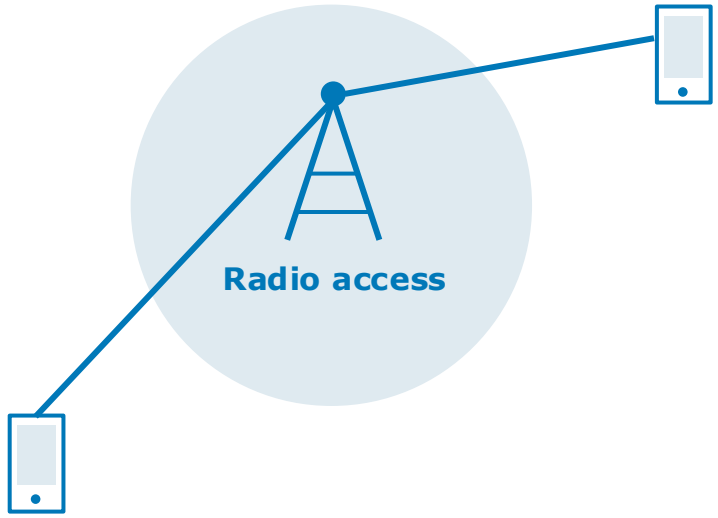
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Εθνικόν και Καποδιστριακόν Πανεπιστήμιον Αθηνών

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ & ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

Μ301: Παλιές και νέες προκλήσεις στα δίκτυα κινητών επικοινωνιών

Διάλεξη #3
Προκλήσεις Διαχείρισης Κινητικότητας
Handover και Ευφυής Κινητικότητα



Σωκράτης Μπαρμπουνάκης
Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών ΕΚΠΑ
Χειμερινό εξάμηνο 2026-2027

Διάλεξη #2: τι κρατάμε

Οι μετρήσεις του RAN συνδέονται με τη συνέχεια της υπηρεσίας

Control plane. Το RRC διαμορφώνει το radio connection. Το NGAP συνδέει το gNB με το AMF για τη σηματοδοσία του NG-RAN.

User plane. Τα δεδομένα περνούν από το radio stack και το N3 tunnel προς το UPF. Μια μετακίνηση μπορεί να αλλάξει αυτή τη διαδρομή.

Radio quality. Το RSRP, το RSRQ και το SINR μεταβάλλονται στη διαδρομή του UE και επηρεάζουν το εφικτό data rate.

Control plane: διαμορφώνει

User plane: μεταφέρει

Radio quality: μετρά

Οι προκλήσεις της κινητικότητας

Διαχείριση θέσης, αποφάσεων και διαδρομών

Προσβασιμότητα. Πώς βρίσκουμε το UE χωρίς συνεχή updates και κατανάλωση ενέργειας;

Συνέχεια υπηρεσίας. Πότε και προς ποιο cell αλλάζουμε, με μικρό interruption και λίγες αποτυχίες;

(Βιώσιμη) πρόβλεψη. Πώς προετοιμαζόμαστε νωρίτερα χωρίς άσκοπες δεσμεύσεις πόρων ή λανθασμένες αποφάσεις;

1. **Θέση και ενέργεια**
2. **Timing**
3. **Επιλογή target cell**
4. **Συνέχεια υπηρεσίας**
5. **Πρόβλεψη**

> **Κάθε μηχανισμός αντιμετωπίζει ένα πρόβλημα και εισάγει έναν συμβιβασμό.**

Ένα UE σε βιντεοκλήση

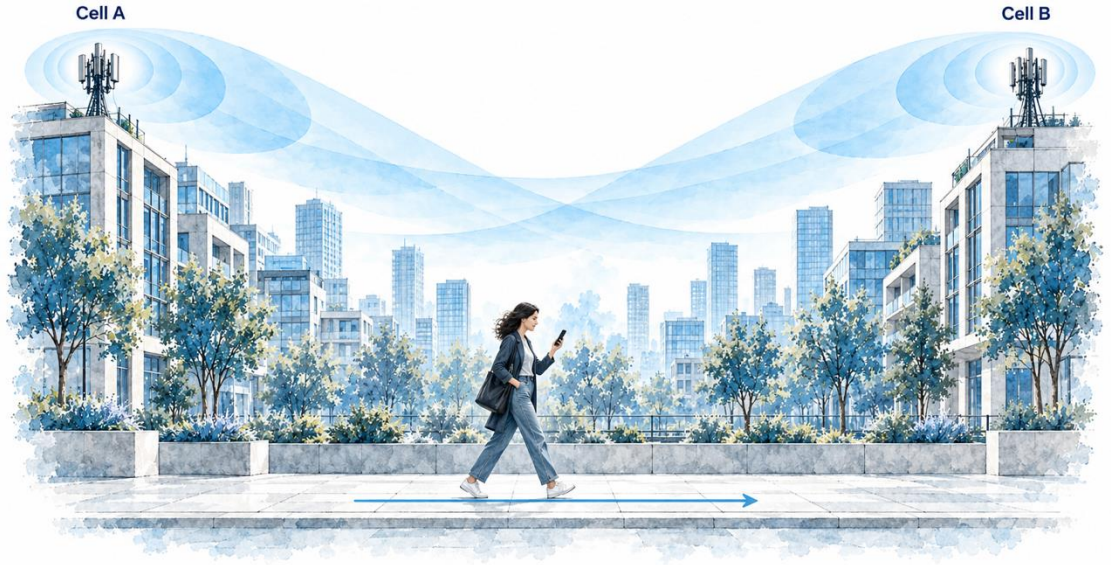
Το radio σημείο εξυπηρέτησης αλλάζει κατά τη διαδρομή

Για τον χρήστη, η βιντεοκλήση πρέπει να συνεχίζεται καθώς περπατά από το cell A προς το cell B.

Για το δίκτυο, αλλάζουν οι μετρήσεις, το serving gNB και ενδεχομένως το N3 tunnel. Η αλλαγή χρειάζεται συντονισμό.

Στο παράδειγμα κρατάμε το ίδιο PDU session (δηλαδή τη λογική σύνδεση του UE με το Data Network) και το ίδιο anchor UPF.

Έτσι η user IP διεύθυνση παραμένει ίδια.



> **Η κινητικότητα αφορά μαζί το radio connection και τη διαδρομή των δεδομένων.**

Πρόκληση 1: περιοχή παρουσίας

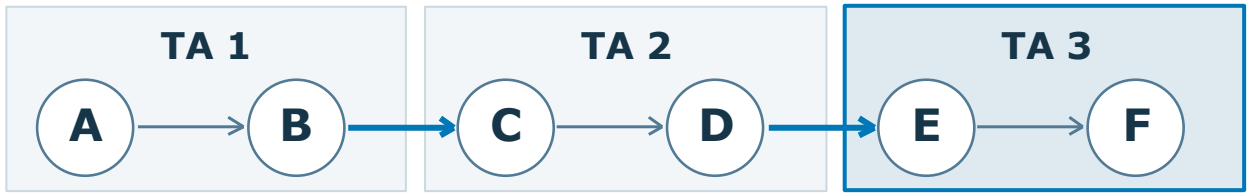
Ίδιες αλλαγές cell, διαφορετικός αριθμός updates προς το Core

Η περιοχή έχει σημασία. Ένα Tracking Area (TA) ομαδοποιεί πολλά cells. Το AMF εκχωρεί στο UE ένα Registration Area (RA), ως λίστα από TAs.

Μετακίνηση σε RRC_IDLE. Το UE κάνει cell reselection. Mobility registration update χρειάζεται όταν βγει από το εκχωρημένο RA, όχι σε κάθε αλλαγή cell. Το Core δεν γνωρίζει συνεχώς το τρέχον cell.

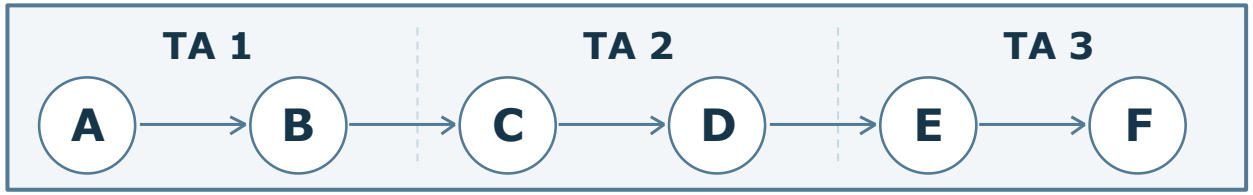
Ίδιο UE, ίδια διαδρομή: A–B–C–D–E–F

Μικρό RA: ένα TA με 2 cells κάθε φορά



5 αλλαγές cell, 2 updates. Εύρος paging: έως 2 cells.

Μεγάλο RA: και τα 3 TAs, συνολικά 6 cells



5 αλλαγές cell, 0 updates. Εύρος paging: έως 6 cells.

Σύγκριση στο F. Μετράμε μόνο updates λόγω εξόδου από το RA.

Το μέγεθος του RA αλλάζει τα updates προς το Core, όχι τη συχνότητα αλλαγής cell.

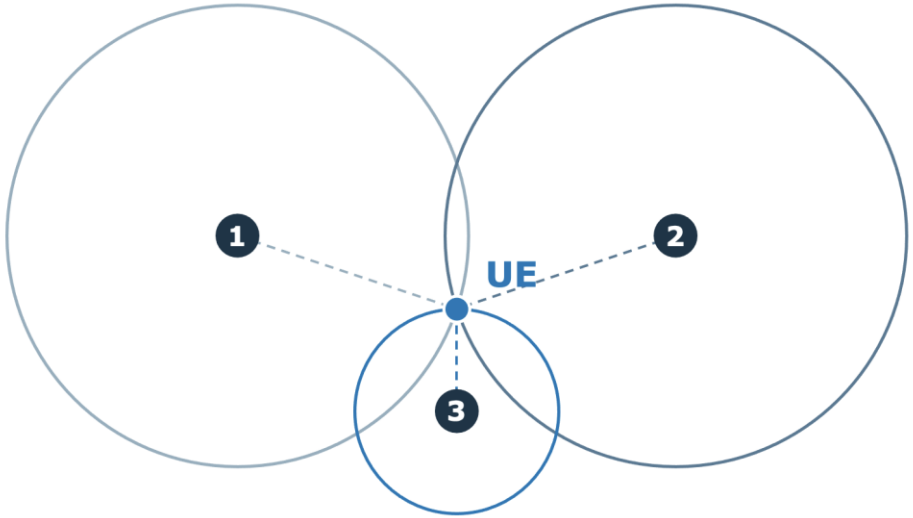
Location management vs Positioning: εκτίμηση γεωγραφικής θέσης (to be revisited)

Σκοπός. Το positioning εκτιμά συντεταγμένες και αβεβαιότητα θέσης.

Παράδειγμα Multi-RTT. Μετρήσεις χρόνου μετ’ επιστροφής σε UE και radio σημεία γνωστής θέσης δίνουν αποστάσεις.

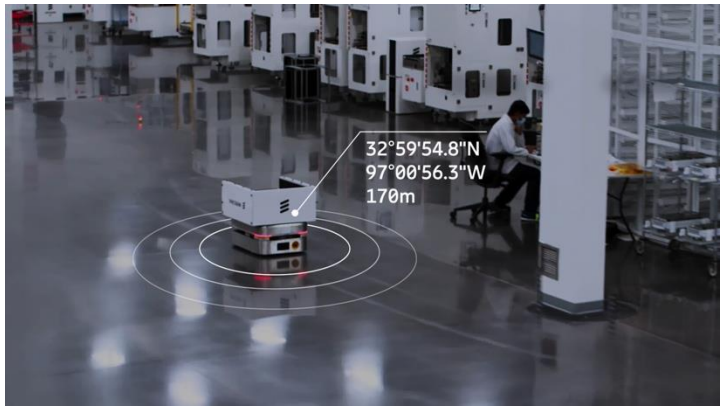
Γεωμετρική ιδέα. Στο **ιδανικό** 2D παράδειγμα, κάθε απόσταση ορίζει κύκλο πιθανών θέσεων. Η κοινή τομή δίνει τη θέση. **Θόρυβος και εμπόδια προκαλούν σφάλμα.**

Multi-RTT: μετρήσεις χρόνου σε πολλά σημεία



Ιδανικό 2D παράδειγμα. Οι κύκλοι παριστάνουν αποστάσεις, όχι κάλυψη.

