



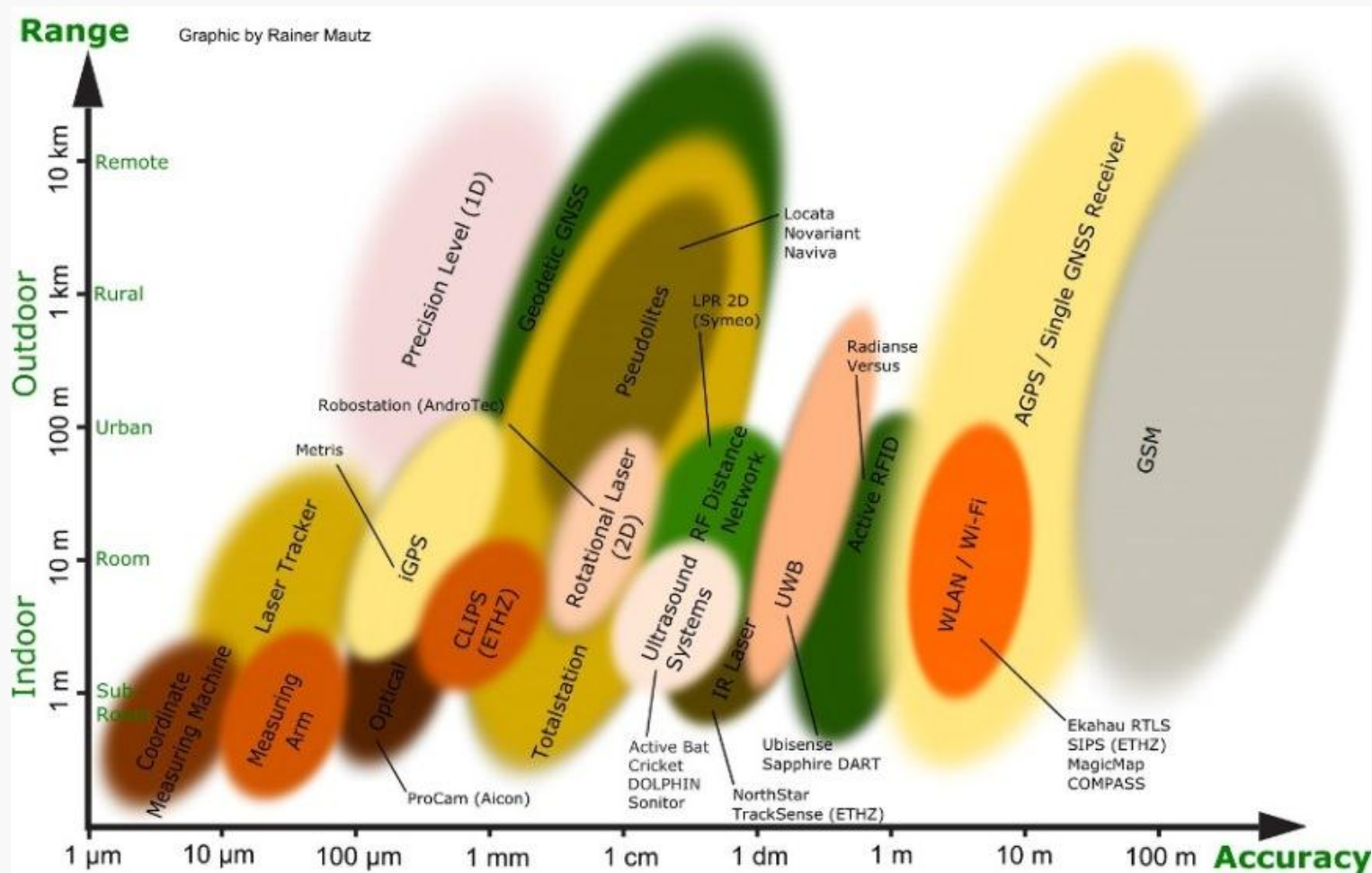
Helymeghatározás hullámterjedés alapján - Áttekintés

Moldován István

Összefoglaló

- » Áttekintés
- » Rádióhullám alapú helymeghatározás
- » Alapelvek, módszerek, elmélet
- » RSSI alapú módszerek
- » Egyéb helymeghatározási módszerek

Helymeghatározási lehetőségek



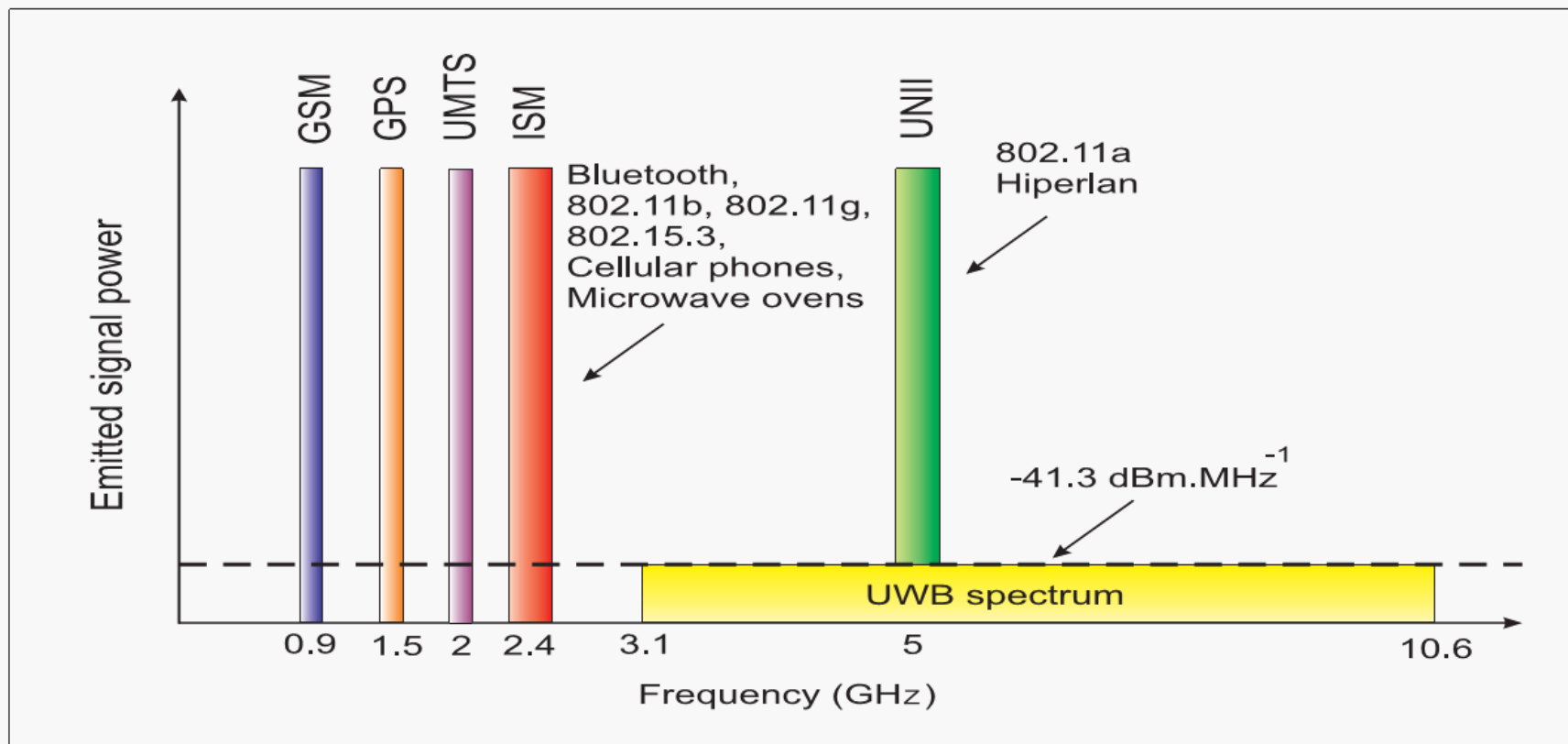
Rádióhullámok alapján

- » Leggyakoribb megoldás
- » Kétféle alapvető átviteli technológia
 - » Keskenysávú és szélessávú átvitel (vivő)
 - » Ultra szélessávú átvitel (vivő nélkül)
- » Más matematikai apparátus

