

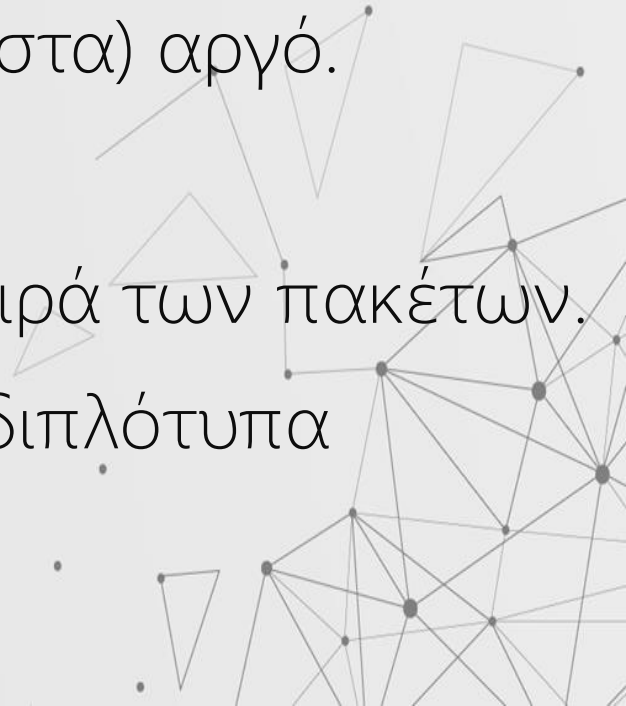
The background features a complex network of thin grey lines connecting various points, some of which are highlighted with larger grey dots. Scattered throughout are several triangles of different sizes and orientations, some with solid outlines and others with dashed or dotted lines. The overall aesthetic is technical and modern, suggesting a focus on data, networks, or systems.

04

Κατανεμημένα Συστήματα

Αξιόπιστη μεταφορά δεδομένων
πάνω από αναξιόπιστο δίκτυο

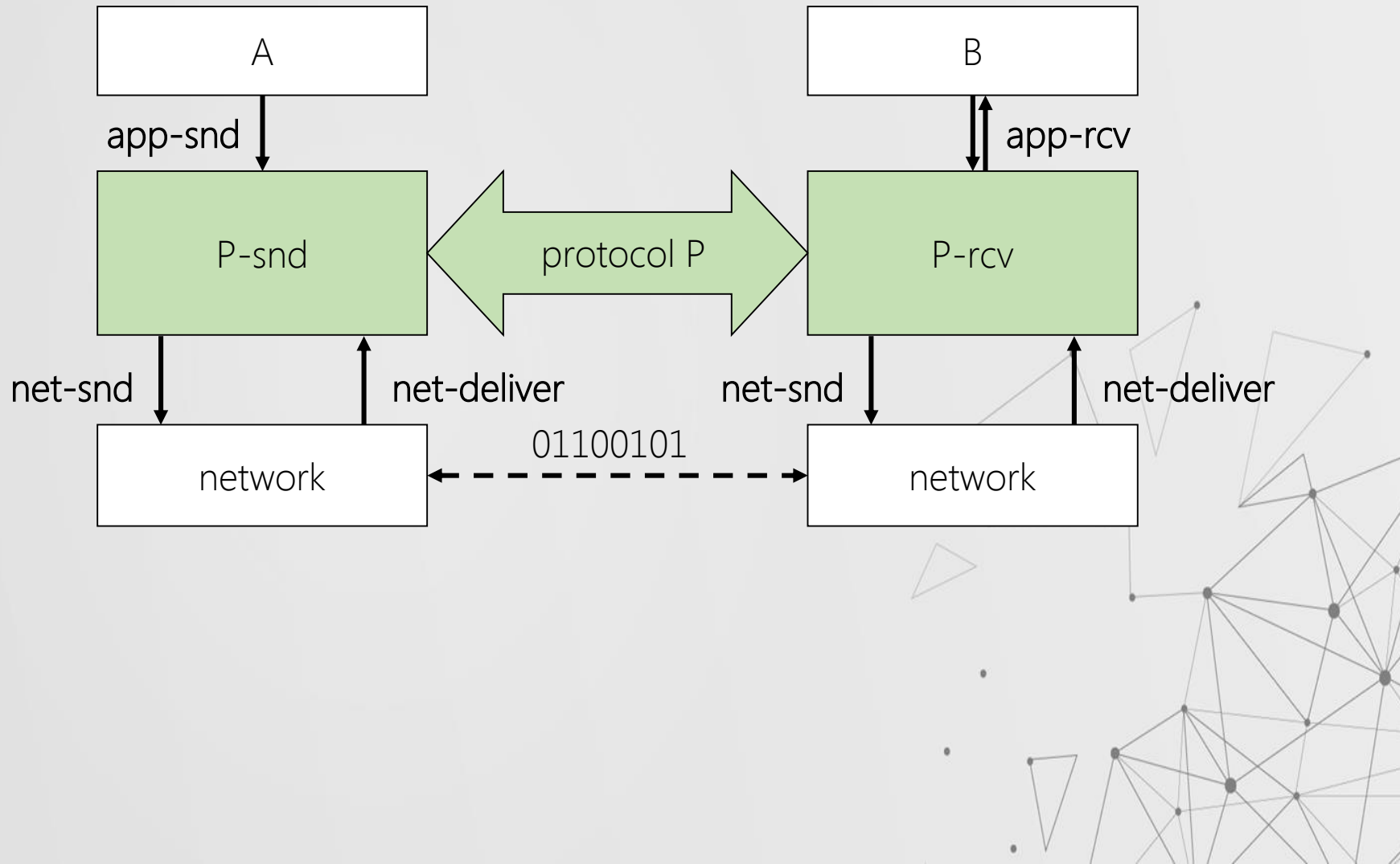
Μοντέλο δικτύου*

- Το δίκτυο δέχεται και επιστρέφει πακέτα.
 - κάθε πακέτο μεταφέρει έναν περιορισμένο αριθμό bytes.
 - Βασικές λειτουργίες δικτύου.
 - **net-snd**: αποστολή πακέτου.
 - **net-deliver**: άφιξη πακέτου.
 - Το δίκτυο μπορεί να είναι (απεριόριστα) αργό.
 - Το δίκτυο μπορεί να χάσει πακέτα.
 - Το δίκτυο μπορεί να αλλάξει την σειρά των πακέτων.
 - Το δίκτυο μπορεί να δημιουργήσει διπλότυπα πακέτα.
- 

Μετάδοση δεδομένων FIFO

- Ο A στέλνει στον B μια ακολουθία από πακέτα.
- Λειτουργίες σε επίπεδο εφαρμογής:
 - **app-snd**: αποστολή επόμενου πακέτου.
 - **app-rcv**: παραλαβή του επόμενου πακέτου.
- **Ζητούμενο**: ένα πρωτόκολλο το οποίο να εγγυάται πως όλα τα πακέτα που στέλνει ο A τελικά θα παραδοθούν στον B , και με τη σωστή σειρά (δηλαδή την σειρά με την οποία τα έστειλε ο B).

Μετάδοση δεδομένων FIFO



#1. Σειριακή παράδοση πακέτων

- **P-snd**: επισυνάπτει αύξοντα σειριακό αριθμό σε κάθε (καινούριο) πακέτο που στέλνει.
- **P-rcv**: παραδίδει τα πακέτα που λαμβάνει με βάση τους σειριακούς αριθμούς τους, αγνοώντας πακέτα που ήδη έχουν ληφθεί.
- Καλή εκμετάλλευση της χωρητικότητας του δικτύου.
- Αν χαθεί ένα πακέτο (είτε από το δίκτυο είτε λόγω έλλειψης αποθηκευτικού χώρου στον παραλήπτη), αυτό δεν ξαναστέλνεται ποτέ.
- η παράδοση πακέτων μπλοκάρεται για πάντα.

#1. Σειριακή παράδοση πακέτων

P-snd

init:

n=0;

app-snd (<data>):

n++;

net-snd (<DAT,n,data>);

P-rcv

init:

n=0; buf[]={};

app-rcv (<data>):

while (!fnd(buf,n+1)) {}

data=rmv(buf,n+1);

n++;

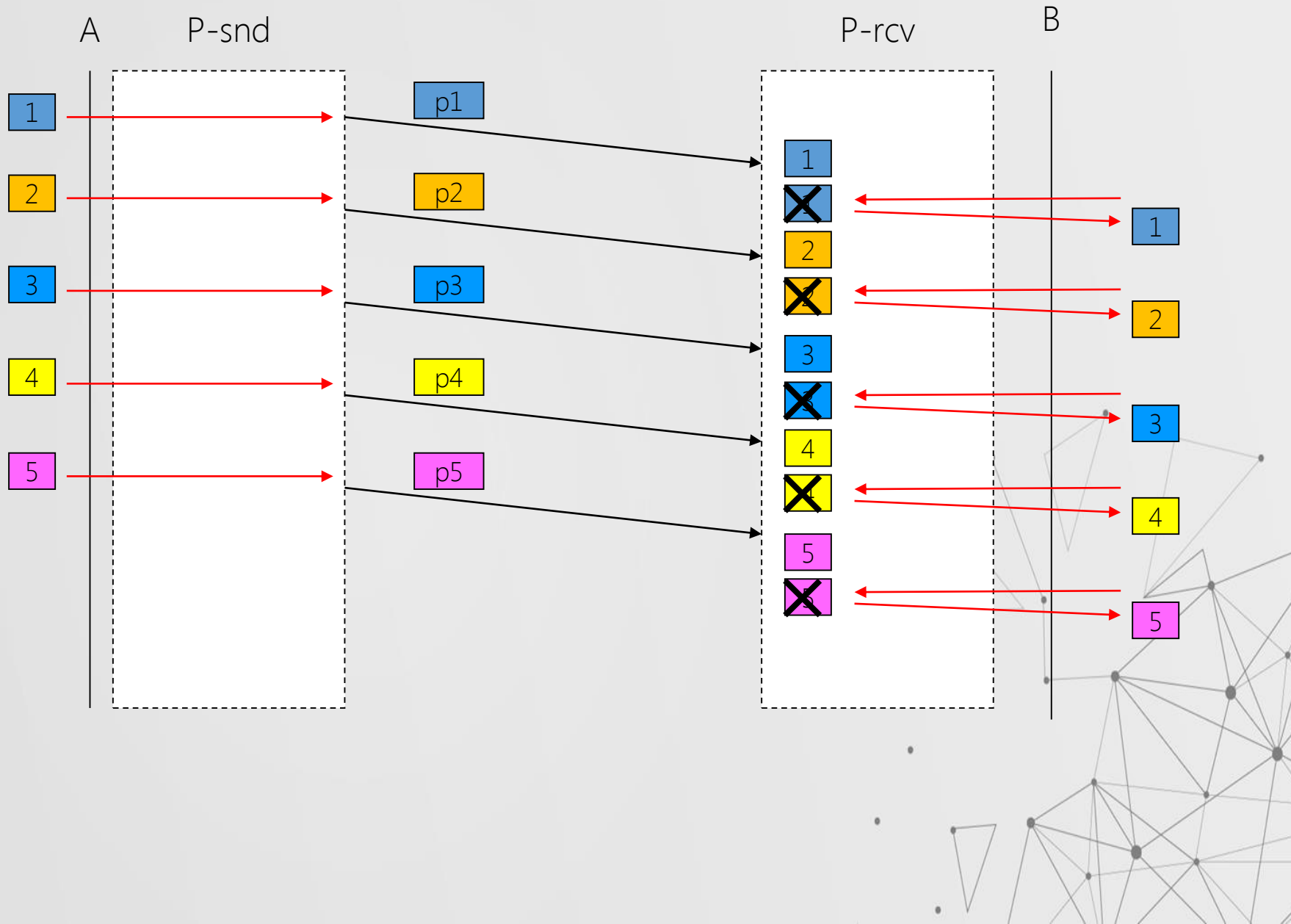
net-deliver (<DAT,k,data>):

if (full(buf)) return;

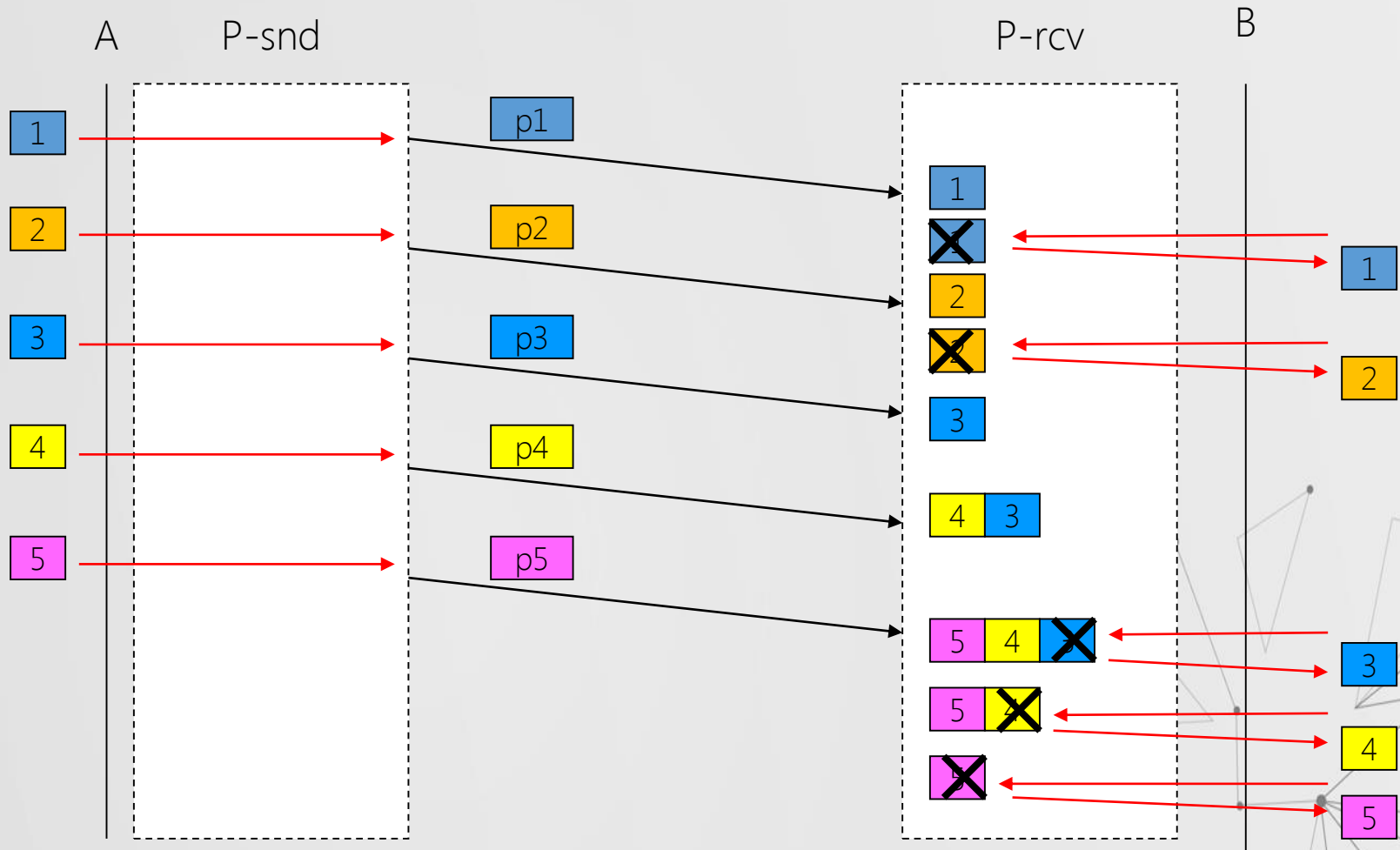
if ((k>n) && !fnd(buf,k)) {
 add(buf,k,data);

