

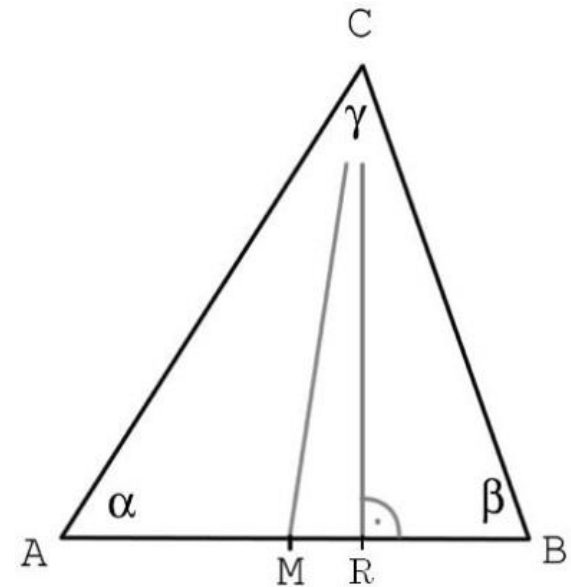
Helymeghatározás

Balogh András
BME-HIT

- **Abszolút módszerek**
 - Háromszögelés
 - Trilateráció
 - Multilateráció
 - Ujjlenyomat-módszer
 - Közelség-alapú
- **Relatív becslések**
 - Elmozdulás iránya és nagysága

Háromszögelés

- Háromszögelés
 - Min. 2 db referenciapont: **A** és **B**
 - Min. 2 db **szög** mérése: α és β



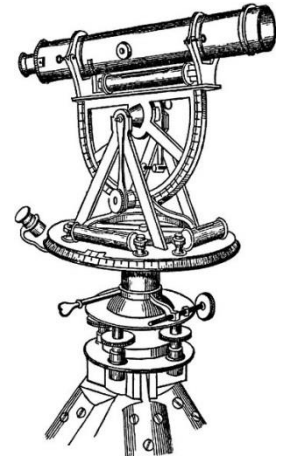
$$y - a_2 = \tan(\alpha + \theta) \cdot (x - a_1)$$

$$y - b_2 = \tan(180^\circ - \beta + \theta) \cdot (x - b_1)$$

Háromszögelés

- Szögek közvetlen mérése:

- A geodézia (földmérés) módszere
- Az alkalmazott eszköz: teodolit
 - Azimutális és elevációs szögeket mér
 - Régebben analóg, manapság már digitális
- Az összetettebb eszközök egyúttal távolságot is mérnek
 - Ez gyakorlatilag helyvektorokat eredményez
- A polárkoordinátákról a Descartes-féle rendszerbe való áttérés összefüggései ismertek
 - Ez egy lokális koordináta-rendszer esetén nem is jelent problémát, „globális” esetben viszont annál inkább (vetületi rendszerek)
 - A modern eszközök ezt már lekezelik



- **Vetületi rendszerek:**

- Magyarországon: 1975-ben egységesítették

- Egységes Országos Vetület (HD72/EOV)

- Ferdetengelyű, szögtartó, süllyesztett hengervetület

- Alapfelület: IUGG 67 ellipszoid

- X pozitív iránya északra, az Y keletre mutat

- Az X tengely a gellérthegyi alapponton áthaladó kezdő meridián vetített képe, az Y tengely az ország középső szélességi körén helyezkedik el

- A tengelyeket úgy tolták el, hogy az ország az első koordináta-negyedbe essen

- Beiktattak egy felcserélés elleni védelmet is

- Az ingatlan nyilvántartási és a polgári térképek ebben a rendszerben készülnek

Háromszögelés

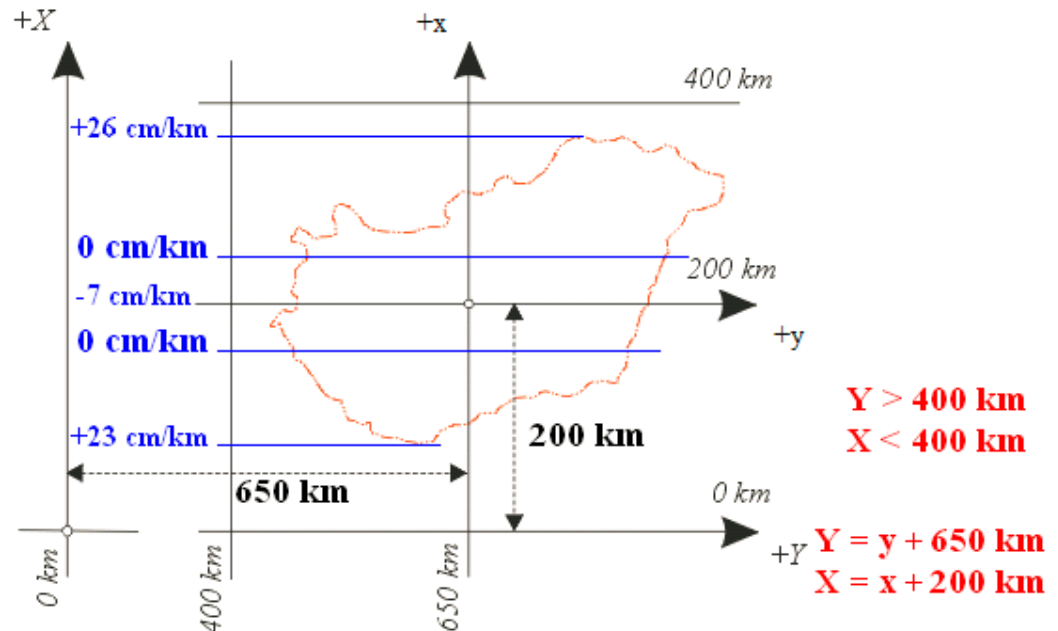
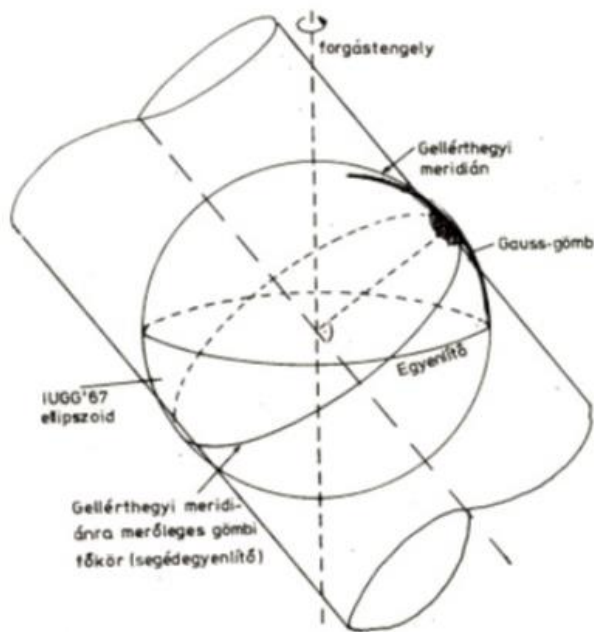
- **Vetületi rendszerek:**

- Magyarországon: 1975-ben egységesítették

- Egységes Országos Vetület (HD72/EOV)

