



# vitmma09

## Szenzorhálózatok és alkalmazásaik

---

# Tartalom

- Adatkapcsolati réteg, MAC megoldások
  - CSMA
  - Lekérdezés (polling)
  - MD (Mediation Device)
  
- Esettanulmány: Smart Santander projekt

# CSMA – Vivőérzékeléses többszörös hozzáférés

- CSMA alapú protokoll-család, az ALOHA csatorna-kihasználtságán próbál meg javítani.
- **Alapötlet: Minden állomás az adás előtt belehallgat a csatornába, és csak akkor kezd el adni, ha a csatorna szabad.**
- nem-perzisztens CSMA:
  - Ha a csatorna szabad, továbbítja a csomagot.
  - Ha a csatorna foglalt, egy véletlen ideig várakozik, majd újra próbálkozik.

## Hátrány:

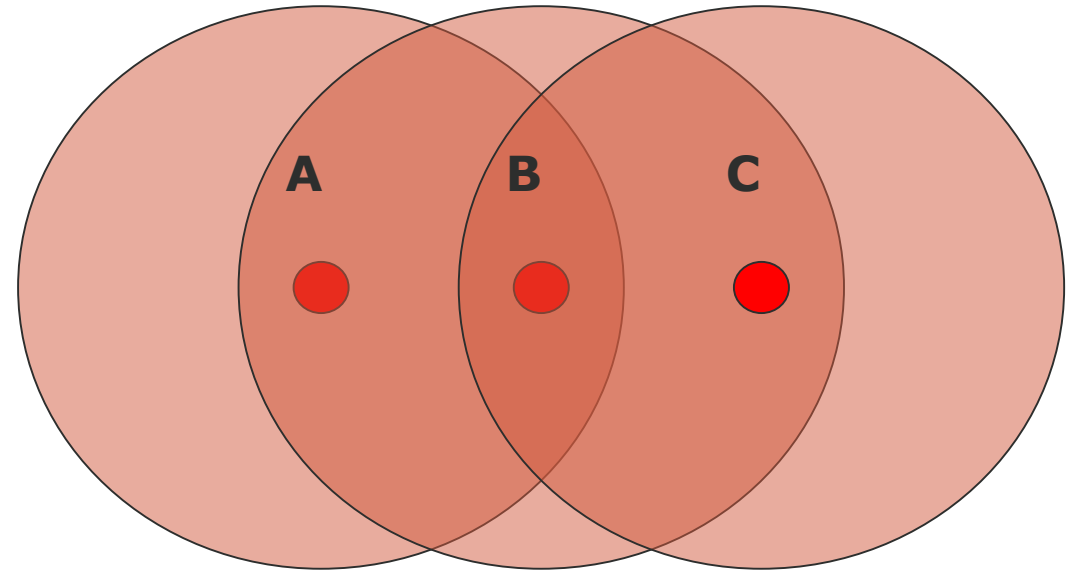
- A várakozás ideje alatt a csatorna kihasználatlan.
- Ha a csatorna szabaddá válik, egyszerre többen is próbálkozhatnak adással.

# CSMA – Vivőérzékeléses többszörös hozzáférés

- 1-perzisztens CSMA:
  - Ha a csatorna szabad, azonnal ad
  - Ha a csatorna foglalt, folyamatosan hallgatja a csatornát amíg az szabaddá nem válik, majd azonnal ad
  - Agresszív működés – Ethernet
    - Nem kerüli el az ütközéseket, csak detektálja azokat, ha megtörténnek - CSMA/CD (Collision Detection)
- $p$ -perzisztens CSMA:
  - Ha a csatorna szabad,  $p$  valószínűséggel azonnal ad,  $(1-p)$  valószínűséggel viszont várakozik
    - Ha várakozott, a következő slot-ban újra próbálkozik
  - Ha a csatorna foglalt, folyamatosan hallgatja a csatornát amíg az szabaddá nem válik, majd  $p$  valószínűséggel ad
  - A  $p$  paraméter optimális értéke a forgalom függvénye.
  - Igyekszik elkerülni az ütközéseket
    - Pl. WiFi – CSMA/CA (Collision Avoidance)

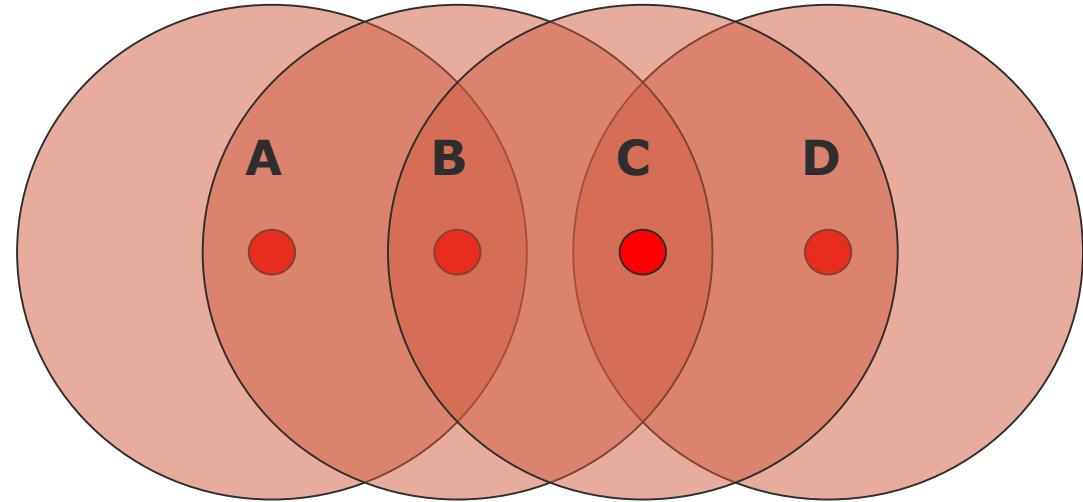
# CSMA – rejtett terminál problémája

- A éppen ad B-nek.
- C is szeretne adni B-nek. Belehallgat a csatornába, üresnek találja azt, ezért elkezd adni.
- B-nél interferencia lép fel, a csomagok elvesznek.



# CSMA – látható terminál problémája

- B éppen ad A-nak.
- C szeretne adni D-nek. Belehallgat a csatornába, de foglaltnak találja azt, így nem kezd el adni.
- A C-D kommunikáció nem jöhet létre, pedig B nem okozna interferenciát D-nél.



# CSMA foglalt jelzéssel

- A rejtett és látható terminál problémája jelentősen rontja a csatornakihasználást WLAN rendszerekben.
- Megoldás: „Foglalt jelzés” adása egy másodlagos csatornán
  - Az éppen csomagot fogadó állomás foglalt jelzést küld egy külön csatornán.
  - Minden állomás adás előtt ellenőrzi a foglalt jelet is.
- Hátrány:
  - A node-oknak képesnek kell lenniük egyszerre adni és venni. (Nagyobb komplexitás, nagyobb fogyasztás, magasabb ár)
  - Nagyobb sáv szélességigény a két csatorna miatt.

# MACA – Többszörös hozzáférés ütközés elkerüléssel

- MACA – Multiple Access with Collision Avoidance
- **Ötlet: RTS-CTS („kérés küldéshez” – „szabad küldeni”)**  
**jelzéscsere a kommunikáció kezdetekor.**
  - A küldő egy RTS csomagot küld a célnak.
  - Ha nem foglalt, a cél visszaküld egy CTS csomagot.
  - A küldő elkezd adni.
- További variációk RTS-CTS kézfogásra:
  - CSMA/CA (Collision Avoidance): IEEE 802.11 WLAN szabványban
  - MACAW: Xerox Palo Alto Research Center
  - FAMA (Floor Acquisition Multiple Access)



# CSMA szenzorhálózatokban

- CSMA alkalmazásakor probléma, hogy az állomásoknak adott ideig hallgatniuk kell a csatornát mielőtt adnának.
- Globális időszinkron hiányában, nagy szomszédszám esetén egy node különböző időkben kell figyeljen a különböző szomszédaira. (Nincs idő „alvásra”.)
- Globális időszinkron egy ad-hoc, multi-hop hálózatban tetszőleges fizikai topológia esetén egyáltalán nem triviális feladat.

# Lekérdezés (Polling)

- CSMA alternatívája lehet a lekérdezés (poll).
  - Lekérdezés esetén egy node csak akkor adhat, ha erre engedélyt kap egy mester node-tól.
  - Ez megköveteli, hogy időről időre a mester lekérdezze a node-okat, hogy kívánnak-e adni.
  - Ha egy node jelzi, hogy adni szeretne, a mester kijelöli, hogy mikor teheti ezt meg.
  - Így a mester vezérli a csatorna-hozzáférést.

# Lekérdezés (Polling)

- **Előnyök:**
  - **Determinisztikus időzítés**, nincs véletlen késleltetés (azaz a késleltetés ingadozás kicsi).
  - A központosított csatornavezérlés lehetővé teszi a rugalmas, igény szerinti kiosztást (**QoS biztosítása**).
  - A **fair** csatornahozzáférés biztosítható.
  - Mentés a rejtett terminál problémától.

# Lekérdezés (Polling)

- **Hátrányok WSN-ben:**
  - A mester node terhelése magas.
  - A node-oknak figyelniük kell a lekérdezésekre, esetlegesen a nemleges választ is továbbítaniuk kell.
  - A node-ok számával arányosan a lekérdezésre szánt idő is növekszik. (Több száz ill. ezer node esetében ez időtrabló!)
  - Az architektúra feltételezi, hogy minden node a mester rádiókörnyezetén belül van (single-hop kommunikáció).
  
- Megj.: Léteznek kiterjesztések multi-hop esetre is.

# Lekérdezés (Polling)

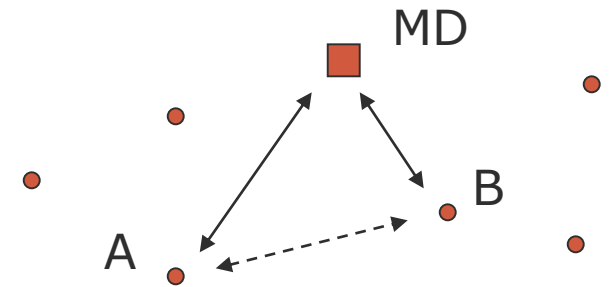
- A **Bluetooth** is lekérdezéses algoritmust használ.
  - Single-hop,
  - maximum 7 slave node,
  - aszinkron (pl. adat) és szinkron átvitel (pl. valós idejű hang) támogatása is
    - ACL (Asynchronous Connection-Less)
    - SCO (Synchronous Connection-Oriented)
  - Három energiatakarékos mód:
    - HOLD: adott fix ideig alszik, de szinkronban marad
    - SNIFF: időről időre felébred néhány lekérdezésre
    - PARK: hosszabb ideig alszik
- A különböző módok menedzselése messze nem triviális feladat.

# MD – Mediation Device protokoll

- Egy node a hálózat üzemideje alatt az idő 99.9%-ában „alszik”

→ A rövid ideg ébren lévő node-ok felfedezése és szinkronizálása a hálózatban nem triviális feladat!

