

Lokalizáció

GPS

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 sáv szélesség), 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)

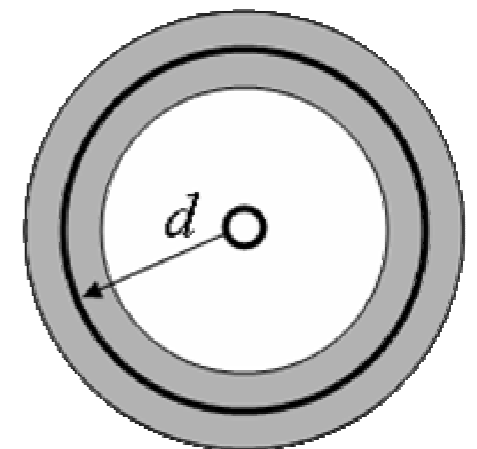
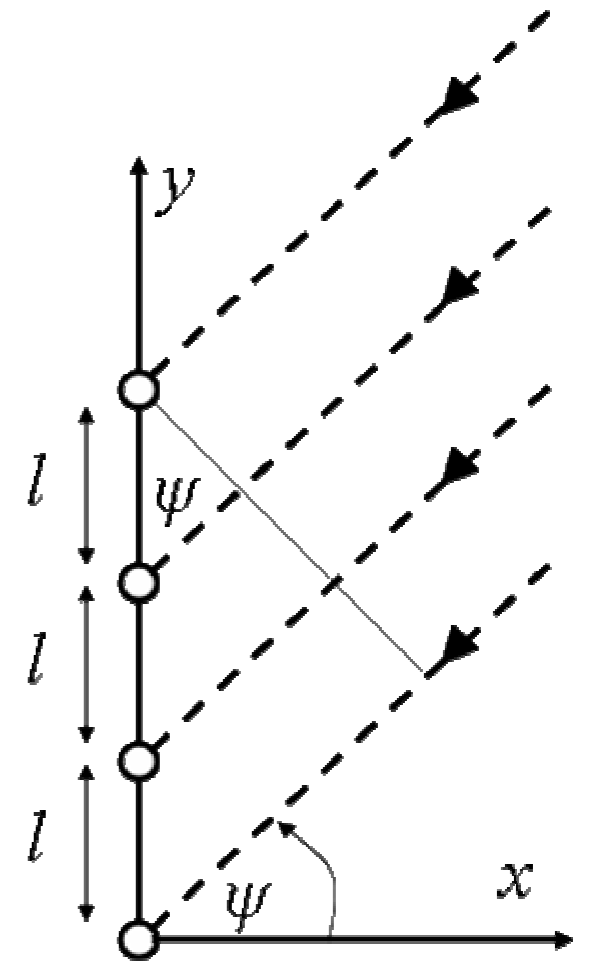
$$P(d) = P_0 - 10n \log_{10}(d/d_0)$$

- Beesési szög (angle-of-arrival, AOA)

$$r_i(t) = a_s(t - \tau_i) + n_i(t)$$

$$\tau_i \approx d/c + (l_i \sin \psi)/c, \text{ ahol } l_i = l(N_a + 1)/2 - i$$

- Beérkezési idő (time-of-arrival, TOA): korreláció alapú, szinkronizációra van szükség
- Időkülönbség (time difference-of-arrival, TDOA)

