



LoRa: A flexible and locality-driven network solution

Mr Dimitrios Georgiadis /
Master's student - Research Associate



Table Of Contents

01

What is Long-Range (LoRa)?

- Definition
- Pros & Cons of LoRa
- EU863-870MHz Band
- Technological characteristics

02

What is LoRaWAN?

- Definition
- Components
- PHY & MAC Layers
- LoRaWAN Packet

03

Practical Application

- Emergency Management
- EDGEAI Use-Case
- LoRaWAN in HUA



I. What is Long-Range (LoRa)?

Το **LoRa** είναι μια τεχνολογία που αξιοποιεί ένα νέο φυσικό στρώμα (PHY) διασποράς φάσματος, σχεδιασμένο για επικοινωνίες **μεγάλης εμβέλειας, χαμηλής ισχύος** και **χαμηλού ρυθμού δεδομένων**

Το PHY βασίζεται στην τεχνική διαμόρφωσης **Chirp Spread Spectrum** (CSS). Το **chirp** είναι ένα ημιτονοειδές μίας γραμμικά μεταβαλλόμενης συχνότητας και σταθερής διάρκειας, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διάδοση της πληροφορίας σε ένα ευρύτερο φάσμα που υπό κανονικές συνθήκες θα έπρεπε να καταλάβει.

Αυτή η ομοιόμορφη κατανομή ενός συμβόλου σε μεγαλύτερο εύρος ζώνης παρέχει αντίσταση σε θόρυβο επιλεκτικής συχνότητας και παρεμβολείς με το τμήμα της χαμηλότερης φασματικής απόδοσης.



I. Pros & Cons of LoRa

	LTE-M(Rel.13)	EC-GSM	NB-IOT	SigFox	LoRa	NR-5G
Frequency Band	700-900 MHz	800-900 MHz	700-900 MHz	868,902 MHz	Sub-GHz ISM	FR1(Sub-6 GHz) FR2(24.25-71.0 GHz)
Data Rate	375 kbps	70 kbps	20-65 kbps	0.100 kbps	0.3 - 37.5 kbps	20 Gbps
Bandwidth	1.08 MHz	200 kHz	200 kHz	100 Hz	125 - 250 MHz	5 - 100 MHz
Transmission Range	<15 Km	<15 Km	<35 Km	Rural: 30 - 50 Km Urban: 3 - 10 Km	Rural: 10 - 15 Km Urban: 3 - 5 Km	Rural: <450 m Urban: City Block

- Μετάδοση και λήψη μεγάλης εμβέλειας
- Χαμηλή κατανάλωση ισχύος (συσσκευές τύπου Class A)
- Ανθεκτικότητα έναντι παρεμβολών στενής ζώνης και παρεμβολών
- Υπολογιστικά απλοϊκός από πλευράς επεξεργασίας σήματος
- Αντοχή στην εξασθένιση πολλαπλών διαδρομών και στο φαινόμενο Doppler



I. Pros & Cons of LoRa

	LTE-M(Rel.13)	EC-GSM	NB-IOT	SigFox	LoRa	NR-5G
Frequency Band	700-900 MHz	800-900 MHz	700-900 MHz	868,902 MHz	Sub-GHz ISM	FR1(Sub-6 GHz) FR2(24.25-71.0 GHz)
Data Rate	375 kbps	70 kbps	20-65 kbps	0.100 kbps	0.3 - 37.5 kbps	20 Gbps
Bandwidth	1.08 MHz	200 kHz	200 kHz	100 Hz	125 - 250 MHz	5 - 100 MHz
Transmission Range	<15 Km	<15 Km	<35 Km	Rural: 30 - 50 Km Urban: 3 - 10 Km	Rural: 10 - 15 Km Urban: 3 - 5 Km	Rural: <450 m Urban: City Block

- Χαμηλός ρυθμός μετάδοσης δεδομένων
- Ευάλωτο σε παρεμβολές ραδιοσυχνοτήτων (ιδίως σε αστικές περιοχές)
- Περιφερειακές απαιτήσεις: Περιορισμοί κύκλου λειτουργίας
- Πιθανή υψηλή καθυστέρηση
- Προσεκτική διαμόρφωση της συσκευής και εφαρμογή ασφάλειας





I. EU863-870MHz Band



Modulation	Bandwidth [kHz]	Channel Frequency [MHz]	LoRa DR / Bitrate	Number of Channels	Duty Cycle
LoRa	125	868.10 868.30 868.50	DR0 to DR5 / 0.3-5 kbps	3	< 1%

Sub-Band	Frequency (MHz)	Power (mW,dBm)	Duty Cycle (%)
L	867 - 868	25, 14	1
M	868 - 868.6	25 , 14	1
N	868.7 - 869.2	25 , 14	0.1
P	869.525	500 , 27	10

DataRate	Configuration	Indicative physical bit rate [bit/s]
0	LoRa: SF12 / 125 kHz	250
1	LoRa: SF11 / 125 kHz	440
2	LoRa: SF10 / 125 kHz	980
3	LoRa: SF9 / 125 kHz	1760
4	LoRa: SF8 / 125 kHz	3125
5	LoRa: SF7 / 125 kHz	5470
6	LoRa: SF7 / 250 kHz	11000
7	FSK: 50 kbps	50000

I. What is a chirp?

Η συχνότητα εκκίνησης ενός chirp εντός του διαθέσιμου εύρους ζώνης, αντιπροσωπεύει ένα σύμβολο

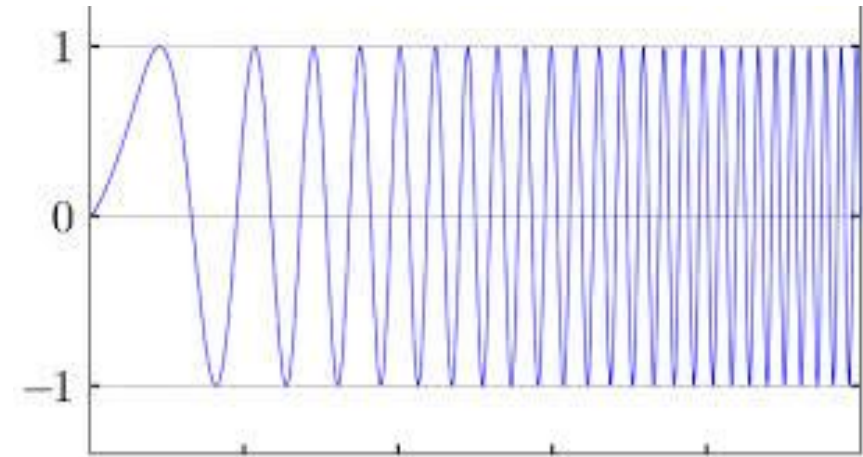
Ο αριθμός των bits που κωδικοποιεί το LoRa σε ένα σύμβολο είναι μια ρυθμιζόμενη παράμετρος που ονομάζεται Spreading Factor (SF)

Αυτό σημαίνει ότι ένα chirp που χρησιμοποιεί SF,

αντιπροσωπεύει 2^{SF} bits χρησιμοποιώντας ένα σύμβολο

και ότι υπάρχουν $M = 2^{SF}$ πιθανές συχνότητες για ένα chirp.

