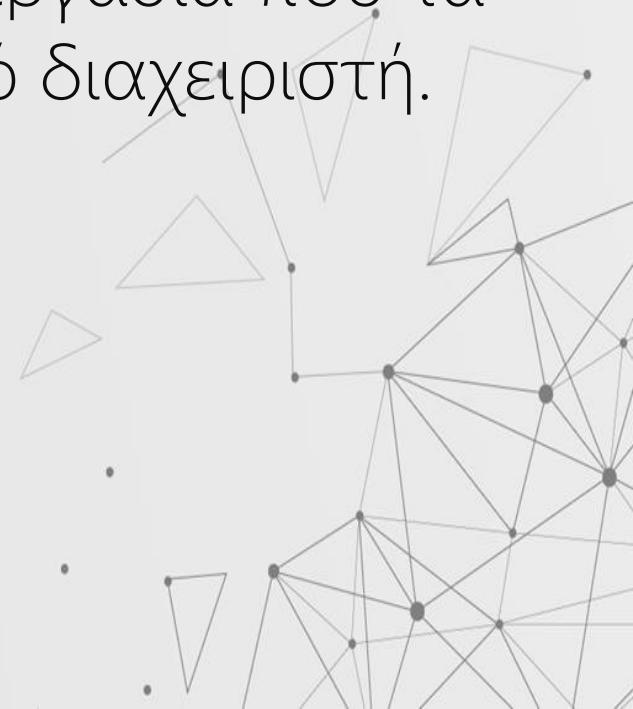


Μόνιμα άκρα/στοιχεία επικοινωνίας



Διαχείριση άκρων επικοινωνίας

- Τα μόνιμα άκρα/στοιχεία επικοινωνίας απαιτούν αντίστοιχη διαχείριση.
- Κάποιος πρέπει να τα δημιουργήσει/εκδώσει.
- Κάποιος πρέπει να τα καταστρέψει/ακυρώσει.
- Αυτό μπορεί να γίνεται από την διεργασία που τα χρησιμοποιεί ή από έναν ξεχωριστό διαχειριστή.



02

ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ $1 \rightarrow N$

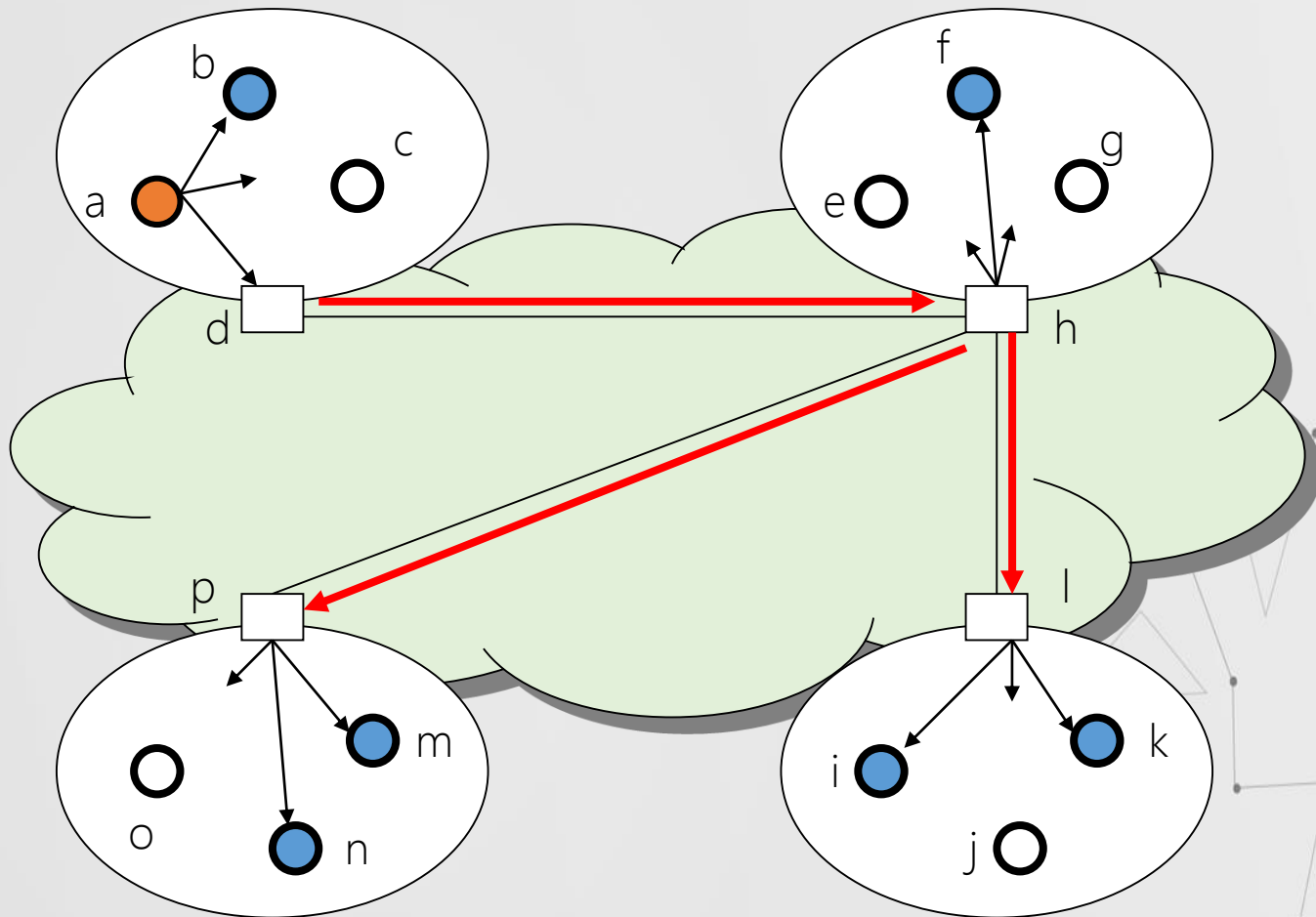


Υποστήριξη επικοινωνίας $1 \rightarrow N$

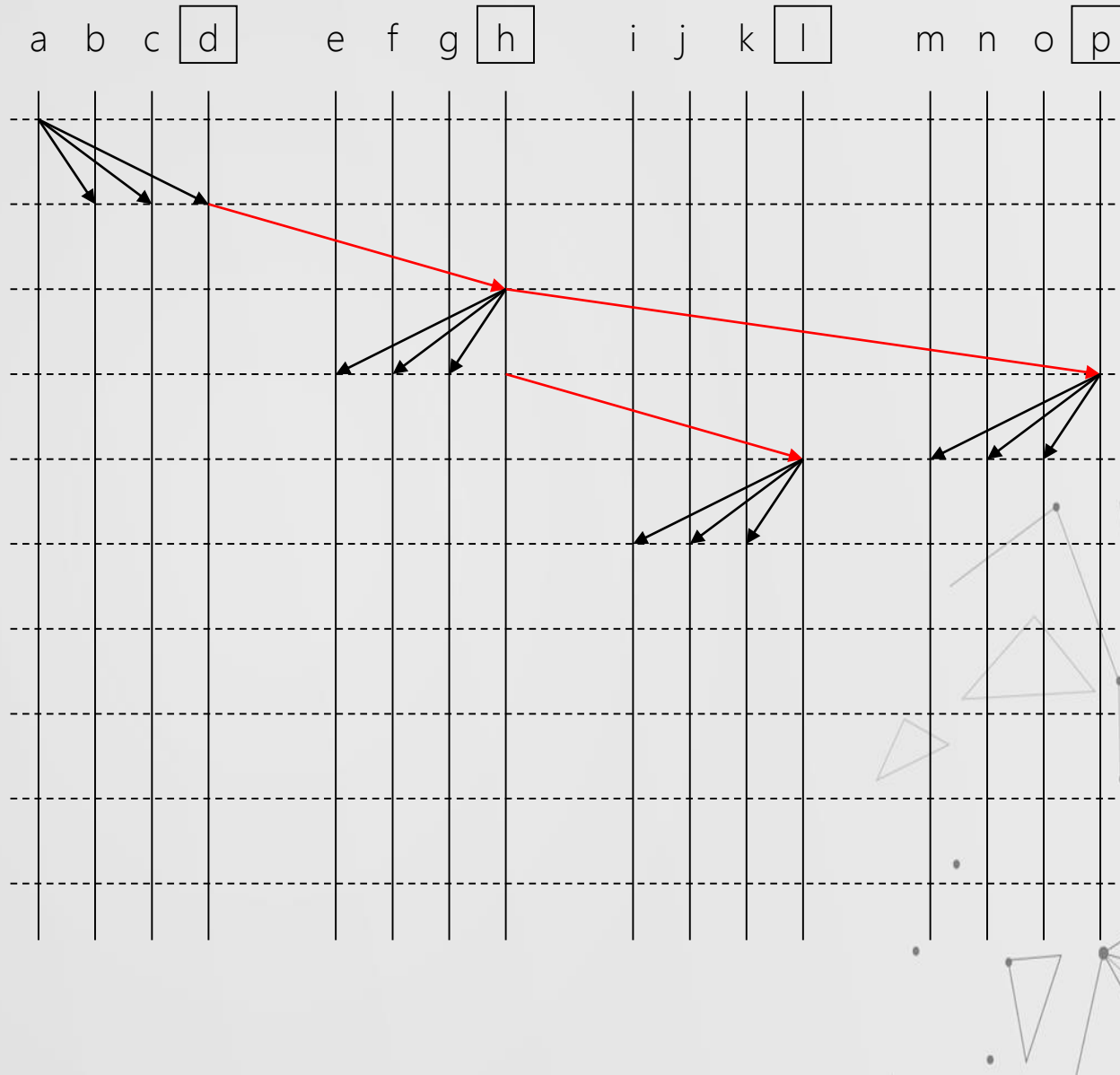
- Φυσική πολυεκπομπή.
 - το δίκτυο υποστηρίζει broadcasting/multicasting.
 - επίπεδο τοπικού δικτύου/διαδικτύου (με δρομολόγηση).
- Επανειλημμένη αποστολή από την εφαρμογή
 - το μήνυμα στέλνεται σε κάθε διεργασία ξεχωριστά.
- Δρομολόγηση σε επίπεδο εφαρμογής
 - οργάνωση των διεργασιών σε υπερδίκτυο (overlay), και δρομολόγηση σε επίπεδο εφαρμογής.



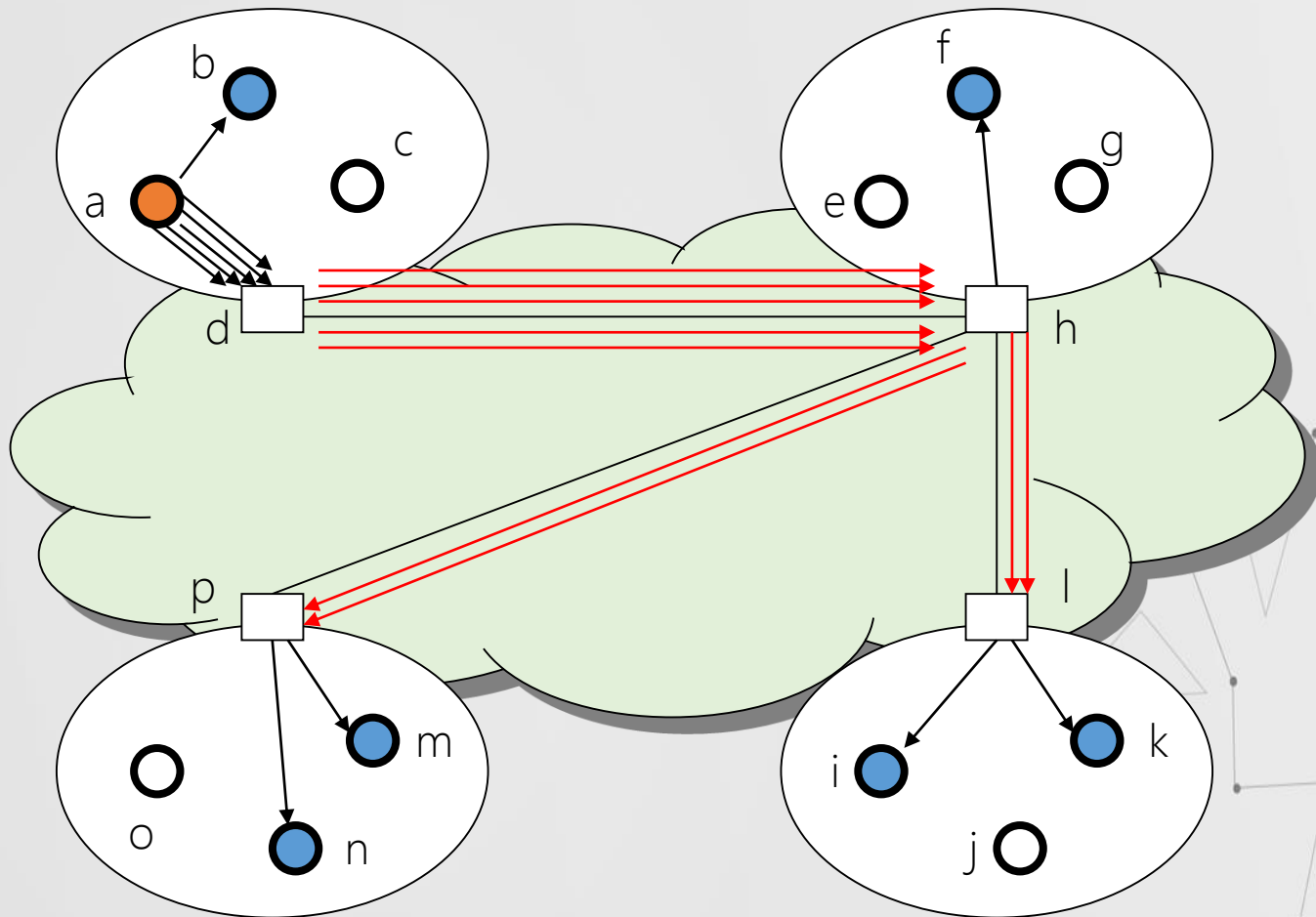
Φυσική πολυεκπομπή



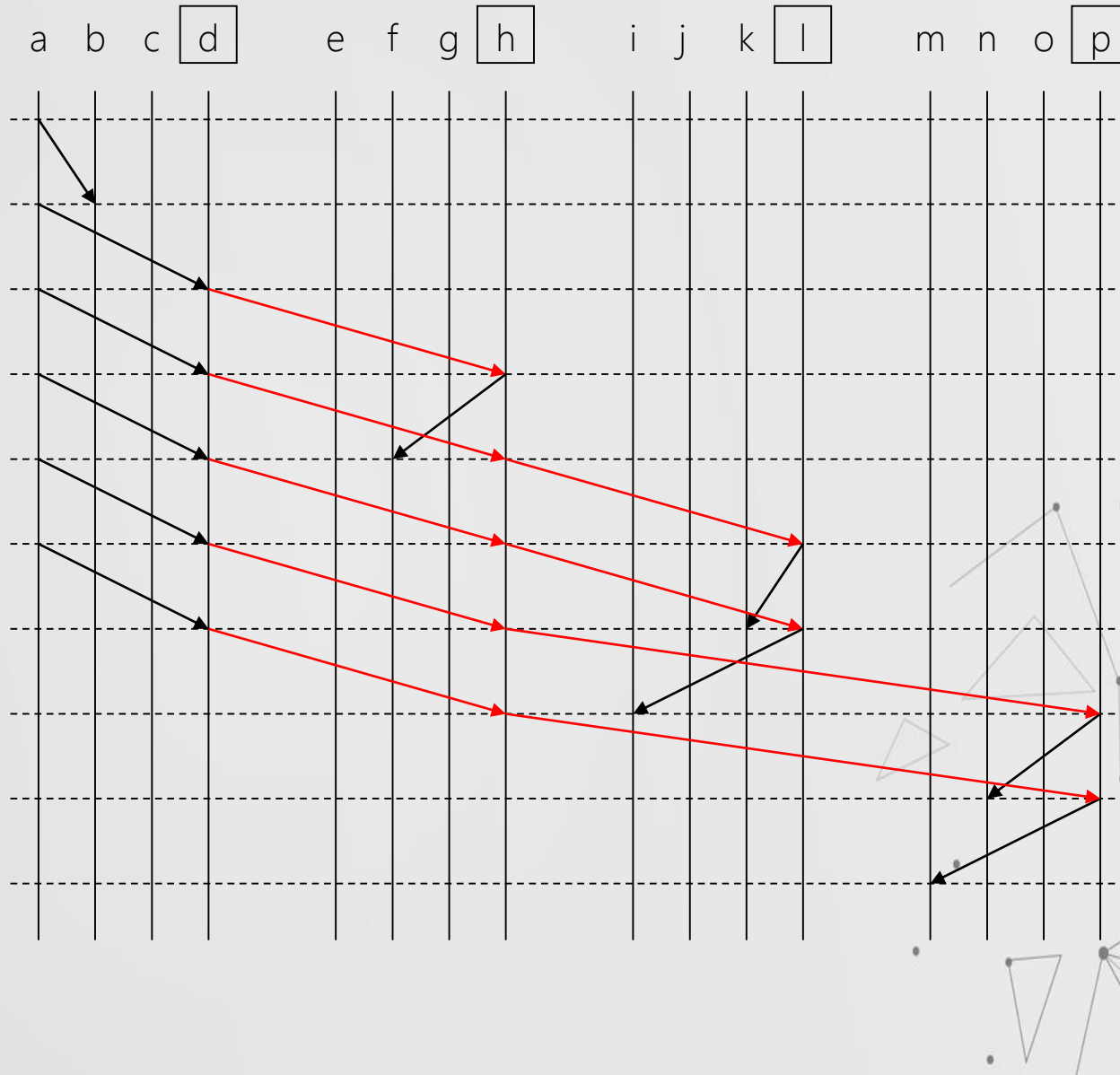
Φυσική πολυεκπομπή



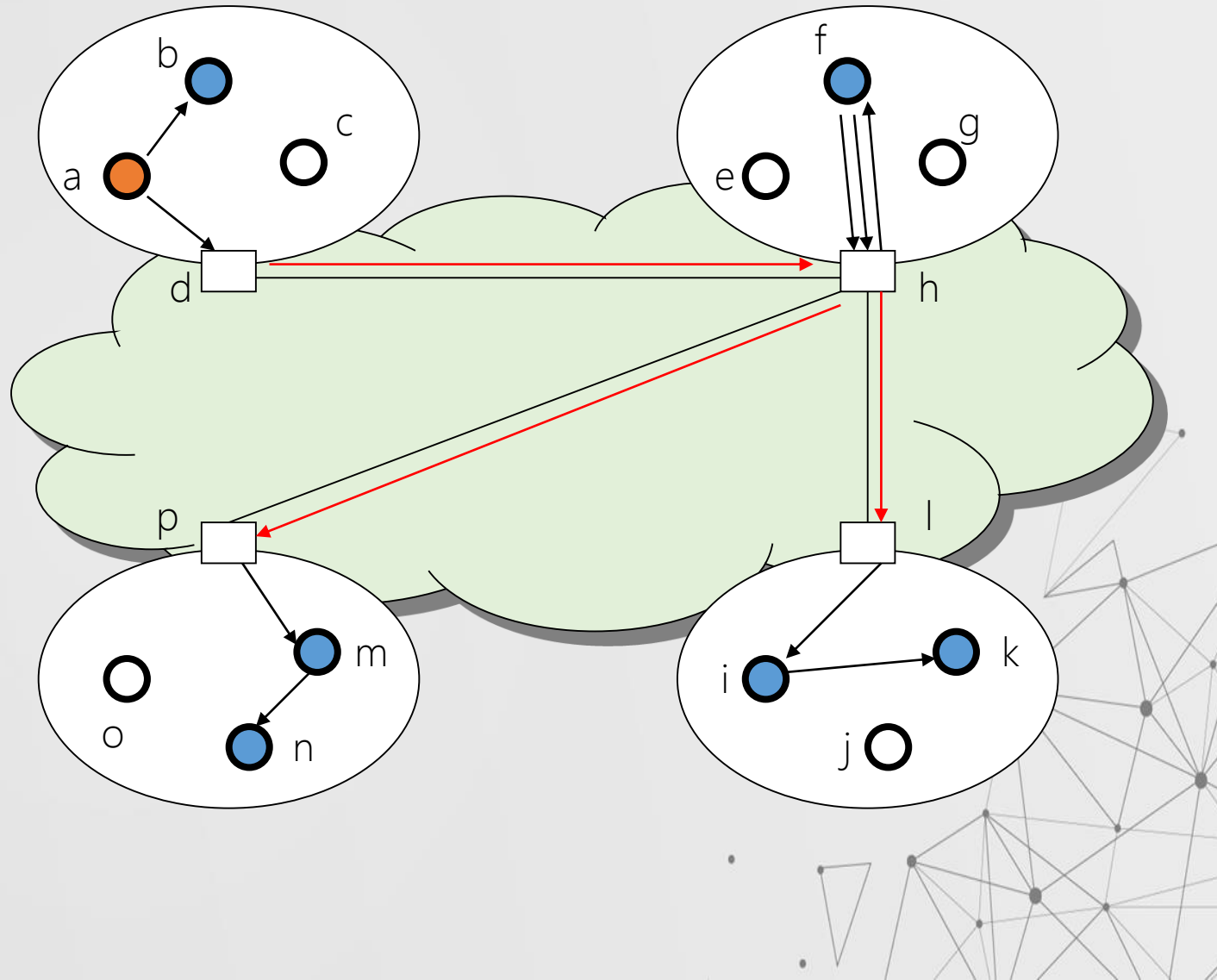
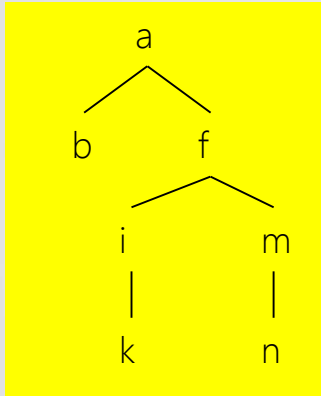
Επανειλημμένη αποστολή