- Lehetséges megoldás: **közvetítő állomás** (MD - mediation device)



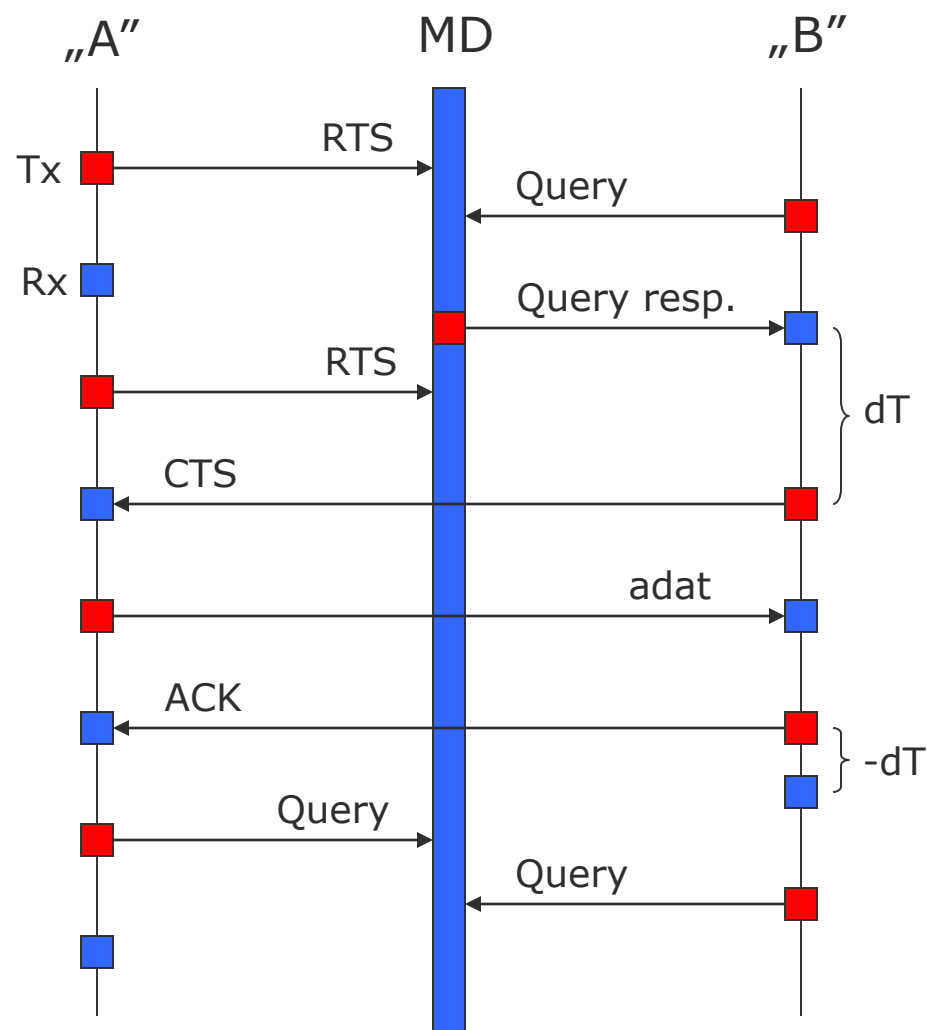
- Az MD közvetít két hálózati csomópont között.
- Képes kontroll üzenetek rögzítésére és továbbadására.
- A csatornát mindig figyeli, van elég energiája.

# MD protokoll

- Normál üzemmódban minden node periódikusan (2 mp-enként) küld egy rövid ( $< 1\text{ms}$ ) „beacon” csomagot az MD-nek, majd egy rövid ideig hallgatja a csatornát.
- Query-beacon: node ID, nincs küldenivaló, szabad.
- Az MD veszi az összes node beacon-jét, miközben a node-ok nincsenek szinkronban egymással. (réseletlen ALOHA)
- Ha egy node küldeni akar, a query-beacon helyett RTS-beacon-okat küld periódikusan.
- RTS-beacon: node ID, cél ID

# MD protokoll

1. „A” RTS beacon-okat küld MD-nek.
2. Az MD értesíti „B”-t ,  
és elküldi „A” időszinkronját.
3. „B” szinkronizálódik „A”-ra, és a  
következő RTS csomag után küld  
egy CTS csomagot közvetlenül „A”-nak.
4. Elkezdődik a kommunikáció  
„A” és „B” között, a végén ACK





# Elosztott MD protokoll

- Az MD protokoll hátrányai:
  - Minden node rádiótávolságon belül kell legyen.
  - Az MD mindig be van kapcsolva, mindig figyeli a csatornát.
  - A központosított rendszer nem robosztus.
- Megoldás: elosztott MD protokoll
  - Az MD szerepét a node-ok elosztottan megosztva végzik.
  - Minden node időről időre átkapcsol a normál és MD üzemmód között, a többiektől függetlenül, egy véletlen változótól vezérelve.
  - Amikor egy node MD módba kapcsol, egy teljes beacon periódusideig aktív marad, és begyűjti szomszédai adatait (ID, időszinkron).
  - A kommunikáció felépítésében az éppen MD módban működő közvetít

# Elosztott MD protokoll

- Előny:
  - Nincs kitüntetett MD node.
- Hátrány:
  - A késleltetés nem fix. (Adás előtt meg kell várni, hogy egy szomszéd MD módba váltson.)
  - Ha egynél több node lép MD módba, a beacon csomagra mindketten válaszolnak, így ütközés lép fel.
- Variációk:
  - Ha egy node MD módba lép és feltérképezi szomszédait, a ciklus végén bejelenti ezt. A további MD módban lévő node-ok hallják ezt, és...
    1. visszatérnek normál módba.
    2. továbbra is figyelik, hogy az első MD milyen beacon csomagokat nyugtáz. Lehetnek olyan állomások is, amelyeket az MD nem hall, csak ők maguk. Ebben az esetben MD-ként viselkednek a fennmaradó node-ok számára.

# Közeghozzáférési (MAC) technikák

- Vezetéknélküli MAC technikák
  - ALOHA
  - CSMA – Vívőérzékeléses többszörös hozzáférés
  - Lekérdezés (Polling)
  - MD (Mediation Device) protokoll
  
- Szenzorhálózati megoldások
  - WINS
  - PicoRadio
  - S-MAC



# Smart Santander (EU FP7)

---

VITMMA09 – Okos város MSc mellékspecializáció

# Santander

- Tengerparti város Észak-Spanyolországban
  - 180.000 lakos, 35 km<sup>2</sup>
  - Kicsivel nagyobb mint a XI. kerület



# Smart Santander

- EU FP7 (Framework Program 7) nemzetközi kutatási projekt
  - 2010. szeptember – 2013 szeptember
  - 8,67 millió EUR költségvetés, ebből 6 millió EUR támogatás.



## Partnerek

Telefonica I+D	Spain
Alcatel-Lucent Italy s.p.a.	Italy
Alcatel-Lucent Spain S.A.	Spain
Ericsson d.o.o.	Serbia
TTI Norte	Spain
Universidad de Cantabria	Spain
University of Surrey	United Kingdom
Universität zu Lübeck	Germany
Lancaster University	United Kingdom
Commissariat à l'Energie Atomique	France
Computer Technology Institute	Greece
Alexandra Instituttet A/S	Denmark
Santander Council	Spain
Sociedad para el Desarrollo de Cantabria	Spain
University of Melbourne	Australia

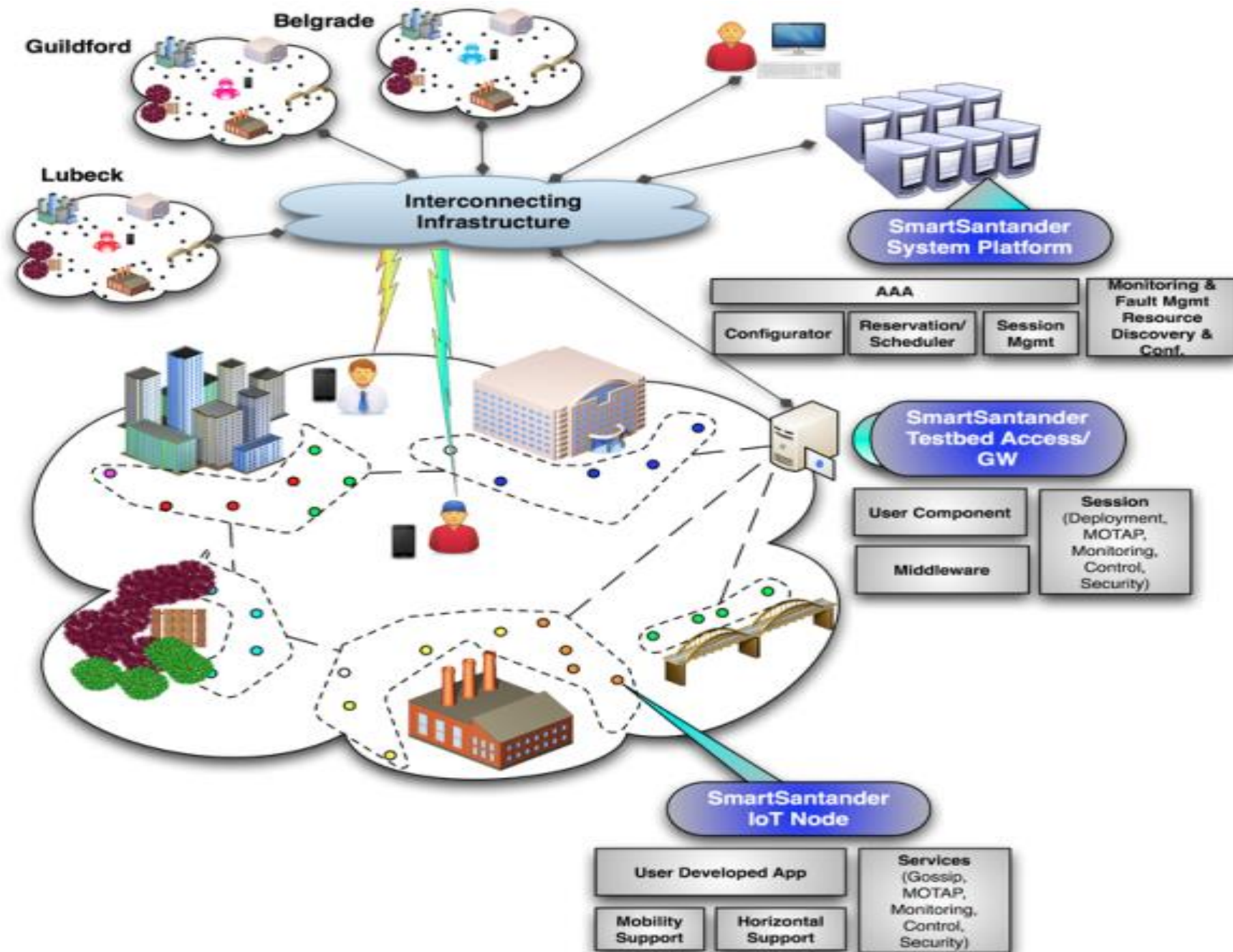


# A projekt célja

- Nagyméretű okos város tesztrendszer
- Összesen 20.000 telepített szenzor
  - ebből 12.000 Santanderben
- 4 okos város  
(Santander, Lübeck, Belgrád, Guildford)



# A projekt





# 3 rétegű architektúra

## ▪ IoT csomópontok (szenzorok)

- Hőmérséklet, légszennyezés, zaj, fény, parkolás
- Akkuról működő egyéni szenzorok
- Egy részük az ismétlő csomópontokba integrálva

## ▪ Ismétlők

- Magasan a föld felett elhelyezve, lámpaoszlopokon, közlekedési lámpákban, információs panelekben
- Tápellátás biztosított

## ▪ Gateway csomópontok

- Minden információt a gateway-hez küldenek a csomópontok
- Vagy tárolja, vagy továbbküldi valamilyen interfészen (WiFi, GPRS/UMTS, Ethernet)