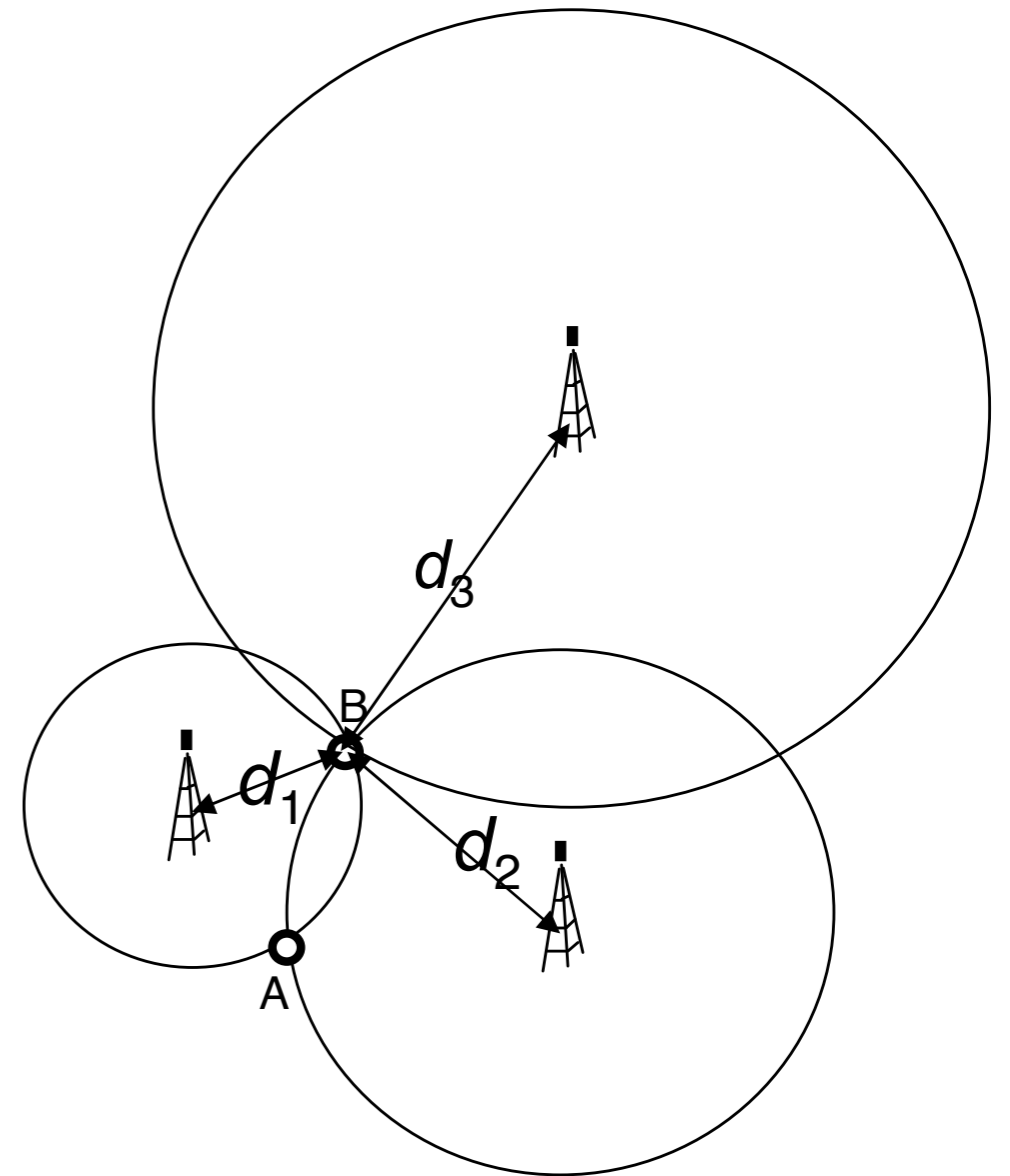


Lokalizációs algoritmusok

- 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

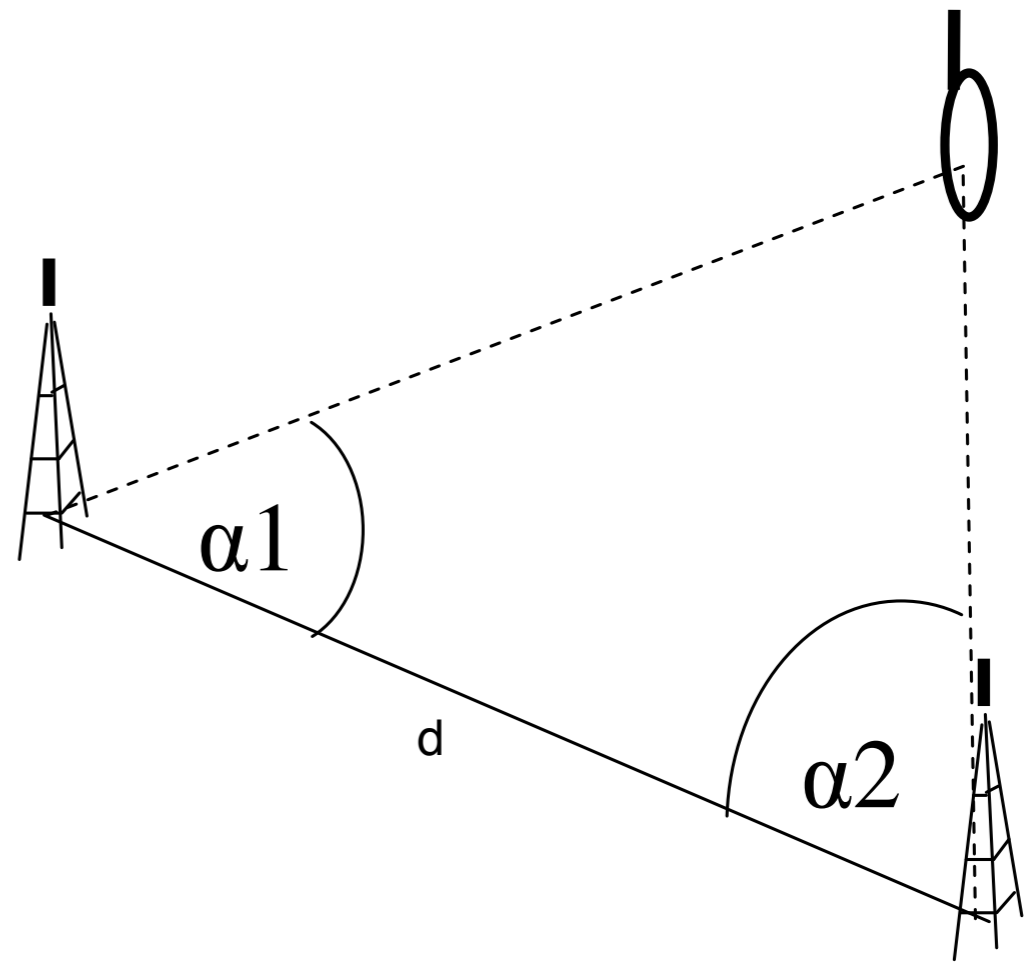
Time-of-arrival (ToA)

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



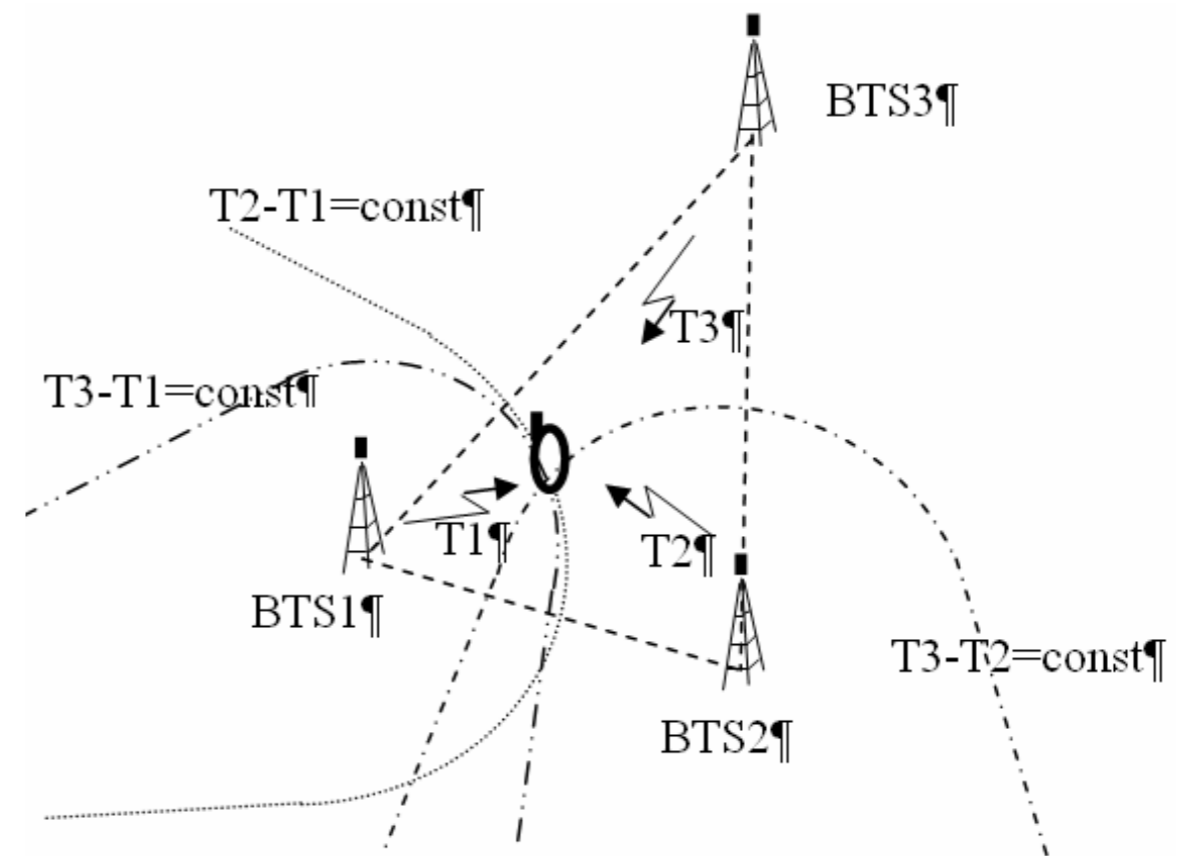
Angle-of-Arrival (AoA)