TRPs 1–3: σημεία εκπομπής/λήψης γνωστής θέσης



Ericsson 5G Advanced Location Services example (2026)

Η διαδικασίες εξαρτώνται από το UE state:
Τα τρία RRC states του UE στο 5G NR

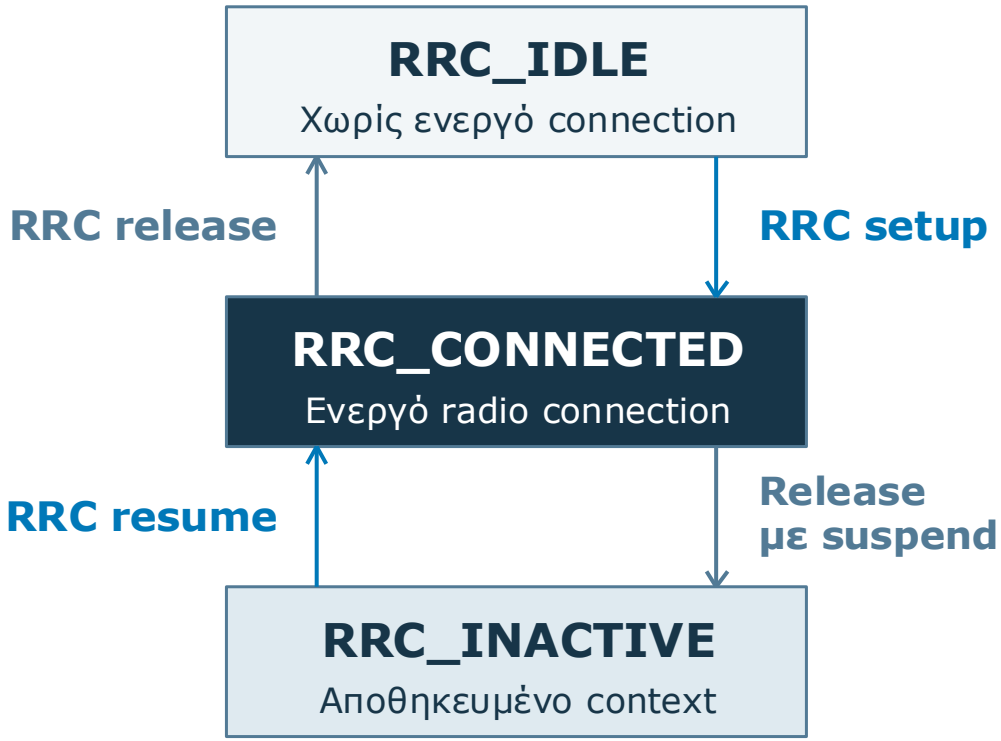
Οι καταστάσεις αφορούν τη radio σύνδεση, όχι αν η συσκευή είναι ανοιχτή

RRC_IDLE. Δεν υπάρχει ενεργό RRC connection. Για την ενεργοποίησή του απαιτείται νέα εγκατάσταση σύνδεσης, με RRC setup. Το UE μπορεί να παραμένει εγγεγραμμένο στο Core.

RRC_CONNECTED. Υπάρχει ενεργό RRC connection. Το UE μπορεί να ανταλλάσσει δεδομένα και dedicated signalling, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι εκπέμπει συνεχώς.

RRC_INACTIVE. Η σύνδεση είναι σε αναστολή. UE και RAN κρατούν context, δηλαδή πληροφορίες ρυθμίσεων και ασφάλειας, ώστε να μπορούν να επανέλθουν με RRC resume.

Βασικές μεταβάσεις RRC

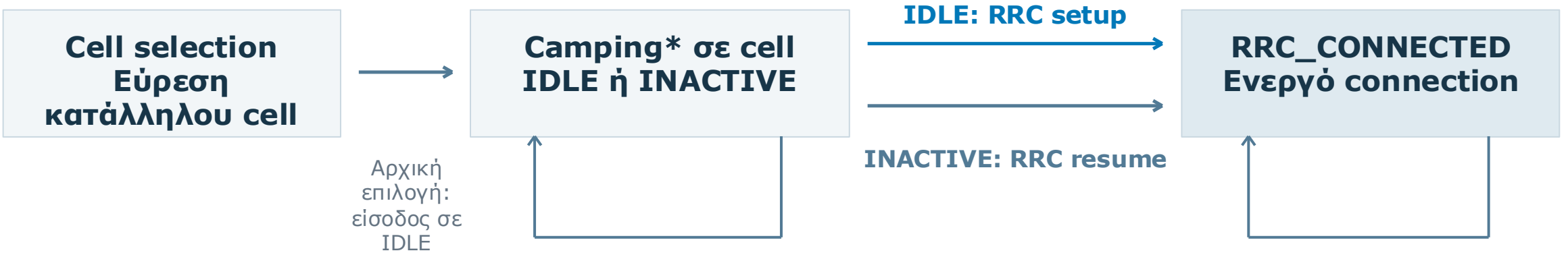


RRC = Radio Resource Control. Απλοποιημένο διάγραμμα μεταβάσεων.

Το INACTIVE κρατά context, ώστε η επάνοδος να μπορεί να γίνει με resume αντί για νέο setup.

Selection, reselection και RRC setup / RRC resume

Το UE βρίσκει κατάλληλο cell και κάνει camping. Όταν χρειάζεται ενεργό RRC connection, χρησιμοποιεί setup από IDLE ή resume από INACTIVE. Καθώς κινείται, ο τρόπος αλλαγής cell εξαρτάται από το RRC state.



Cell reselection

Το UE επιλέγει νέο cell.
Παραμένει σε IDLE ή INACTIVE.

Handover

Το RAN ελέγχει την αλλαγή του serving cell σε CONNECTED.

* Camping σημαίνει ότι έχει επιλέξει το cell από το οποίο λαμβάνει τις απαραίτητες πληροφορίες και παρακολουθεί τις σχετικές ευκαιρίες paging

Η πρόκληση: το UE να παραμένει προσβάσιμο, με περιορισμένο signalling και κατανάλωση.

Cell selection και cell reselection

Το UE επιλέγει κατάλληλο cell σε IDLE και INACTIVE

Cell selection είναι η αναζήτηση κατάλληλου cell για πρόσβαση στο δίκτυο. Το UE συγχρονίζεται και διαβάζει system information.

Cell reselection είναι η αλλαγή του cell στο οποίο παραμένει το UE, ακολουθώντας τις παραμέτρους και τις προτεραιότητες του δικτύου.

Το ισχυρότερο σήμα από μόνο του δεν αρκεί. Ισχύουν κριτήρια καταλληλότητας και περιορισμοί πρόσβασης.

1. Αναζήτηση / συγχρονισμός
2. System information
3. Έλεγχος καταλληλότητας
4. **Camping σε κατάλληλο cell**

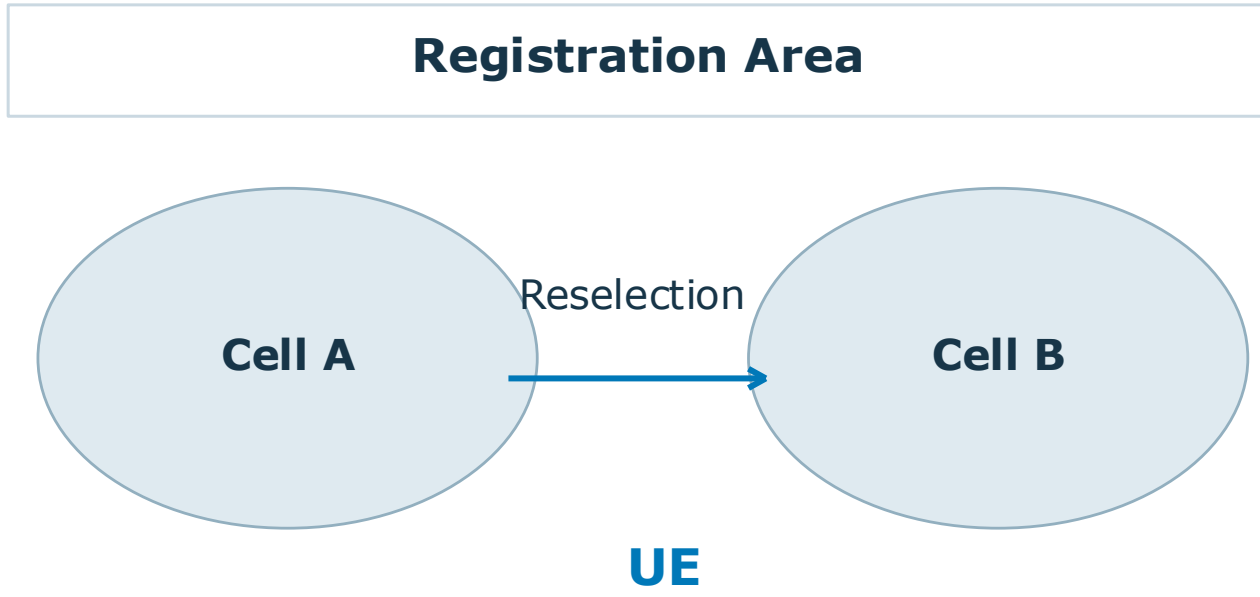
> **Το UE αποφασίζει το reselection μέσα στους κανόνες που διαμορφώνει το δίκτυο.**

Αλλαγή cell χωρίς ενημέρωση του Core

Παράδειγμα UE σε RRC_IDLE μέσα στο ίδιο Registration Area

Το UE μπορεί να μετακινηθεί από το cell A στο cell B με **cell reselection**, χωρίς mobility registration update για αυτή την αλλαγή.

- ✓ Το AMF γνωρίζει την περιοχή παρουσίας του UE και όχι συνεχώς το ακριβές cell.
- ✓ Αν προκύψουν δεδομένα, χρησιμοποιεί paging.
- ✓ Ένα mobility registration update μπορεί να απαιτηθεί για άλλον λόγο, όπως έξοδος από την εκχωρημένη περιοχή ή λήξη περιοδικού timer.



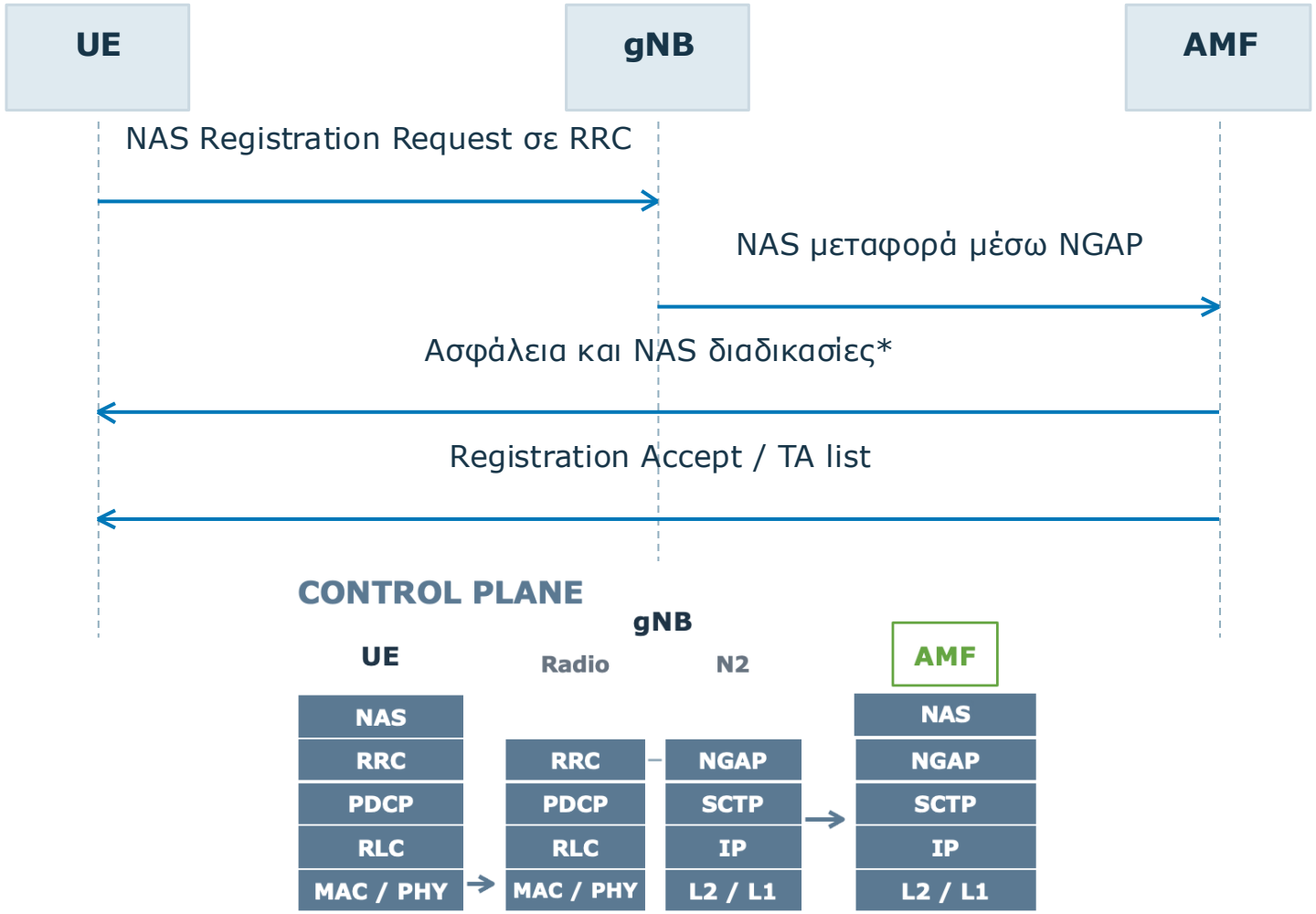
Ίδιο Registration Area, χωρίς update μόνο για την αλλαγή cell.