Το SF καθορίζει και τη διάρκεια ενός συμβόλου $T_S = \frac{2^{SF}}{B}$



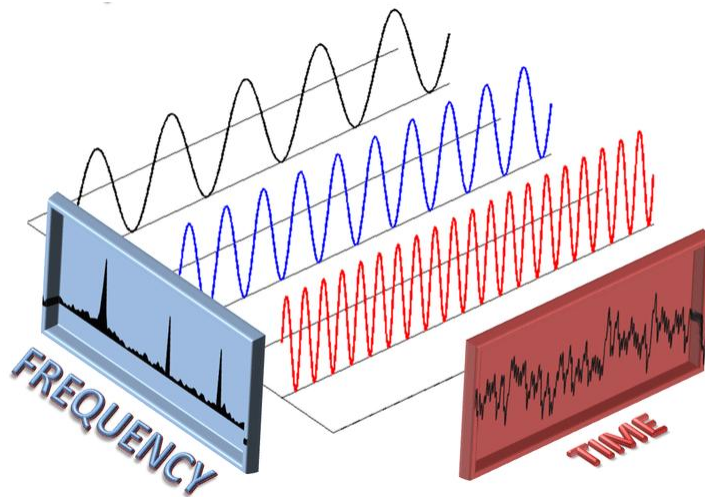


I. Encoding

- Data Whitening $\longrightarrow$ Τυχαία ρύθμιση της ροής bit για να εξασφαλιστεί ένας ισορροπημένος αριθμός 1 και 0. XOR with whitening sequence w : $\underline{p_w} = \underline{p} \oplus \underline{w}$
- Forward Error Correction (FEC) $\longrightarrow$ Προσθήκη πλεοναζόντων bits στα δεδομένα ώστε ο δέκτης να μπορεί να ανιχνεύει και να διορθώνει τα σφάλματα.
- Interleaving $\longrightarrow$ Αναδιάταξη της σειράς των bits πριν από τη μετάδοση για την κατανομή των σφαλμάτων σε πολλαπλές κωδικοποιημένες λέξεις, αυξάνοντας την αξιοπιστία καθιστώντας τα τοπικά σφάλματα (λόγω παρεμβολών) λιγότερο επιζήμια. Ο δέκτης αποδιαπλέκει τα bits πριν από την αποκωδικοποίηση, ανακτώντας την αρχική ακολουθία.
- Grey Mapping $\longrightarrow$ Μια μέθοδος αντιστοίχισης από δυαδικό σε σύμβολο, έτσι ώστε τα γειτονικά σύμβολα να διαφέρουν μόνο κατά ένα bit:

$$a_j = \begin{cases} a_i(j, k) & \text{for } k = 0 \\ a_i(j, k) \oplus a_i(j, k - 1) & \text{else} \end{cases}$$

I. Decoding



Fast Fourier Transformation

De-chirping: Το λαμβανόμενο σήμα chirp πολλαπλασιάζεται με ένα σήμα αναφοράς (down-chirp) για να αφαιρεθεί η σάρωση συχνότητας.

Στη συνέχεια εφαρμόζεται ένας γρήγορος μετασχηματισμός Fourier (FFT) στο αποδιαταγμένο σήμα. Ο FFT έχει M bins, με κάθε bin να αντιστοιχεί σε ένα πιθανό σύμβολο.

Λαμβάνοντας επικαλυπτόμενα παράθυρα FFT και επιλέγοντας το δοχείο με τη μέγιστη ισχύ, ο δέκτης προσδιορίζει το πιο πιθανό μεταδιδόμενο σύμβολο για κάθε χρονικό πλαίσιο.



I. Pseudo-Orthogonality

Pseudo-orthogonality αναφέρεται στην ικανότητα των σημάτων με διαφορετικά SF να συνυπάρχουν και να αποκωδικοποιούνται ανεξάρτητα, ακόμη και όταν μεταδίδονται στο ίδιο κανάλι συχνότητας.

Παράδειγμα:

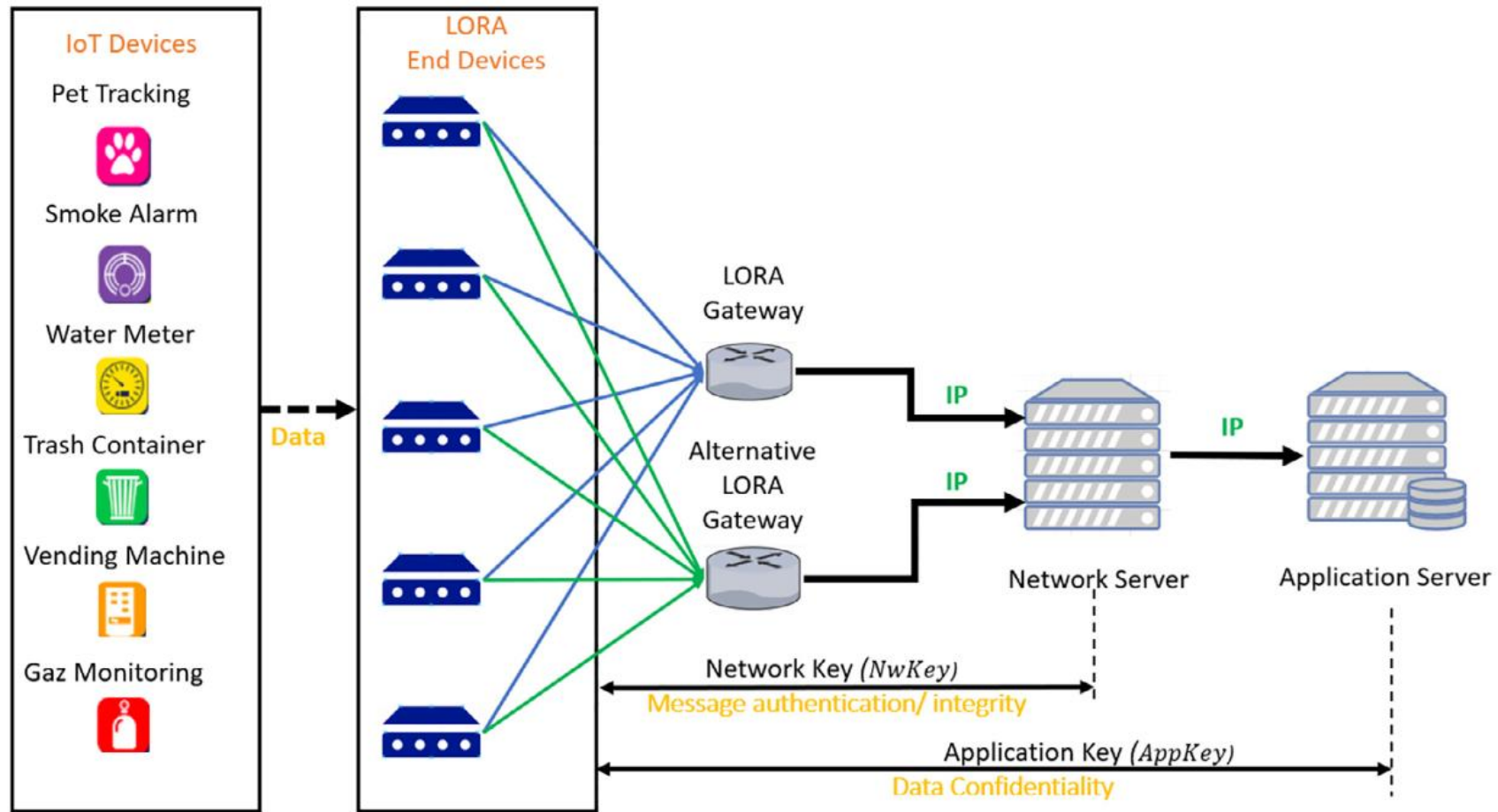
Μία LoRa Πύλη (Gateway) μπορεί ταυτόχρονα να αποκωδικοποιεί πακέτα από:

- Node A using SF7 (fast, low range)
- Node B using SF10 (slower, longer range)

ακόμη και αν εκπέμπουν στην ίδια συχνότητα, εφόσον τα επίπεδα ισχύος είναι κατάλληλα και οι χρονικές μετατοπίσεις διαχειρίσιμες.