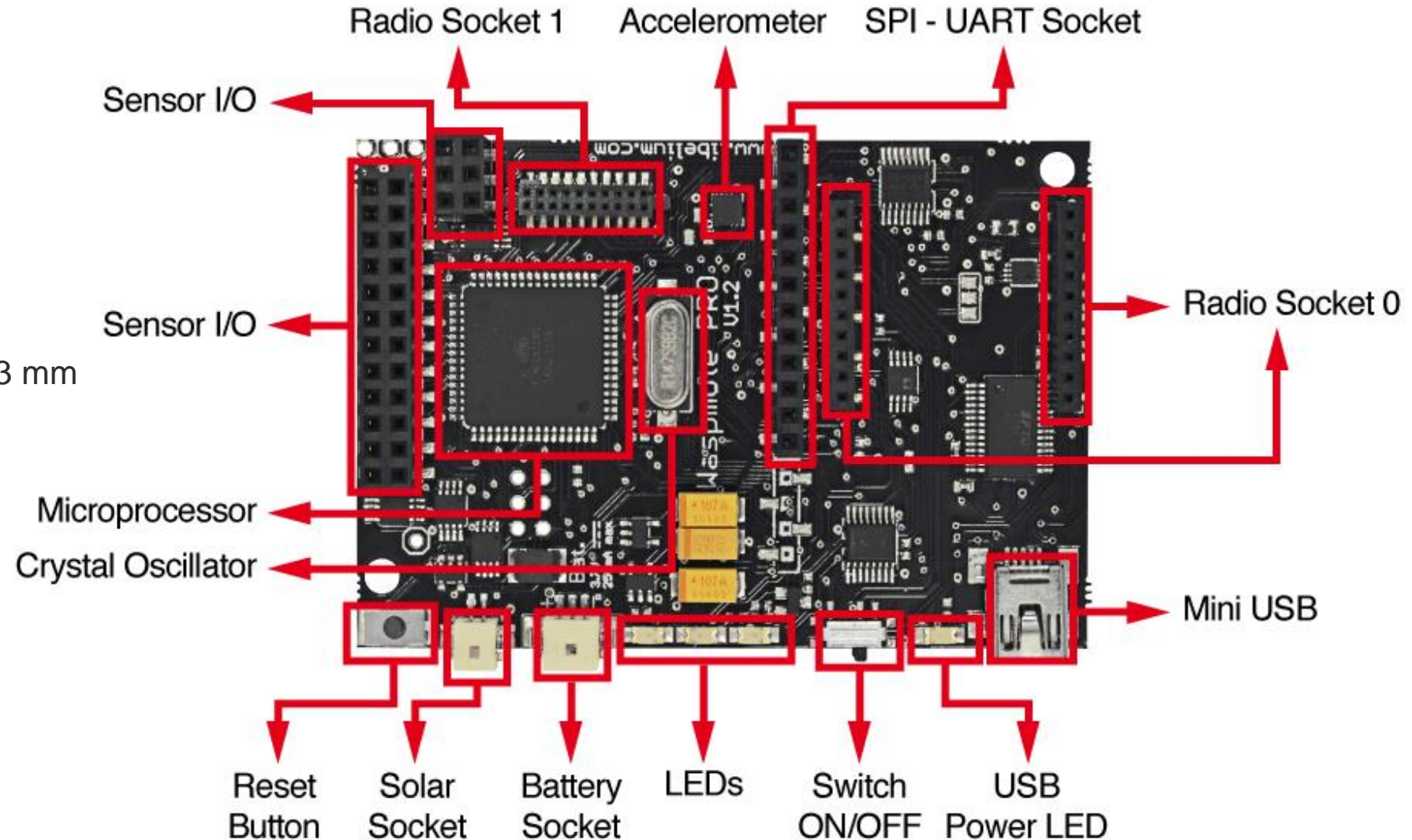


# Libelium Wasp mote

- Mikrokontroller: ATmega1281
- Frekvencia: 14MHz
- SRAM: 8KB
- EEPROM: 4KB
- FLASH: 128KB
- SD kártya: 2GB
- Súly: 20gr
- Méretek: 73.5 x 51 x 13 mm

## Energiafogyasztás

- ON: 15mA
- Sleep: 55uA
- Deep Sleep: 55uA
- Hibernate: 0.7uA
  
- Akku feszültség: 3.3V - 4.2V
- USB töltés: 5V - 100mA
- Napelemes töltés: 6-12V - 280mA



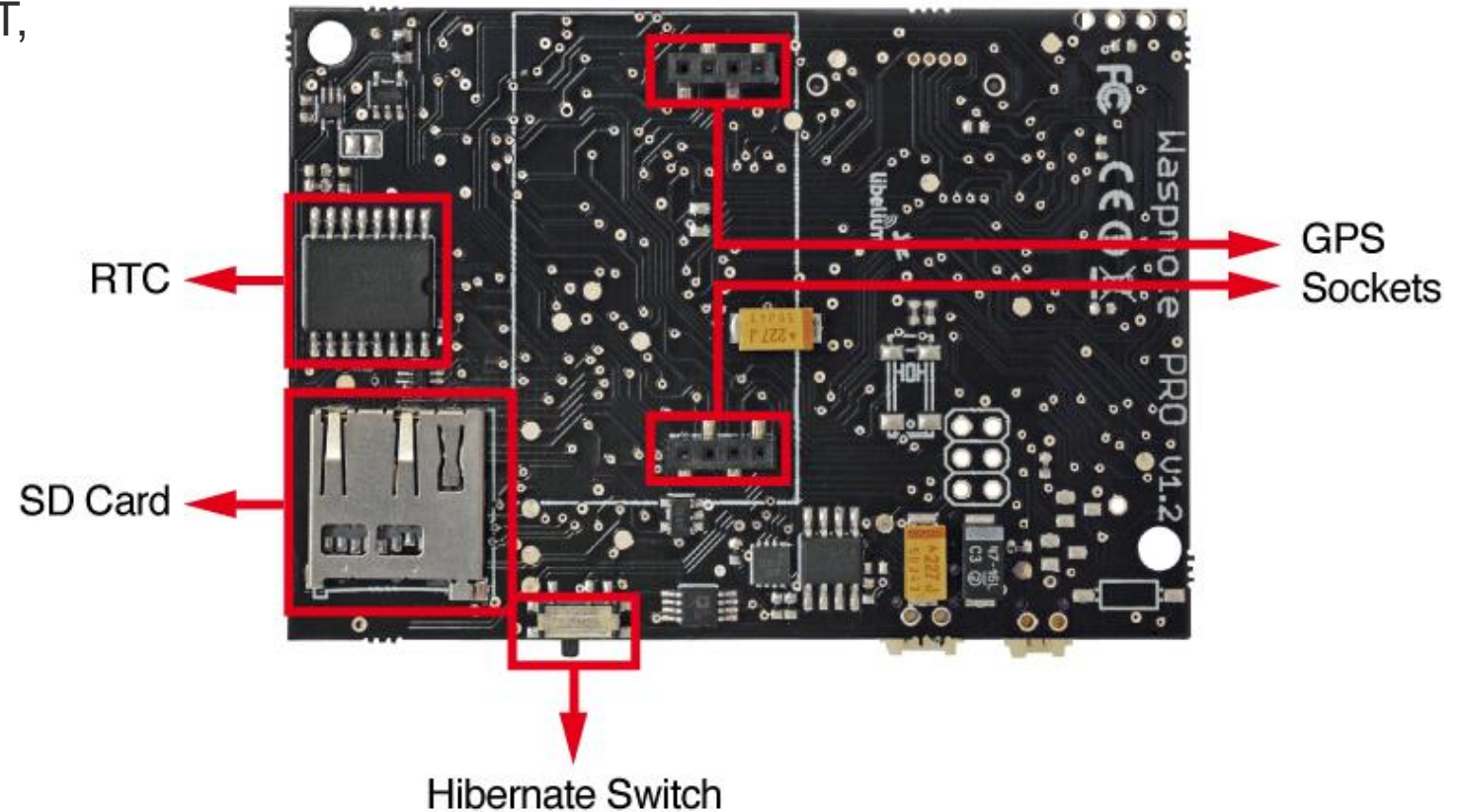
# Libelium Wasp mote

## Input / Output

- 7 analóg input, 8 digitális I/O, 2 UART, 1 I2C, 1 SPI, 1 USB

## Integrált szenzorok

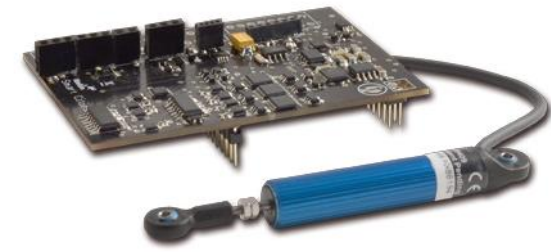
- Hőmérséklet: (+/-): -40°C , +85°C.  
Pontosság: 0.25°C.
- Accelerometer: ±2g/±4g/±8g
- Fényérzékelő



# Csatlakoztatott szenzorok

## Gas Sensor Board

- Szén-monoxid – CO
- CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>, CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>OH, C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>CH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, VOC
- Hőmérséklet, páratartalom, légnyomás



## Smart City Board

- Zaj szenzor (omni-directional mikrofon, 20Hz – 20 kHz)
- Ultrahangos távolságmérő



## Parking Sensor Board

- Mágneses tér változásából érzékeli a felette parkoló autót



## Agriculture Board

- Talaj nedvességmérő



# Wasmote rádió

- **Libelium Wasmote Expansion Radio Board**

- Két XBee rádiós egység, mindkettő 2.4 GHz-en
  - Az egyiket IEEE 802.15.4 protokoll, tesztelésre
    - Bárki írhat és futtathat teszt alkalmazásokat, nem zavarja a működést
  - A másikon DigiMesh, a szenzor adatok begyűjtésére és a jelzésforgalomra
    - Átalakított 802.15.4, egyszerű útválasztó algoritmussal
    - A mote-ok flashelése is ezen az interfészen keresztül



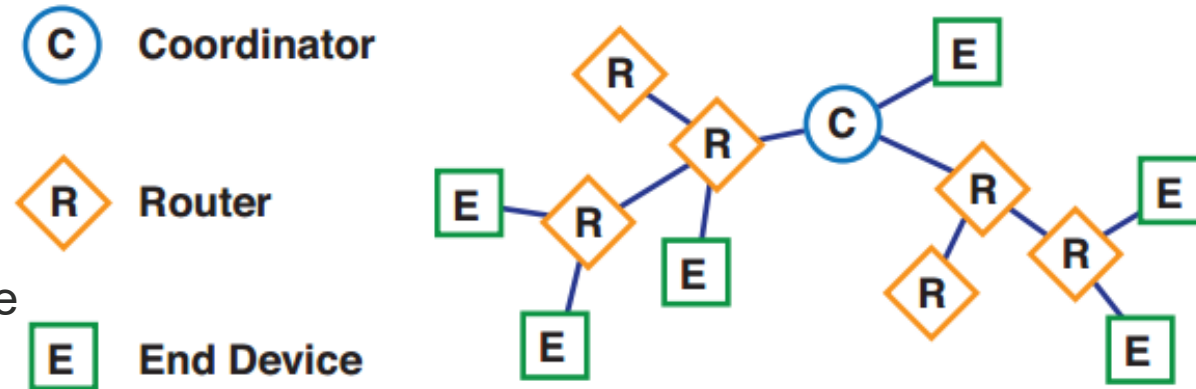
- A város 22 részre osztva, különböző frekvenciák az interferenciák elkerülése miatt



# Zigbee vs. DigiMesh

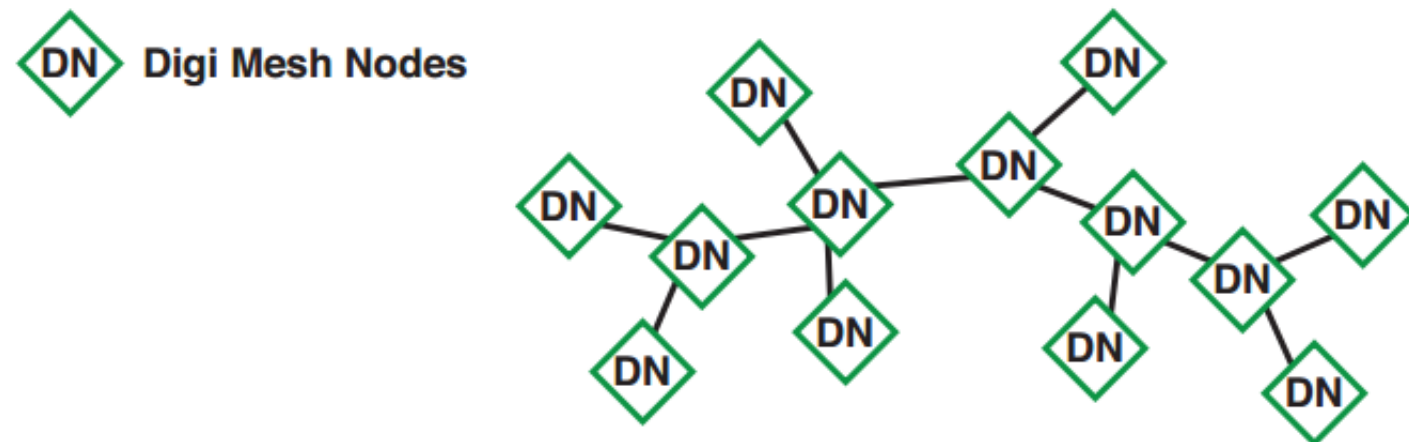
## ▪ Zigbee

- Egy koordinátor, átjászók, végpontok
- Végpontok lehetnek egyszerűek, olcsók
- A koordinátor és az átjászók nem aludhatnak
- Nyílt szabvány, különböző eszközök együttműködése