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



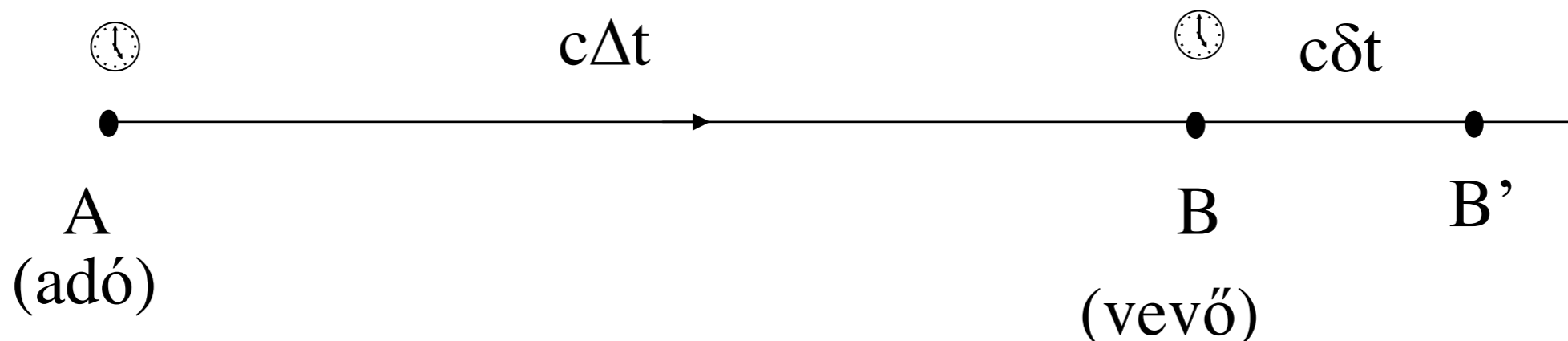
Time Difference of Arrival (TDoA)

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



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)

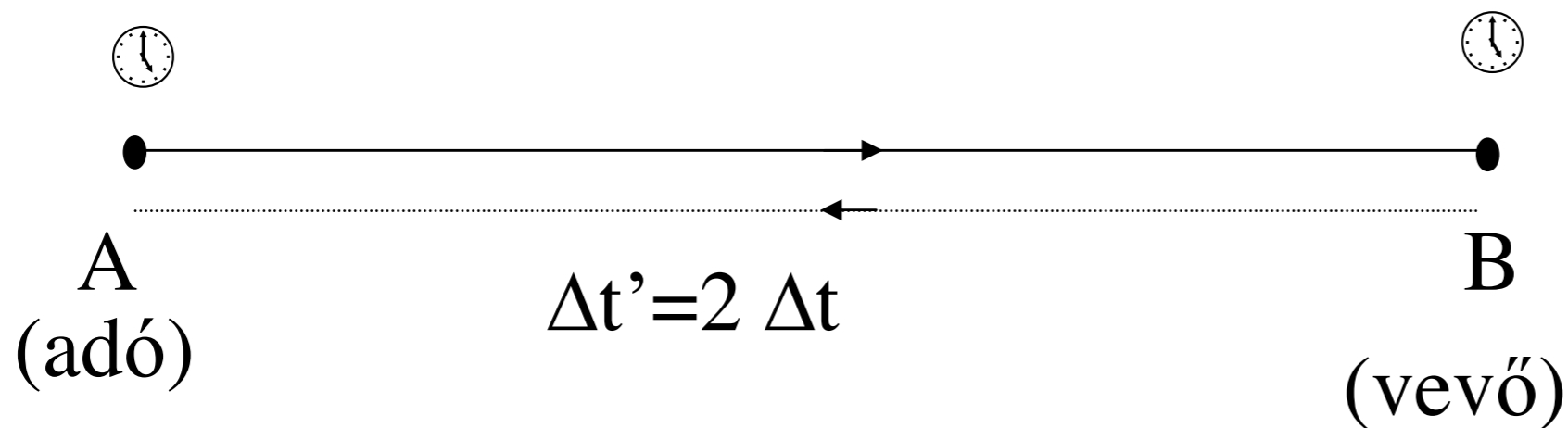
c – (rádió)hullám terjedési sebessége

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!!!

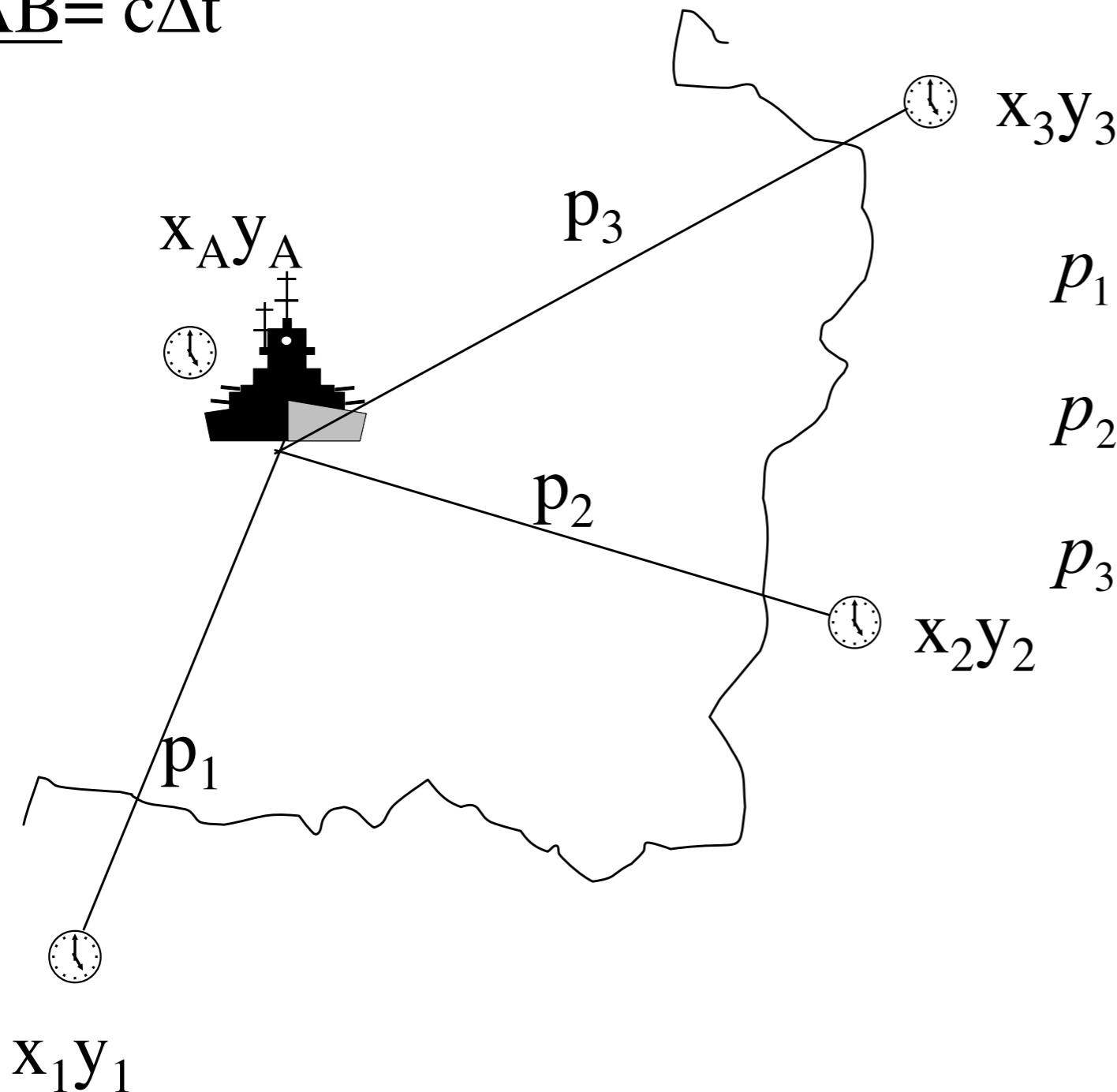
Miért nem használják?