}

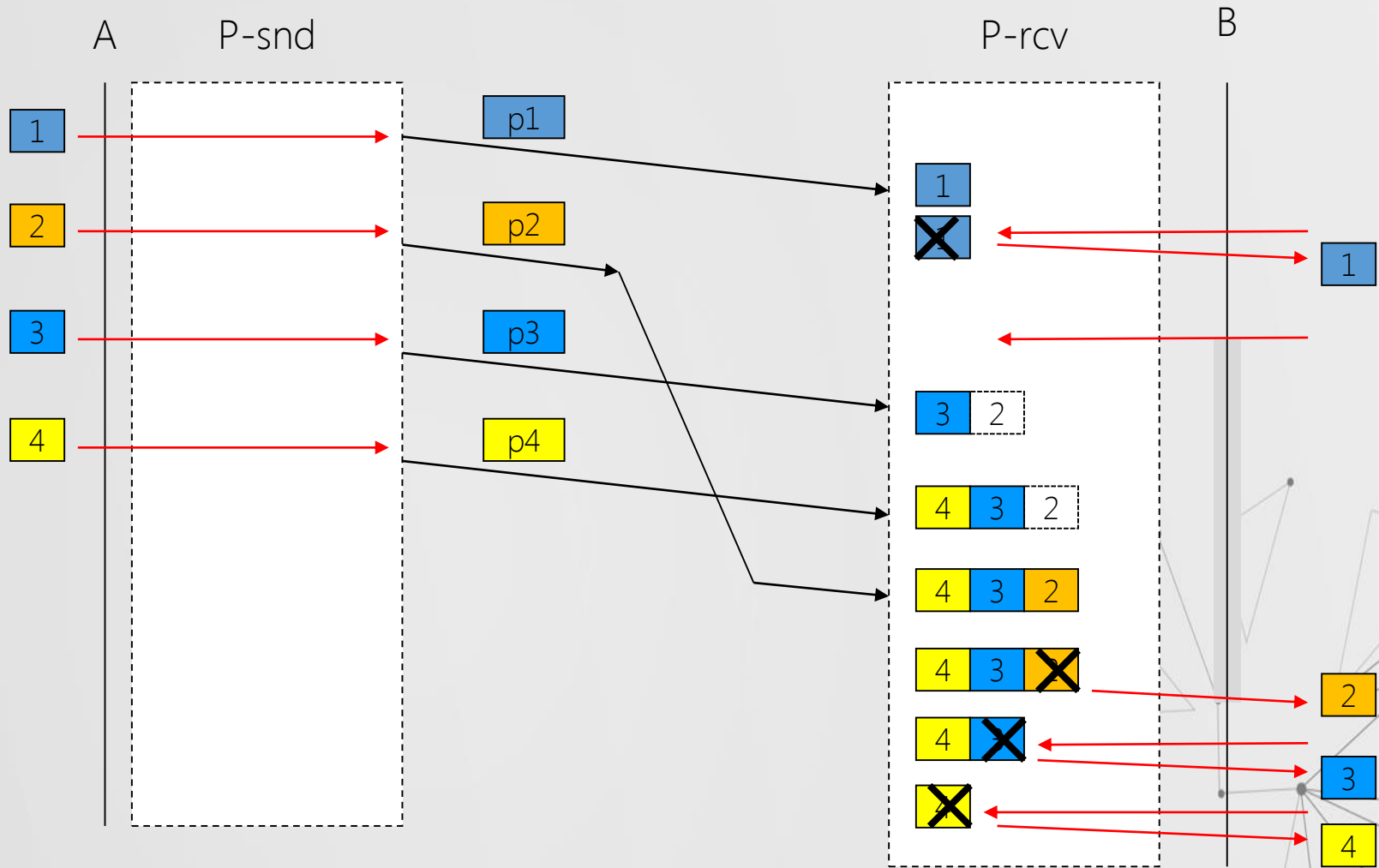
#1. Σειριακή παράδοση πακέτων



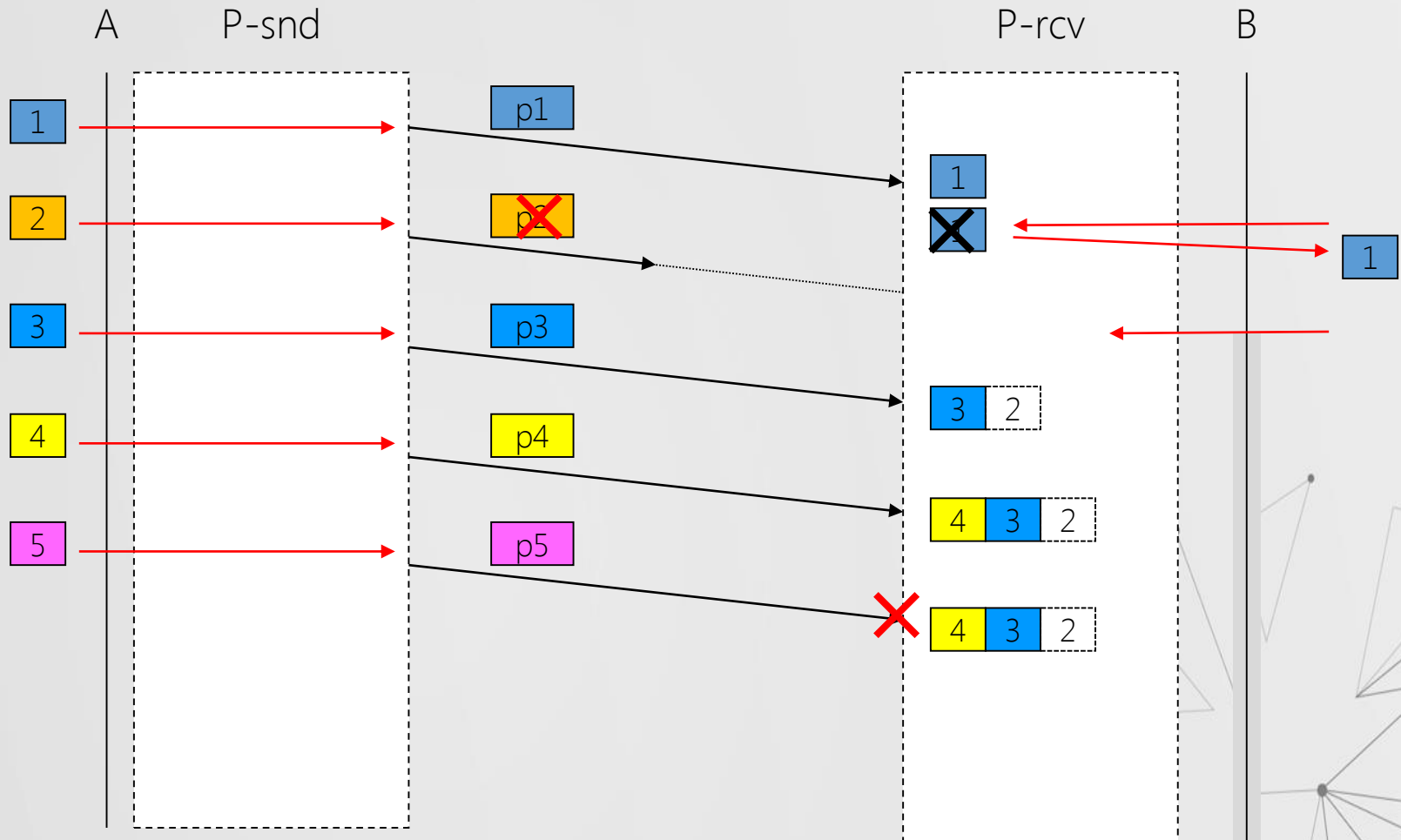
#1. Σειριακή παράδοση πακέτων



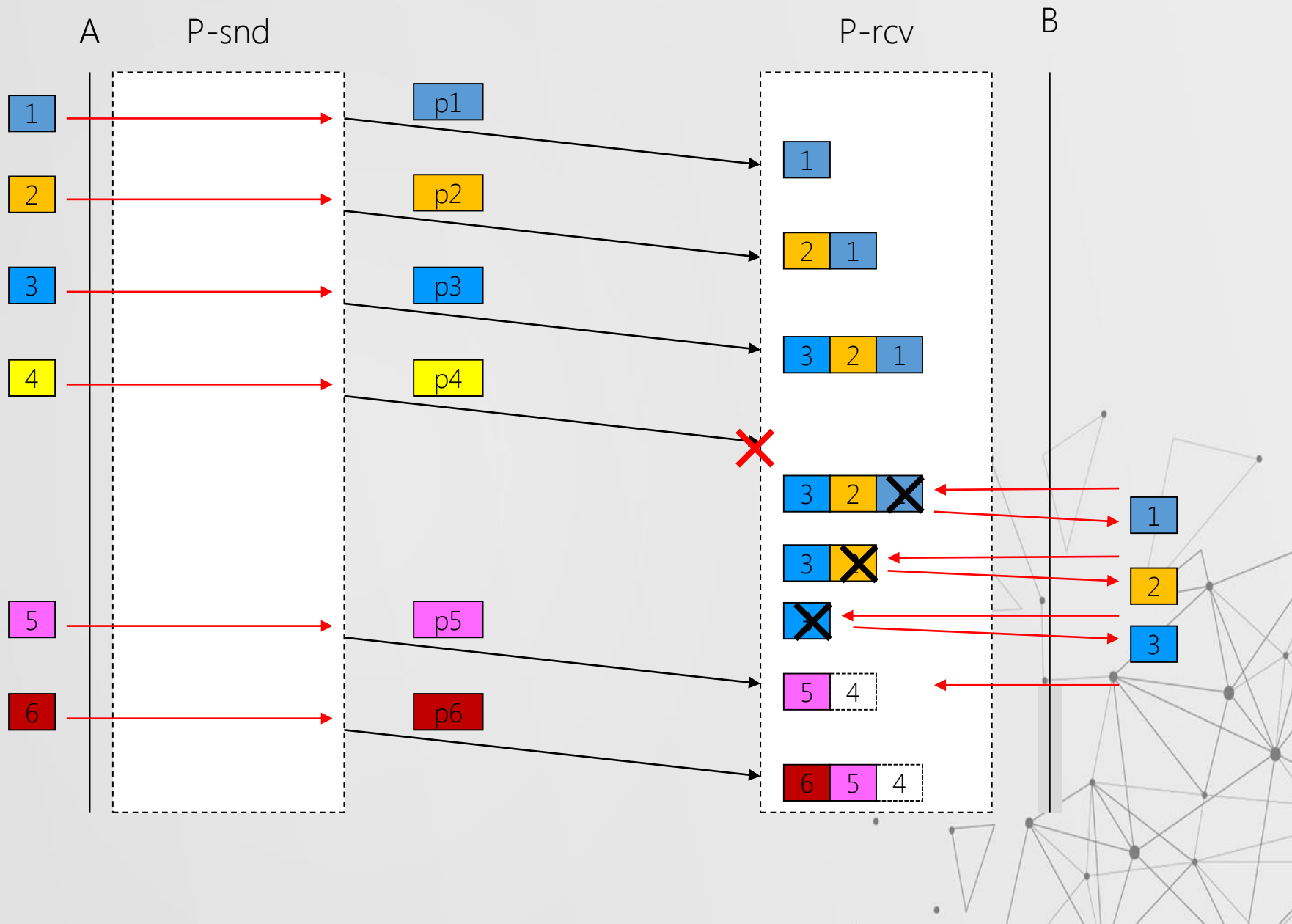
#1. Σειριακή παράδοση πακέτων



#1. Σειριακή παράδοση πακέτων



#1. Σειριακή παράδοση πακέτων



#2 Αναμονή για ρητή επιβεβαίωση

- **P-rcv**: στέλνει επιβεβαίωση για κάθε πακέτο που τοποθετεί ή έχει ήδη τοποθετήσει στην αποθήκη του.
- **P-snd**: περιμένει να λάβει επιβεβαίωση, προτού συνεχίσει με την αποστολή του επόμενου πακέτου.
- Αν δεν λάβει επιβεβαίωση μέσα σε χρονικό διάστημα T , ξαναστέλνει το προηγούμενο (ανεπιβεβαίωτο) πακέτο.
- Κακή εκμετάλλευση της χωρητικότητας του δικτύου.
- Όσο παραμένει γεμάτη η αποθήκη του παραλήπτη, η αποστολή του επόμενου πακέτου γίνεται άσκοπη (το πακέτο απλά θα πεταχτεί στην άλλη πλευρά).