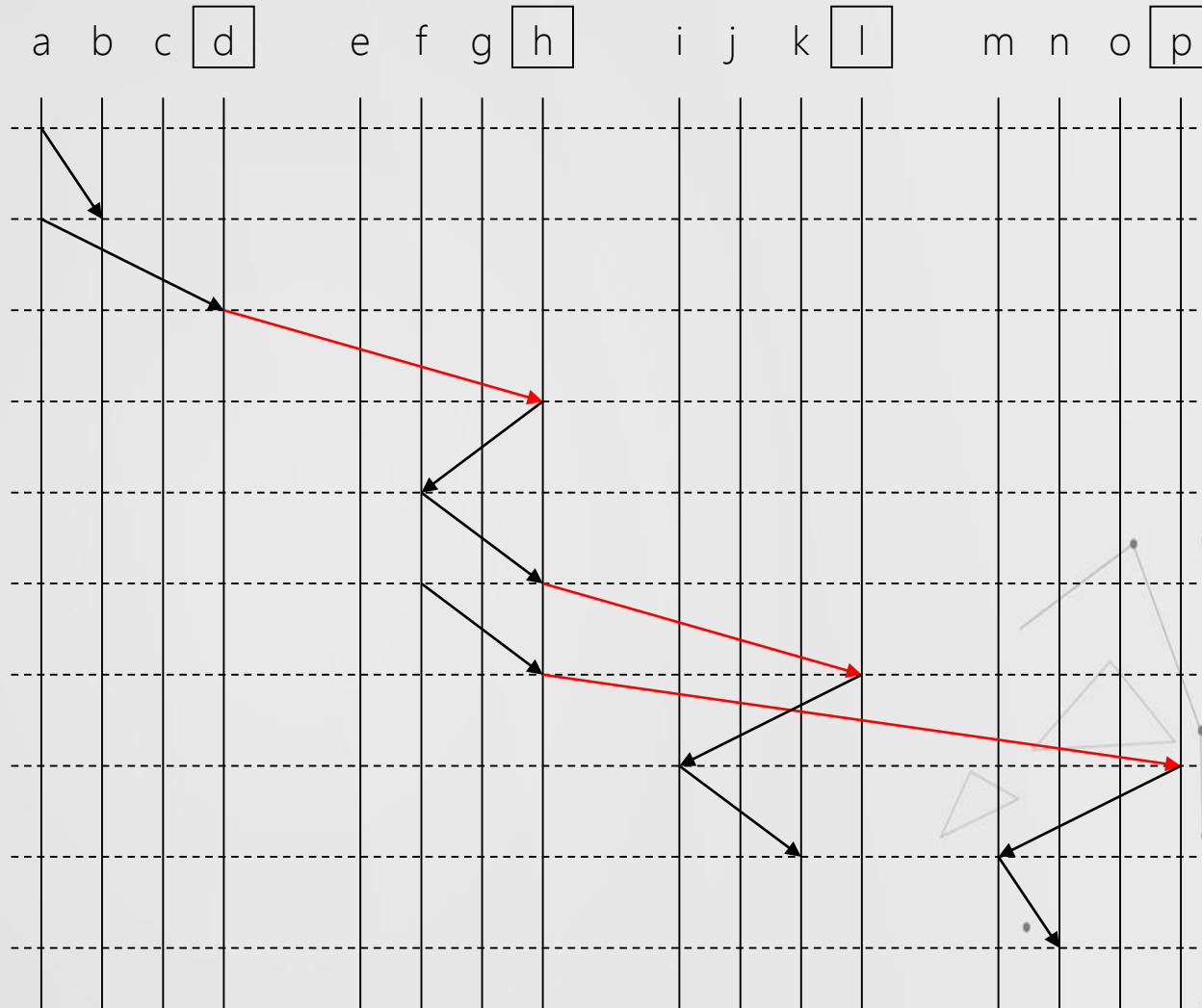
Επανειλημμένη αποστολή μηνύματος



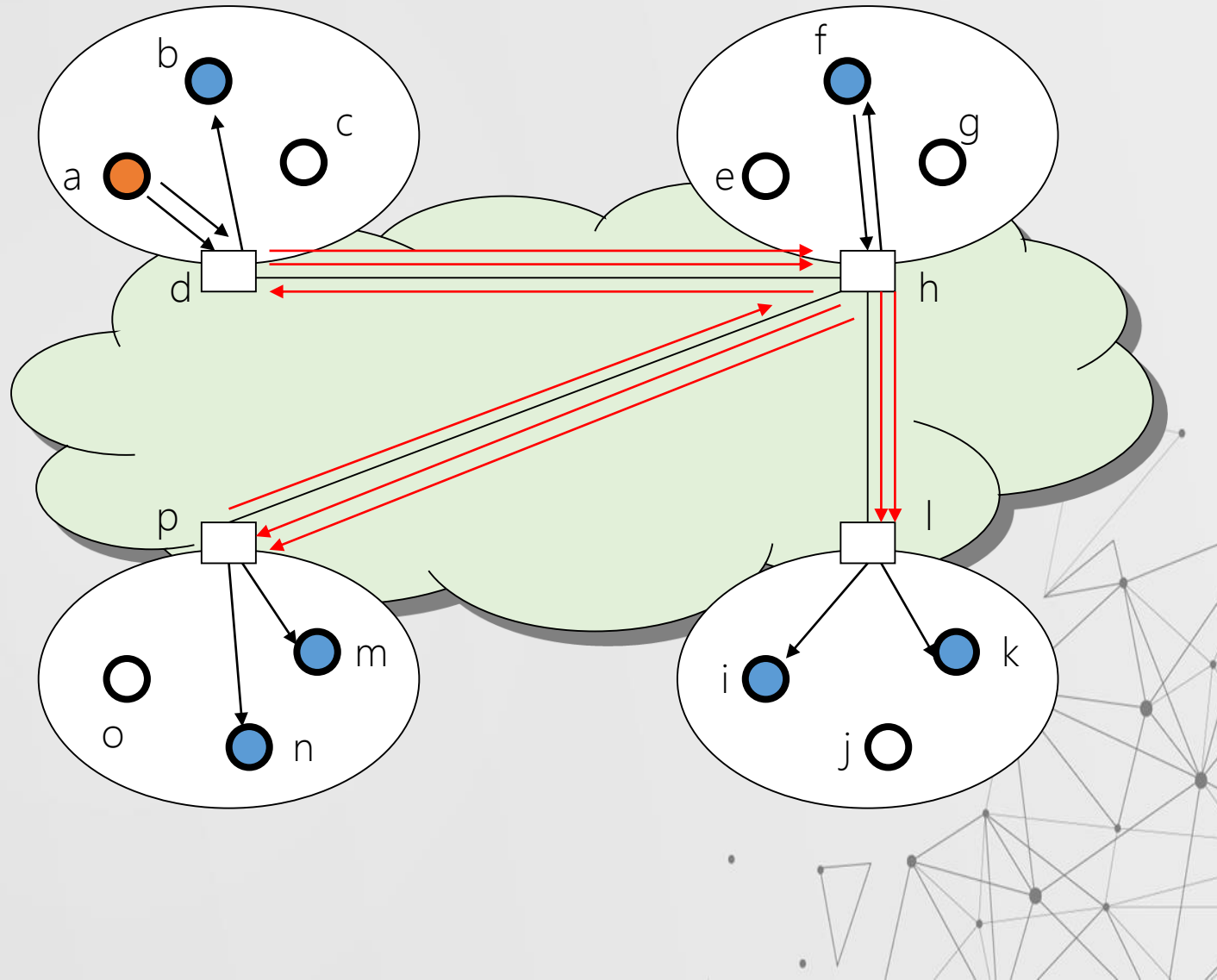
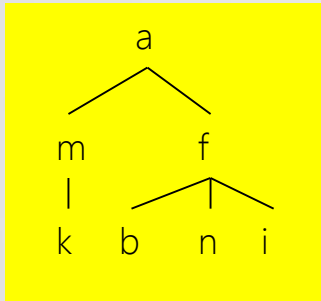
Δρομολόγηση σε επίπεδο εφαρμογής



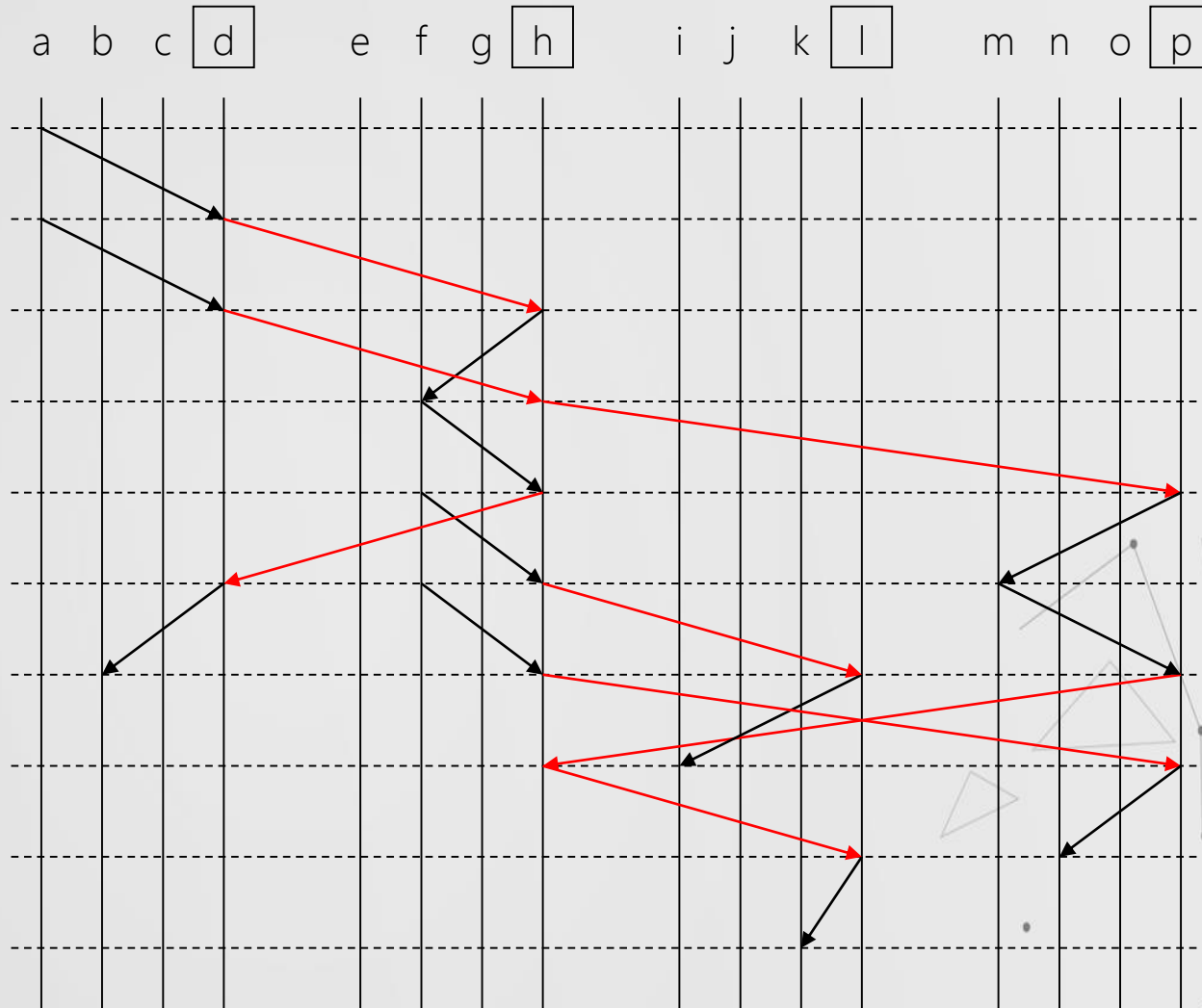
Δρομολόγηση σε επίπεδο εφαρμογής



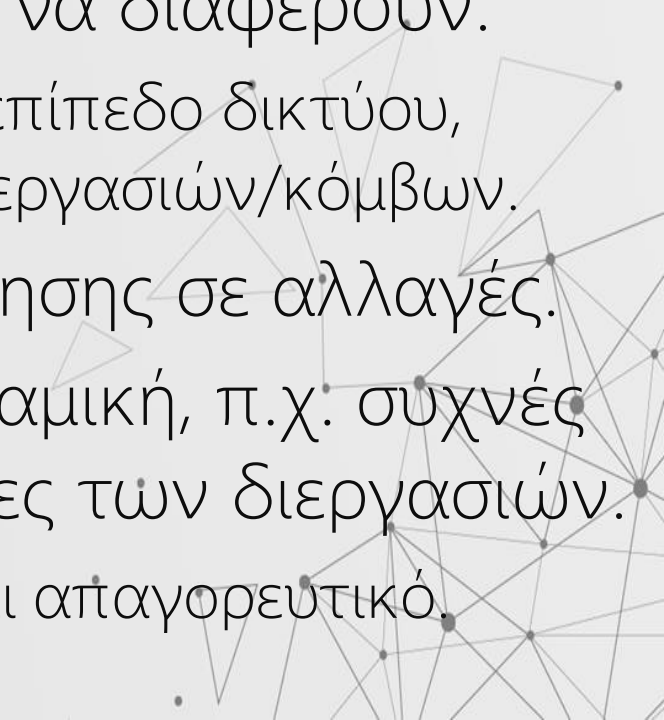
Δρομολόγηση σε επίπεδο εφαρμογής



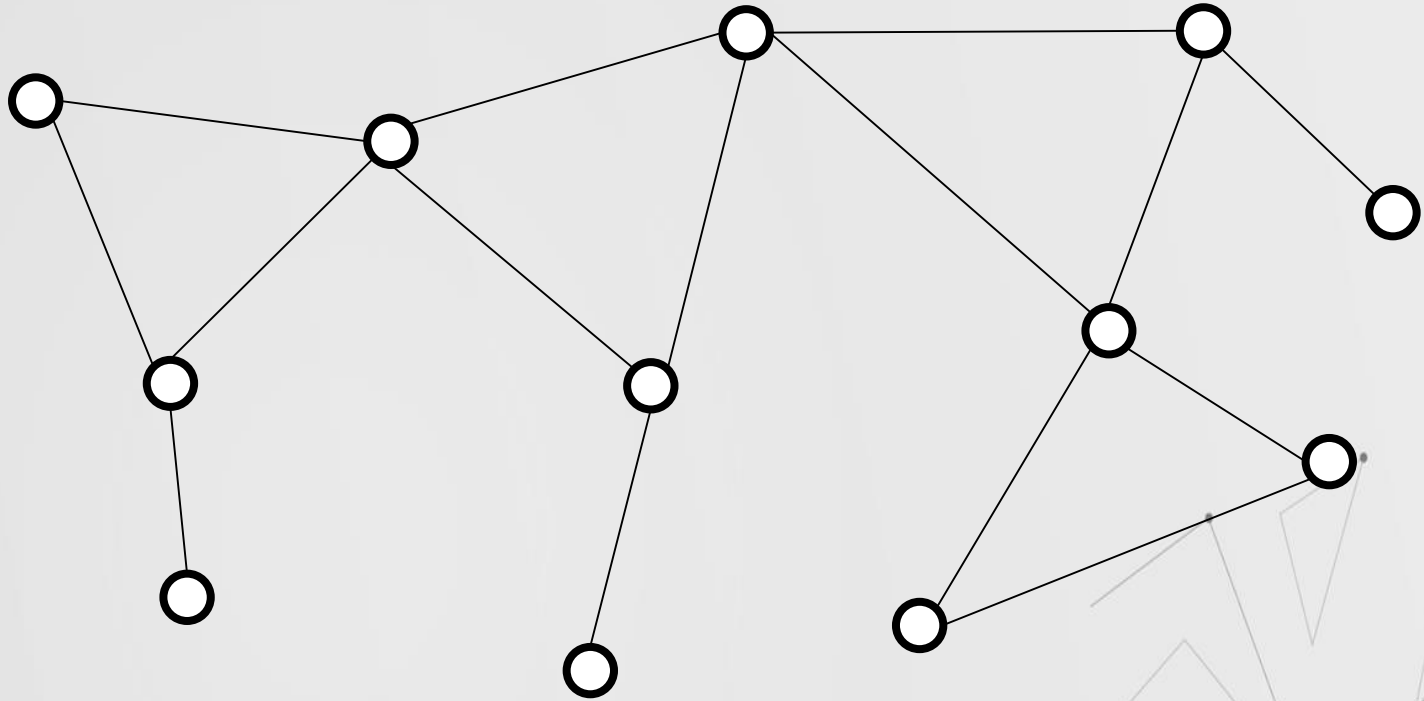
Δρομολόγηση σε επίπεδο εφαρμογής



Δέντρο πολυεκπομπής (Multicast tree)

- Μπορεί να κατασκευαστούν σε φυσικό επίπεδο καθώς και σε επίπεδο εφαρμογής.
 - Απαιτείται ανταλλαγή πληροφοριών ανάμεσα στις διεργασίες, και εκμετάλλευση αυτών για την κατασκευή του δέντρου επικάλυψης.
 - Τα κριτήρια δρομολόγησης μπορεί να διαφέρουν.
 - φυσική τοπολογία, δρομολόγηση σε επίπεδο δικτύου, καθυστέρηση επικοινωνίας, πόροι διεργασιών/κόμβων.
 - Προσαρμογή της δομής δρομολόγησης σε αλλαγές.
 - Πρόβλημα αν υπάρχει μεγάλη δυναμική, π.χ. συχνές αλλαγές στον αριθμό / τις ιδιότητες των διεργασιών.
 - το κόστος διαχείρισης μπορεί να είναι απαγορευτικό.
- 

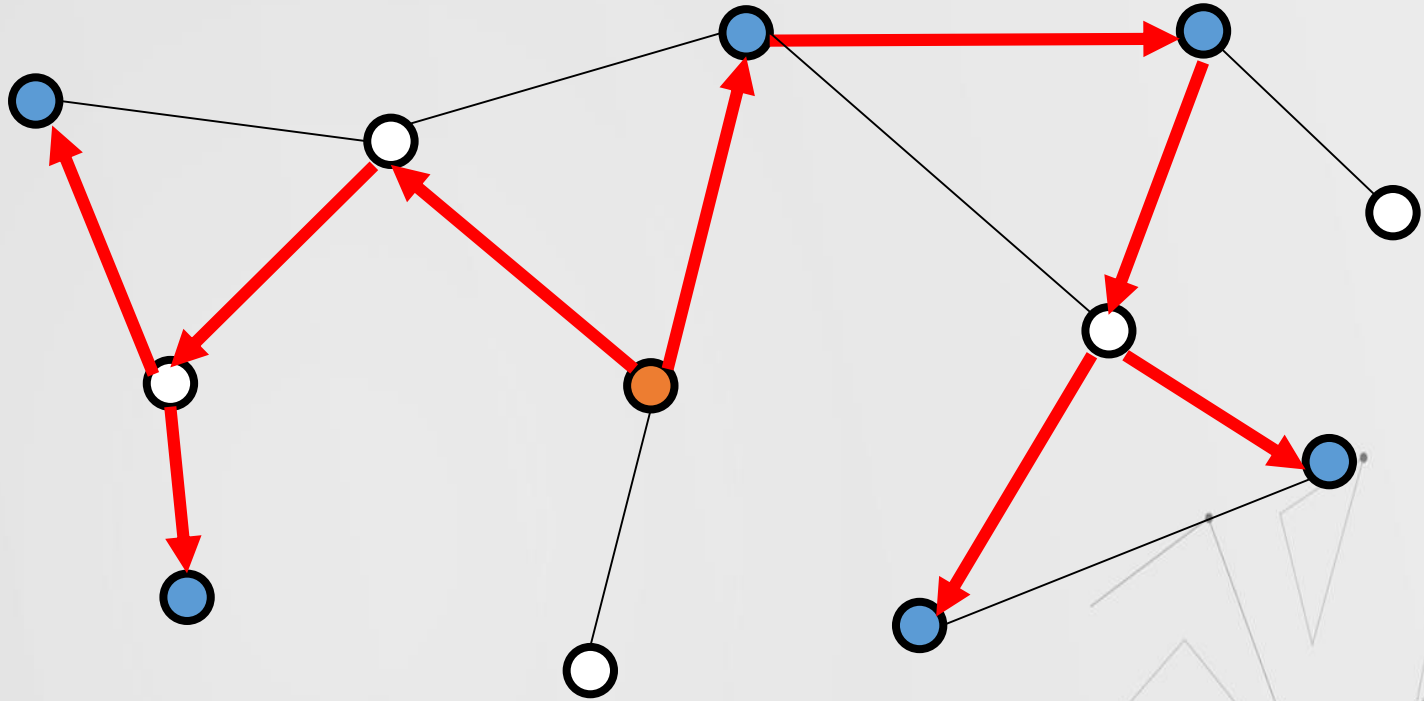
Δέντρο πολυεκπομπής (Multicast tree)