Κάθε αλλαγή cell δεν συνεπάγεται NAS registration update.

Registration: context και περιοχή παρουσίας

NAS signalling μεταξύ UE και AMF μέσω του RAN

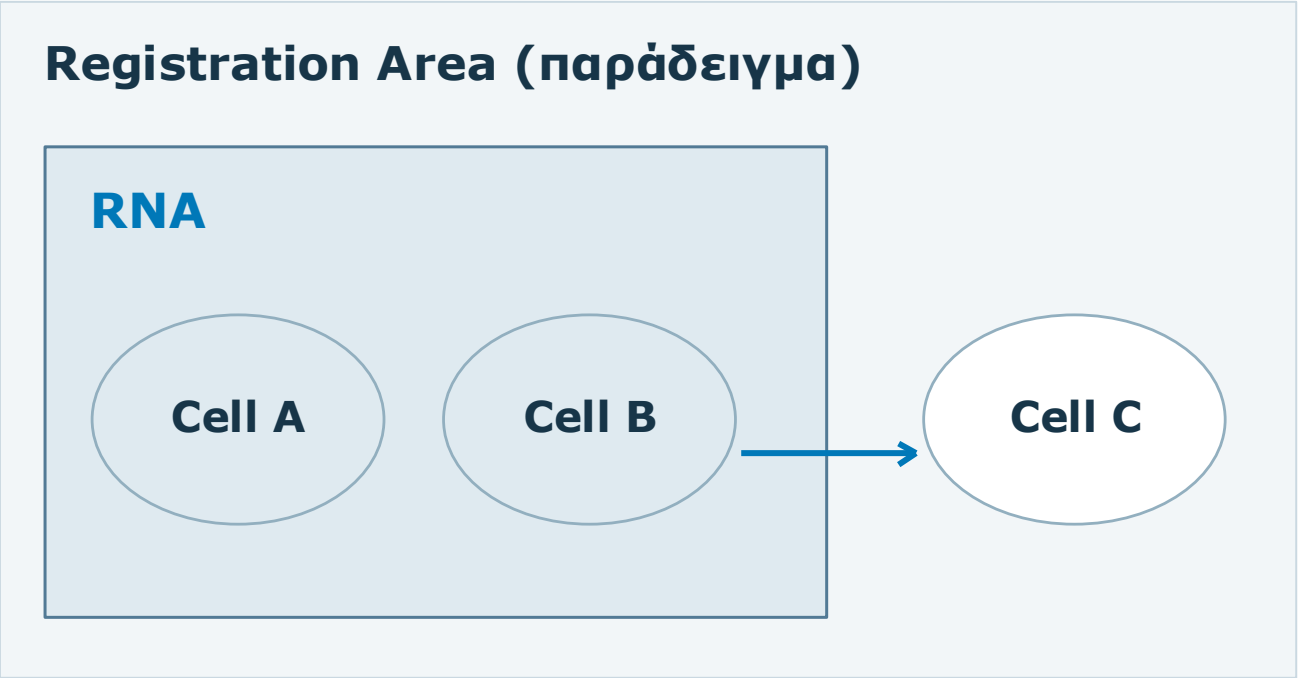
- Το registration επιτρέπει στο 5GS να διαχειρίζεται την παρουσία και την προσβασιμότητα του UE.
- Στην αρχική εγγραφή περιλαμβάνονται οι απαιτούμενοι έλεγχοι ασφάλειας.
- Το AMF εκχωρεί ένα Registration Area, ως λίστα από Tracking Areas.
- **Πότε γίνεται registration;**
  - Το UE κάνει initial registration όταν χρειάζεται να εγγραφεί στο 5GS.
  - Έπειτα κάνει **registration update** όταν εισέλθει σε TA εκτός του εκχωρημένου Registration Area ή όταν λήξει το periodic update timer.
  - Υπάρχουν και άλλα triggers, όπως ενημέρωση capabilities
- Το gNB μεταφέρει τα NAS μηνύματα μεταξύ UE και AMF.



RAN Notification Area στο INACTIVE

Το RNA περιορίζει πού αναζητά το RAN ένα inactive UE

- ✓ **Το RNA** είναι η περιοχή κινητικότητας για ένα UE σε RRC_INACTIVE.
- ✓ Το RAN διατηρεί context και μπορεί να χρησιμοποιήσει RAN paging (βλ. επόμενο slide).
- ✓ Όταν το UE εξέλθει από το εκχωρημένο RNA, εκτελεί RNA update σύμφωνα με τις σχετικές διαδικασίες. Μπορεί επίσης να ισχύει περιοδικό RNA update.
- ✓ Το RNA και το Registration Area ανήκουν σε διαφορετικά επίπεδα διαχείρισης και δεν χρειάζεται να ταυτίζονται.



A σε C: έξοδος από RNA, ενώ μπορεί να παραμένει στο ίδιο Registration Area.

Το RAN διαχειρίζεται το RNA.
Το AMF διαχειρίζεται το Registration Area.

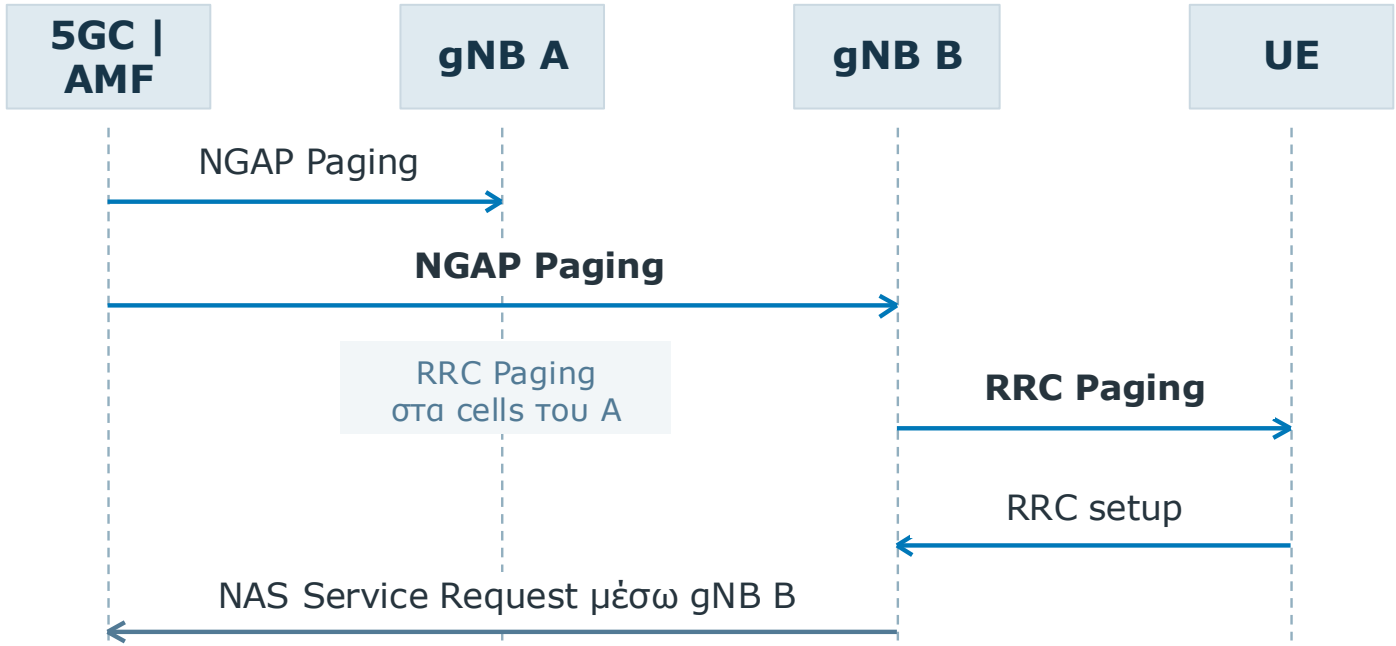
Paging: πώς το δίκτυο αναζητά το UE

Παράδειγμα εισερχόμενης επικοινωνίας για UE σε RRC_IDLE / CM-IDLE

Πότε χρειάζεται. Φτάνουν δεδομένα ή signalling για το UE σε IDLE (και όχι επειδή άλλαξε περιοχή το UE). Το Core γνωρίζει το Registration Area, αλλά όχι συνεχώς το ακριβές cell του UE.

Πώς το αναζητά. Το AMF στέλνει NGAP Paging προς επιλεγμένα gNBs. Αυτά εκπέμπουν RRC Paging στα σχετικά cells. Το UE ελέγχει για paging σε προκαθορισμένες χρονικές ευκαιρίες, με DRX (βλ. επόμενο slide).

Πώς ανταποκρίνεται. Το UE αναγνωρίζει την ταυτότητά του και ξεκινά RRC setup. Το NAS Service Request φτάνει στο AMF μέσω του gNB που το εξυπηρετεί.



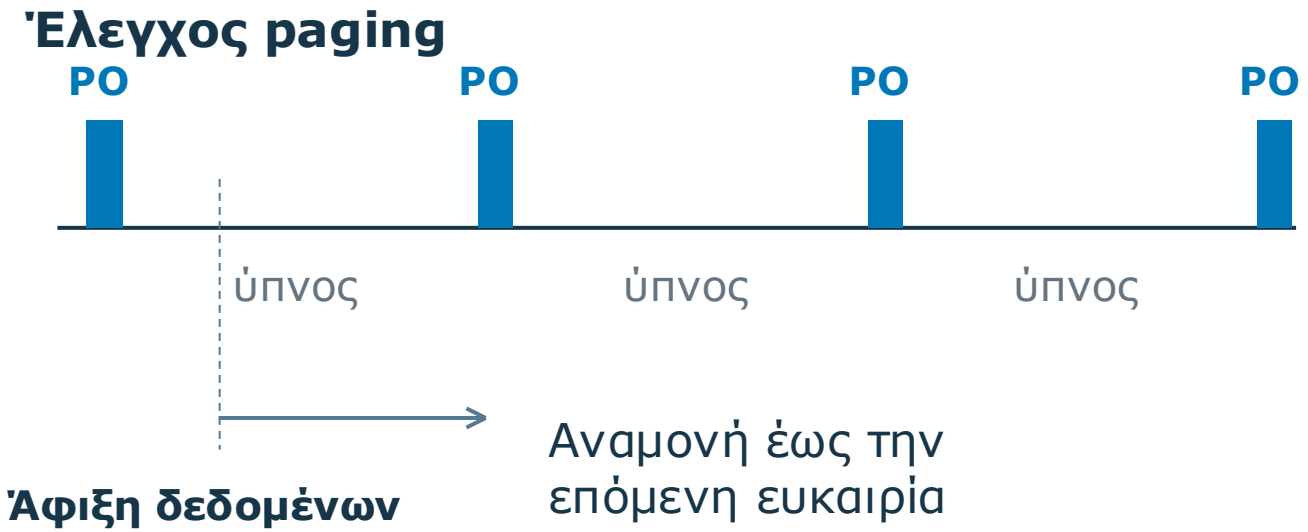
Σε INACTIVE: το RAN κάνει paging μέσα στο RNA.
Το UE συνήθως ανταποκρίνεται με RRC resume.

Η πρόκληση: λιγότερα updates θέσης, με αναζήτηση του UE όταν υπάρχει ανάγκη επικοινωνίας.

Η ενέργεια έχει κόστος σε χρόνο αναμονής

DRX = Discontinuous Reception

- ✓ Το idle UE δεν παρακολουθεί αδιάκοπα το paging.
- ✓ Ξυπνά σε καθορισμένες Paging Occasions, ανάλογα με τη διαμόρφωσή του.
- ✓ Αν τα δεδομένα φτάσουν μετά από μια ευκαιρία ελέγχου, μπορεί να περιμένουν μέχρι την επόμενη.
- ✓ Μεγαλύτερος κύκλος επιτρέπει περισσότερο χρόνο ύπνου, αλλά μπορεί να αυξήσει την καθυστέρηση προσέγγισης.
- ✓ Το paging DRX διαφέρει από το connected-mode DRX.



Σχηματικό timeline, χωρίς πραγματική κλίμακα χρόνου.

> **Η εξοικονόμηση ενέργειας και η άμεση προσβασιμότητα δεν μεγιστοποιούνται ταυτόχρονα.**

Ανακεφαλαίωση: updates και paging

Πότε ενημερώνει το UE το δίκτυο και πότε το δίκτυο αναζητά το UE;

Προς το Core: initial registration, mobility registration update ή periodic registration update.
Το paging ενεργοποιείται όταν το δίκτυο χρειάζεται επικοινωνία προς το UE σε IDLE ή INACTIVE.