#2 Αναμονή για ρητή επιβεβαίωση

P-snd

init:

```
n=0; ack=0; buf[]={};
```

app-snd(<data>):

```
while (full(buf)) {}  
n++;  
add(buf,n,data);  
if (n==ack+1) snd-nxt;
```

net-deliver(<ACK,k>):

```
if (k<ack+1) return;  
ack++; // ack=k;  
rmv(buf,ack);  
if (ack<n) snd-nxt;
```

snd-nxt:

```
data=get(buf,ack+1);  
net-snd(DAT,ack+1,data);  
settimer(T,snd-nxt);
```

P-rcv

init:

```
n=0; buf[]={};
```

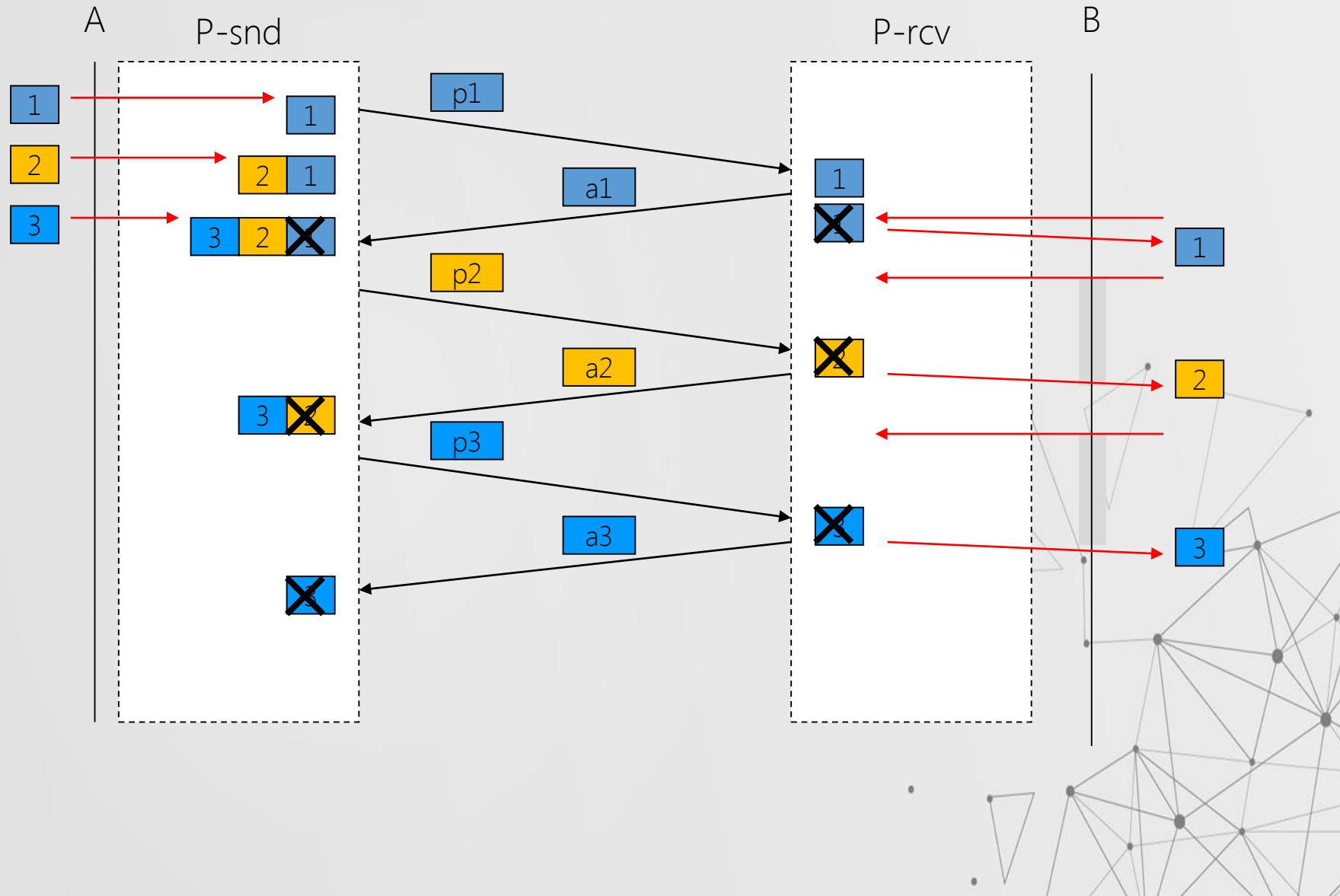
app-rcv(<data>):

```
while (!fnd(buf,n+1)) {}  
data=rmv(buf,n+1);  
n++;
```

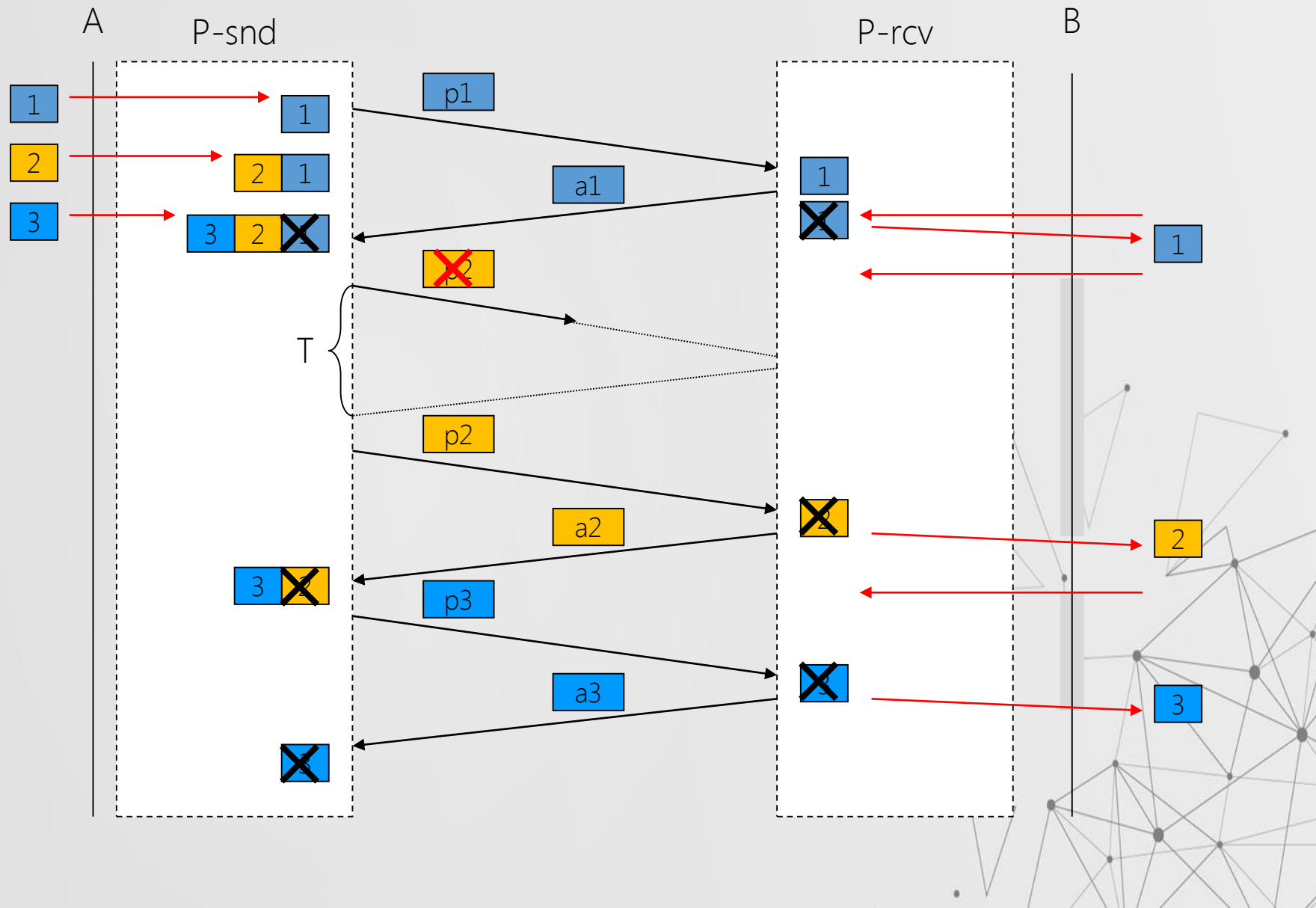
net-deliver(<DAT,k,data>):

```
if (full(buf)) return;  
net-snd(ACK,k);  
if ((k>n) && !fnd(buf,k)) {  
    add(buf,k,data);  
}
```