Δέντρο πολυεκπομπής (Multicast tree)



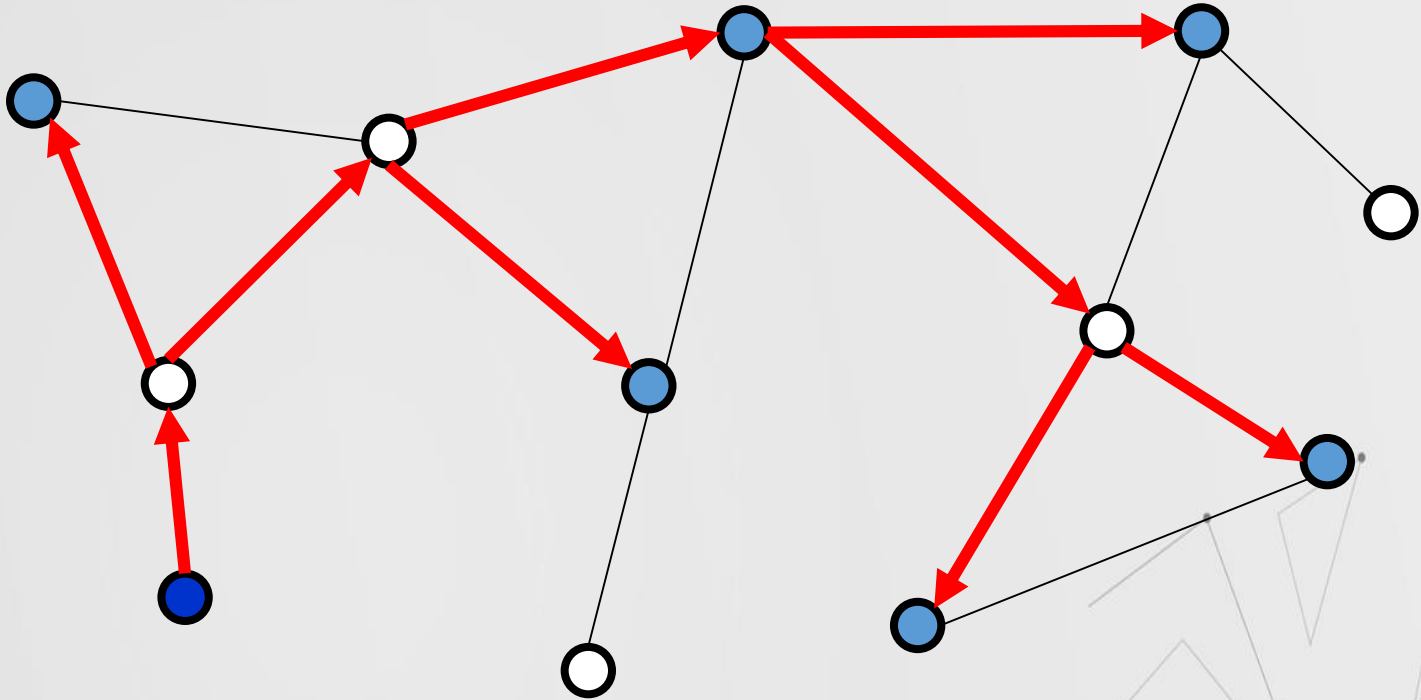
Δέντρο πολυεκπομπής (Multicast tree)



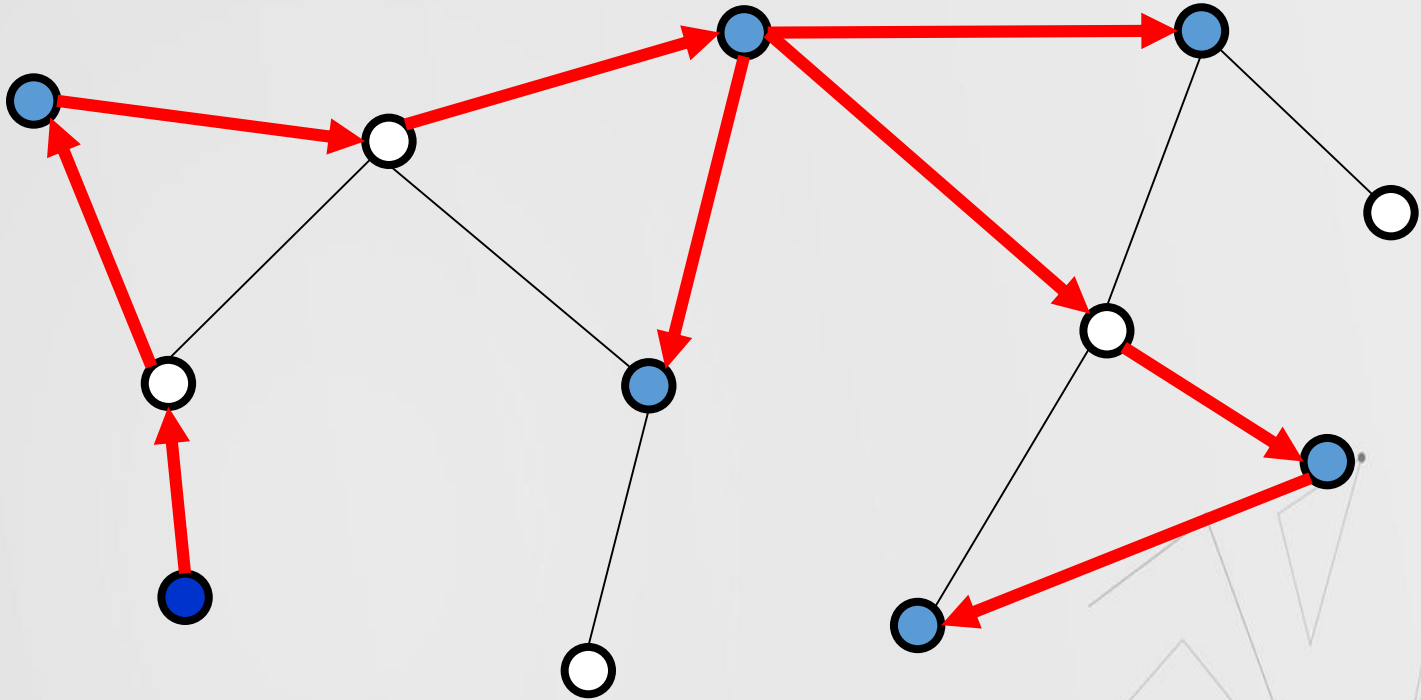
Δέντρο πολυεκπομπής (Multicast tree)



Δέντρο πολυεκπομπής (Multicast tree)

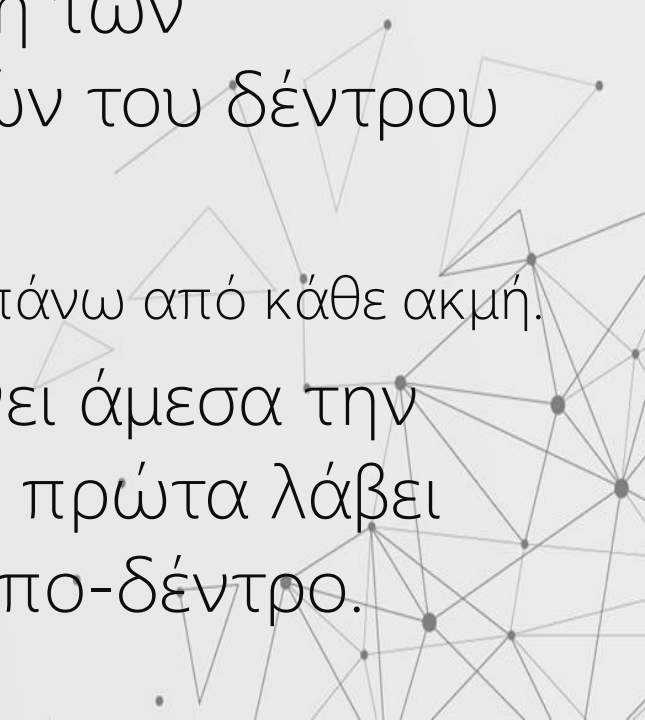


Δέντρο πολυεκπομπής (Multicast tree)

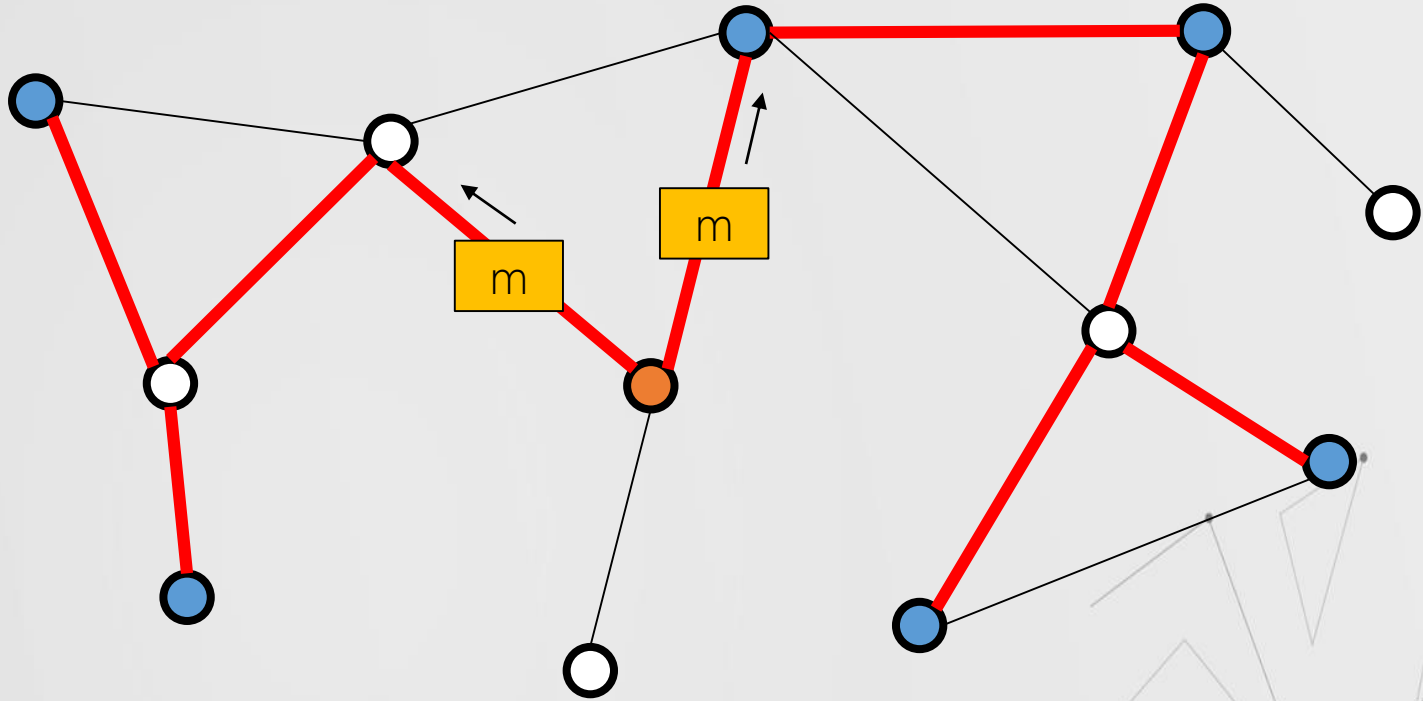


Αξιοπιστία πολυεκπομπής

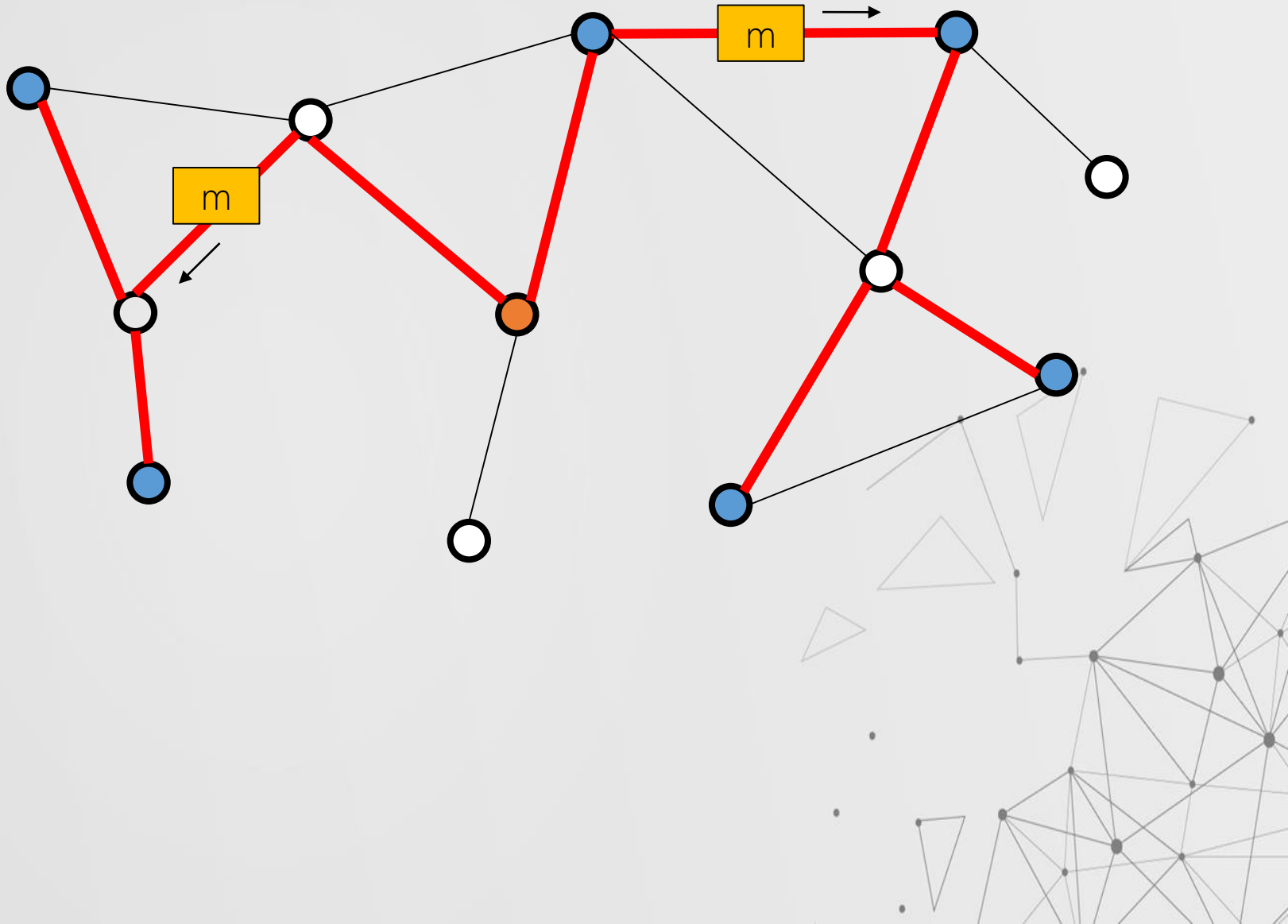
- Χρειάζονται επανεκπομπές, επιβεβαιώσεις ...
 - το πρόβλημα της κλιμάκωσης εντείνεται.
- Εφαρμογή (και εδώ) της ιδέας των «μαζικών» επιβεβαιώσεων για πολλά μηνύματα.
- Επιπλέον, μπορεί να γίνει εκμετάλλευση της δομής δρομολόγησης για την επιβεβαίωση των μεταδόσεων κατά μήκος των ακμών του δέντρου πολυεκπομπής.
 - ιδανικά, μόνο 1 μετάδοση επιβεβαίωσης πάνω από κάθε ακμή.
- Κάθε κόμβος μπορεί να επιβεβαιώνει άμεσα την παραλαβή ενός μηνύματος ή αφού πρώτα λάβει επιβεβαιώσεις από το «δικό του» υπο-δέντρο.