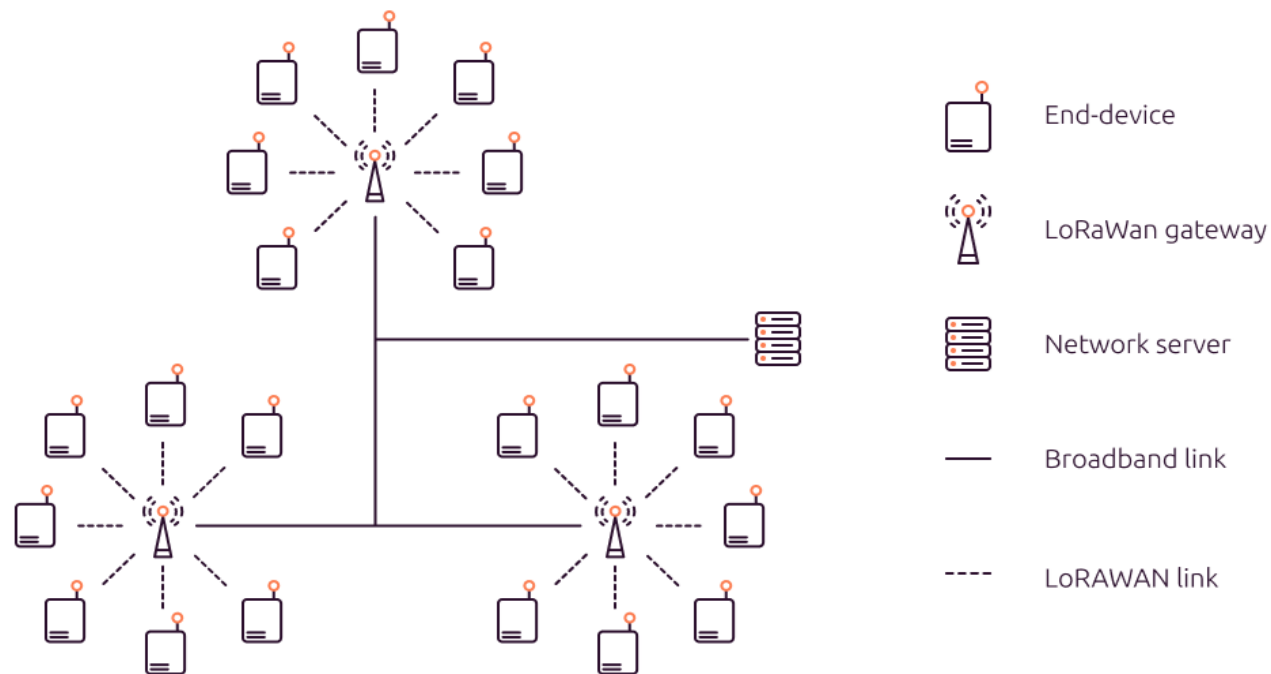


II. What is LoRaWAN?



II. What is LoRaWAN?

Μια τυπική End-to-End αρχιτεκτονική, το LoRaWAN (Long-Range Wide Area Network) ορίζει την αρχιτεκτονική επικοινωνίας και συστήματος για το δίκτυο. Η δομή ενσωματώνει μια τοπολογία star-of-stars, που περιλαμβάνει τελικές συσκευές (ED), πύλες (GW), έναν διακομιστή δικτύου (NS) και διακομιστές εφαρμογών (APS).



II. Components (1/3): EDs



Three types of EDs :

1. **Class A** (All) : Πιο αποδοτικές σε ισχύ, παραμένουν αδρανείς μέχρι να ενεργοποιηθούν για μετάδοση.
2. **Class B** (Beacon) : Παρόμοιες με την κλάση A, αλλά έχουν πρόσθετα προγραμματισμένα παράθυρα λήψης,
1. **Class C** (Continuous) : Είναι πάντα ενεργές, ιδανικές για σενάρια όπου η λήψη δεδομένων με ευαισθησία στην καθυστέρηση είναι κρίσιμη, αλλά είναι οι πιο ενεργοβόρες.

II. Components (2/3): GWs

- Οι πύλες ενεργούν ως φυσική διεπαφή για το NS, παρακολουθώντας το ραδιοφάσμα και προωθώντας πακέτα προς (Downlinks, DL) ή από (Uplinks, UL) EDs.
- Συνδέεται με το NS μέσω IP (Ethernet, Wi-Fi, Cellular).
- Half-Duplex: Η ταυτόχρονη λήψη και μετάδοση είναι ανέφικτη
- Applications: Έξυπνες πόλεις, παρακολούθηση γεωργίας, όπου πολλές συσκευές πρέπει να δώσουν αναφορά στον ίδιο διακομιστή





II. Components (3/3): LNS

Role

Device Registration, MAC commands, DL scheduling, routing.

Provides 128-bit AES and authenticated communications.

Security checks, DR adjustments (ADR), Acknowledgments (ACK)

Use-Cases

Collects usage data from sensors and adjusts configurations.

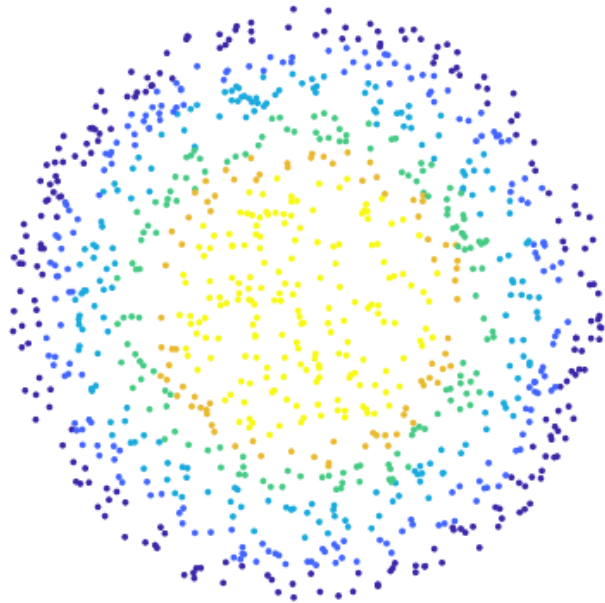
Monitors asset locations and sends updates via GW.

Emergency management for VANETs.

