



# Szenzorhálózatok és alkalmazásaik

---

Egyéb alkalmazási területek, kitekintés...

**IoT**

---

# Internet (of People)

- A hagyományos Internet is „tárgyakból” áll
  - PC-k, szerverek, útválasztók
- De a végfelhasználó személyek generálják a tartalmat, adatokat
  - Levelek, dokumentumok, weboldalak, fényképek, stb.
- Az embereknek korlátos az idejük, a figyelmük és a pontosságuk
  - Nem megfelelőek a való világ történéseinek követésére, adatok rögzítésére



# Internet of Things (IoT)

- **Kevin Ashton (1999)**

- MIT Auto-ID, Procter & Gamble



- **Adatgyűjtés emberi közreműködés nélkül**

- Intelligens, **egyéni azonosítóval ellátott eszközök**
  - Szenzorok, okos telefonok, járművek, stb.
- **Monitoroznak és kommunikálnak**
  - A begyűjtött adatok felkerülnek a „felhőbe” (hálózat)
  - Elemzés, szűrés, aggregáció, adatbányászat
  - Értéknövelt szolgáltatások generálása

- **Nem a puszta adat az érték, hanem annak feldolgozása**

# Mit értünk a tárgyak internetén?

”Okos dolgok” hálózata

- Mitől „okos” valami?
  - Van CPU-ja, memóriája, szenzorokkal érzékeli a környezetet
  - Képes kommunikálni



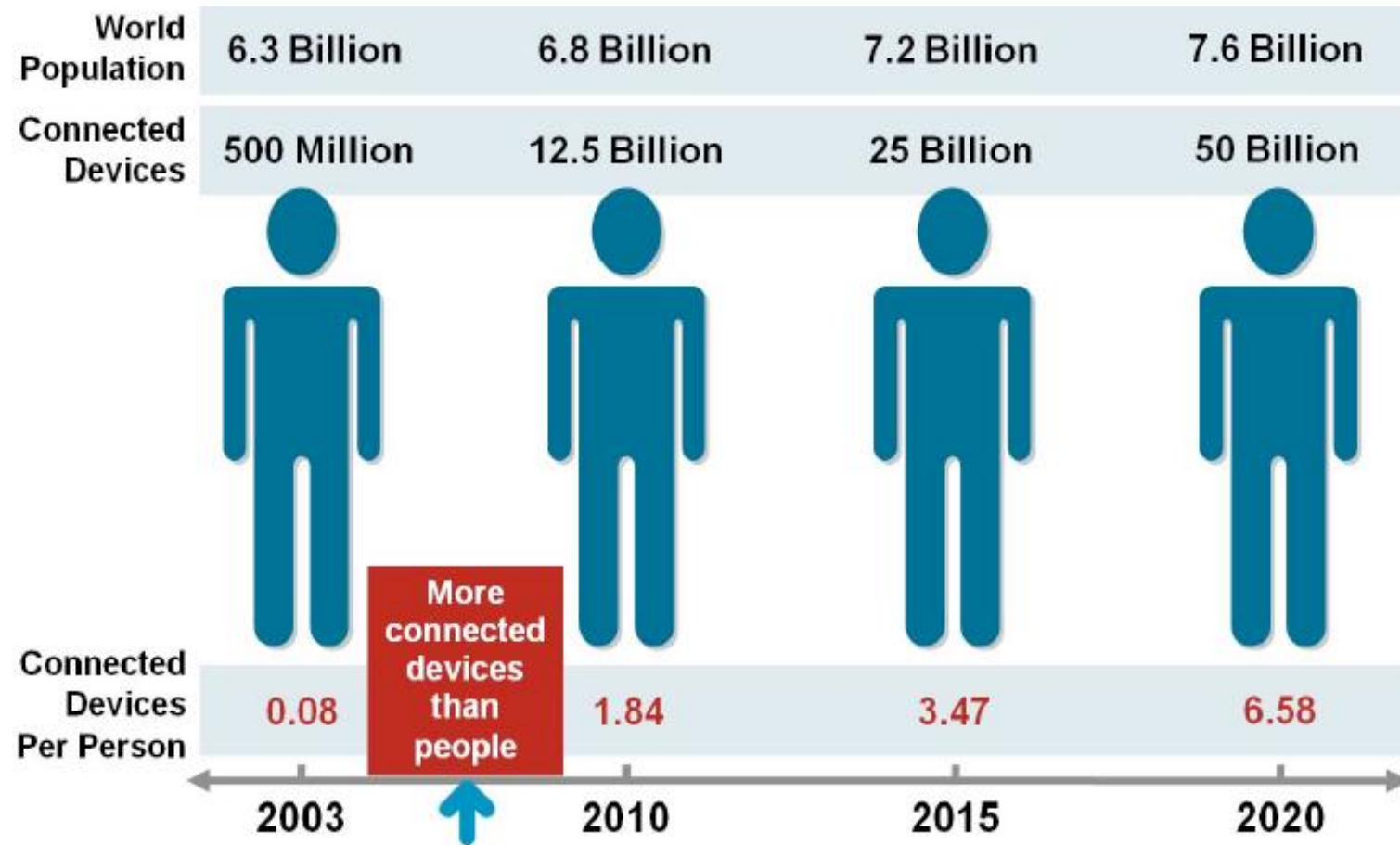
# Az első IoT eszköz?

- Egy Coca-Cola automata a Carnegie Mellon University-n (**1982 !!**)
  - 10 centtel olcsóbb volt mint a többi automata
  - Mindenki oda járt, de idegesítő volt a campus másik feléről odasétálni és üresen találni, vagy épp frissen töltött meleg kólával
  - 4 diák - Mike Kazar, David Nichols, John Zsarnay, and Ivor Durham
    - Kössük az Internetre az automatát
  - **Lekérdezhető az állapota**
    - Égnek-e a rekeszeknek megfelelő Empty lámpák
    - Mennyi idő telt el az utolsó feltöltéstől (lehűltek-e már)
  - A legnagyobb forgalmú automata egész Pennsylvania-ban



# Hány eszköz?

- Cisco, Ericsson előrejelzések – 50 milliárd eszköz 2020-ra



Source: Cisco IBSG, April 2011

# IoT vs. Cloud

- **Tudok adatokat gyűjteni, és kommunikálni. Más feladat?**
  - **Hol tárolom el a begyűjtött nyers adatokat?**
  - **Hogyan dolgozom fel őket?**
    - Szűrés, aggregálás, korrelációs elemzés, stb. – **Big Data**
  - **Hogyan csatolom vissza az információt az IoT-be?**
- Az szenzor (IoT) eszközök nem tudják hosszú távon tárolni, feldolgozni az adataikat
  - Korlátozott memória (RAM, Flash), CPU, energia