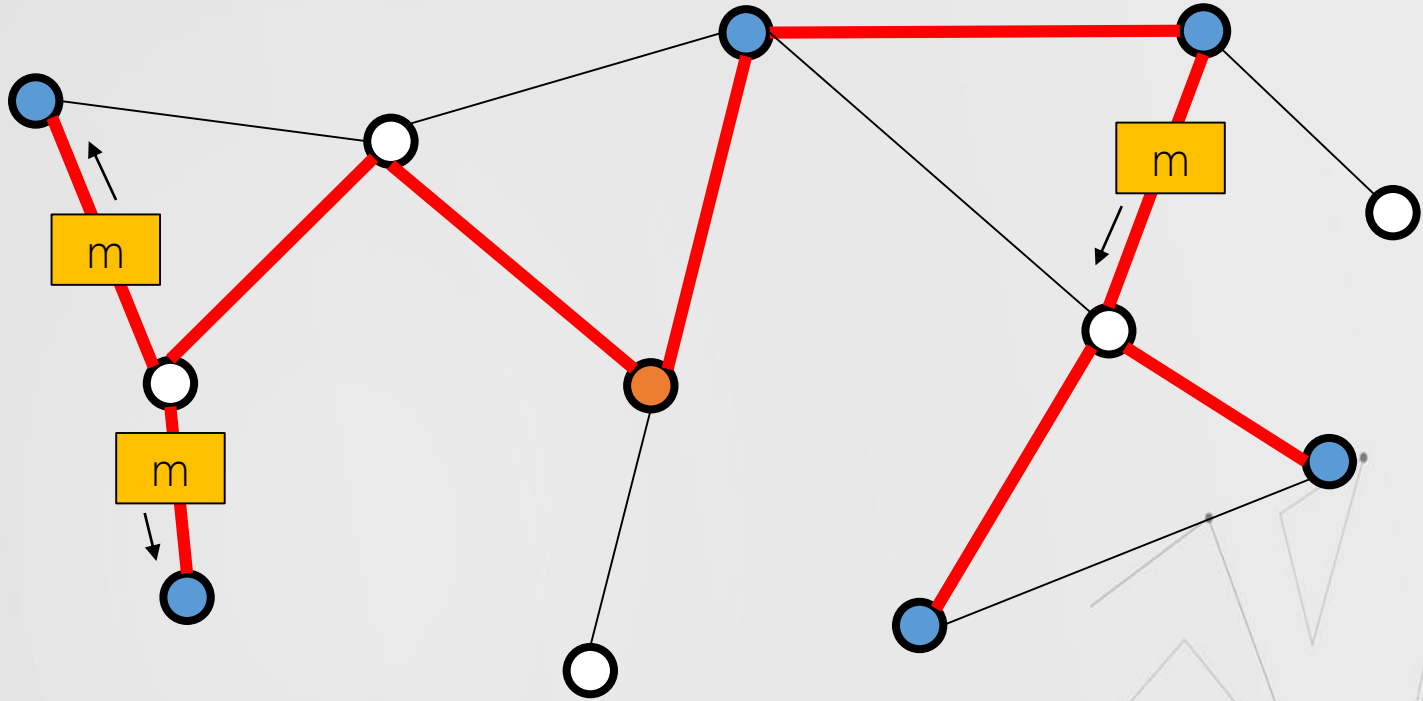
Αξιοπιστία πολυεκπομπής



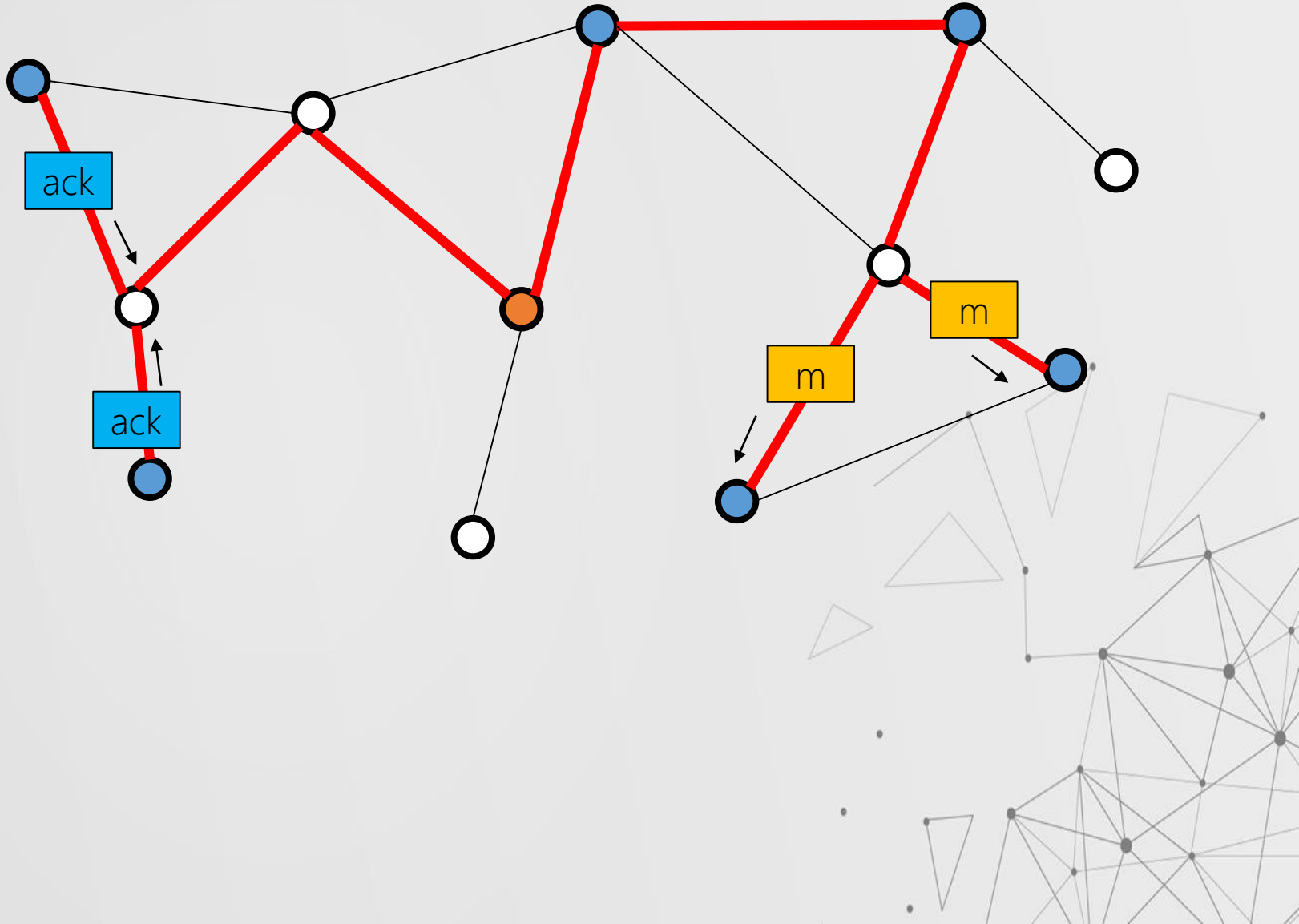
Αξιοπιστία πολυεκπομπής



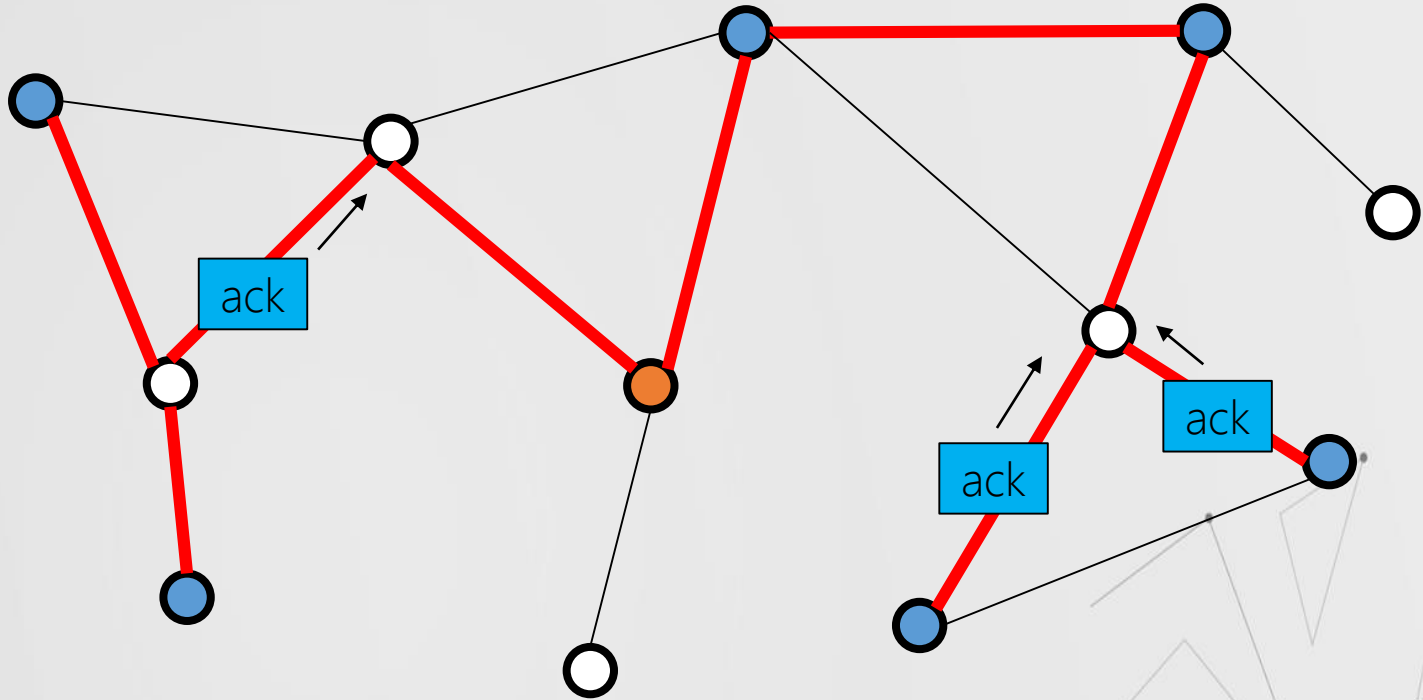
Αξιοπιστία πολυεκπομπής



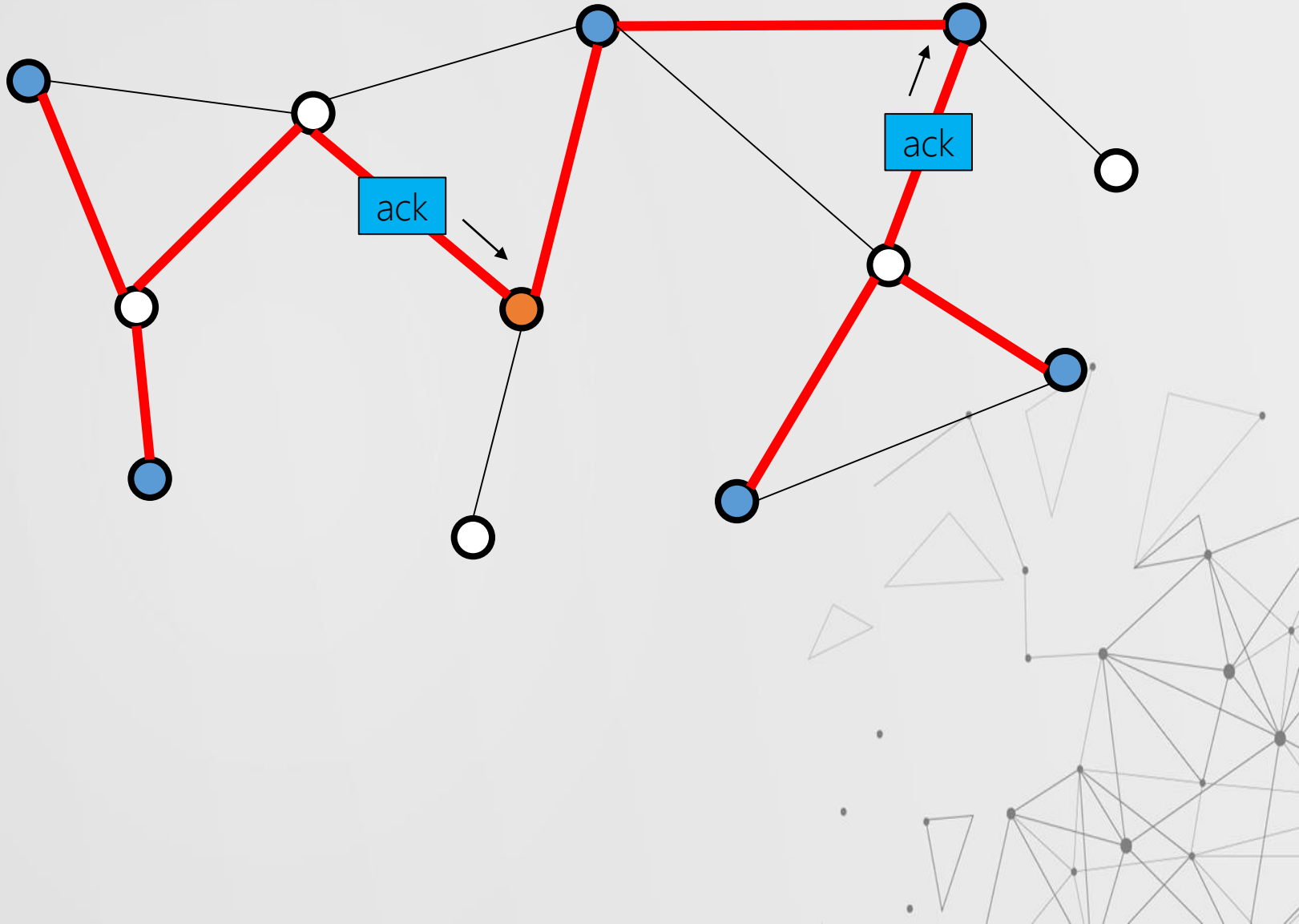
Αξιοπιστία πολυεκπομπής



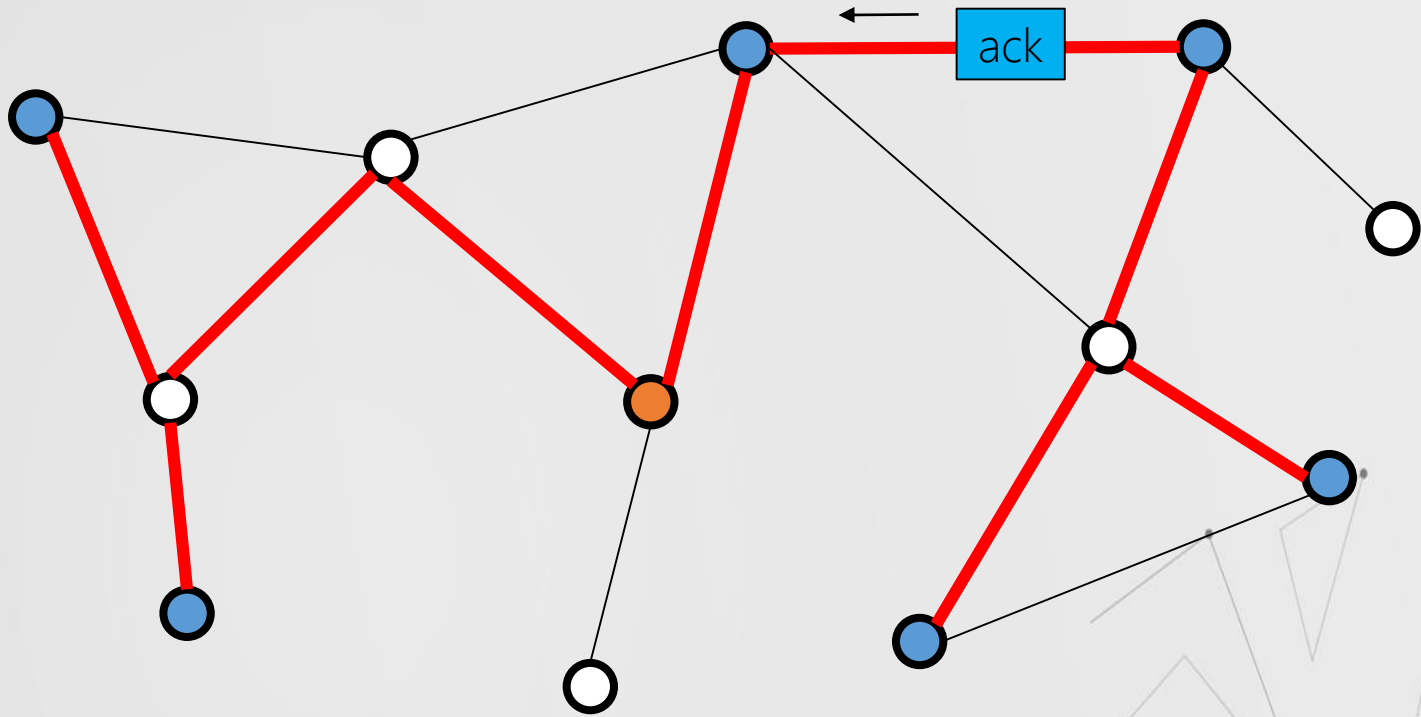
Αξιοπιστία πολυεκπομπής



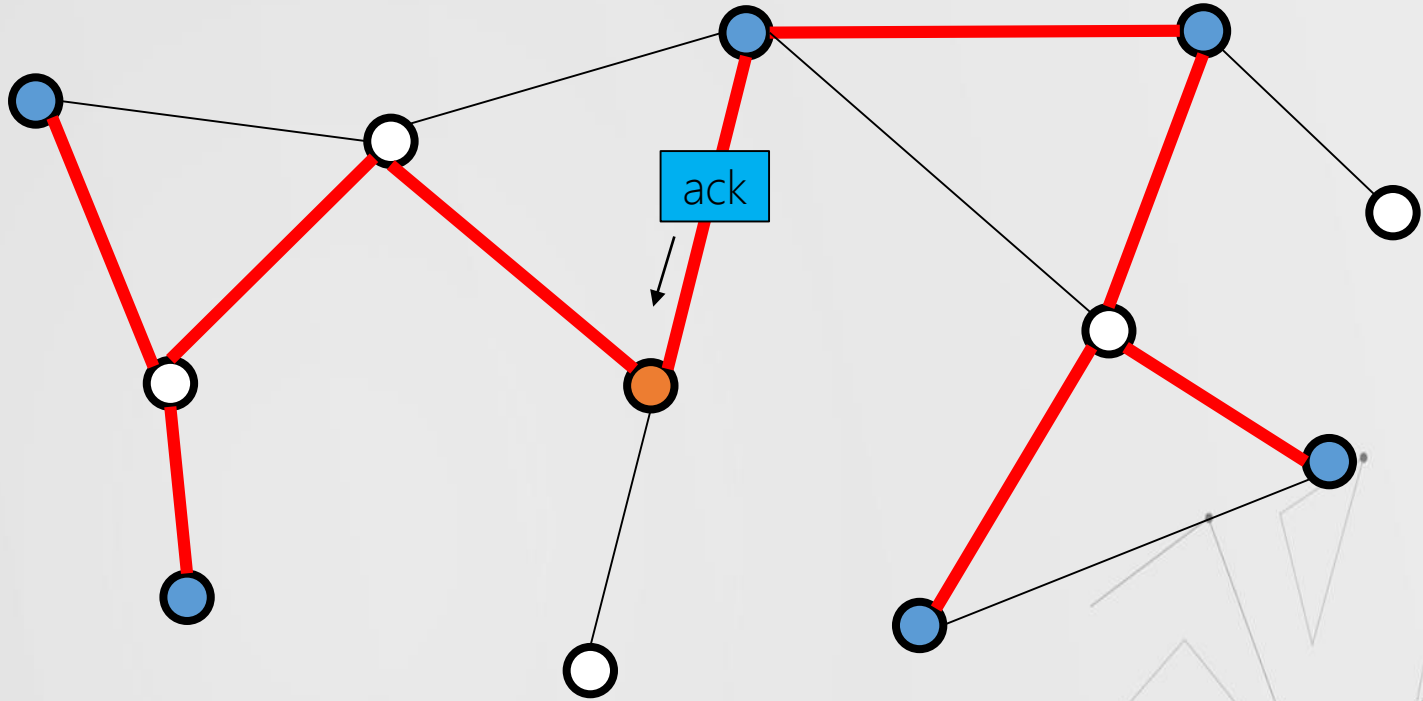
Αξιοπιστία πολυεκπομπής



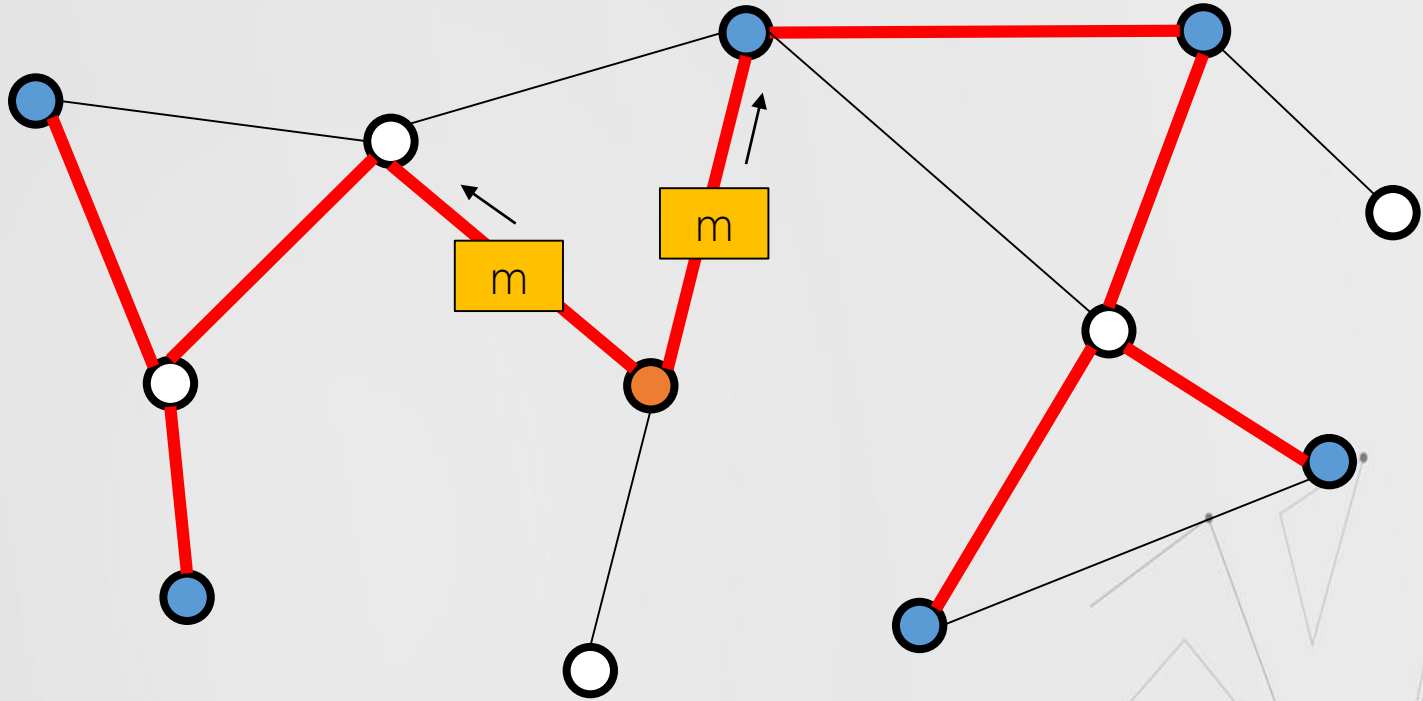
Αξιοπιστία πολυεκπομπής



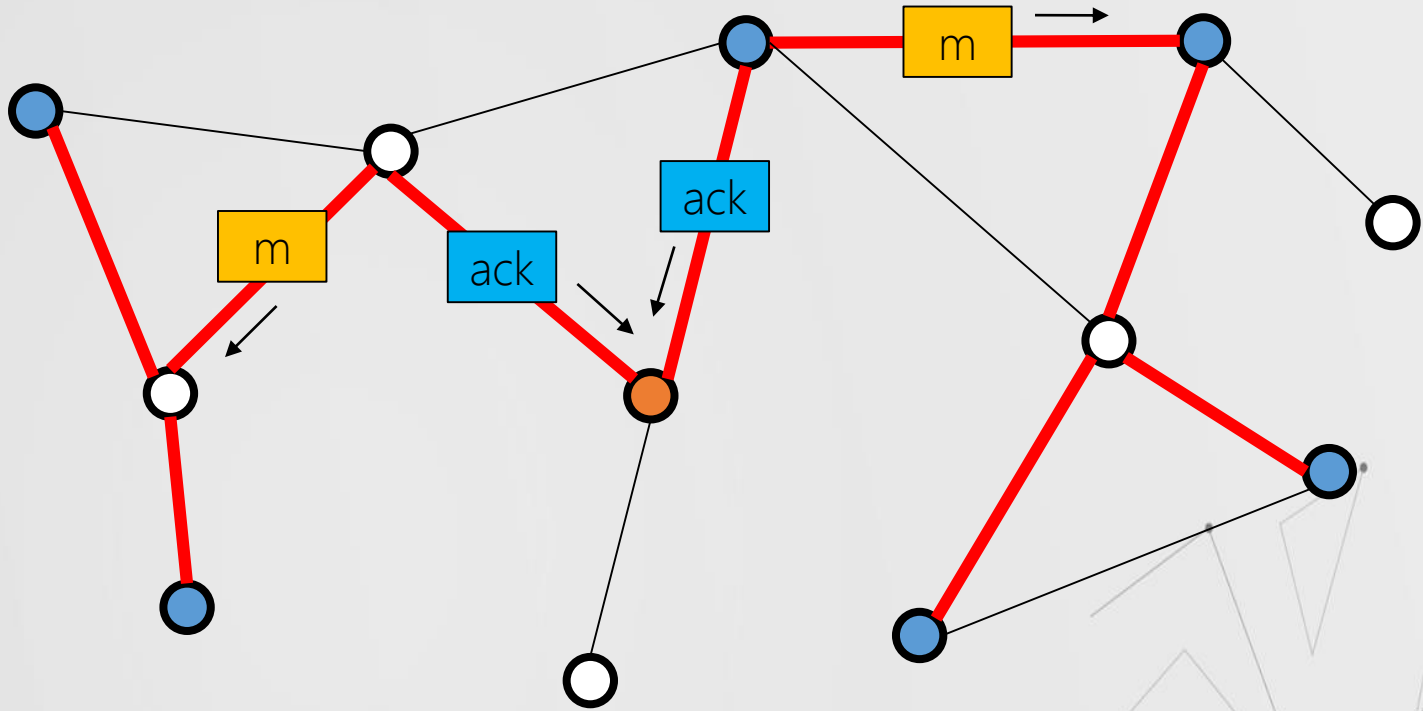
Αξιοπιστία πολυεκπομπής



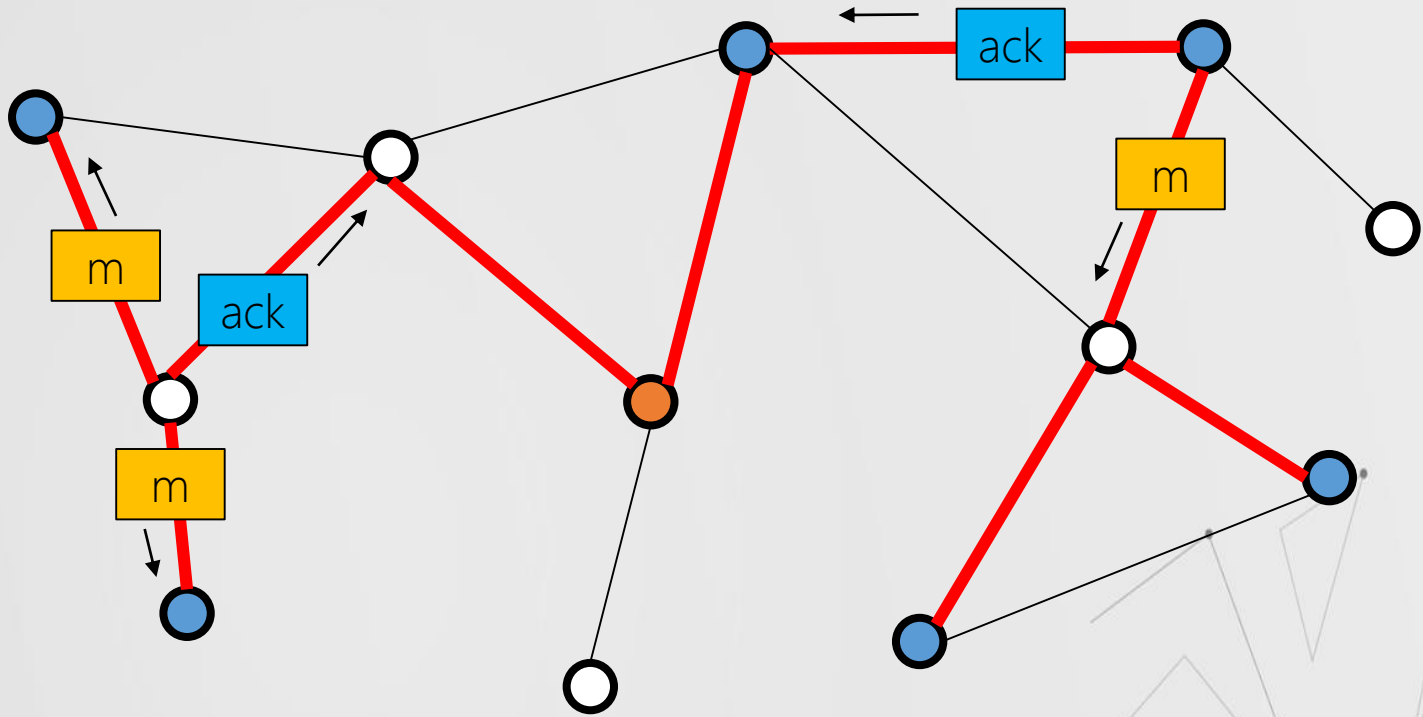
Αξιοπιστία πολυεκπομπής



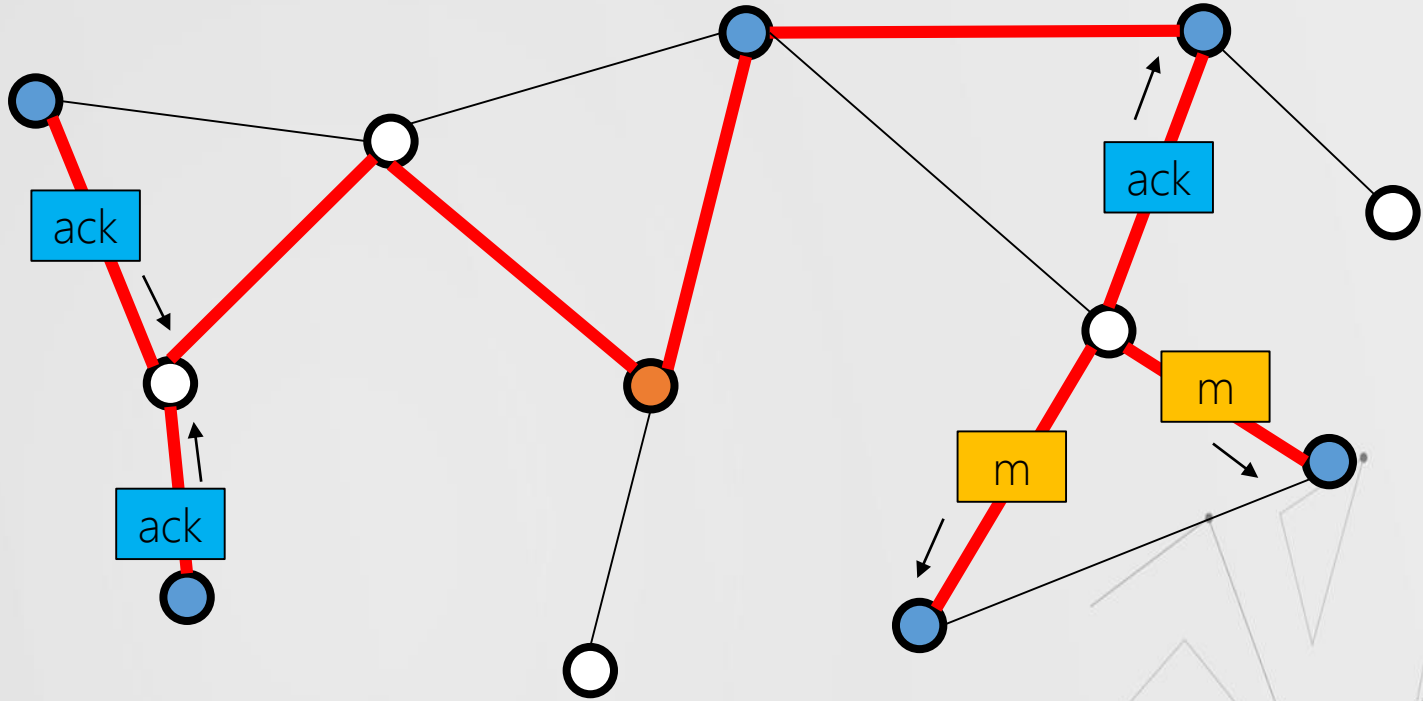
Αξιοπιστία πολυεκπομπής



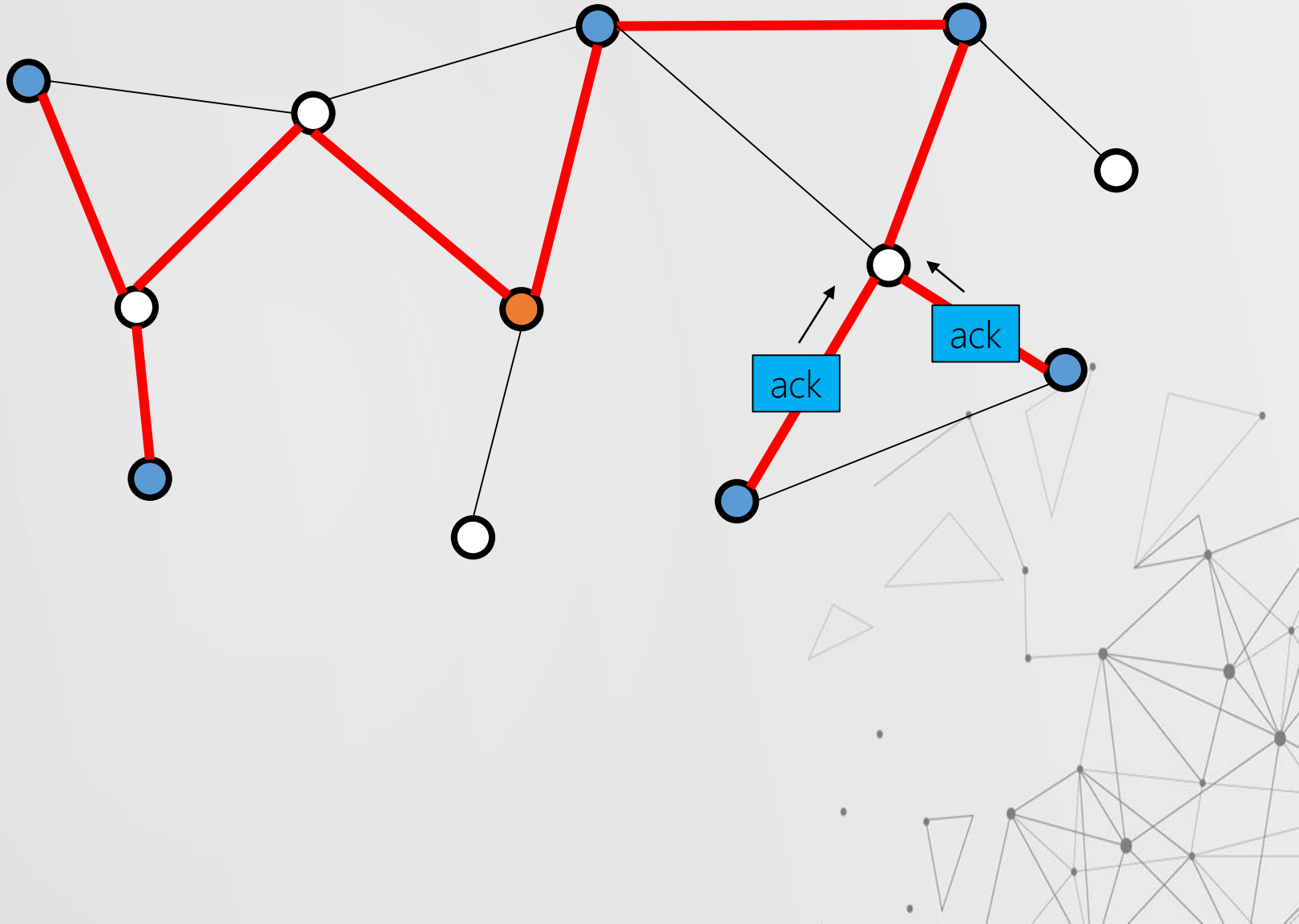
Αξιοπιστία πολυεκπομπής



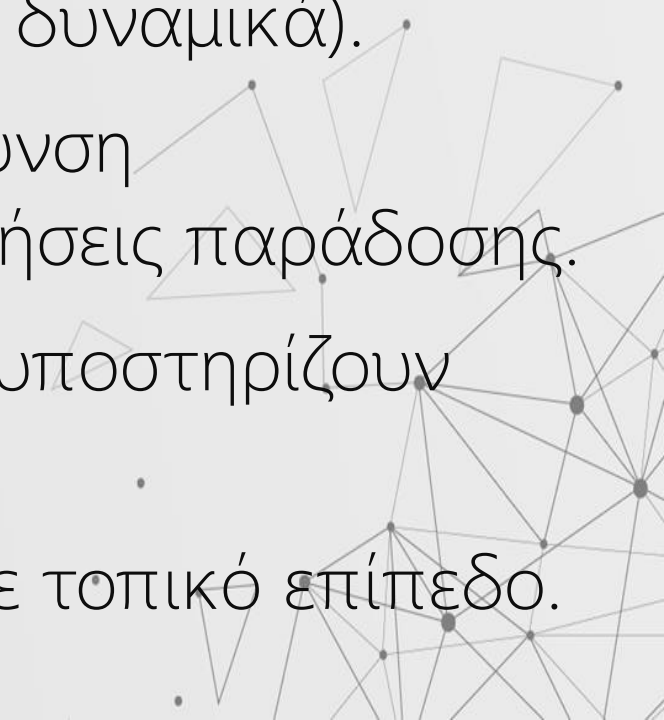
Αξιοπιστία πολυεκπομπής



Αξιοπιστία πολυεκπομπής



IP multicast

- Το IP προσδιορίζει ειδικές διευθύνσεις πολυεκπομπής στις οποίες ένας κόμβος πρέπει να εγγραφεί για να λάβει τα μηνύματα που στέλνονται σε αυτές.
 - Ο αποστολέας δεν γνωρίζει τους κόμβους που είναι εγγεγραμμένοι στη διεύθυνση πολυεκπομπής (οι κόμβοι προσέρχονται/αποχωρούν δυναμικά).
 - Η αποστολή μηνυμάτων σε διεύθυνση πολυεκπομπής γίνεται χωρίς εγγυήσεις παράδοσης.
 - Οι δρομολογητές του διαδικτύου υποστηρίζουν (θεωρητικά) την πολυεκπομπή.
 - Οι διαχειριστές την περιορίζουν σε τοπικό επίπεδο.
- 

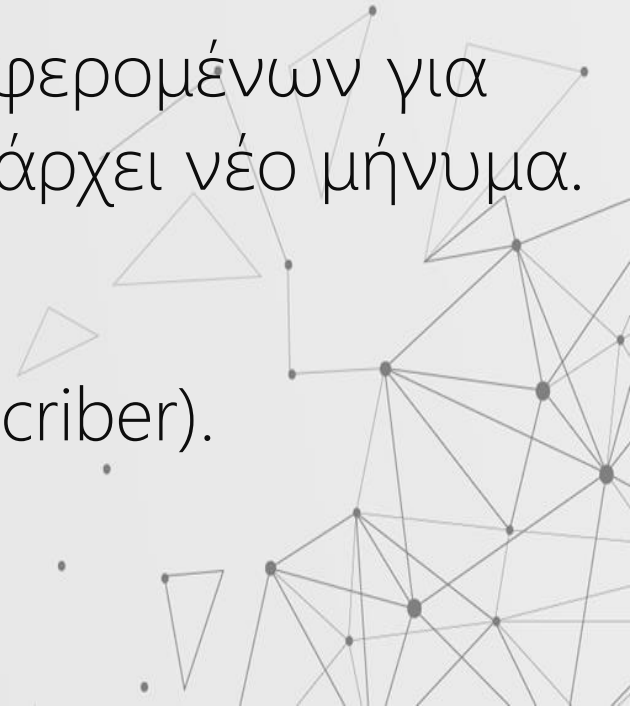