- Ferdetengelyű, szögtartó, süllyesztett hengervetület

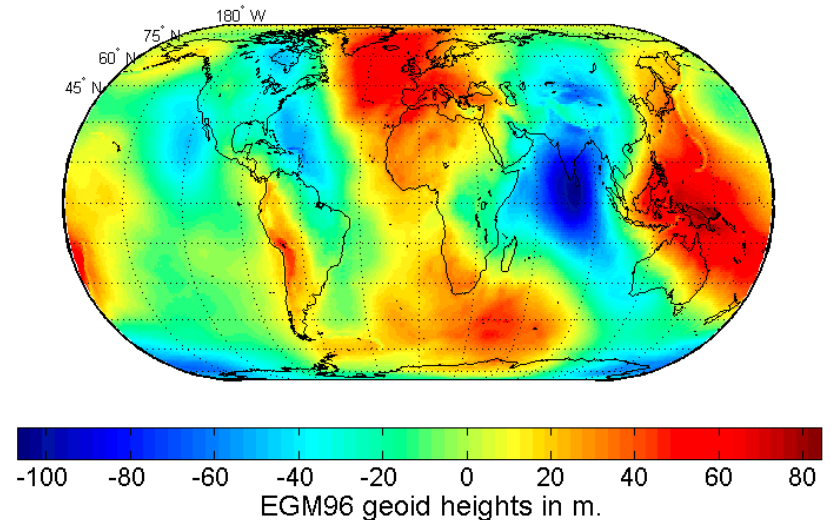
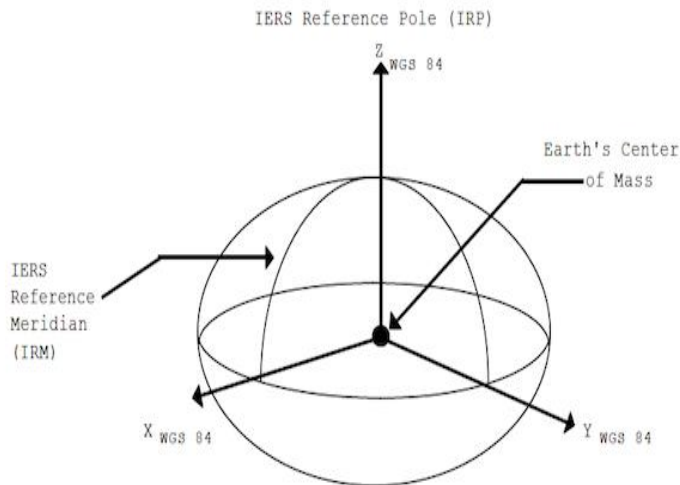
- Alapfelület: IUGG 67 ellipszoid



- **Vetületi rendszerek:**

- A világon: 1984-ben egységesítették (NATO)

- World Geodetic System (WGS 84)
- A GPS referencia-rendszere
- Az origo a Föld tömegközéppontja
- Alapfelület: Earth Gravitational Model (EGM) 96 ellipszoid
 - Ez határozza meg a tengerszint névleges magasságát



- **Vetületi rendszerek:**

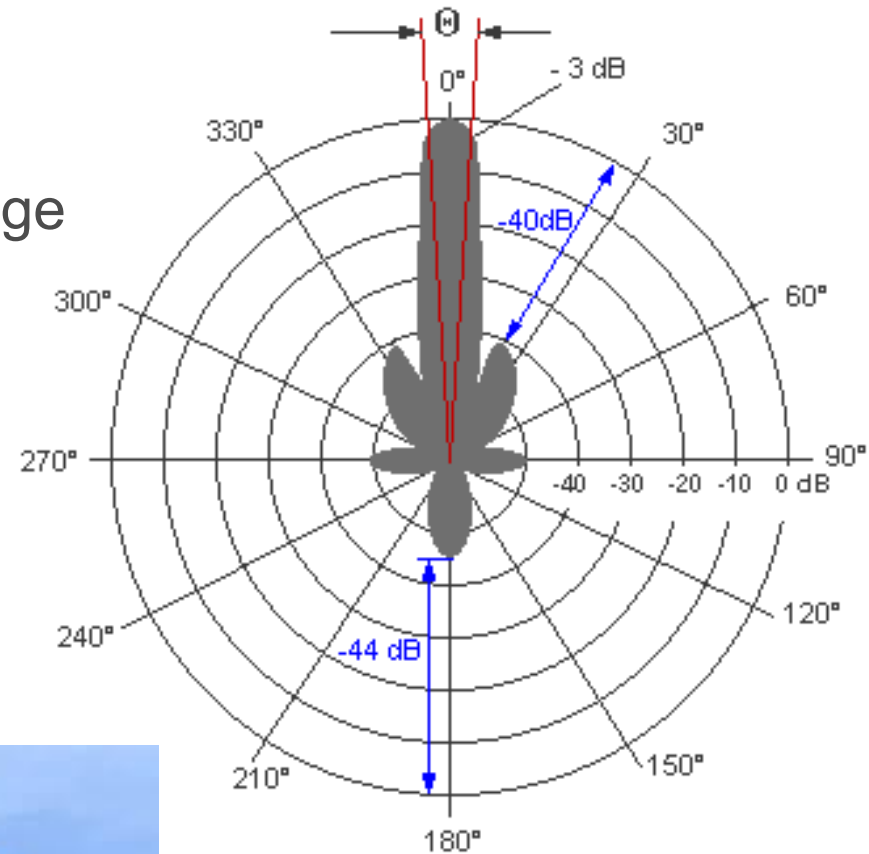
- A világon: 1984-ben egységesítették (NATO)

- World Geodetic System (WGS 84)
- A GPS referencia-rendszere
- Az origo a Föld tömegközéppontja
- Alapfelület: Earth Gravitational Model (EGM) 96 ellipszoid
 - Ez határozza meg a tengerszint névleges magasságát
- Gömbi koordináta rendszer (Latitude, Longitude, Altitude)
 - IRP (IERS Reference Pole): Latitude = +90°
 - IRM (IERS Reference Meridian): Longitude = 0°
 - » 5.3 szögperc (102 méter) keletre a Greenwich-től
- Két pont között a távolság a szögek függvénye (haversine):

$$d = 2R \arcsin \left(\sqrt{\sin^2 \left(\frac{\varphi_2 - \varphi_1}{2} \right) + \cos(\varphi_1) \cos(\varphi_2) \sin^2 \left(\frac{\omega_2 - \omega_1}{2} \right)} \right)$$

Háromszögelés

- Angle of Arrival (AoA) mérések:
 - Radar-elv:
 - Nyaláb iránya és szélessége
 - Nyaláb forgatása
 - Megvalósítás:
 - Antennarendszer
 - Mechanikus forgatás



Trilateráció

- **Trilateráció**

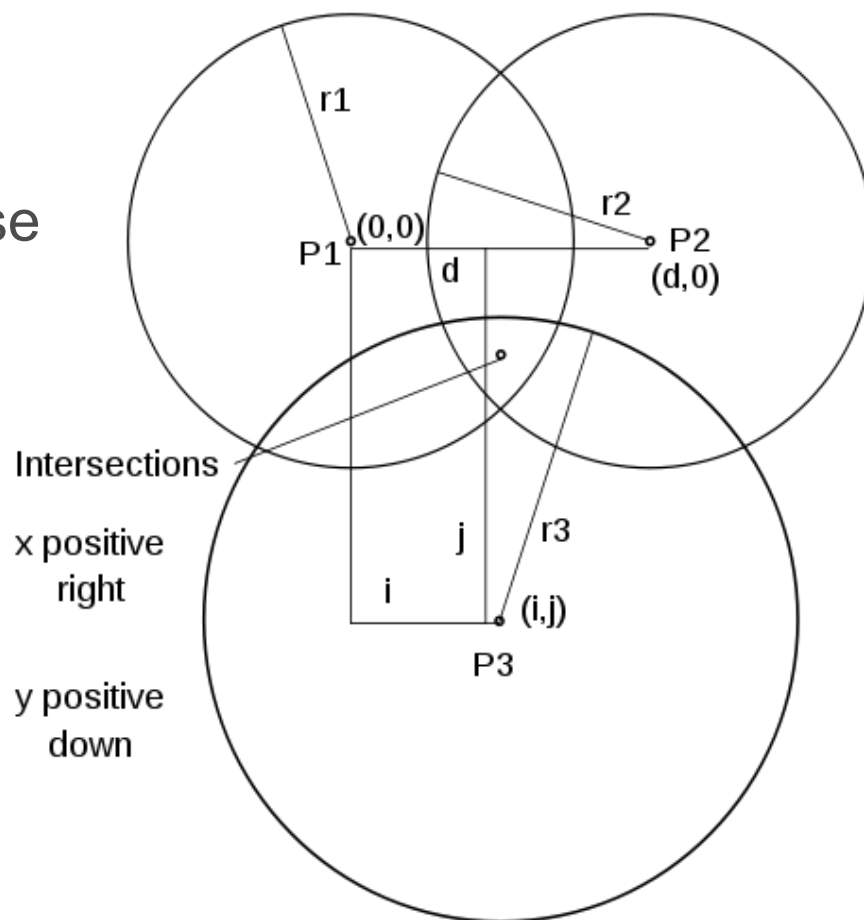
- Min. 3 db referenciapont
- Min. 3 db **távolság** mérése