Περίπτωση	Ενέργεια	Προς ποιον / τι ακολουθεί
IDLE: νέο cell μέσα στο Registration Area	Cell reselection	Χωρίς update περιοχής μόνο λόγω αλλαγής cell
IDLE: νέο TA εκτός του Registration Area	Mobility registration update	UE προς Core (AMF)
INACTIVE: νέο cell μέσα στο RNA	Cell reselection	Χωρίς update περιοχής μόνο λόγω αλλαγής cell
INACTIVE: έξοδος από RNA, εντός Registration Area	RNA update	UE προς RAN, με πιθανό Core signalling για path switch
Εισερχόμενη επικοινωνία: UE σε IDLE	Το Core ξεκινά paging μέσω του RAN	UE: RRC setup και NAS Service Request
Εισερχόμενη επικοινωνία: UE σε INACTIVE	Το RAN ξεκινά RAN paging μέσα στο RNA	UE: συνήθως RRC resume

? *Ένα UE αλλάζει cell. Αρκεί αυτό για να πούμε ότι έγινε handover;*

Πρόκληση: πότε αλλάζουμε serving cell;

Τώρα υποθέτουμε UE σε CONNECTED

Νωρίς: ένα παροδικό πλεονέκτημα του neighbour cell μπορεί να οδηγήσει σε περιττό handover και επιστροφή. Αυτό αυξάνει signalling και αστάθεια.

Αργά: το serving link μπορεί να έχει ήδη υποβαθμιστεί τόσο ώστε να δυσκολεύεται η παράδοση της εντολής ή η ολοκλήρωση της μετάβασης.

Χρειαζόμαστε αρκετά σταθερή ένδειξη, με χρόνο αντίδρασης κατάλληλο για την ταχύτητα του UE.



Εννοιολογική απεικόνιση. Το κατάλληλο timing εξαρτάται από το σενάριο.

> **Η σταθερότητα της απόφασης ανταγωνίζεται την ταχύτητα αντίδρασης.**

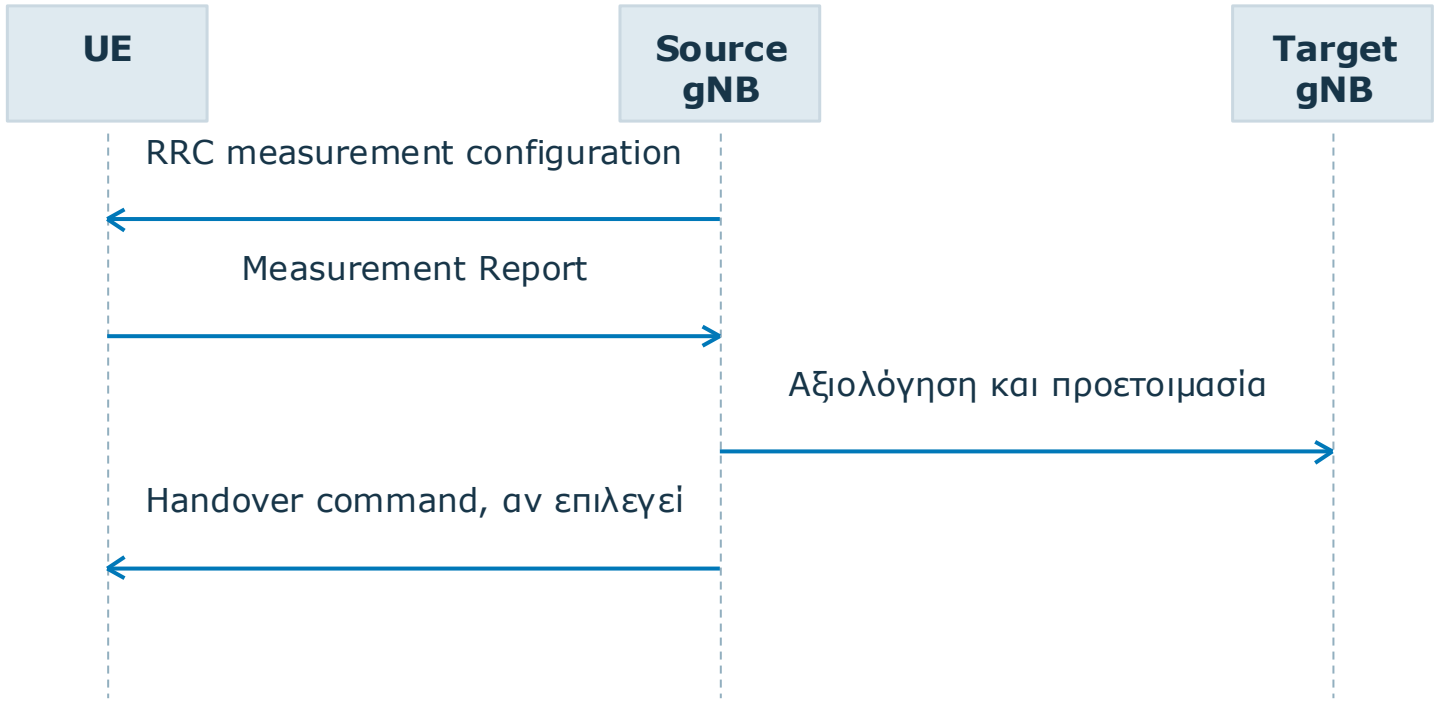
Η αλυσίδα μέτρησης και απόφασης

Το Measurement Report δίνει στοιχεία στο δίκτυο

Το source gNB διαμορφώνει τι θα μετρά το UE και ποιες συνθήκες θα προκαλούν reporting.

Το UE μετρά το serving cell και τα σχετικά neighbour cells. Μετά το filtering και τον έλεγχο του event, στέλνει **Measurement Report**.

Το source gNB αξιολογεί τις μετρήσεις μαζί με πολιτική και διαθεσιμότητα target. Η λήψη report δεν ισοδυναμεί με εντολή handover.



Measurement events: ποια συνθήκη αναφέρουμε;

Απλοποιημένες περιγραφές των NR events

Τα events επιτρέπουν στο δίκτυο να ζητά report όταν αλλάζει κάτι χρήσιμο για την απόφαση.

Το **A3** συγκρίνει neighbour και serving. Το **A5** συνδυάζει υποβάθμιση του serving με αρκετά καλό neighbour.

Hysteresis & time-to-trigger (TTT) χρησιμοποιούνται για να καθοριστούν οι συνθήκες reporting (βλ. επόμενα slide)

Event	Απλοποιημένη συνθήκη
A2	Το RSRP του serving cell πέφτει κάτω από ένα threshold.
A3	Το RSRP του neighbour cell υπερβαίνει το RSRP του serving κατά ένα offset.
A4	Το RSRP του neighbour cell ξεπερνά ένα threshold.
A5	Το RSRP του serving πέφτει κάτω από threshold 1 **και** το RSRP του neighbour ξεπερνά threshold 2.

Hysteresis: πόσο καλύτερο πρέπει να είναι το neighbour;

Ενδεικτική απλοποίηση της συνθήκης εισόδου στο A3

Η απλή υπεροχή κατά ένα μικρό κλάσμα του dB μπορεί να αλλάζει συνεχώς πρόσημο κοντά στα όρια κάλυψης.

Το offset είναι μια προκαθορισμένη διαφορά που θέτει το δίκτυο ως κριτήριο σύγκρισης.

Το **hysteresis** δημιουργεί περιθώριο ώστε η συνθήκη να μην αλλάζει εύκολα από μικρές διακυμάνσεις.

Στο παράδειγμα, A3 offset 3 dB και hysteresis 1 dB απαιτούν διαφορά μεγαλύτερη από 4 dB, με τα υπόλοιπα offsets ίσα με μηδέν.

$$\Delta M = M_{neighbour} - M_{serving}$$

$$\Delta M > \text{A3 offset} + \text{Hysteresis}$$

$$3\ dB + 1\ dB = 4\ dB$$

Με τα υπόλοιπα offsets ίσα με μηδέν

M: η επιλεγμένη μετρική του event. Εδώ χρησιμοποιούμε RSRP.

> **Το hysteresis εκφράζεται σε dB. Το TTT εκφράζεται σε χρόνο.**

Time-to-trigger: πόσο πρέπει να επιμένει η υπεροχή;

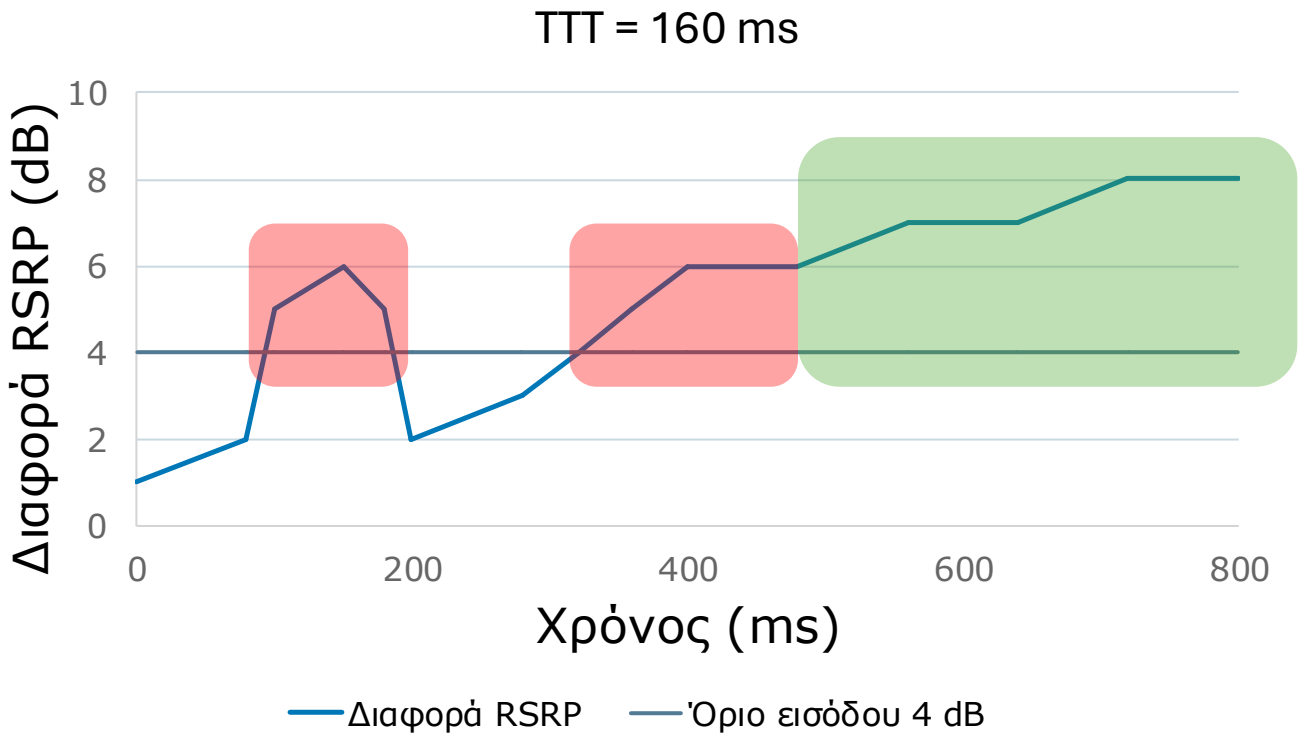
TTT = Time-to-Trigger

Η συνθήκη εισόδου πρέπει να διατηρηθεί για το διαμορφωμένο **TTT** πριν ενεργοποιηθεί το event reporting.

Ένα σύντομο peak πάνω από το όριο μπορεί να μη δημιουργήσει report.

Στο παράδειγμα, το πρώτο peak τελειώνει πριν συμπληρωθούν 160 ms.