- » Shannon csatorna kapacitás:

$$C = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right)$$

Rádióhullámok alapján



Rádióhullámok alapján

- » Mire használható?
 - » Távolságmérés (távolságkülönbség mérés)
 - » Iránymeghatározás
 - » Közelségérzékelés
 - » Mintaillesztés
- » Előnyei:
 - » Tipikusan a vágyott megoldás: láthatatlan, pontos, kicsiben megvalósítható
 - » Adatkommunikációra is alkalmazható
- » Hátránya:
 - » Nem embert, hanem jeladót követ
 - » Pontosság

Jelterjedés alapjai – keskenysávú modell

- » Keskeny és szélessávú modell
- » Vivő alapú jelátvitel, a vivő szinusz:

$$r(t) = A(t) \cos(\varphi'(t))$$

- » A fázis általában $\varphi'(t) = \omega t + \varphi(t)$ alakú
- » A pillanatnyi frekvencia $f(t) = \frac{1}{2\pi} \frac{d\varphi'(t)}{dt}$

Jelterjedés alapjai – alapsávi ekvivalens

- » Kezeljük a vivőt úgy mint egy fazor – van nagysága és fázisa, írjuk le komplex számként:

$$r(t) = A(t) \cos(\omega t + \varphi(t)) = \operatorname{Re}\{A(t)e^{j(\omega t + \varphi(t))}\}$$

- » Emeljük ki magát a vivőt:

$$\{A(t)e^{j\varphi(t)}\}e^{j\omega t}$$

- » Az $s(t) = A(t)e^{j\varphi(t)}$ kifejezést hívjuk *komplex alapsávi ekvivalensnek*

- » A jel vivővel szorzását nevezzük IQ modulációnak

$$r(t) = \operatorname{Re}\{s(t) e^{j\omega t}\}$$

- » A vevő a demodulációt szorzással végzi:

$$r(t)e^{-j\omega t} = s(t)$$

Jelterjedés alapjai – alapsávi ekvivalens

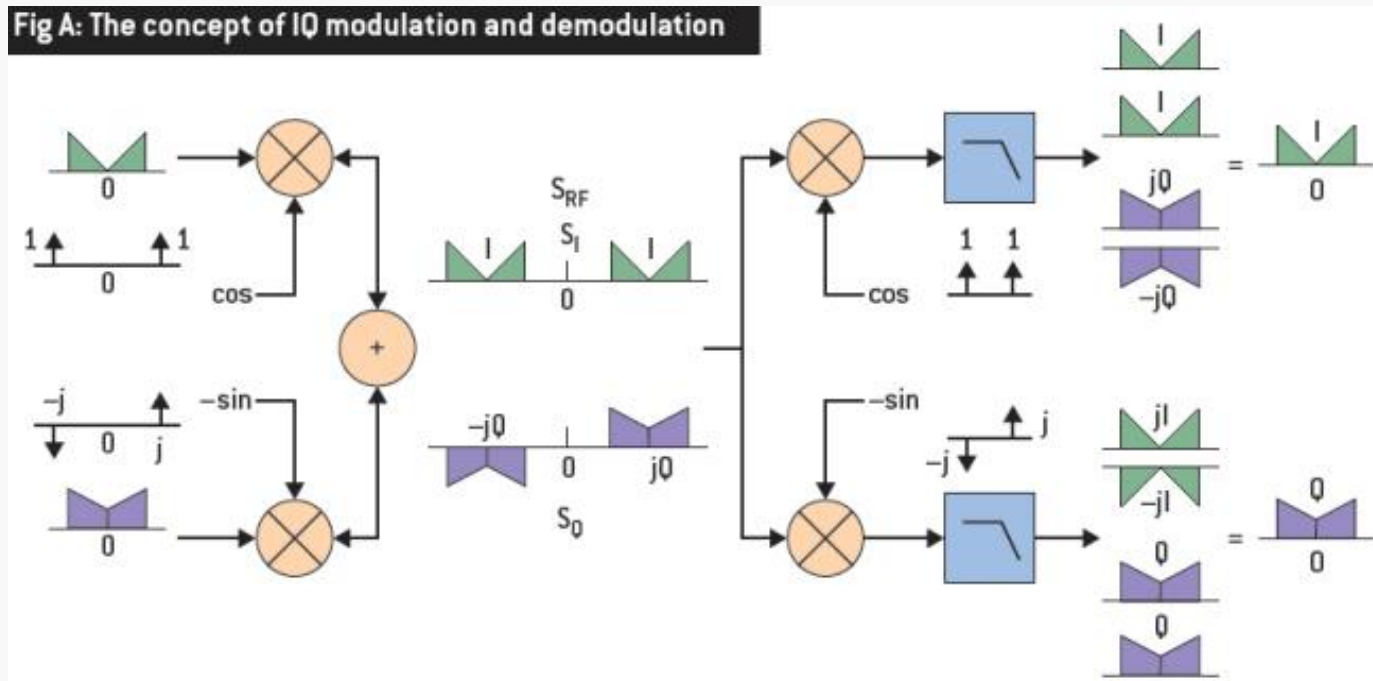
- » Az alapsávi ekvivalens

$$s(t) = A(t)e^{j\varphi(t)} = I(t) + jQ(t)$$

- » Az alapsávi ekvivalens komponensekből áll
 - » In-phase komponens (valós komponens)
 - » Kvadratúra komponens (imaginárius komponens)
- » A módszert hívják kvadratúra felbontásnak is
- » Előnye – értelme:
 - » A jelet a vivő nélkül is tudjuk kezelni
 - » A PAM modulációkat kényelmesen le tudjuk írni

Jelterjedés alapjai – IQ moduláció

- » Az IQ moduláció és demoduláció az alapsávi ekvivalens „megvalósítása”
- » Sarki boltban kapható
- » In-phase (valós) és kvadratúra (imaginárius) komponensek



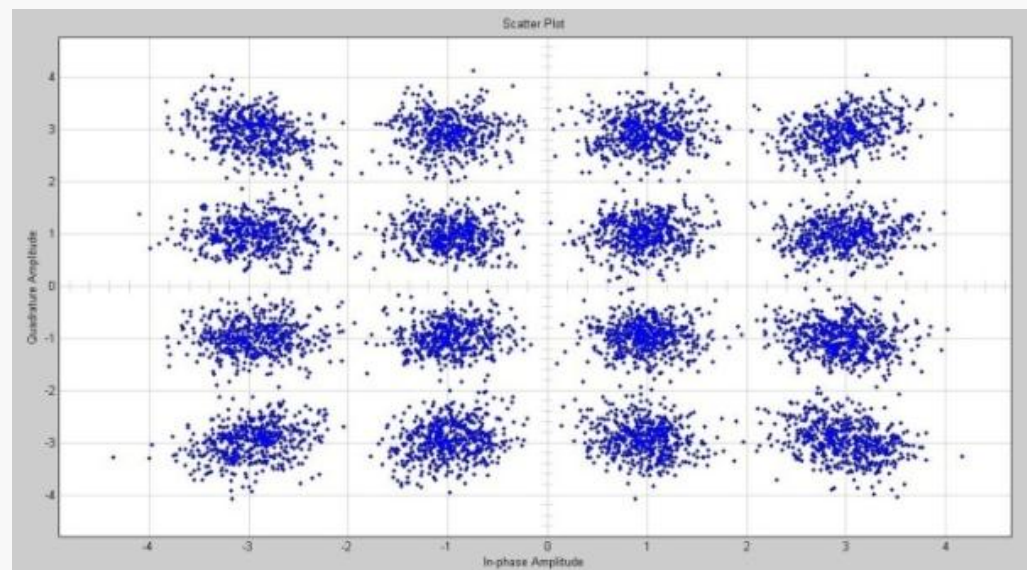
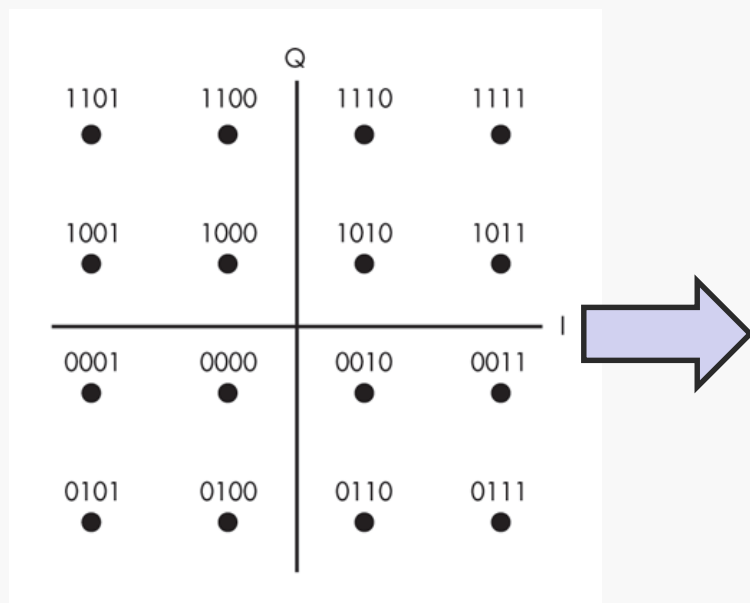
Jelterjedés alapjai – moduláció

