

Méréstechnika labor

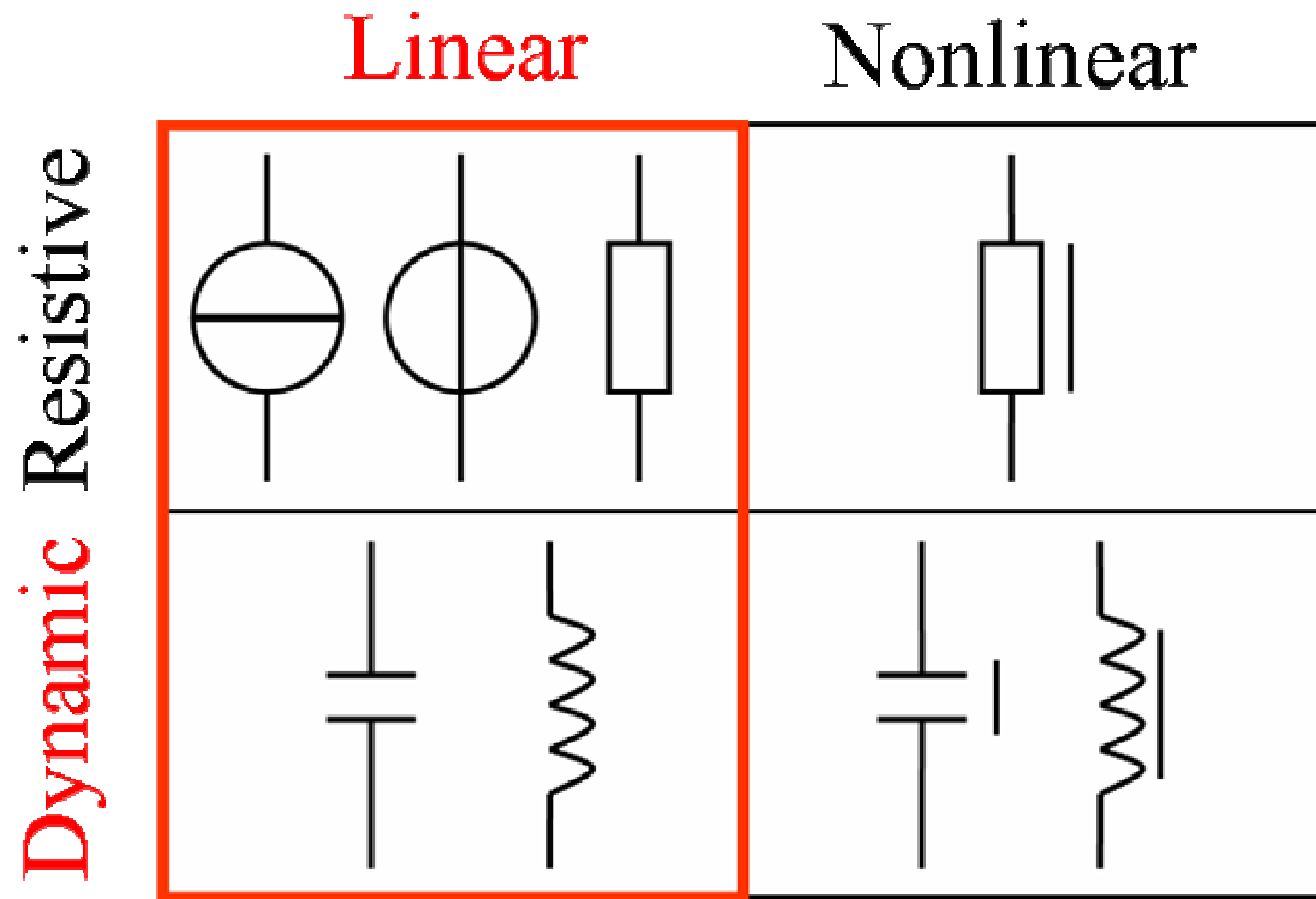
4. előadás

- i.) Műveleti erősítő mérése
- ii.) Ismétlés: Áramkörelmélet

Cserey György
2018. 10. 05.

Lineáris dinamikus áramkörök (vagy hálózat)

- Alapvető lineáris áramköri elemek:
- Ellenállás, R , $[\Omega]$ (Ohm)
- Indukció (tekercs), L , $[H]$ (Henry)
- Kapacitás (kondi), C , $[F]$ (Farad)



Induktivitás (tekercs)

- Az áram a tekercsben mágneses mezőt indukál:

$$B(t) = K_1 i_L(t)$$

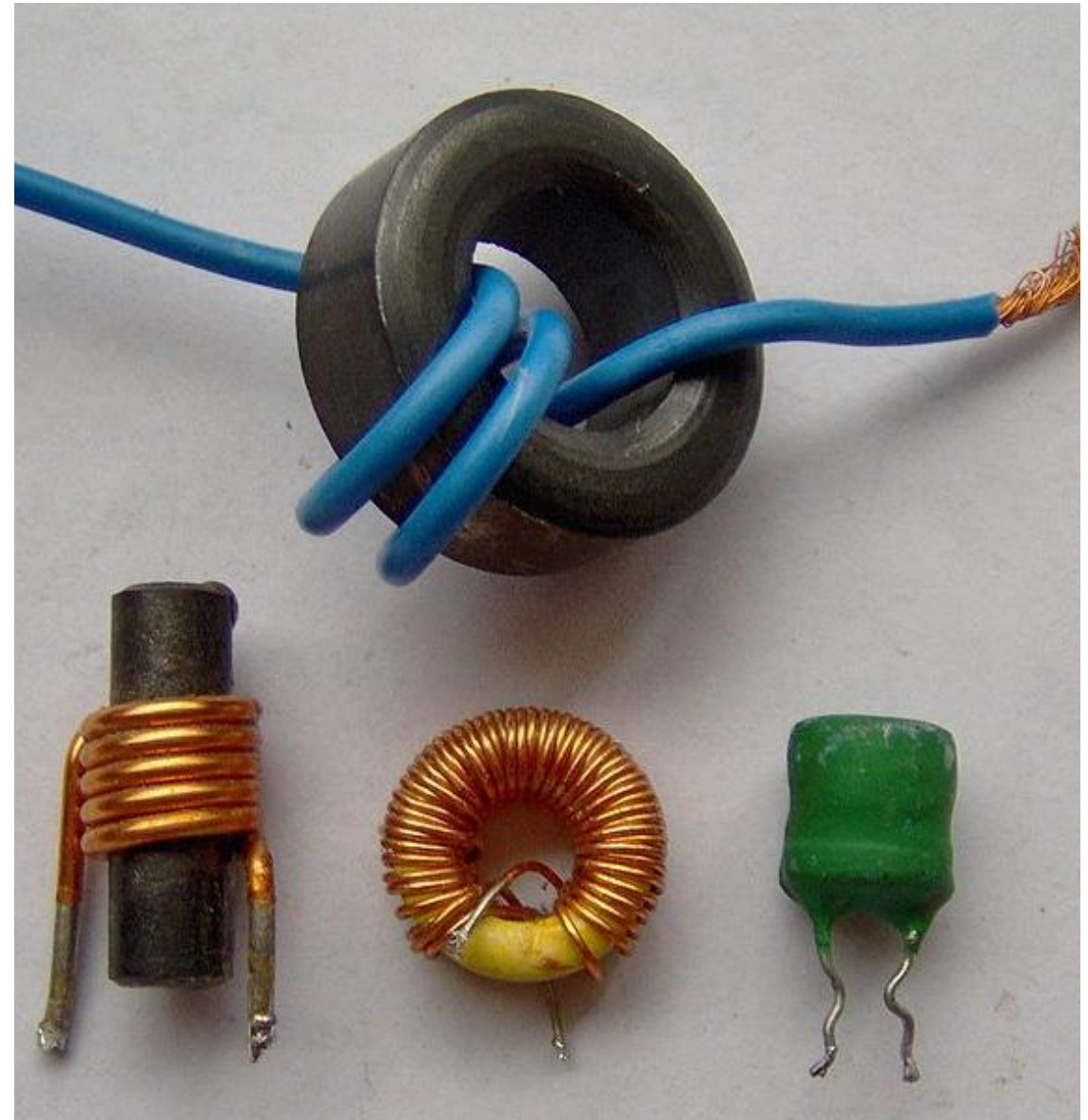
- A mágneses mező változása induktív feszültséget eredményez:

$$u_L(t) = K_2 \frac{dB(t)}{dt}$$

- A pillanatnyi feszültség értéke:

$$u_L(t) = \Phi_u \{i_L(t)\} = L \frac{di_L(t)}{dt}$$

- ahol $L = K_1 K_2$.