## ▪ DigiMesh

- Egyforma eszközök, flexibilis topológia
- Bárki aludhat, ezzel energiát spórolva
- Proprietary (gyártóspecifikus) protokoll

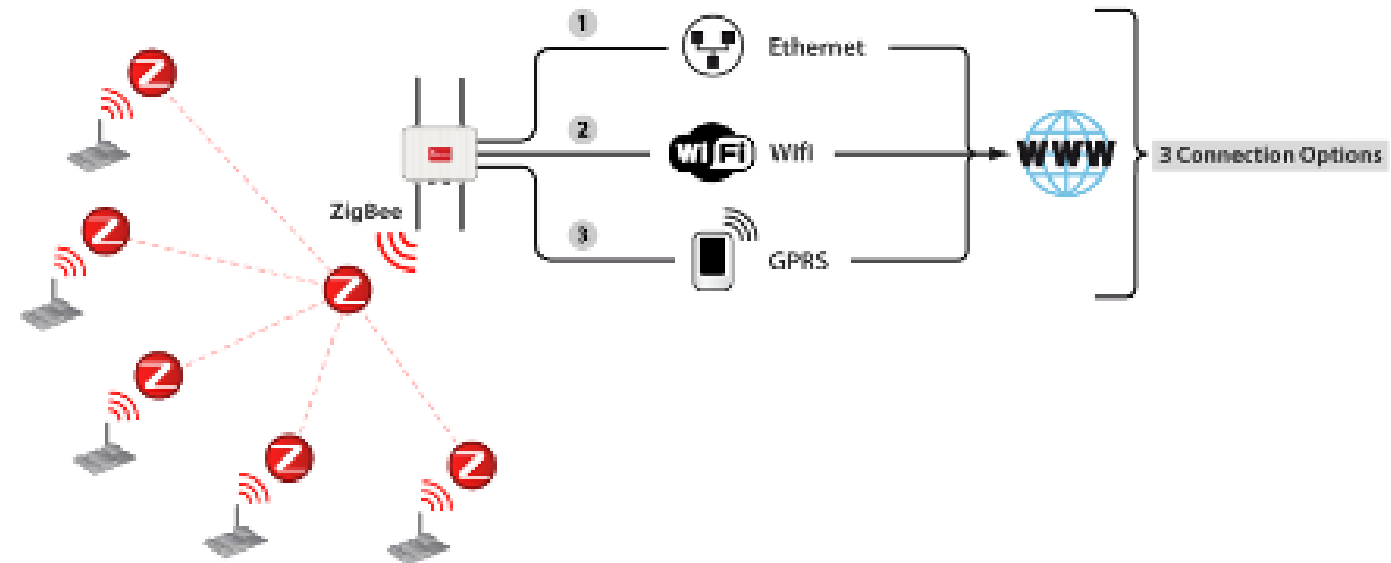


# Ismétlők



# Meshlium gateway

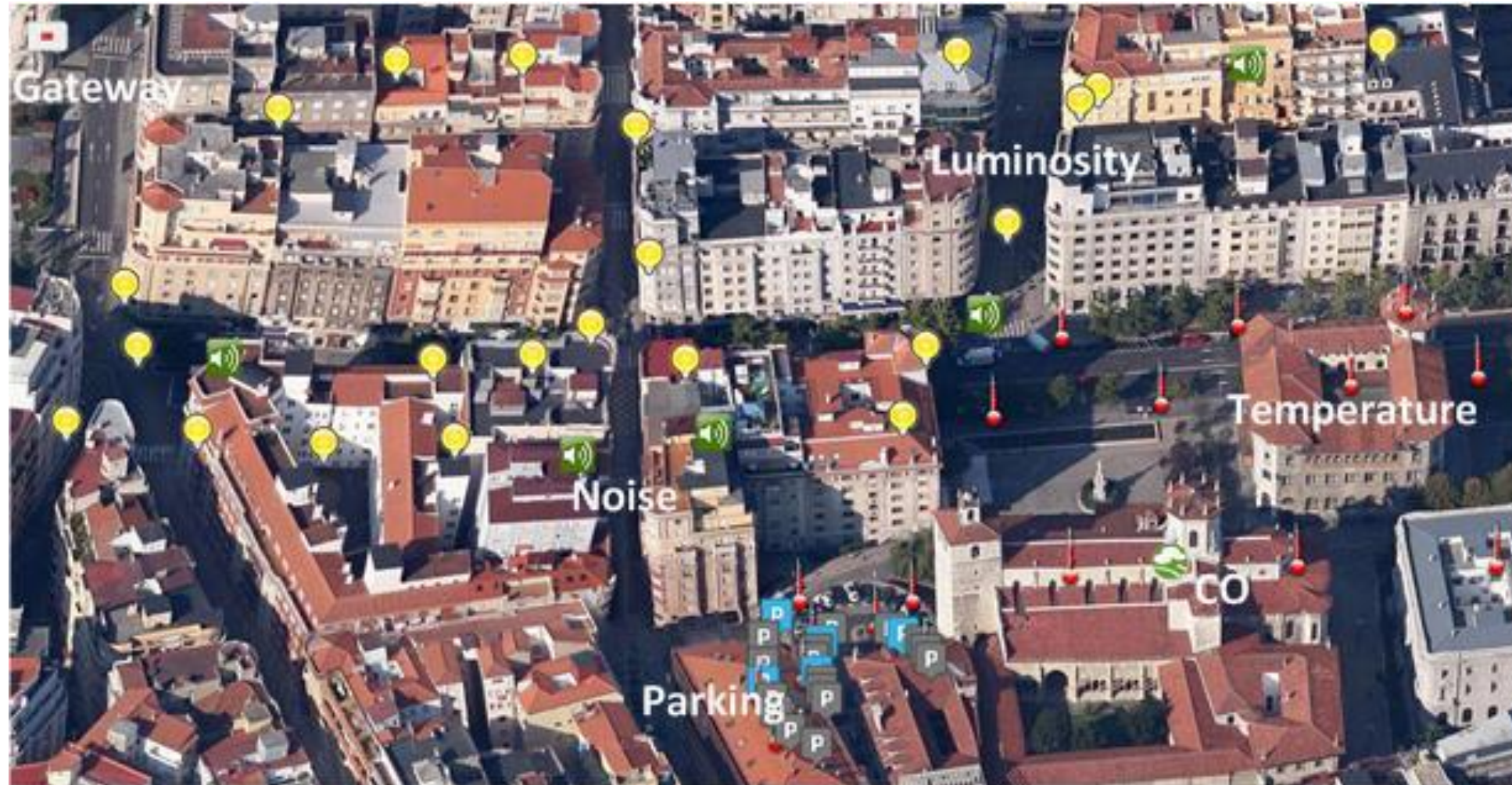
- Processzor: 500MHz (x86)
- RAM: 256 MB (DDR)
- Disk: 8 GB
- Táp: 5W (18V), Power over Ethernet
- Doboz: alumínium, 210x175x50mm, 1,2 Kg
- OS: Linux Debian
- Hálózat: WiFi, Xbee, Bluetooth, 3G





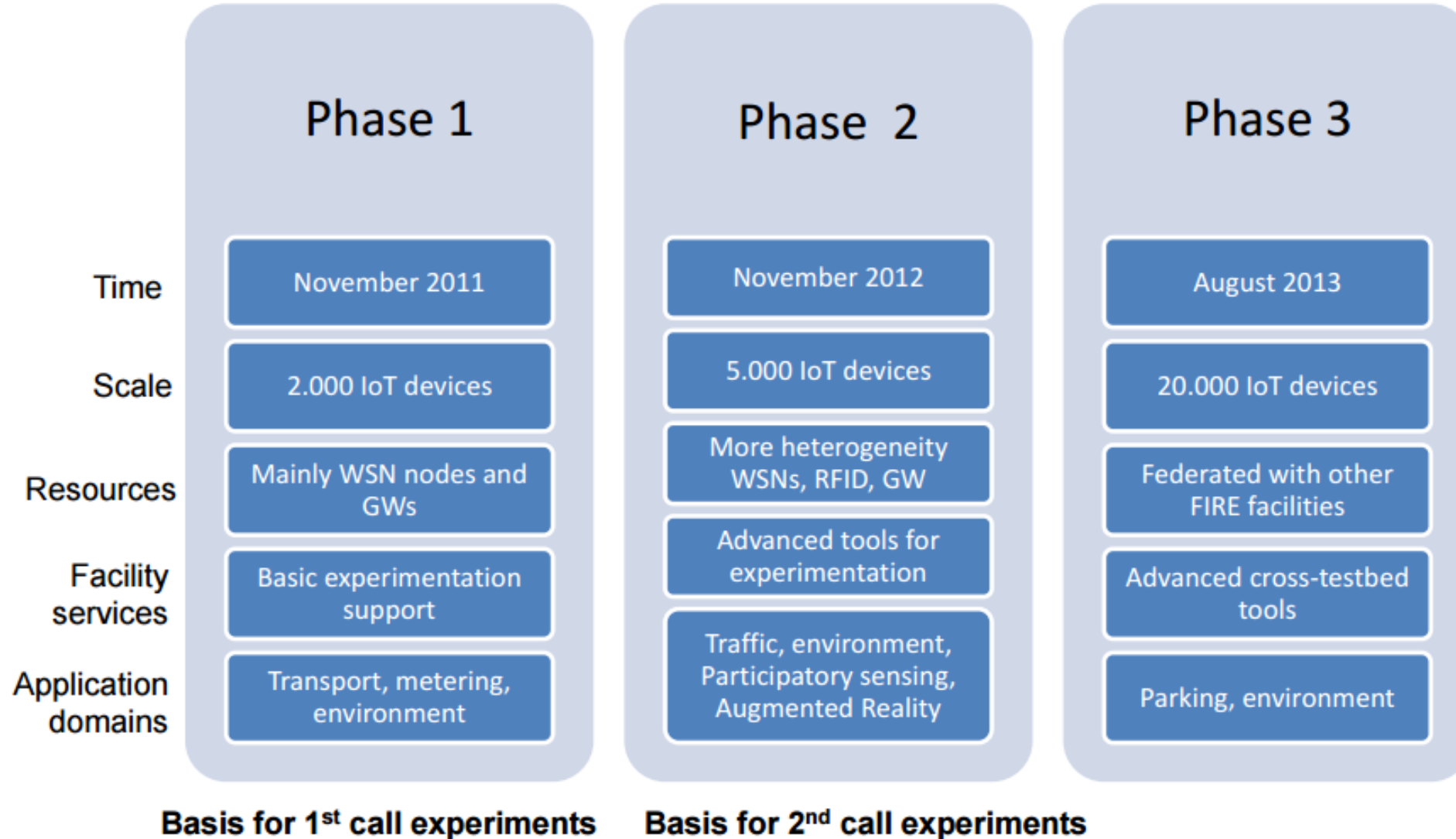
# Santander testbed klaszterek

- Egy klaszterbe több különböző, de azonos átjáróhoz (GW) tartozó szenzor mote-ok és ismétlők (repeater) tartoznak.