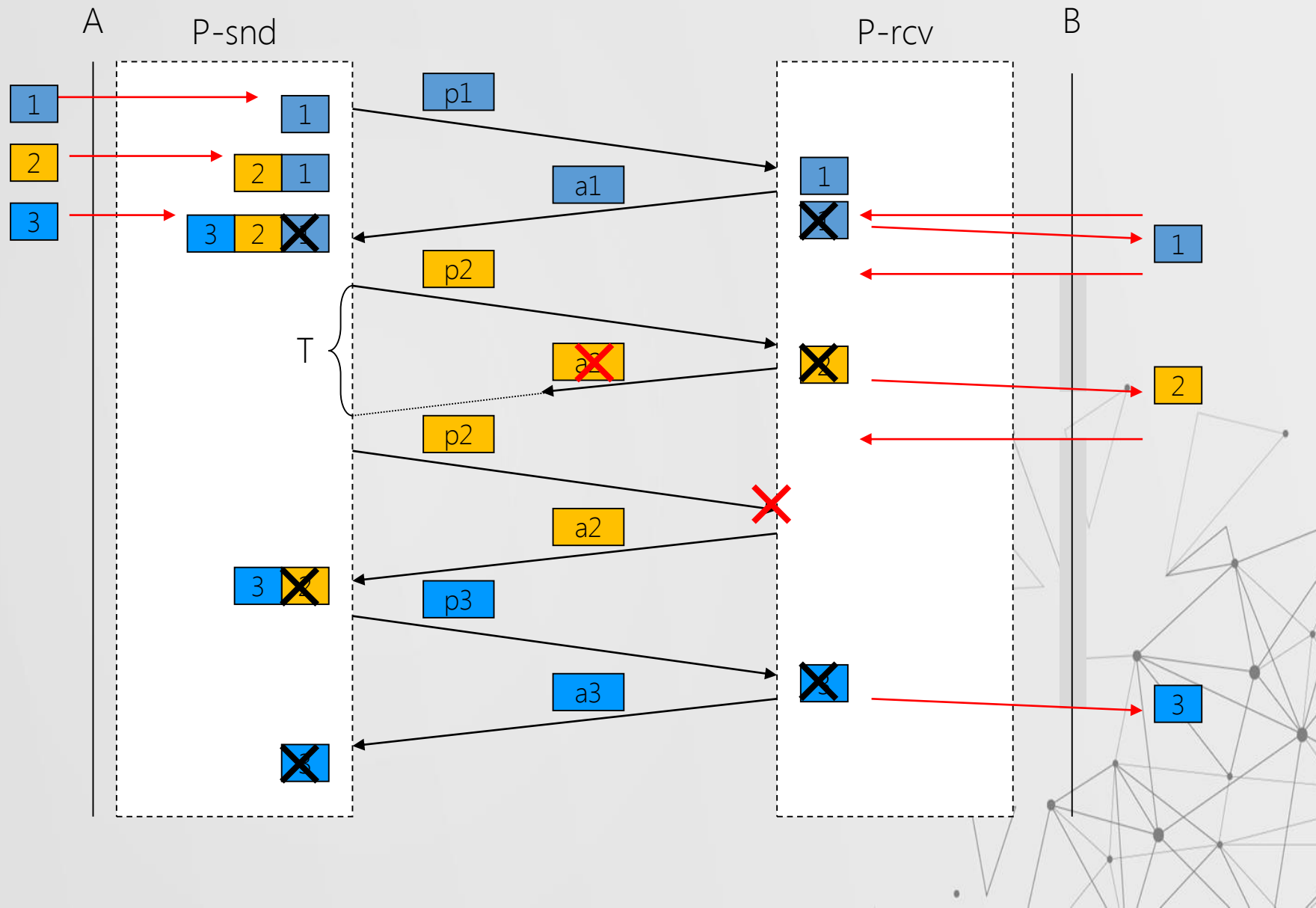
#2 Αναμονή για ρητή επιβεβαίωση



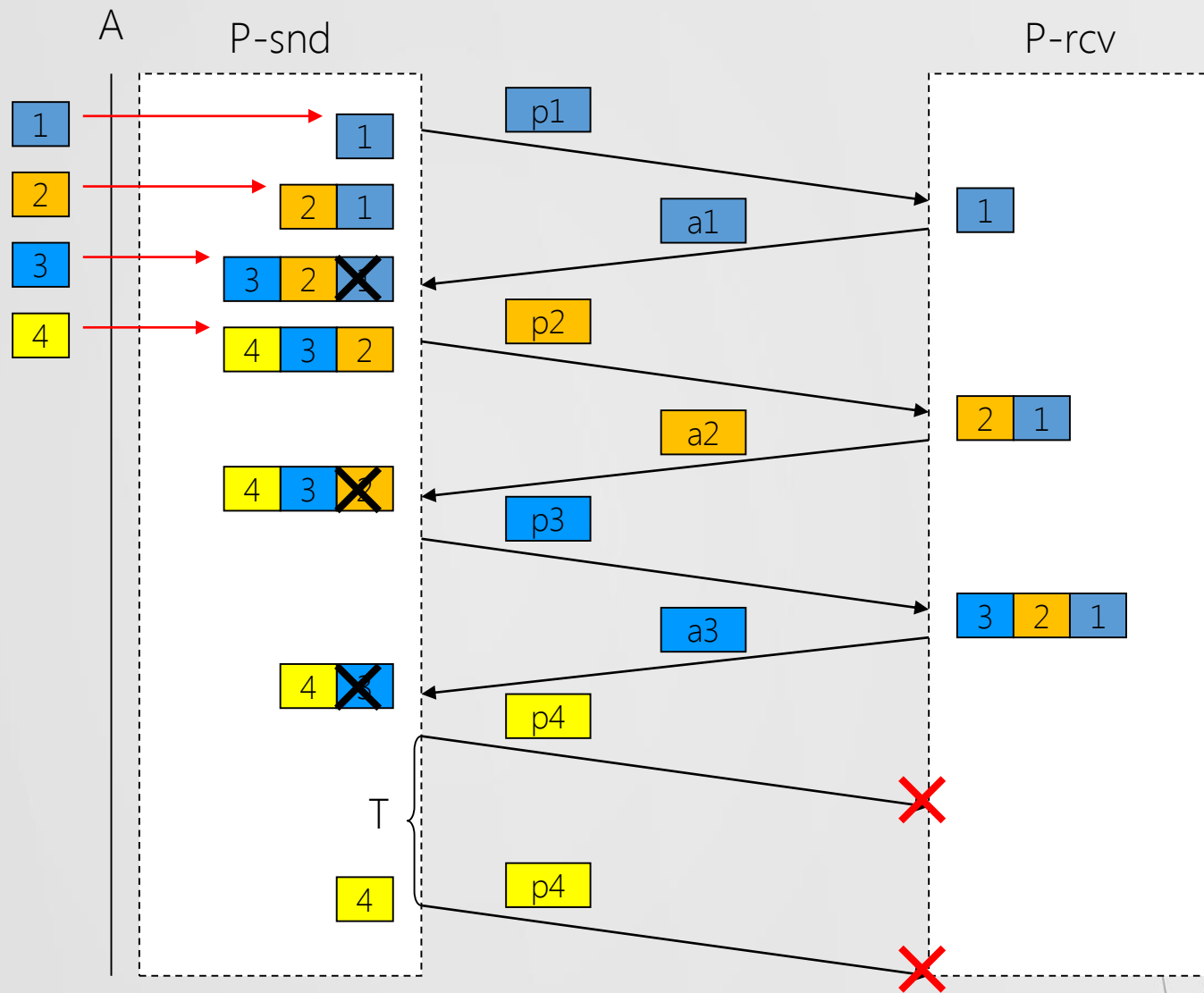
#2 Αναμονή για ρητή επιβεβαίωση



#2 Αναμονή για ρητή επιβεβαίωση



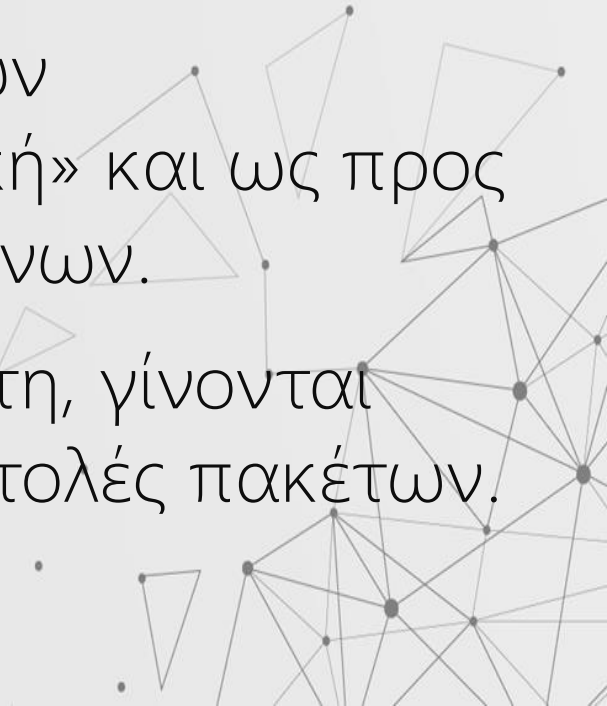
#2 Αναμονή για ρητή επιβεβαίωση



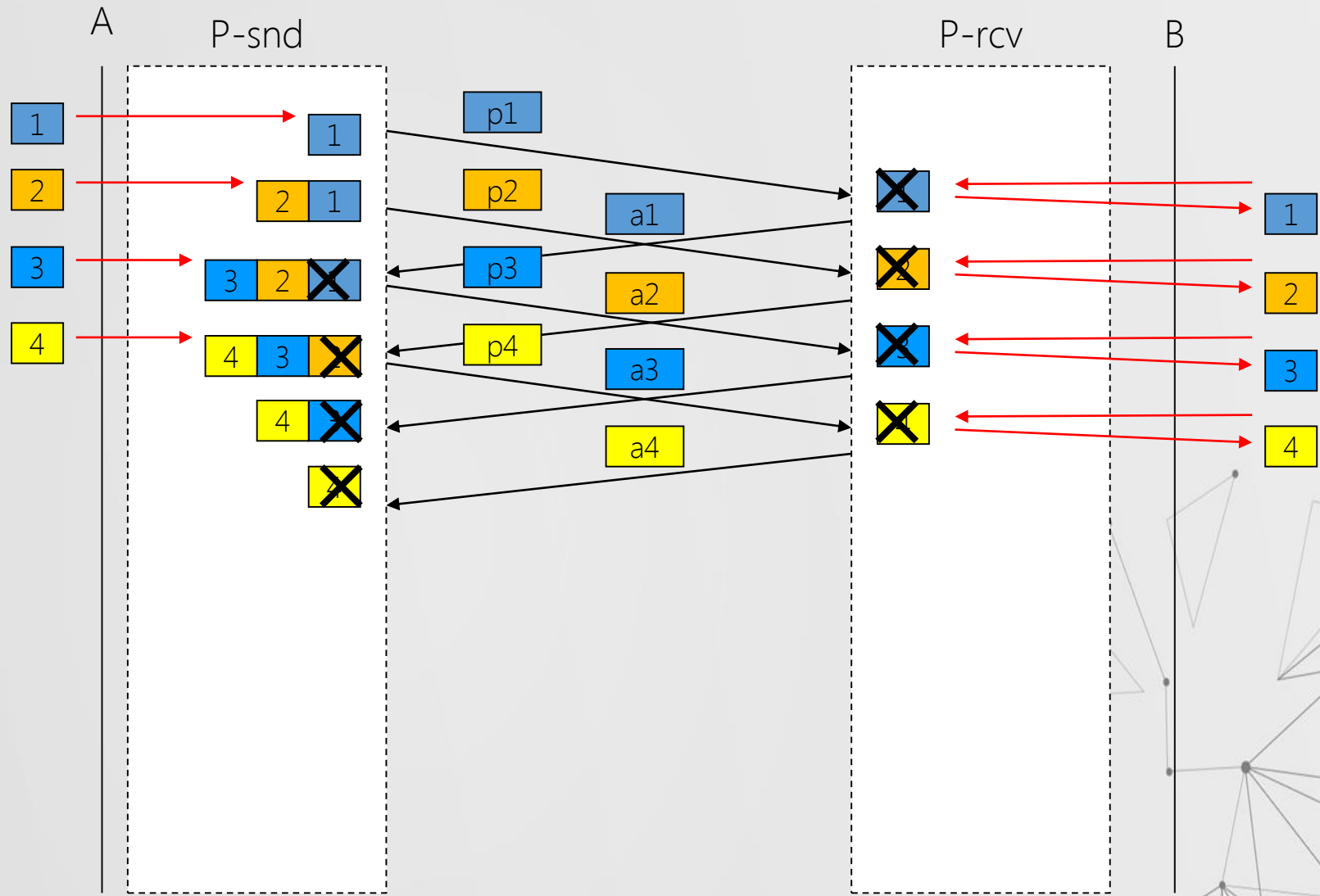
Παραλλαγή: Alternating Bit Protocol

- Έστω ότι υπάρχει γνωστό άνω όριο μετάδοσης T ενός πακέτου πάνω από το δίκτυο επικοινωνίας και έστω ότι το δίκτυο δεν αναπαράγει πακέτα.
- Αν ένα πακέτο δεν φτάσει στον προορισμό του μέσα σε T τότε σίγουρα έχει χαθεί (δεν θα φτάσει ποτέ).
- Το πρωτόκολλο #2 δεν χρειάζεται σειριακούς αριθμούς.
- Αρκεί ένα μοναδικό bit για να γίνει ο διαχωρισμός ανάμεσα στο «επόμενο» και το «προηγούμενο» πακέτο.
- Δεν τίθεται θέμα «υπερχείλισης» σειριακών αριθμών.

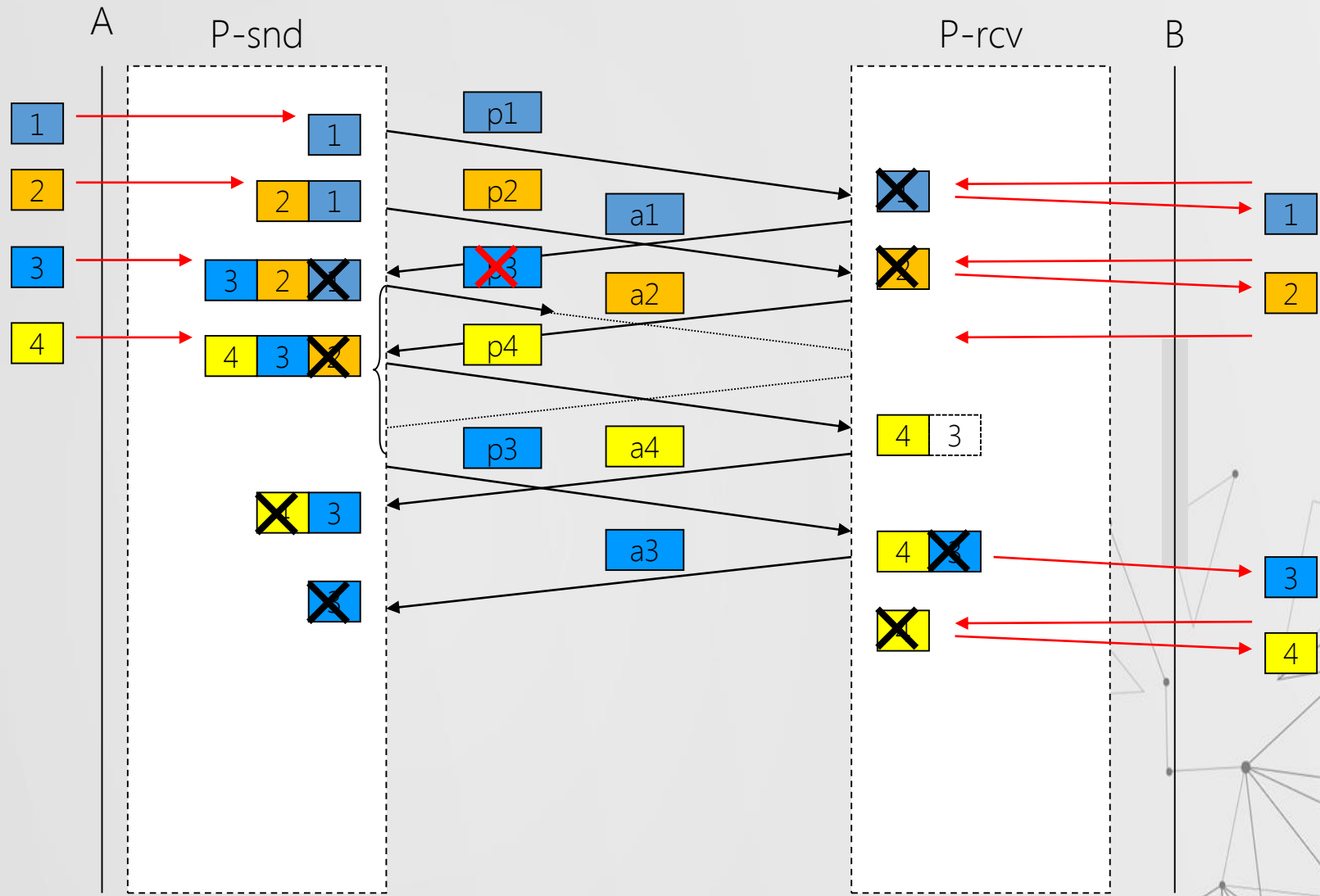
#3 Χωρίς αναμονή για επιβεβαίωση (1)

- **P-snd**: στέλνει το επόμενο πακέτο χωρίς να περιμένει επιβεβαίωση για το προηγούμενο.
 - Τα ανεπιβεβαίωτα πακέτα ξαναστέλνονται, μετά από πάροδο χρονικού διαστήματος T .
 - Εκμετάλλευση της χωρητικότητας του δικτύου.
 - Σε δίκτυο half-duplex η μετάδοση των επιβεβαιώσεων είναι «ανταγωνιστική» και ως προς την μετάδοση των πακέτων δεδομένων.
 - Αν γεμίσει η αποθήκη του παραλήπτη, γίνονται ακόμα περισσότερες άσκοπες αποστολές πακέτων.
- 