Kapacitás (kondenzátor)

- A kondenzátorban lévő töltést az E elektromos mezővel arányos feszültség határozza meg:

$$Q = C u_C(t),$$

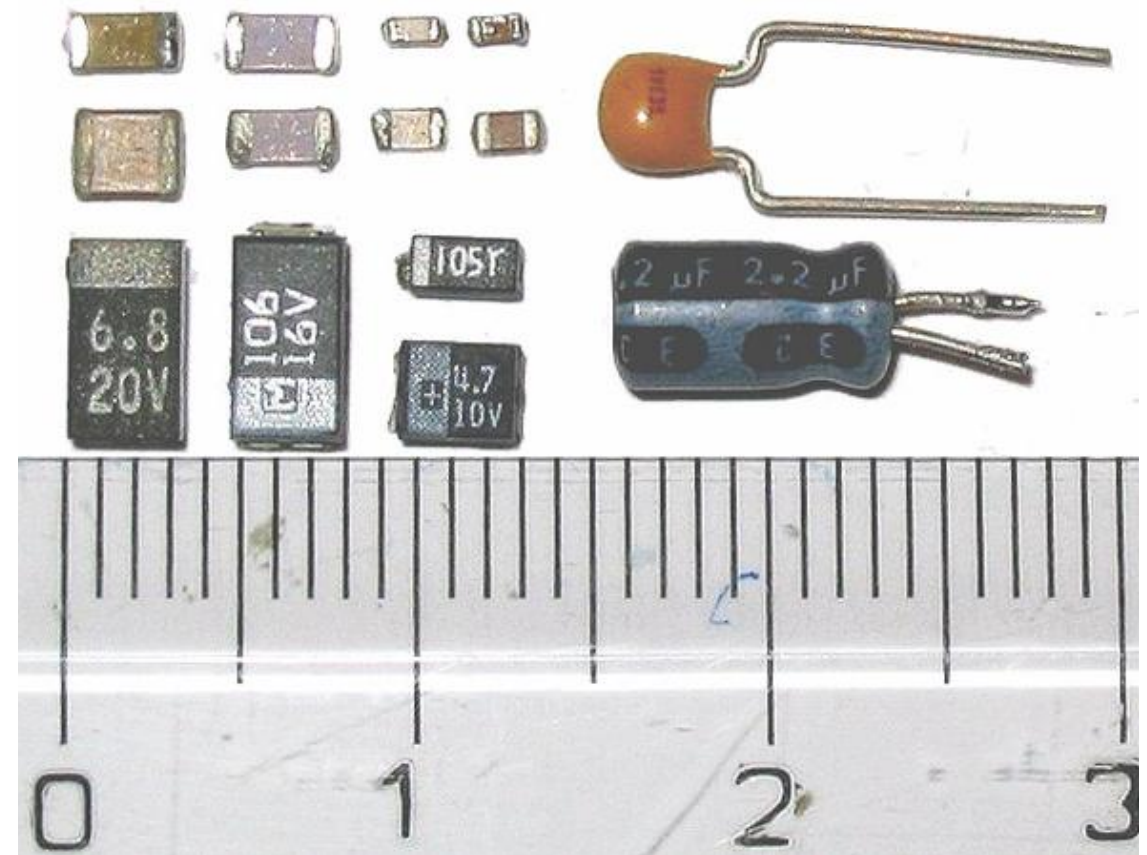
ahol C a kapacitás.

- A töltés időbeli változása:

$$i_C = dQ/dt.$$

- A pillanatnyi áram ezek alapján

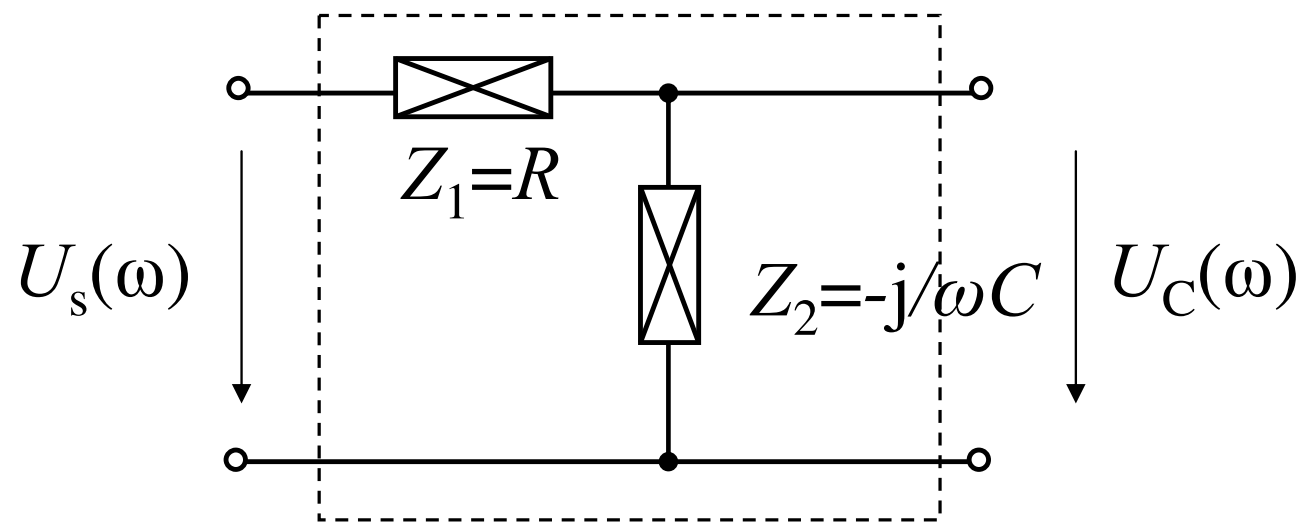
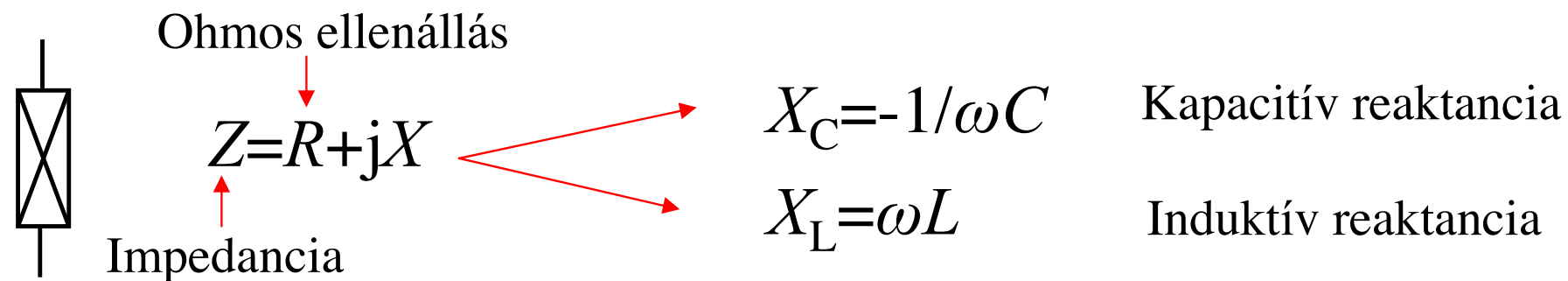
$$i_C(t) = \Phi_i \{u_C(t)\} = C \frac{du_C(t)}{dt}$$



Az impedancia fogalma

- Állandósult állapotú, szinuszos gerjesztésű (un. AC) hálózatok analízisének alkalmazzuk.
 - sok rendszer ilyen
 - a szinuszos mérőjelek könnyen generálhatók
 - áramkör tranziens viselkedése sokszor nemérdekes
 - bármiféle jel összerakható szinuszos jelekből:
 - periódikus jel: Fourier sor
 - tetszőleges jel: Fourier transzformáció
- Az egyes áramköri elemek impedanciája
 - Ellenállás: $Z_R = V_R / I_R = R \text{ } [\Omega]$
 - Induktivitás: $Z_L = V_L / I_L = j\omega L \text{ } [\Omega]$
 - Kapacitás: $Z_C = V_C / I_C = 1 / j\omega C \text{ } [\Omega]$
- Az impedancia a kapcsolási rajzból közvetlenül felírható
- Az impedanciákkal formálisan mint az ellenállásokkal egy DC hálózatban lehet és kell számolni

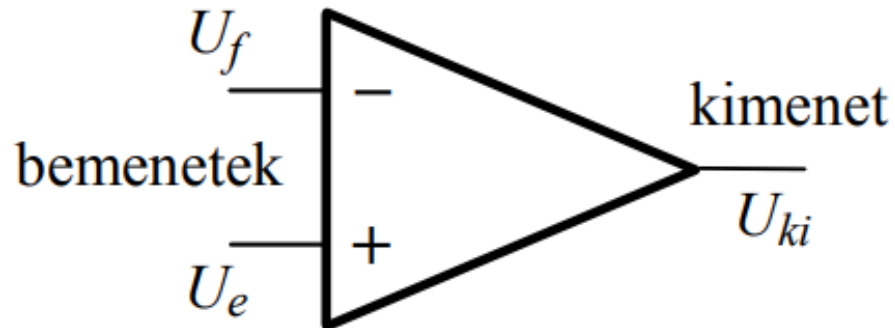
Az impedancia fogalma



$$H(\omega) = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} = \frac{-j\frac{1}{\omega C}}{R - j\frac{1}{\omega C}} = \frac{1}{1 - j\omega RC}$$

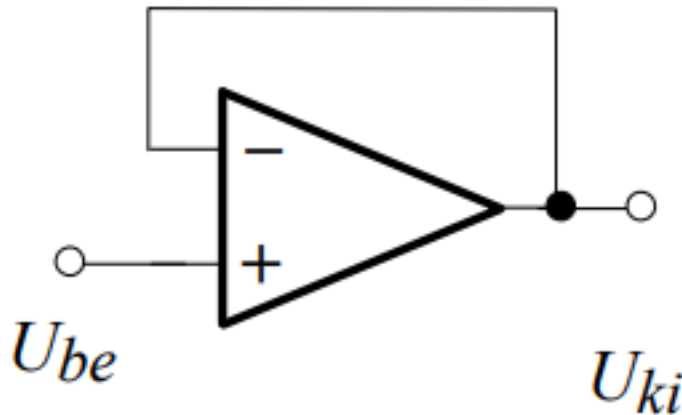
Egyszerű feszültségosztó képlet!