03

ΣΥΝΔΡΟΜΗΤΙΚΗ
ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ

Συνδρομητική επικοινωνία

- Επικοινωνία publish-subscribe.
- Τα μηνύματα προωθούνται/δρομολογούνται με βάση το θέμα (είδος) της πληροφορίας που περιέχουν.
- Τα διάφορα μέρη δεν χρησιμοποιούν συγκεκριμένα άκρα επικοινωνίας ή διευθύνσεις επικοινωνίας.
- Γίνεται ρητή καταγραφή των ενδιαφερομένων για κάθε θέμα, και ειδοποίηση όταν υπάρχει νέο μήνυμα.
- Αποστολέας -> εκδότης (publisher).
- Παραλήπτης -> συνδρομητής (subscriber).



Ενδεικτικό API

Subscriber:

```
int subscribe(SubjectID s);  
int unsubscribe(SubjectID s);  
void recv_msg(SubjectID s, char **msg,  
int mlen);
```

Publisher:

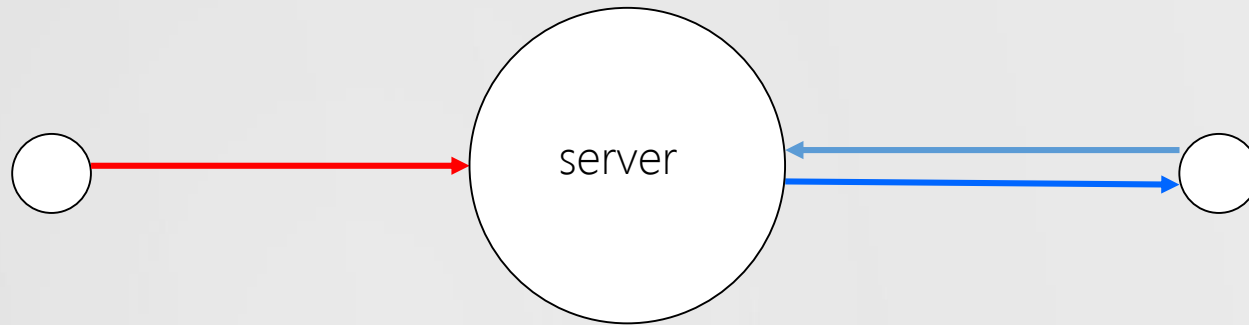
```
int publish_msg(SubjectID s, char  
*msg, int mlen);
```

η δρομολόγηση των μηνυμάτων γίνεται με βάση το **περιεχόμενο** τους

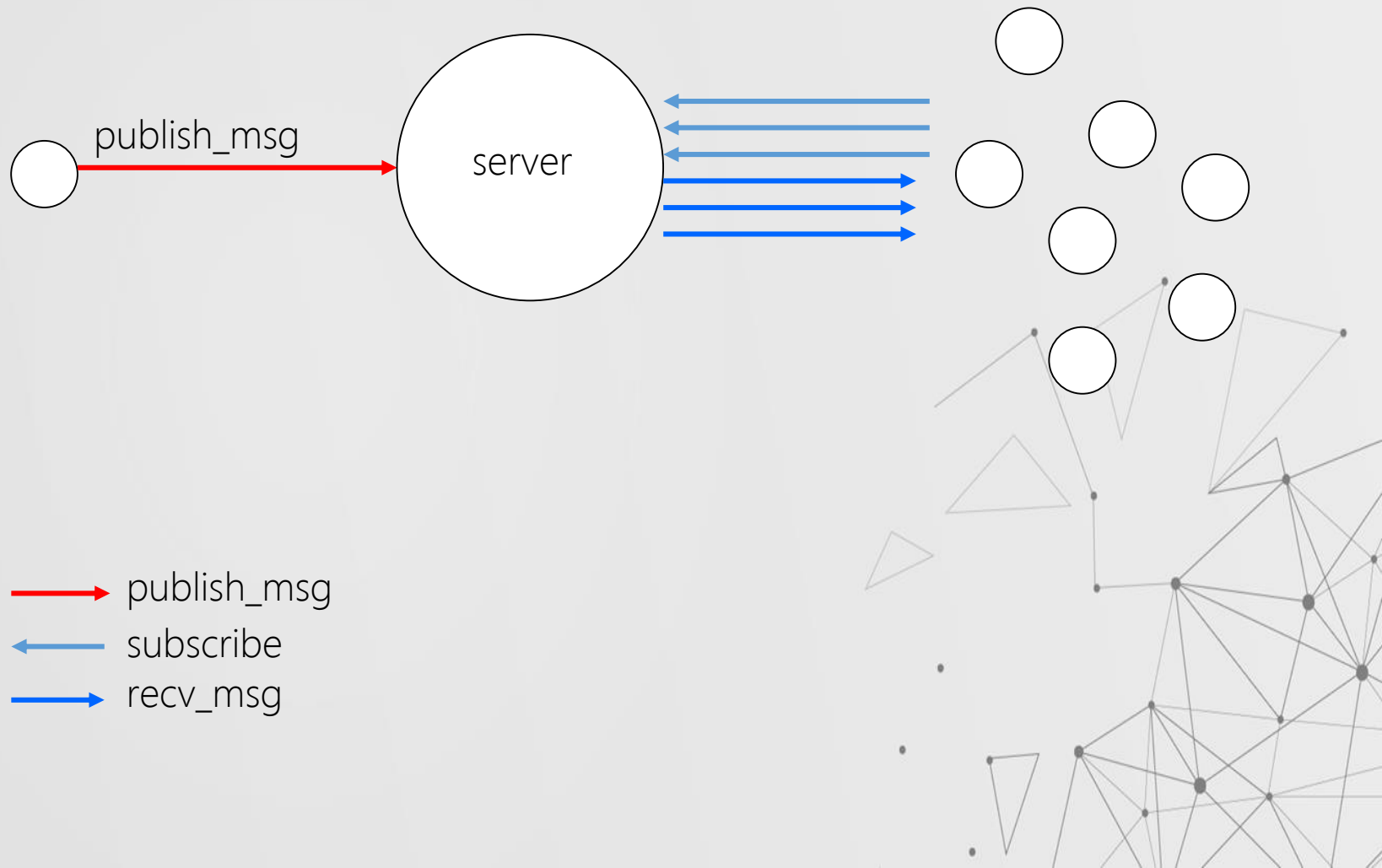
Κεντριοποιημένη υλοποίηση (1)

- Ένας μοναδικός εξυπηρετητής μεσολαβεί ανάμεσα στους εκδότες και συνδρομητές.
- Οι συνδρομητές δηλώνουν στον εξυπηρετητή το είδος των μηνυμάτων που τους ενδιαφέρουν.
- Οι εκδότες στέλνουν τα μηνύματα στον εξυπηρετητή.
- Ο εξυπηρετητής προωθεί κάθε μήνυμα μόνο στους συνδρομητές που έχουν δηλώσει ενδιαφέρον.
- Κεντρικό σημείο βλάβης και συμφόρησης.
- Ο εξυπηρετητής μπορεί να είναι πολύ μακριά από τους εκδότες και συνδρομητές (που μπορεί να είναι κοντά).