# Smart Santander telepítés

- Telepítés 3 fázisban, aztán felhívás teszt alkalmazások írására



# Első fázis

- Két use case: **környezet monitorozás és kültéri parkolás**
  - A parkoló szenzorokra nem lehet teszt kódot tölteni, az akku kímélése miatt

Node Type		Amount	Sensors	Radio I/F
Gateway		23	N/A	IEEE 802.15.4, IEEE 802.11, Digimesh, GPRS/UMTS
Repeater	Temperature	74	Temperature, Acceleration	IEEE 802.15.4, Digimesh
	Light	553	Light, Temperature, Acceleration	
	Noise	58	Noise, Acceleration	
	Gases	13	Temperature, CO, Acceleration	
Parking Sensor		373	Occupancy	Digimesh
<b>Total:</b>		<b>23 GW 1,071 Nodes</b>	<b>2,322 sensors</b>	

# Második fázis

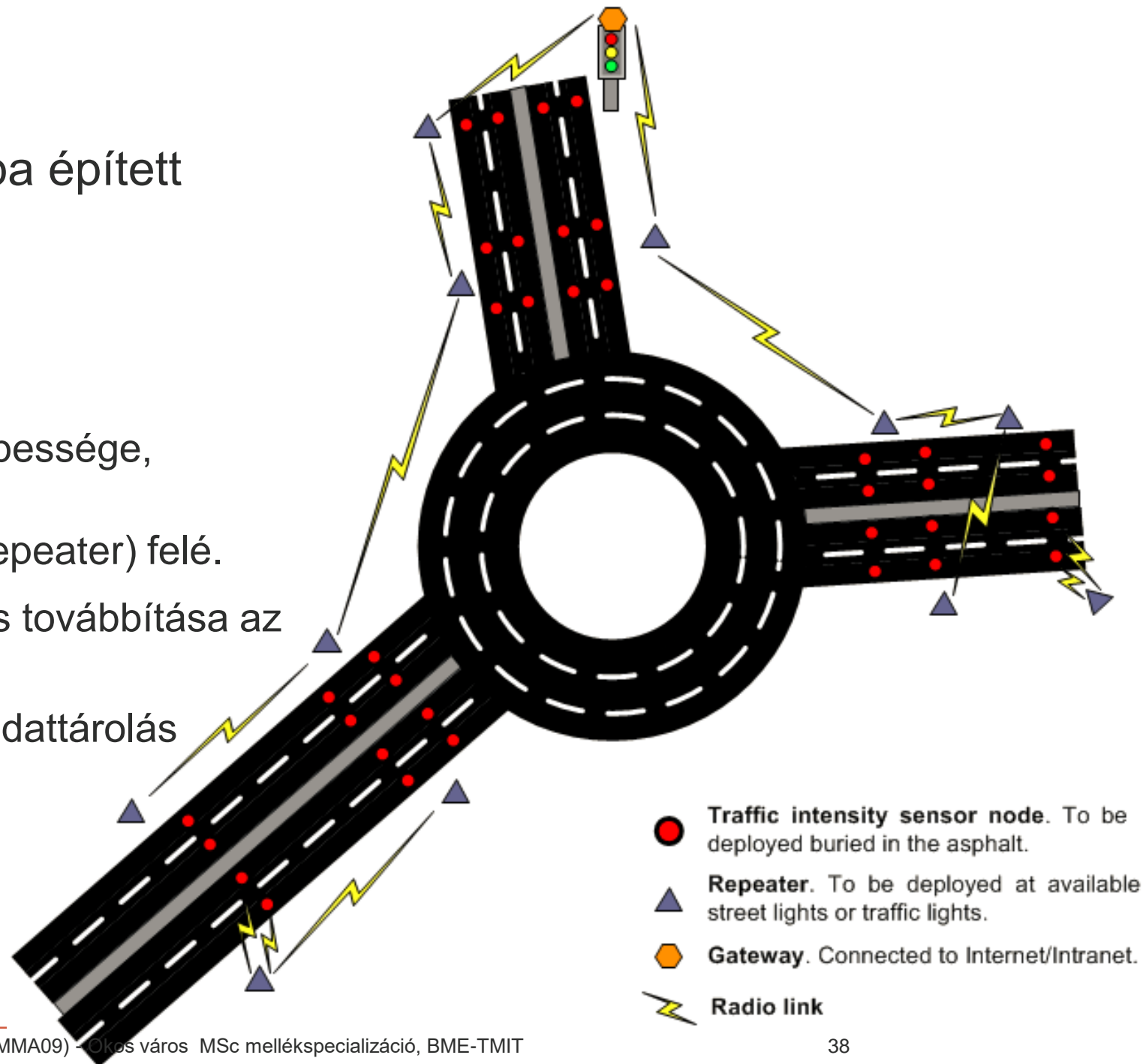
- 6 új use case
  - **Forgalom monitorozás** (úttestbe épített szenzorok)
  - **Környezet monitorozás mobil eszközökkel**
    - Buszokon – IEEE 802.15.4, GPRS
    - Taxikban és rendőrautókban – csak GPRS
      - Nem lehet alkalmazásokat írni, futtatni ezeken
  - **Intelligens öntözés a parkokban**
  - **Navigálás parkolóhelyekre**
  - **Kiterjesztett valóság** (augmented reality)
    - NFC tagek a városban
    - Jelenlét érzékelés és metaadatok
  - **Közösségi érzékelés** (participatory sensing)

# Második fázis

Node Type		Amount	Sensors	Radio I/F
Gateway	Irrigation	3	N/A	IEEE 802.15.4, IEEE 802.11, Digimesh, GPRS/UMTS
	Traffic	2		IEEE 802.15.4, GPRS/UMTS
Repeater	Traffic	9	N/A	IEEE 802.15.4
	Weather	3	Temperature, Relative Humidity, Soil Moisture, Solar Radiation, Rainfall, Windspeed, Atmospheric Pressure, Acceleration	IEEE 802.15.4, Digimesh
	Irrigation	23	Temperature, Relative Humidity, Soil Moisture, Soil Temperature, Acceleration	IEEE 802.15.4, Digimesh
	Water Flow	2	Water Flow, Acceleration	IEEE 802.15.4, Digimesh
	Agriculture	19	Temperature, Relative Humidity, Acceleration	IEEE 802.15.4, Digimesh
Mobile node	Bus (w. CAN-BUS)	2	CO, Particles, NO <sub>2</sub> , Ozone, Temperature, Relative Humidity, Speed, Course, Odometer, Location, CAN	IEEE 802.15.4, GPRS
	Bus	68	CO, Particles, NO <sub>2</sub> , Ozone, Temperature, Relative Humidity, Speed, Course, Odometer, Location	IEEE 802.15.4, GPRS
	Car	80	CO, Particles, NO <sub>2</sub> , Ozone, Temperature, Relative Humidity, Speed, Course, Odometer, Location	GPRS
Traffic Sensor		59	Road Occupancy, Vehicle Count, Vehicle Speed	IEEE 802.15.4
Augmented Reality Tag		2,500	Presence (+ metadata)	NFC
Participatory Sensing Smartphone		6,500	Multiple	IEEE 802.11, GPRS/UMTS
Augmented Reality Smartphone		~14,000	Presence (+ metadata)	IEEE 802.11, GPRS/UMTS
<b>Total:</b>		<b>5 GW 115 Fixed Nodes 150 Mobile Nodes 2,500 Tags 10,000+ Smartphones</b>	<b>377 fixed sensors 1,500+ mobile sensors 20,000+ smartphone sensors</b>	

# Forgalom monitorozás

- Induktív hurkok helyett aszfaltba épített szenzorok.
- Architektúra:
  - forgalom szenzor
    - forgalom sűrűsége, járművek sebessége, várakozó sor hossza
    - 802.15.4 interfész az ismétlők (repeater) felé.
  - Repeater: mért adatok fogadása és továbbítása az Acces point-nak.
  - Access point: Hozzáférési pont + adattárolás (GPRS/UMTS, Ethernet)



# Forgalom monitorozás (hardver)

- traffic sensor



repeater



access point



# Mobil környezet monitorozás

- Mobil eszközök: Buszokon, rendőrautókon és taxikon.
  - Buszokon: szenzor kártyák, CAN bus modul, IoT eszköz (wasp mote) és LPU (Local Processing Unit).
  - Rendőrautókban és taxikon: csak szenzorkártya és LPU (nem lehet kísérletezni rajtuk!)
- Architektúra elemei:
  - Wasp mote board
    - 802.15.4 rádiós interfész (antenna: 5dBi), soros kommunikáció (RJ45) a wasp mote és az LPU között.
  - Szenzor kártya (hőmérséklet, páratartalom, CO, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>)
    - Alap RISC mikrokontroller 8MHz-en. Adatküldés/fogadás: RJ45 csatlakozó.
  - CAN bus modul
  - LPU: szenzoradatok gyűjtése, hálózatmenedzsment, OTAP (Over the Air Programming)
    - 32-bit RISC processzor 60 MIPS ARM7 70 MHz-en, Linux oprendszer, 8 MB Flash, 16MB RAM. Interfészek: RS232/485 és CAN interfész az eszközök felé, 7 digitális és 2 analóg bemenet, 5 digitális kimenet. GPRS rádió.
  - GW (átjáró): összeköttetés a SmartSantander gerinchálózattal