$$r_1^2 = x^2 + y^2 + z^2$$

$$r_2^2 = (x - d)^2 + y^2 + z^2$$

$$r_3^2 = (x - i)^2 + (y - j)^2 + z^2$$

$$z = \pm \sqrt{r_1^2 - y^2 - x^2}$$



- **Távolságmérés**
 - Time of Arrival (ToA)
 - Rádiós jel adása és vétele között eltelt idő
 - Időszinkron az adó és a vevő között
($\Delta t = 10\text{ns} \rightarrow \Delta d \cong 3\text{m}$)
 - Vételi teljesítmény (RSSI)
 - Adási és vételi jel teljesítményének különbsége
 - Link Budget + csatornamodellek (fading)

$$P_{RX} = P_{TX} + G_{TX} - L_{TX} - L_{PL} - L_M + G_{RX} - L_{RX}$$

$$L_{PL} = L_0 + 10 \cdot \gamma \cdot \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_G$$

- **Távolságmérés**

- Vételi teljesítmény (RSSI)

- Jellemzően signed integer metrika
- Mit okoz 1 dB (skála) hiba a távolságbecslések során?

- Szabadtéri terjedési modell:

$$d = \frac{\lambda \cdot 10^{\frac{L - G^T - G^R}{20}}}{4\pi}$$

- Hibaszámítással:

$$\frac{\Delta d}{\Delta(L - G^T - G^R)} = \frac{\ln(10)}{20} \cdot d = 0,115 \cdot d \left[\frac{m}{dB} \right]$$

- Azaz az elérhető pontosság nem független a mérőponttól való távolságtól...

Multilateráció

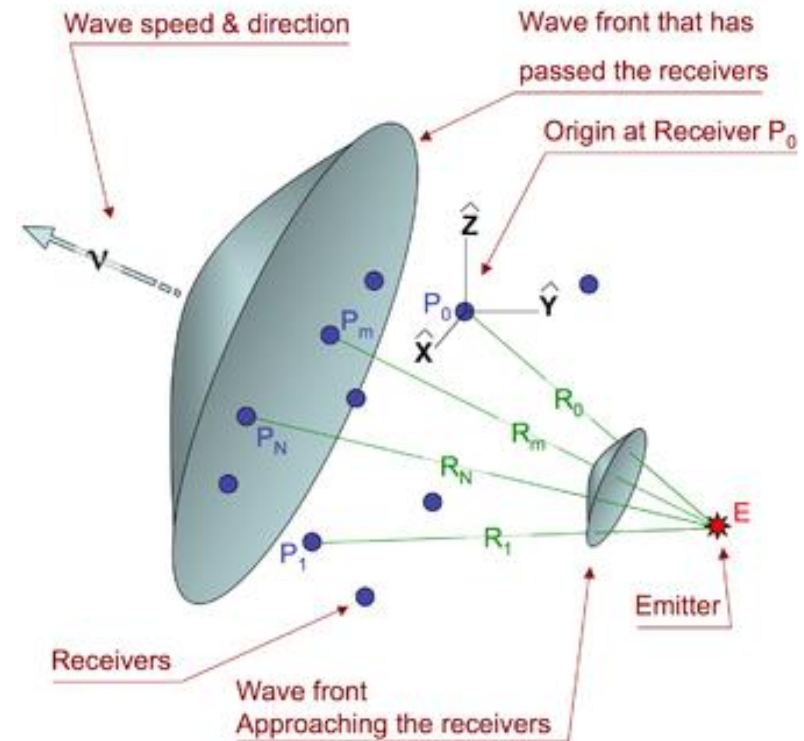
- **Multilateráció (hiperbolikus)**
 - Min. 4 db referenciapont
 - Távolságkülönbségek mérése

$$\Delta R_m = R_m - R_0 \quad m = 1, 2 \dots N$$

$$0 = xA_m + yB_m + zC_m + D_m$$

$$A_m = \frac{2x_m}{\Delta R_m} - \frac{2x_1}{\Delta R_1} \quad B_m = \frac{2y_m}{\Delta R_m} - \frac{2y_1}{\Delta R_1}$$

$$C_m = \frac{2z_m}{\Delta R_m} - \frac{2z_1}{\Delta R_1} \quad D_m = \Delta R_m - \Delta R_1 - \frac{x_m^2 + y_m^2 + z_m^2}{\Delta R_m} + \frac{x_1^2 + y_1^2 + z_1^2}{\Delta R_1}$$



- **Távolságkülönbség-mérés**
 - Jellemzően időkülönbségek (TDoA)
 - Time Difference of Arrival
 - Az adó és vevő(k) között nincs szükség időszinkronra
 - Megvalósítási módok:
 - Referenciapontok általi sugárzás, vagy vétel
 - Jelek (források) egymástól való elkülönítése
 - Időben, frekvenciában, vagy kódolással
 - PI. keresztkorrelációval
 - A vett jelek teljesítménykülönbségeivel is működik
 - Azaz a távolságkülönbségek alapját bármilyen távolságbecslő metrika képezheti

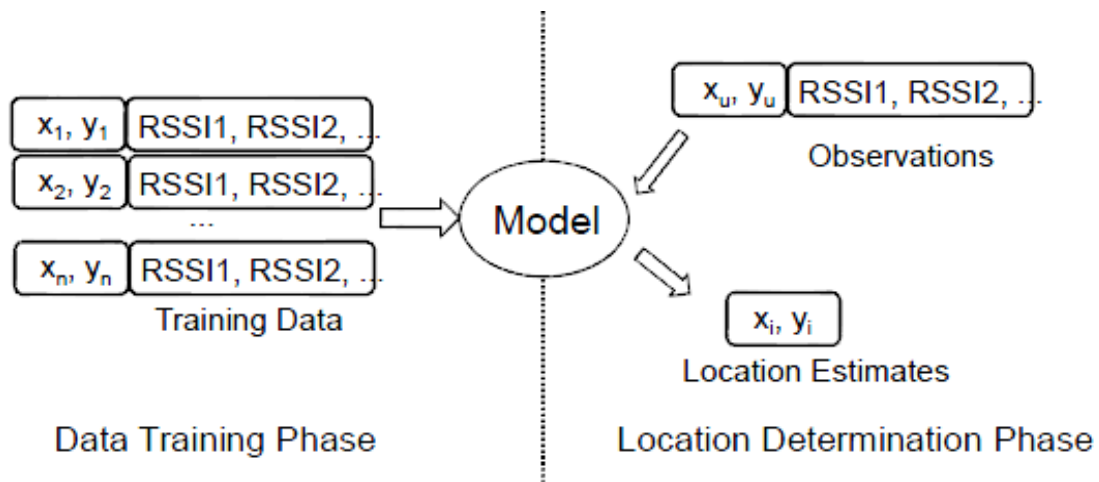
- **Fingerprinting**

- Tanulási fázis:

- Előzetes mérések alapján az adott jellemző paraméter statisztikájának hozzárendelése a tér egy megadott pontjához

- Pozicionálási fázis:

- A megadott paraméter mérése, majd a mért adatokhoz legközelebb eső statisztika alapján a pozíció becslése



Ujjlenyomat-módszer

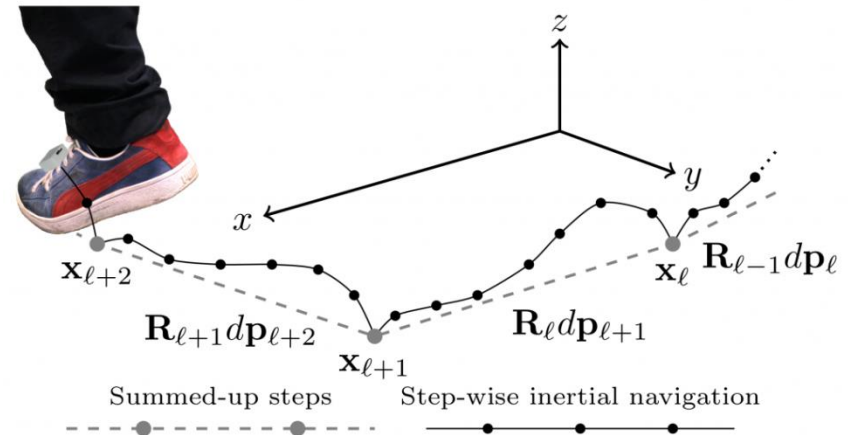
- **Mintakeresés**
 - Jellemző paraméter
 - Pl. Vételi teljesítmény, bit-hiba arány, terjedési idők, stb.
 - Mérték: a távolsággal mutatott korreláció
 - Az „ujjlenyomatok” célszerűen egyediek kellene legyenek
 - A jellemző paraméter függvényében
 - Osztályozó algoritmusok a legjobb pozíció becsléséhez
 - Pl. kNN (k-nearest neighbor), nearest centroid, stb.
- **További tulajdonságok:**
 - Kaotikus és/vagy nemlineáris környezetek „támogatása”
 - Előzetes „felmérést” igényel a tanulási fázisban
 - Az ujjlenyomatok „egyedisége” külön biztosítandó

- **Közelség-alapú pozicionálás (Proximity)**
 - Kapuk, fojtópontok, fix állomások
 - Detekció-alapú:
 - Ha „elegendően” közel kerül az adó és a vevő, úgy a kommunikáció létrejött az az esemény, amely az állomások közelségét jelzi.
 - Jelenleg az egyik legelterjedtebb beltéri pozicionálási módszer



Relatív helymeghatározás

- **Hozzávetőleges helymeghatározás**
 - Nincsenek abszolút referenciapontok
 - Az elmozdulás iránya és nagysága határozza meg a trajektóriát az idő függvényében
 - Abszolút pozíciók származtatása
 - Pontosan ismert kiindulópontból és kezdeti irányból
- **Jellemző megvalósítás**
 - Gyorsulásmérők, gyroszkópok, és iránytűk segítségével
 - Komplex mozgásmodellek (dead-reckoning)

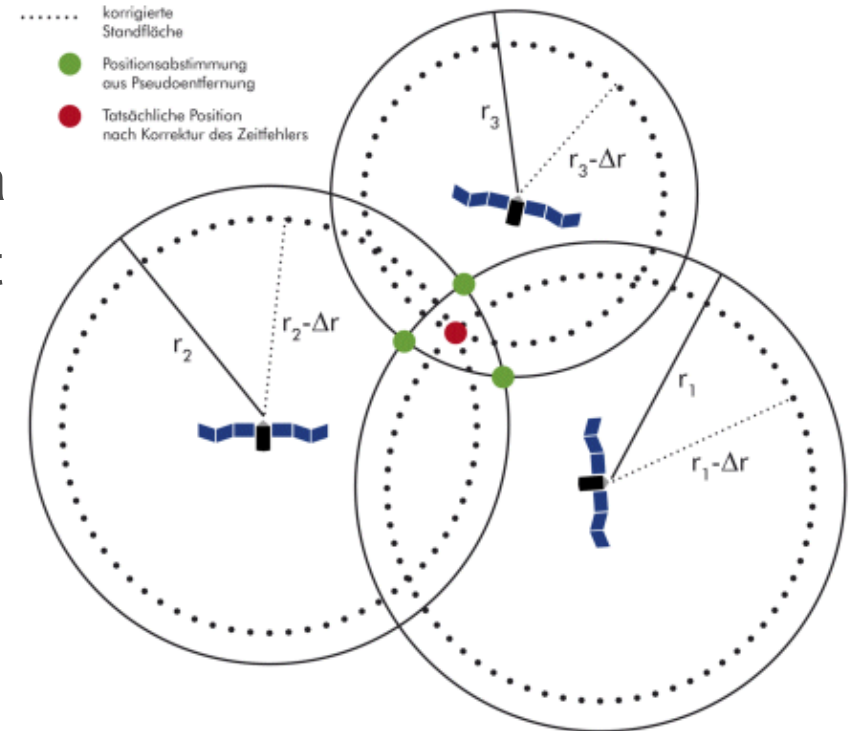
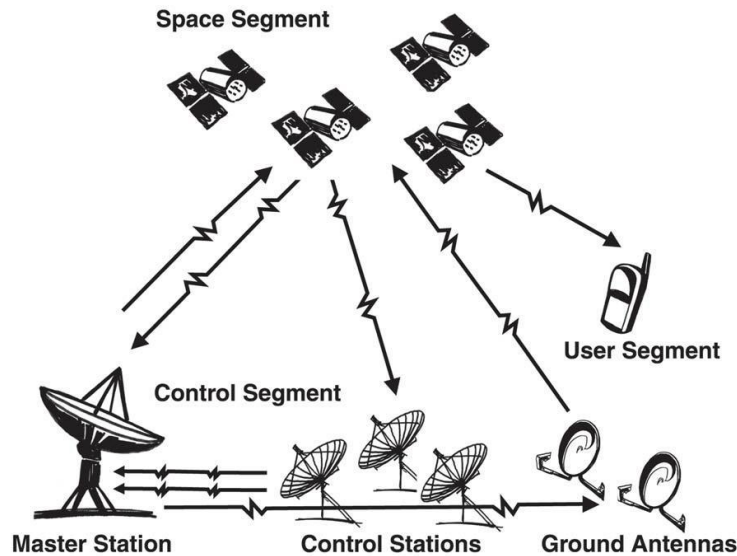


- Kültér
 - GPS – RTK
- Beltér
 - Bluetooth, Wi-Fi
 - RFID – NFC, Rubee
 - UWB
 - Ultrahang
 - Mágneses megoldások

Global Positioning System

- **GPS**

- Pontosság: kb. 3-5m
- A trilateráció elvét alkalmazza
 - A műholdak pályája ismert
 - Min. 3 műhold (x,y,z)
 - + 1 az időszinkronhoz