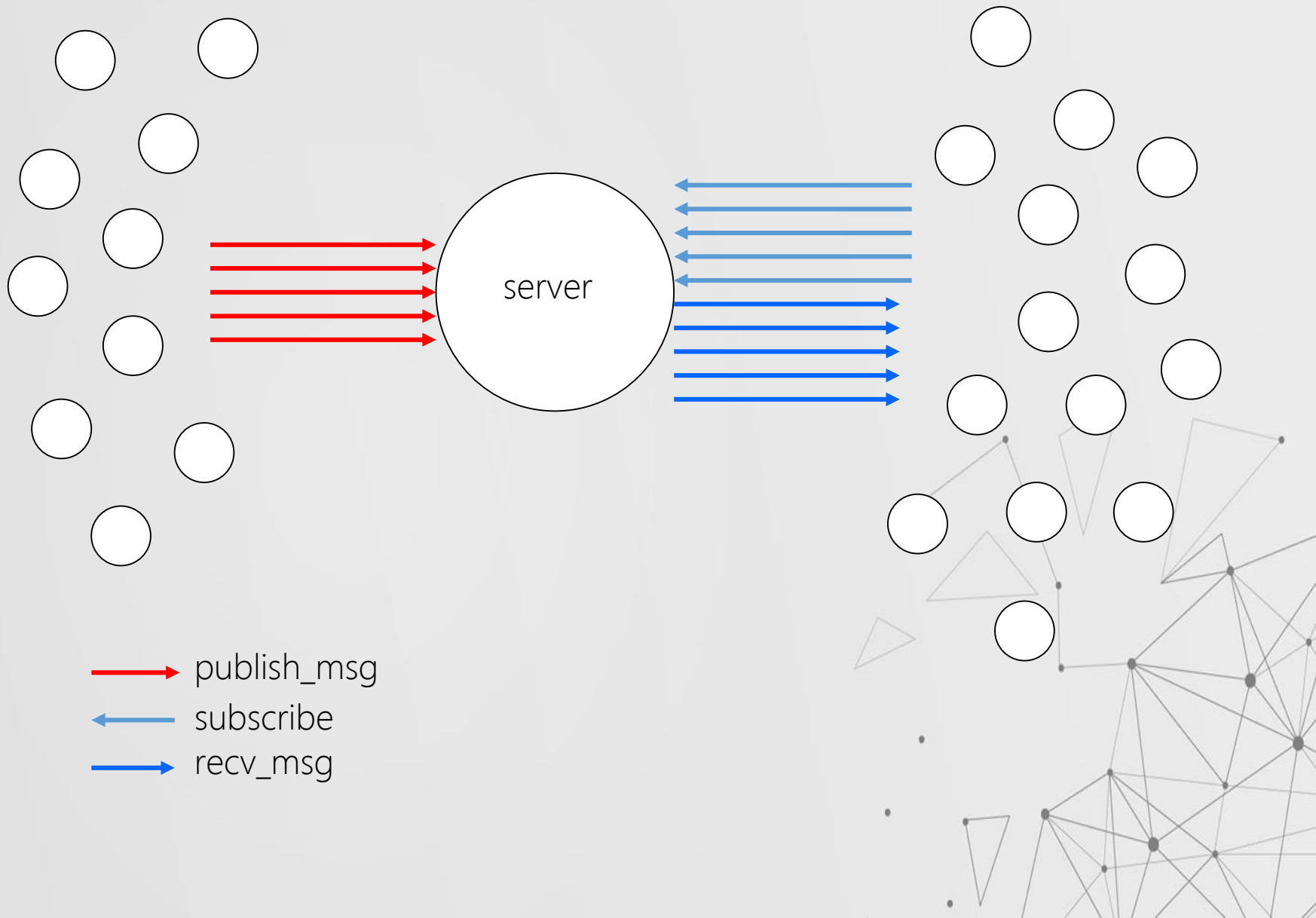
Κεντριοποιημένη υλοποίηση (2)



Κεντριοποιημένη υλοποίηση (3)

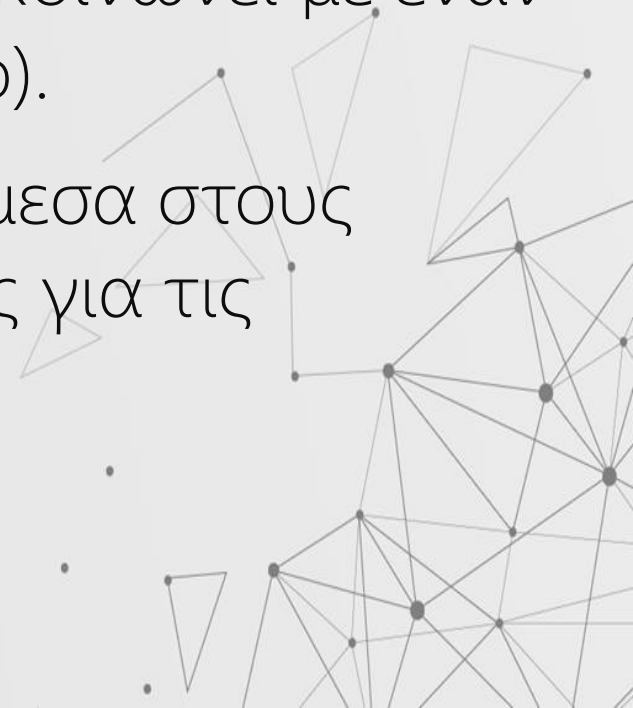


Κεντριοποιημένη υλοποίηση (4)

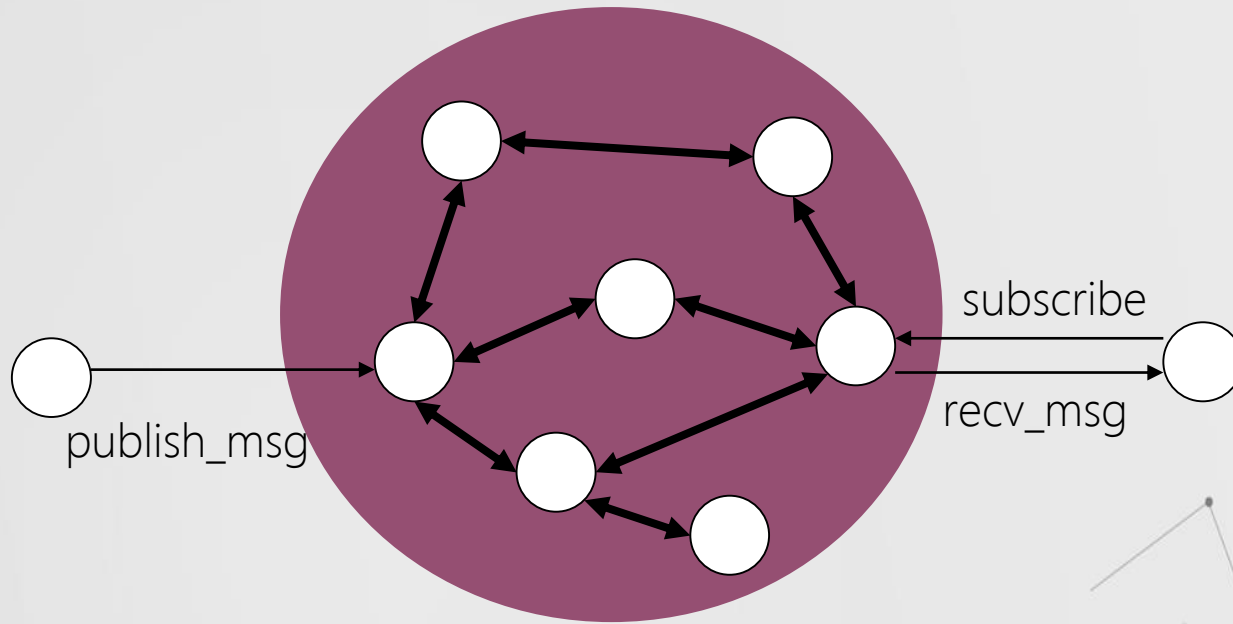


Κατανεμημένη υλοποίηση (1)

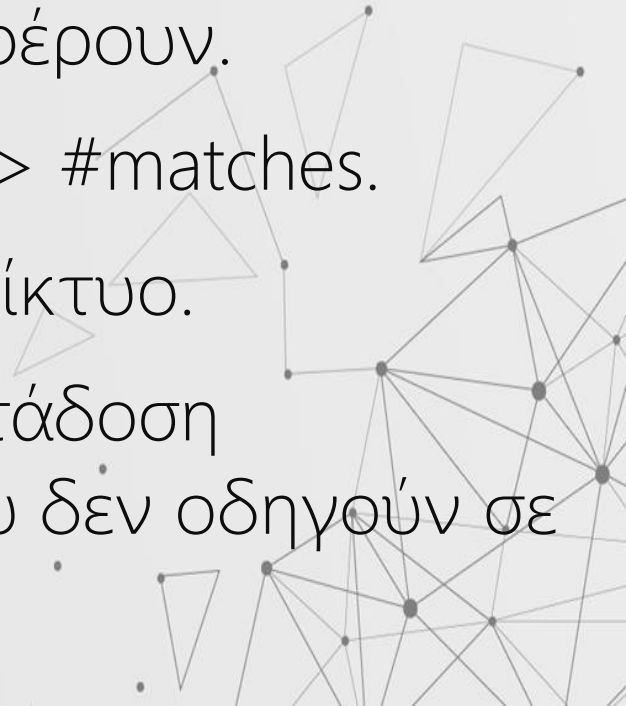
- Η υπηρεσία υλοποιείται από πολλούς εξυπηρετητές.
- Οι εξυπηρετητές οργανώνονται σε ένα δίκτυο.
- Το σχήμα του δικτύου μπορεί να είναι ιεραρχικό ή ομότιμο.
- Κάθε εκδότης και συνδρομητής επικοινωνεί με έναν εξυπηρετητή (π.χ., τον πλησιέστερο).
- Τα μηνύματα δρομολογούνται ανάμεσα στους εξυπηρετητές με βάση πληροφορίες για τις τρέχουσες εκδόσεις και συνδρομές.



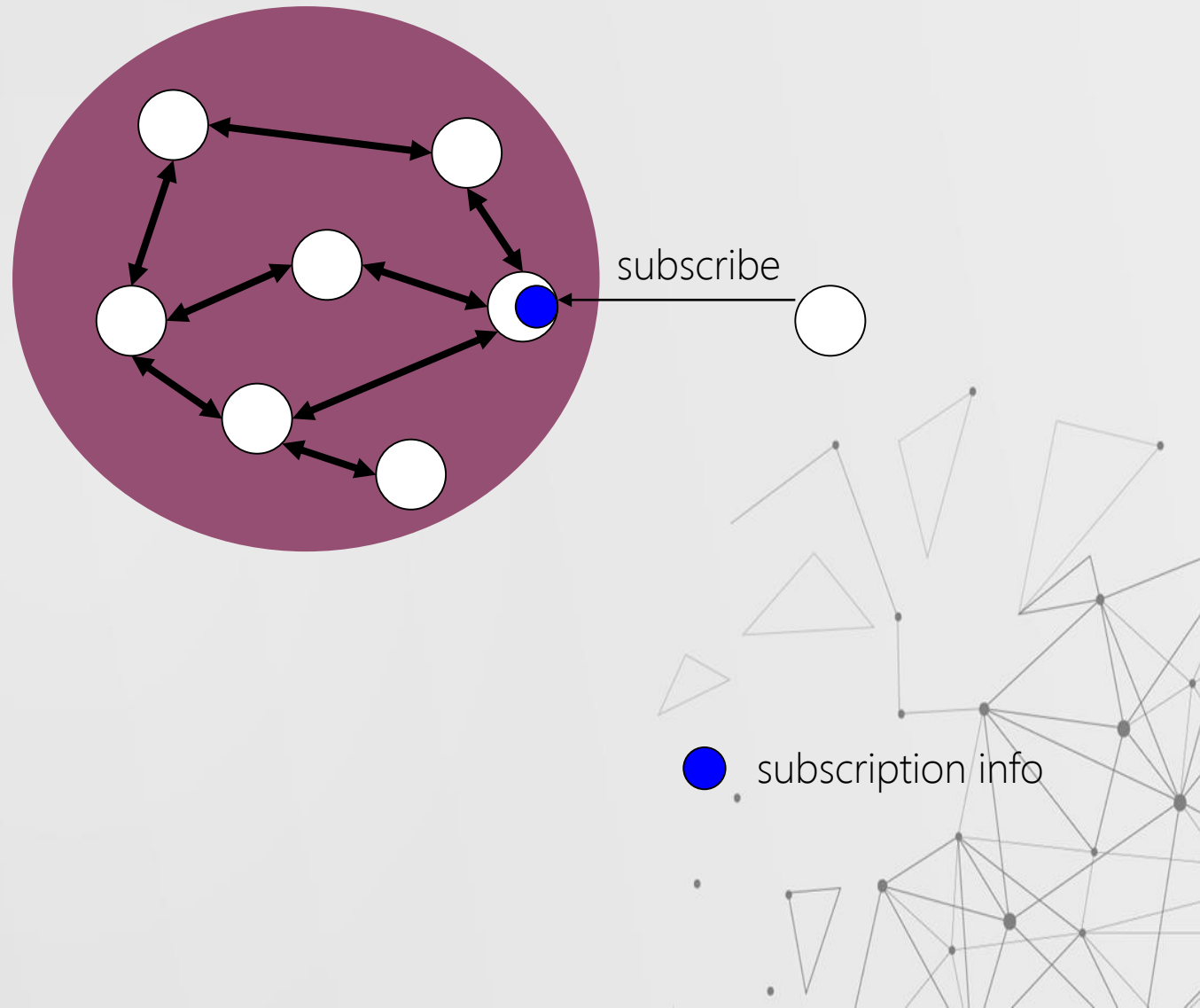
Κατανεμημένη υλοποίηση (2)



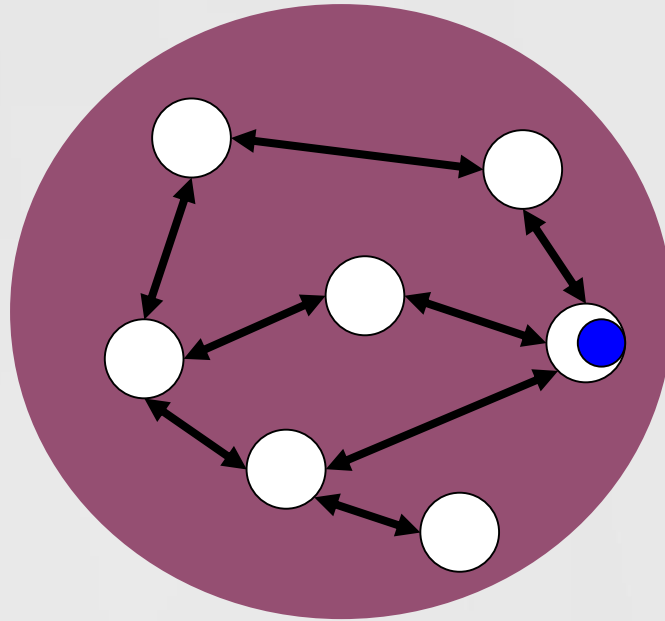
Τοπική διαχείριση συνδρομών (1)

- Κάθε εξυπηρετητής με συνδρομητές κρατά τοπικά τις συνδρομές (προτιμήσεις) των πελατών του.
 - Κάθε μήνυμα προωθείται σε όλους τους εξυπηρετητές.
 - Κάθε εξυπηρετητής προωθεί στους συνδρομητές του μόνο τα μηνύματα που τους ενδιαφέρουν.
 - Πρόβλημα κλιμάκωσης αν $\#msgs \gg \#matches$.
 - υπάρχουν λίγοι συνδρομητές στο δίκτυο.
 - Χάνονται πόροι για την άσκοπη μετάδοση μηνυμάτων προς κατευθύνσεις που δεν οδηγούν σε συνδρομητές.
- 

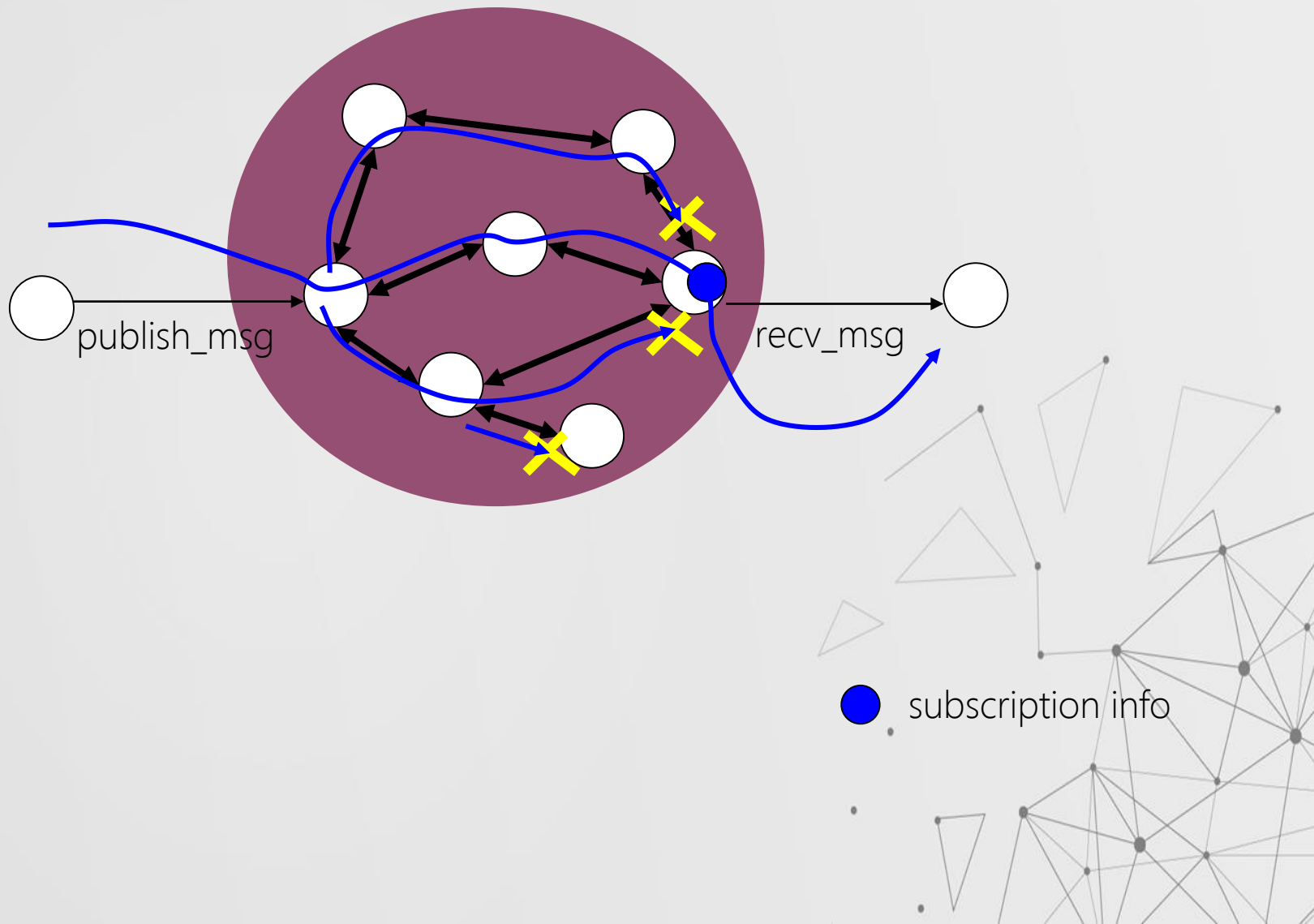
Τοπική διαχείριση συνδρομών (2)