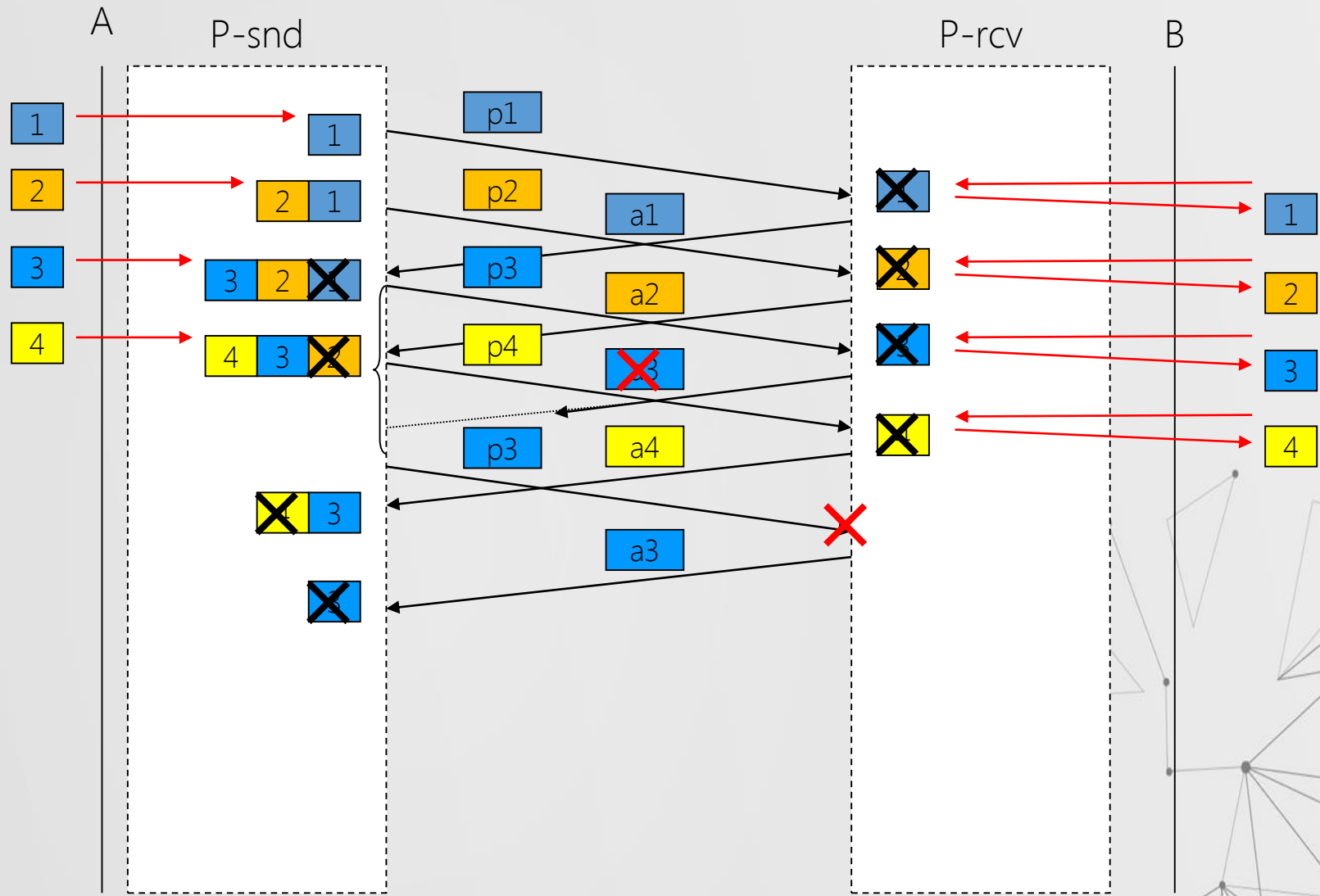
#3 Χωρίς αναμονή για επιβεβαίωση



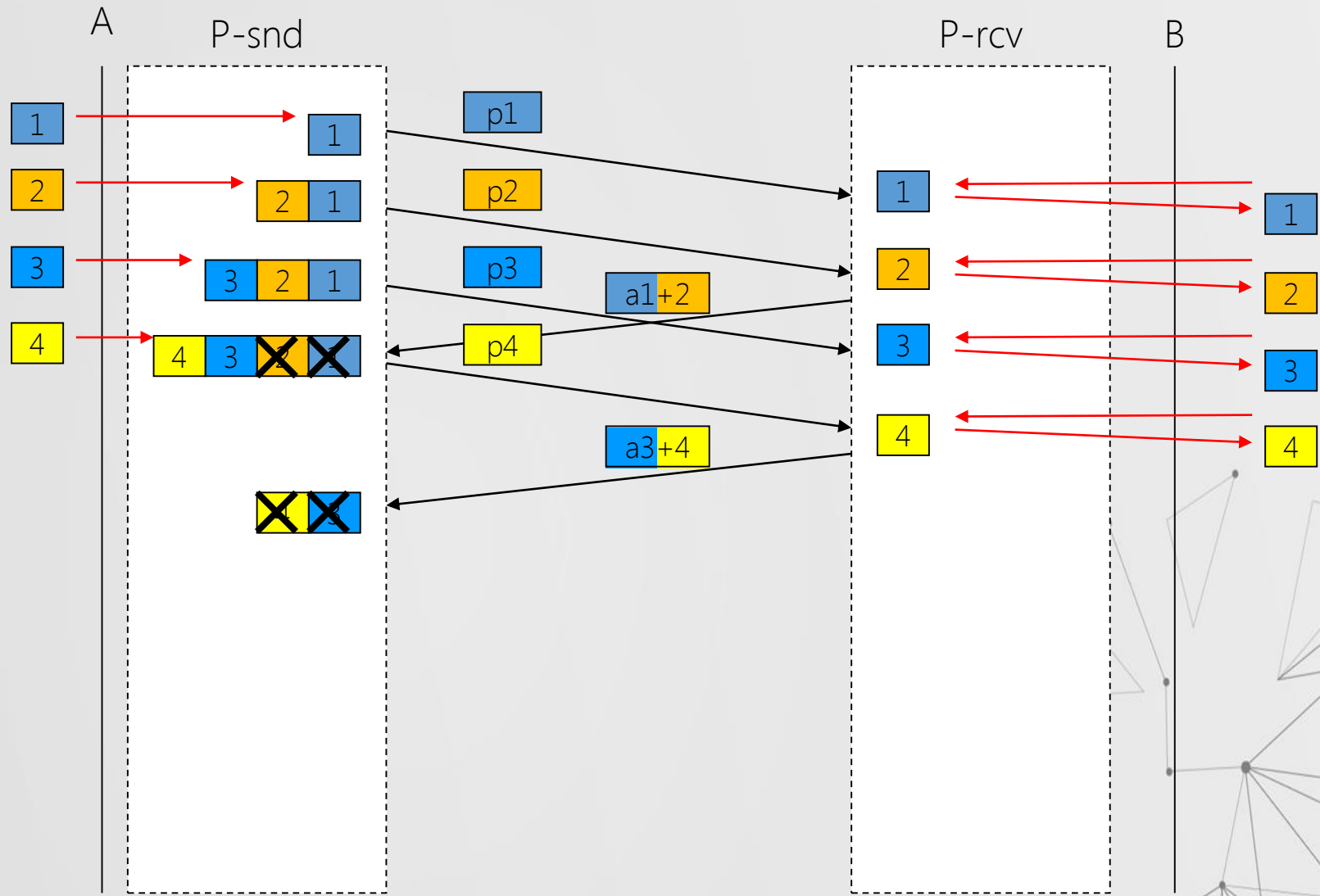
#3 Χωρίς αναμονή για επιβεβαίωση



#3 Χωρίς αναμονή για επιβεβαίωση

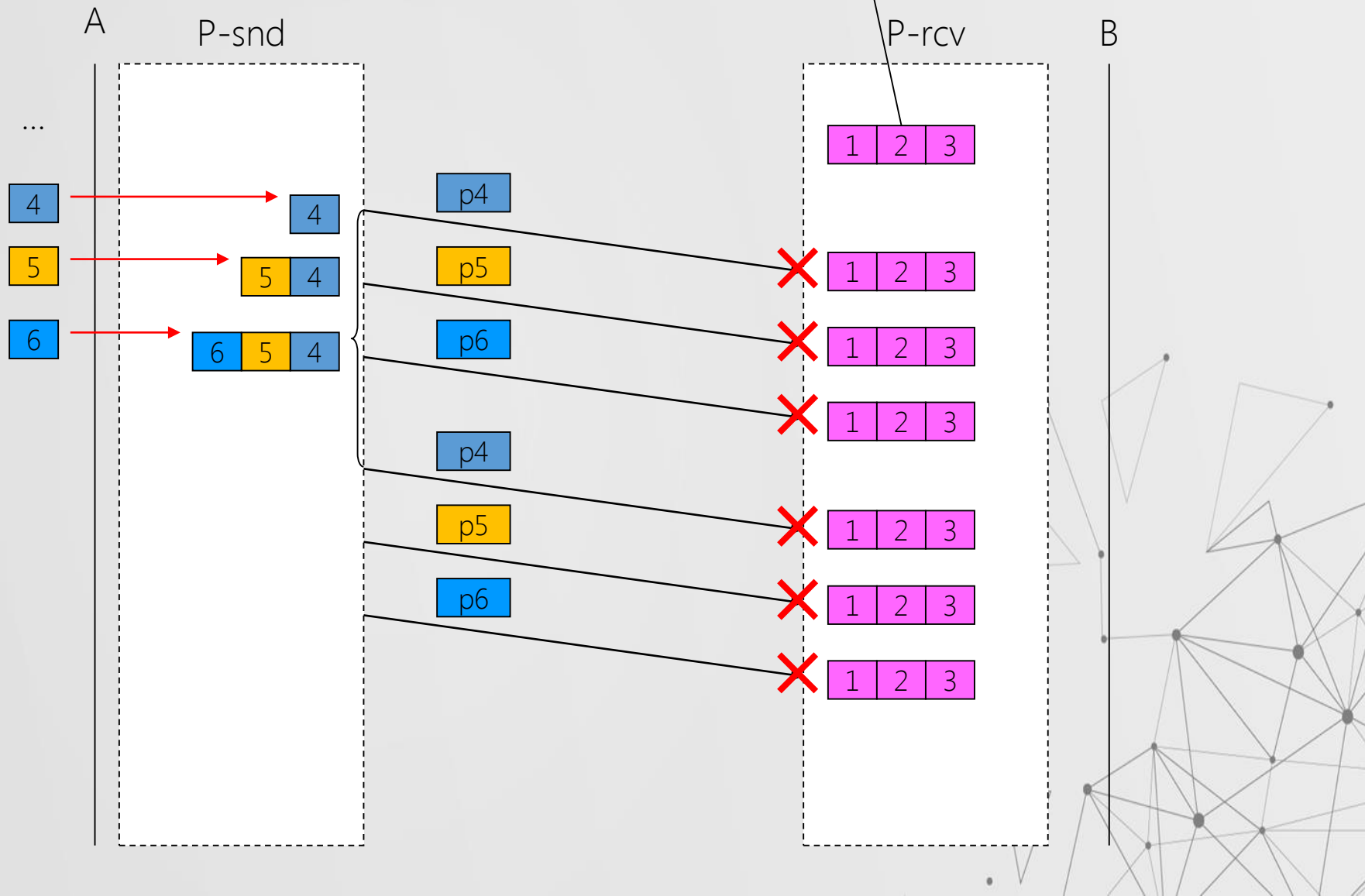


#3 Χωρίς αναμονή για επιβεβαίωση



#3 Χωρίς αναμονή για επιβεβαίωση

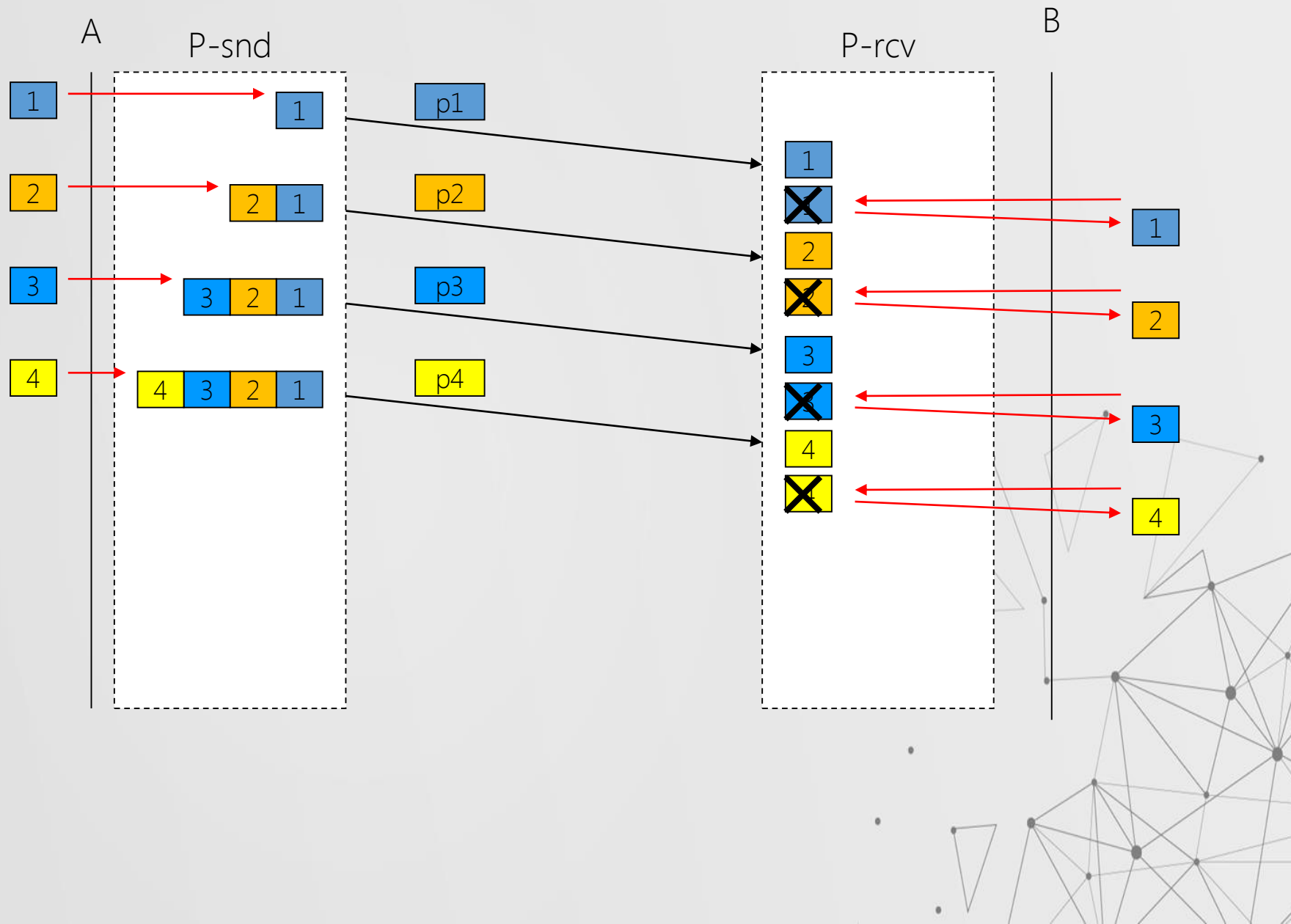
πακέτα που έχει ήδη στείλει ο A και έχουν αποθηκευτεί επιτυχώς στο επίπεδο P-rcv αλλά δεν έχει παραλάβει ακόμα ο B