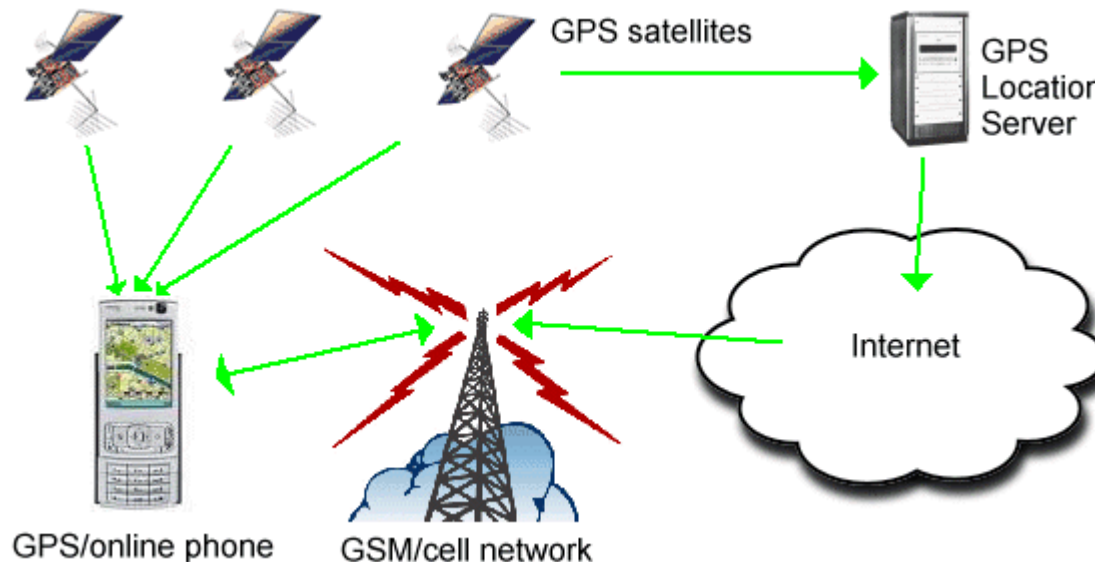


- Földi irányítóegységek segítik
 - Pontos pályaadatok
 - Légkör torzításai

Global Positioning System

- **Assisted GPS (A-GPS)**

- Mobil hálózaton 7 nappal előre megkapja a mobil készülék az aktuális pályaadatokat (Almanac), ezzel csökkentik az első pozíciómeghatározáshoz szükséges időt
 - Egyébként 30-40 mp lenne amíg letöltődne a műholdról
- Létezik olyan változat, ami cella-alapú pozicionálást is ad



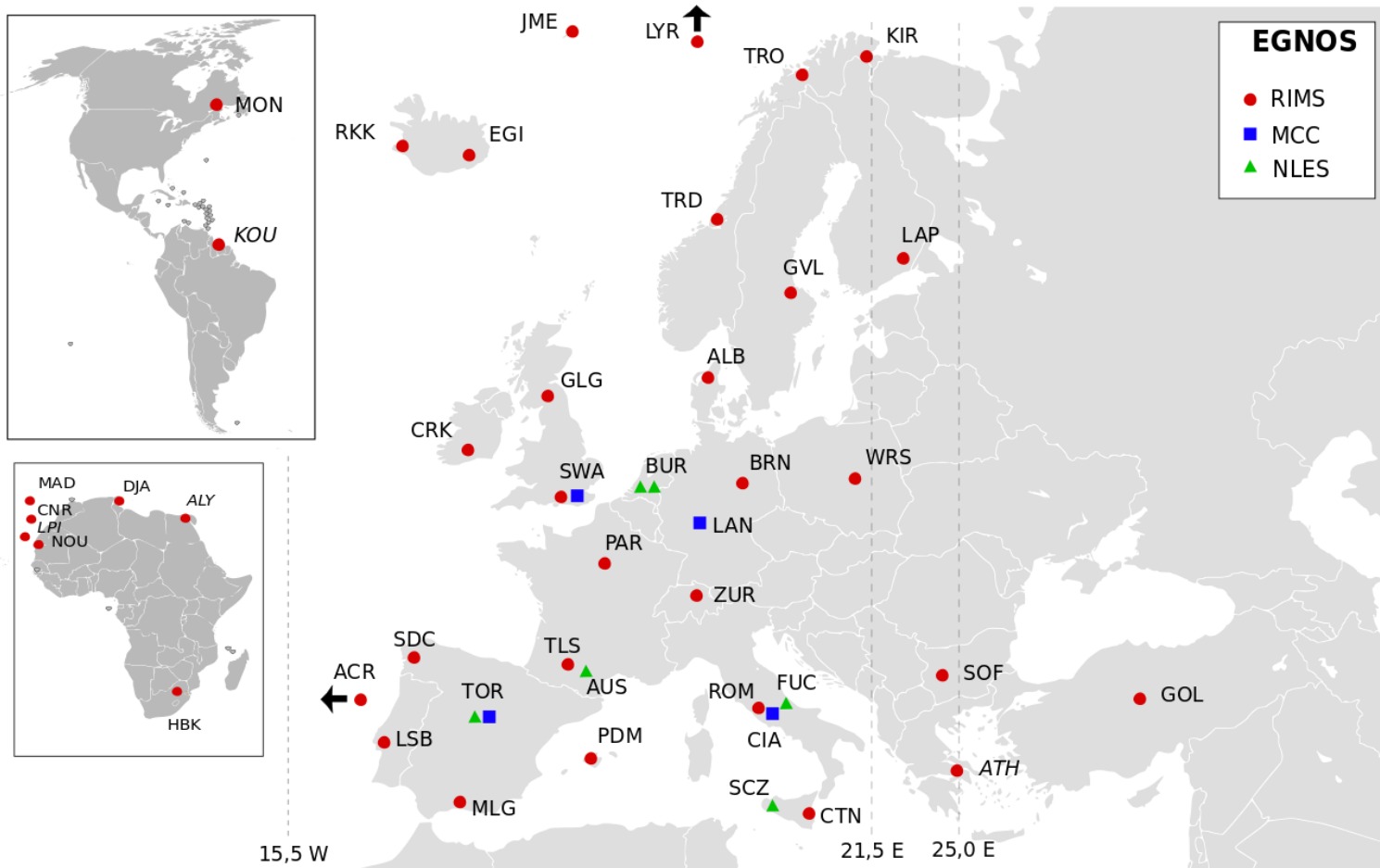


Global Positioning System

- **Satellite-based augmentation system (SBAS)**
 - A GPS rendszer egyik legfontosabb hibaforrása az ionoszféra és a troposzféra, ahol komoly késleltetést szenvedhet a jel, s így maga távolságbecslés (pseudorange) is torzulhat
 - Megoldás: földi referencia állomások mérik a korrekciós adatokat, amiket átküldenek egy geostacioner pályán keringő műholdra, ami továbbszórja a felhasználóknak
 - Európát az EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service) rendszer keretein belül működtetett műholdak fedik le.
 - Nagyrészt a légi közlekedést segítik
 - Kb. 30 fokos elevációs szögben látszanak
 - Ezt a megközelítést szokás Wide Area DGPS-nek nevezni

Global Positioning System

- Satellite-based augmentation system (SBAS)
 - Az EGNOS rendszer földi állomásai



Global Positioning System

- **Differenciális GPS (DGPS, vagy GBAS)**

- Referenciaállomás (vevő) a földön (Base Station)

- Pontos meghatározott ponton

- Korrekciós adatok szolgáltatása

- Mobil egység (Rover)

- Korrekciós adatok cseréje

- Pontosság: 10-20 cm

- Függ a bázisállomástól való távolságtól

- **Real Time Kinematic**

- Kiegészíti a DGPS-t a vivőfázis, a Doppler-csúszás és egyéb paraméterek pontos mérésével

- 2 frekvenciás vevők (L1 és L2)