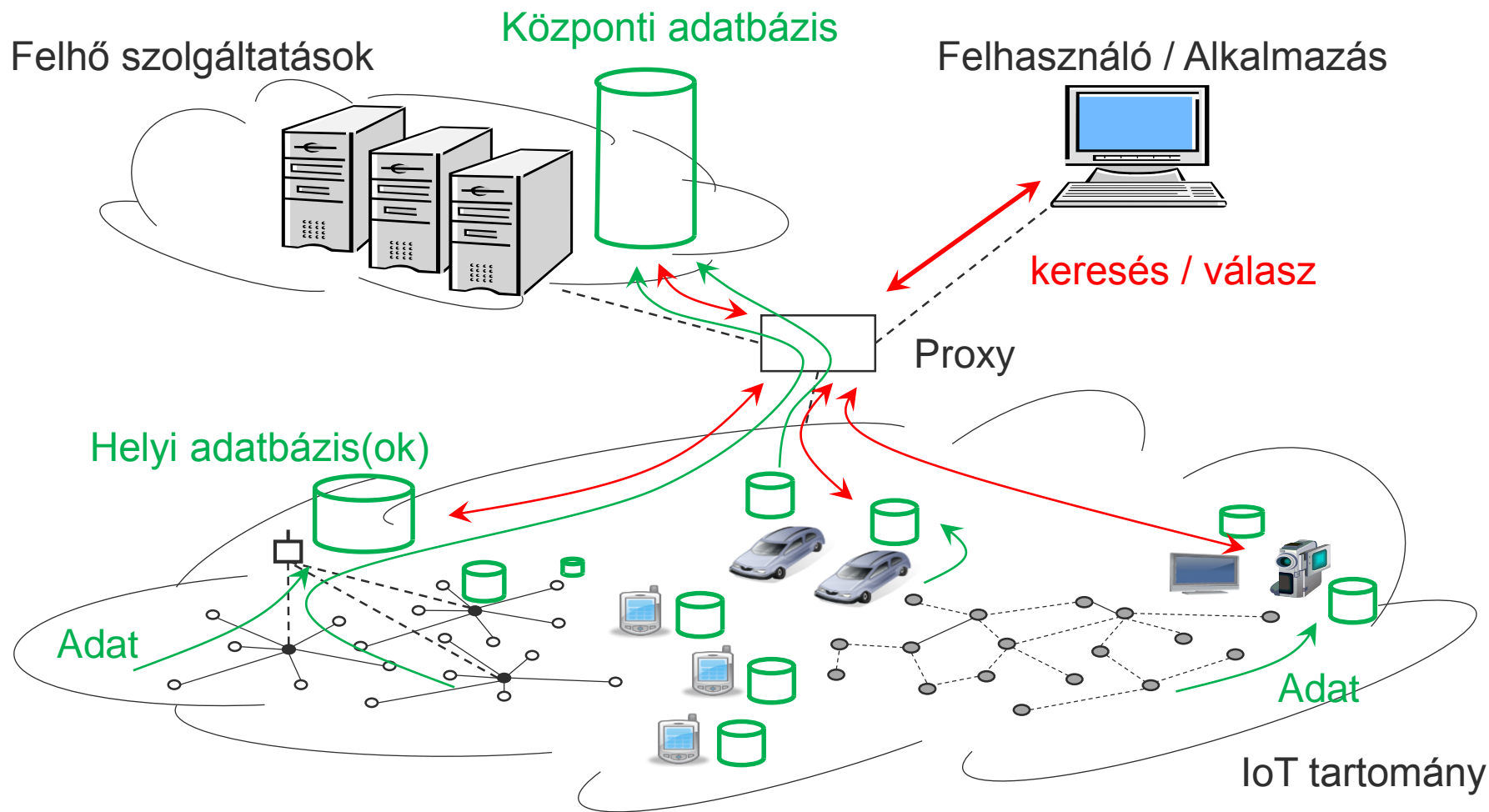


# IoT vs. Cloud

- **De tényleg küldjük ki mindent a felhőbe?**
  - A rádiós kommunikáció nagyon sok energiába kerül
  - Célszerű egy előfeldolgozást és aggregálást helyben elvégezni
  - A mérés és az adatküldés két külön feladat
    - Mérsni az alkalmazás igényei szerint kell
    - Adatküldés az erőforrások alapján optimalizálva

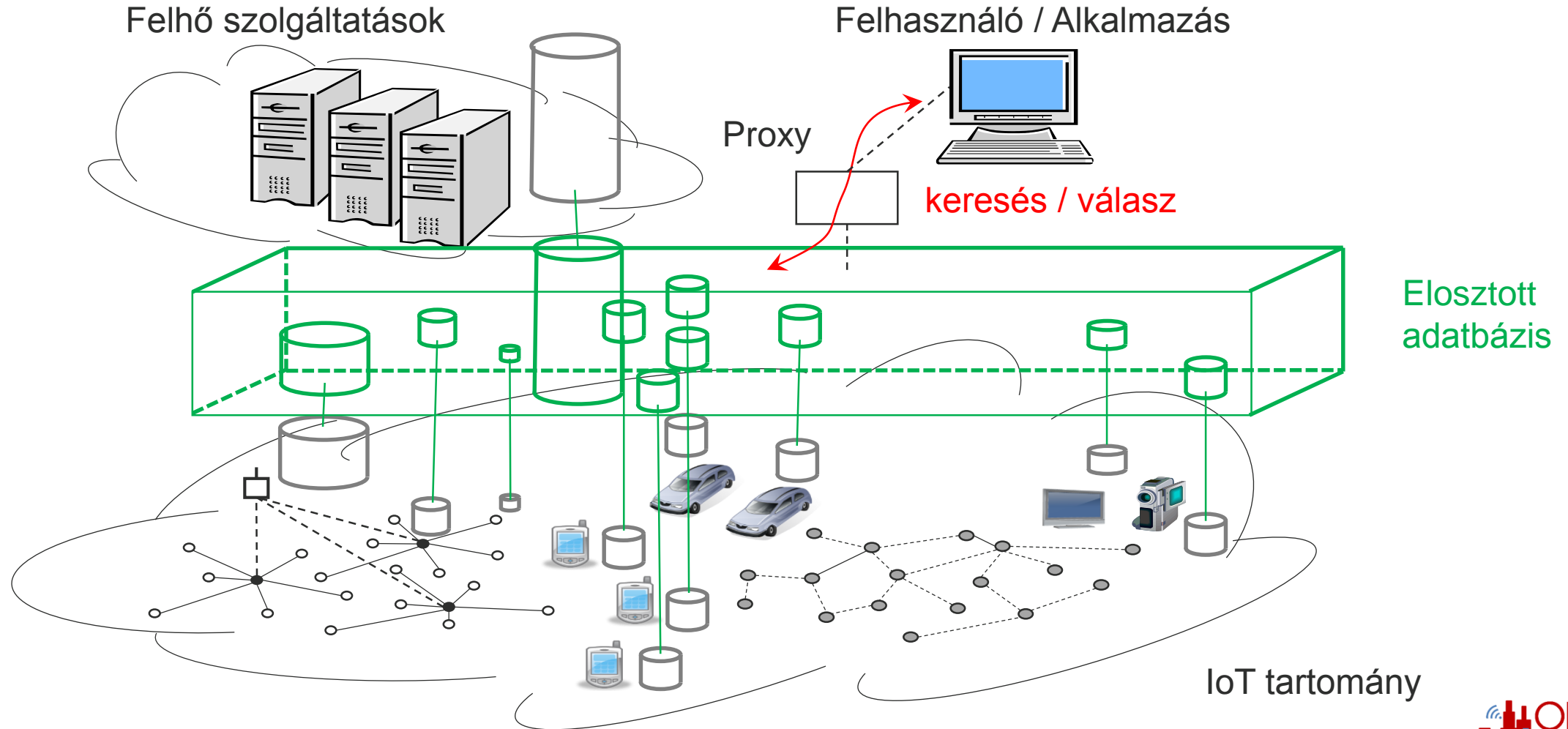
# IoT vs. Cloud

- Adatok a felhőben, de az IoT tartományban is



# IoT vs. Cloud

- Elosztott adatbázis a felhő és az IoT tartomány között



# Caching az IoT-ben

- Népszerű videók a Youtube-on
  - (Lassan) változó népszerűség, de statikus tartalom
  - (Viszonylag) könnyű cache-elni
- Népszerű weboldalak
  - Statikus oldalakat egyszerű cache-elni
  - A dinamikus oldalakat nehezebb, általában közvetlenül a szerverről szolgálják ki
- Népszerű szenzor (IoT) adatok
  - „Milyenek a forgalmi viszonyok jelenleg a Lánchídon?”
  - **Nehezen cache-elhető, de érdekes**
    - Nem csak a rádiós erőforrások, de az energia kímélése miatt is

# Kapcsolódó fogalmak

- Ubiquitous networking / computing
  - Mindenütt jelenlevő hálózatok
  - Mark Weiser, Xerox Palo Alto Research Center, 1998
- Pervasive networks
  - Mindent átható, átszövő hálózatok
- Everyware
- Disappearing computing
- Ambient networks and services
  - A felhasználót körülölelő hálózatok és szolgáltatások
- Internet of Everything (Cisco)



# Great Duck Island

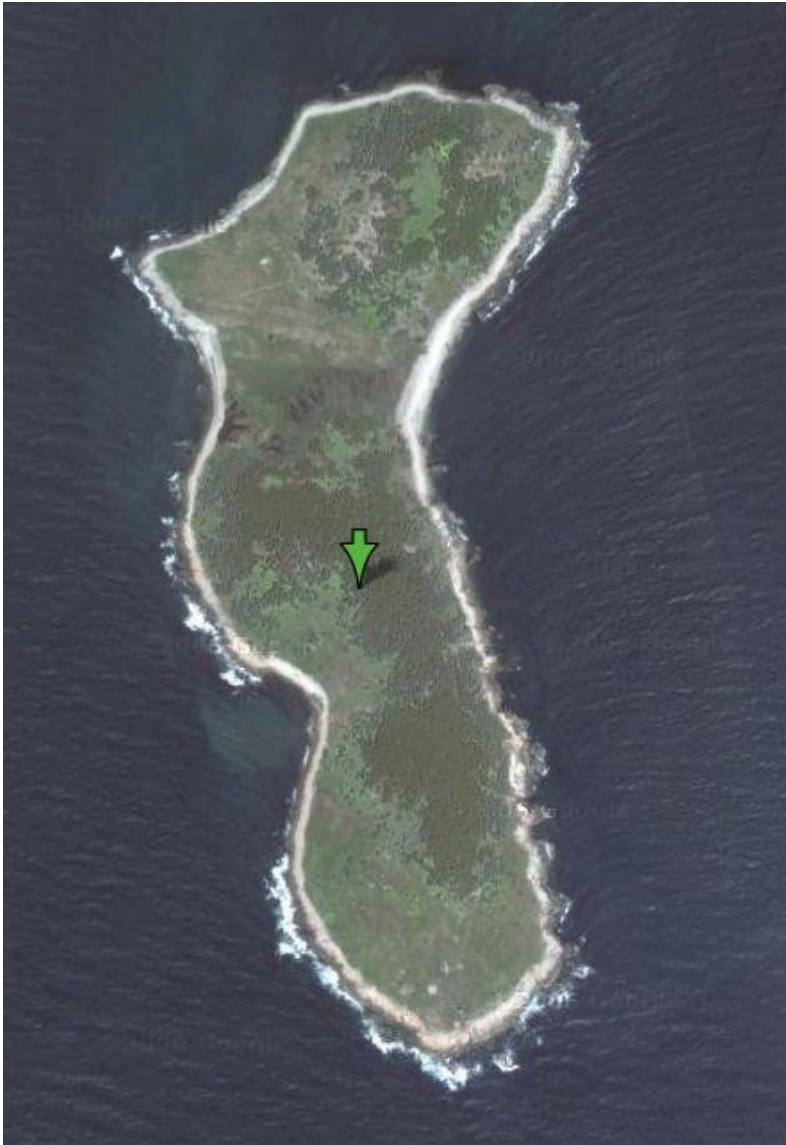
---

Környezetmonitorozás

# „Great Duck Island” projekt

Környezet és élőhely monitorozás:  
Great Duck Island, Maine, USA (2002)

- 2,4 km x 0,8 km
- **Intel** és **Berkeley** közös projekt



# Great Duck Island

- Cél: Egy viharmadár faj (Leech's Storm Petrel) kolóniák megfigyelése.
- Megfigyelendő:
  - fészek(lyuk) foglaltsága a költés ideje alatt,
  - a használt (vs. elhagyott) fészeklyukak mikroklímája,
  - Környezeti paraméterek a költési időszak 7 hónapja alatt.