- » Modulációk típusa a keskeny és szélessávú átvitelben
 - » PAM (Pulse Amplitude Modulation)
 - » Pl. Wi-Fi, GPS, Ethernet, stb.
 - » CPM (Continuous-Phase Modulation)
 - » GSM, RTLS, Bluetooth, stb.
- » IQ modulációval mindegyik megvalósítható
 - » Most csak a PAM modulációkkal foglalkozunk
- » Miért kell moduláció?
 - » Jelátvitel szimbólumokkal
 - » Adatátvitel bitekkel
 - » Tehát bitek → szimbólumok

Jelterjedés alapjai – moduláció

- » Adatbitek: $b_i \in \{0,1\}$
- » Szimbólumok: $c_i \in \mathcal{C}$ (komplex számok)
- » Ábrázolás konstellációs diagrammon
- » Modulációk
 - » Phase Shift Keying (PSK)
 - » M-PSK, BPSK
 - » Amplitude Shift Keying (ASK)
 - » Quadrature Amplitude Modulation (QAM)
 - » Differenciális modulációk

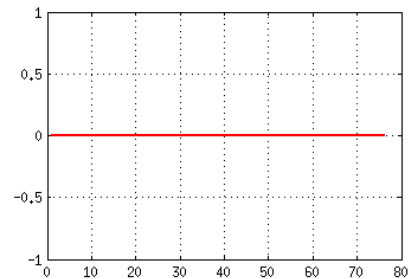
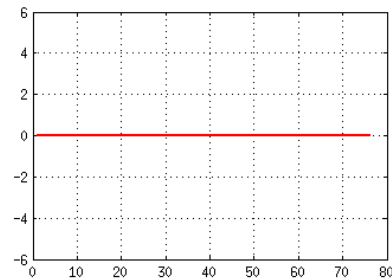
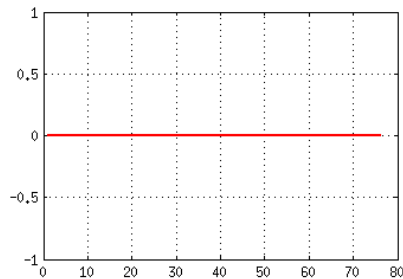
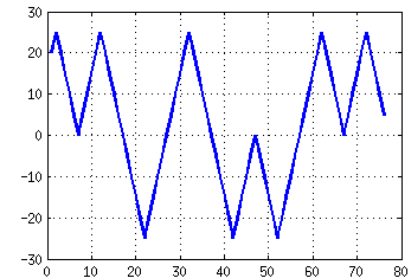
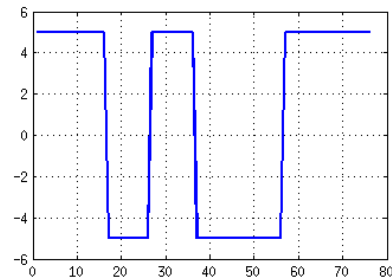
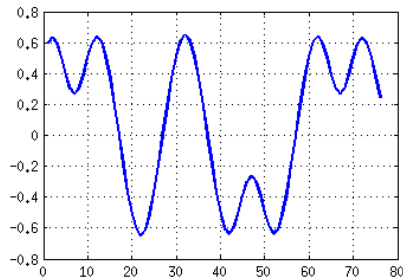
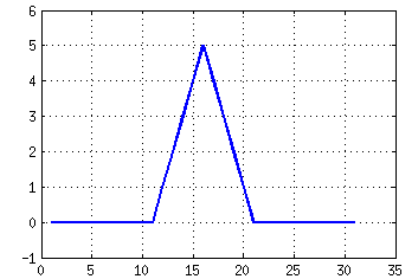
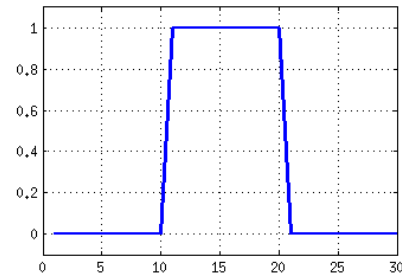
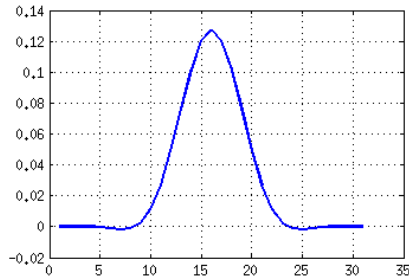
Jelterjedés alapjai – 64QAM példa



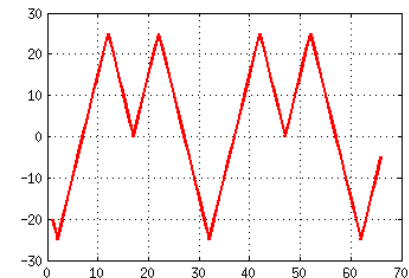
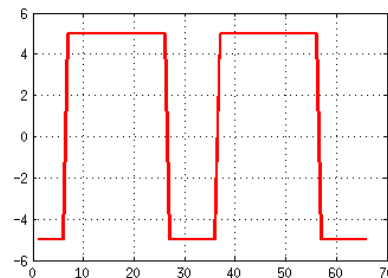
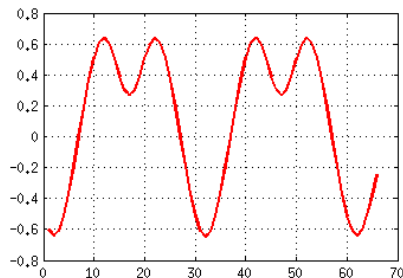
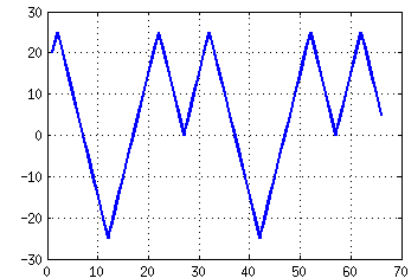
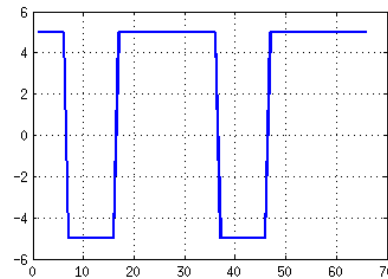
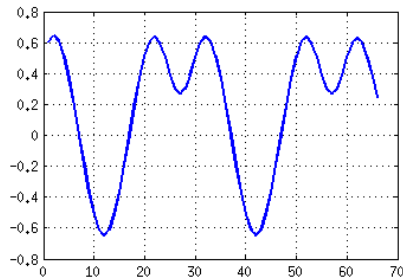
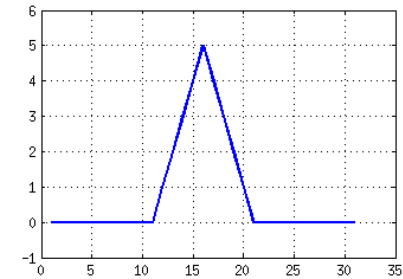
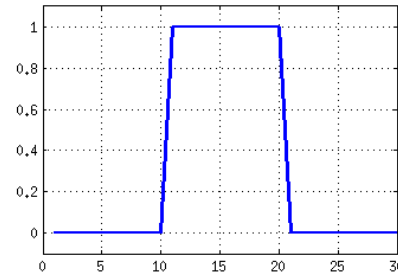
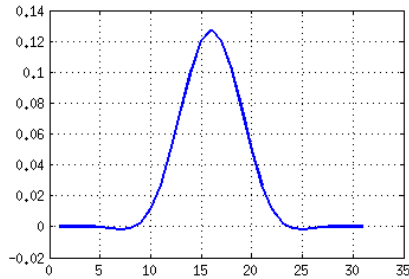
Jelterjedés alapjai - jelformázás