- 1-2cm-es pontosságú pozícióbecsléseket tesz lehetővé

- Drága



Global Positioning System

- DGPS és RTK állomások itthon

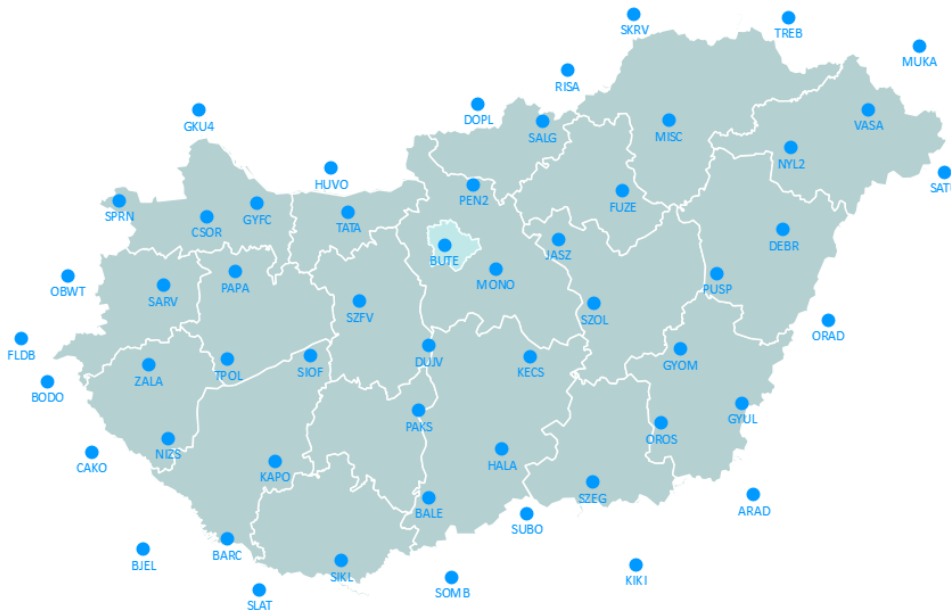
- Fenntartó: Budapest Főváros kormányhivatala

- Földmérési, távérzékelési és földhivatali osztály (FÖMI)

- Kozmikus geodéziai osztály

- Korrekciós adatok RINEX formátumban

- Valós és virtuális referencia állomások (ún. Mountpoint-ok)



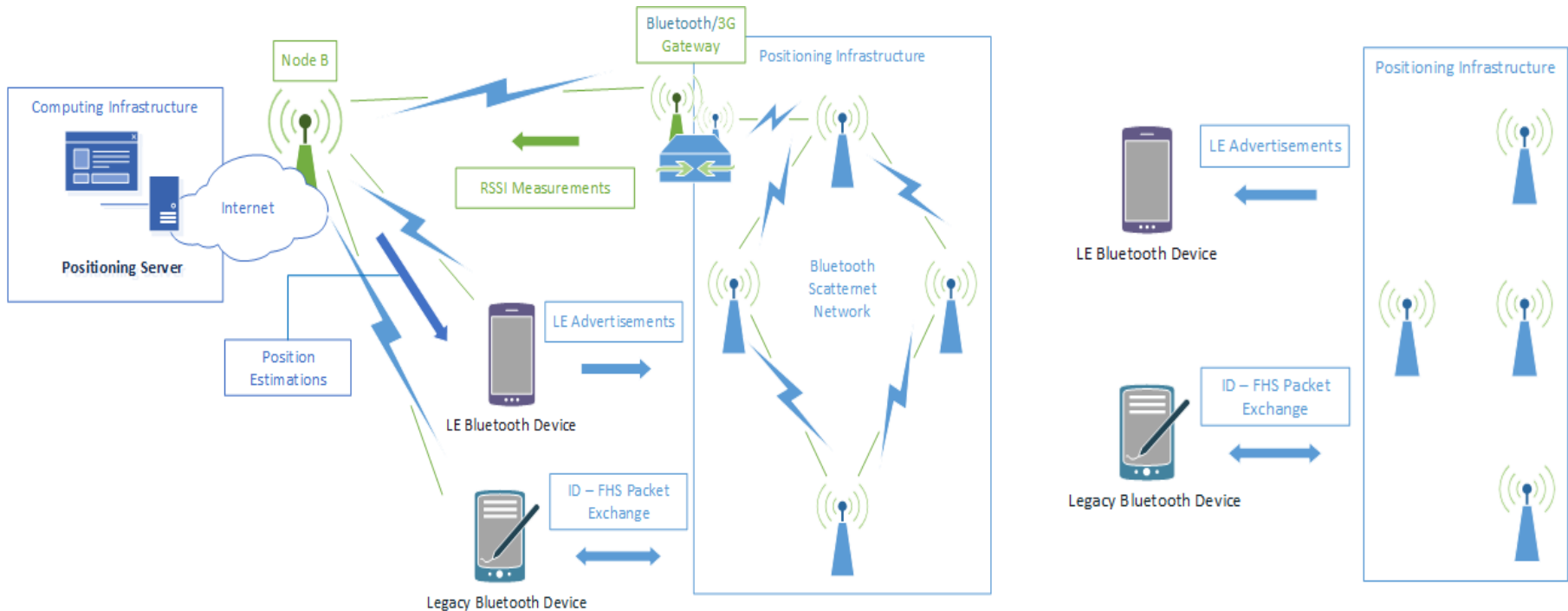
RTK, hálózati RTK	DGNSS
12 Ft/perc	3 Ft/perc

RINEX	Virtuális RINEX
20 Ft/perc	25 Ft/perc
15 Ft/perc	19 Ft/perc
10 Ft/perc	12 Ft/perc

Beltéri pozicionálási technológiák

- **Aktív kontra passzív infrastruktúra**

- **Aktív:** Az infrastruktúra végzi a pozicionálást
- **Passzív:** A követendő készülék végzi a pozicionálást
- Kültéren van passzív infrastruktúra (GPS, Csillagok, stb.)
 - Beltérben nincs...



- Aktív kontra passzív infrastruktúra
 - Aktív:
 - Nagy komplexitású algoritmusok
 - Központi adatfeldolgozás
 - Offline kvázi működésképtelen
 - Kevésbé robusztus
 - Költséges
 - Passzív:
 - Egyszerűbb algoritmusok
 - Korlátozott számítási kapacitás a mobil eszközökön
 - Offline is működőképes
 - Robosztus
 - Olcsóbb

- 802.11x (Wi-Fi)
 - Pontatlan óra (ToA, TDoA időmérésekre alkalmatlan)
 - Vételi teljesítményen alapuló megoldások (RSSI)
 - Trilateráció, ujjlenyomat-módszer és közelség-alapú
 - Nem terjedt el
 - Megközelítések
 - Beacon vagy probe request frame-ek segítségével
 - Alacsony frevenciával küldött csomagok (késleltetés)
 - Magas infrastruktúra költségek (AP-k, routerek)
 - Bizonyos platformokon erős megkötések
 - Pl. iOS-en nincs felderítés API-ból
 - A probe request frame-ek küldése hektikus
 - A MAC címek álvéletlen ugratása követhetetlené teszi az eszközöket