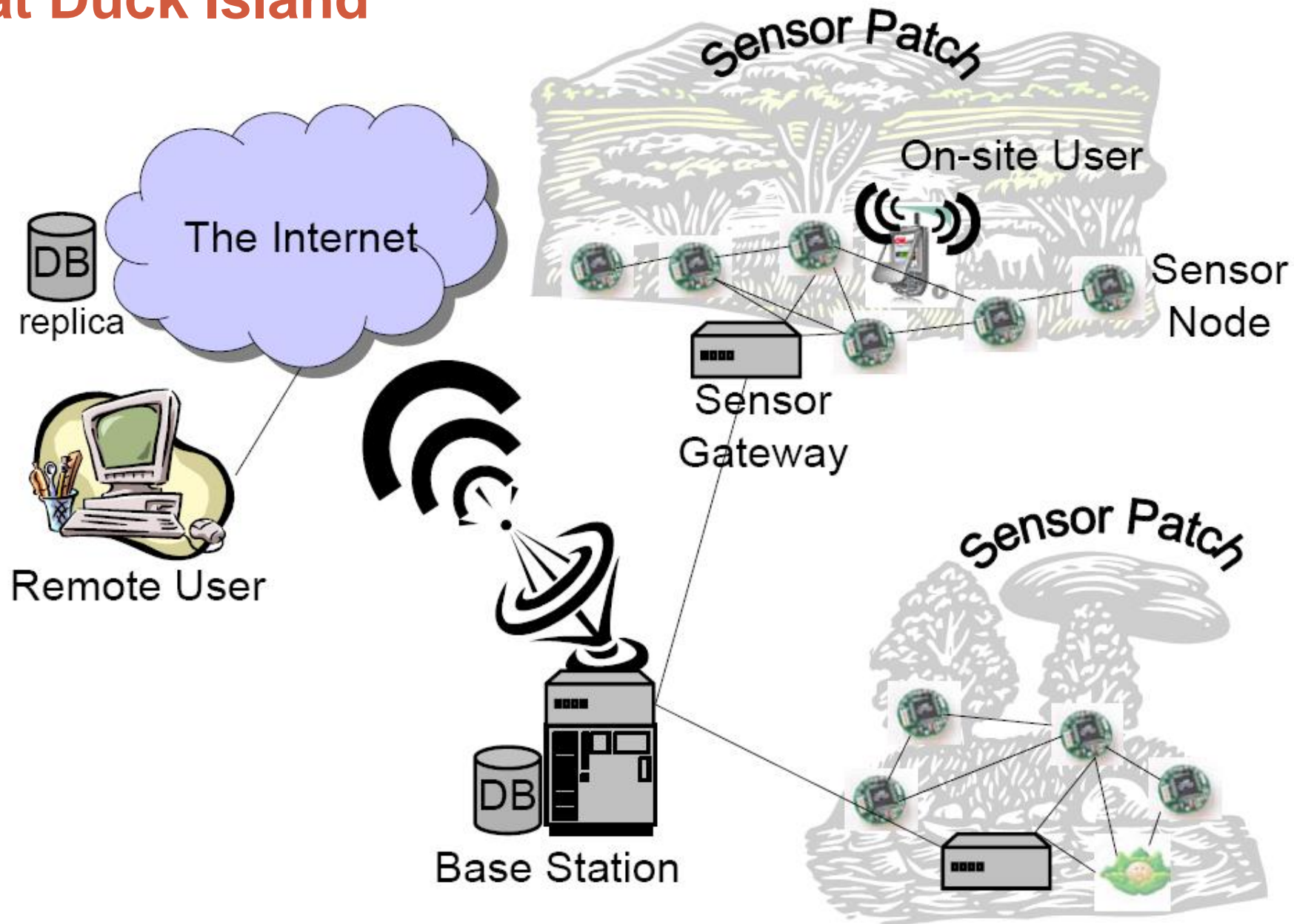




# Great Duck Island

- Az alkalmazás által támasztott követelmények:
  - Internetes hozzáférés
  - Hierarchikus hálózat (vezeték nélküli „gerinchálózat” szükséges)
  - 9-12 hónapos folyamatos megfigyelés
  - Tápellátás nélküli működés (Napelemek itt-ott elérhetőek.)
  - Távoli hálózatmenedzsment
    - Az interneten keresztül, a helyszínen csak nyaranta 2-3 hónapig tartózkodik személyzet, a beüzemelésnél és eltávolításakor.
  - Észrevétlen működés
    - A madarakat nem zavarhatja/befolyásolhatja semmi!
  - Helyszíni interakció
    - A helyszínre érkező személyzet PDA-kkal kommunikál a szenzor node-okkal.
  - Mért adatok (fény, hőmérséklet, páratartalom, légnyomás) periódikus mérése és tárolása.

# Great Duck Island



# Great Duck Island

- Szenzor mótók a hálózatban
  - Berkeley (most Crossbow) Mica mote
    - Egycsatornás 916MHz RF Monolithics, kétirányú kommunikáció 40 kbps-al
    - Atmel Atmega 103 mikrokontroller (4kHz, 512 kB)
    - 2db AA (ceruza)elem
  
- A szenzorok mechanikai védelméről gondoskodni kell!



# Great Duck Island

- Szenzorkártya: Mica Weather Board
  - saját tervezés, a szenzorok egyenként ki-be kapcsolhatók;
  - hőmérséklet, fény, IR (Melexis), nedvesség (General Eastern, +-3% rel.), légnyomás (Intersema, 300-1100 mbar/0.1 mbar)



# Great Duck Island

- Energia korlát: A követelmény 9 hónap és 2.5 Ah a két AA elemből, azaz 8.15 mAh/nap.
- Az alkalmazás dönti el, hogy az eszköz mennyit használ alvásra, érzékelésre, előfeldolgozásra és kommunikációra.

<b>Operation</b>	<b>nAh</b>
Transmitting a packet	20.000
Receiving a packet	8.000
Operating sensor for 1 sample (analog)	1.080
Operating sensor for 1 sample (digital)	0.347
Reading a sample from the ADC	0.011
EEPROM Read Data	1.111
EEPROM Program/Erase Data	83.333

# Great Duck Island

- Szenzor gateway-ek
  - CerfCube beágyazott rendszer
  - CompactFlash alapú 802.11b adapter
  - Embedded Linux op. rendszer
  - 1GB(!) IBM MicroDrive
- Egy gateway fogyasztása 2.5 W(!)
  - Napelemek 60-120W teljesítménnyel napsütésben + 50-100Wh ólom-sav akkumulátor



# Great Duck Island

- Bázisállomás
  - Csatlakozás az Internethez kétirányú műholdas összeköttetéssel.
  - Laptop + relációs adatbázis kezelése
  - Felügyelet nélküli működés (váratlan újraindulásokkal!)



# Great Duck Island

- Relációs adatbázis
  - SQL adatbázis
  - Időbélyeggel ellátott mért szenzor adatok,
  - Információ a szenzorok állapotáról (pl. elem töltöttség)
  - Információ a hálózat állapotáról (összeköttetés és routing info)
  - Meta-adatok (pl. szenzorok helyzete, típusa)
- „Gizmo” – kézi PDA
  - iPaq PDA, Linux
- Szenzorhálózat
  - Multi-hop kommunikáció
  - Hálózaton belüli előfeldolgozás