- » Már vannak komplex szimbólumaink
- » Tudunk nagyfrekvencián analóg jelet továbbítani
- » Hogy lesz a komplex szimbólumokból analóg alapsávi jel?
- » Jelformázás – minden komplex szimbólumnak egy analóg jelet feleltetünk meg
 - » Nem feltétlenül véges hosszúságú
 - » Azonban véges sávszélességű!
- » Tipikus használt jelalakok:
 - » Nyquist impulzus
 - » Emelt koszinusz impulzus
 - » négyszögjel

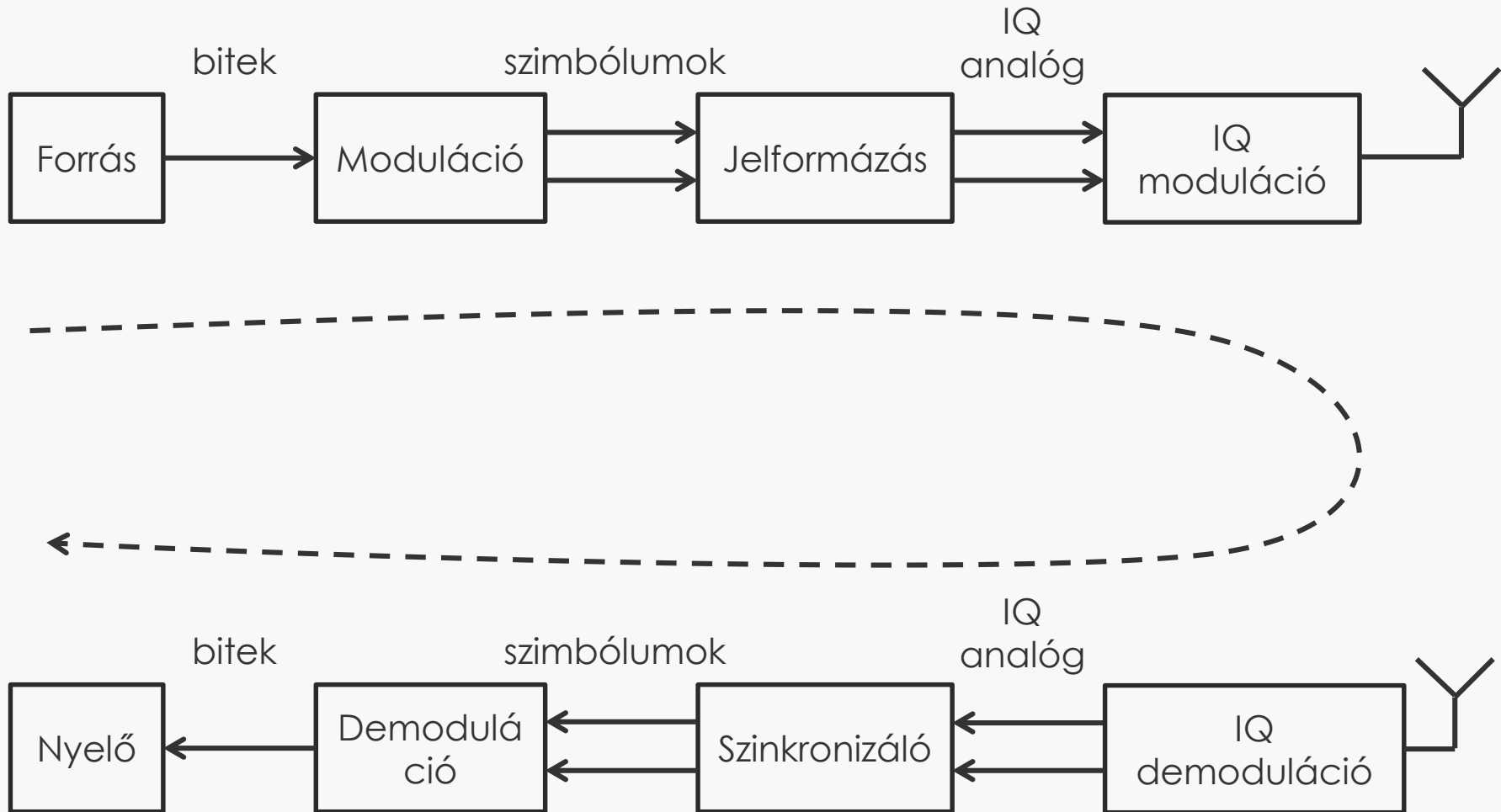
Jelterjedés alapjai – jelformázás példa



Jelterjedés alapjai – jelformázás példa



Jelterjedés alapjai – átviteli lánc



Többszörös hozzáférés

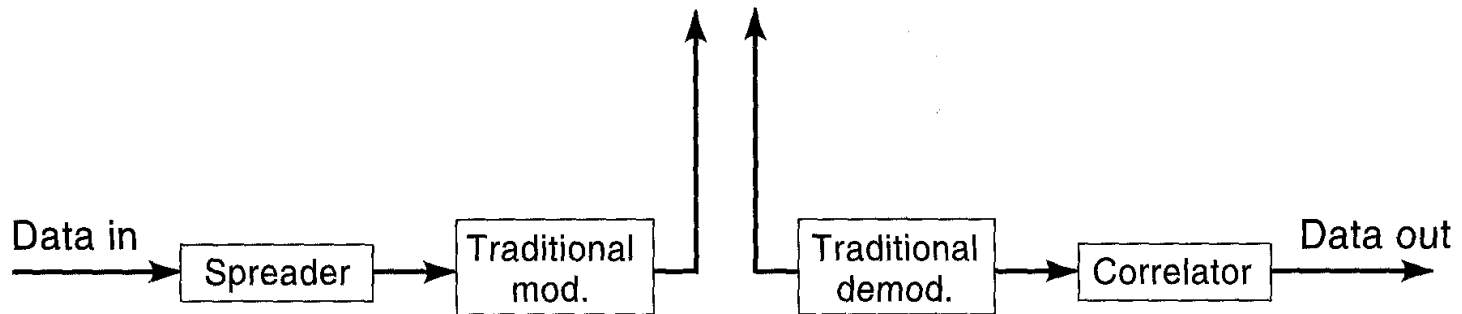
- » TDM – Time division multiplexing
 - » Időben elhatárolt adások
- » FDM
 - » Frekvenciában elhatárolt adások
 - » Több frek
- » CDM
 - » Kódosztásos hozzáférés
 - » Egyedi kód alapján különböztetjük meg
 - » DSSS : Direct Sequence Spread Spectrum
 - » Megnövelt sáv szélesség



Javítják a frekvencia szelektív interferenciát

DSSS és 802.11

- » A kód (a Baker code) melyet a 802.11 használ a következő formájú: $[1, 1, 1, -1, -1, -1, 1, -1, -1, 1, -1]$. Tehát egy adatbit 11 chip.
- » A Baker nem egy titkos kód, nem titkosításra használják hanem a sávszélesség növelésére.