Műveleti erősítő



- Alapegyenlet: $U_{ki} = A_u (U_e - U_f) ,$
- Feltételezzük, hogy az erősítés végtelenül nagy
- Feltételezzük, hogy a feldolgozandó jel a kapcsolás határfrekvenciája alatt van

Követő (v. elválasztó) műveleti erősítő

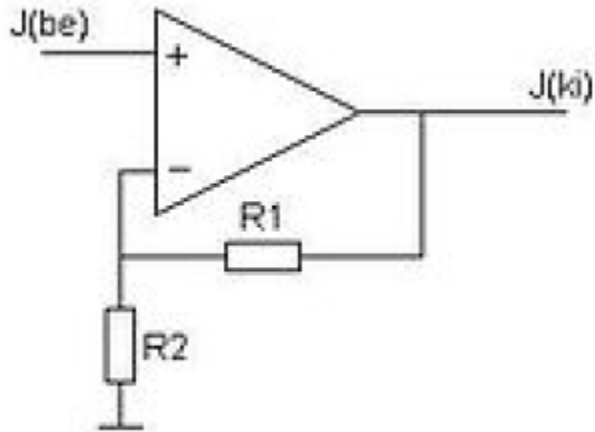


$$U_{ki} = A_u (U_e - U_f)$$

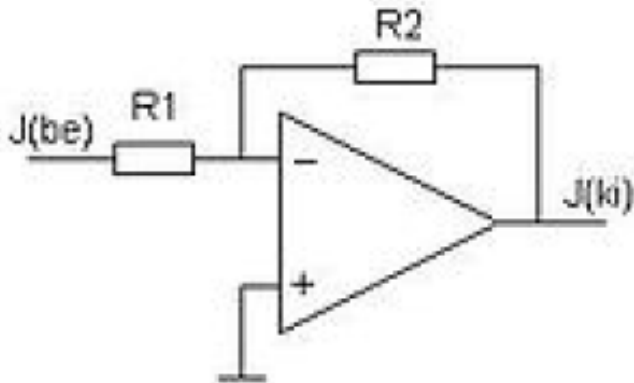
$$U_{ki} = U_{be} \frac{1}{1 + \frac{1}{A_u}} = U_{be}$$

- Nagy bemeneti ellenállás
- Kicsi kimeneti ellenállás

Nem invertáló és invertáló alapkapcsolás

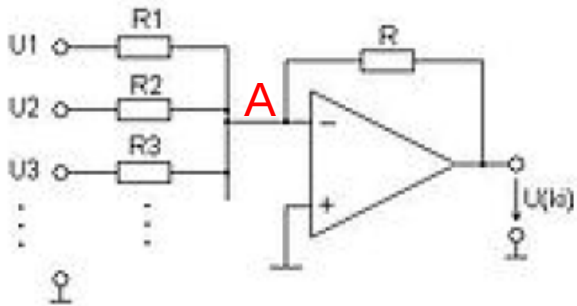


$$A_v = \frac{U_{ki}}{U_{be}} = 1 + \frac{R1}{R2}$$



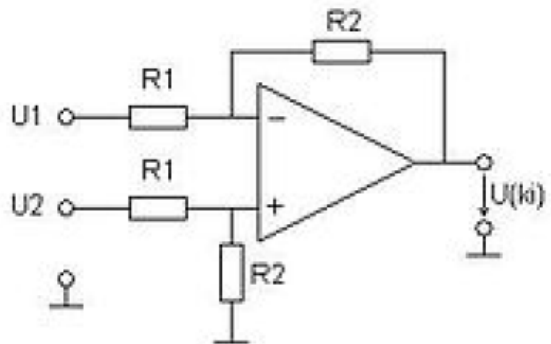
$$A_v = -\frac{R2}{R1}$$

Összeadó és kivonó áramkör



$$U_{ki} = -R \left(\frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2} + \frac{U_3}{R_3} \dots \right)$$

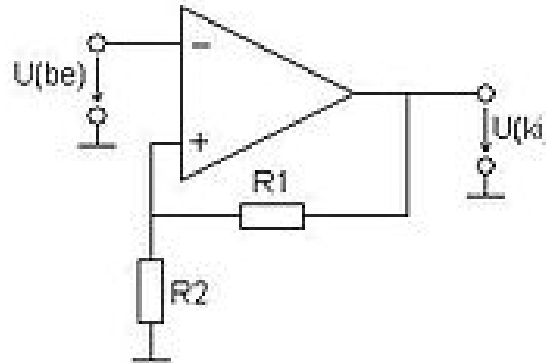
- Csomóponti törvény felírása **A** pontra



$$U_{ki} = \frac{R_2}{R_1} (U_2 - U_1)$$

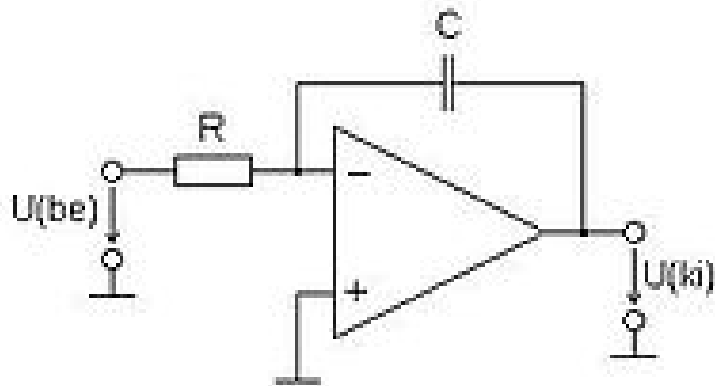
- Szuperpozíció elve, invertáló és nem invertáló alapkapcsolások

Hiszterézises komparátor alapkapcsolás



- Hiszterézis, hogy ha a bemenetek potenciálja közel van egymáshoz, akkor ne oszcilláljon a kimenet
 1. tfh. a bemenet a referencia fölött van
 2. ennek hatására a kimenet a földhöz közeledik ami csökkenti a referencia értékét
 3. nő a távolság a bemenetek között, még gyorsabban csökken a kimenet

Analóg integráló alapkapcsolás



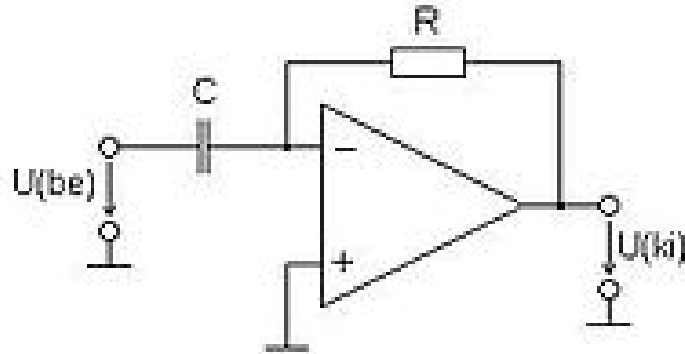
- Írjuk fel a csomóponti törvényt a bemenetre!

$$\frac{u_{be}}{R} + C \cdot \frac{du_{ki}}{dt} = 0$$

$$\frac{du_{ki}}{dt} = -\frac{1}{R \cdot C} \cdot u_{be}$$

$$u_{ki} = -\frac{1}{R \cdot C} \cdot \int_0^t u_{be}(t) \cdot dt + u_{ki}(t=0)$$

Analóg differenciáló alkapcsolás



- Bemenetre felírt csomóponti törvény alapján:

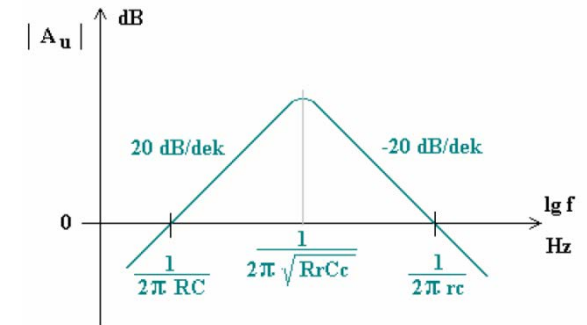
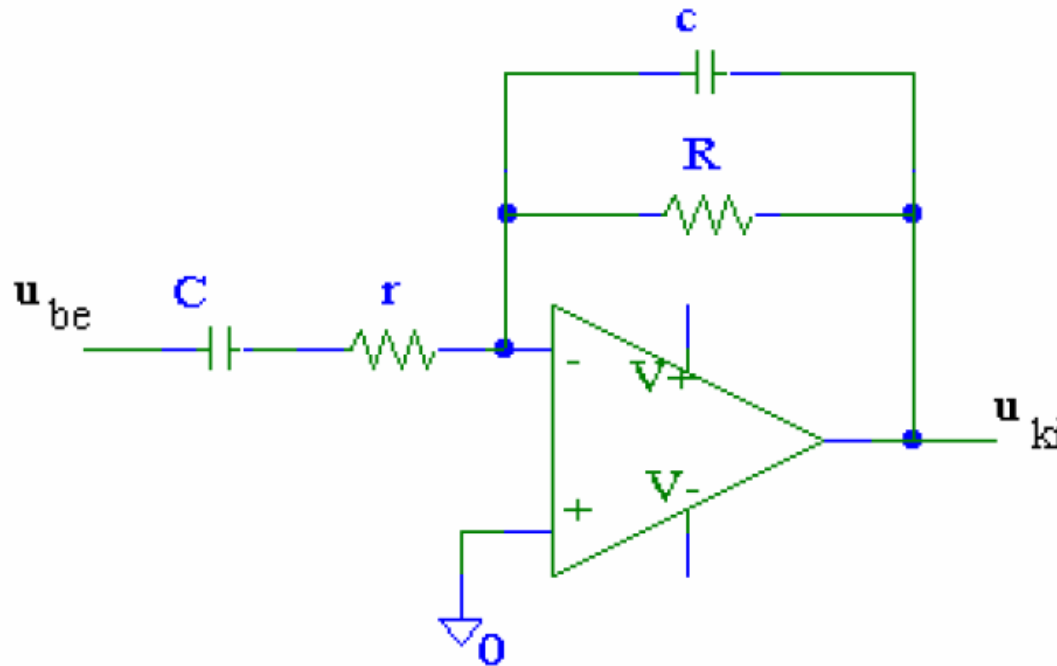
$$C \cdot \frac{du_{be}}{dt} + \frac{u_{ki}}{R} = 0$$

$$u_{ki} = -R \cdot C \cdot \frac{du_{be}}{dt}$$

Problémák

- Frekvencia növekedés végtelen erősítéshez vezethetne
- Frekvencia növekedés, kondenzátor impedanciája tart a zérushoz, rövidzár
- Gerjedés lép fel, instabil működés

Analóg differenciáló alapkapcsolás – gyakorlati megvalósítása



- r és c kiegészítéssel érdemes megvalósítani

Miért fontos a lokalizáció?

- Sok alkalmazás számára fundamentális komponens
 - GPS nem mindenütt érhető el
 - “kontextusfüggő rendszerek” - az eszközöknek tudnia kell, hogy hol vannak
 - Útvonalválasztás és lefedettség probléma kezelése
 - Személy és eszköz mozgásának követése
 - Térbeli referencia szükséges amikor térbeli jelenséget figyelünk meg
- Néhány alkalmazásban azonosítani szeretnénk a pontos pozíciónkat:
 - Hol történt valami?
 - Hol van egy bizonyos objektum (pl.: eszköz)?

Lokalizációs rendszerek osztályozása 1.

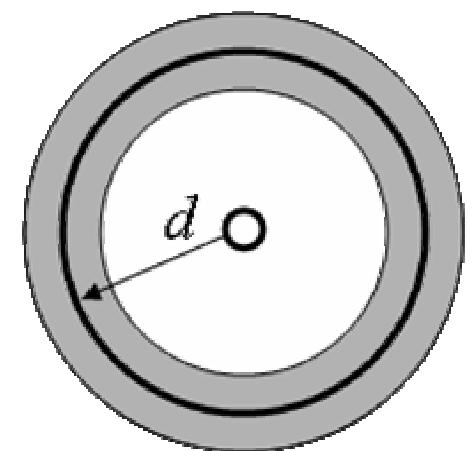
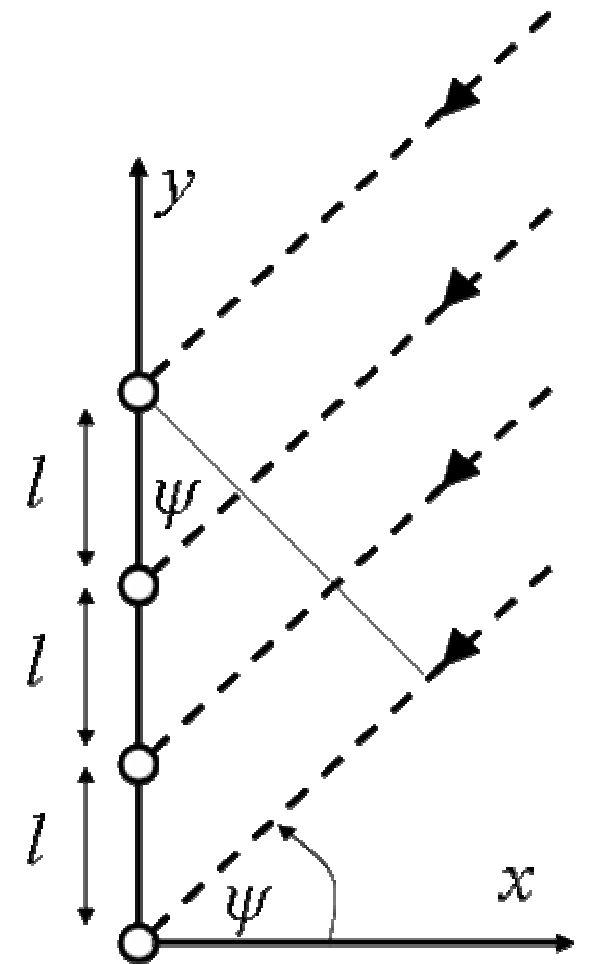
- Jelséma alapján
 - Infravörös jelek (olcsó, kis teljesítményű, napfényre érzékeny, falon nem halad át)
 - Optikai jelek (LoS, kis teljesítményű, napfényre érzékeny, nagy pontosság érhető el vele kis távolságban (10m))
 - Ultrahang jelek (nagy pontosság kis távolságban, nagy teljesítményt vesz fel, olcsó LoS esetén)
 - Rádiófrekvenciás jelek (leggyakrabban használt, áthalad a falakon, nagy távolságban is érzékelhető)
 - UWB (ultra-wide band, nagyon alacsony fogyasztás, nagy sávszélesség), CDMA, stb...
 - Cellás mobil rendszerek, WLAN, WPAN, RFID (rádiófrekvenciás azonosító), WSN (wireless sensor network)
- Lokalizációs eszköz
 - Kézi eszköz alapú (saját pozicionálás, pl.: GPS)
 - Hálózaton alapuló (visszajelzés alapján, pl.: WSN)
- Beltéri vs. kültéri lokalizáció

Lokalizációs rendszerek osztályozása 2.

- Lokalizáció típusa szerint:
 - Aktív lokalizáció: a rendszer küld egy jelet, hogy lokalizálja a céltárgyat.
 - Kooperatív lokalizáció: a céltárgy kooperál a rendszerrel.
 - Passzív lokalizáció: a céltárgy által kibocsátott jelek alapján a rendszer számítja pozícióit.
- Centralizált vs. elosztott lokalizáció
- Szoftver vs. hardver alapú lokalizáció
- Relatív vs. abszolút koordináta meghatározása
- Teljesítőkéesség alapján
 - Pontosság, kalibráció, költség, energiafogyasztás, érzékenység, késleltetés, önszervező képesség, stb...

Lokalizációs rendszerek osztályozása 3.

- Helyfüggő paraméterek szerint:
 - Vételi jelszint (RSS)
 - Beesési szög (angle-of-arrival, AOA)
 - Beérkezési idő (time-of-arrival, TOA): korreláció alapú, szinkronizációra van szükség
 - Időkülönbség (time difference-of-arrival, TDOA)