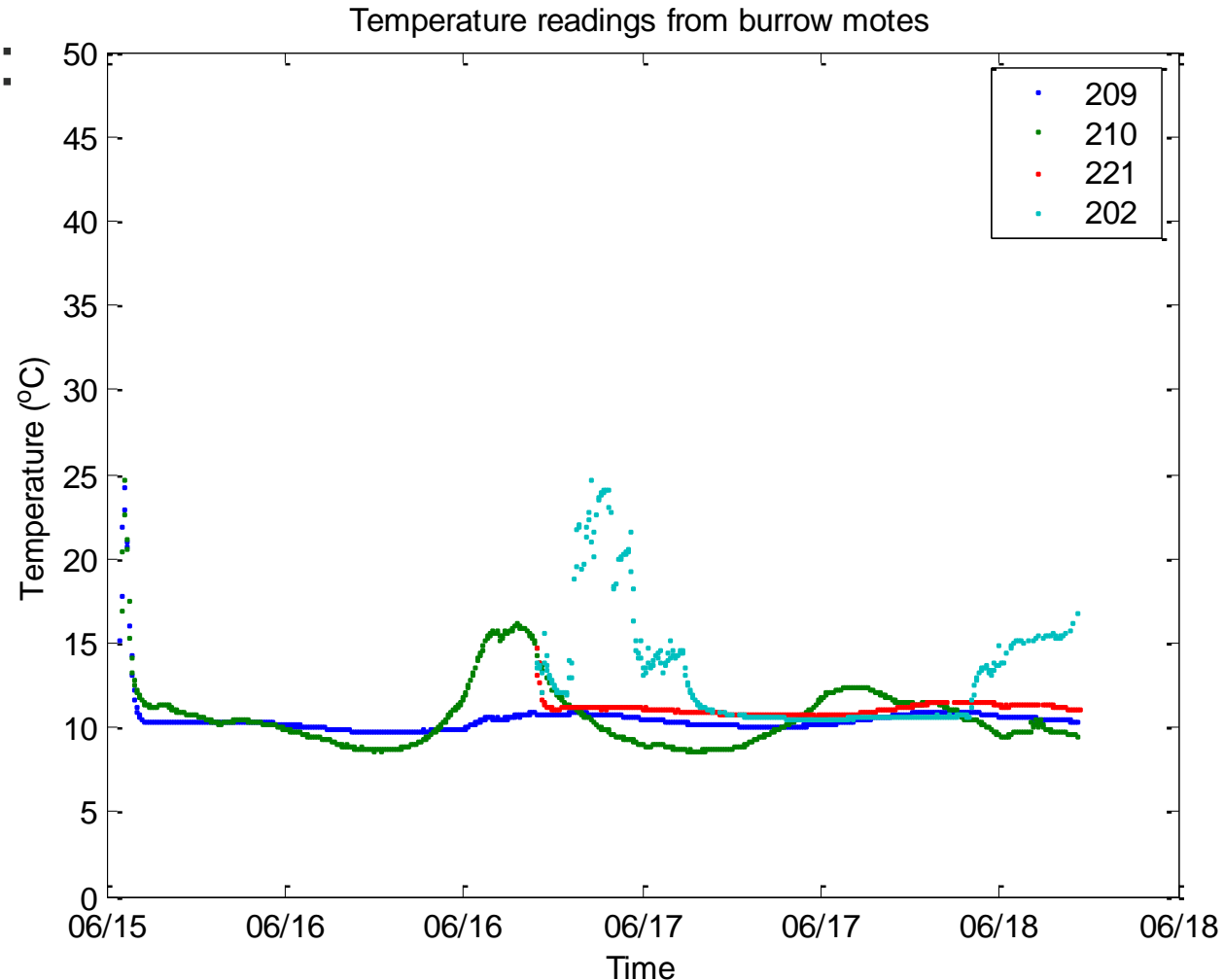
# Great Duck Island

- Problémák az első éles teszt során:
  - A szenzorok túl nagyok, nem férnek be minden fészekbe.
  - A szenzorok tokozása nem nyújtott megfelelő védelmet (korrózió)
  - Csekély robusztusság, nagy veszteség a node-okban -> a mért adatok hiányosak, tudományosan nem megfelelő minőségűek.
- Fejlesztések:
  - Mica2dot platform
  - Kalibrált, digitális szenzorok
  - Miniatűr Weather Station szenzorok



# Great Duck Island

- Alkalmazás státusza (2003. július):
  - 26 fészekbe telepített mote
  - 26 Weather Station szenzor
  - 2 bázisállomás, 2 teljes adatbázis (robosztusság)
  - A területet figyelő webkamerák

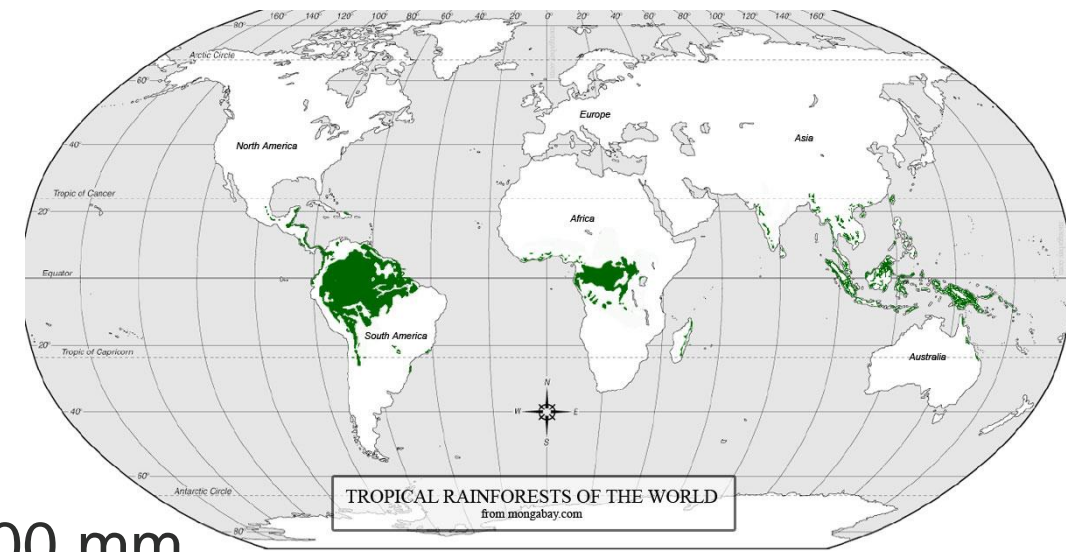


# Esőerdő monitorozás

---

# Esőerdő monitorozás

- A Föld erdeinek egyharmada esőerdő
  - ...egyelőre, de évente 200.000 km<sup>2</sup>-t irtanak ki
    - Magyarország területe 93.000 km<sup>2</sup>
- Éves csapadékmennyiség átlagban 2000-4000 mm
  - Magyarországon átlagosan 5-600 mm
- A Föld élőlény fajainak 60-70%-a innen származik
  - Több millió még felfedezetlen növény, rovar és mikroorganizmus faj
- A Föld oxigén készletének 28%-a itt termelődik, fotoszintézis által



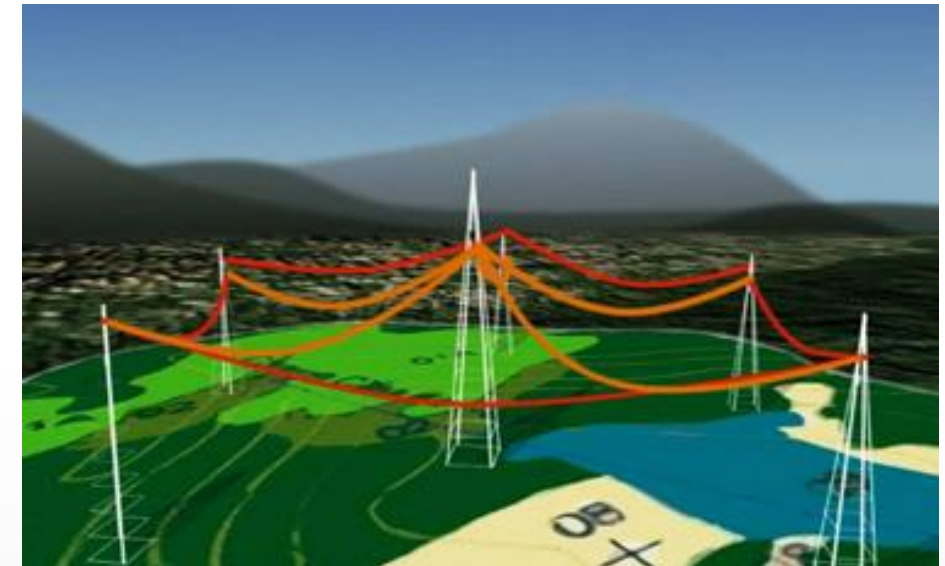
# Az esőerdő rétegei

- **Lombkorona**
  - 35-40 méteres fák lombjainak szinte összefüggő rétege
  - A Föld növényfajainak ~50%-a itt honos
    - Törzseken, ágakon „élősködő” növények
  - A Föld rovarfajainak ~25%-a
  - **Nagyon kevésbé ismert a tudósok által**
- **Lombok alatti réteg**
  - Csak a fény 5%-a hatol át a lombkoronán
  - Gazdag állatvilág, madarak, kígyók, rovarok
- **Földfelszíni réteg**
  - Csak a fény 2%-a jut el idáig
  - Folyók, mocsarak mentén gazdag növényzet
  - Az erdő mélyében alig van növényzet (Gombák, mohák)



# Atlantic Rainforest Sensor Net Research

- Projekt partnerek (2009):
  - Microsoft Research
  - Johns Hopkins University (Life Under Your Feet)
  - Sao Paulo Research Foundation – FAPESP
  - Brazilian National Institute for Space Research – INPE
- Monitorozó rendszer
  - Tornyorok a lombkorona fölé
    - 1 központi torony (60m magas); 5 kisebb torony körülötte
  - Kábelek a tornyorok között
    - 2 méterrel a lombkorona fölött; 1 méterrel a földfelszín fölött; és köztes magasságokban is
  - 600 szenzor a kábelekre erősítve
    - Havi 18 millió mérés (40 mérés / szenzor / óra)