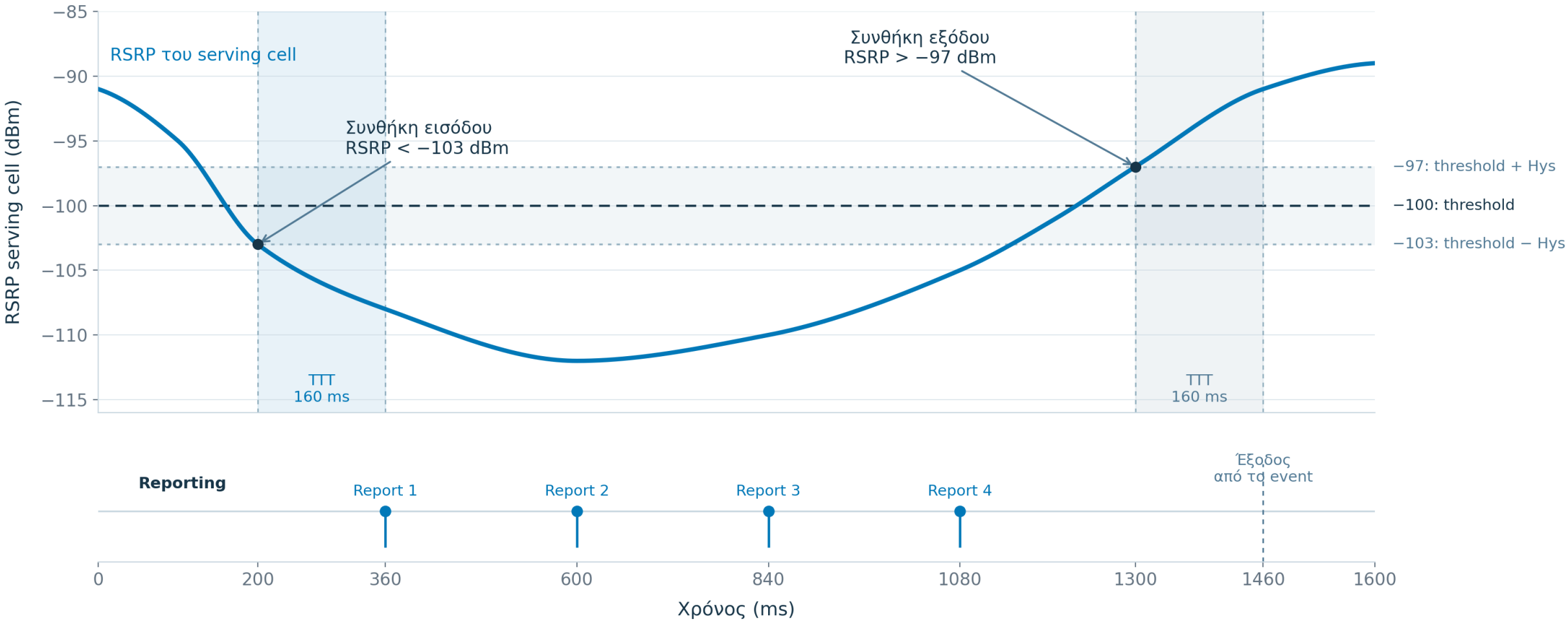
Μεγαλύτερο TTT περιορίζει αντιδράσεις σε σύντομες μεταβολές, αλλά αφήνει λιγότερο χρόνο για τη μετάβαση αν το serving link πέφτει γρήγορα.



Συνθετικές τιμές. Από τα 360 ms, η υπέρβαση διαρκεί πάνω από 160 ms.

Event A2: πότε ξεκινά το reporting;

Παράδειγμα με RSRP / Threshold = −100 dBm / Hysteresis = 3 dB / TTT = 160 ms



Πρώτο report μετά το TTT. Στο παράδειγμα: reportInterval = 240 ms και reportAmount = 4.

Η συνθήκη πρέπει να διατηρηθεί για το TTT. Το A2 ενεργοποιεί reporting, χωρίς να επιβάλλει handover.

Συνθετικό παράδειγμα · 3GPP TS 38.331, §5.5.4.3 · reportOnLeave = false

Η αλυσίδα μέτρησης και απόφασης

Ένα MeasurementReport δίνει στοιχεία στο δίκτυο για την αξιολόγηση του handover

Configuration. Το source gNB ορίζει τι μετρά το UE και πότε στέλνει report. Το measId συνδέει το report με αυτό το configuration.

MeasurementReport. Το UE αναφέρει μετρήσεις για το serving cell και τα σχετικά neighbour cells, όπως RSRP, RSRQ και SINR, ανάλογα με το configuration.

Απόφαση. Εδώ το neighbour cell έχει ισχυρότερο RSRP κατά 7 dB. Το source gNB συνεκτιμά τις μετρήσεις, την πολιτική και τη διαθεσιμότητα του target. Το report δεν αποτελεί εντολή handover.

NR RRC · MeasurementReport

Time: 18:40:05.237 Direction: UE → serving gNB
Channel: UL-DCCH Message: MeasurementReport

Report: measResults / measId = 3

Cell measurements βάσει SSB · τιμές σε engineering units

Cell	PCI	RSRP	RSRQ	SINR
Serving	42	−96 dBm	−12 dB	8 dB
Neighbour	117	−89 dBm	−9.5 dB	14 dB

Απλοποιημένη προβολή · όχι πλήρες ASN.1 dump ή πραγματικό trace

Timestamp: metadata του logger. Το measId και οι μετρήσεις προέρχονται από το report. Το PCI ταυτοποιεί φυσικά το cell (Physical Cell Identity).

Μέτρηση, reporting και απόφαση είναι διαδοχικά αλλά ξεχωριστά βήματα.

Filtering: λιγότερος θόρυβος, βραδύτερη αντίδραση

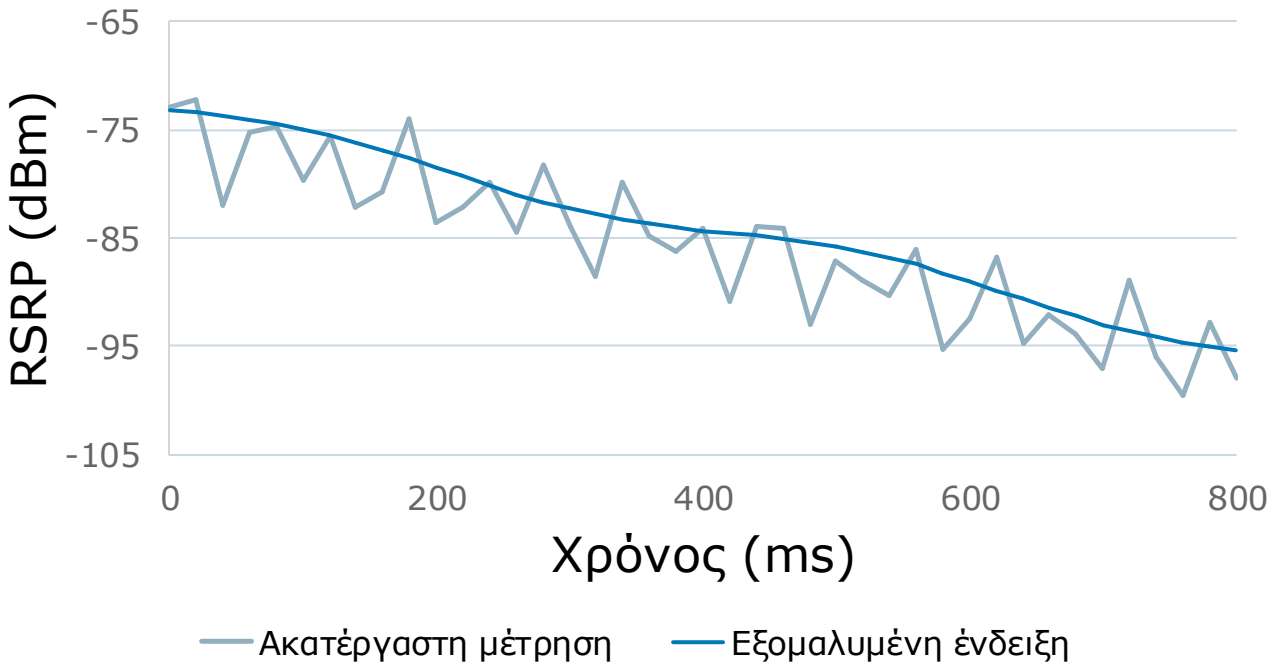
Οι γρήγορες διακυμάνσεις δεν σημαίνουν πάντα ουσιαστική αλλαγή

Οι στιγμιαίες μετρήσεις περιλαμβάνουν fading και διακυμάνσεις που μπορεί να διαρκούν λίγο.

Το **filtering** εξομαλύνει τις τιμές πριν από την αξιολόγηση των events. Έτσι περιορίζει αναφορές που βασίζονται σε σύντομα peaks.

Ισχυρότερη εξομάλυνση σημαίνει και περισσότερη καθυστέρηση στην ανάδειξη μιας πραγματικής υποβάθμισης.

(Το γράφημα είναι ενδεικτικό και δεν αναπαράγει συγκεκριμένο φίλτρο 3GPP)



Πρόκληση 3: ποιο target εξυπηρετεί την υπηρεσία;

Το καλύτερο RSRP δεν εγγυάται διαθέσιμη χωρητικότητα

- Ένα target μπορεί να έχει πολύ καλό RSRP και περιορισμένους διαθέσιμους πόρους.
- Ένα άλλο μπορεί να έχει επαρκές radio link και περισσότερο περιθώριο εξυπηρέτησης.
- Το source gNB συνεκτιμά radio quality, load, απαιτήσεις QoS και πολιτική.
- Το target ελέγχει αν μπορεί να αποδεχθεί τους απαιτούμενους πόρους.

Target	RSRP	Load	Ερώτημα
B	–78 dBm	90%	Αξίζει το ισχυρότερο σήμα, αν το cell είναι σχεδόν κορεσμένο;
C	–83 dBm	40%	Μπορεί το ασθενέστερο σήμα να δώσει καλύτερη εμπειρία χρήστη;
D	–91 dBm	15%	Αρκούν οι ελεύθεροι πόροι, αν το radio link περιορίζει τον ρυθμό μετάδοσης;

Ποιο target θα επιλέγατε για ένα video stream και ποιο για μια υπηρεσία με αυστηρές απαιτήσεις καθυστέρησης; Τι επιπλέον πληροφορία χρειάζεστε;

Πρόκληση: μετάβαση (handover-based) με μικρό interruption

Το target πρέπει να είναι έτοιμο πριν μετακινηθεί το UE

Το handover χωρίζεται σε **προετοιμασία, εκτέλεση και ολοκλήρωση**. Οι φάσεις συντονίζουν διαφορετικούς κόμβους.

Η προετοιμασία ελέγχει το target και μεταφέρει context. Η εκτέλεση αλλάζει το radio connection. Η ολοκλήρωση ενημερώνει τη διαδρομή των δεδομένων και απελευθερώνει παλιούς πόρους.

Χρησιμοποιούμε παράδειγμα Xn-based inter-gNB handover με κοινό AMF και κοινό UPF.

1. **Προετοιμασία**
   Source και target gNB
2. **Εκτέλεση**
   UE και target gNB
3. **Ολοκλήρωση**
   RAN και Core

> **Το handover command είναι ένα μόνο βήμα μιας μεγαλύτερης διαδικασίας.**

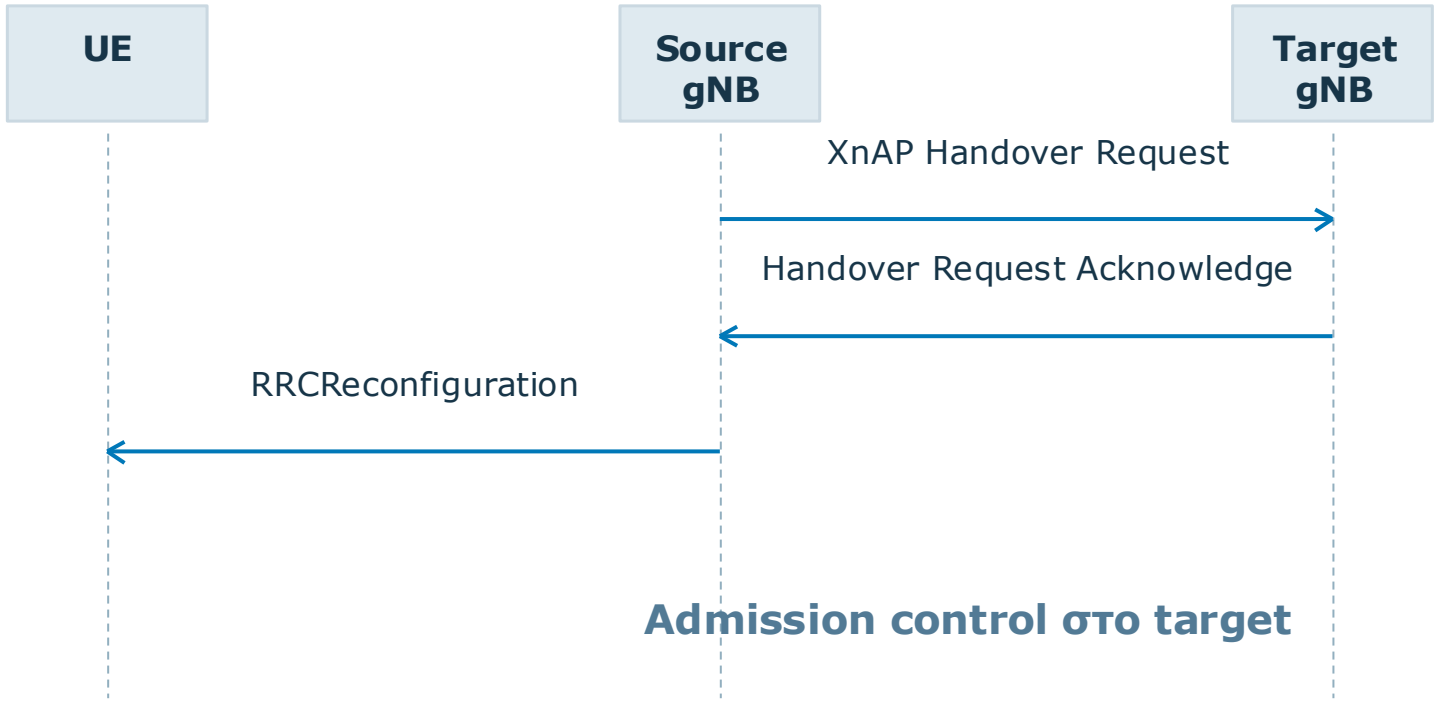
Handover preparation μέσω Xn

Το source gNB συντονίζεται με το target gNB

Το source gNB στέλνει **Handover Request** με το αναγκαίο context και τις απαιτήσεις εξυπηρέτησης.