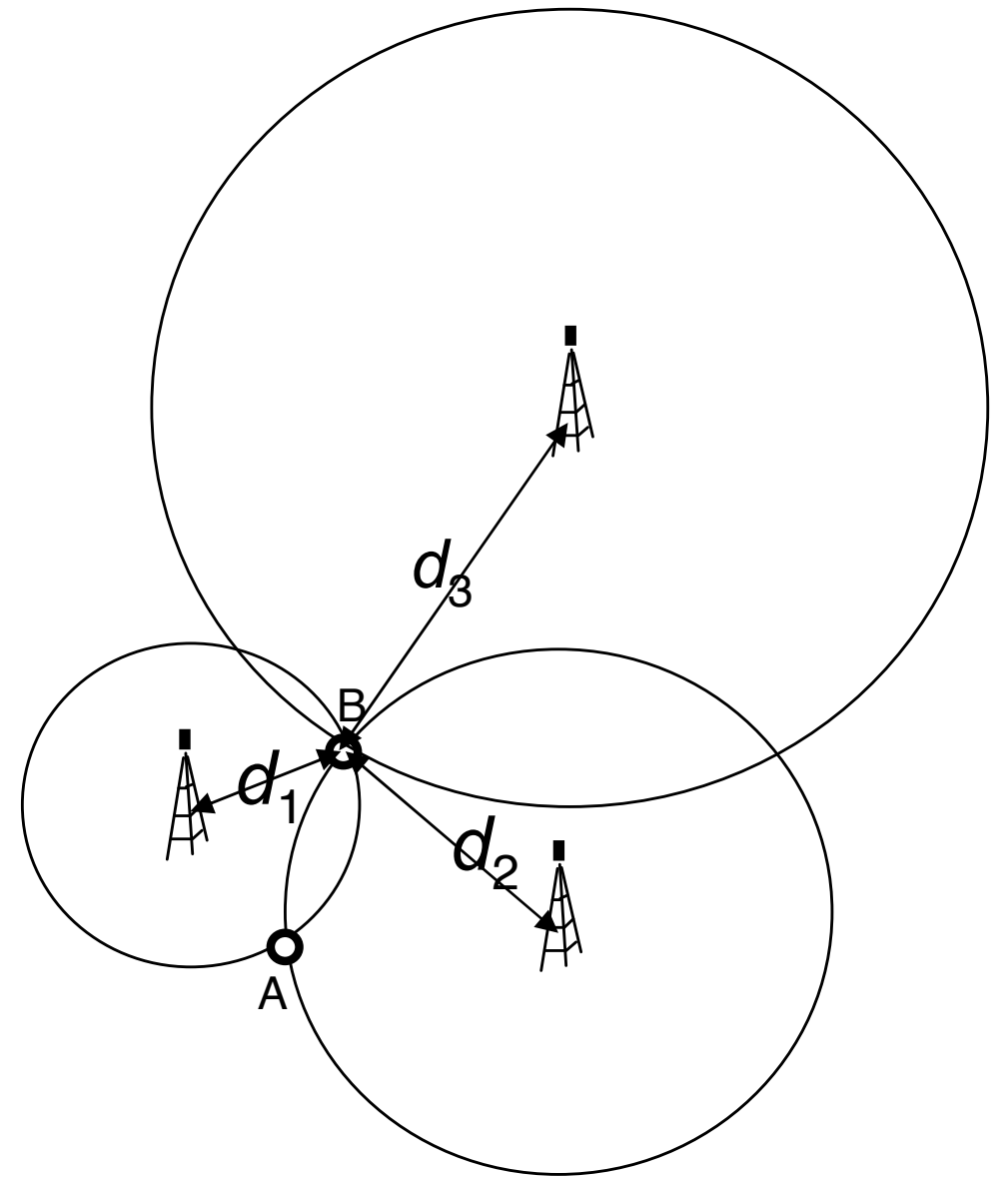


Lokalizációs algoritmusok

- Cella azonosító lokalizáció (a legközelebbi referencia node-ra dönt)
- Geometriai módszerek (távolság alapú)
 - Triangularizáció (legalább 3 node)
 - Trilateráció (2D esetén legalább 3 node, 3D esetén legalább 4 node)
 - Multilateráció
- Statisztikai módszerek
- Minta illeszkedés alapú algoritmusok

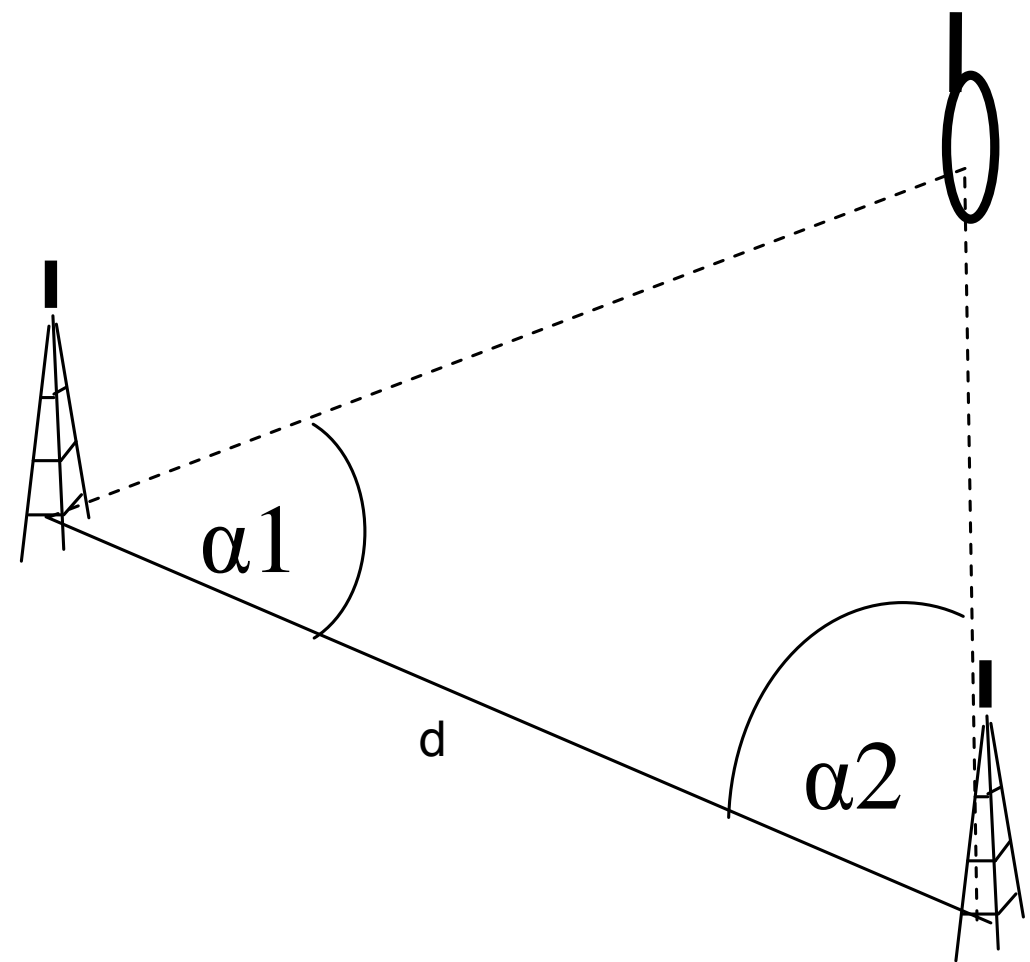
Time-of-arrival (ToA)

- Távaolságmérés alapja a vett jel terjedési ideje (vagy szintje)
- A bázisállomások helye ismert
- Három bázisállomást bemérve meghatározható valódi helyzetünk
- Trilateráció



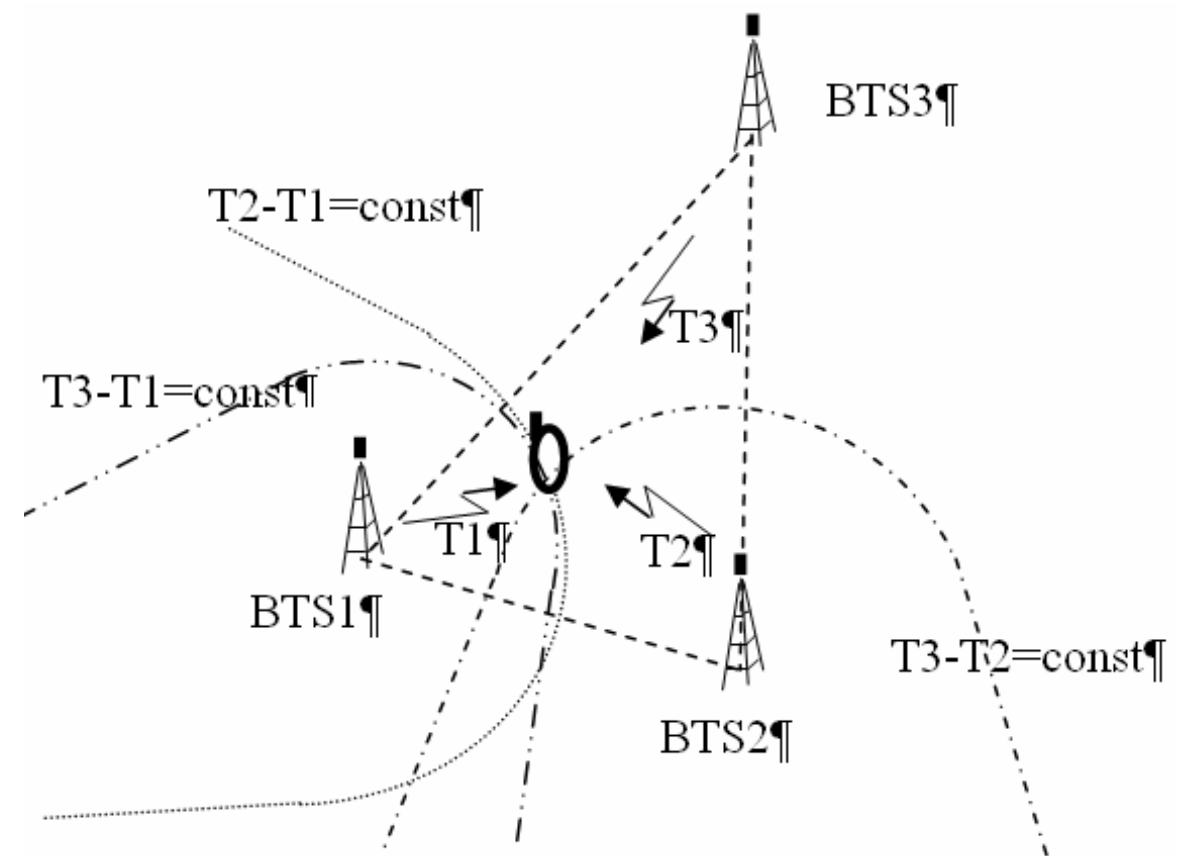
Angle-of-Arrival (AoA)