- **Bluetooth**

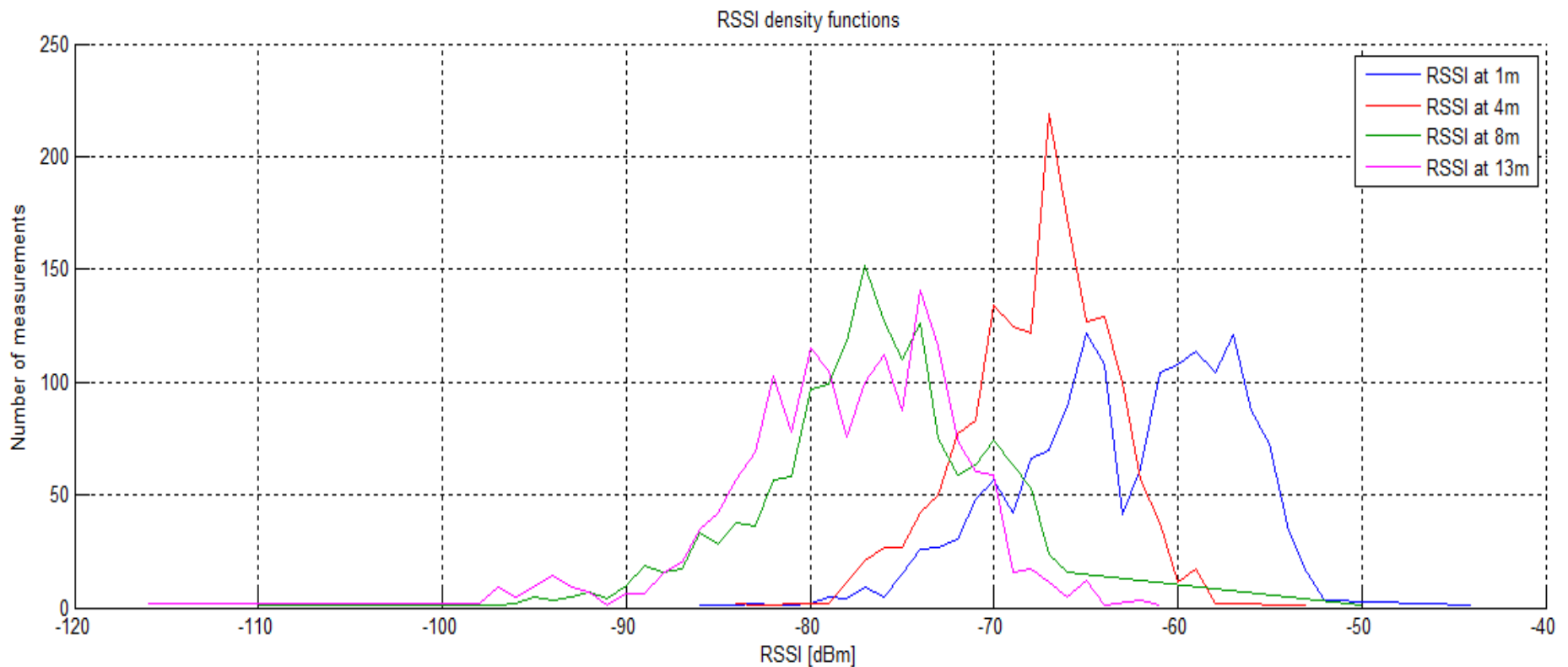
- Az rendszeróra itt is pontatlan (ToA, TDoA-hoz nem jó)
- Vételi teljesítményen alapuló módszerek (RSSI)
 - Trilateráció, fingerprinting és közelség-alapú
 - Fokozatosan terjed (a piacon már elérhető)
 - Pl. Apple iBeacon, Google Eddystone, stb.
- A hagyományos változat túlzottan lassú (1 minta / 10 mp)
 - Ezen készülékek dominanciája fokozatosan csökken
- A Low Energy viszont gyors (400 minta / 10mp)
 - Fokozatosan terjed
- A legtöbb mobil platformon elérhető
- Relatív olcsó
- Az elérhető pontosság kérdéses

Beltéri pozicionálási technológiák

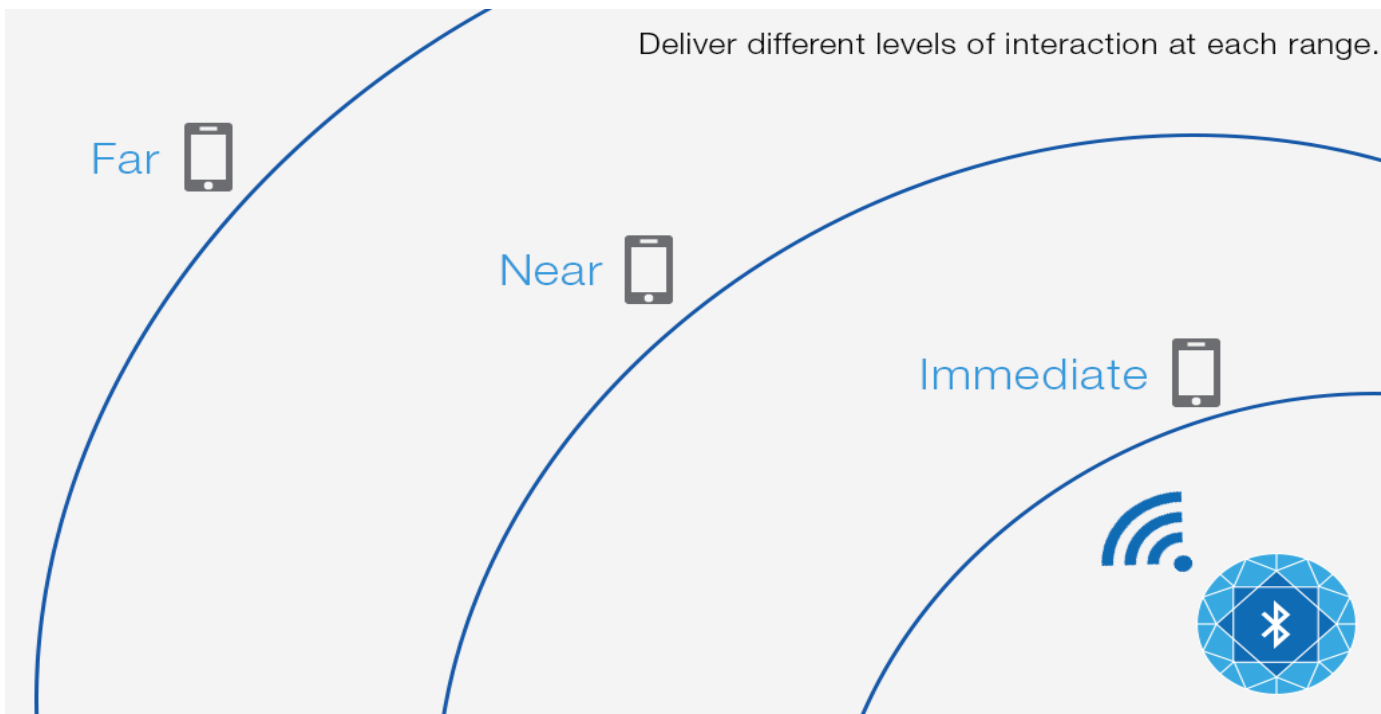
- Bluetooth
 - A valóság kijózanító...



- Bluetooth
 - A valóság kijózanító...



- Bluetooth (LE) Beacon technológiák
 - Apple iBeacon
 - A többi nagyobb techcégnek is megvan a maga változata
 - Samsung Placedge, Google Eddystone
 - „Nyílt” megoldás: altBeacon