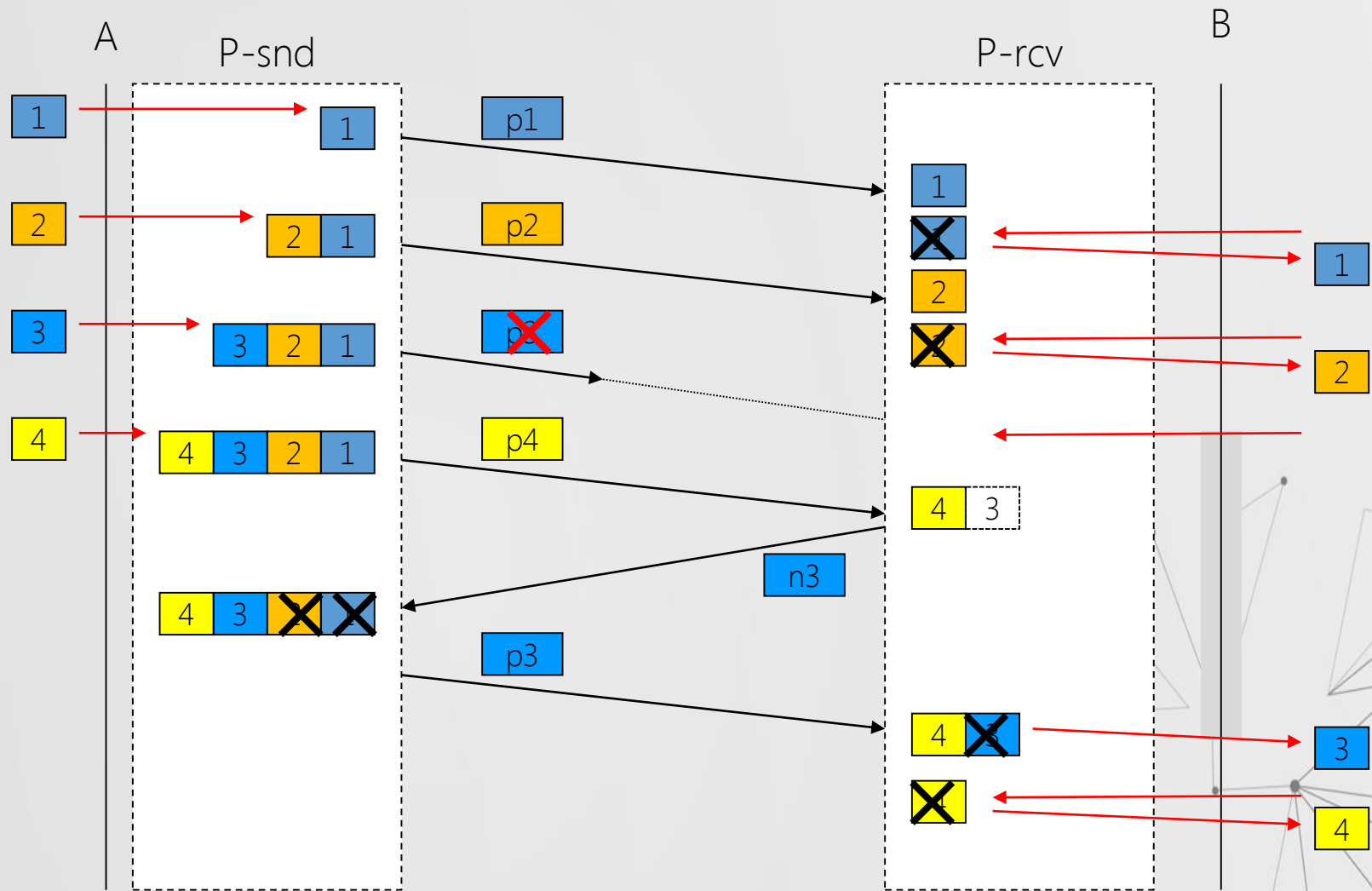
#4 Αρνητικές επιβεβαιώσεις

- **P-rcv**: στέλνει αρνητική επιβεβαίωση όταν εντοπίσει κενό στην ακολουθία των πακέτων που λαμβάνει υποθέτοντας ότι τα ενδιάμεσα πακέτα χάθηκαν.
- **P-snd**: ξαναστέλνει ένα πακέτο μόνο αν ζητηθεί ρητά μέσω αρνητικής επιβεβαίωσης.
- Ακόμα καλύτερη εκμετάλλευση του δικτύου.
- Αν δεν χαθεί κανένα πακέτο, θα γεμίσει η αποθήκη του αποστολέα – χρειάζονται και θετικές επιβεβαιώσεις.
- Εξακολουθεί να υφίσταται το πρόβλημα της υπερχείλισης της αποθήκης του παραλήπτη.

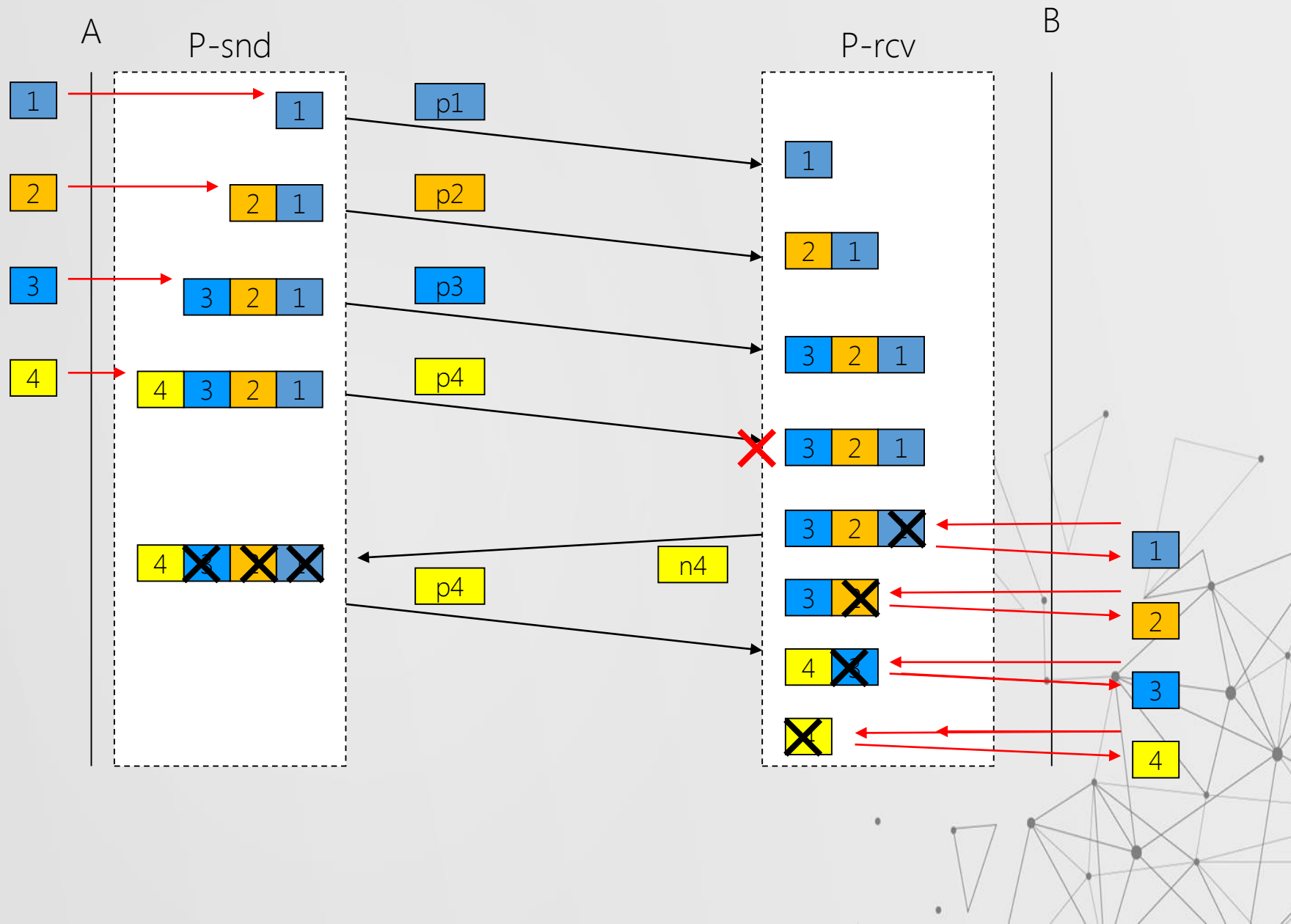
#4 Αρνητικές επιβεβαιώσεις



#4 Αρνητικές επιβεβαιώσεις

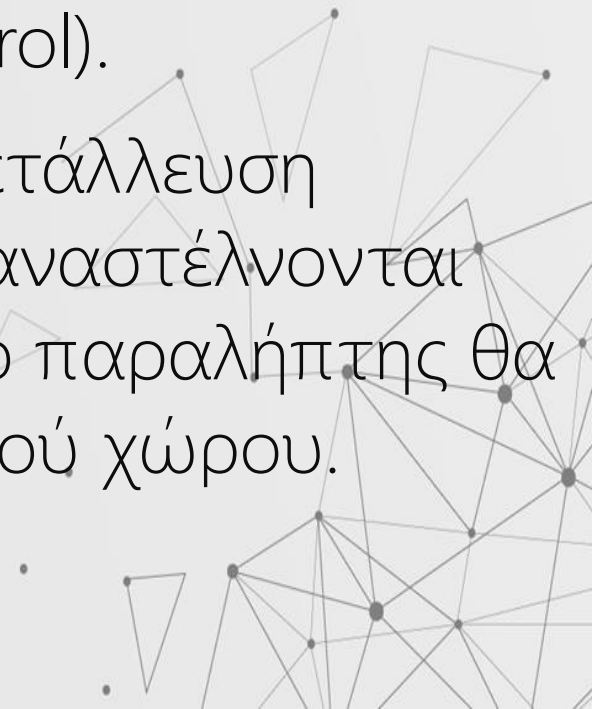


#4 Αρνητικές επιβεβαιώσεις



Έλεγχος ροής

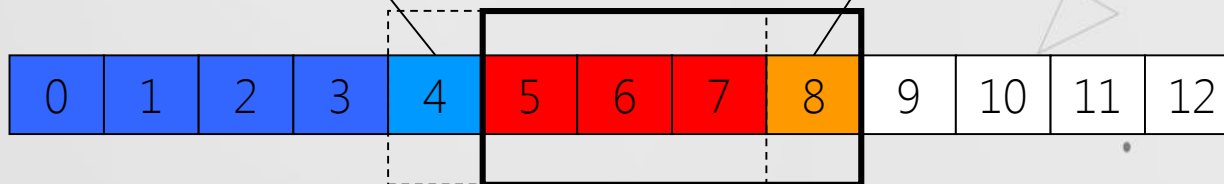
- A πιο αργός από τον B : δεν είναι πρόβλημα.
- B πιο αργός από τον A : υπερχείλιση αποθήκης στην πλευρά του παραλήπτη, άσκοπη αποστολή πακέτων (που απλά πετιούνται όταν φτάσουν στο $P-rcv$), σπατάλη πόρων.
- Μηχανισμός ελέγχου ροής (flow control).
- Στόχος είναι να επιτευχθεί καλή εκμετάλλευση χωρητικότητας δικτύου, χωρίς να ξαναστέλνονται πακέτα που με μεγάλη πιθανότητα ο παραλήπτης θα πετάξει λόγω έλλειψης αποθηκευτικού χώρου.