Το target κάνει admission control και επιστρέφει **Handover Request Acknowledge** με τη διαμόρφωση που χρειάζεται το UE.

Μόνο μετά την επιτυχή προετοιμασία το source στέλνει το RRCReconfiguration για τη μετάβαση. Σε N2-based handover, το Core μεσολαβεί και στην προετοιμασία.



Προετοιμασμένο target σημαίνει ότι η μετακίνηση δεν ξεκινά χωρίς τον αναγκαίο συντονισμό.

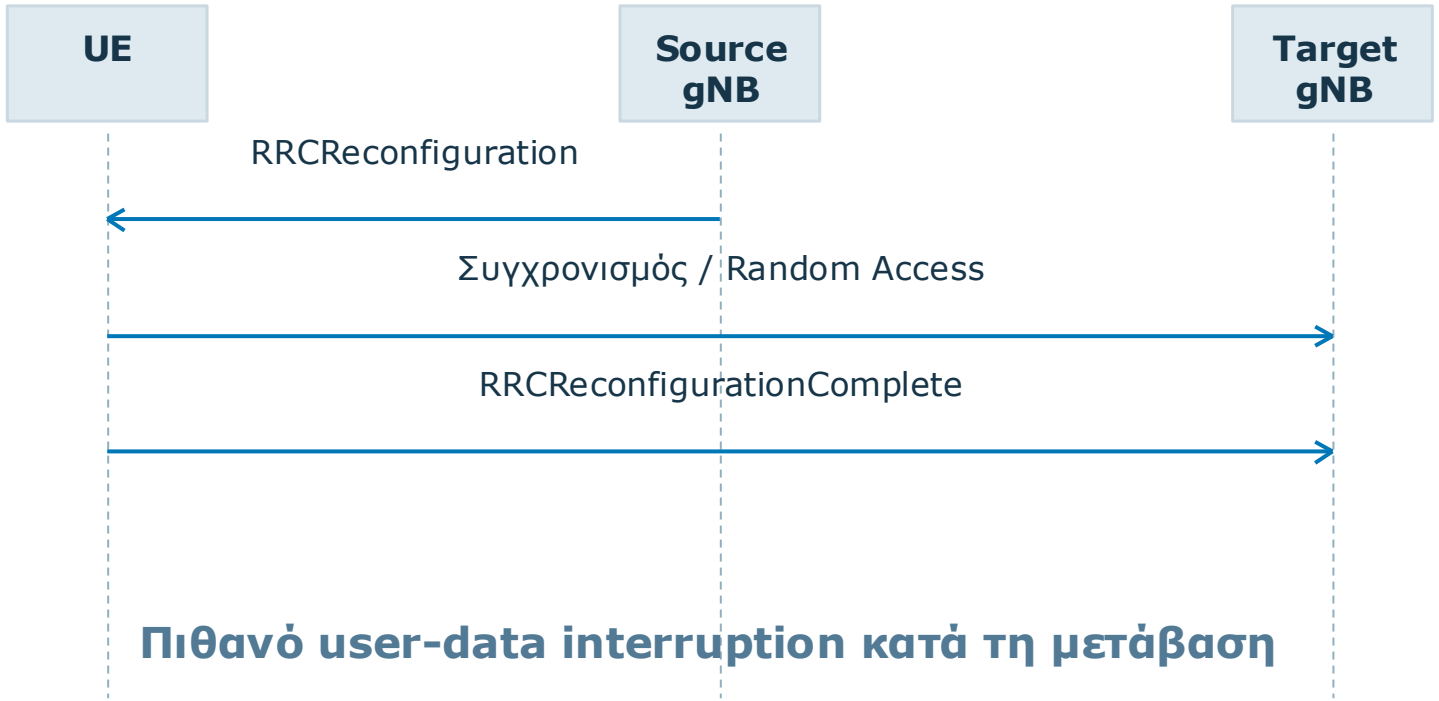
Handover execution: πρόσβαση στο target

Το UE εφαρμόζει τη νέα radio διαμόρφωση

Το UE λαμβάνει **RRCReconfiguration** με τις πληροφορίες συγχρονισμού και πρόσβασης στο target.

Στο βασικό σενάριο συγχρονίζεται και εκτελεί random access. Μετά την επιτυχή πρόσβαση στέλνει **RRCReconfigurationComplete**.

Στο βασικό hard handover μπορεί να υπάρχει διάστημα χωρίς παράδοση user data. Το forwarding μπορεί να περιορίσει απώλειες, αλλά δεν εγγυάται μηδενικό interruption.



Το interruption εξαρτάται από τη διαδικασία, τις radio συνθήκες και τις δυνατότητες UE/RAN.

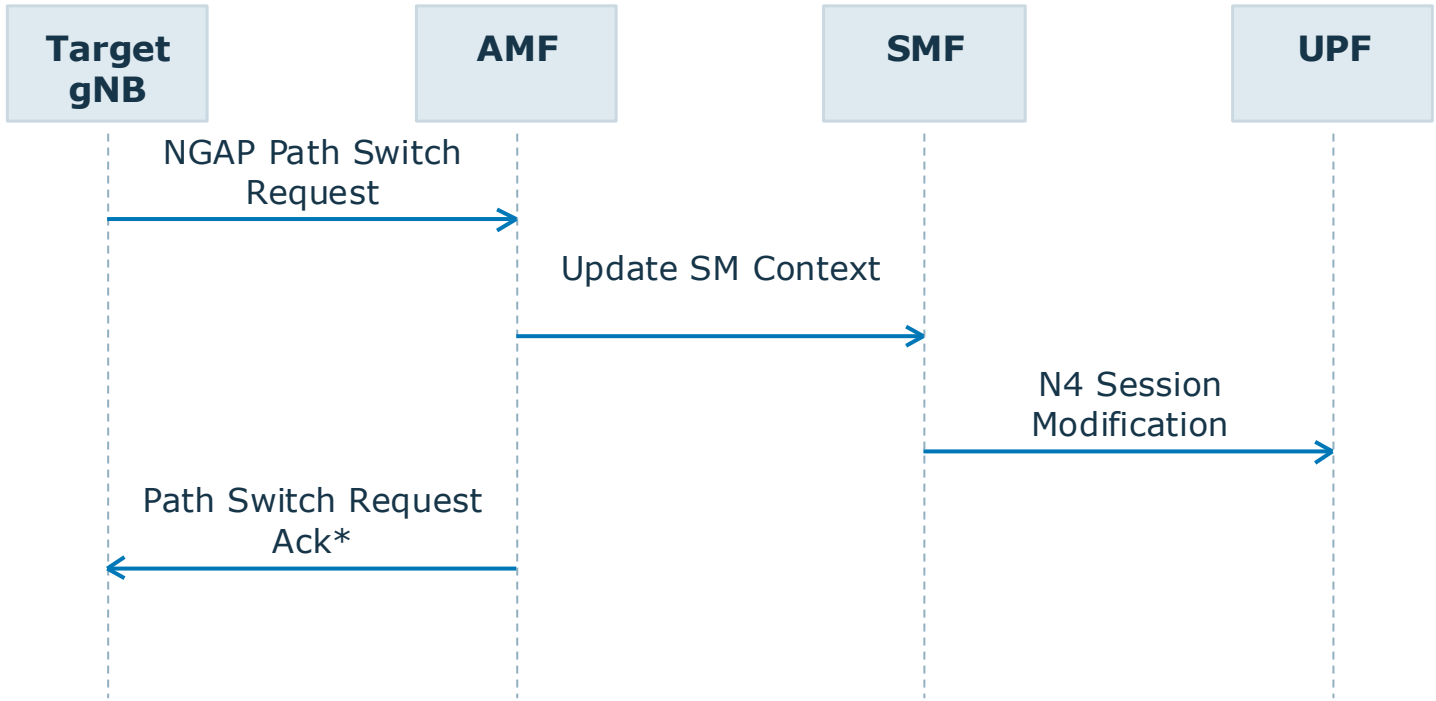
Path switch: τα δεδομένα ακολουθούν το UE

Το νέο radio connection χρειάζεται τη σωστή διαδρομή στο Core

Μετά την πρόσβαση του UE, το target gNB ζητά **Path Switch** από το AMF μέσω NGAP.

Το AMF συντονίζεται με το SMF. **Το SMF ενημερώνει το UPF μέσω N4 ώστε η downlink κίνηση να κατευθύνεται στο νέο N3 endpoint.**

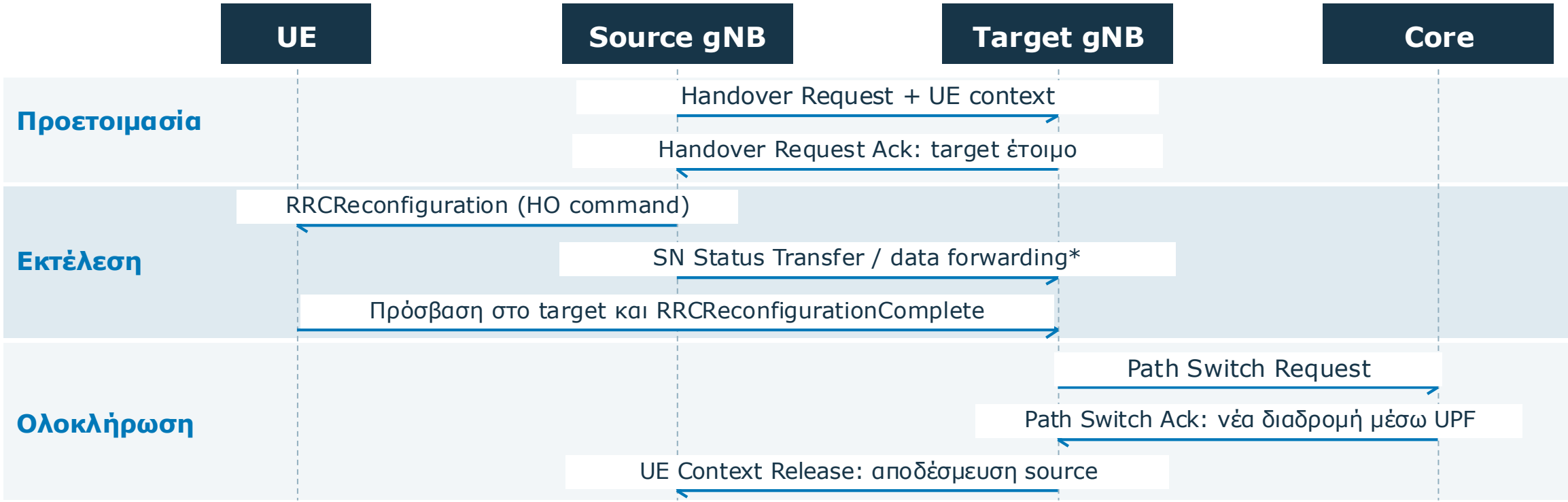
Μετά τις επιβεβαιώσεις, απελευθερώνονται οι παλιοί πόροι σύμφωνα με τη διαδικασία. Το AMF χειρίζεται signalling, ενώ το UPF προωθεί user packets.



*Μετά τις σχετικές επιβεβαιώσεις. Απλοποίηση του κοινού AMF/UPF σεναρίου.