Használók száma korlátozott!

Helymeghatározás alapelve síkbeli rendszernél

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

p-pseudo távolság



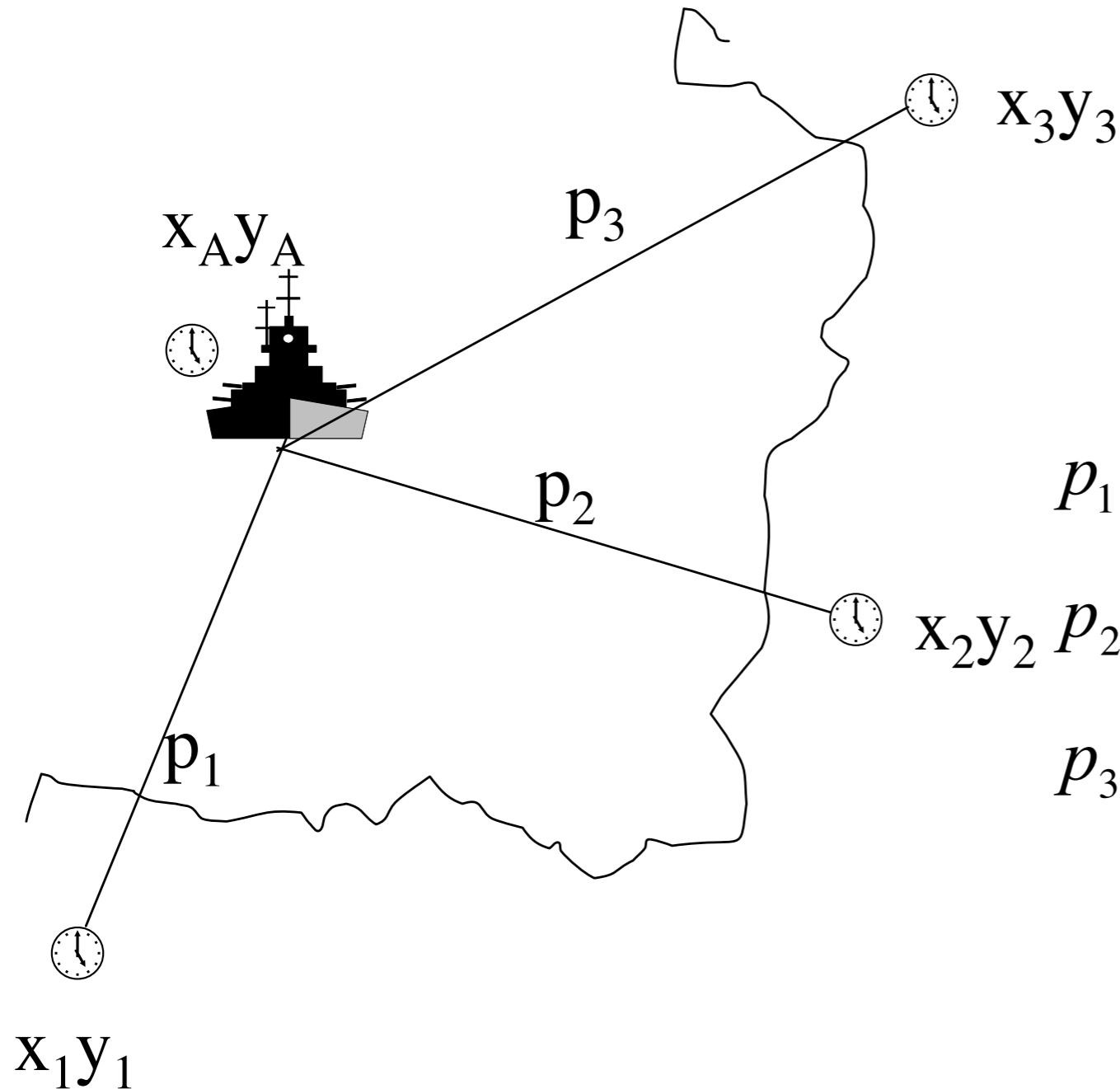
$$p_1 = \sqrt{(x_A - x_1)^2 + (y_A - y_1)^2}$$

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

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

3 egyenlet,
2 ismeretlen,
1 fölösleges mérés?