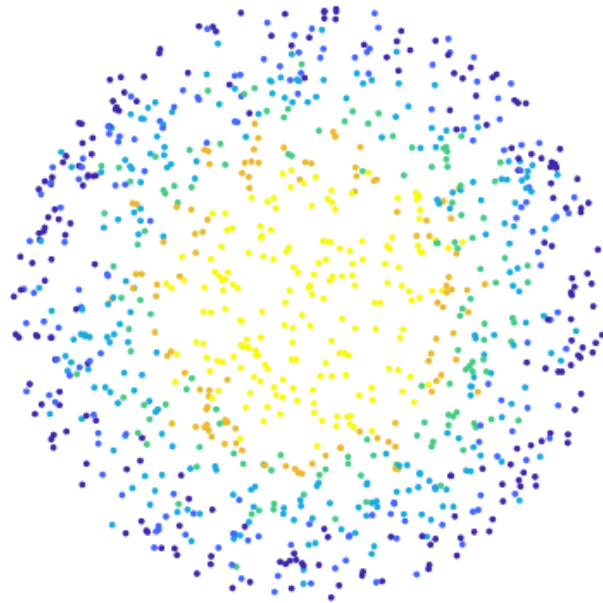


II. Components (3/3): LNS

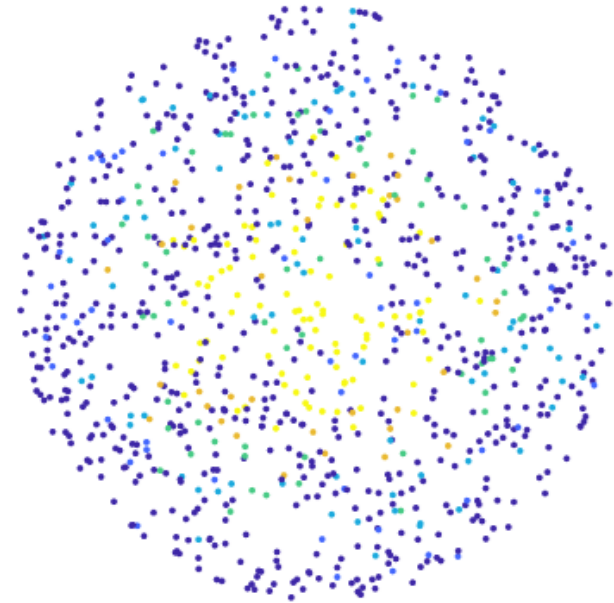
● DR0 ● DR1 ● DR2
● DR3 ● DR4 ● DR5



(a)



(b)



(c)



II. PHY & MAC Layers

Σύντομη περίληψη:

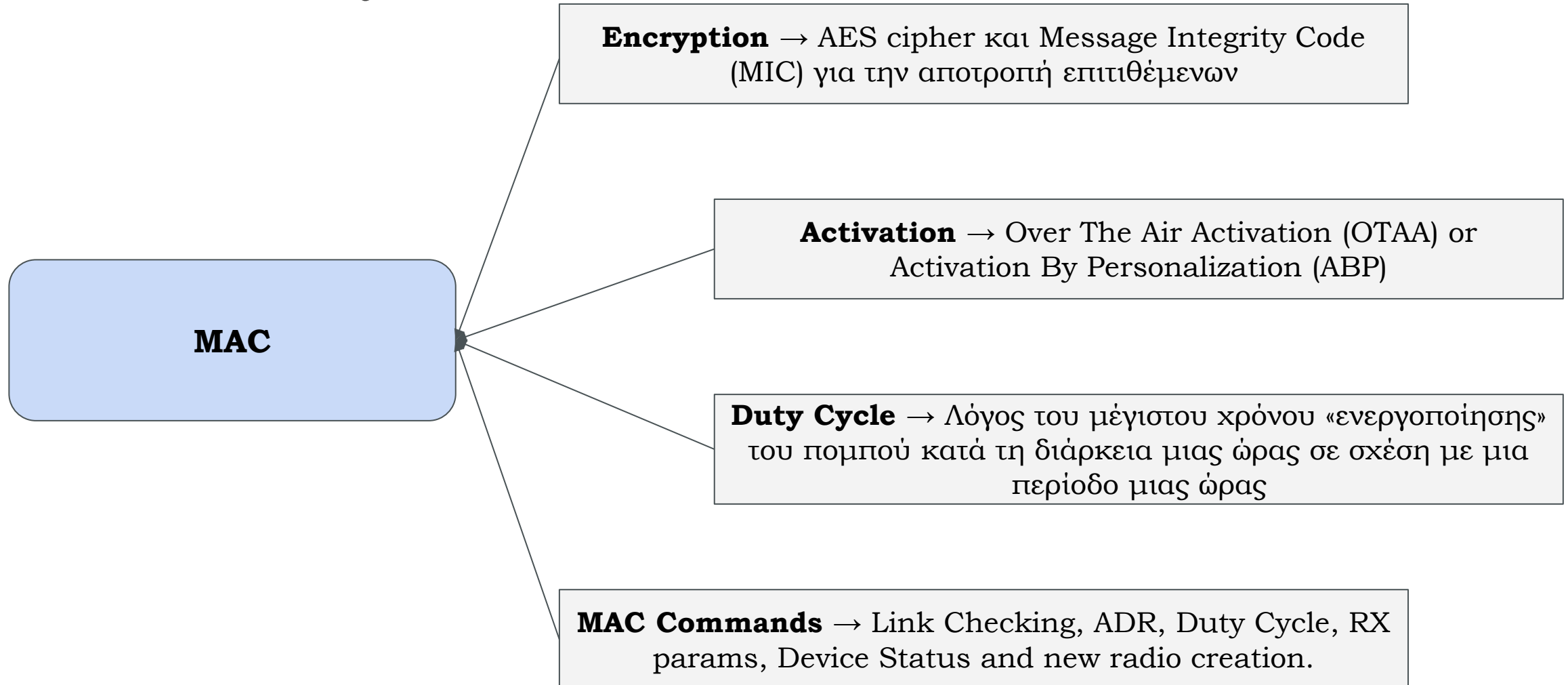
- 
1. Το επίπεδο PHY χειρίζεται τη ραδιομετάδοση και τη λήψη μέσω του αέρα.
 2. Χρησιμοποιεί CSS για ανθεκτικότητα, μεγάλη εμβέλεια και χαμηλή ισχύ.
 3. Ελέγχει το συμβιβασμό μεταξύ DR και εμβέλειας (**SF7-SF12**).
 4. Ακατέργαστα διαμορφωμένα σύμβολα - καμία διευθυνσιοδότηση, καμία επανάληψη, καμία συνεδρία.

Το πρωτόκολλο επιπέδου MAC λειτουργεί πάνω από το PHY LoRa:

- 
1. **Addressing** → Όλες οι συσκευές έχουν μοναδικά αναγνωριστικά
 2. **Message Framing** → Headers, Message Integrity Code (MIC), UL/DL separation
 3. **AES-128 encryption** with two session keys (Network & Application keys)
 4. Defines **Class A/B/C**
 5. **Confirmed/Unconfirmed** messages
 6. **ADR, Duty Cycle Management** (συμμόρφωση με τις περιφερειακές απαιτήσεις)