# Atlantic Rainforest Sensor Net Research

- Szenzorok
  - Páratartalom
  - Hőmérséklet
  - Fény



## □ Adatgyűjtés

- A brazil kutatók időnként bemennek egy lappal, és begyűjtik az adatokat
  - A mote-ok a flash memóriában tárolják addig az adatokat
  - Rádiós interfészen időnként elküldik a központi toronyhoz
  - Nem kell fára vagy kötélre mászni
    - Single-hop

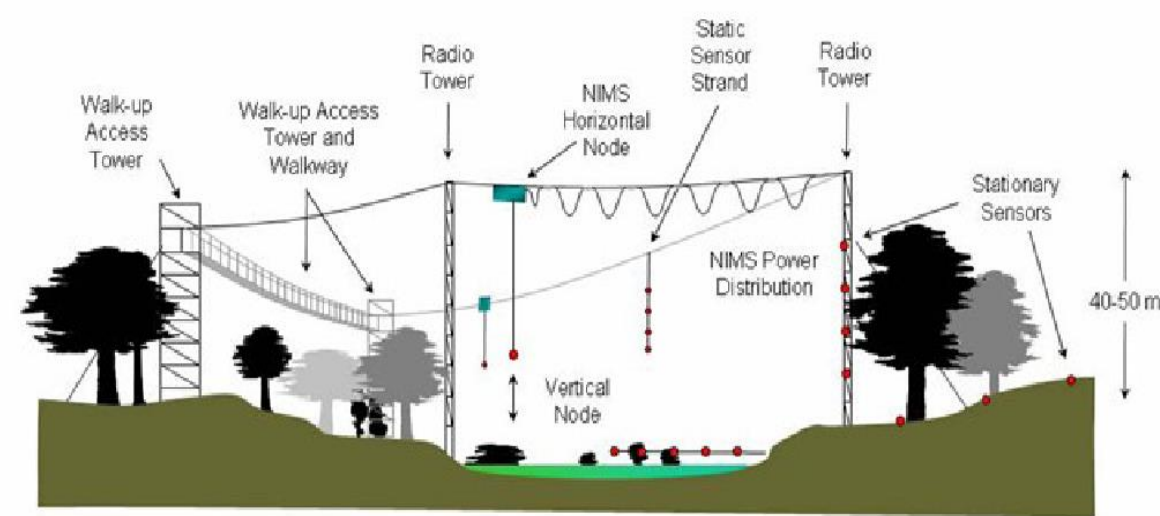
# Atlantic Rainforest Sensor Net Research





# Costa Rica

- UCLA (University of California Los Angeles)
  - Center for Embedded Networked Sensing
  - 4-6 millió USD éves támogatás az NSF-től
    - National Science Foundation
- La Salva Biological Station, Costa Rica
  - Mobil szenzorok a köteleken
    - 1 méter után megáll 30 mp-ig, mér, majd továbbmegy
  - Hőmérséklet, CO<sub>2</sub> tartalom, páratartalom, precíz 3D-s légmozgás, hőáramlás, napsugárzás, fotoszintetikus aktív sugárzás (PAR, 400-700 nm)

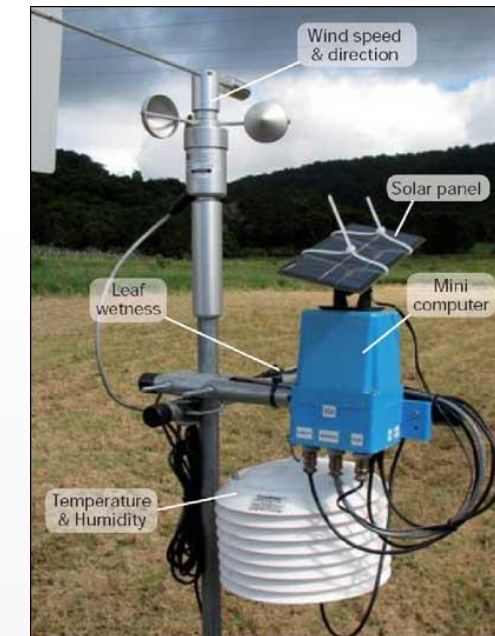
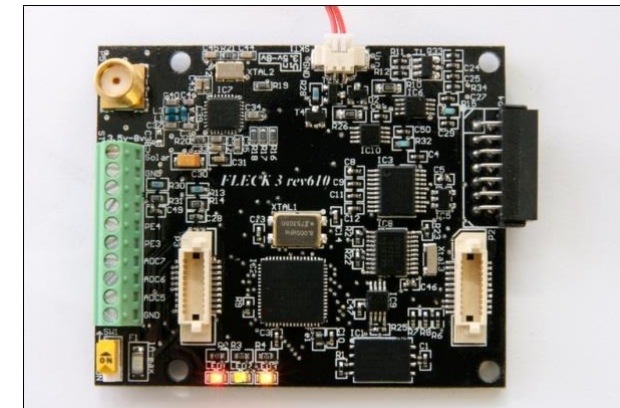


# Costa Rica



## Springbrook National Park South East Queensland, Ausztrália

- Az esőerdő terjeszkedésének monitorozása
  - Környezeti paraméterek összehasonlítása
    - Nyílt terepen (legelő)
    - Fiatal, új erdőben
    - Régi, sűrű erdőben
- Hardver - Fleck™-3 szenzor platform
  - Atmega128 mikro-kontroller
  - Nordic NRF905 rádió, 915 MHz
  - 3 db 1.2V 2700mAh újratölthető akkumulátor
  - Napelemek



# Rádiós kommunikáció az esőerdőben

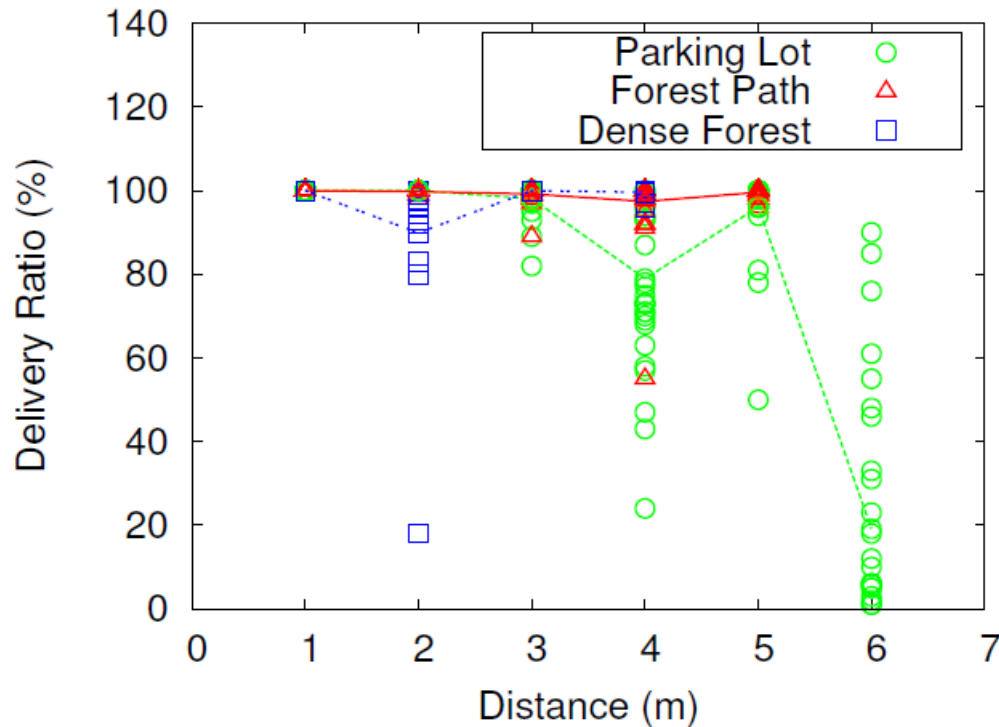
- Három különböző környezet:
  - **Parkoló** (referenciaként)
    - 20 x 200 m, akadályok nélkül
  - **Erdei ösvény**
  - **Sűrű esőerdő**