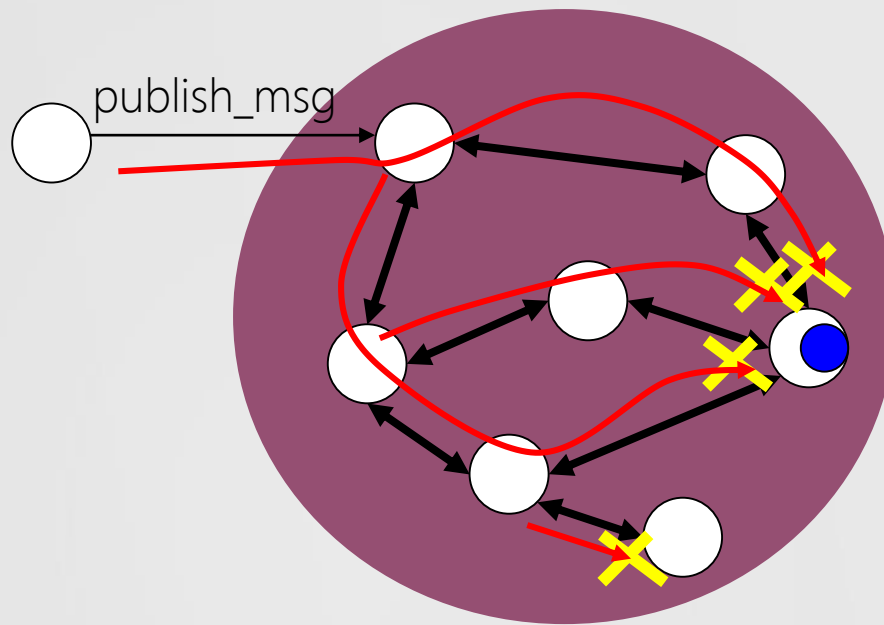
Τοπική διαχείριση συνδρομών (3)



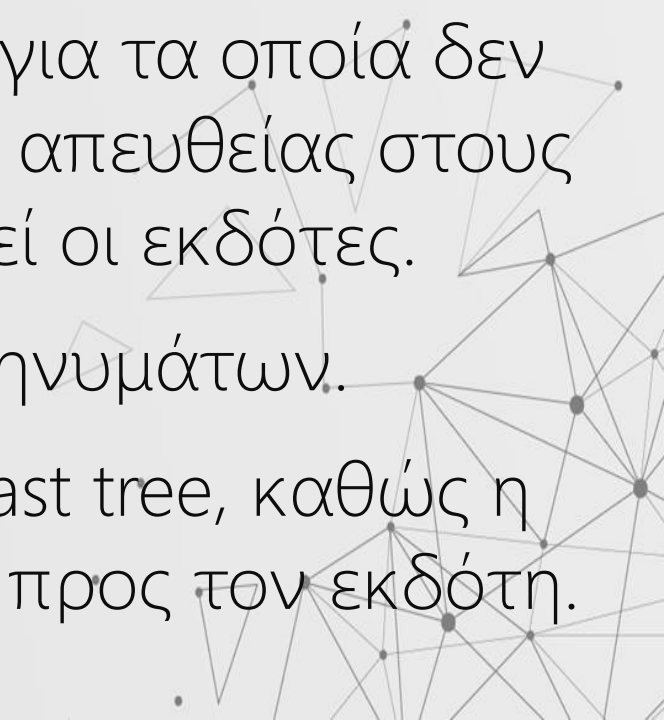
Τοπική διαχείριση συνδρομών (4)



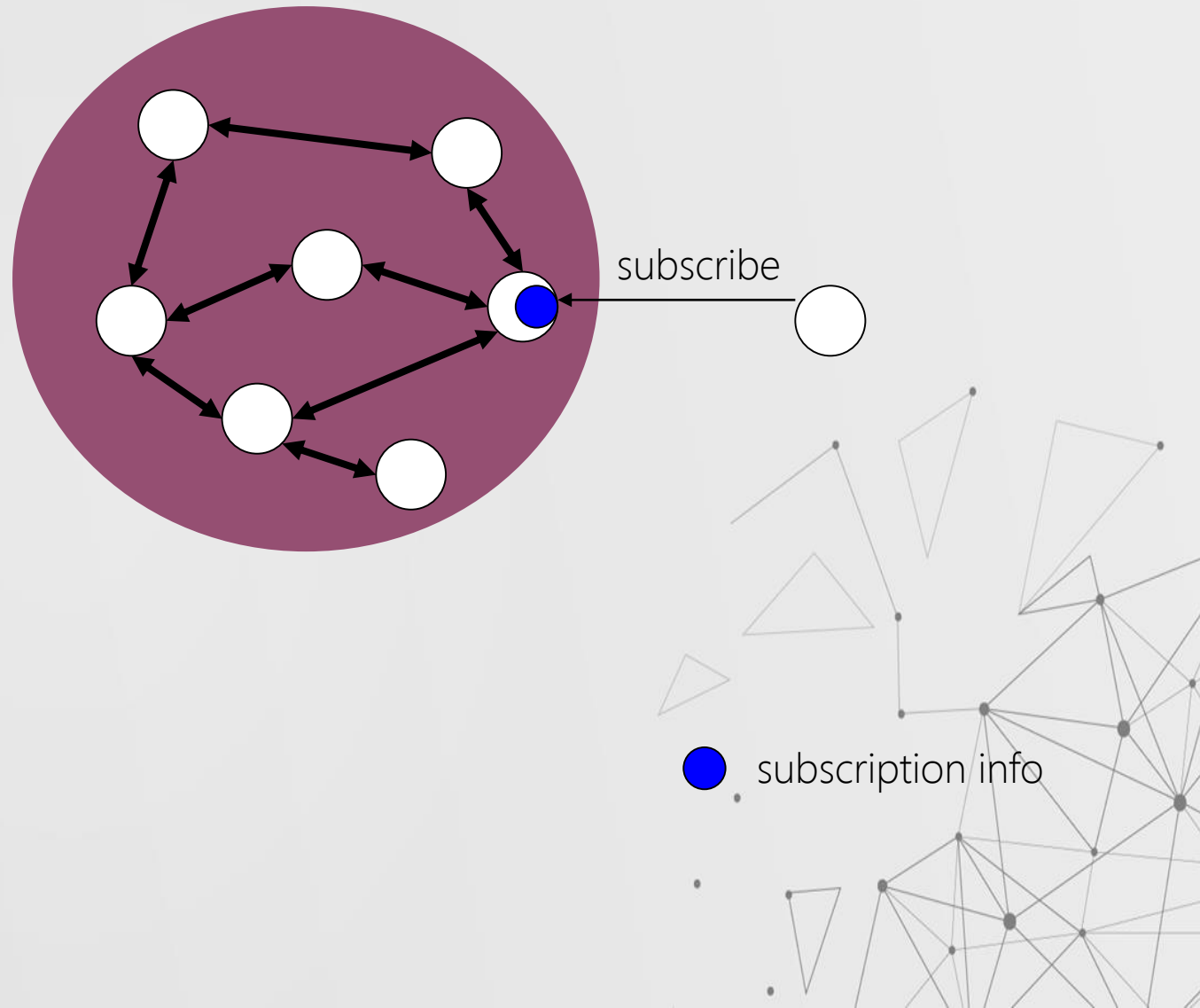
Τοπική διαχείριση συνδρομών (5)



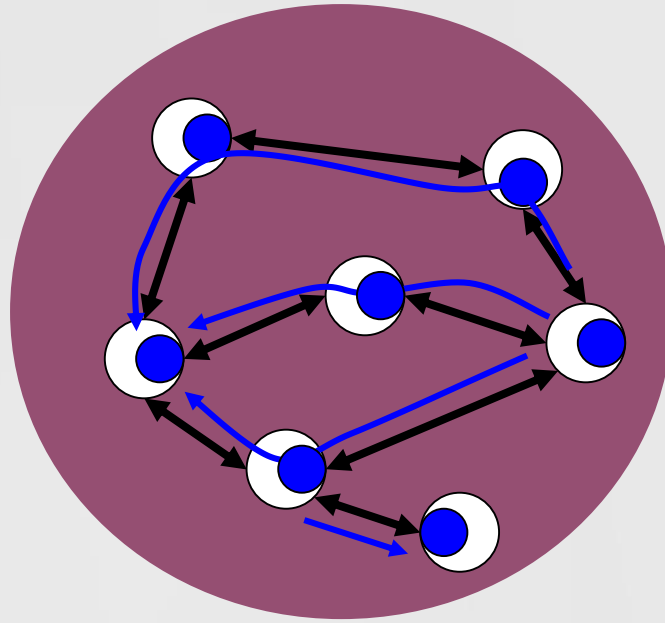
Πρώθηση πληροφορίας συνδρομών (1)

- Κάθε εξυπηρετητής με συνδρομητές μεταδίδει τις συνδρομές προς όλους τους εξυπηρετητές.
 - Ένας εξυπηρετητής προωθεί ένα μήνυμα μόνο στους εξυπηρετητές από τους οποίους έχει λάβει πληροφορία για αντίστοιχους συνδρομητές.
 - Ιδανικά, η πρώθηση μηνυμάτων για τα οποία δεν υπάρχουν συνδρομητές «κόβεται» απευθείας στους εξυπηρετητές όπου έχουν συνδεθεί οι εκδότες.
 - Μείωση άσκοπων προωθήσεων μηνυμάτων.
 - Προκύπτει «αυτόματα» ένα multicast tree, καθώς η πληροφορία συνδρομής ταξιδεύει προς τον εκδότη.
- 

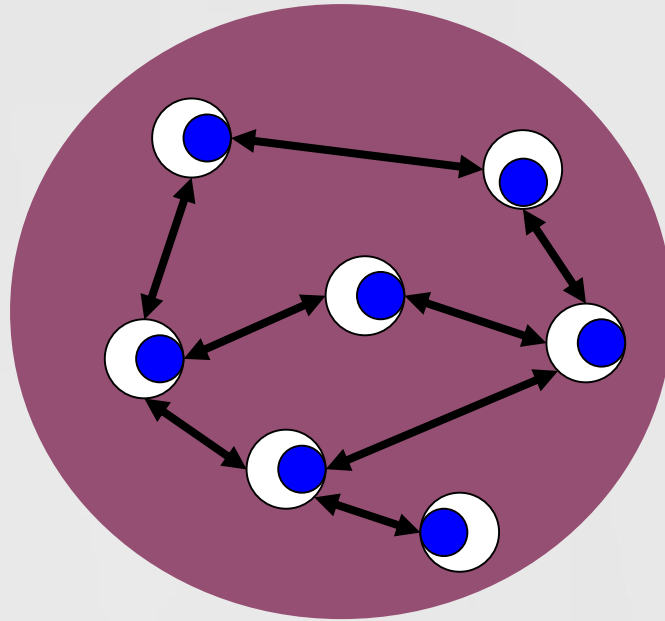
Πρώθηση πληροφορίας συνδρομών (2)



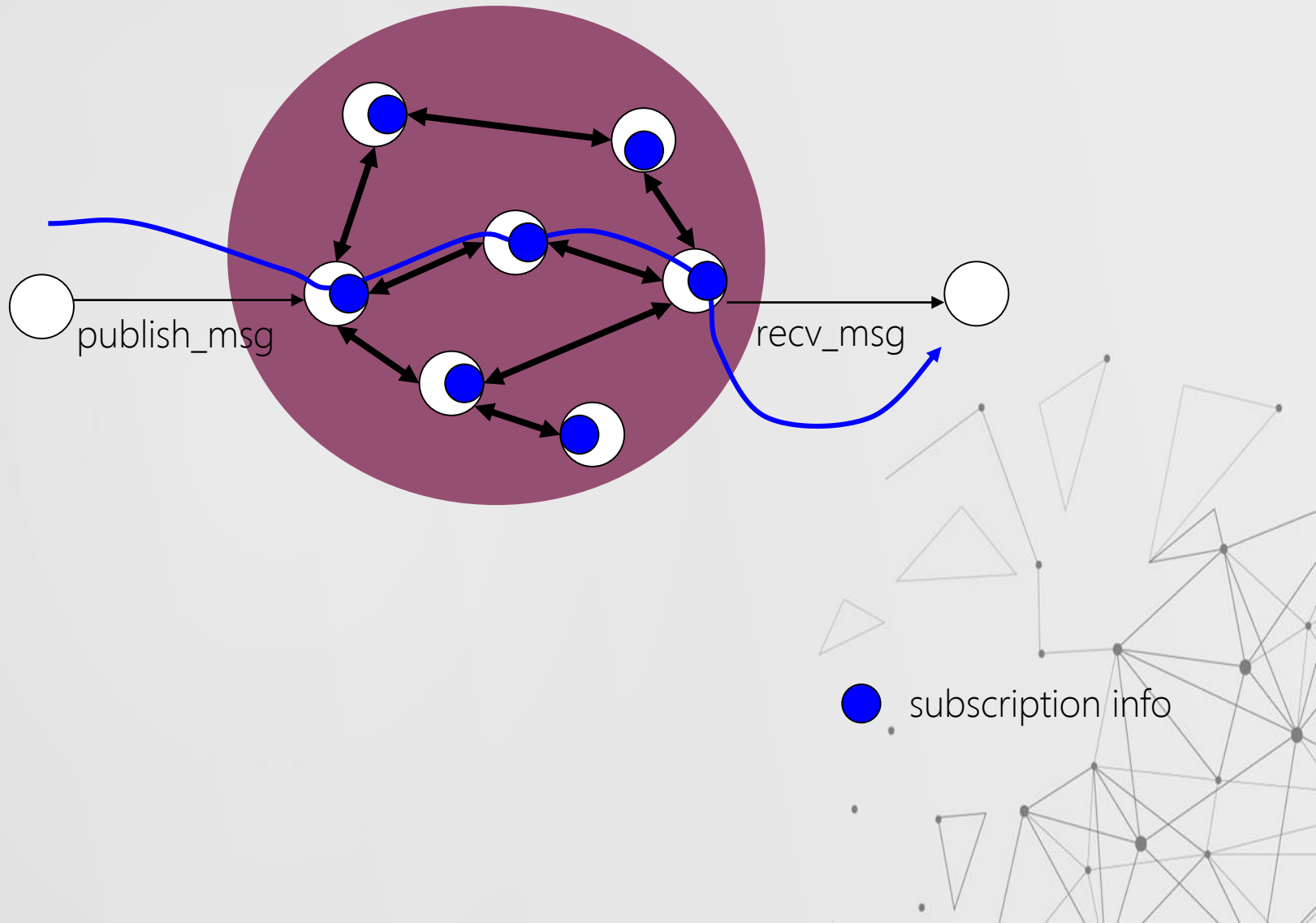
Πρώθηση πληροφορίας συνδρομών (3)



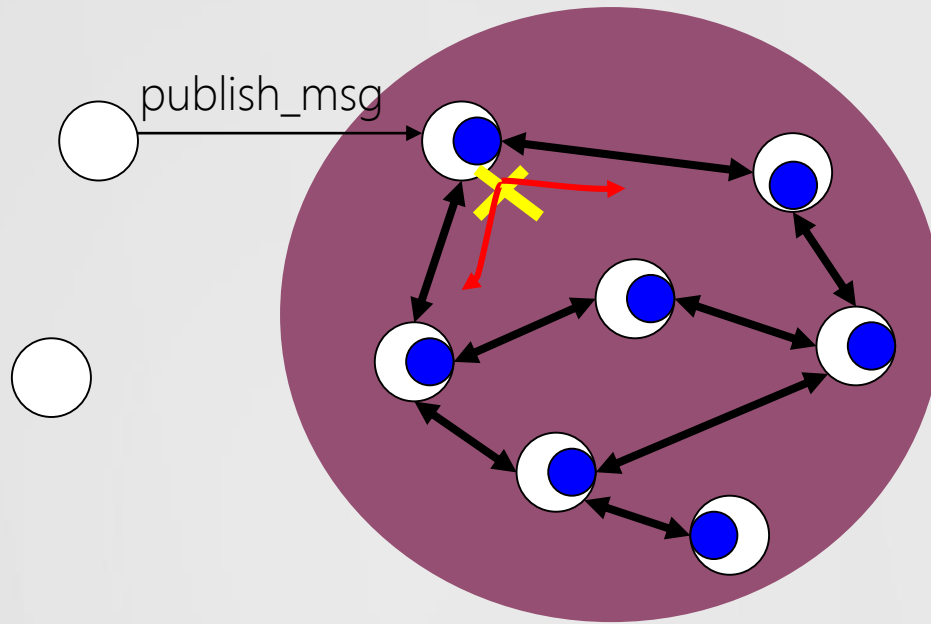
Πρώθηση πληροφορίας συνδρομών (4)



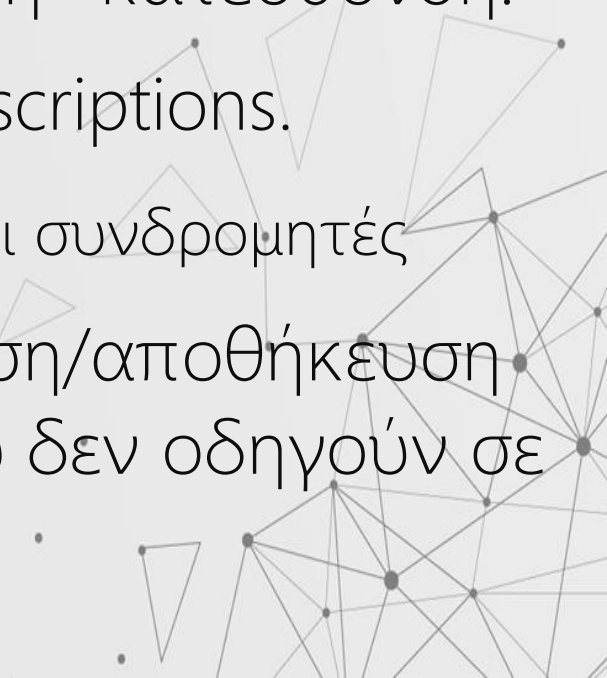
Πρώθηση πληροφορίας συνδρομών (5)



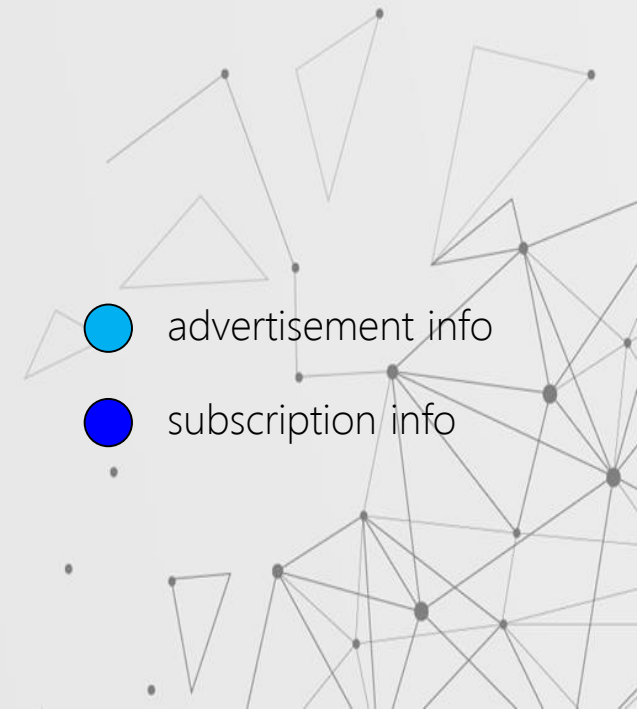
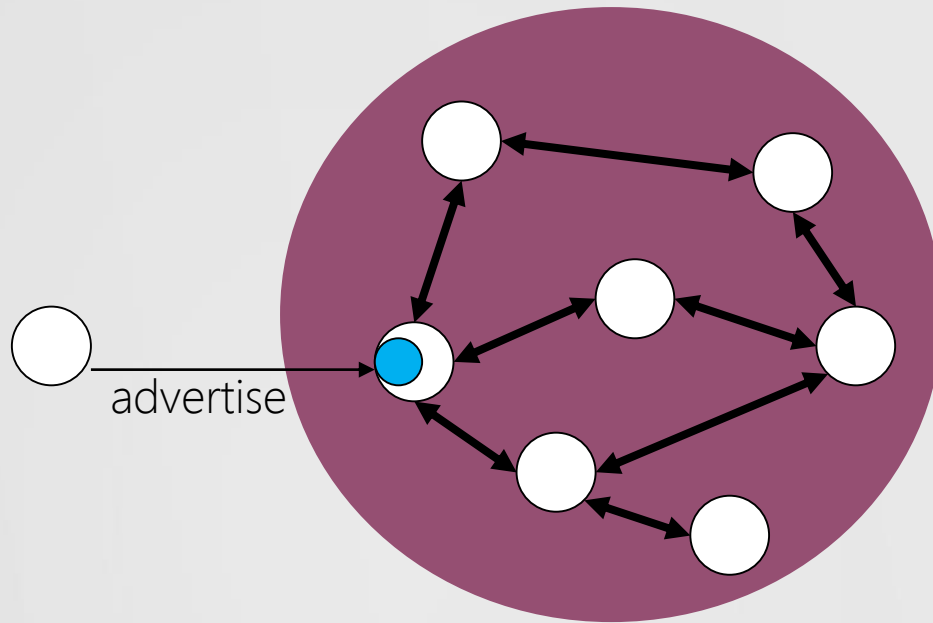
Πρώθηση πληροφορίας συνδρομών (6)