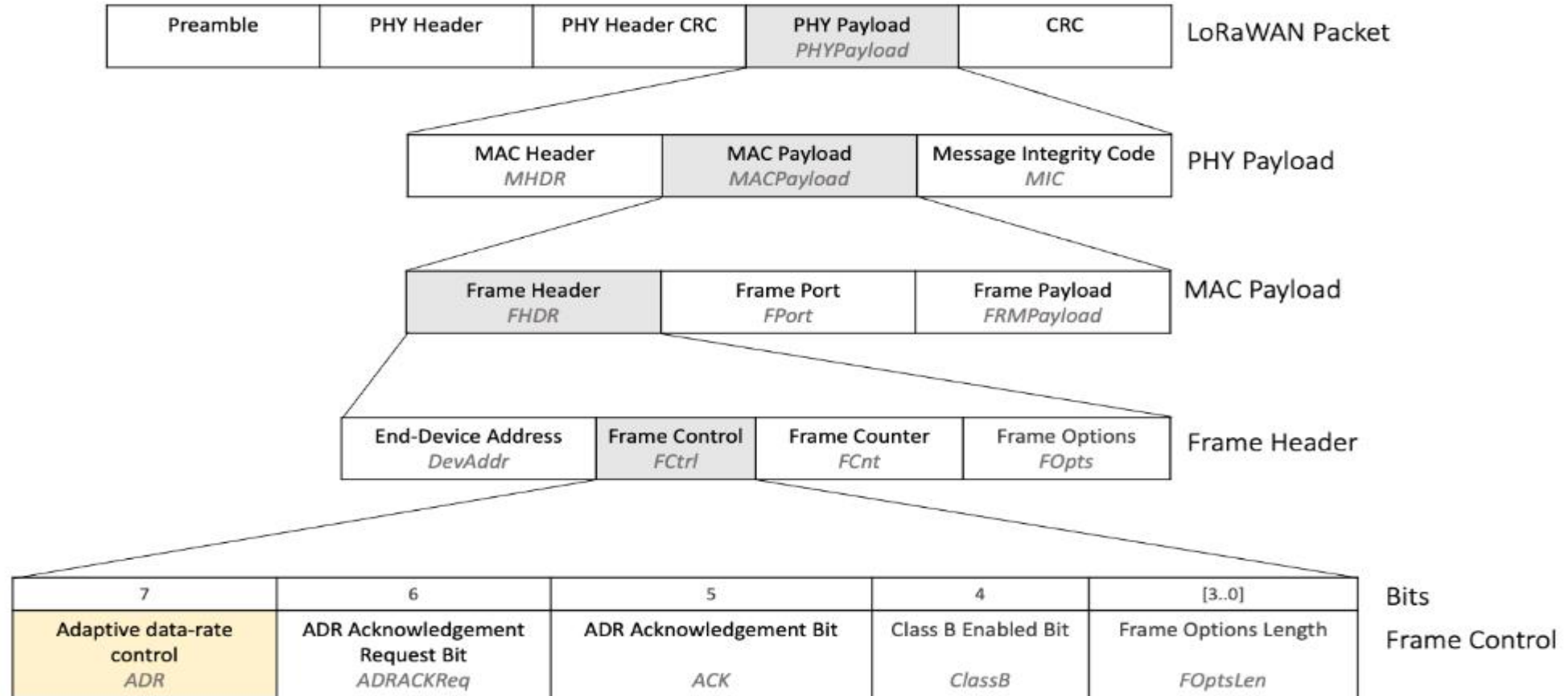


II. PHY & MAC Layers





II. LoRaWAN Packet





III. Practical Application





III. Emergency Management

Simulation includes

- Real Buildings → Realistic Channel Formulation
- Transmission overlapping avoidance mechanism
- Iterative GW availability check
- Three distinct PathLoss experiments:
 - A) Log-Distance Propagation
 - B) Okumura-Hata Propagation
 - C) Random Propagation
- Two Completely Mobile Vehicle populations
 - A) ~ 1200 EDs & B) ~2500 EDs
- Both Class C EDs and Class A sensor (on the edge of the coverage area)
- Parity Bits - Error transmission check (as MIC was not implemented)
- Energy Monitoring for EDs
- Discovery & Emergency Broadcasting (custom LoRa packets)
- Initial SF allocation | Geocasting Approach | ADR
- Custom Metrics: ACK% and Number of Endangered Informed EDs



III. Emergency Management

Scenario

LoRaWAN: A GW
Emergency Broadcasting for
VANET in near real world
environment

LoRaWAN Module

Integration of NS3 &
SUMO
(C++ and Python)

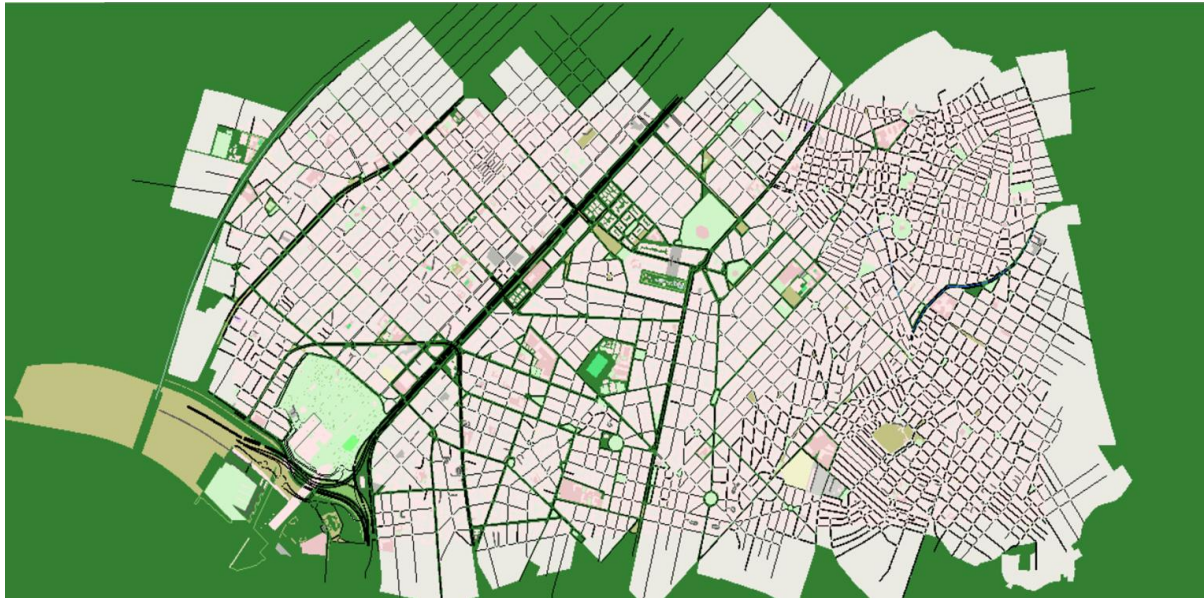
Parameters	Simulation	Configuration	Description
T_{Sim}	s		Total time of Simulation
T_{EM}	s		Total duration of an emergency event
N			Total population of EDs
M			Total population of GWS
p_s	bytes		Packet Size for ULs
d_N	m		Distance between EDs and GWs
r	m		Coverage radius around the GWs
f	MHz		Channel Frequency
SF	[7,12]		Spreading Factor
ϕ			Channel mode
P_{Tx}	dBm		Transmission Power
x_N	[0,1]		Binary variable to denote if a device is accepted to the network
rec_t	s		Time Interval for recursive function

GOAL: Να τονιστούν τα όρια και οι δυνατότητες του LGW σε ένα σενάριο διαχείρισης καταστροφών και να προταθεί μια προσέγγιση που μοιάζει με το geocasting για δυναμικές προσαρμογές των παραμέτρων του καναλιού, συμπληρωματική της ADR και της αρχικής κατανομής SF με βάση την ευαισθησία.