- A bázisállomások helye ismert
- Két bázisállomás vételi szögét bemérve meghatározható valódi helyzetünk



Time Difference of Arrival (TDoA)

- A bázisállomások helye ismert
- Az azonos időkülönbséggel vett helyek hiperbola mentén helyezkednek el
- Multilateráció



Technológiák

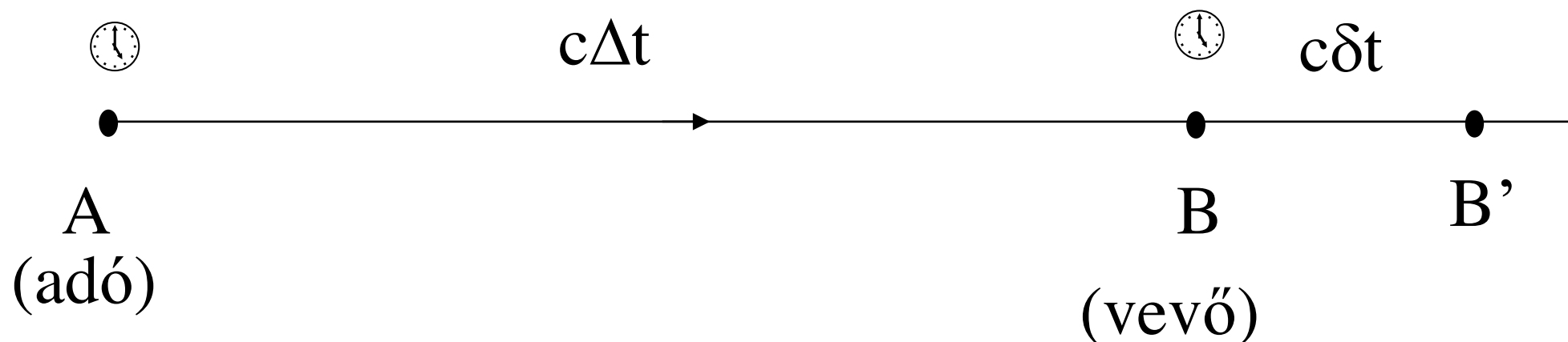
- Hozzáférhető technológiák: Bluetooth, Cellás mobil rendszerek, Műhold, Televízió, Wi-Fi, ZigBee, Ultra Wide Band, RFID, Infravörös, Ultrahang, Lézer
- Ultrahang ToA
 - Szokásos frekvencia 25 - 40KHz, néhány 10 méter távolságban, átlagos pontosság ~2-5 cm
- Akusztikus ToA
 - Távolság = ~10m, pontosság = 10cm
- RF ToA
 - Ubinet UWB pontosság = ~15cm
- Akusztikus AoA
 - Átlagos pontosság = ~5fok (e.g. akusztikus hullámformálás, MIT Cricket)
- RSSI alapú lokalizáció
 - WSN: Pontosság = 2-3m, Távolság = 10m
 - 802.11> Pontosság = ~3m

Elérhető lokalizációs rendszerek

Technológia	Lokalizációs módszer	Pontosság	Megjegyzés
GPS	ToA műhold alapú	1-5m	Drága, beltérben nem működik
Ekahau (WLAN)	RSS-alapú mintailleszkedés	1m	Már kiépült Wifi hálózaton is működik, nagyon drága
Microsoft RADAR	RSS-alapú mintailleszkedés	3-4m	Skálázási problémák, már kiépült Wifi hálózaton is működik
LOKI (WLAN)	Legközelebbi cella	Cella méret	Szabadon letölthető, a legközelebbi wifi hotspot étterem biztosan megtalálható
Ubisense	TDOA és AOA	30cm	Maximális céltárgy-szenzor távolság akár 50 m-nél nagyobb
Indoor GPS	AOA	1mm	Lézer alapú pozicionáló rendszer beltérben.
Google mobile	Mintailleszkedés alapú	50-100m	Ingyen bármely telefonra

Helymeghatározás alapelve időmérésre visszavezetve - passzív egyutas mérés

- Feladat: van A és B pontban független, de jól együtt járó óránk. Tudjuk, hogy A pontból mikor küldünk egy jelcsomagot. Mérjük, hogy mikor érkezik meg és a távolságot az időkülönbségből számoljuk



Ahol: Δt - időkülönbség (amíg eljut A-ból B-be)

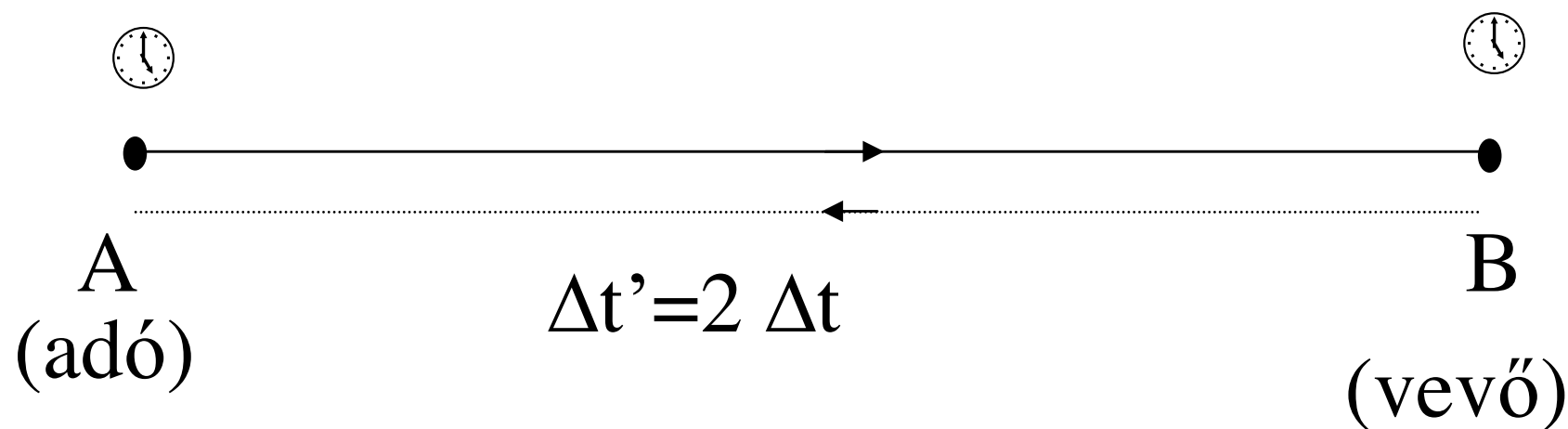
c – (rádió)hullám terjedési sebessége

δt - órahiba

$$\underline{AB} = c\Delta t$$

$$\underline{AB'} = c\Delta t + c\delta t$$

Helymeghatározás alapelve időmérésre visszavezetve - aktív mérés



$$\underline{AB} = \frac{1}{2}c\Delta t$$

Nincs órahiba hatás!!!

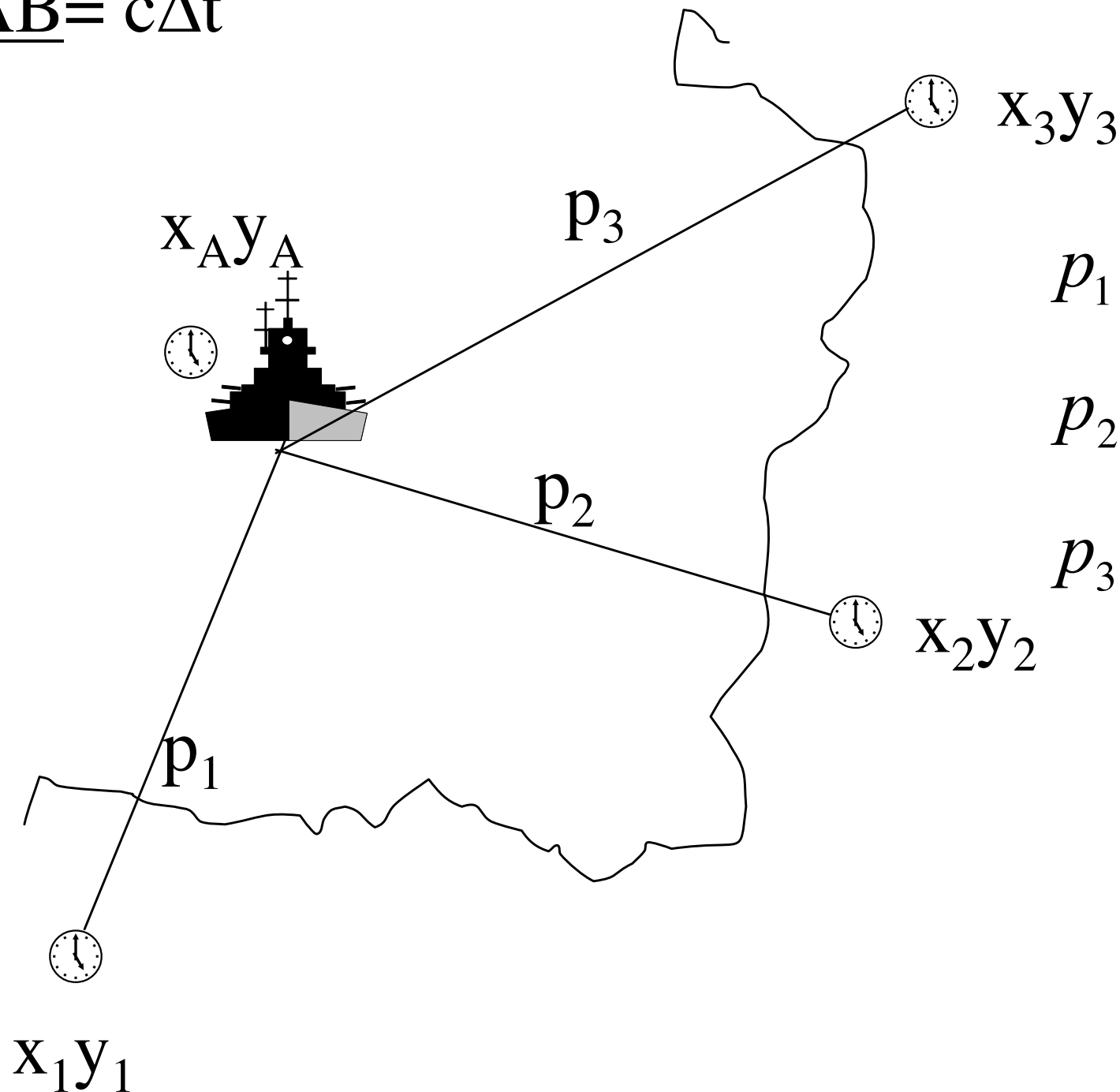
Miért nem használják?