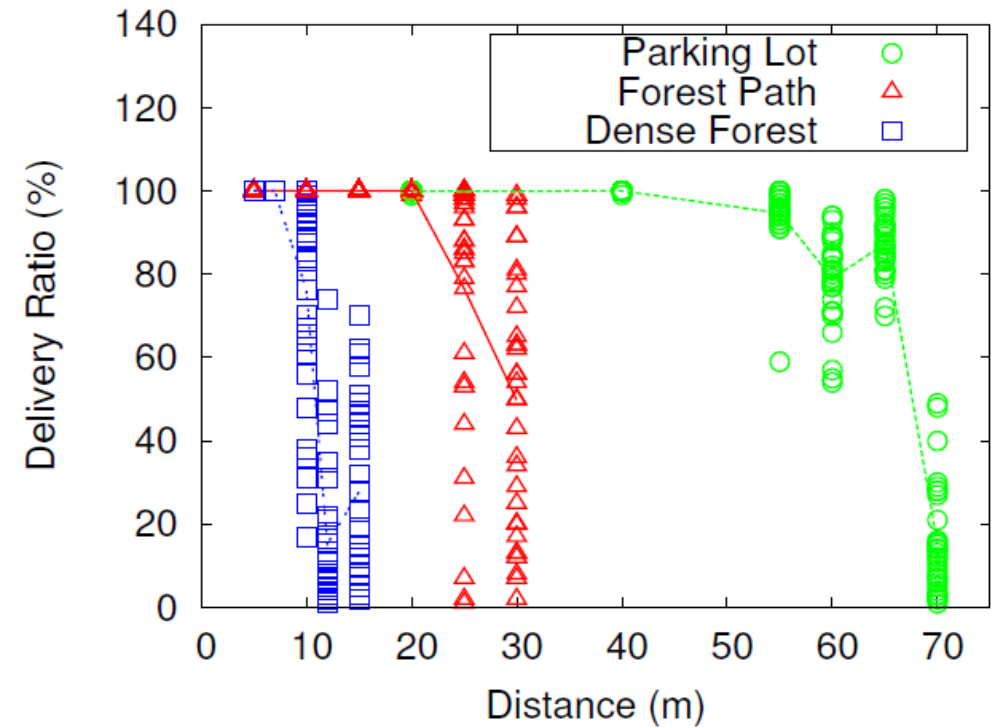
- Figueiredo, C. M. S.; Nakamura, E. F.; Ribas, A. D.; Souza, T. R. B.; Barreto, R. S., „**Assessing the Communication Performance of Wireless Sensor Networks in Rainforests**”, in Proceedings of the 2nd IFIP Wireless Days, 2009.

# Rádiós kommunikáció az esőerdőben

- Szenzorok a földön, illetve 1,25 m magasban
  - Crossbow MicaZ



(a) Nodes on the ground.



(b) Nodes at 1.25m from the ground.

# Egészségügyi szenzorhálózatok

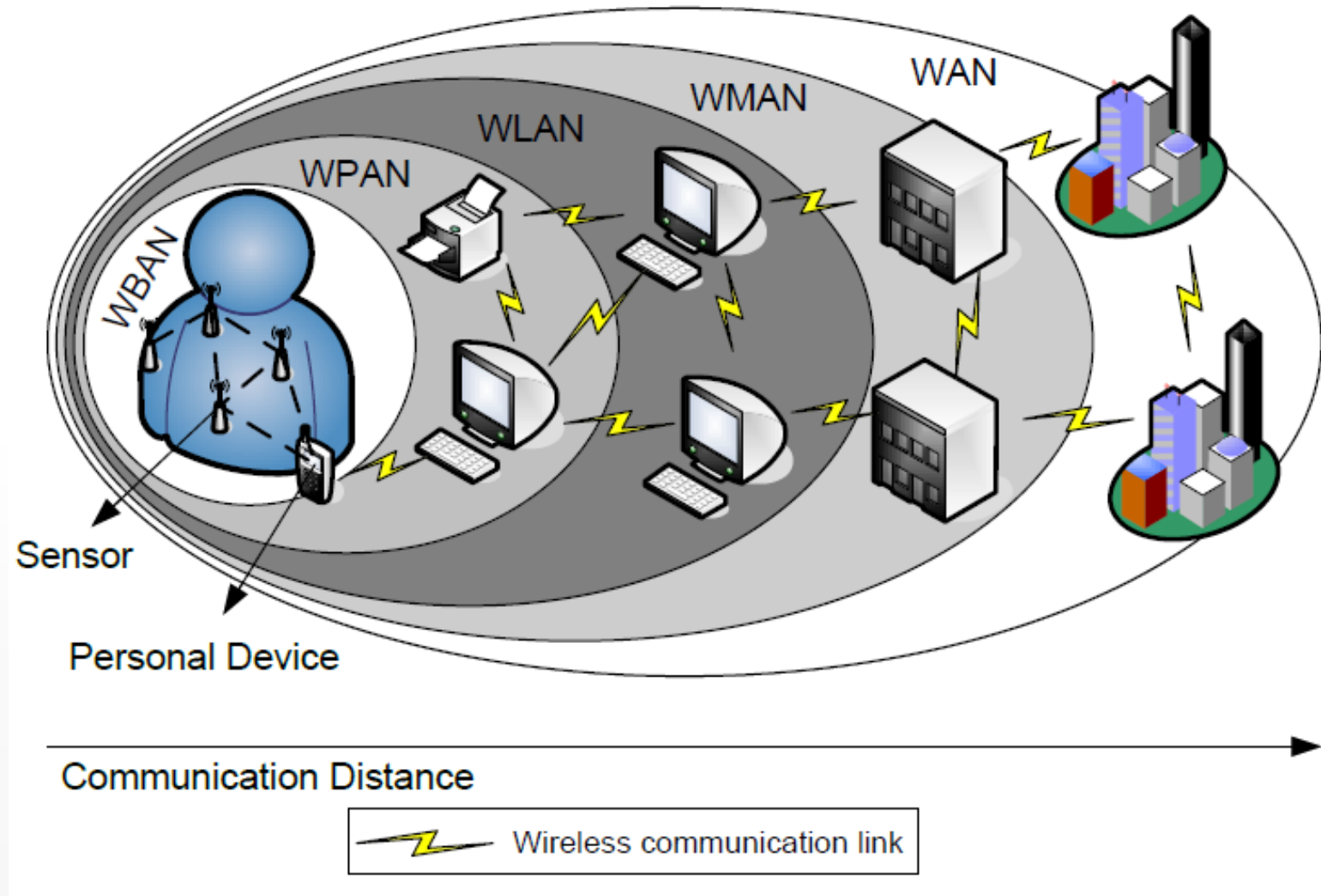
---

# Motiváció

- Öregedő népesség a fejlett országokban
  - Az egészségügyi ellátás nagyon sokba kerül
  - Az USA-ban 1800 milliárd \$ (2004-ben), a GDP 20%-a
- eHealth
  - Elektronikus eszközökkel és kommunikációval támogatott egészségügyi ellátás
  - Olcsóbb (hosszú távon)
    - Nem kell betegápolót, kórházi helyet fizetni
  - Nagyobb (mozgás)szabadság a betegnek
- mHealth
  - Mobil kommunikáció
- Wireless Body Area Network (WBAN)
  - K. Van Dam, S. Pitchers, and M. Barnard, „**Body area networks: Towards a wearable future**” in Proceedings of WWRF kick of meeting, Munich, Germany, 6-7 March 2001.

# Wireless Body Area Network (WBAN)

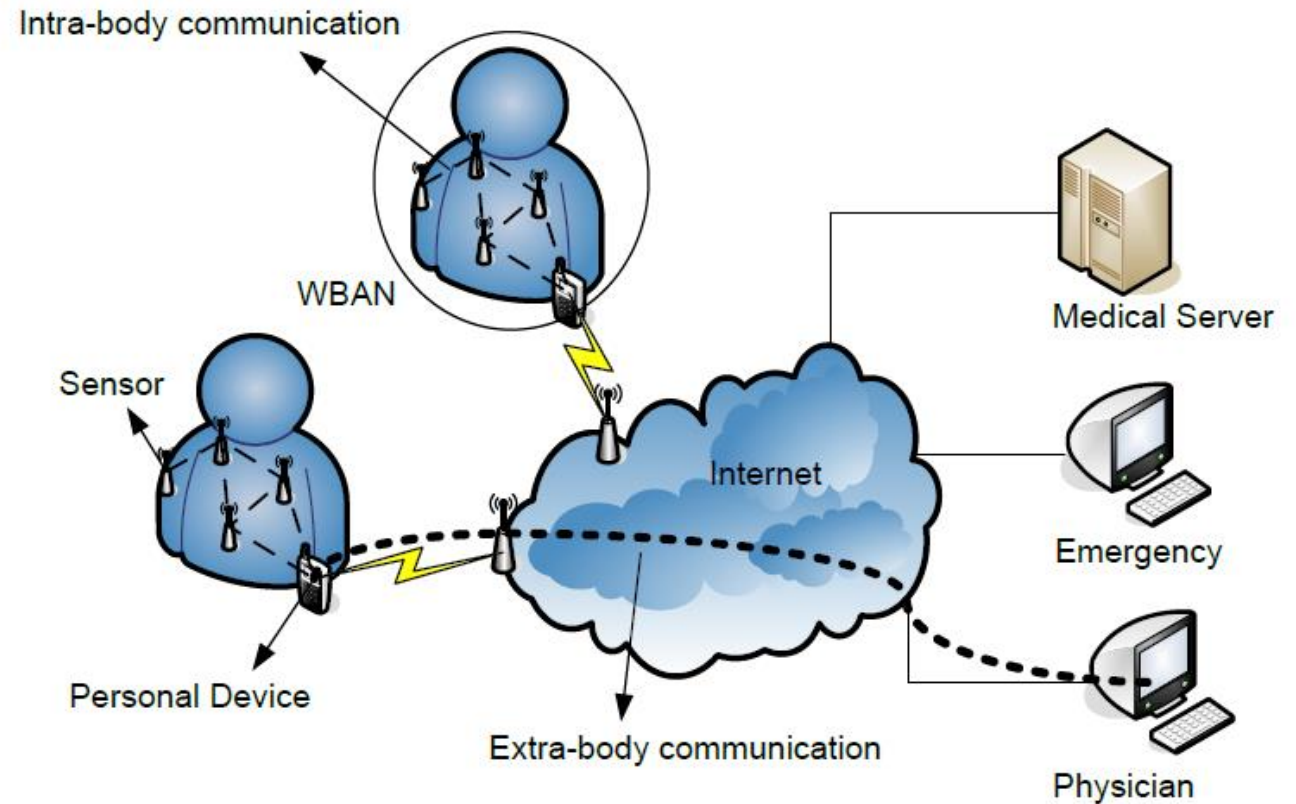
- „Testközeli” hálózatok
  - Szenzorok a testben
  - Szenzorok a testen
  - Szenzorok a ruhában
  - Személyes felhasználói eszközök