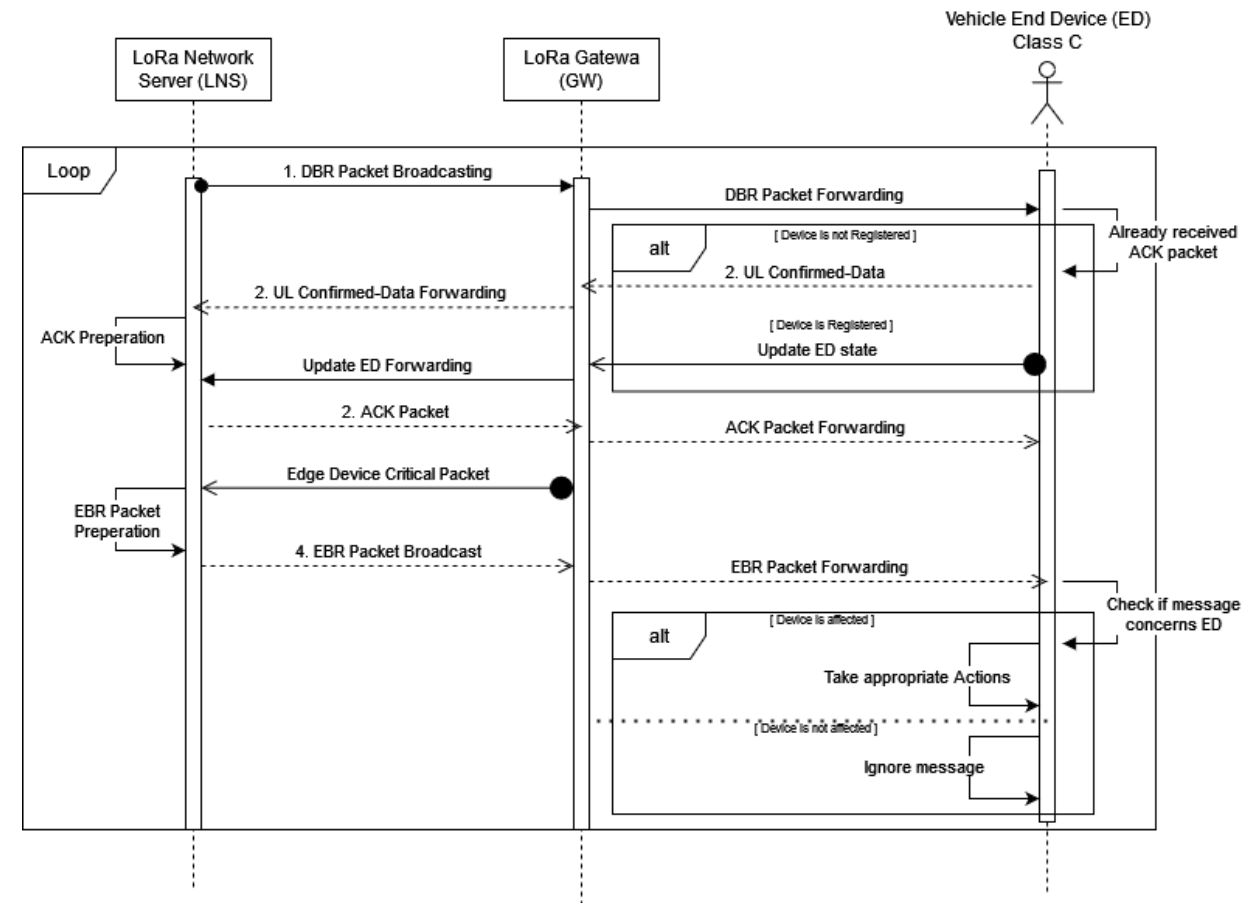


III. Emergency Management

Athens Road Network
Sumo Generated



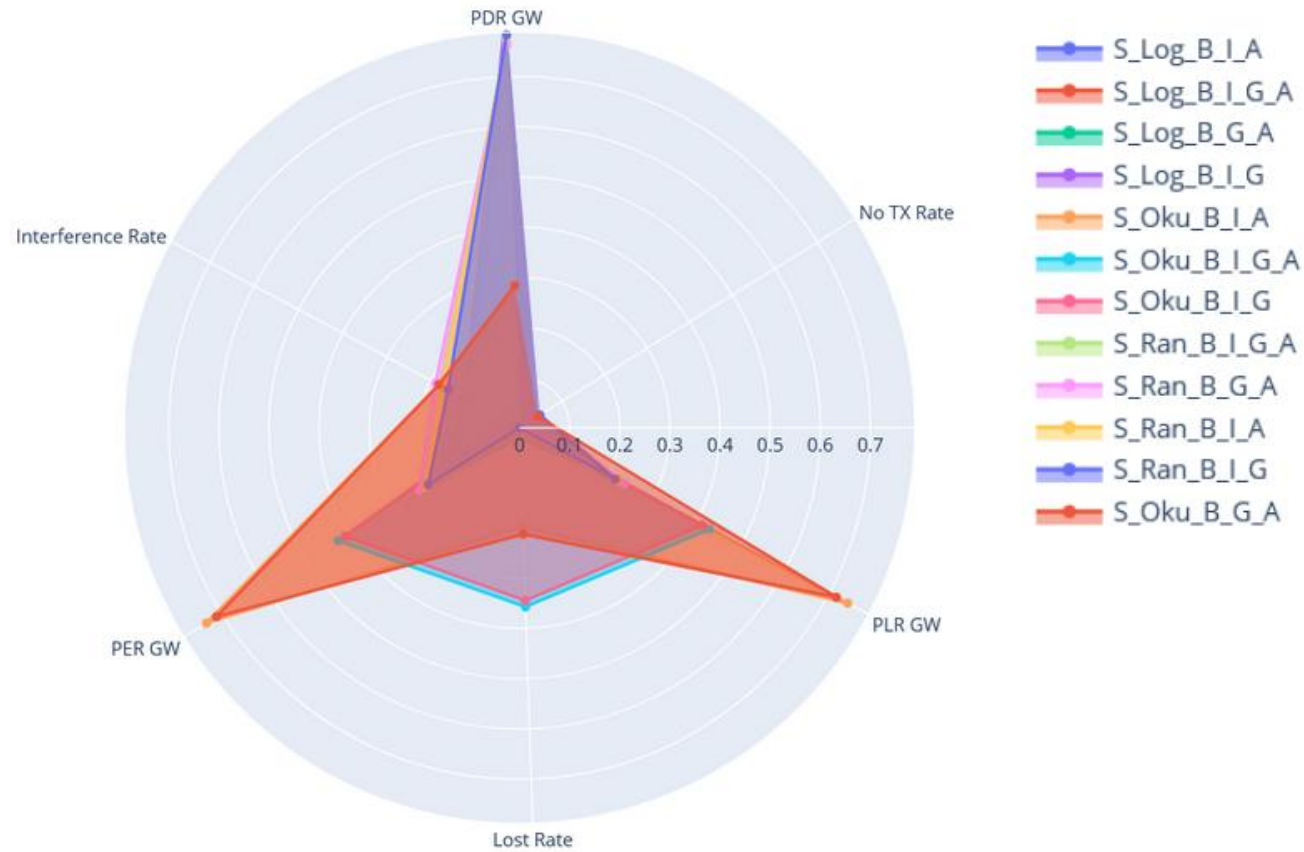
Communication Sequence Diagram





III. Emergency Management

Results

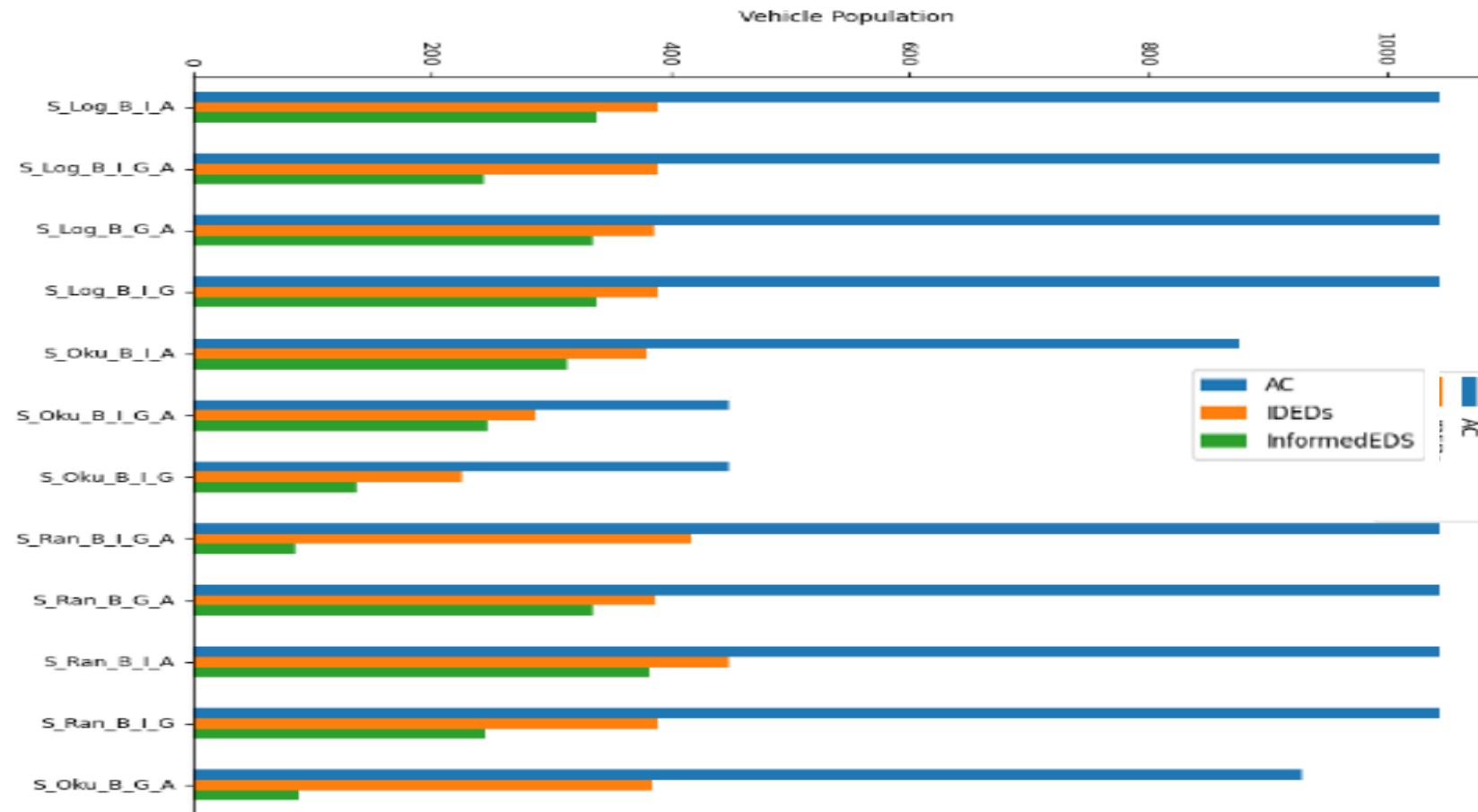


GW	PDR(%)	PER(%)	PLR(%)	ACK(%)
S-Log-B-I-G	82.93	17.06	16.83	91.27
S-Log-B-I-G-A	80,96	19,03	18.75	83.89
S-Log-B-I-A	80.27	19.72	19.95	82.45
S-Log-B-G-A	81.37	18,62	18.42	86.19
L-Log-B-I-G	66.99	33.00	33.40	44.72
L-Log-B-I-G-A	66.63	33,30	33.80	40.49
L-Log-B-I-A	64.89	35,10	35.65	37.44
L-Log-B-G-A	66.64	33.31	33.68	40.45



III. Emergency Management

Results





III. EDGEAI Use-Case

For VC4 (Mobility)

Ο οργανισμός μας συμμετέχει στο VCD4.2 με στόχο την ανάπτυξη ρυθμίσεων Road-Side-Perception-Units (RSPU) σχεδόν σε πραγματικό χρόνο για την επεξεργασία πολλαπλών αισθητήρων.

Υλοποιείται μια στοίβα πρωτοκόλλου LoRa Mesh με υποστήριξη εξοικονόμησης ενέργειας για τελικές συσκευές με μπαταρία.



Κάθε RSPU είναι εξοπλισμένο με μια κάμερα 360 μοιρών για την παρακολούθηση της κυκλοφορίας, τον επαναπροσδιορισμό οχημάτων και την αναγνώριση εμποδίων. Επιπλέον, έχουν ενσωματωθεί 4 αισθητήρες για την εκτίμηση της ποιότητας του αέρα με βάση τον προγνώστη LSTM & το πλαίσιο Flower για ομοσπονδιακή μάθηση.