Sliding window



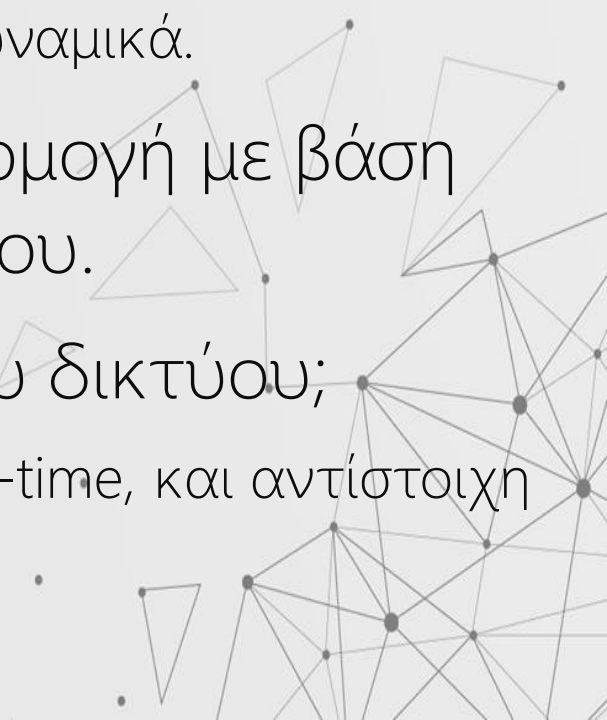
λήψη επιβεβαίωσης για το πακέτο 4



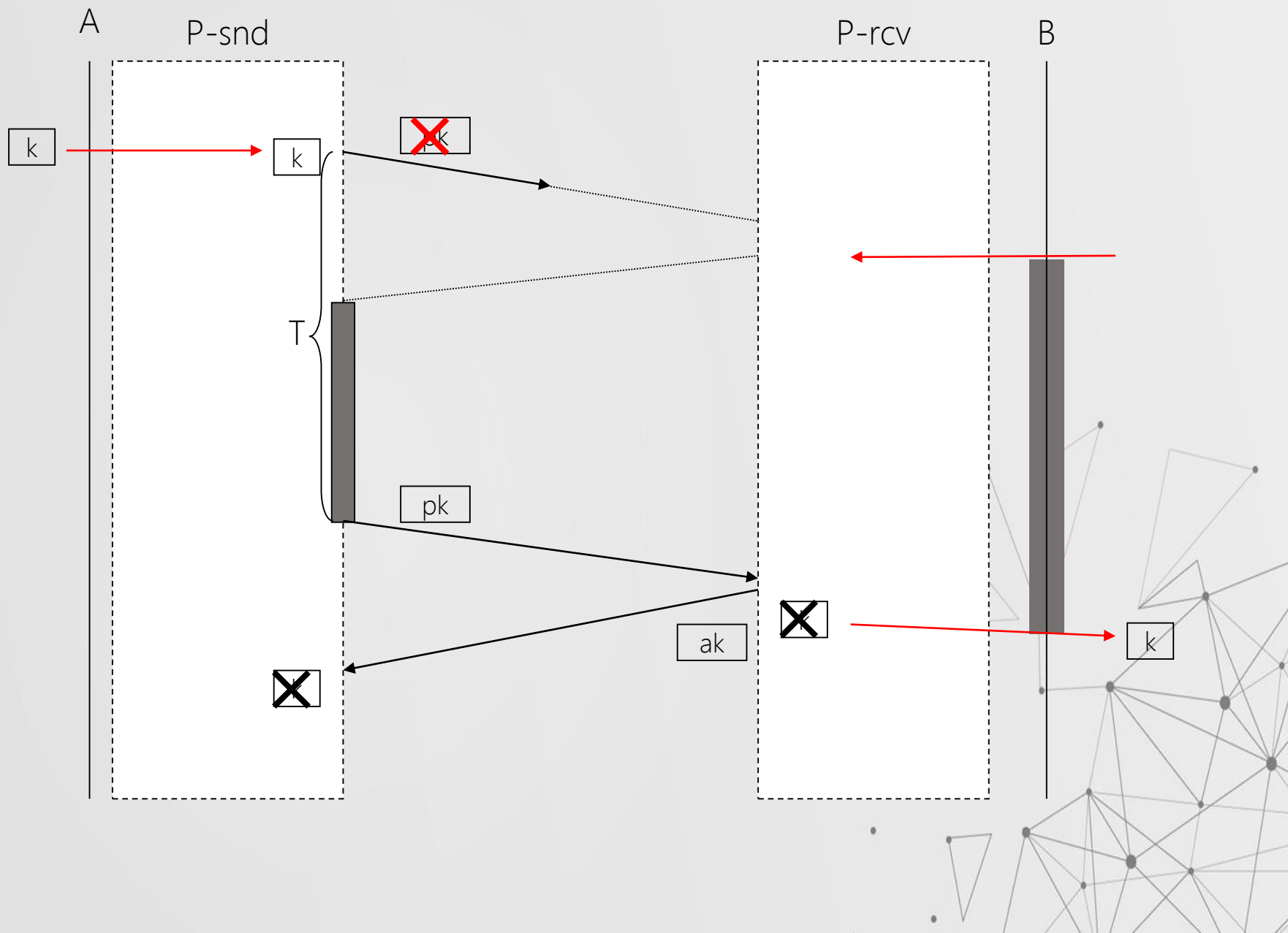
Επιλογή window

- Το μέγεθος του παραθύρου μπορεί να οριστεί μετά από κατάλληλη «συνεννόηση» των δύο πλευρών.
 - πολύ μικρό μέγεθος => κακή εκμετάλλευση του δικτύου.
 - πολύ μεγάλο μέγεθος => πέταμα πακέτων στον παραλήπτη.
- Η στατική επιλογή είναι μη βέλτιστη:
 - η κατάσταση του δικτύου / παραλήπτη μεταβάλλεται.
- Μπορεί να γίνεται δυναμική προσαρμογή με βάση την τρέχουσα κατάσταση του δικτύου / παραλήπτη.
- Πως «παρατηρούμε» την κατάσταση;
 - παρασκηνιακές μετρήσεις για την απώλεια πακέτων ως συνάρτηση του ρυθμού αποστολής, με αντίστοιχη αυξομείωση του παραθύρου.

Επιλογή timeouts

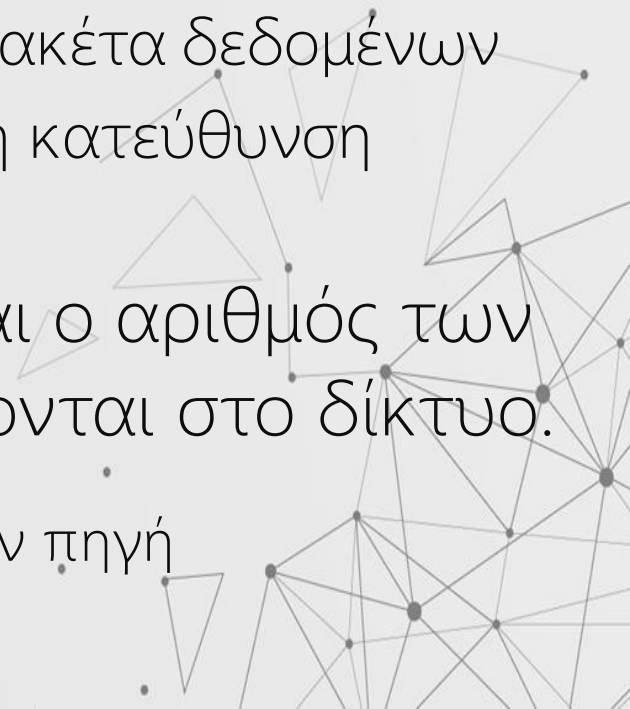
- Τα timeouts για την αποστολή ανεπιβεβαίωτων πακέτων είναι μια κρίσιμη παράμετρος απόδοσης.
 - πολύ μικρά timeouts => άσκοπη αποστολή πακέτων.
 - πολύ μεγάλα timeouts => άσκοπη καθυστέρηση.
 - Η στατική επιλογή είναι μη βέλτιστη:
 - η κατάσταση του δικτύου μεταβάλλεται δυναμικά.
 - Μπορεί να γίνεται δυναμική προσαρμογή με βάση την τρέχουσα κατάσταση του δικτύου.
 - Πως «βλέπουμε» την κατάσταση του δικτύου;
 - παρασκηνιακές μετρήσεις για το round-trip-time, και αντίστοιχη αυξομείωση των timeouts.
- 

■ άσκοπη αναμονή



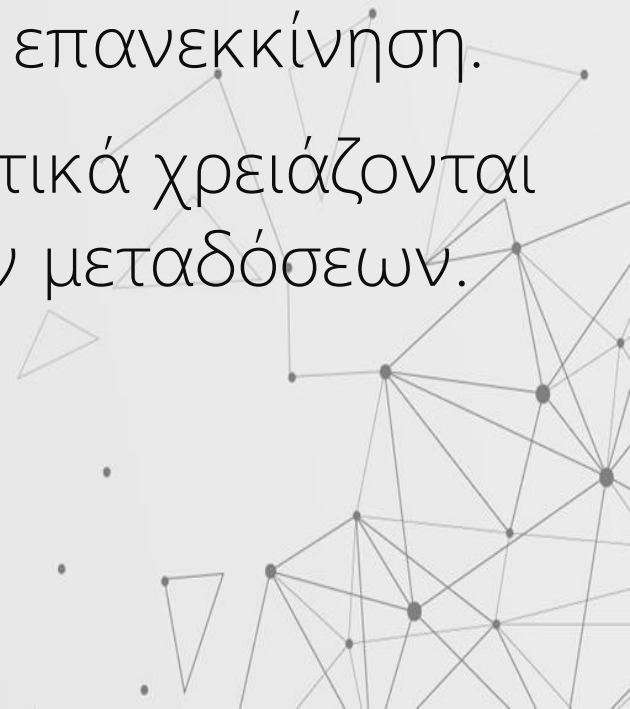
Άλλες βελτιστοποιήσεις

- Μαζικές επιβεβαιώσεις (mass-acks):
 - ο παραλήπτης στέλνει μια μοναδική επιβεβαίωση για περισσότερα πακέτα που έχει λάβει
- Προσάρτηση επιβεβαιώσεων (ack piggy-backing):
 - οι επιβεβαιώσεις προσαρτώνται στα πακέτα δεδομένων που (τυχόν) στέλνονται προς την άλλη κατεύθυνση
- Και στις δύο περιπτώσεις, μειώνεται ο αριθμός των μεμονωμένων πακέτων που στέλνονται στο δίκτυο.
 - από την πλευρά του προορισμού προς την πηγή

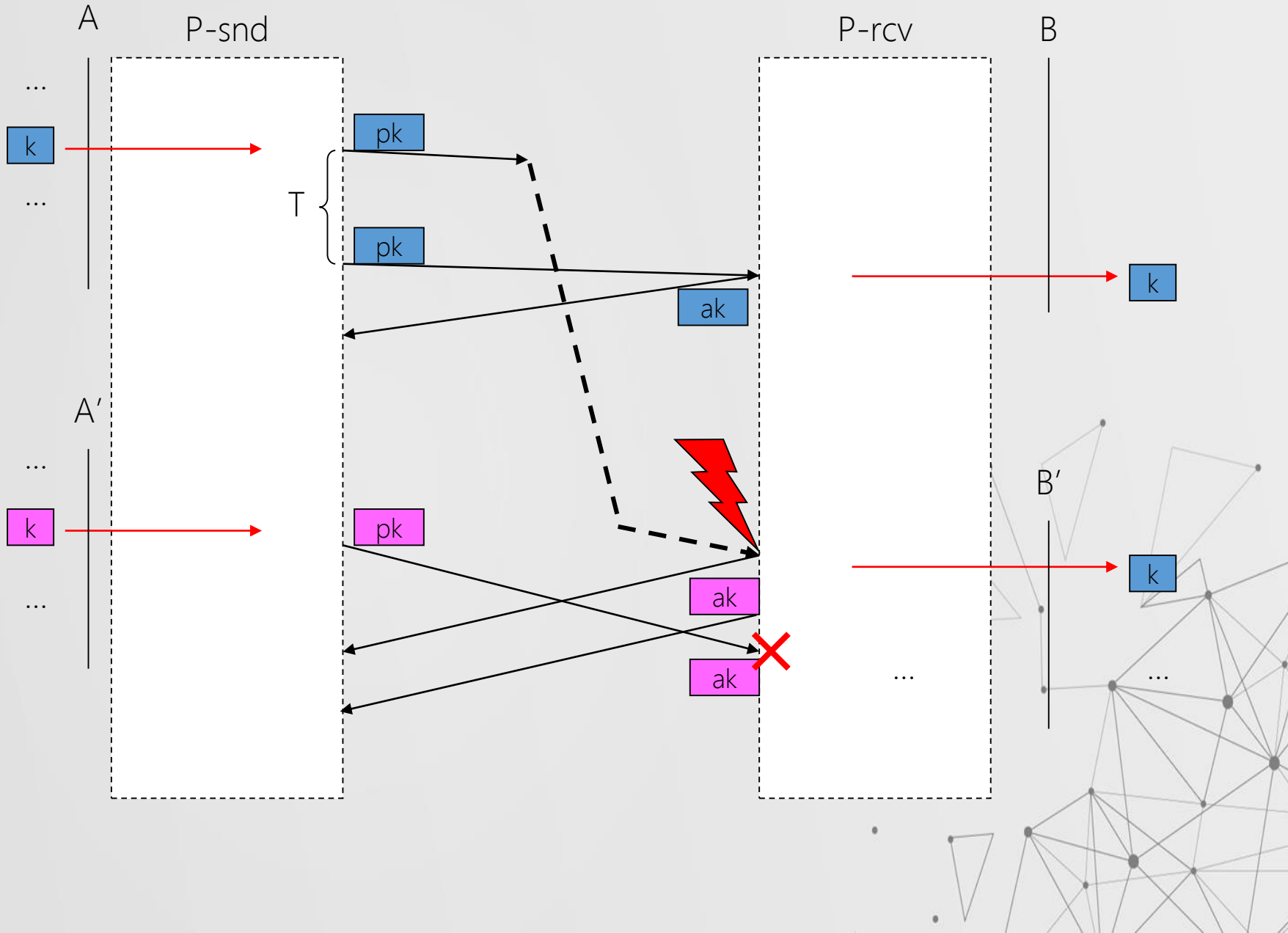


Αργοπορημένα πακέτα

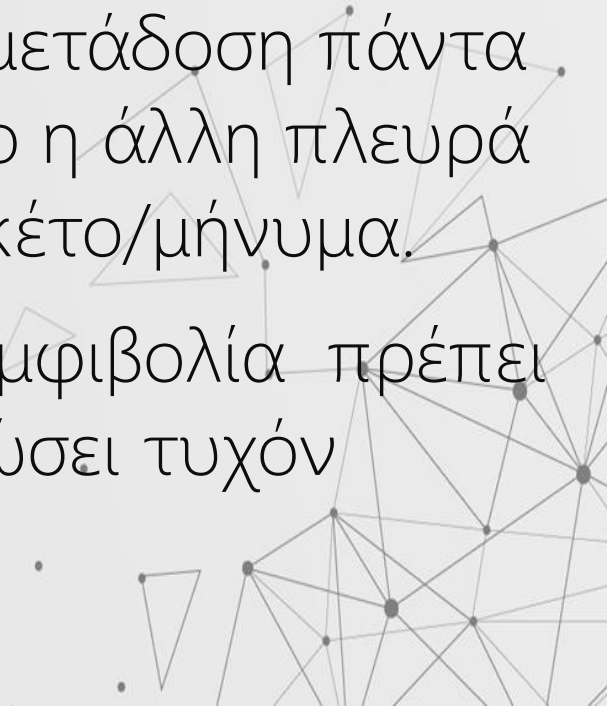
- Σε ασύγχρονο σύστημα, δεν υπάρχει άνω χρονικό όριο για την καθυστέρηση μετάδοσης των πακέτων.
- Αργοπορημένα πακέτα δεν επιτρέπεται να ληφθούν υπόψη στο πλαίσιο μεταγενέστερων μεταδόσεων.
- Απαγορεύεται η «ανακύκλωση» αναγνωριστικών και σειριακών αριθμών – ακόμα και με επανεκκίνηση.
- Σημείωση: διαφορετικά αναγνωριστικά χρειάζονται και για την πολυπλεξία ξεχωριστών μεταδόσεων.