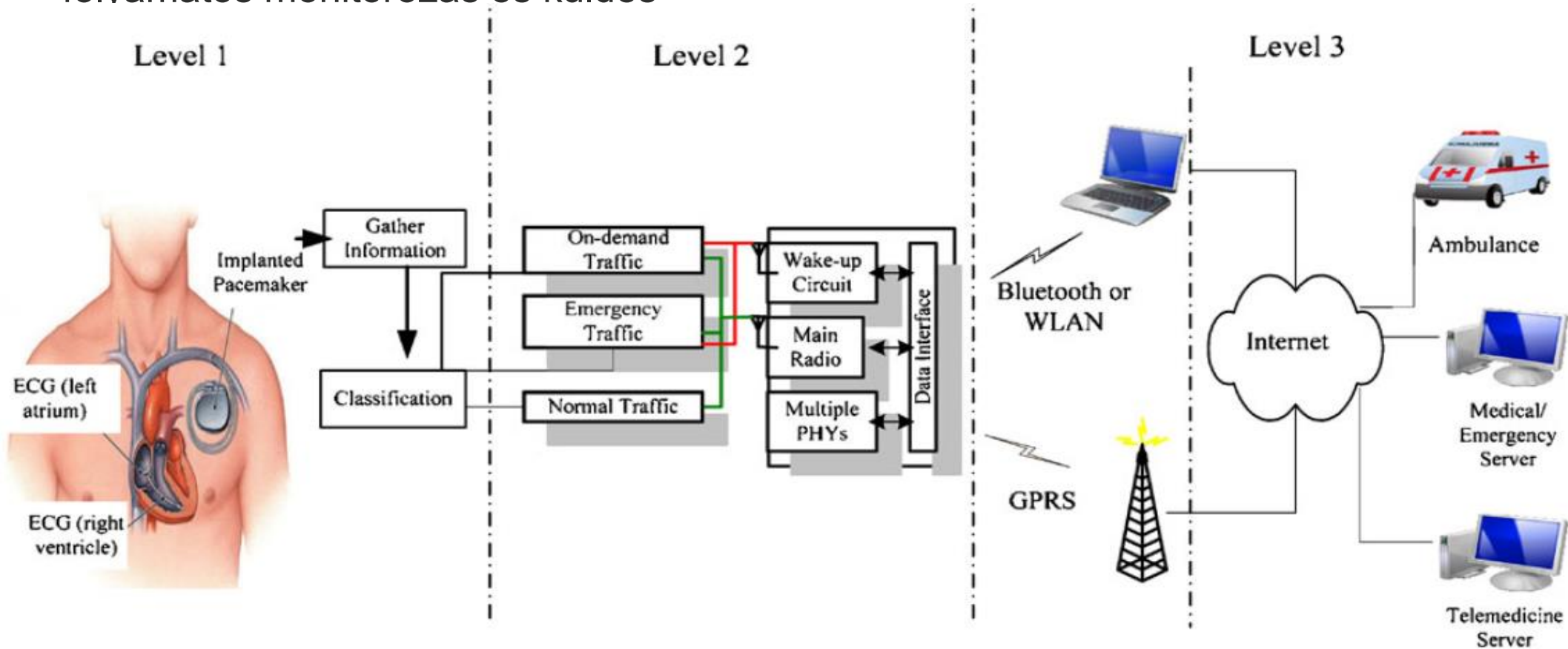
# Wireless Body Area Network (WBAN)

- A szenzorok **valós időben** monitorozzák a különböző életfunkciókat
  - Adatok küldése az orvosi központba, mentőállomásra
  - Hosszú távú monitorozás, sokkal hatékonyabb mint a periodikus mérések
- Testen belüli és testen kívüli hálózat, kommunikáció
  - PDA vagy okostelefon mint nyelő és gateway



# Wireless Body Area Network (WBAN)

- Három forgalom típus:
  - **On-demand:** az orvos kérésére; **Emergency traffic:** hirtelen esemény jelzése; **Normal traffic:** folyamatos monitorozás és küldés

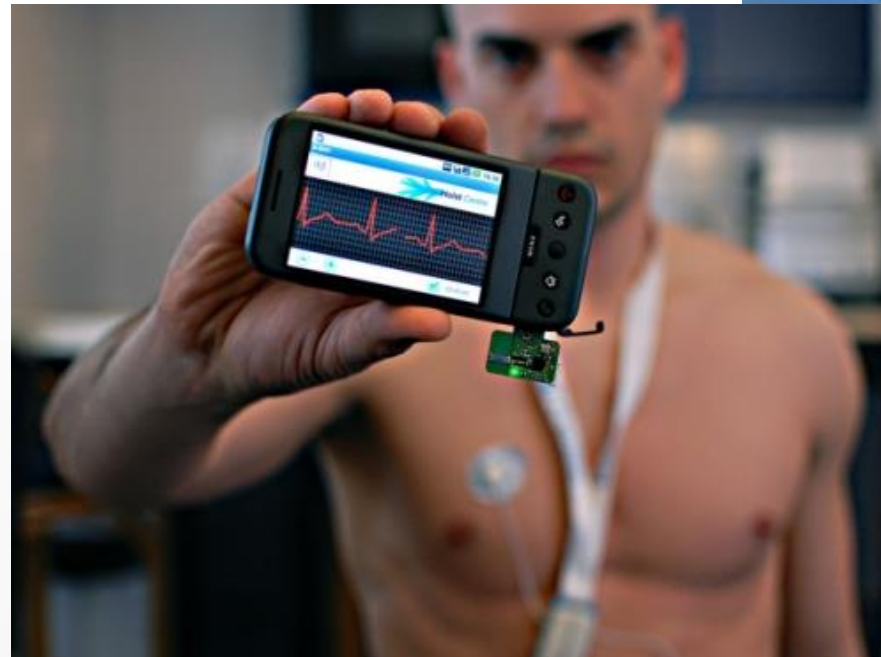
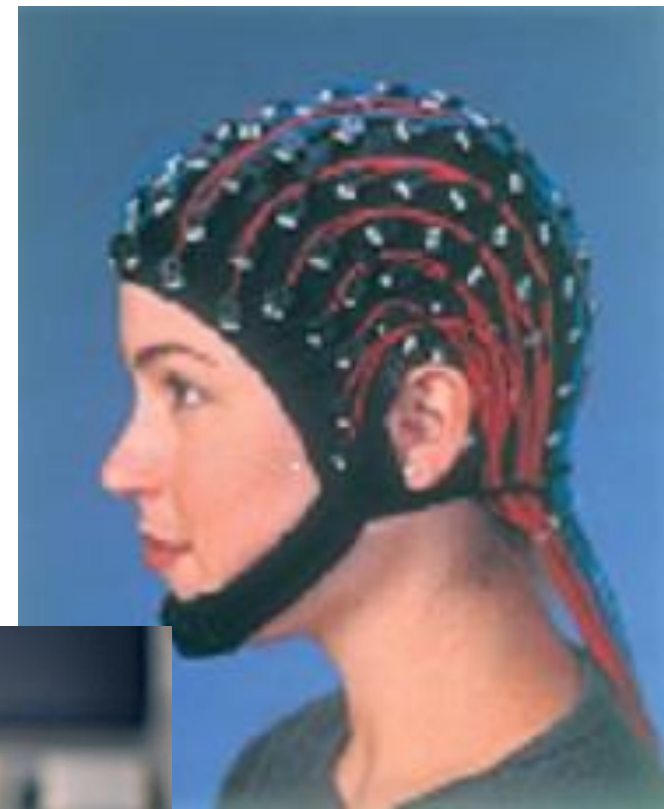


# Motiváció (folyt.)

- A legelterjedtebb halálozási ok a szív és érrendszeri megbetegedések (CVD) – 30%
  - Évente 17,5 millió ember hal meg infarktusból vagy agyvérzésben (WHO)
- 246 millió cukorbeteg a világban
  - 2025-re 380 millió lesz az előrejelzések szerint
- Sok más betegségénél is hasznos lehet a folyamatos monitorozás
  - Magas vérnyomás, asztma, Alzheimer kór, Parkinson kór, vese elégtelenség, hirtelen gyermekhalál, stb.