> **Η αλλαγή στο radio και η αλλαγή στη διαδρομή του user plane πρέπει να συμφωνούν.**

Handover complete view



Σταθερό user IP, νέο N3 endpoint

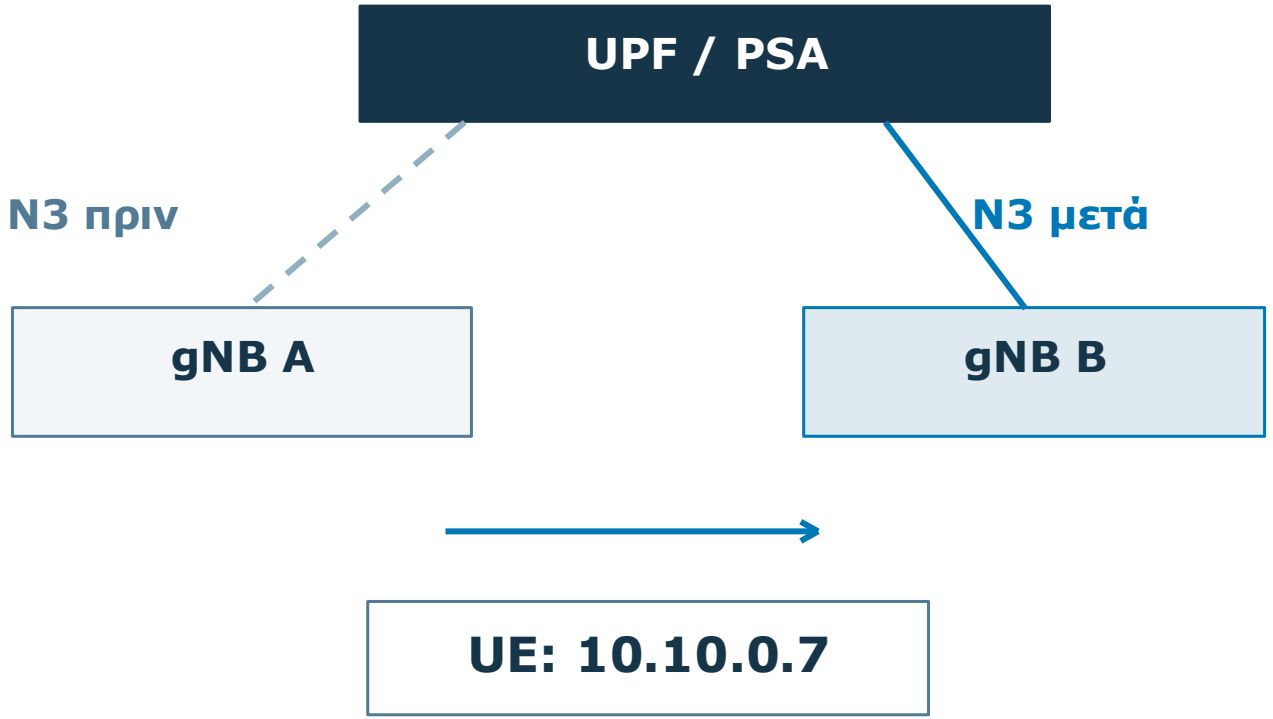
Παράδειγμα με ίδιο PDU session και ίδιο anchor UPF

PSA = PDU Session Anchor: ο ρόλος του UPF που συνδέει το PDU session με το data network μέσω N6. Είναι το σημείο εξόδου προς το Internet ή ένα δίκτυο με edge servers.

Η user IP διεύθυνση ανήκει στη λογική του PDU session. Στο συγκεκριμένο σενάριο παραμένει ίδια καθώς το UE αλλάζει gNB.

Το **N3 tunnel** συνδέει το UPF με το serving gNB. Με το handover, η downlink κίνηση χρειάζεται το endpoint του target gNB.

Έτσι η εφαρμογή μπορεί να συνεχίσει με την ίδια user IP διεύθυνση, ενώ το δίκτυο αλλάζει την εσωτερική διαδρομή μεταφοράς.

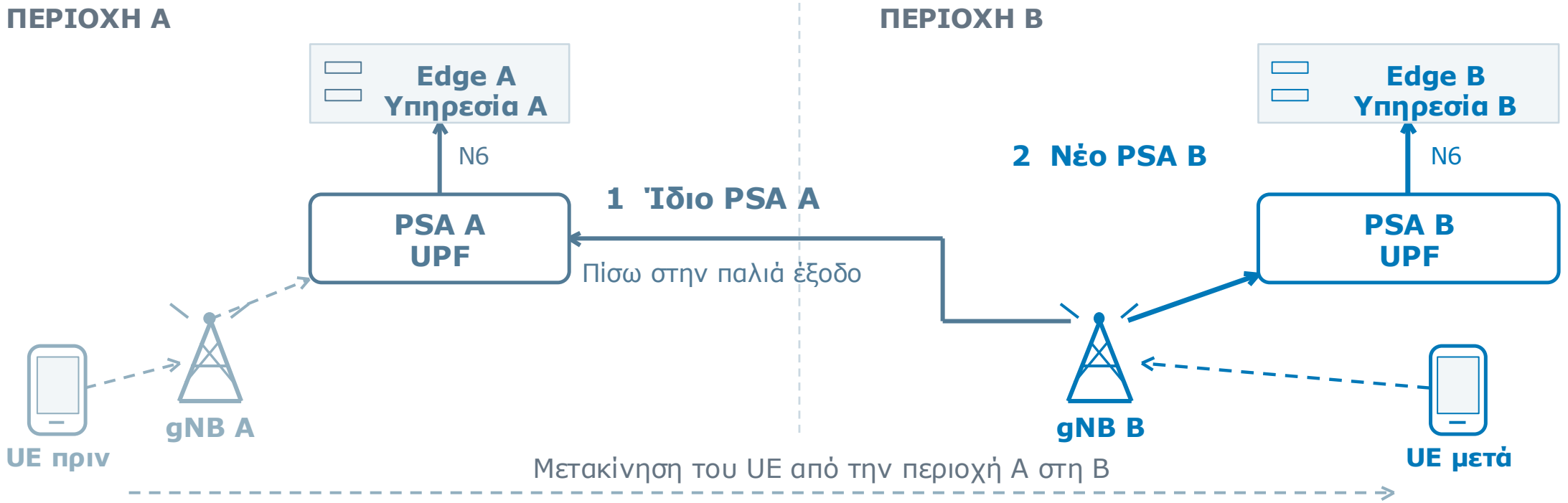


Η διεύθυνση του UE είναι ενδεικτική.

> **Η διατήρηση της user IP διεύθυνσης και η αλλαγή του N3 tunnel είναι συμβατές.**

Το UE μετακινείται: ίδιο ή νέο anchor προς το edge;

Παράδειγμα με διαφορετικό PSA (anchor UPF)



Οι διαδρομές 1 και 2 είναι εναλλακτικές. Παράδειγμα 2 με SSC (Session and Service Continuity) mode 3: νέα user IP και υπηρεσία διαθέσιμη στο edge B.

Τα headers πριν και μετά το path switch

Downlink παράδειγμα με ίδιο PSA UPF και ίδια user IP, αλλάζει το gNB προορισμού του N3 tunnel

Outer IP: περιγράφει τα άκρα μεταφοράς του tunnel μεταξύ UPF και gNB.

UDP και GTP-U: μεταφέρουν το user packet μέσα στο tunnel. Το TEID ταυτοποιεί το tunnel context στο receiving endpoint.

Inner IP packet: το αρχικό πακέτο της εφαρμογής. Στο παράδειγμα, η destination IP του παραμένει η user IP του UE.



Πεδίο	Πριν	Μετά
Outer (gNB-UPF) IP	192.0.2.21	192.0.2.22
GTP-U TEID	0x1001	0x2001*
Inner (UE-remote server) IP	10.10.0.7	10.10.0.7

Outer src: UPF 192.0.2.10. *Το TEID δεν απαιτείται να αλλάζει αριθμητικά.

Το TEID έχει νόημα ανά receiving endpoint και κατεύθυνση. Δεν είναι παγκόσμιο user ID.

Αλλαγή beam, cell ή N3 endpoint;

Διαφορετικές κλίμακες κινητικότητας στο RAN

Μια αλλαγή beam μπορεί να εξυπηρετεί καλύτερα το UE μέσα στο ίδιο cell, χωρίς inter-cell handover.

Αλλαγή cell μέσα στο ίδιο gNB μπορεί να διατηρεί το ίδιο N3 endpoint. Σε συνήθη inter-gNB handover το endpoint αλλάζει.

Η πραγματική επίπτωση εξαρτάται από την αρχιτεκτονική και το ποιο user-plane endpoint αλλάζει.

Η φυσική μετακίνηση από μόνη της δεν καθορίζει το path switch.

Beam	Μέσα στο ίδιο cell Συνήθως ίδιο N3 endpoint
Cell	Μέσα στο ίδιο gNB Μπορεί να διατηρεί το N3
gNB	Inter-gNB handover Συνήθως νέο N3 endpoint

> **Το cell, το gNB και το N3 endpoint είναι διαφορετικές έννοιες.**

Διαχρονική πρόκληση σε LTE και 5G SA

Συνέχεια εξυπηρέτησης με διαφορετικούς κόμβους και interfaces

Η βασική λογική παραμένει: μετρήσεις, προετοιμασία target, μεταφορά UE και ενημέρωση διαδρομής.

Στο LTE, η κινητικότητα συνδέει το eNB με το EPC. Στο 5G SA, το gNB συνεργάζεται με τα AMF, SMF και UPF.

Στο NSA dual connectivity υπάρχουν και αλλαγές στο secondary node. Δεν ισοδυναμούν όλες με αλλαγή του master node.

Ρόλος	LTE	5G SA
Radio node	eNB	gNB
Control στο Core	MME	AMF / SMF
User-plane node	S-GW / P-GW	UPF
RAN coordination	X2	Xn
Core interfaces	S1-MME / S1-U	N2 / N3

Περιπτώσεις αποφάσεων που αποτυγχάνουν

Timing, επιλογή target και επιστροφές μεταξύ cells

Too early

Μεταφορά πριν σταθεροποιηθεί η εξυπηρέτηση στο target

Too late

Απώλεια serving link πριν ολοκληρωθεί η μετάβαση

Wrong cell

Ακατάλληλο target για τη συνέχεια της διαδρομής

Ping-pong

Σύντομη επιστροφή στο προηγούμενο cell

Πώς μετράμε την επιτυχία;

Κάθε KPI χρειάζεται ορισμό, επίπεδο μέτρησης και χρονικό παράθυρο

Το **handover success rate** δείχνει πόσες απόπειρες ολοκληρώθηκαν με τον δηλωμένο ορισμό. Δεν περιγράφει μόνο του το interruption.

Ο χρόνος διακοπής, οι απώλειες, το ping-pong και η επίπτωση στην εφαρμογή συμπληρώνουν την εικόνα.

Η βελτιστοποίηση χρειάζεται κοινή αξιολόγηση των KPIs. Ένας καλός μέσος όρος μπορεί να κρύβει προβλήματα σε γρήγορα UEs ή σε συγκεκριμένα σημεία.

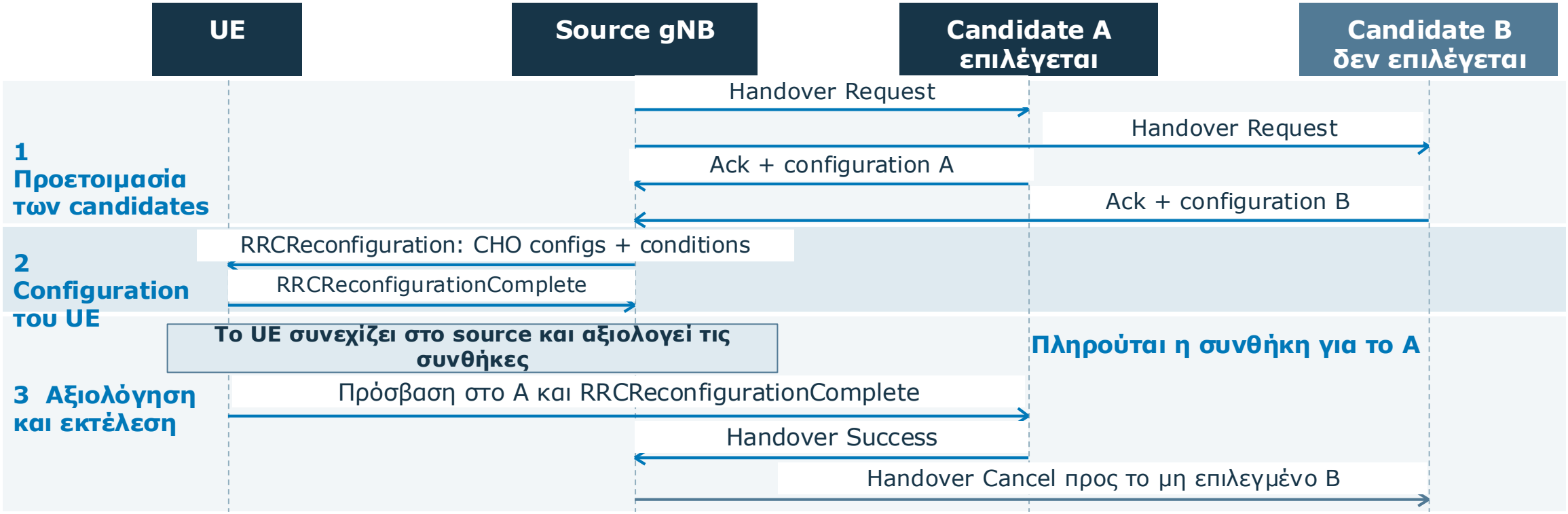
KPI	Ενδεικτική ερμηνεία
HO success rate (%)	Επιτυχείς / δηλωμένες απόπειρες
Interruption (ms)	Κενό παράδοσης στο ορισμένο επίπεδο.
Packet loss (%)	Απώλειες γύρω από τη μετάβαση
Ping-pong rate (%)	Επιστροφές μέσα σε ορισμένο παράθυρο
Service impact (ms, πλήθος stalls)	Latency, stall ή επίπτωση στην εφαρμογή

Η αξιολόγηση πρέπει να καταγράφει και την εμπειρία της υπηρεσίας, πέρα από την ολοκλήρωση signalling.