# Mobil környezet monitorozás



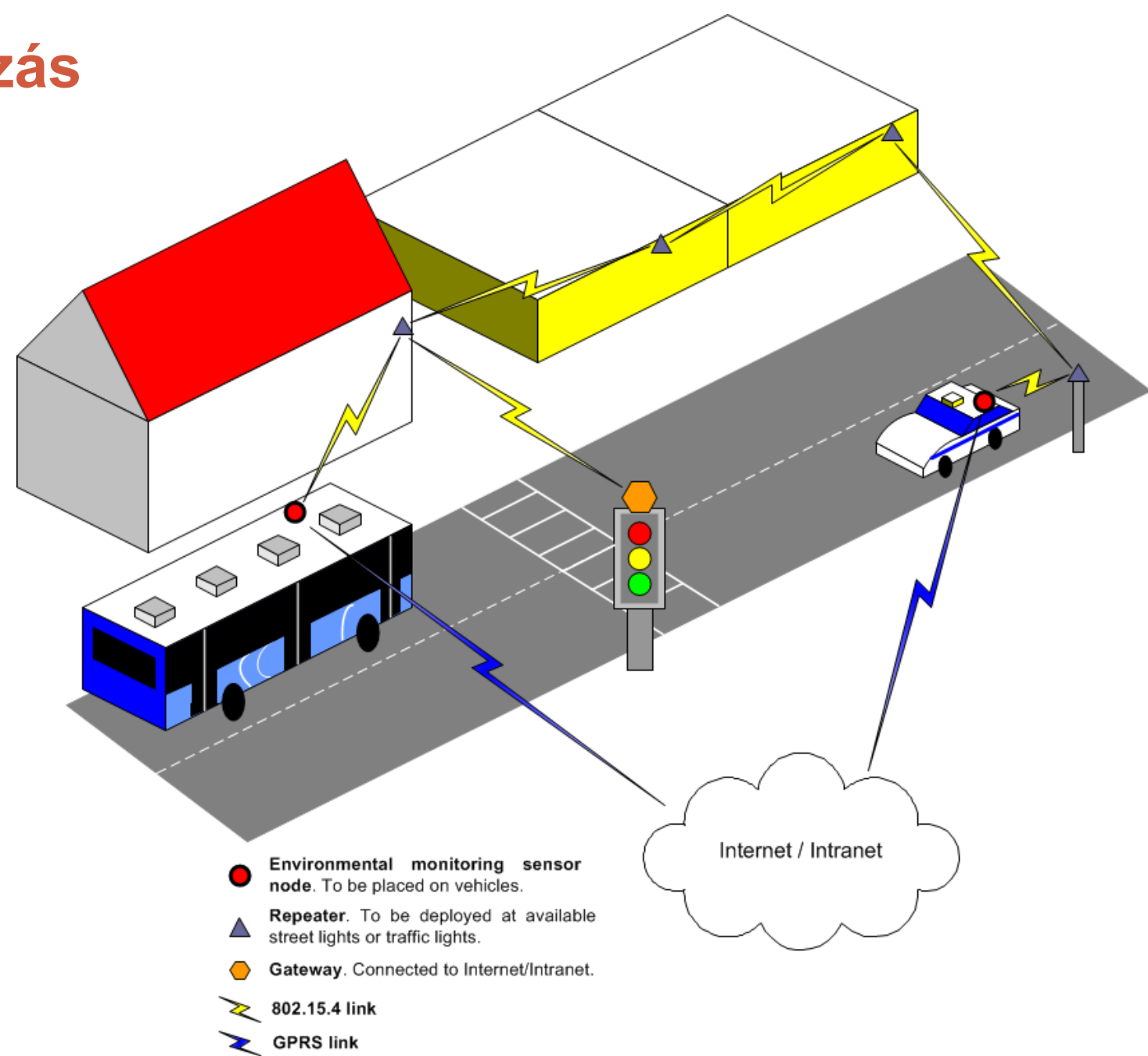
LPU



szenzorok

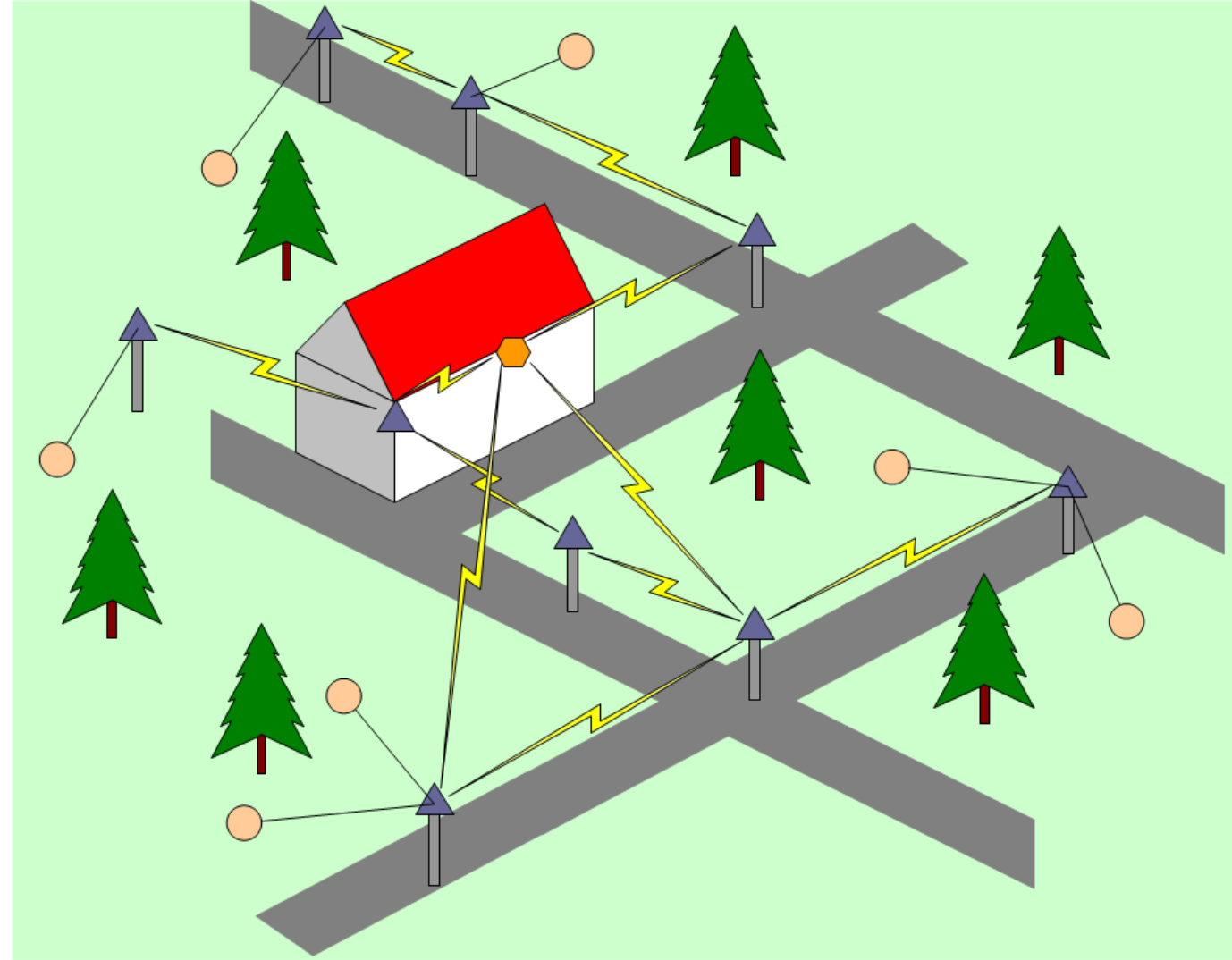


Wasp mote



# Parkok öntözése

- Szenzorok:
  - meteorológiai állomás: szélereősségmérő, esőmérő
  - légnyomás, napfény-erősség, páratartalom, hőmérséklet
  - talajnedvesség és talajhőmérséklet
  - vízfelhasználás mérése



○ **Park irrigation monitoring sensor.** To be deployed buried in the ground.

▲ **Repeater.** To be deployed at available street lights or traffic lights.

⬡ **Gateway.** Connected to Internet/Intranet.