DSSS a 802.11-ben

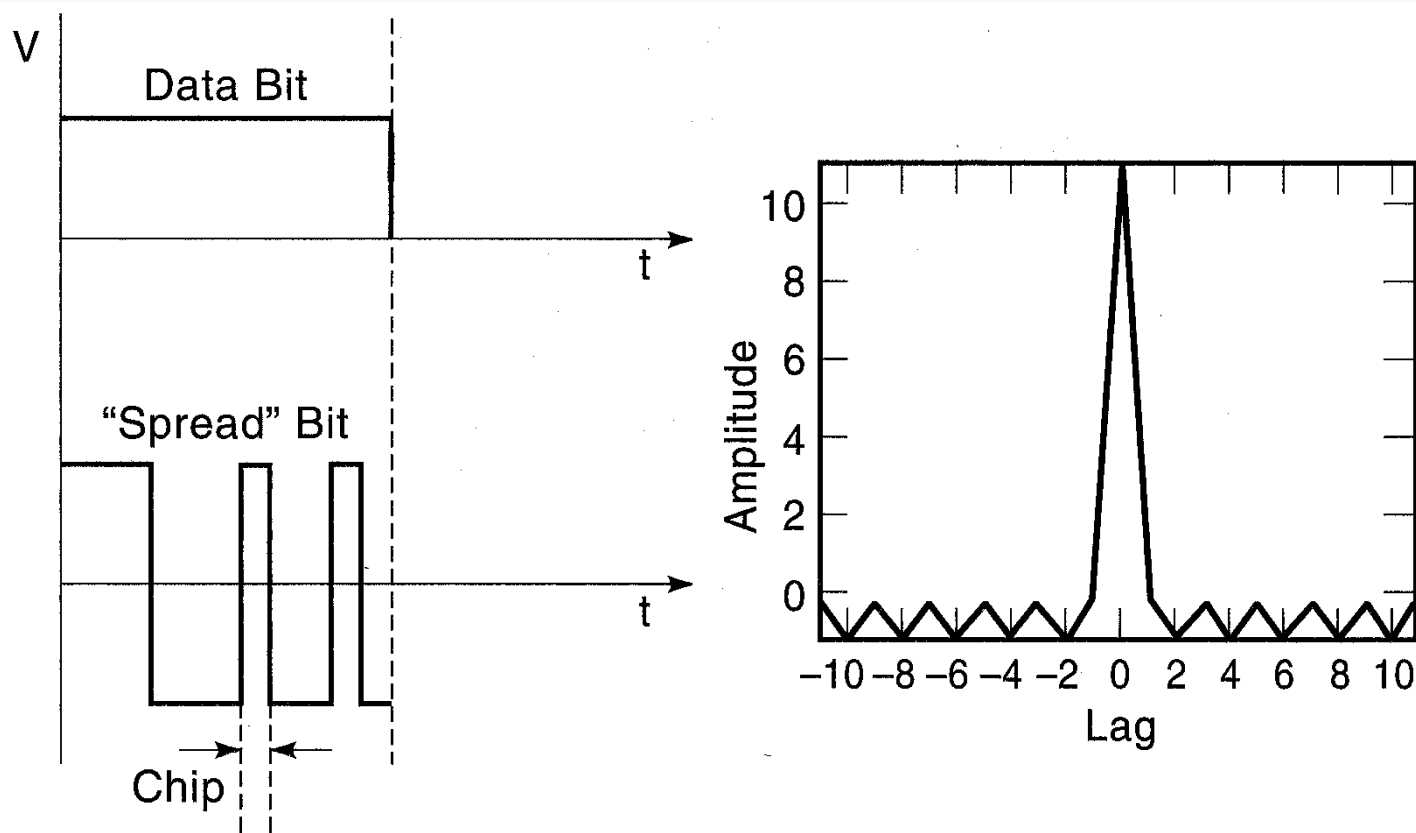
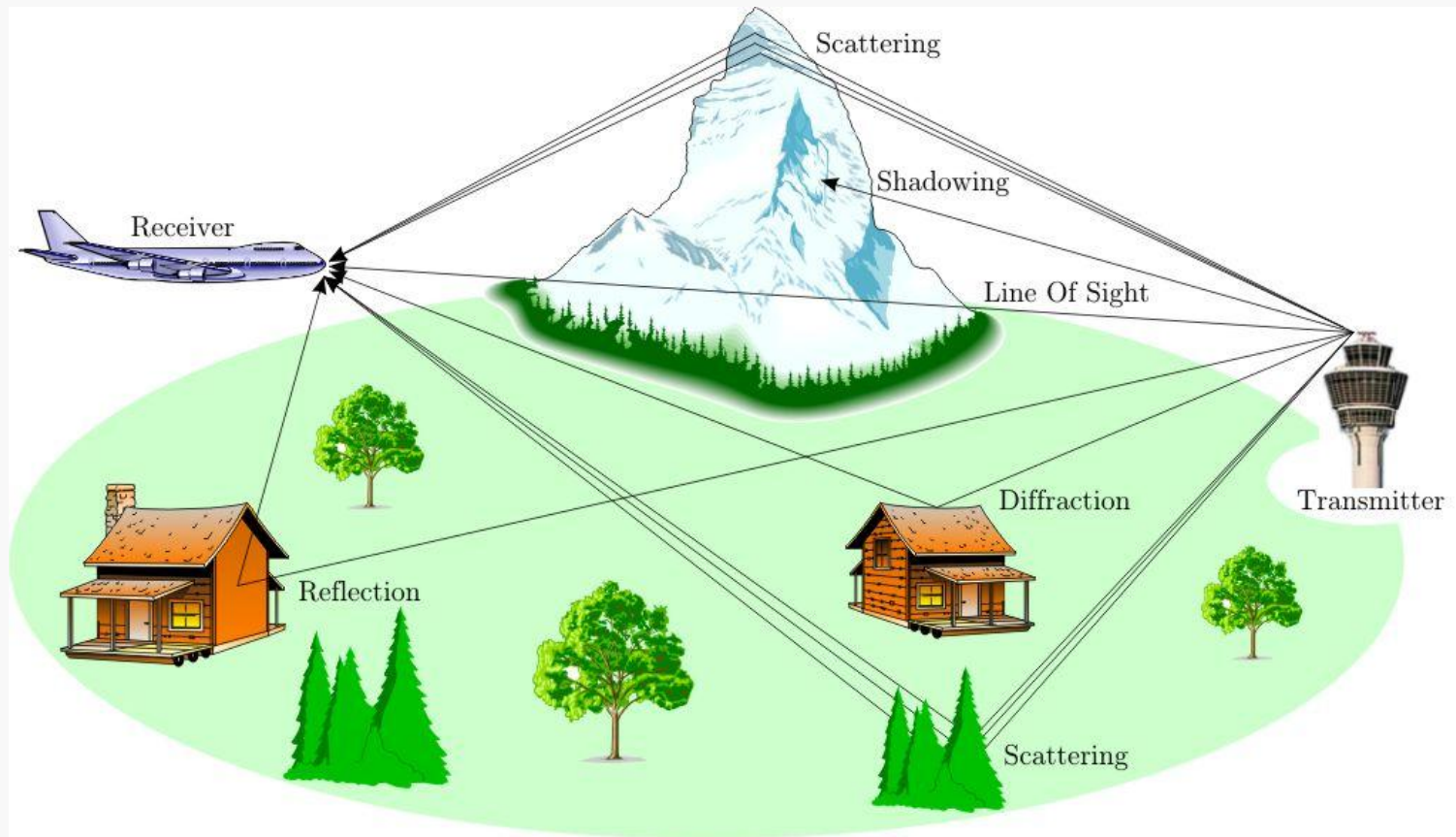


Figure 3.23 Barker code modulated DSSS signal in IEEE 802.11 and its autocorrelation.