Helymeghatározás alapelve síkbeli rendszernél órahiba figyelembe vételével



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

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

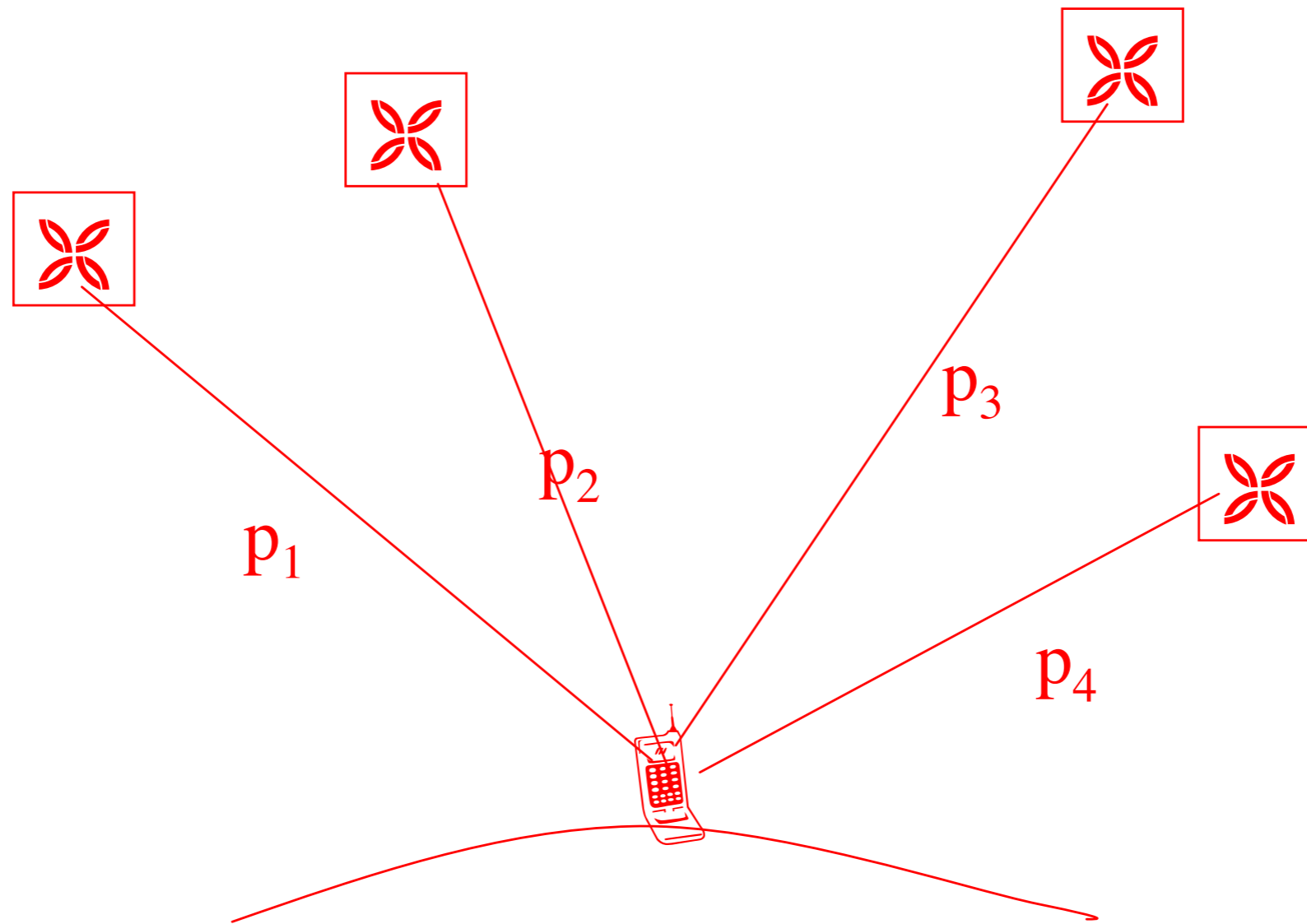
$$p_3 = \sqrt{(x_A - x_3)^2 + (y_A - y_3)^2} + c\delta t$$

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:

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

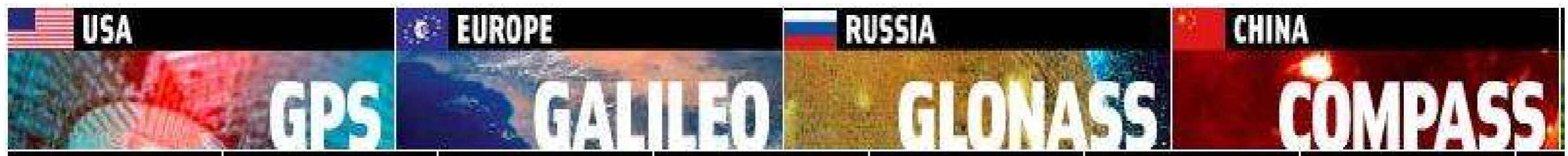
$\mathbf{Q} = \sigma^2 \mathbf{I}$ a mért kódtávolságok kovarianciamátrixa

A GPS kód mérés 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...