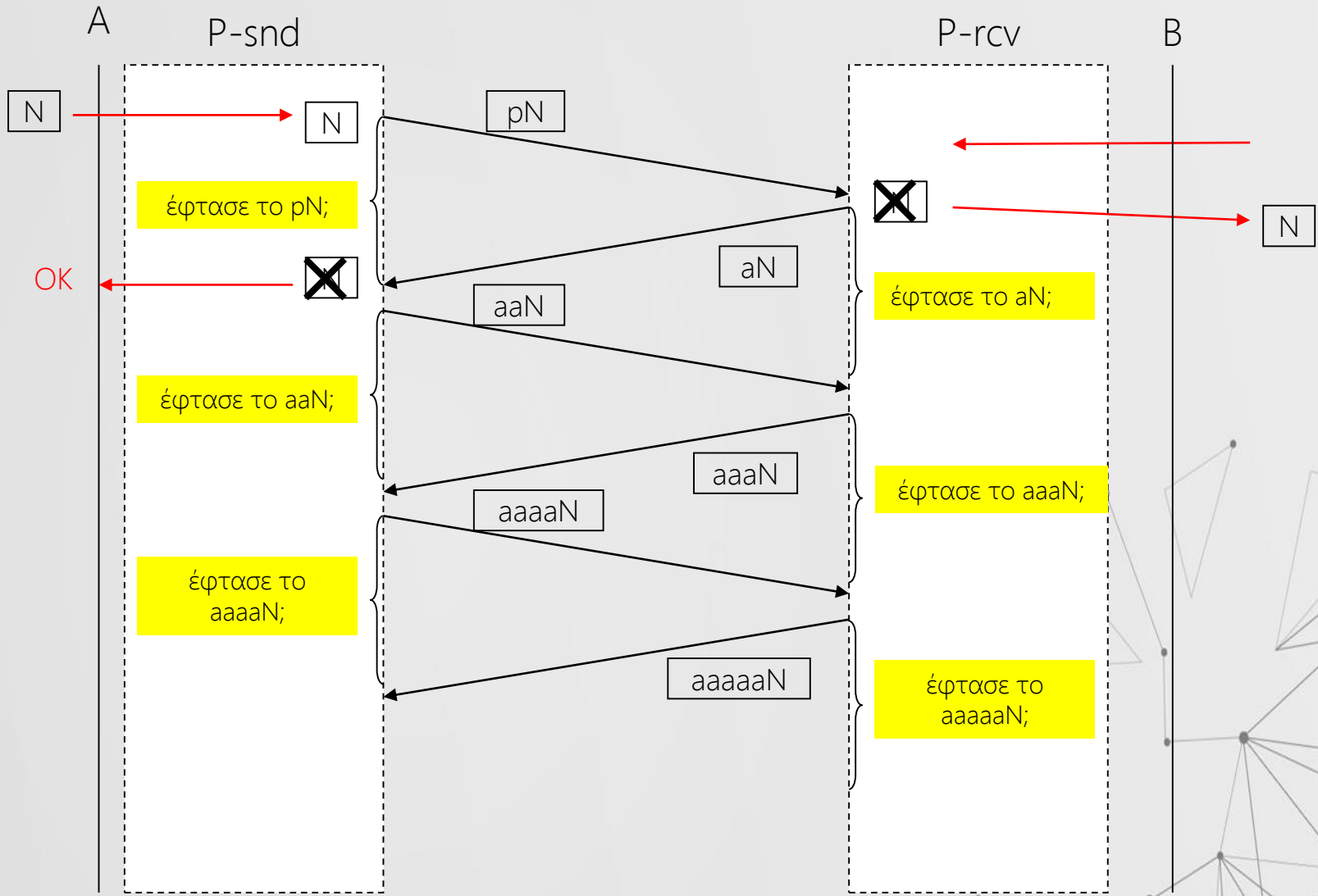
Αργοπορημένα πακέτα



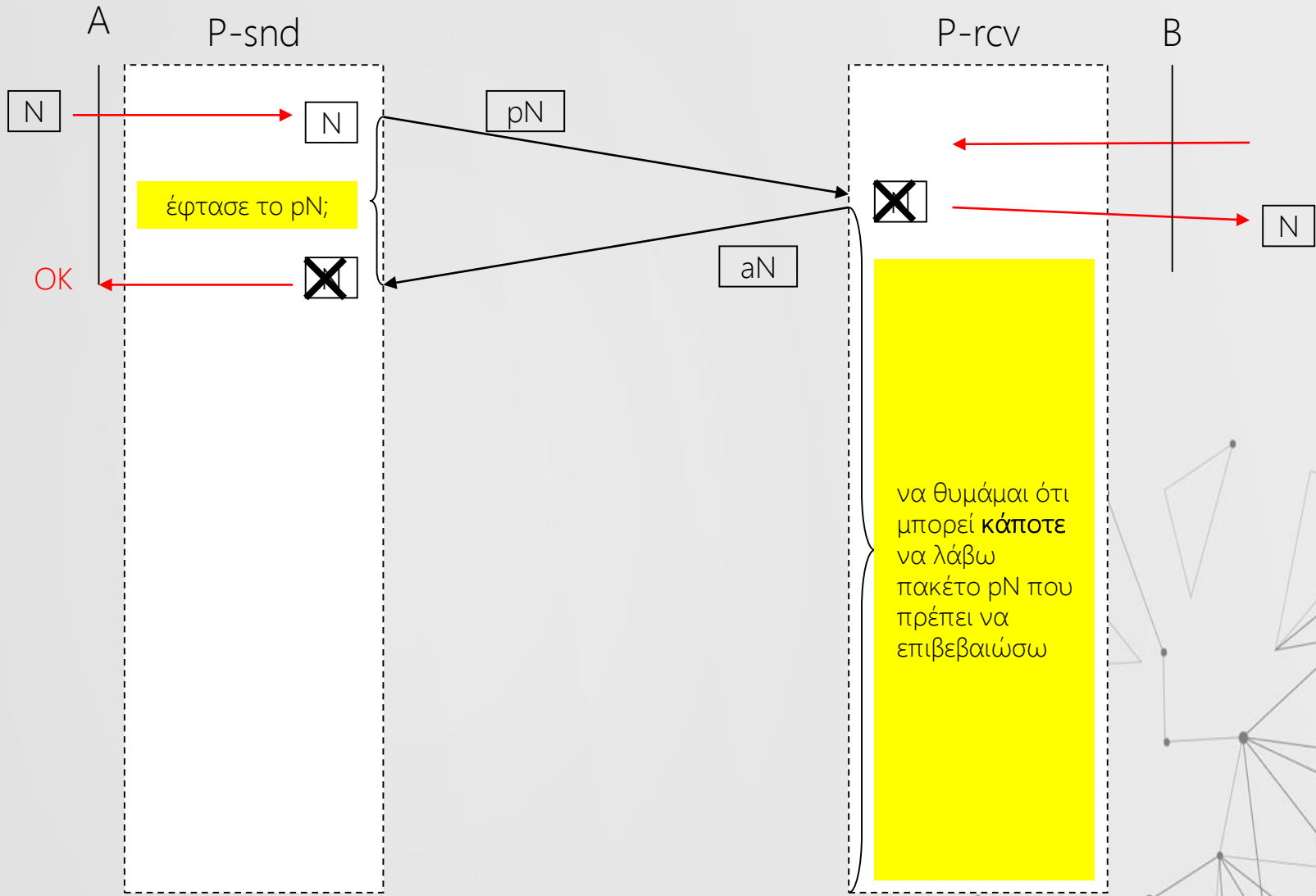
Πρόβλημα τελευταίας επιβεβαίωσης

- Το τελευταίο πακέτο πρέπει και αυτό να επιβεβαιωθεί.
 - Αυτή η τελευταία επιβεβαίωση μπορεί να χαθεί
 - απαιτείται επιβεβαίωση της επιβεβαίωσης.
 - και επιβεβαίωση της επιβεβαίωσης της επιβεβαίωσης...
 - Η πλευρά που κάνει την τελευταία μετάδοση πάντα θα έχει αμφιβολίες για το κατά πόσο η άλλη πλευρά όντως έλαβε το τελευταίο σήμα/πακέτο/μήνυμα.
 - Πρόβλημα: η πλευρά που έχει την αμφιβολία πρέπει να είναι σε θέση να δεχτεί/επιβεβαιώσει τυχόν επανεκπομπή της άλλης πλευράς.
- 

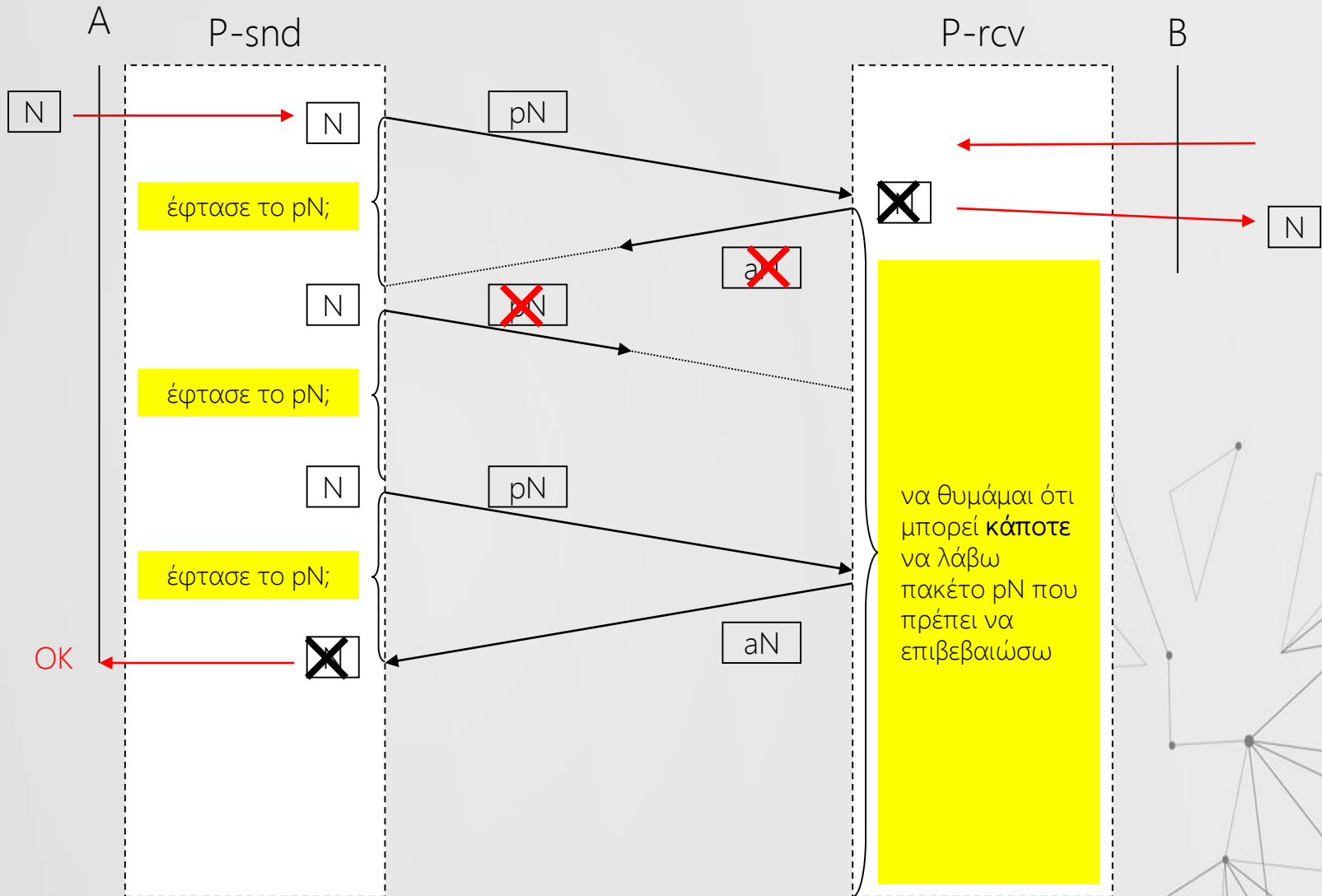
Πρόβλημα τελευταίας επιβεβαίωσης



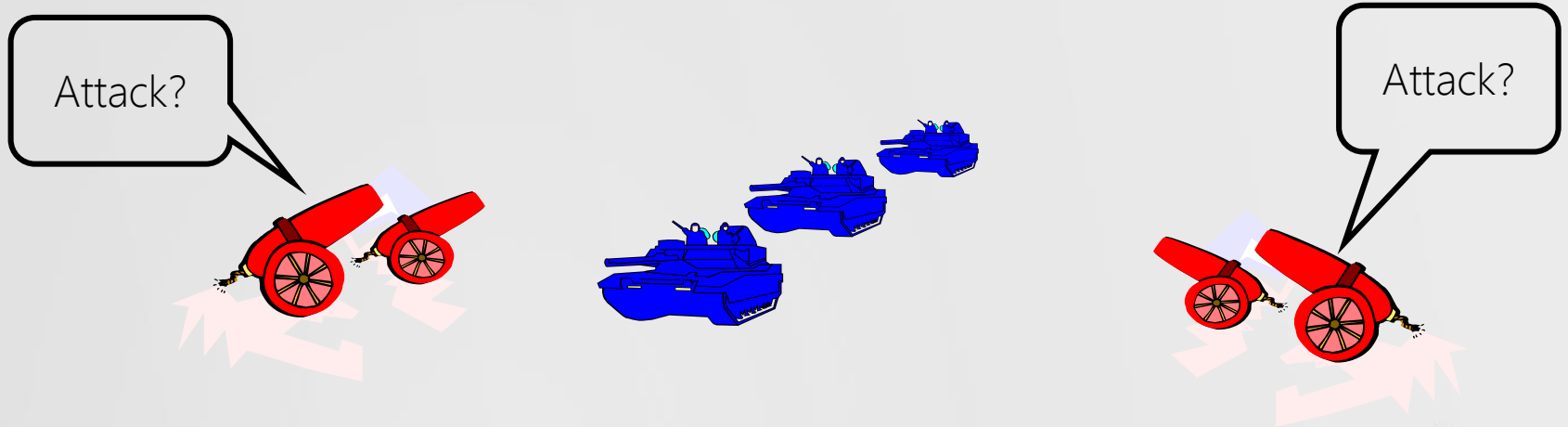
Πρόβλημα τελευταίας επιβεβαίωσης



Πρόβλημα τελευταίας επιβεβαίωσης



Το πρόβλημα της συντονισμένης επίθεσης για 2 στρατηγούς/στρατούς



- Δύο στρατηγοί έχουν στήσει ενέδρα, αλλά πρέπει να συμφωνήσουν για την ώρα της επίθεσης.
- Επικοινωνούν μέσω αγγελιοφόρων, που μπορεί να «χαθούν» (να πιαστούν αιχμάλωτοι από τον εχθρό).
- Πως μπορεί να επιτευχθεί συμφωνία;

ΑΔΥΝΑΤΟ!

Γιατί;

- A : στέλνει μήνυμα «επίθεση στις 04:00» στον B .
 - όμως δεν ξέρει αν ο B έλαβε το μήνυμα.
 - πρέπει να λάβει επιβεβαίωση από τον B .
- B : στέλνει επιβεβαίωση «ΟΚ για τις 04:00» στον A .
 - όμως δεν ξέρει αν ο A έλαβε το μήνυμα.
 - πρέπει να λάβει επιβεβαίωση από τον A .
- Μπορεί να αποδειχθεί, και τυπικά, πως δεν υπάρχει πρωτόκολλο το οποίο να λύνει αυτό το πρόβλημα
- Γενίκευση του προβλήματος της συμφωνίας:
θα συζητηθεί προς το τέλος του μαθήματος ...