Jelterjedés alapjai – Többutas terjedés



Jelterjedés alapjai – Többutas terjedés

- » Jelenségek
 - » Csillapodás
 - » A jel amplitúdója csökken
 - » Reflexió
 - » A jel egy adott felületről egy irányban visszaverődik (spekuláris visszaverődés)
 - » A jel egy adott felületről több irányban szórtan visszaverődik (diffúz visszaverődés)
 - » Diffrakció
 - » Éles határokon módosul a jel iránya
- » LOS, NLOS jelek
- » Az egyes jelenségeknél fellép
 - » Amplitúdóváltozás
 - » Fázisváltozás
 - » Időkésés

Jelterjedés alapjai – Többutas terjedés

» Többutas terjedés leírása

» Determinisztikus

- » A kibocsájtott jel valamilyen igényvel kiválasztott útvonalain történt hatásokat összegezzük
- » Gyakorlatilag lehetetlen, főleg beltérben
- » Ennek ellenére nagyon fontos a helymeghatározásban

» Statisztikus

- » Statisztikai modellek kidolgozása a jel torzulására
- » Adatátvitelben nagyon hasznos az átvitel minőségének meghatározására, csatorna szimulációra

Jelterjedés alapjai – Többutas terjedés

» Determinisztikus leírás

- » A kibocsájtott jel több példánya is megérkezik
- » Legyen a kibocsájtott jel:

$$r(t) = s^t(t)e^{j(\omega t + \varphi^t)}$$

- » A vevőbe érkező jel az összes útvonalon különböző időkésltetéseket és komplex amplitúdó változásokat szenvedett jel:

$$r^r(t) = \sum_k A_k s(t - \tau_k) e^{j\omega^t(t - \tau_k)}$$

Jelterjedés alapjai – Többutas terjedés

- » A vevő lekeveri a saját oszcillátorával a jelet:

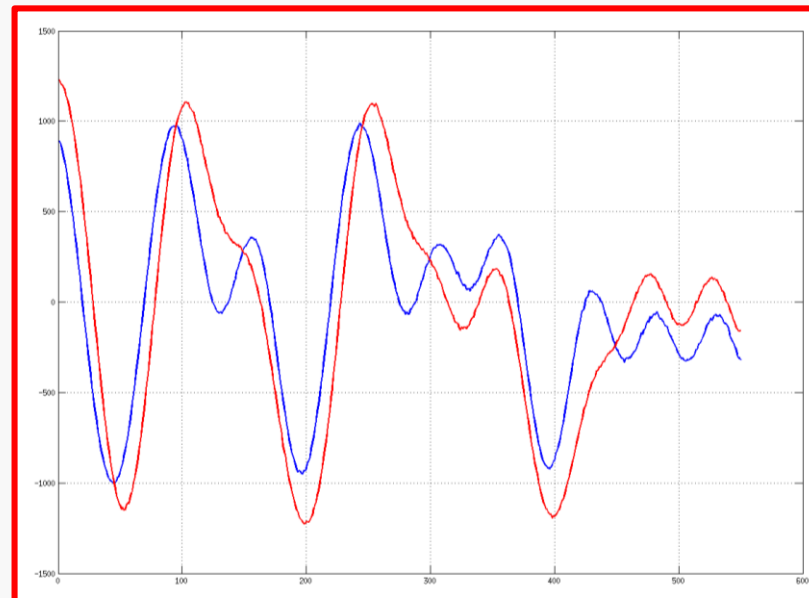
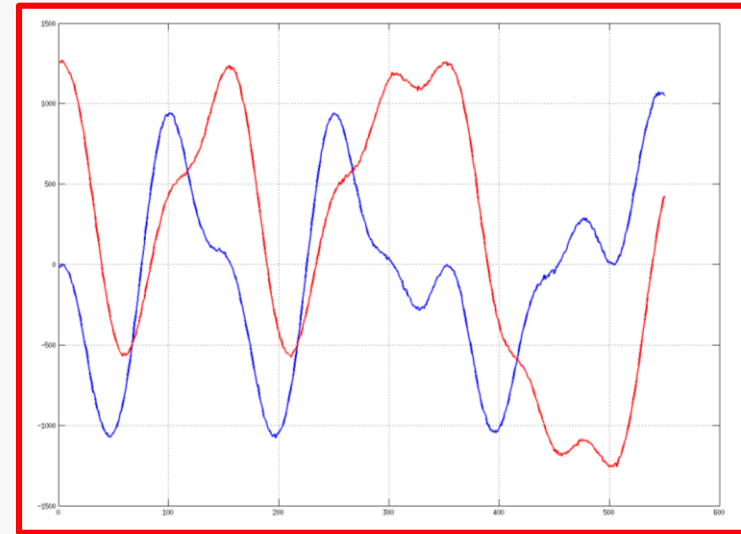
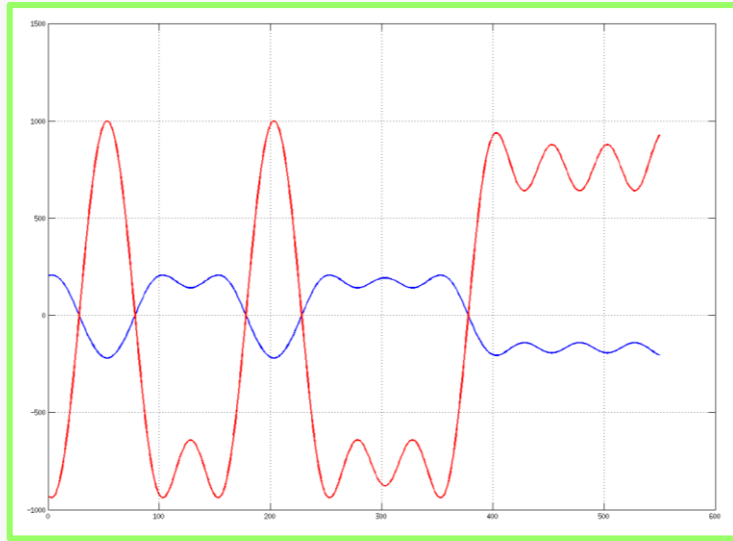
$$s^r(t) = r^r(t)e^{-j(\omega^r t + \phi_0)} = \sum_k A_k s(t - \tau_0) e^{j((\omega^t - \omega^r)t - (\omega^t \tau_k + \phi_0))}$$

- » Amennyiben figyelmen kívül hagyjuk az adó és vevő vivő frekvenciájának különbségét:

$$s^r(t) = \sum_k A_k s(t - \tau_k) e^{-j(\omega^t \tau_k + \phi_0)}$$

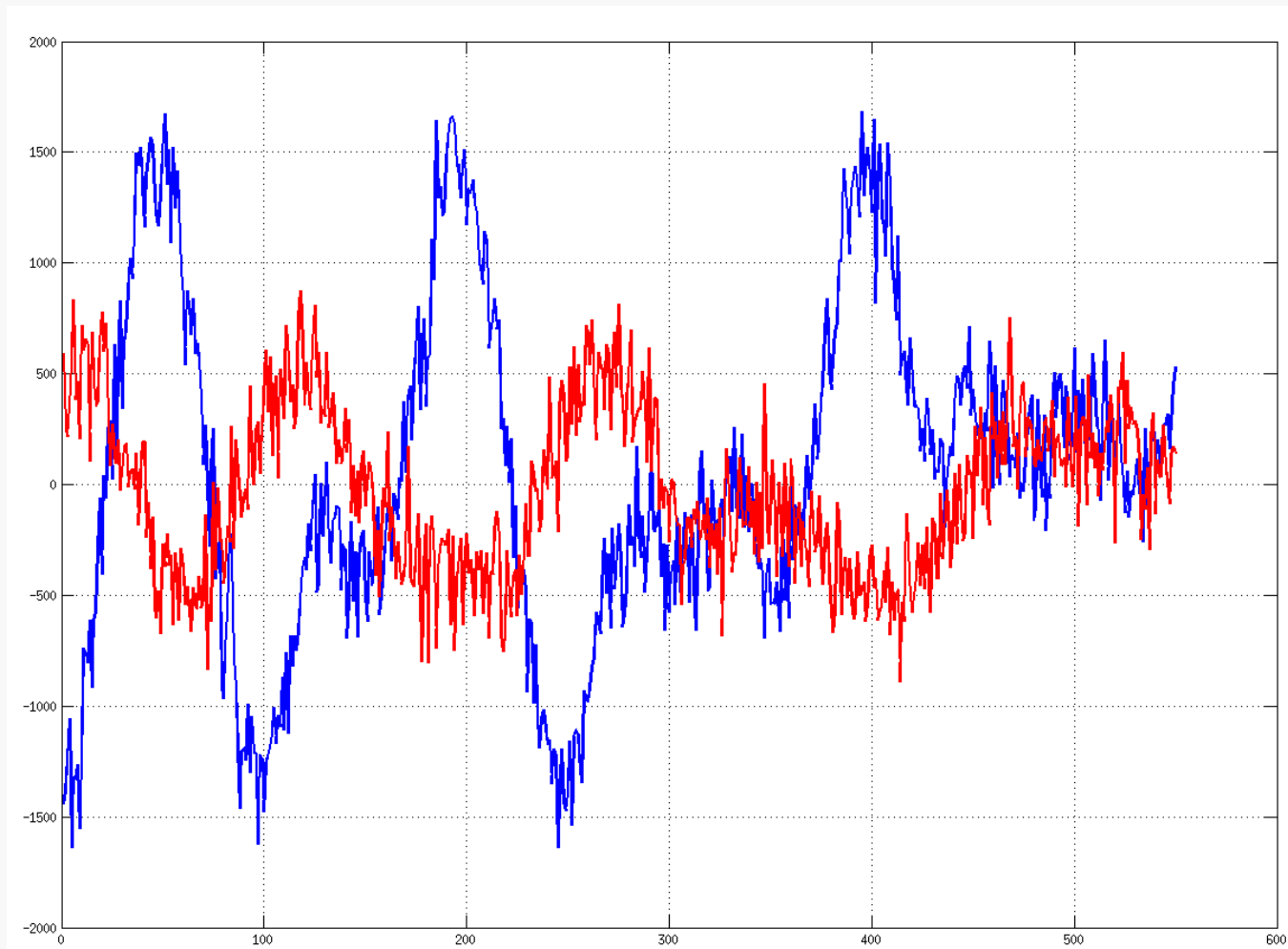
- » Tehát minden komponens szenved valamilyen amplitúdó és fázisváltozást, valamint időkésést. Az egyes komponensek lineárisan összegződnek.