Használók száma korlátozott!

Helymeghatározás alapelve síkbeli rendszernél

$$\underline{AB} = c\Delta t$$

p-pseudo távolság



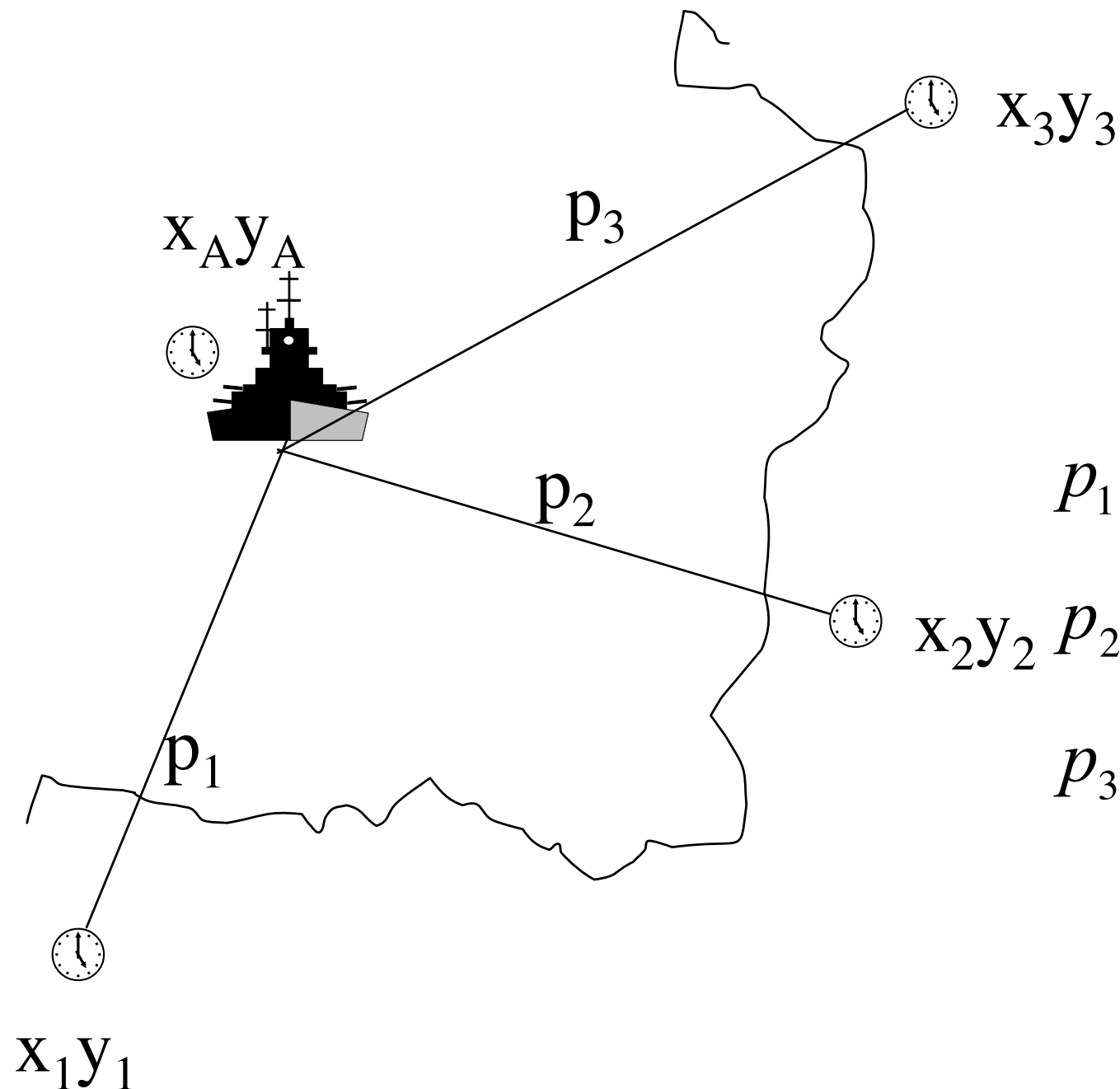
$$p_1 = \sqrt{(x_A - x_1)^2 + (y_A - y_1)^2}$$

$$p_2 = \sqrt{(x_A - x_2)^2 + (y_A - y_2)^2}$$

$$p_3 = \sqrt{(x_A - x_3)^2 + (y_A - y_3)^2}$$

3 egyenlet,
2 ismeretlen,
1 fölösleges mérés?

Helymeghatározás alapelve síkbeli rendszernél órahiba figyelembe vételével



$$p_1 = \sqrt{(x_A - x_1)^2 + (y_A - y_1)^2} + c\delta t$$

$$p_2 = \sqrt{(x_A - x_2)^2 + (y_A - y_2)^2} + c\delta t$$

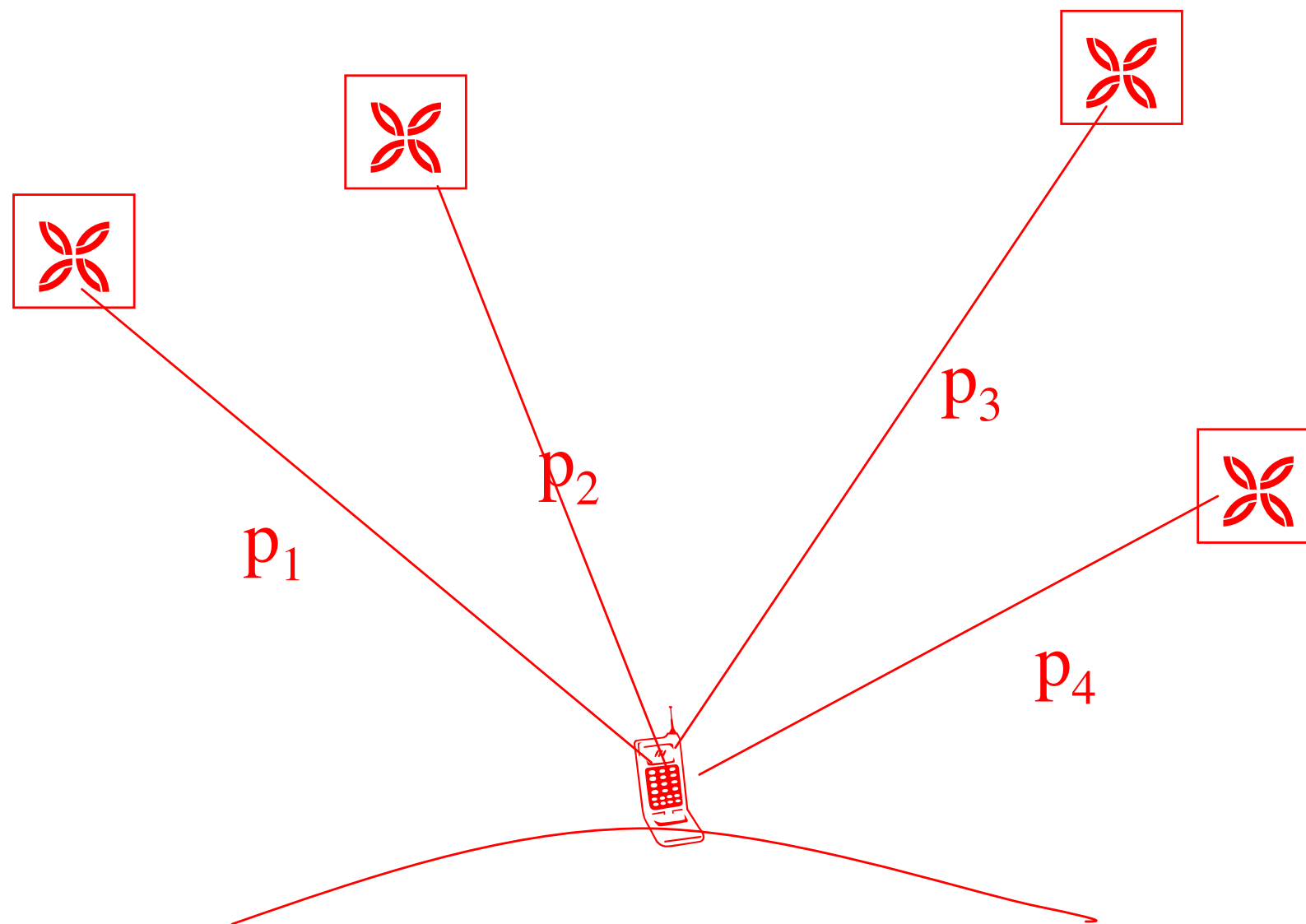
$$p_3 = \sqrt{(x_A - x_3)^2 + (y_A - y_3)^2} + c\delta t$$

3 egyenlet,
3 ismeretlen!