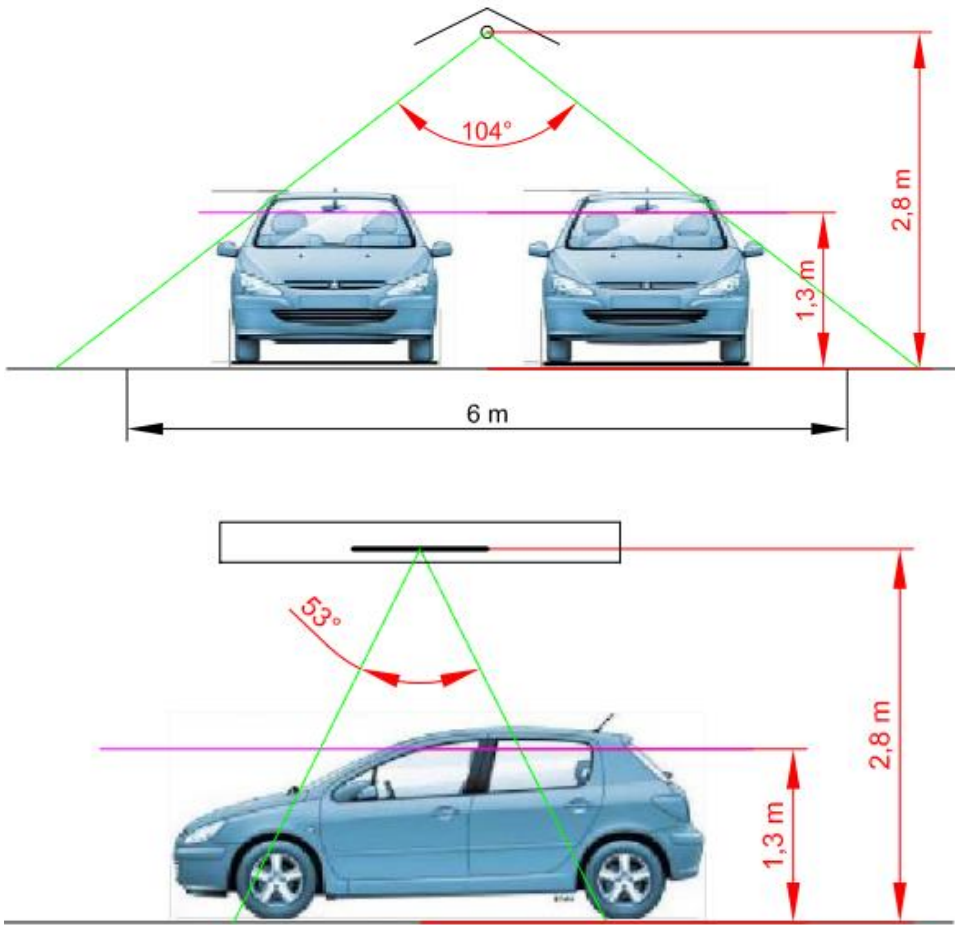
- RFID

- Az iparban régóta alkalmazott technológia
- Kis hatótáv és pontatlan óra:
 - Csak a közelség-alapú módszer alkalmazható
- Drága olvasók, olcsó tagek
 - Alkalmazási környezet függvénye költség



Beltéri pozicionálási technológiák

- RFID



- NFC
 - Olcsó, passzív infrastruktúra
 - 1-2cm-es közelség szükséges
 - Tényleges érintés
 - Számos alkalmazás (pl. Tasker, NFC Task Launcher) megjelent már okostelefonokra, amelyek egy adott tag olvasásakor bizonyos akciók végrehajtást kezdeményezik
 - A tagek könnyen elhelyezhetők bárhol (matrica, kulcstartó)



Beltéri pozicionálási technológiák

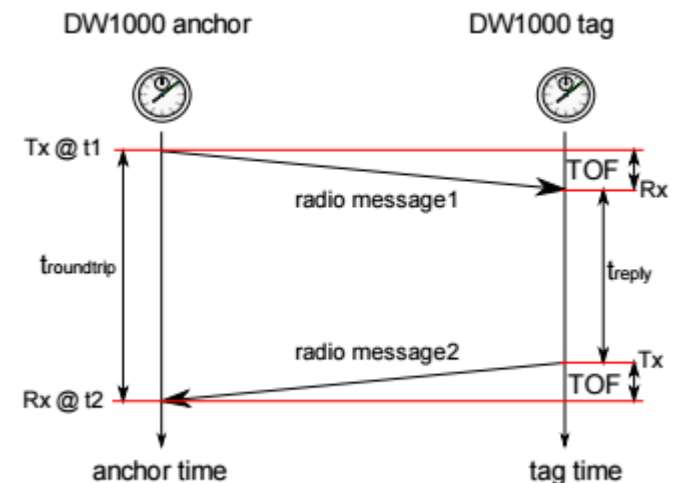
- Rubee
 - Kevésbé ismert
 - IEEE 1902.1-es szabvány rögzíti
 - Hosszúhullámú (131kHz) mágneses jeleket alkalmaz
 - A hatósugár gyorsabban csökken (Zero SSD)
 - „Átlát” a vezető anyagokon (fém, víz, stb.)
 - RFID jellegű technológia
 - Jellemzően USA-beli minisztériumok a megrendelők



Beltéri pozicionálási technológiák

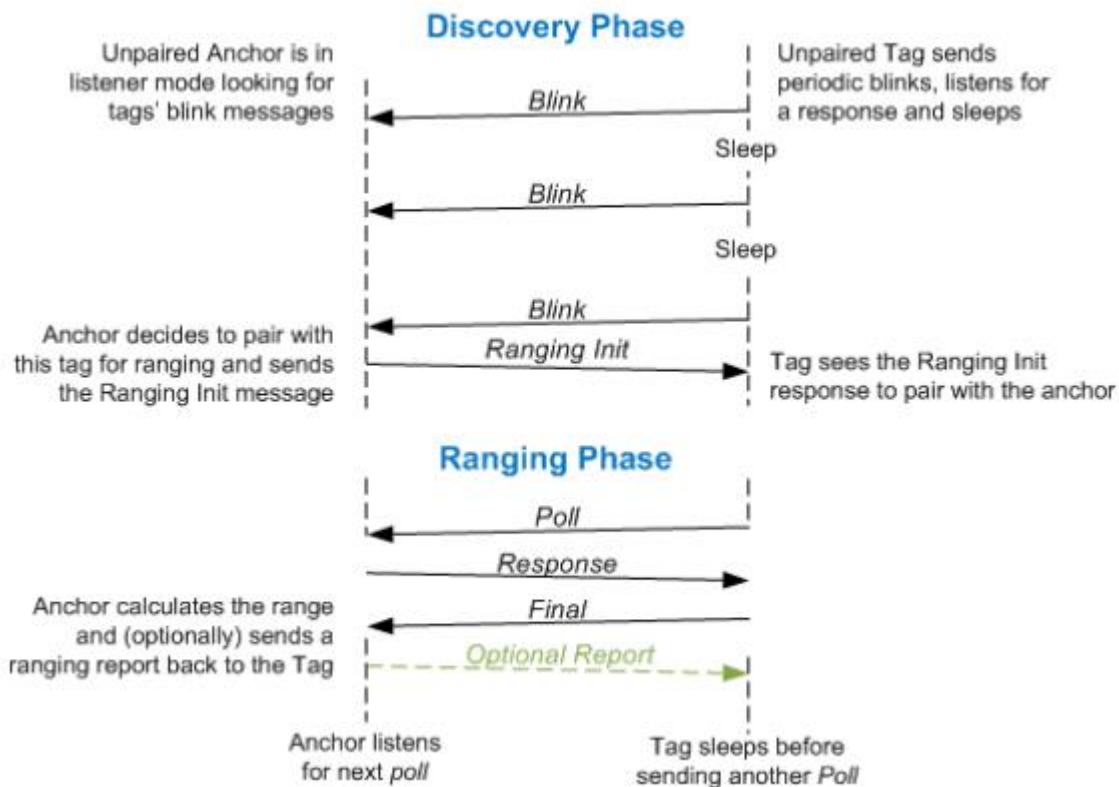
- Ultra-wideband (UWB)

- Eddig meglehetősen drága technológia volt
 - Az utóbbi években már elérhető áron kínálják
- Kb. 3-8 GHz átfogású rádiók (max. 10,6 GHz)
 - 500 MHz, 1 GHz és 1,3 GHz sávszélességek
 - Rövid (kb. 2 ns) impulzusok
 - Kritikus kérdés az antenna fázismenete
 - Általában kalibrálni kell
- Referenciapontok: Anchor
- Követendő objektum: Tag
- Aktív infrastruktúra
- ToA, ill. TDoA méréseken alapul



Beltéri pozicionálási technológiák

- Ultra-wideband
 - Aktuálisan 20-30 cm-es pontosság
 - Komoly hatósági korlátozások



- **Ultrahang**

- Hangszórók és mikrofonok
 - „Chirp” jelek
- A hang terjedési sebessége alacsonyabb
 - Feldolgozni is sokkal könnyebb
 - Akár $< 1\text{cm}$ pontosság is elérhető
- Olcsó eszközökkel megvalósítható
- Ugyanazok a módszerek érvényesek
 - Csak a közeg más
- Korlátozott hatótávolság (kb. 20-30m)
- Természetes (fémes) zörejek is zavarják