Jelterjedés leírása – Többutas terjedés példa



Jelterjedés leírása – Többutas terjedés példa

» Sajnos legtöbbször bizony ez látszik ☹



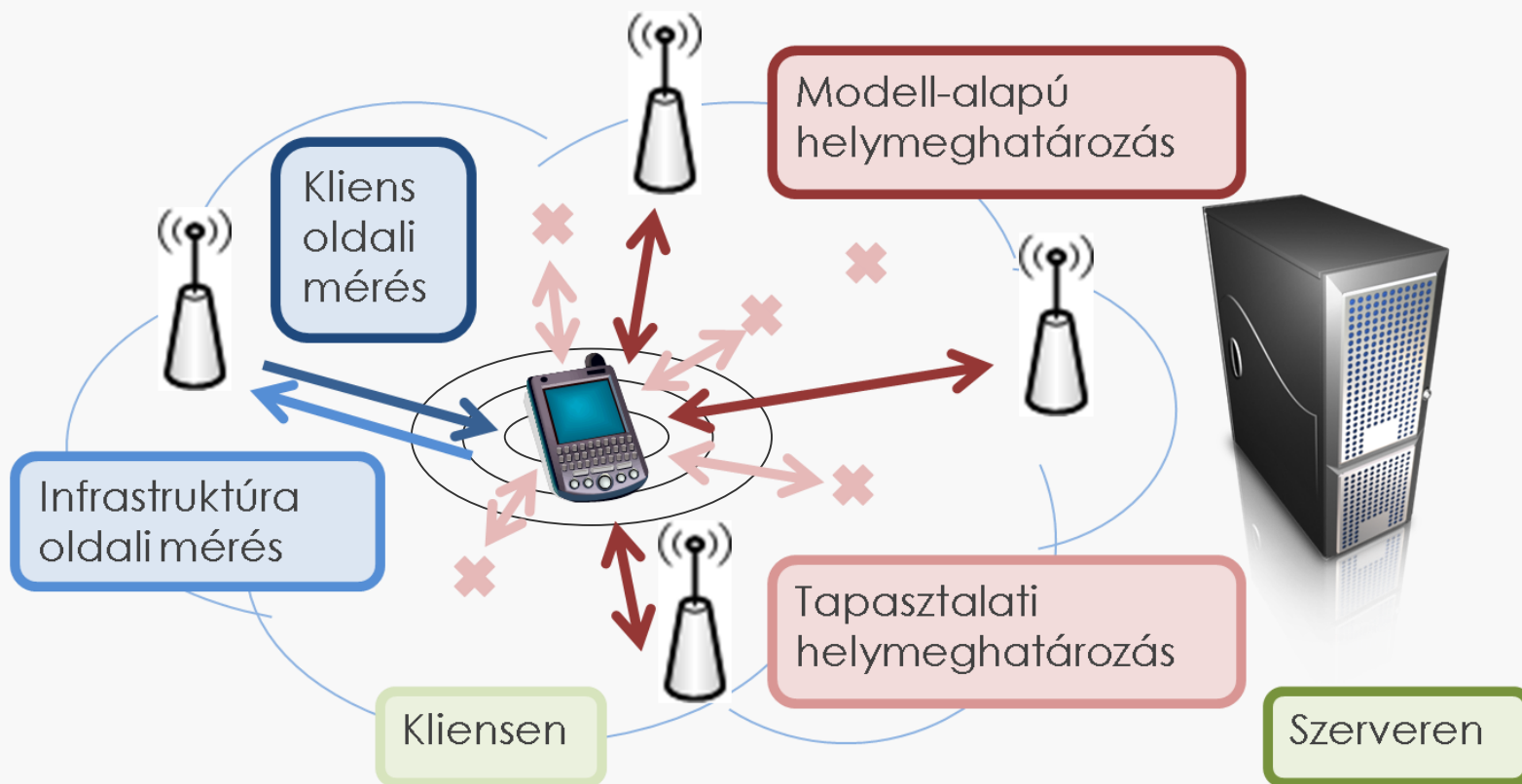
Jelterjedés leírása – Többutas terjedés

- » Mit tehetünk ellene?
 - » DSSS, OFDM
 - » Nagy sáv szélesség
 - » Diverzitás

Jelterjedés leírása – Ultra szélessávú átvitel

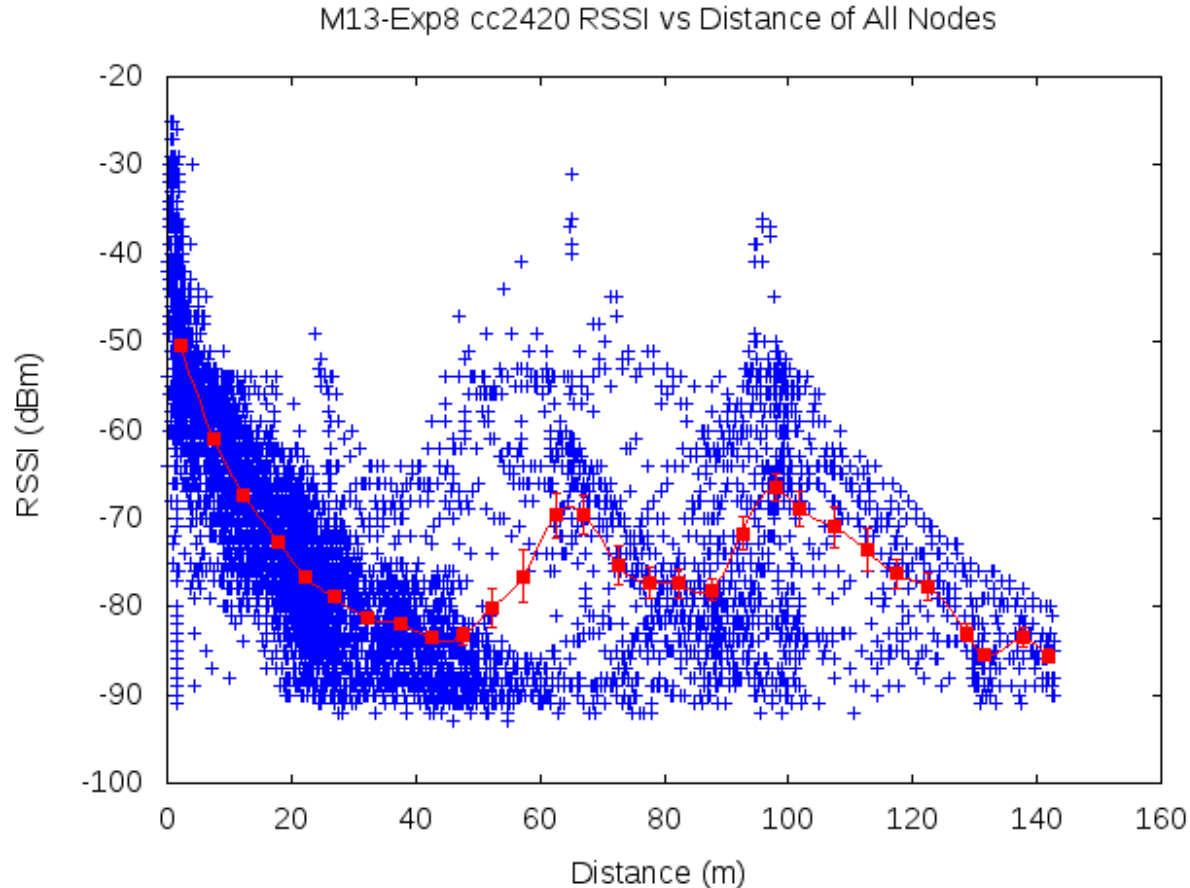
- » Az UWB technológia nagyon egyszerű, de speciális megoldásokat használ
- » Alapelve a nagyon rövid impulzusok továbbítása
 - » Rövid idő → nagy sáv szélesség
- » Nagyon kicsi jelteljesítmény
- » Előnye:
 - » A nagy sáv szélesség miatt jól ellenáll a többutas terjedésnek
 - » Kis energiaigény
- » Hátránya:
 - » Még nem túl elterjedt
- » Tovább nem részletezzük