Conditional Handover: προετοιμασία και εκτέλεση

CHO: έγκαιρη διαμόρφωση δύο candidates, εκτέλεση προς ένα επιλεγμένο target

- ✓ Το δίκτυο προετοιμάζει τα candidates και δίνει στο UE τα configurations και τις συνθήκες εκτέλεσης.
- ✓ Το UE παραμένει στο source μέχρι να ικανοποιηθεί η συνθήκη για ένα κατάλληλο target.



Έπειτα: path switch και release των παλιών πόρων. Τα βήματα προς το Core δεν αναπτύσσονται εδώ.

DAPS: το source παραμένει όσο συνδέεται το target

DAPS = Dual Active Protocol Stack

Το DAPS handover επιτρέπει στο UE να διατηρεί το source connection ενώ πραγματοποιεί την πρόσβαση στο target.

Η προσωρινή συνύπαρξη των protocol stacks μπορεί να μειώσει το user-plane interruption σε σχέση με τη βασική διαδικασία.

Απαιτούνται υποστήριξη και επιπλέον δυνατότητες στο UE και στο RAN. Η ύπαρξη του feature στις προδιαγραφές δεν σημαίνει ότι χρησιμοποιείται σε κάθε δίκτυο ή συσκευή.



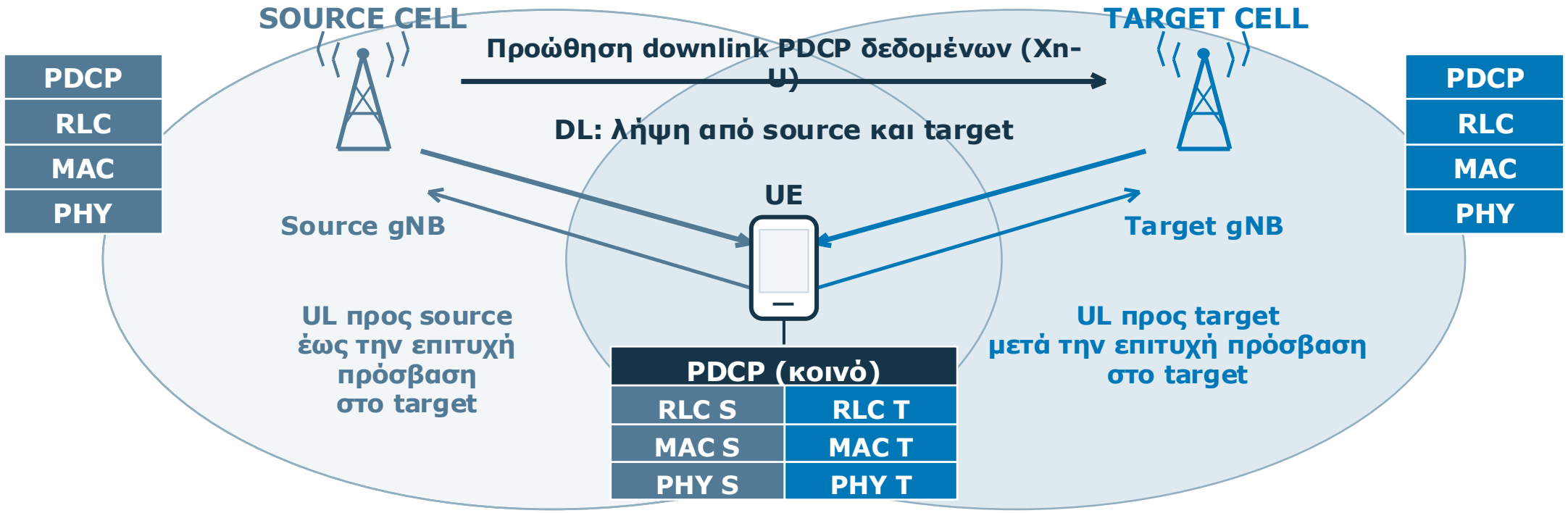
Σχηματική διάρκεια connections. Δεν αποτυπώνει συγκεκριμένο χρόνο interruption.

Η μικρότερη διακοπή απαιτεί πρόσθετη πολυπλοκότητα και radio δυνατότητες.

DAPS: δύο ενεργά stacks στη μετάβαση

DAPS = Dual Active Protocol Stack handover

Για το bearer με DAPS, το UE διατηρεί το source connection ενώ αποκτά πρόσβαση στο target. Δύο σκέλη RLC/MAC/PHY και κοινές λειτουργίες PDCP στηρίζουν τη συνέχεια των δεδομένων.



S = source · T = target

Σχηματικά για ένα bearer με DAPS: κοινά reordering / duplicate detection, ξεχωριστά security contexts.

Το source αποδεσμεύεται με ρητή εντολή από το target, αφού επιτύχει η πρόσβαση.

Η υπηρεσία αλλάζει την απόφαση κινητικότητας

Βιντεοκλήση: μετρά η συνέχεια παράδοσης και η αποφυγή αισθητού interruption.

Γρήγορο όχημα: ένα μικρό cell μπορεί να δώσει καλό RSRP για πολύ λίγο. Η εκτίμηση του χρόνου παραμονής βοηθά να αποφύγουμε μια σύντομη μεταφορά.

Βιομηχανικό UE: αυστηρές απαιτήσεις καθυστέρησης ή αξιοπιστίας μπορεί να αλλάζουν την προτεραιότητα μεταξύ targets και διαθέσιμων features.

Radio context
RSRP / RSRQ / SINR, ταχύτητα

Network context
Load, διαθέσιμα targets και πόροι

Service context
QoS, ανοχή interruption και loss

Πολιτική κινητικότητας
Target, timing, διαθέσιμα features

Πολιτική με έλεγχο αβεβαιότητας

Η πολιτική συνδυάζει την πρόβλεψη με radio καταλληλότητα, διαθεσιμότητα πόρων και κόστος προετοιμασίας.

Με επαρκή εμπιστοσύνη, μπορεί να προετοιμάσει επιλεγμένα targets.
Με μεγάλη αβεβαιότητα, μπορεί να περιορίσει την προετοιμασία και να βασιστεί στις τρέχουσες μετρήσεις.

Η αξιολόγηση εξετάζει interruption, αποτυχίες και άσκοπες δεσμεύσεις πόρων, όχι μόνο next-cell prediction accuracy.



Πρόβλεψη κινητικότητας και επιλογή targets

Πώς ελέγχουμε την αβεβαιότητα πριν δεσμεύσουμε πόρους για handover;

Πρόβλεψη. Το μοντέλο δίνει πιθανότητα p_i για κάθε επόμενο cell σε ορισμένο ορίζοντα. Ελέγχουμε την αξιοπιστία των πιθανοτήτων σε νέα δεδομένα.

Περιορισμοί. Το source gNB ελέγχει radio measurements και admission στο target. Ορίζει πόσα targets προετοιμάζει και πόσο διατηρεί το context.

Fallback. Με αβέβαιη ή παρωχημένη πρόβλεψη, διατηρεί το measurement-based handover χωρίς πρόσθετη προληπτική προετοιμασία.

Αριθμητικό παράδειγμα

Κανόνας: max $p_i \geq 0{,}70$ και αποδοχή από το target.
Έως K = 1 target, με επανέλεγχο εντός 500 ms.

Target	p_i: σαφές προβάδισμα	p_i: αβέβαιη πρόβλεψη	Radio / admission
B	0,80	0,40	OK
C	0,15	0,35	OK
D	0,05	0,25	Απόρριψη

0,80 ≥ 0,70
Προετοιμασία του B

0,40 < 0,70
Fallback στις μετρήσεις

Στο CHO

Προετοιμασία: XnAP Handover Request / Ack και RRCReconfiguration προς το UE.
Εκτέλεση: μόνο όταν ικανοποιηθούν τα configured CHO conditions του target.

Αξιολόγηση: interruption (ms), HO failures (%) και προετοιμασίες που έμειναν αχρησιμοποίητες (%).

Άσκηση: report, target ή αναμονή;

- ✓ Το UE είναι RRC_CONNECTED.
- ✓ Για το cell B, η διαφορά RSRP είναι συνεχώς +5 dB επί 200 ms.
- ✓ Το όριο εισόδου A3 είναι +4 dB και το TTT 160 ms.
- ✓ Το B έχει υψηλό load.
- ✓ Το C έχει επαρκές radio link και μικρότερο load.
- ✓ Δεν γνωρίζουμε ακόμη το admission αποτέλεσμα.

Ερωτήματα (βλ. επόμενο slide):
Ενεργοποιείται το A3 report για το B;
Επιβάλλεται handover στο B;
Τι χρειάζεται πριν επιλεγεί το C;

Παράμετρος	Παραδοχή
UE state	RRC_CONNECTED
Διαφορά για B	+5 dB συνεχώς επί 200 ms
A3 / TTT	Όριο +4 dB / 160 ms
Target B	Υψηλό load
Target C	Επαρκές link, μικρότερο load

> **Ξεχωρίζουμε τη συνθήκη reporting από την απόφαση και την προετοιμασία target.**

Άσκηση: αιτιολόγηση της απόφασης

Χρησιμοποιούμε μόνο τις παραδοχές που δόθηκαν

Reporting: με συνεχή υπέρβαση του ορίου για 200 ms, συμπληρώνεται το TTT των 160 ms. Μπορεί να ενεργοποιηθεί το A3 reporting για το B.

Target: το report δεν επιβάλλει handover στο B. Το load και οι απαιτήσεις υπηρεσίας επηρεάζουν την τελική απόφαση handover.

Για το C: χρειάζονται κατάλληλες μετρήσεις, έλεγχος πολιτικής και επιτυχής προετοιμασία/admission. Το χαμηλότερο load από μόνο του δεν αρκεί.

1. **Το TTT συμπληρώνεται**
2. **Το report δεν δεσμεύει το target**
3. **Το C χρειάζεται admission**

> **Η σωστή απάντηση εξηγεί τι γνωρίζουμε και ποια πληροφορία λείπει.**

Οι συμβιβασμοί που κρατάμε

Η κινητικότητα είναι πρόβλημα υπηρεσίας υπό περιορισμούς

Θέση: λιγότερα updates σημαίνουν συνήθως ευρύτερη αναζήτηση όταν χρειαστεί paging.

Timing: περισσότερο filtering, hysteresis ή TTT δίνει σταθερότερη απόφαση, με κόστος στον χρόνο αντίδρασης.

Συνέχεια και πρόβλεψη: περισσότερη προετοιμασία μπορεί να μειώσει τον κίνδυνο διακοπής, αλλά καταναλώνει πόρους και απαιτεί διαχείριση αβεβαιότητας.

Λιγότερα location updates	→	**Ευρύτερο paging**
Σταθερότερο timing	→	**Βραδύτερη αντίδραση**
Έγκαιρη προετοιμασία	→	**Πρόσθετοι πόροι**
Περισσότερη πρόβλεψη	→	**Διαχείριση αβεβαιότητας**

> **Η καλύτερη πολιτική εξαρτάται από την υπηρεσία, το περιβάλλον και τις διαθέσιμες δυνατότητες.**

Πηγές και σημεία αναφοράς

Προδιαγραφές 3GPP/ETSI και τεχνική επισκόπηση

Οι προδιαγραφές ορίζουν τις διαδικασίες και τα μηνύματα. Η πολιτική επιλογής target και η βελτιστοποίηση εξαρτώνται και από την υλοποίηση.

Οι αριθμητικές τιμές, τα διαγράμματα μετρήσεων και οι εκτιμήσεις πιθανοτήτων της διάλεξης είναι διδακτικά παραδείγματα.

Οι πλήρεις σύνδεσμοι και οι παραδοχές βρίσκονται στις σημειώσεις των σχετικών slides.

Πηγή	Θέμα
TS 38.300 §9.2	RRC states, mobility, HO, CHO, DAPS
TS 38.331 §5.5	Measurements και events
TS 38.304 §5	Selection και reselection
TS 23.501 §5.3	Registration και connection management
TS 23.502 §4.9	Handover και path switch