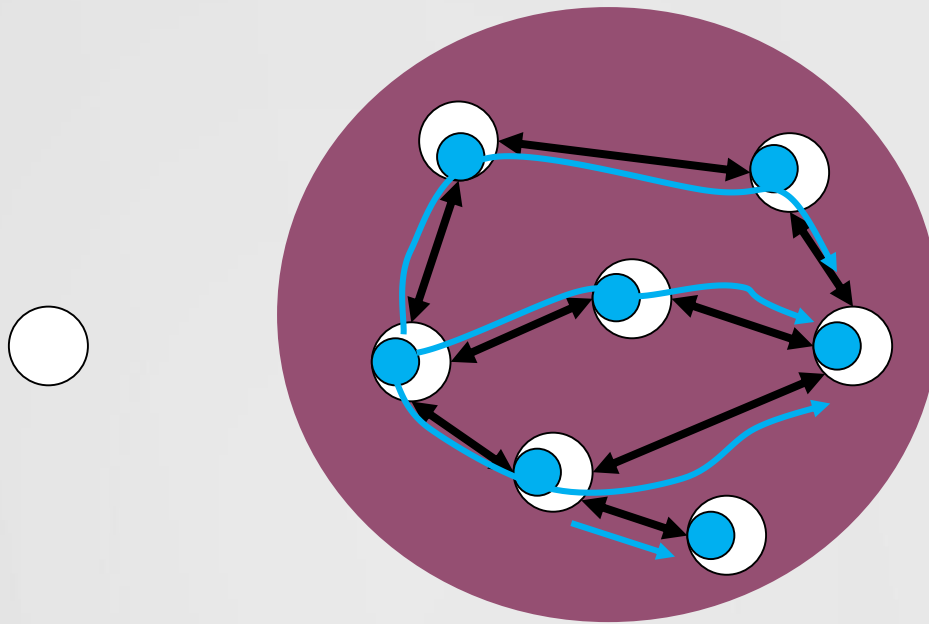
Διαφημίσεις (1)

- Οι εκδότες καταθέτουν διαφημίσεις (ads) για το θέμα μηνυμάτων που πρόκειται να δημοσιεύουν.
 - Αν ένας εξυπηρετητής δεν πρόκειται να προωθήσει μηνύματα για ένα θέμα, τότε δεν έχει νόημα να αποθηκεύει ή να προωθεί πληροφορία συνδρομής για αυτό το θέμα προς την «αντίθετη» κατεύθυνση.
 - Κέρδος αν $\#advertisements \ll \#subscriptions$.
 - όταν αλλάζουν συχνά οι συνδρομές / οι συνδρομητές
 - Δεν χάνονται πόροι για την μετάδοση/αποθήκευση συνδρομών προς κατευθύνσεις που δεν οδηγούν σε αντίστοιχους εκδότες.
- 

Διαφημίσεις (2)



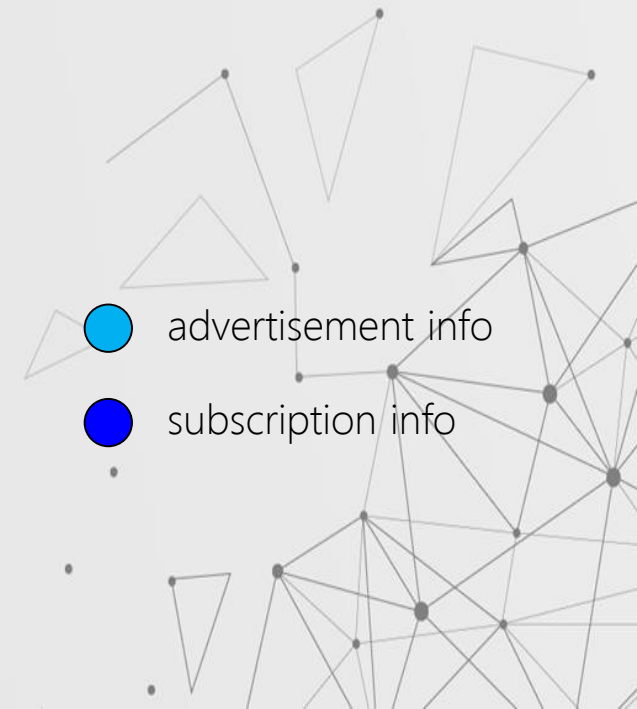
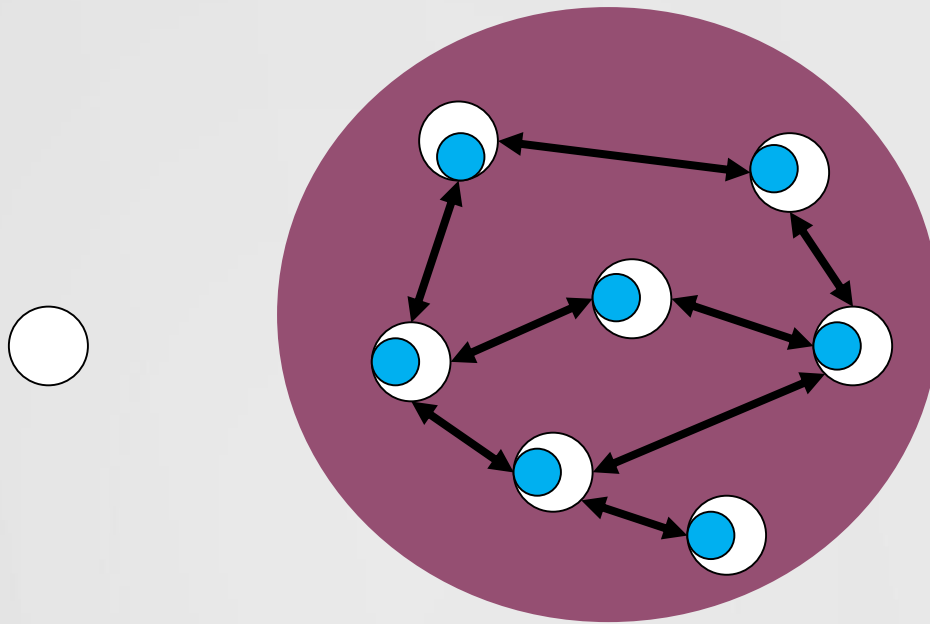
Διαφημίσεις (3)



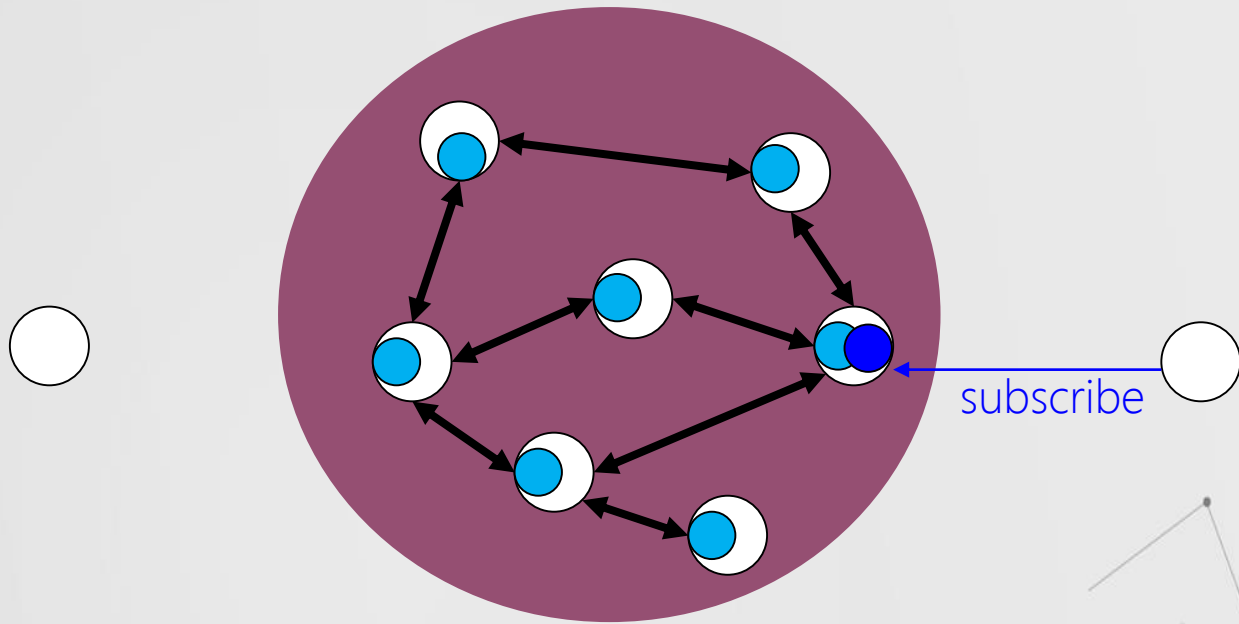
● advertisement info

● subscription info

Διαφημίσεις (4)



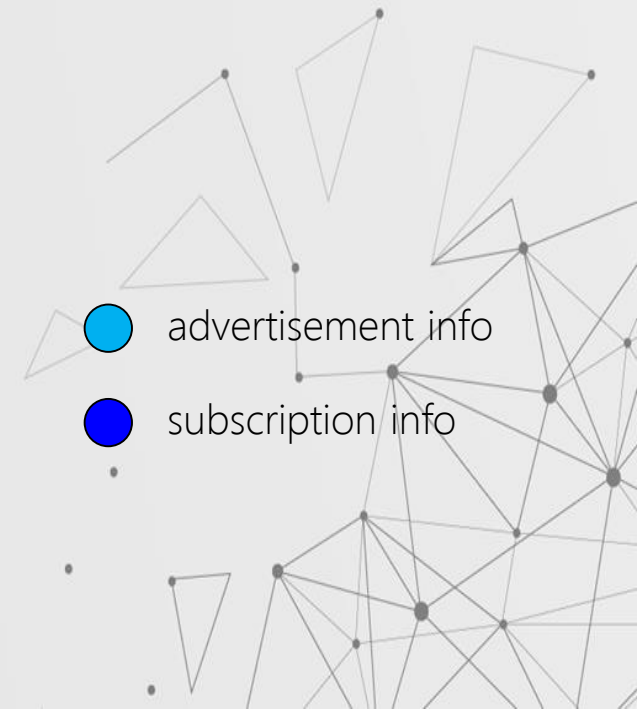
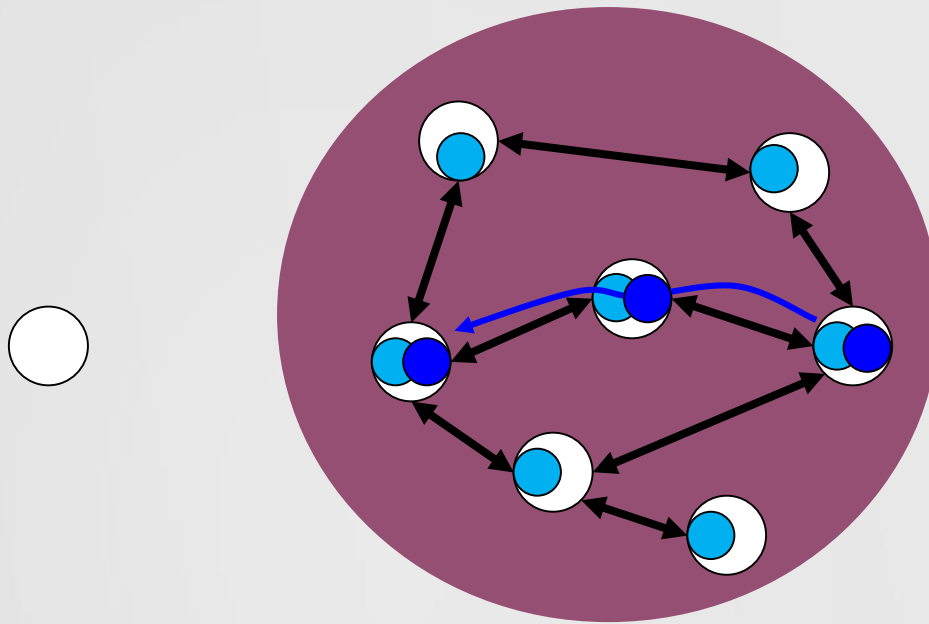
Διαφημίσεις (5)



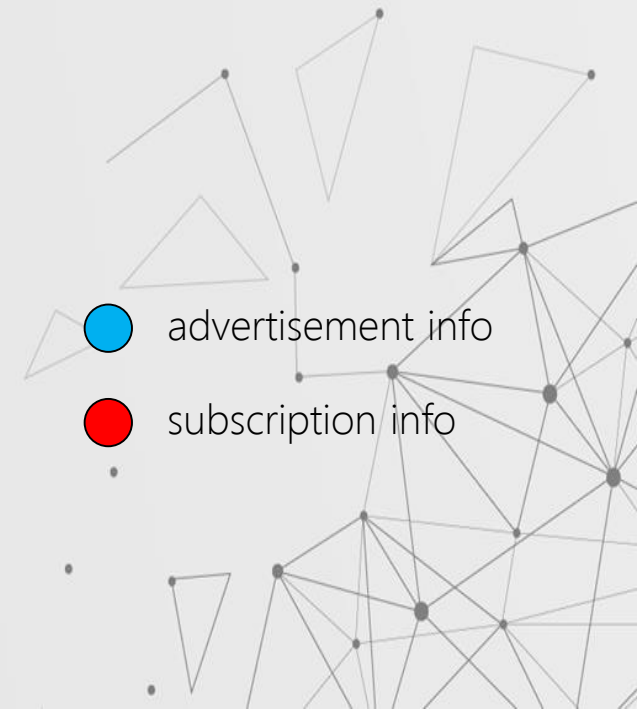
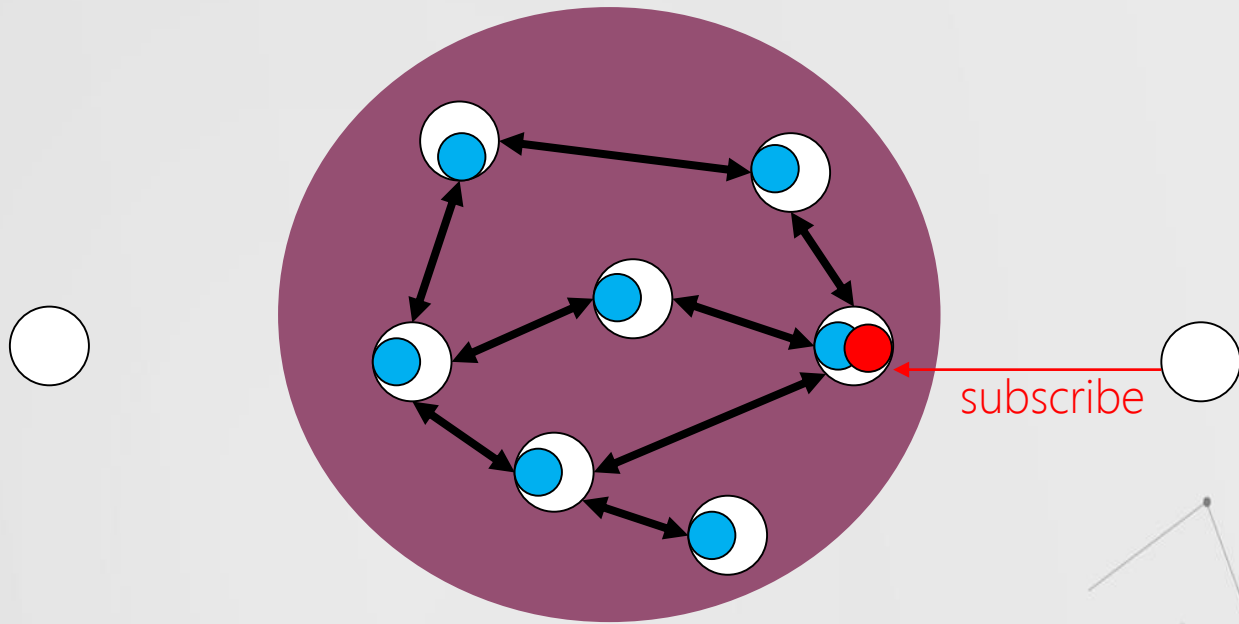
● advertisement info

● subscription info

Διαφημίσεις (6)

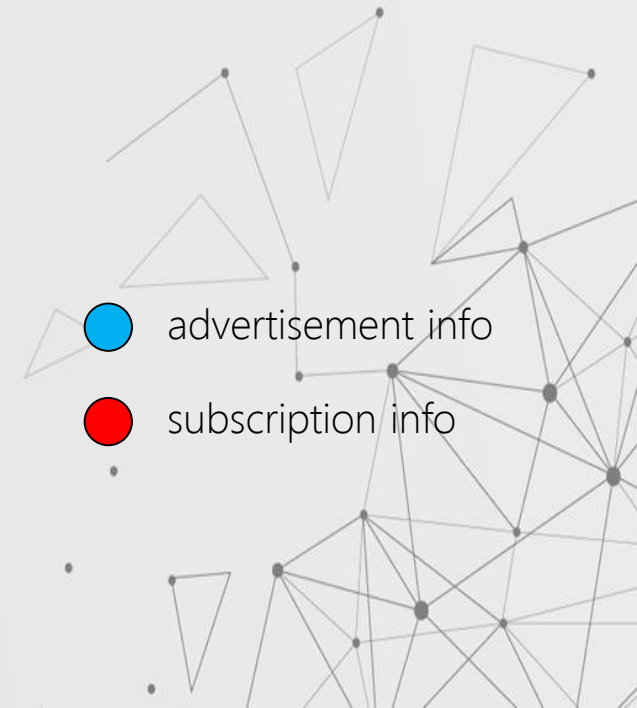
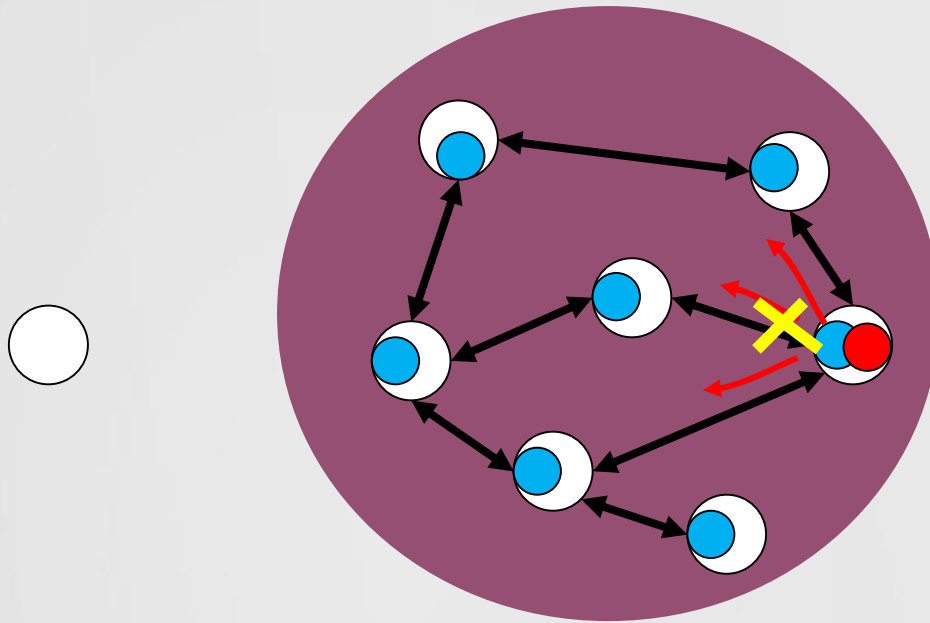


Διαφημίσεις (7)



-  advertisement info
-  subscription info

Διαφημίσεις (8)



Περιγραφή περιεχομένου συνδρομών

- Στην απλούστερη περίπτωση μπορεί να είναι ένα «απλό» αναγνωριστικό (ακέραιος, όνομα).
 - Οι περιγραφές μπορεί να είναι πιο πολύπλοκες.
 - π.χ., βασισμένες σε κατάλληλη οντολογία.
 - Όσο πιο ετερογενής/πολύπλοκη είναι η πληροφορία, τόσο πιο σημαντική είναι η καλή δόμηση της.
 - Αυξημένες δυνατότητες για καλύτερο φιλτράρισμα και πιο εστιασμένη προώθηση μηνυμάτων.
 - Υπολογισμός σχέσεων επικάλυψης των συνδρομών.
 - μείωση της πληροφορίας στους ενδιάμεσους κόμβους.
 - επιτάχυνση φιλτραρίσματος μηνυμάτων.
- 