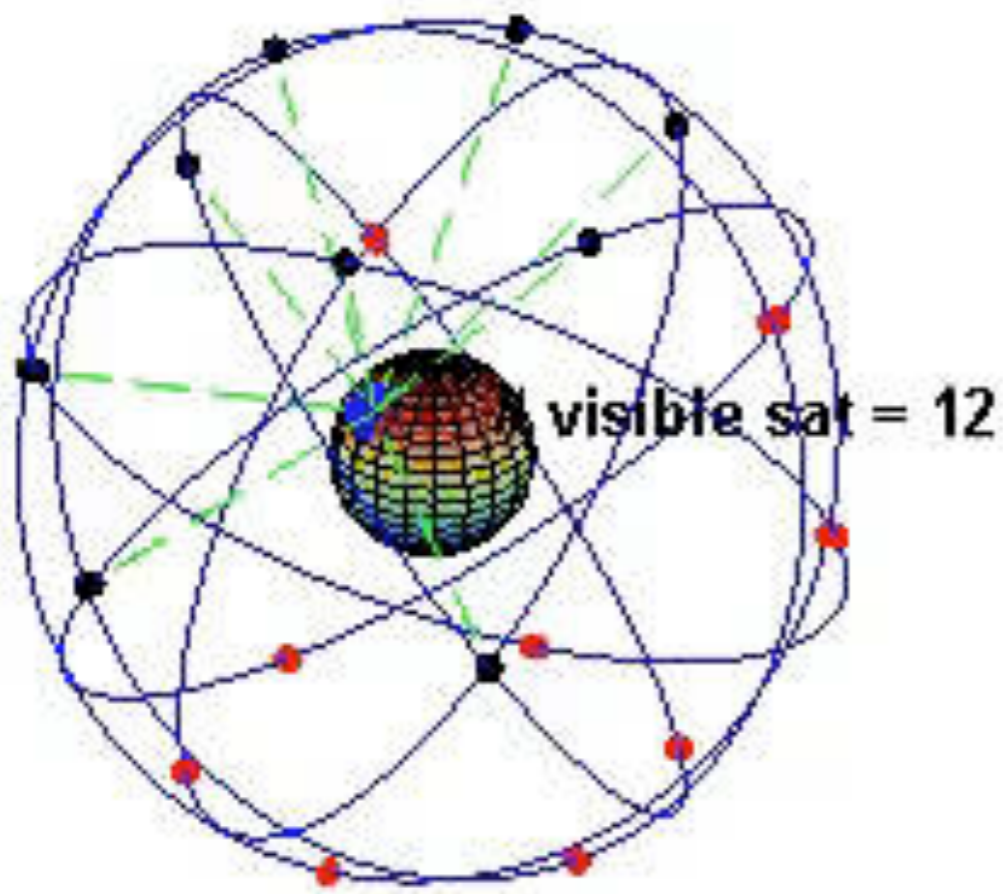
Valóságos GPS

- 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

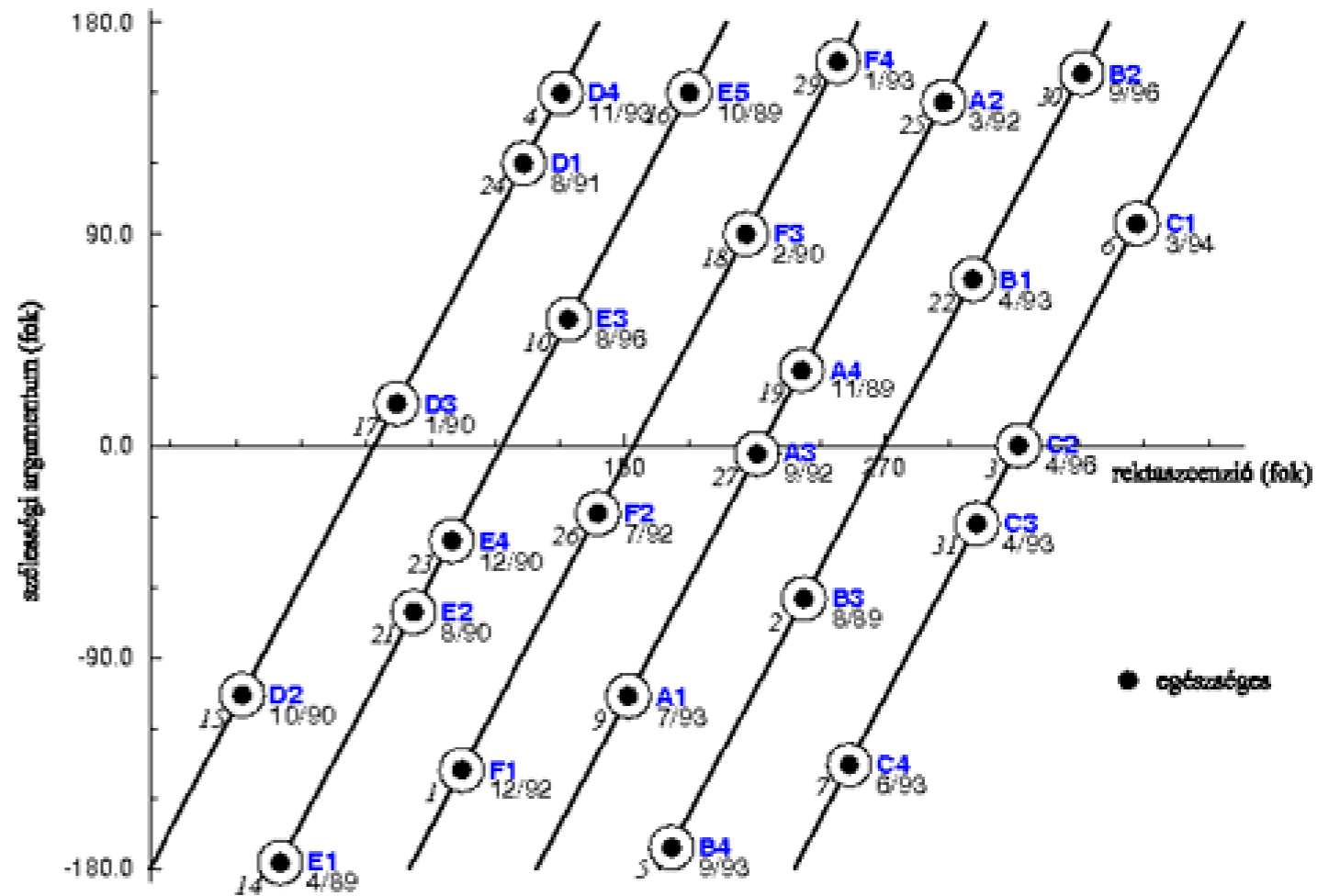
- Műholdak - (atomóra 10^{-13} pontossággal, célszámítógép, adó-vevő rendszer, antenna, korrekciós hajtóművek)
- GPS vevő (kvarcóra, rádió-vevő, célszámítógép, helyzetinformáció kijelzés, adatátviteli lehetőség)
- Közvetítő állomások (monitor, adatfeldolgozás, adatfeljuttatás)

GPS műholdak



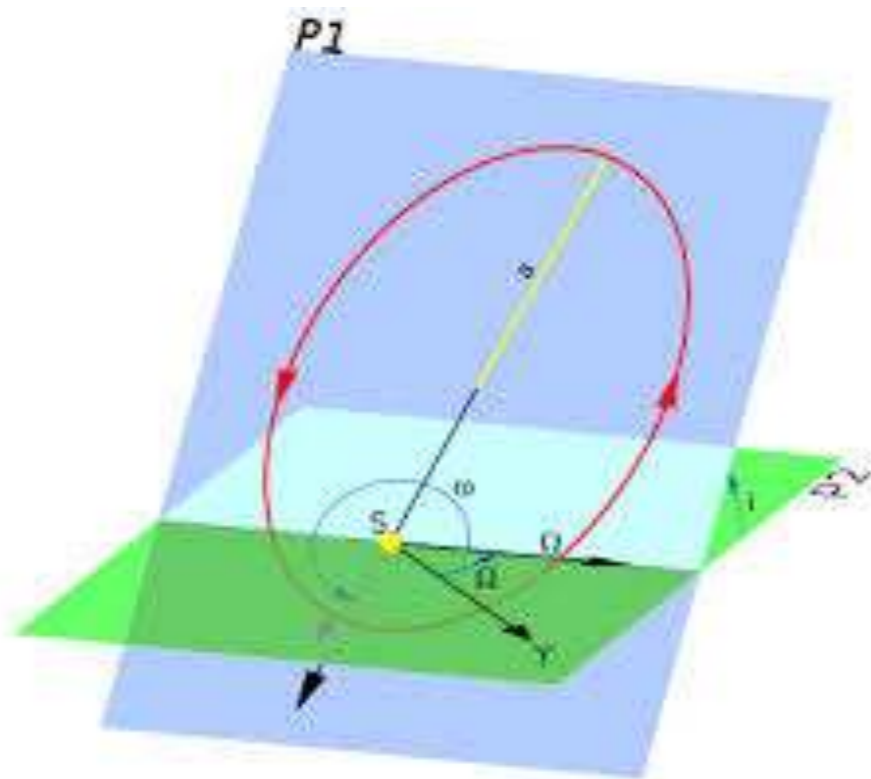
GPS KIÉPÍTETTSÉG

1997 július 7 , 7:00 (UTC)