⚡ **Radio link**  
— **Wired link**



# Intelligens öntözőrendszer

Soil Moisture Tension

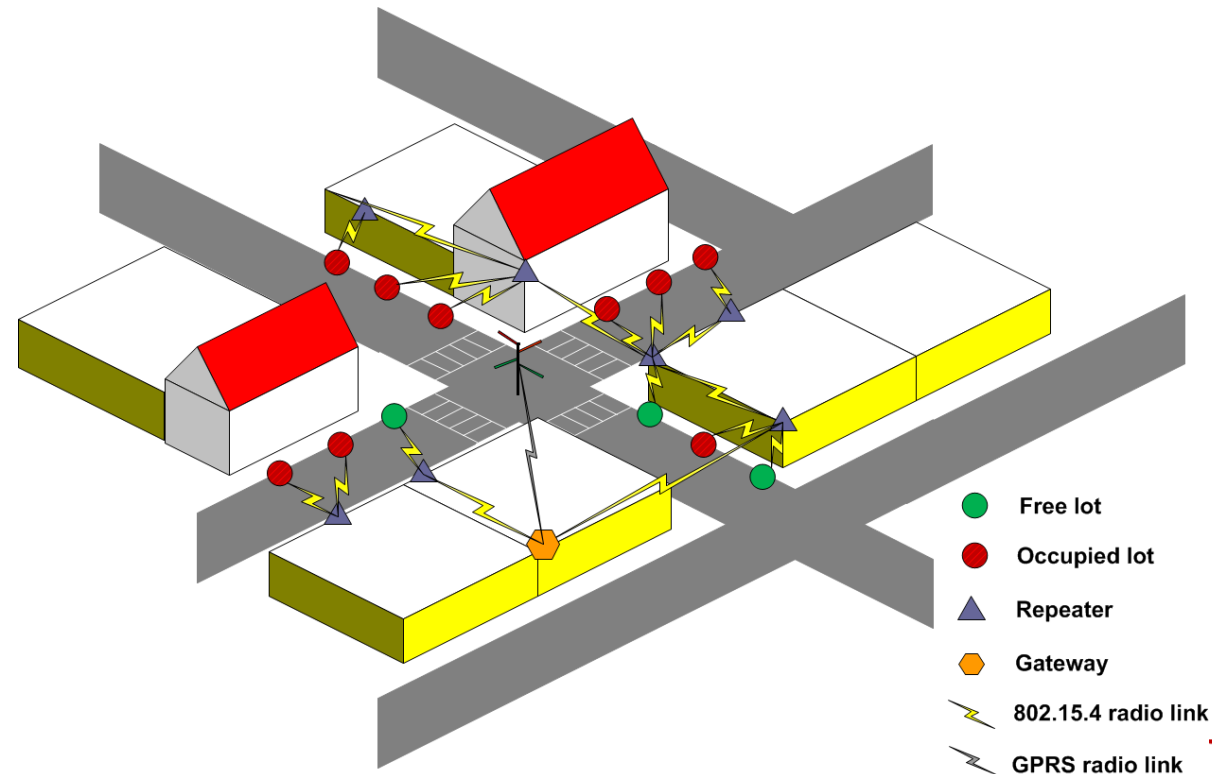


Soil Moisture Temperature

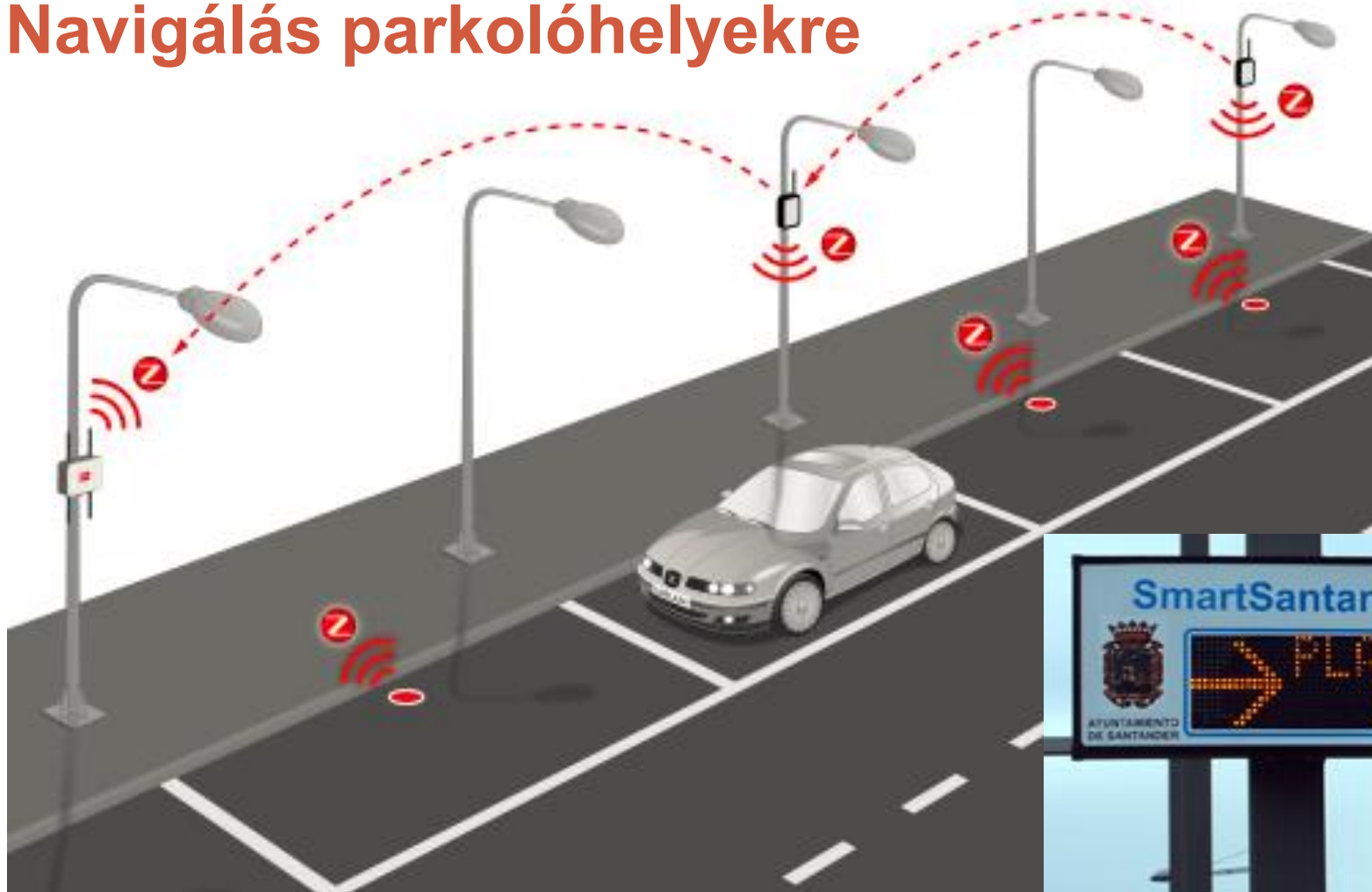


# Navigálás parkolóhelyekre

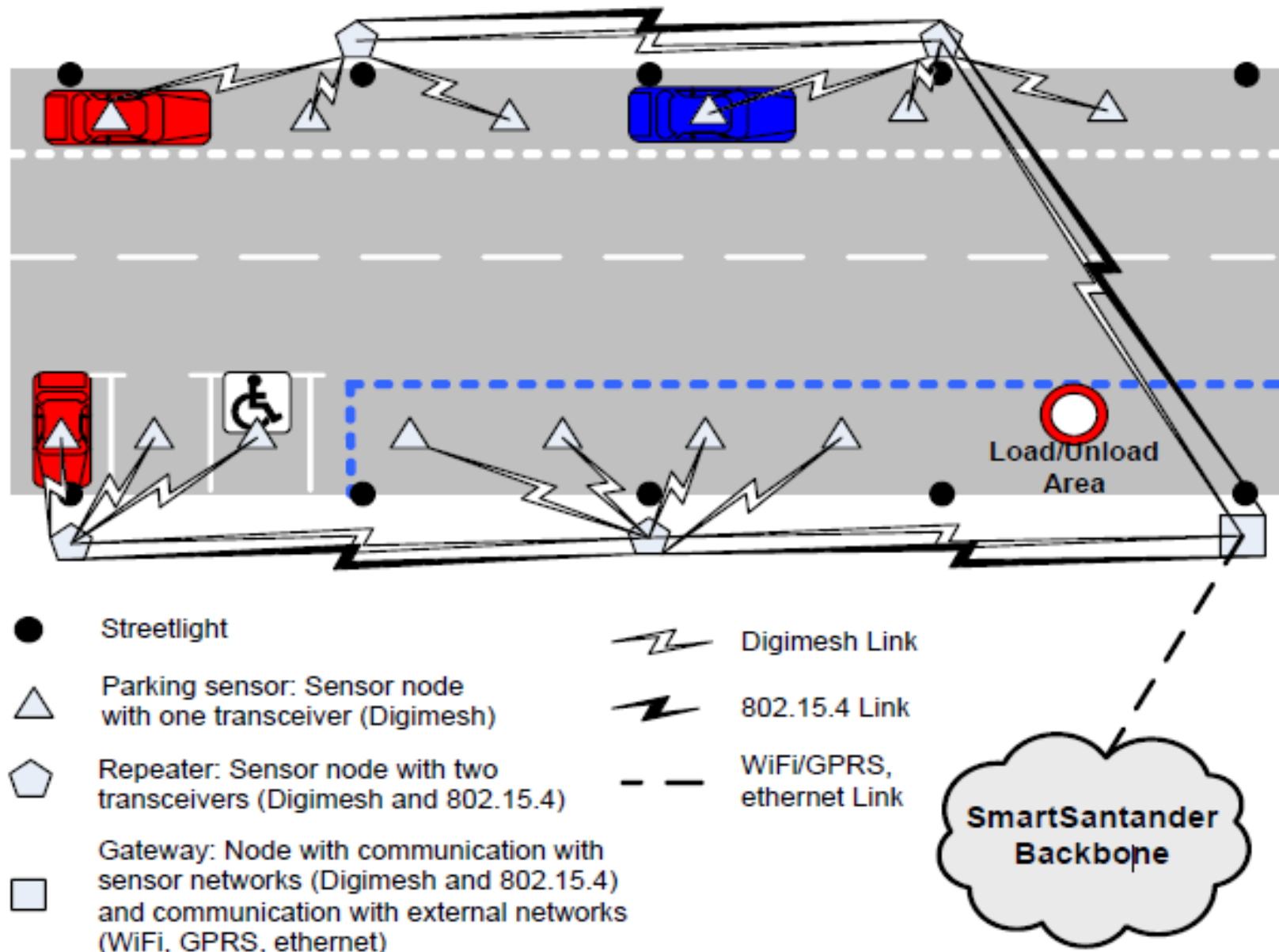
- 400 parkolóhely monitorozása egy adott parkolási zónán belül.
- A szenzorok a parkolóhelyek foglaltságát mérik (szabad/foglalt)
- Az útkereszteződésekben elhelyezett „panelek” segítségével irányítják az autósokat a szabad helyek felé.
- Architektúra
  - Parkolóhely szenzorok
  - Panelek (táblák)
  - Central Station



# Navigálás parkolóhelyekre



# Parkolás példa



# Parkolás példa



# Kiterjesztett valóság (augmented reality)

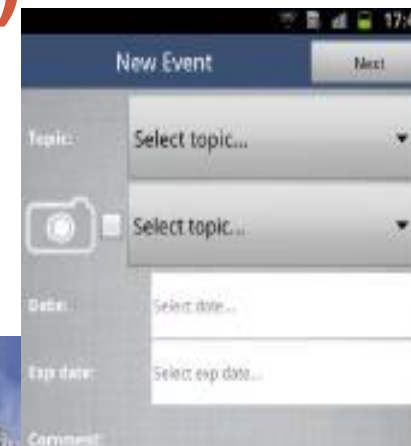
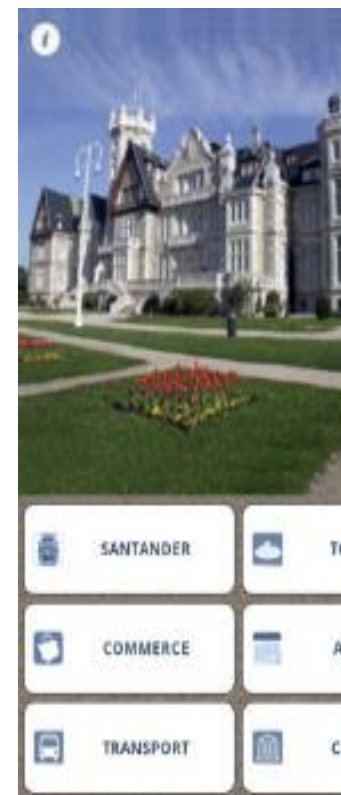
- 2000 RFID tag/QR kód címke kihelyezve
- POI-k (point-of-interest) jelzésére
- Helytudatos működés (location-based services)





# Közösségi érzékelés (participatory sensing)

- Felhasználók és mobiltelefonjaik (és a telefon szenzorok!) bevonása:
  - GPS koordináta, iránytű
  - környezeti paraméterek: zaj, hőmérséklet
- „The pace of the city” – a felhasználók feliratkozhatnak szolgáltatásokra.
  - Események, történések, riasztások



# Harmadik fázis

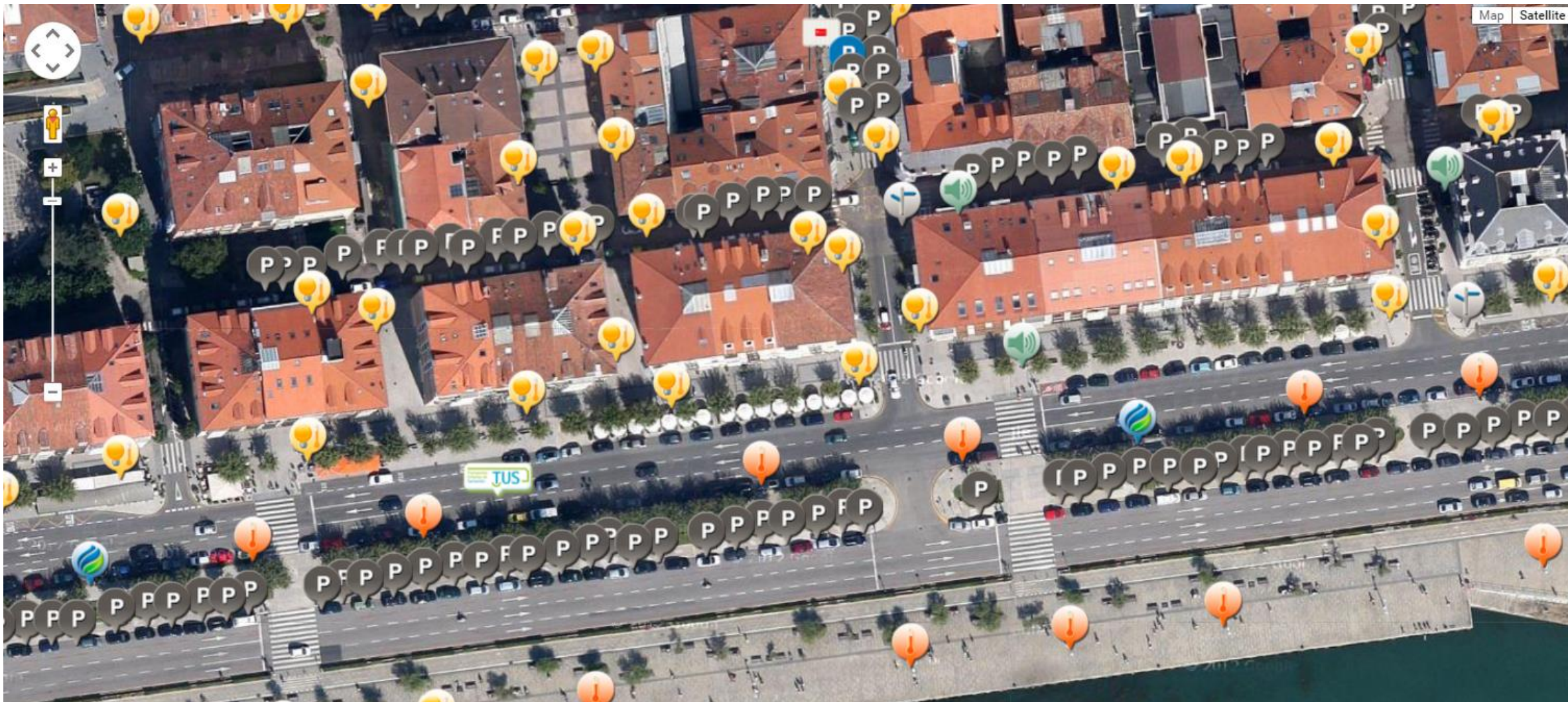
- Korábbi use case-ek megerősítése
  - **Környezeti monitorozás mobil eszközökkel, és kültéri parkolás menedzsment**

Node Type		Amount	Sensors	Radio I/F
Gateway		3	N/A	Proprietary, GPRS/UMTS
Repeater		37	N/A	Proprietary
Mobile node	Bus (w. CAN-BUS)	10	CO, Particles, NO <sub>2</sub> , Ozone, Temperature, Relative Humidity, Speed, Course, Odometer, Location, CAN	IEEE 802.11, GPRS
	Bus	15	CO, Particles, NO <sub>2</sub> , Ozone, Temperature, Relative Humidity, Speed, Course, Odometer, Location	IEEE 802.15.4, GPRS, IEEE 802.11
Parking Sensor		330	Occupancy	Proprietary
Parking Tag		30	Authorization	Proprietary
<b>Total:</b>		<b>3 GW 330 Fixed Nodes 25 Mobile Nodes 30 Tags</b>	<b>330 fixed sensors 250+ mobile sensors</b>	