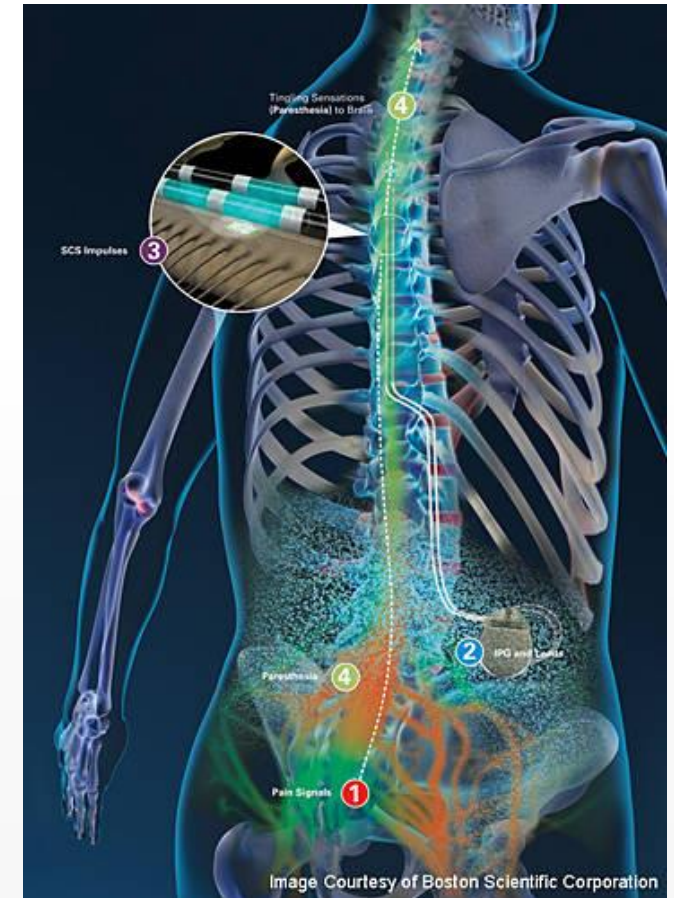
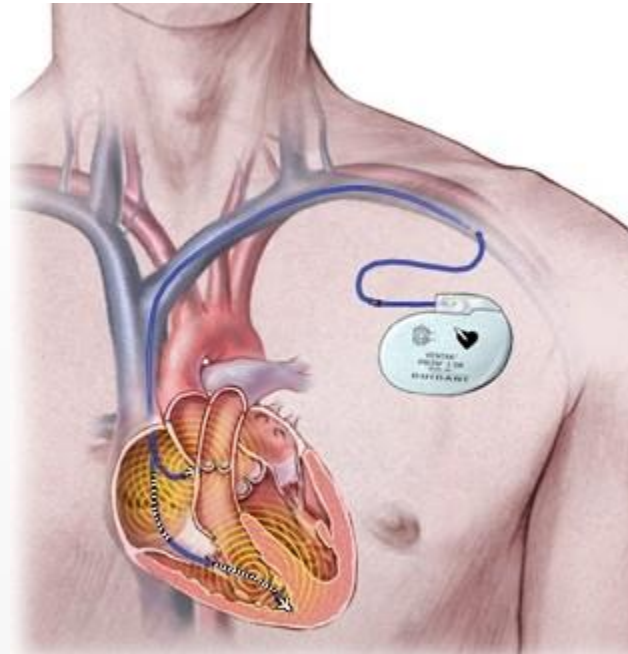
# WBAN szenzorok

- Folyamatos mérések
  - Testhőmérséklet
  - Vérnyomás, pulzus, lélegzetvétel sűrűsége
  - EKG – elektrokardiogramma
    - Szívműködés vizsgálata
  - EEG – elektroencefalográfia
    - Az agyműködés vizsgálata



# WBAN aktuátorok

- Inzulin adagoló
  - Folyamatos vércukor szint monitorozás a cukorbetegéknél
  - Ha szükség van rá, aktiválja az adagolót
- Hátgerinc stimulátor, izom stimulátor
- Mesterséges retina
- Pacemaker



# RFID azonosító

- Beépítve az emberi testbe
  - Azonosítás, személyes adatok, egészségügyi adatok
  - De akár bankkártyás fizetés is



# WBAN vs. WSN

- Nagyon korlátozott energiatartalék (WBAN)
  - A nagyon kis méretből adódóan is ( $< 1 \text{ cm}^3$ )
  - Nem lehet újratölteni, de elvárt a több éves vagy évtizedes működés is, egy beültetett eszköz esetén
    - Energia termelés a test hő illetve a test vibrációk átalakításából
  - Korlátozott számítási kapacitás, memória
- Nincs redundancia, csak olyan eszközt ültetnek be amire szükség van
- Nagyon alacsony rádiós adóteljesítmény engedélyezett csak
- A rádiós hullámokat jelentősen csillapítja a test, nagy a csomagvesztési arány
- A felhasználó mozgása miatt a topológia folyamatosan változhat
- Általában orvosi adatok, szükséges a nagy megbízhatóság és az alacsony késleltetés
- Fontos a privát orvosi adatok biztonsága

# WBAN fizikai réteg

- Kommunikációs frekvenciák
  - **Wireless Medical Telemetry Services (WMTS)**
    - Inkább csak az USA-ban használt, licenz köteles frekvencia
    - Az FCC (Federal Communications Commission) támogatja, kevesebb interferencia
    - 608-614 MHz, 1395-1400 MHz, 1427-1432 MHz
  - **Industrial, Medical, Scientific (IMS)**
    - Több frekvencia itt is, pl. 900 MHz, 2,4 GHz, 5 GHz
    - Sokminden bezavarhat – WiFi, Bluetooth, Zigbee
  - **Medical Implants Communication Service (MICS)**
    - Licenzköteles, dedikált frekvencia
    - 402-405 MHz
  - **Ultra Wide Band (UWB)**
    - 3,1 – 10,6 GHz
    - Nagyon kis teljesítmény, rövid hatótávolság, nagy sáv szélesség



# WBAN fizikai réteg

- Különböző paraméterek befolyásolhatják, hogy melyik a hatékonyabb csatorna
  - Beltér, kültér, testen belül, testen kívül, felhasználó aktivitása, mozog-e, szalad-e, line of sight vagy sem
- Antenna design
  - A testen belül csak bio-kompatibilis anyagból mely nem korrodálódik
    - Platina vagy titánium
    - Nem annyira hatékony mint mondjuk a réz
  - Az antenna mérete, formája függ a testen belüli helyzettől
- Korlátozott adóteljesítmény (25  $\mu$ W)
  - ETSI, FCC, ITU-T
  - Pl. 802.11-nél 100-1000 mW

# WBAN MAC

- A MAC rétegben kompromisszum a megbízhatóság, késleltetés és energiahatékonyság között
- Hagyományos WSN MAC algoritmusok nem biztosítanak megfelelő átviteli sebességet és kellően kicsi késleltetést
  - Környezet monitorozásnál nem kritikus a késleltetés
  - EKG monitorozásnál igen, a limitált puffer méret miatt is
    - A mért adatot minél hamarabb ki kell küldeni, mielőtt törlődne a pufferből
  - Hagyományos WSN MAC
    - Szinkronizált alvás-ébrenlét: S-MAC, T-MAC, stb.
    - Low Power Listening (LPL): WiseMAC, B-MAC
- Egy WBAN esetében heterogén szenzorok, heterogén energia követelmények és forgalmi karakterisztikák

# WBAN MAC

- Dedikált WBAN MAC algoritmusok
  - Energia-hatékony MAC
    - Cascading Information retrieval by Controlling Access with Distributed slot Assignment (**CICADA**)
      - Multi-hop, mobil BAN, nagy forgalom, gyakori küldés puffereles helyett, igény az alacsony késleltetésre
    - **BAN-MAC**
      - Ultra-low-power MAC, adaptív, az energia-kritikus szenzorok energia-hatékonyágát teszi előtérbe
    - **H-MAC**
      - TDMA alapú, A szívritmust használja fel idő szinkronizációra
      - Nem kell a rádiót bekapcsolni, és szinkronizációs jelzescsomagokat várni
  - QoS MAC algoritmusok
    - **BodyQoS**
      - Priorizált adatfolyamok támogatása
      - Admission Control, QoS scheduler, Virtual MAC
      - Master-slave alapú ütemezés az aggregátor és a szenzorok között

# WBAN útválasztó algoritmusok

- A hagyományos WSN útválasztó algoritmusok nem használhatóak
  - Általában homogén eszközökre, fix topológiára tervezve
  - Energiahatékonyság, kevés művelet, memória olvasás
- **PI: Hőmérséklet alapú útválasztás**
  - A rádiós hullámokat elnyeli, hővé alakítja a test
  - **Thermal Aware Routing Algorithm (TARA)**
    - Elvezeti a csomagokat a meleg területekről
  - **Least Temperature Routing (LTR) és Adaptive LTR**
    - Ha már elért egy adott ugrásszámot, átvált legrövidebb utas küldésre
  - **Least Total Route Temperature (LTRT)**
    - A csomópontok hőmérsékletét súlyokra fordítja a gráfban
      - Legkisebb hőmérsékletű utakat keres
    - Hátrány hogy mindenkinek ismerni kell minden csomópont hőmérsékletét

# Ambient Assisted Living (AAL)

- Ambiens intelligenciára épülő életvitel
  - Kiemelt prioritás az EU-ban
- Intelligens otthon
  - Szenzorok a házban, az idősök aktivitásának monitorozására