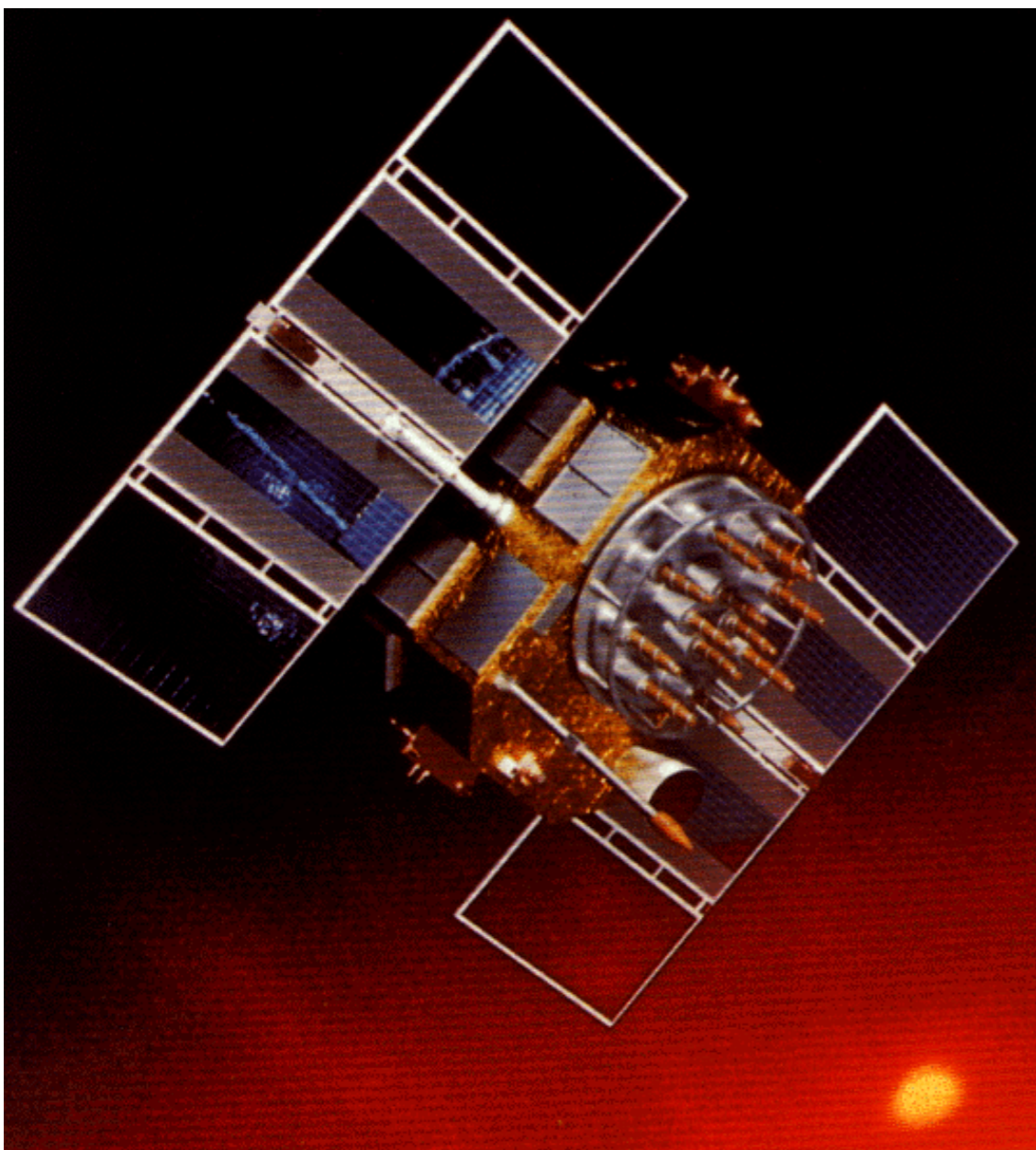
GPS műholdak - pályajellemzők

- 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)