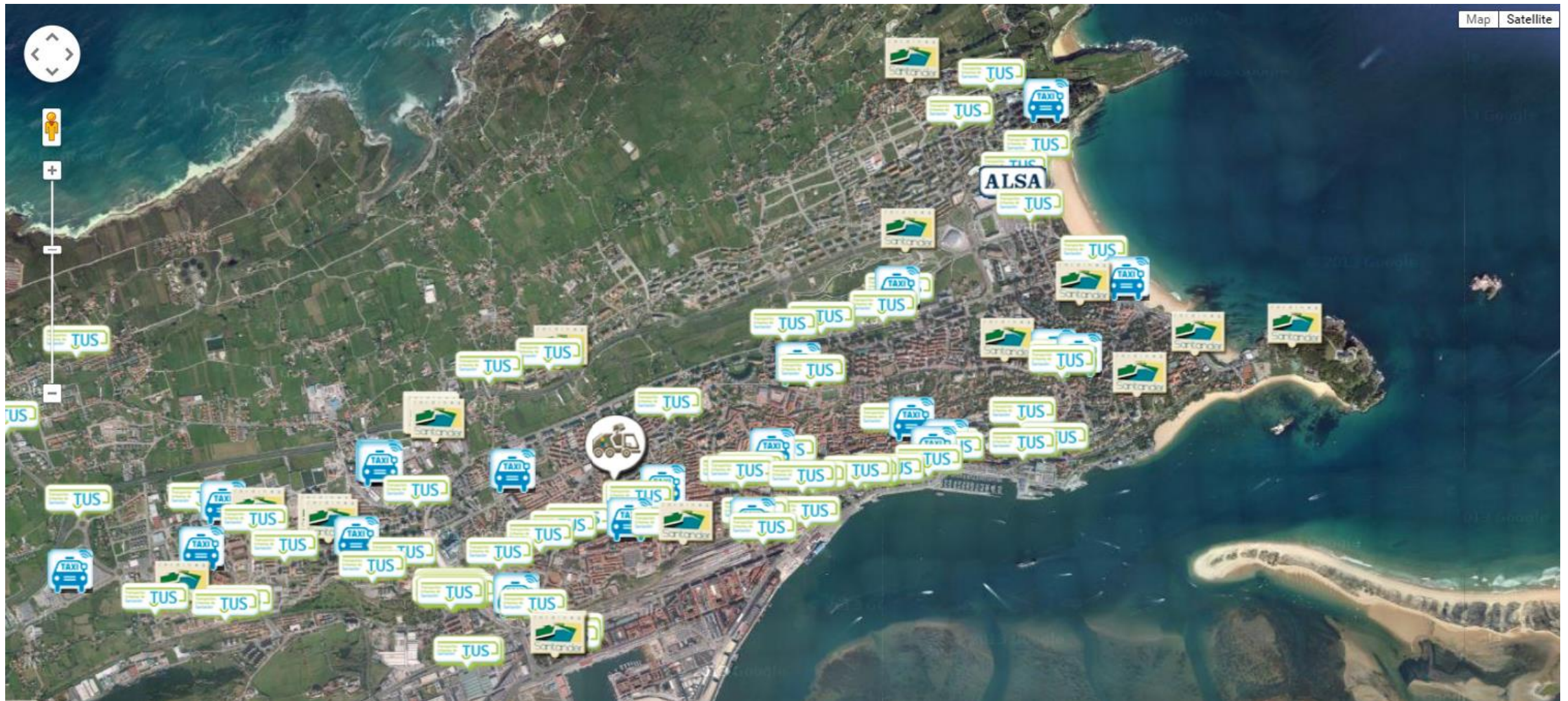
# Mennyi mérés?

- Nagy mennyiségű mérési adat
  - 139,370 környezeti mérés naponta (fix szenzoroktól)
  - 82,726 környezeti mérés naponta (mobil szenzoroktól)
  - 8,365 öntözés monitorozás adat naponta
  - 13,489 parkolás mérés naponta
  - 54,720 forgalmi mérés naponta
  - 6,352 közösségi észlelés naponta
  
- 450 Mbyte adat évente

# Smart Santander – IoT térkép

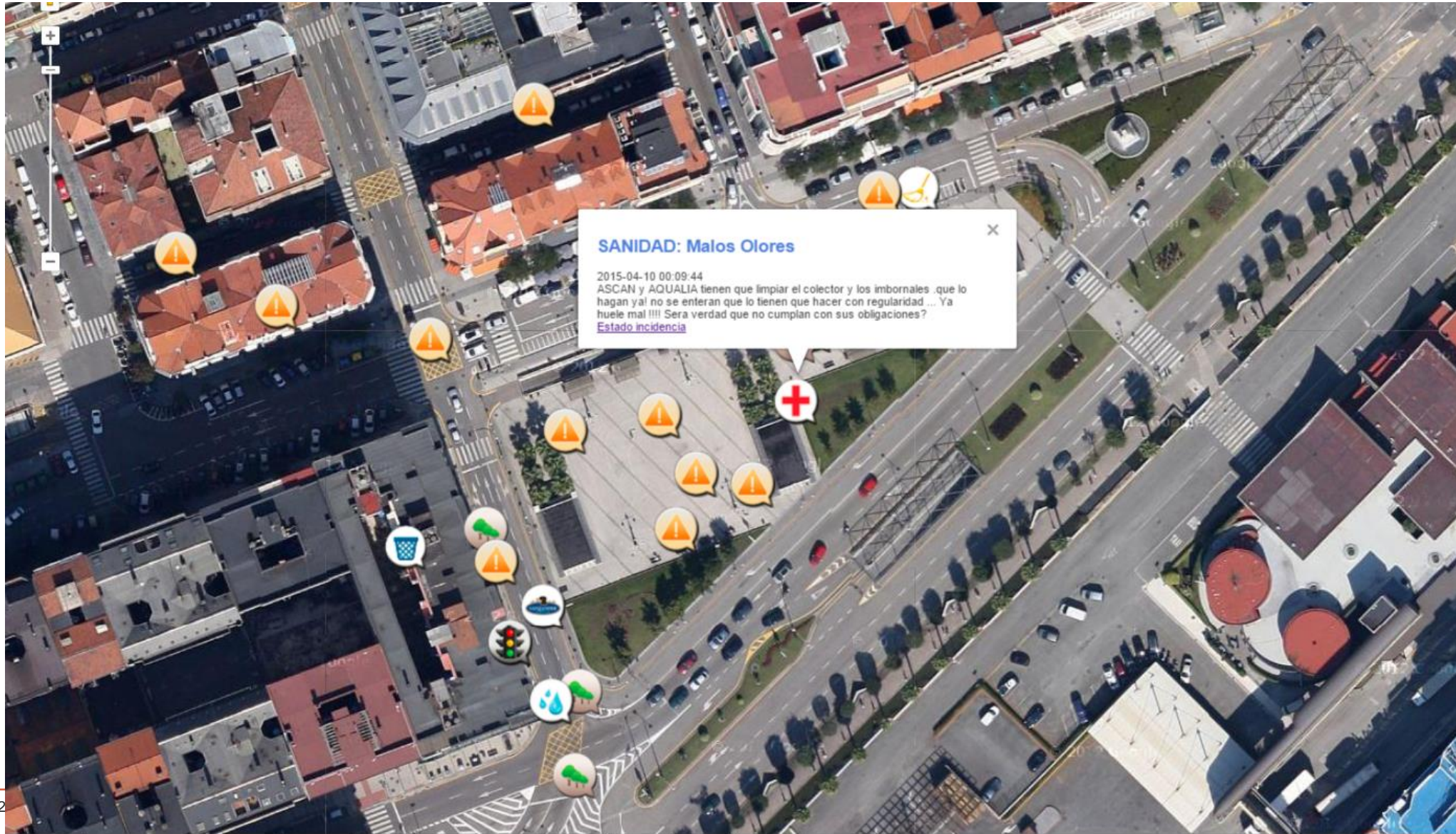


# Smart Santander – Mobil szenzoros térkép

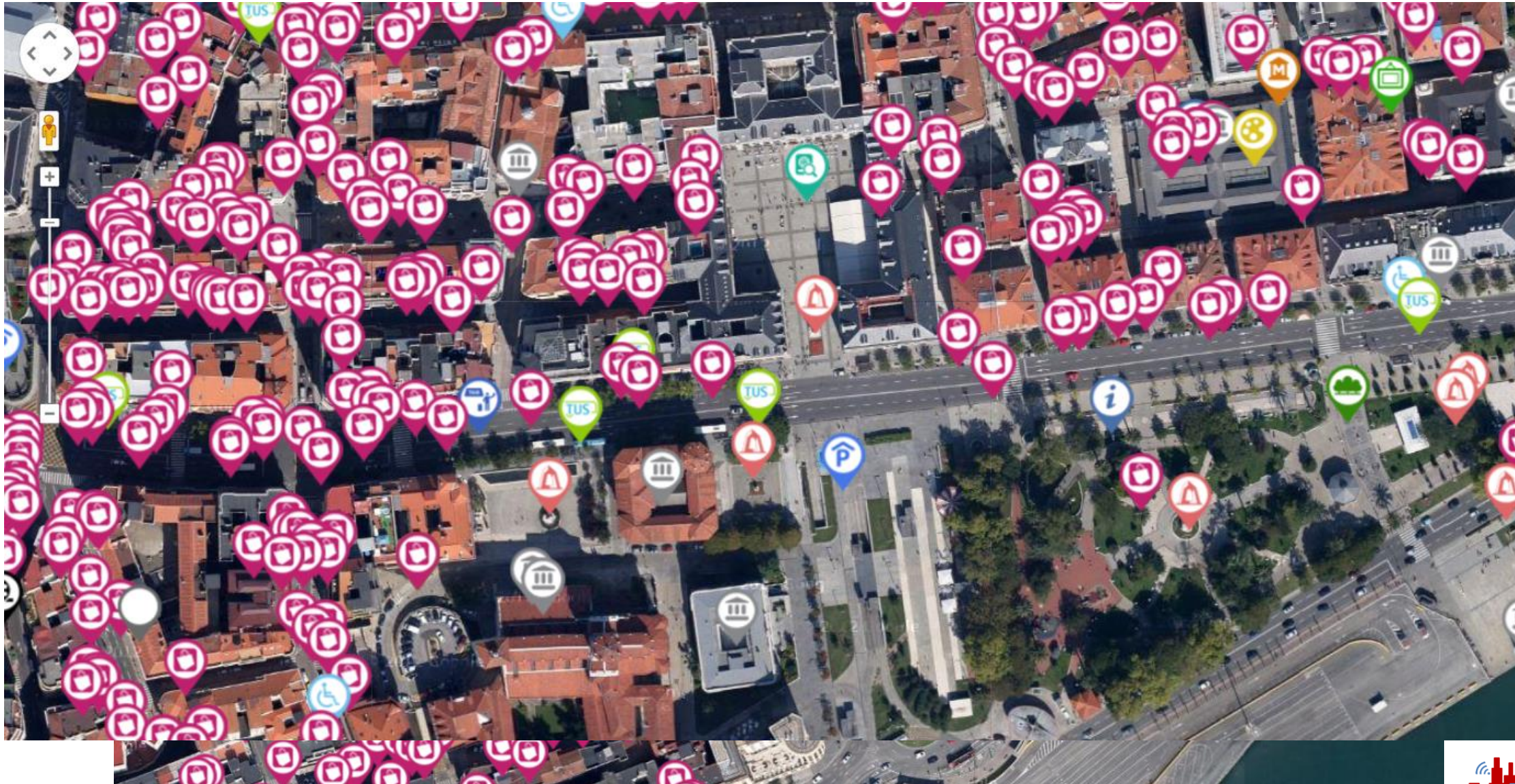


# Pace of the City

- Lakossági bejelentések a városban található gondokról, hatósági reakció nyomon követése



# Kiterjesztett valóság



# A csapat

## Munkamegbeszélés (2013)

### A csapat az első megbeszélésen (2010 szeptember)







euronews