Helymeghatározás műholdakkal (GPS)

- Referenciaállomások - világűrben keringő műholdak
- kb 3,8 km/s sebességgel keringenek
- kb 20000 km magasan
- 24 műhold kering, közülük legalább 4 mindig “látható”
- keringési idő 12 óra

Helymeghatározás műholdakkal (GPS)



Helymeghatározás műholdakkal (GPS)

$$p_1 = \sqrt{(x_A - x_1)^2 + (y_A - y_1)^2 + (z_A - z_1)^2} + c\delta t$$

$$p_2 = \sqrt{(x_A - x_2)^2 + (y_A - y_2)^2 + (z_A - z_2)^2} + c\delta t$$

$$p_3 = \sqrt{(x_A - x_3)^2 + (y_A - y_3)^2 + (z_A - z_3)^2} + c\delta t$$

$$p_4 = \sqrt{(x_A - x_4)^2 + (y_A - y_4)^2 + (z_A - z_4)^2} + c\delta t$$

Pszeudo
távolságok

Órahiba
hatása

- Megjegyzés: ez a trilaterációs módszer. Megoldása nem triviális. + Ha a megfigyelt műholdak száma négynél nagyobb, akkor legkisebb négyzetek módszerével oldható meg:

$$\underline{\Delta \hat{\mathbf{x}} = \left(\mathbf{A}^T \mathbf{Q}_y \mathbf{A} \right)^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{Q}_x^{-1} \Delta \hat{\mathbf{y}}}$$

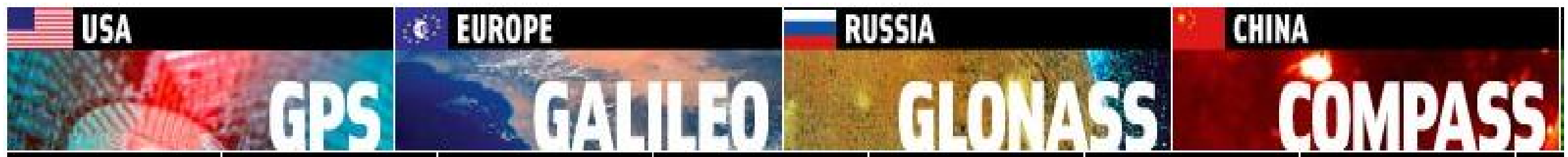
$\mathbf{Q} = \sigma^2 \mathbf{I}$ a mért kódtávolságok kovarianciamátrixa

A GPS kódolás hibaforrásai

Hibaforrás	Fajta	C/A-kód	P-kód
műhold	órastabilitás	3.0	3.0
	Pálya	1.0	1.0
	Egyéb	0.5	0.5
Követő állomás	Pályaadatok	4.2	4.2
	Egyéb	0.9	0.9
Jelterjedés	Ionoszféra	5.0 – 10.0	2.3
	Troposzféra	2.0	2.0
	Többutas terjedés	1.2	1.2
GPS vevő	Mérési zaj	7.5	1.5
	Egyéb	0.5	0.5
Teljes hatás (σ^2)		10.8 – 13.8	6.5

A GPS rendszer

- Az USA kormánya hozta létre és üzemelteti
- Az eredeti szándék nem a polgári célú alkalmazás volt.
- Folyamatosan fejlődik...
- Megvannak már a versenytársak is...



Valóságos GPS

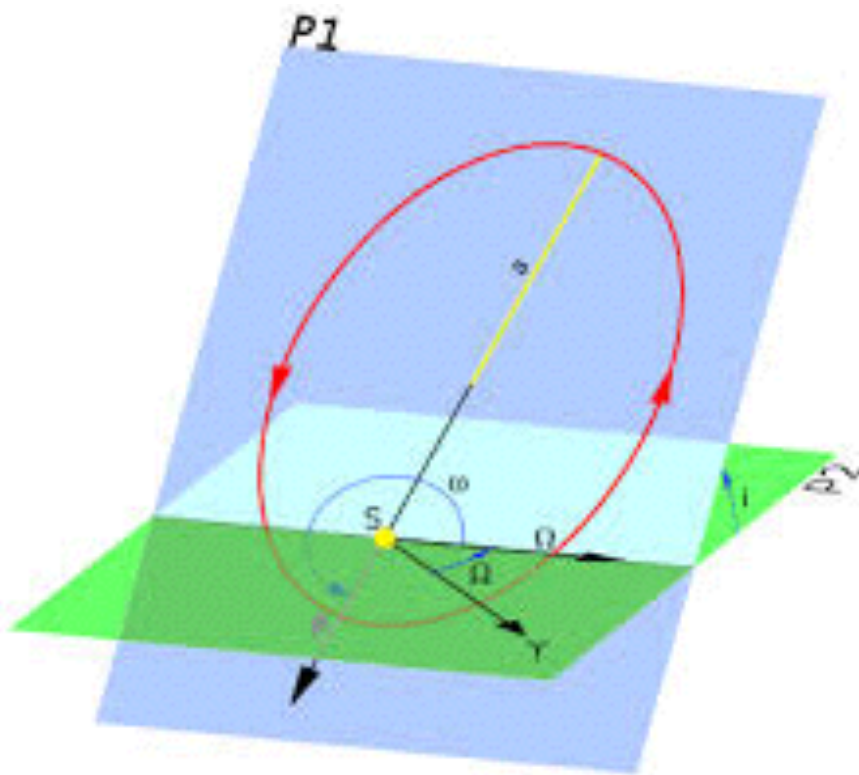
- A műholdak nem “rögzítettek”
- A műhold pozíciók kiszámíthatók az időpont és a műholdpályák alapján
- adatmegadás “GPS” koordinátarendszerben (3 dimenziós, geocentrikus)
- Figyelem! Más, mint a földmérési koordináták!

Valóságos GPS alrendszerei

- Műholdak - (atomóra 10^{-13} pontossággal, célszámítógép, adó-vevő rendszer, antenna, korrekciós hajtóművek)
- GPS vevő (kvarcóra, rádió-vevő, célszámítógép, helyzetinformáció kijelzés, adatátviteli lehetőség)
- Közvetítő állomások (monitor, adatfeldolgozás, adatfeljuttatás)

GPS műholdak - pályajellemzők

- közel kör alakú
- a földfelszín feletti közepes magasság 20240 km
- a keringési idő 12 h (csillagidőben)
- a pályasík elhajlása az Egyenlítő síkjához képest 55-fok (inklináció)



Megjegyzés: A csillagidő az időnek az a mértéke, melynek használata esetén a Föld egyenletes szögsebességgel forog a tengelye körül. Tekintettel arra, hogy a Föld forgási sebességében szezonális és szabálytalan ingadozások is vannak, a csillagidő az inerciaidőhöz viszonyítva nem múlik egyenletesen.

A GPS múltja, jelene és jövője

- 1992
 - 3 csatornás vevők, 10 perces felállási idő
 - Kb.: Ötször drágább, mint ma. (Isd. mobiltelefon)
- 1998 Magyarországon bevezetik az RDS-t
 - Differenciális jelkorrekciós szolgáltatás (RDS)
 - URH adáson keresztül, FM vevővel pontosítja a GPS készülék mérési eredményeit
 - Fajtái: 10 méteres, 5 méteres, méter alatti pontosság
- 2000
 - 12 csatornás vevők, 15-20 másodperces felállási idő
 - Precíziós mérések végzésére is alkalmas

Valóságos GPS jellemzői

- Abszolút vagy relatív helymeghatározás lehetősége,
- álló vagy mozgó pont helyének meghatározása,
- bárhol a földfelszínen,
- felhasználók számára korlátlan (mert “passzív”),
- abszolút helymeghatározás hibája kb. 10m,
- relatív helymeghatározás hibája kb. 1m,
- pontosság fázisméréssel kb. 1cm,
- alapfrekvencia 10,23 MHz, x154, x120 felszorzás után 1575,42 és 1227,60 MHz frekvencia (L1 és L2 frekvenciák), azaz 19,05 és 24,45 cm hullámhossz

Vége az 4. előadásnak

- i.) Műveleti erősítő mérése
- ii.) Ismétlés: Áramkörelmélet

Cserey György
2018. 10. 05.