RSSI alapú helymeghatározás



RSSI alapú helymeghatározás

- » Az RSSI általában elérhető
 - » Sajnos nem feltétlenül kalibrált, sokszor nem lineáris skála
 - » Érintett a többutas terjedés miatt is



RSSI - módszerek

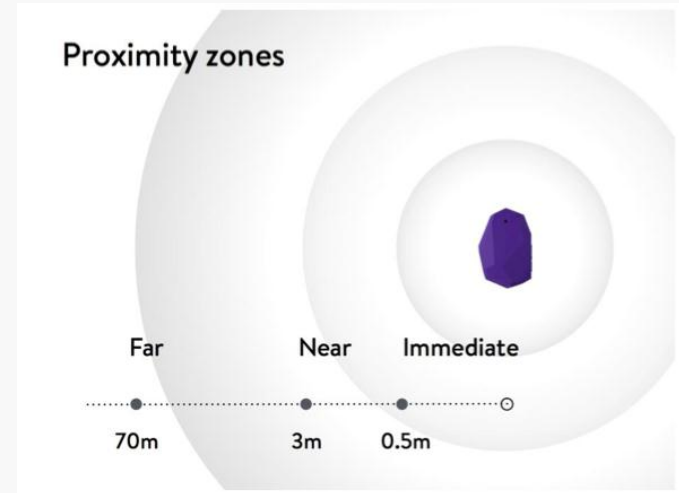
- » Beacon alapú
 - » Kis teljesítményű adók – hatáskör adja a durva pozíciót
 - » Kapuknál áthaladás
- » Modell alapú
 - » Terjedési modell alapján
 - » Háromszögeléssel határozható meg a pozíció
- » „Location fingerprinting”
 - » Előre elvégzett kalibráció alapján
 - » Kalibrációt igényel
 - » A google is ezt használja

Beacon alapú módszerek

- » Sok jeladót igényel, melyek kis teljesítménnyel forgalmaznak
 - » Általában nem túl gyakori a küldés – elem
- » A jelerősség állításával lehet a beacon-ök körüli kört növelni/csökkenteni
 - » Trade-off: pontosság/beacon-ök száma
- » Több térerővel való küldés
 - » Lassúbb a pozícionálás
- » Pontokon való áthaladás észrevételére jó

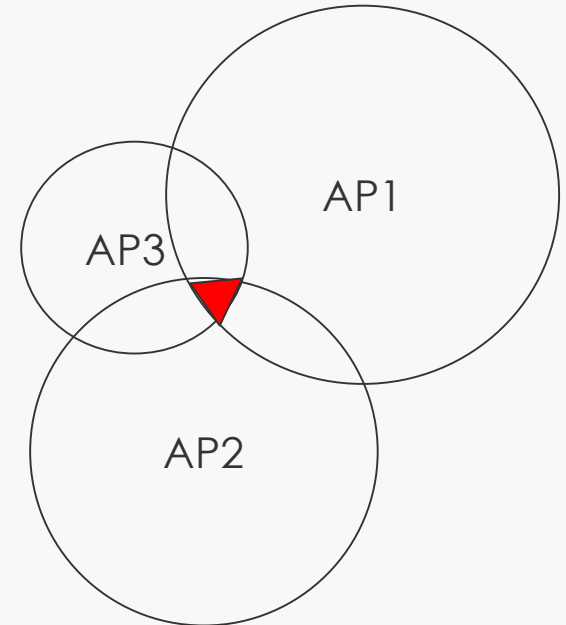
Beacon alapú módszer - technológiák

- » Bluetooth 4.x
 - » Bluetooth Low Energy, ujabban Bluetooth Smart
 - » Elemes működés, 2.4GHz
 - » ritka megszólalás, állítható teljesítmény
 - » Apple iBeacon
- » RFID, több szabvány
 - » UHF, 868/900MHz
 - » ISO/IEC 15693 – vicinity cards, 13.56MHz
 - » Olvasási távolság méterekben mérhető



Modell alapú helymeghatározás

- » Terjedési modell: $P \sim \frac{1}{r^2}$
 - » Jelerősség => r sugarú kör
 - » A körök metszéspontja adja a pozíciót



- » Nem veszi figyelembe a falakat
 - » Azokat is bevehetjük a modellbe
 - » Térkép alapján, elnyelés alapján
- » A többutas terjedés nehezen vehető be a modellbe
 - » Ray tracing: túl komplex, túl sok a paraméter

Location fingerprinting

- » A leggyakrabban használt módszer
- » Térerősségtérkép építhető
 - » Adott kalibrációs pontokban a környező AP-k jelerőssége
 - » 2-3m pontosság érhető el
- » Többféle algoritmust használnak
 - » Determinisztikus
 - » Probabilisztikus
- » A született pozíció szűréssel tovább javítható
 - » Hibás vagy hiányos mérések nagy ugrásokat eredményeznek
 - » Szűréssel és átlagolással jól javítható

Determinisztikus algoritmusok

- » A legjobban illeszkedő fingerprint keresése egy metrika alapján
 - » Általában euklideszi távolságot néznek
 - » Egyéb, súlyozott metrika is használható

- » Döntés: K Nearest Neighbour
 - » $K = 1$ – a legközelebbit választja
 - » $K = 3$ tipikus érték
 - » Súlyozottan figyelembe lehet venni az erősebb (közelebbi) AP-eket

Probabilisztikus módszerek

- » Valószínűségi döntés – Bayes döntés

- » X – pozíció, Y – mérés

- » $p(y|x) = \frac{p(y|x)p(x)}{p(y)}$, ahol $p(y|x)$ a valószínűség (likelihood)

- » A valószínűség többféleképpen számolható

- » Hisztogram, Gauss, Log-normal stb.

- » A valószínűségek alapján kapunk pozíciót

Utólagos szűrés

- » Az esetleges mérési hibák ugrásokat eredményeznek
 - » Hiányzó AP, eltakart AP – nagy ugrás
 - » Egyébként is van szórás
- » Szűrési módszerek
 - » Outlierek szűrése – fontos
 - » Mozgás modell alapú (Kalman szűrő)
 - » Valószínűségi (Bayes szűrő)
 - » Particle filtering
- » További javítás – térkép alapján
 - » Haladási útvonalak, falak figyelembe vétele

Egyéb technológiák

Ultrahang

- » Hasonló a rádióhullámokhoz
- » Előnyei:
 - » Kis terjedési sebesség (levegő, ~ 330 m/s)
 - » Nem kell olyan pontos időzítés (ToA, TDoA)
 - » Pontos
- » Hátrányai
 - » Falon nem hatol át
 - » Sok vevő kell
 - » Nem elterjedt
 - » Kuttyákat zavarhatja 😊

Látható fény alapján

- » Egyre elterjedtebbek a LED-es „izzók” 😊
- » Újdonság: modulálható a fény
 - » Minden égő saját azonosítót modulál
 - » A telefon kamerája érzékelni tudja a modulált jelet
 - » -> beacon stílusú helymeghatározást tesz lehetővé
- » Lehetséges nem látható tartományba tenni a modulált fényt – 1 Infra LED

Köszönöm a figyelmet!

KÉRDÉSEK?