Το LoRa χρησιμοποιείται για τη γεφύρωση των ξεχωριστών RSPU. Αν και δεν υποστηρίζεται η ροή δεδομένων εικόνας/βίντεο, οι ανιχνεύσεις που συλλαμβάνονται από το YOLOv8n μπορούν να μεταβιβαστούν σε έναν μεσίτη MQTT σε μορφή JSON ή κειμένου.



III. EDGEAI Use-Case

Our Role

Ανάπτυξη συστήματος επεξεργασίας βίντεο για ενσωματωμένες πλατφόρμες τεχνητής νοημοσύνης που θα αναπτυχθούν στην άκρη (RSPU).

Περιλαμβάνουμε εφαρμογή ροής που μπορεί να συνδεθεί με οποιαδήποτε διαθέσιμη ζωντανή ροή, για παράδειγμα Live-Attika, για τον εντοπισμό οχημάτων και αντικειμένων που χρησιμοποιούνται επίσης για την καταμέτρηση οχημάτων. Χρησιμοποιούμε τα μοντέλα Yolon5 και Yolon8.



Περνάμε τις ανιχνεύσεις σε μια Custom Ultralytics Results κλάση για να τροφοδοτήσουμε τα δεδομένα του bounding box μέσω ενός μεσίτη MQTT στο μοντέλο επαναπροσδιορισμού οχήματος που παρέχεται από έναν εταίρο του έργου.

Οι πληροφορίες αυτές θα μεταφέρονται μέσω των RSPU, έτσι ώστε σε περίπτωση που μια μονάδα σταματήσει να λειτουργεί σωστά, μια άλλη RSPU να μπορεί να πάρει τη θέση της, χωρίς απώλεια πληροφοριών. Παράλληλα με αυτά τα δεδομένα, μπορούν να μεταδίδονται πληροφορίες για την κυκλοφοριακή συμφόρηση ή την ατμόσφαιρα.





III. EDGEAI Use-Case

**Real-Time Intersection
Traffic Monitoring**

Select Video Source
☒ Local Video
☐ Live Stream

Select Object Detection Model
Select a model
Yolov5n (Nano) ▼

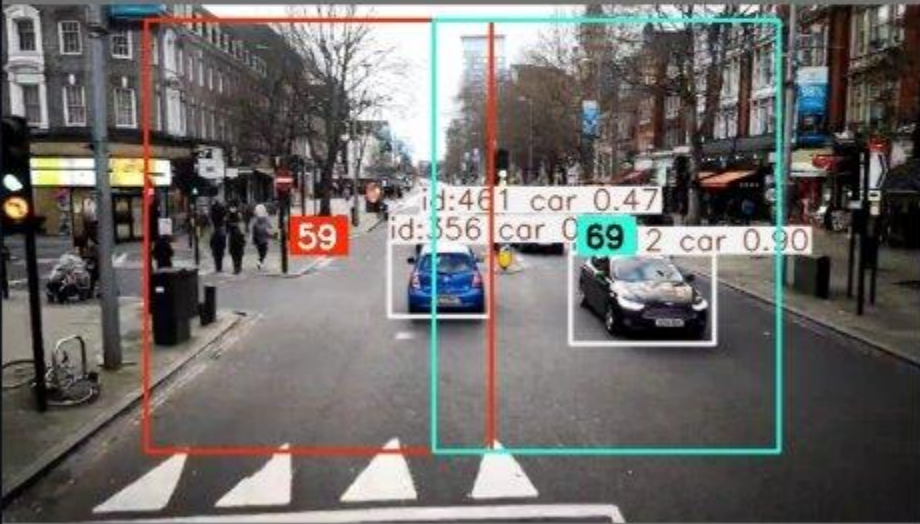
☒ Show Real-Time Inference
☐ Use MQTT to send data to server

Start

Stop/Close

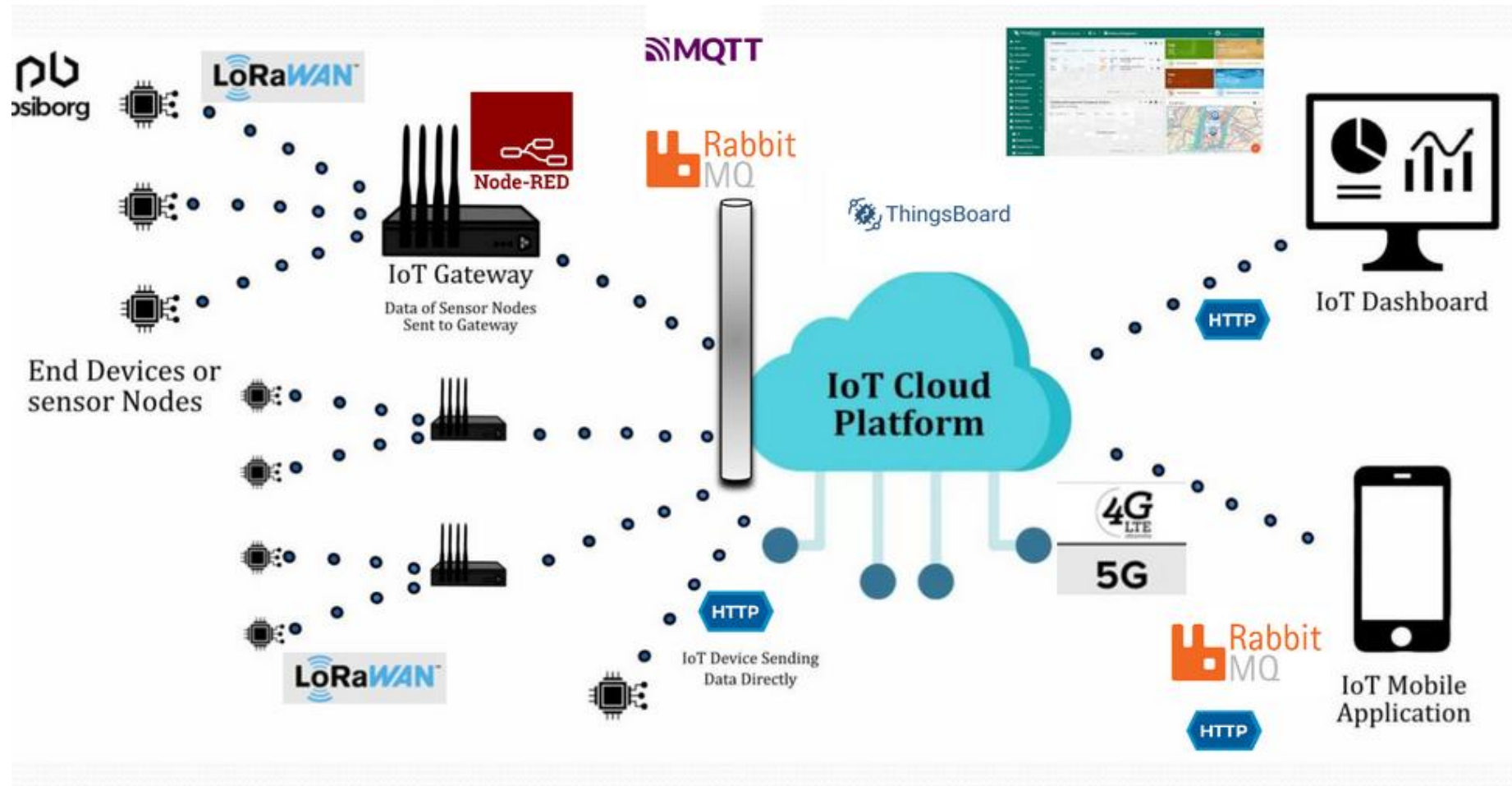
RUNNING... Stop Deploy

Configuration added successfully!





III. LoRaWAN in HUA

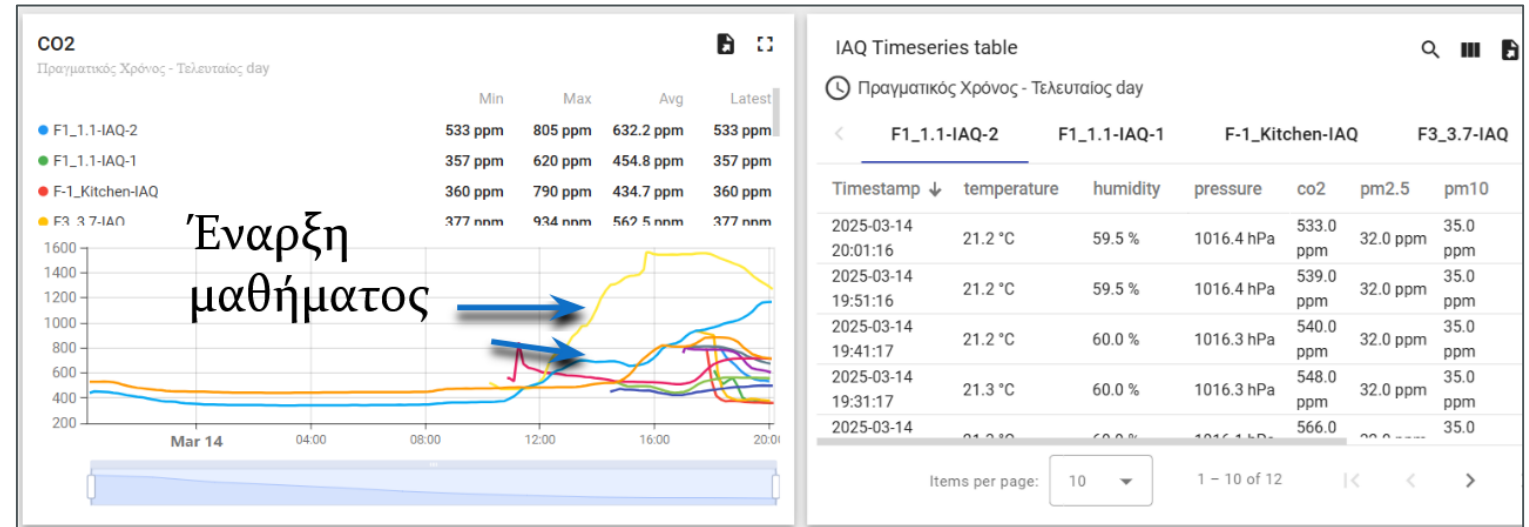




III. LoRaWAN in HUA

Multiple Sensors:

- Desk position sensor
- Noise sensor
- Person counting sensor
- Meteorological Station
- Climate sensors



Are all deployed in campus to monitor the universities overall quality, attendance and study conditions



Thank you!

Any questions?