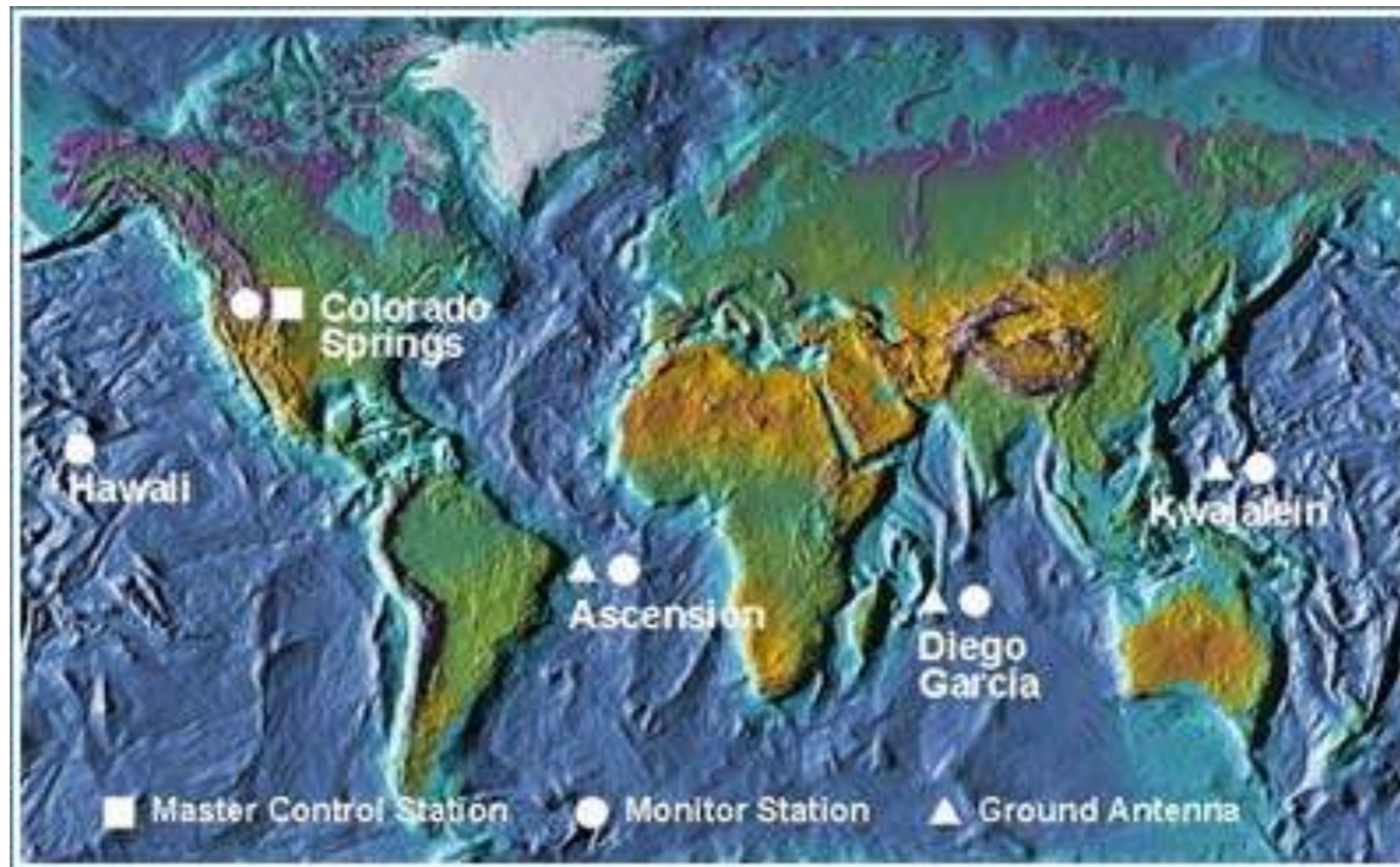


Megjegyzés: A csillagidő az időnek az a mértéke, melynek használata esetén a Föld egyenletes szögsebességgel forog a tengelye körül. Tekintettel arra, hogy a Föld forgási sebességében szezonális és szabálytalan ingadozások is vannak, a csillagidő az inerciaidőhöz viszonyítva nem múlik egyenletesen.

GPS műholdak



GPS Földi irányító központok (vezérlő és követő központok)



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

GPS műholdak

- A műhold atomórájának alapfrekvenciája: 10,23 MHz

Állandó vivőhullámok:

$$L1: f_1 = 154 \cdot 10,23 \text{ MHz} = 1575,42 \text{ MHz} \quad \lambda = 19,05 \text{ cm}$$

$$L2: f_2 = 120 \cdot 10,23 \text{ MHz} = 1227,60 \text{ MHz} \quad \lambda = 24,45 \text{ cm}$$

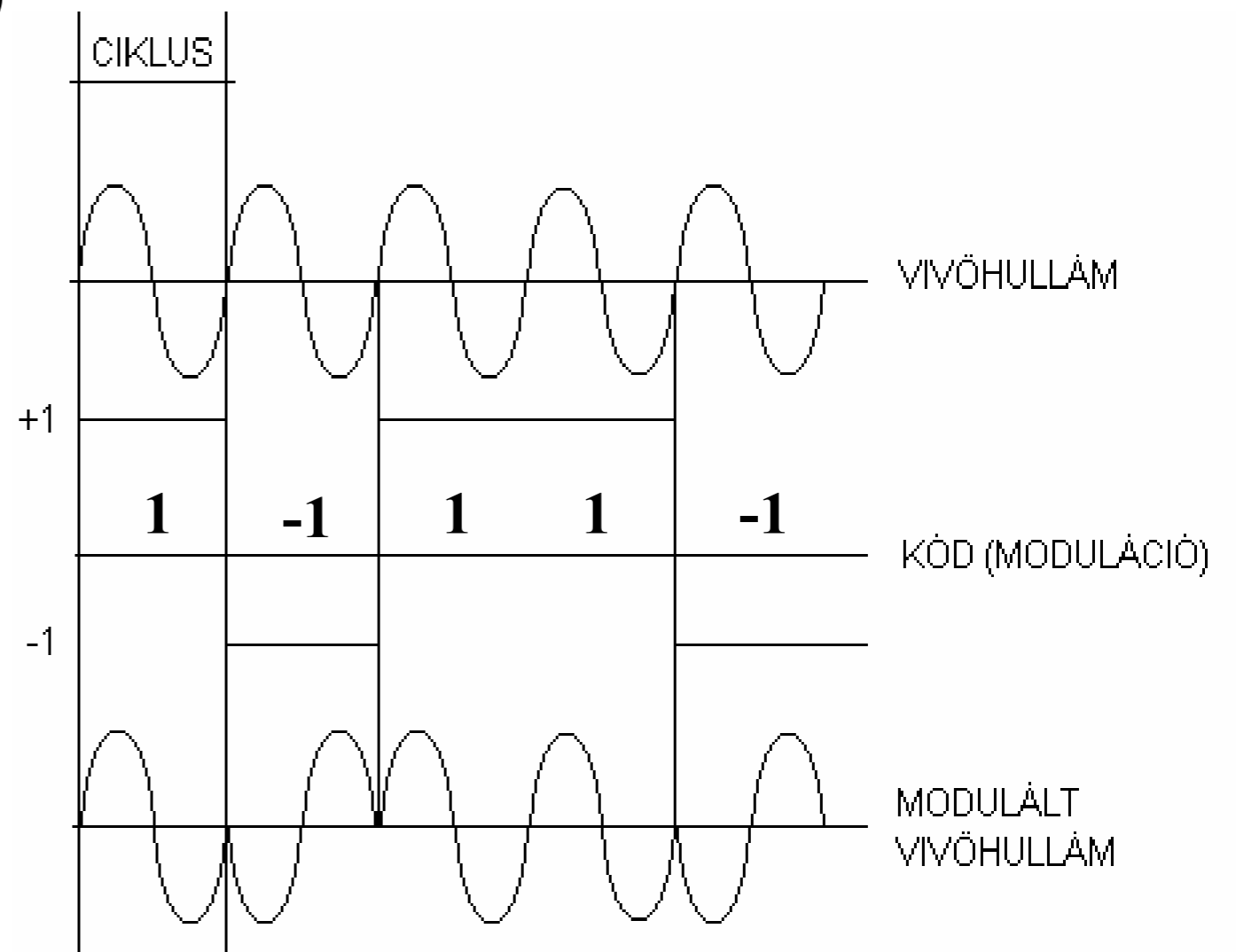
A moduláció:

Jel amplitúdó P-kód W-kód adat-kód, 50 bit/s C/A-kód

$$L1(t) = a_1 P(t) W(t) D(t) \cos(f_1 t) + a_1 C(t) D(t) \sin(f_1 t)$$
$$L2(t) = a_2 P(t) W(t) D(t) \cos(f_2 t)$$

GPS műholdak

- PRN (Pseudo Random Noise) kódok
- C/A-kód (Clear Acquisition):
 - kódhossz: 1023 bit
 - felbontás: 3m
- P-kód (Protected):
 - kódhossz: $2,36 \times 10^{14}$ bit
 - felbontás: 0,3m



GPS műholdak

- GPS jelek részletesebben:
 - Vivők:
 - L1 státusz üzeneteket és PRC (pseudo random code) továbbít az időzítéshez
 - L2 katonai PRC vitele.
 - PRC:
 - C/A az L1 vivőt modulálja 1MHz-en. Minden szatelit egyedi PRC-dal rendelkezik. Civil GPS használatához.
 - P-kód: 7 napos ciklusban ismétlődik, L1 és L2-t modulálja 10MHz-es rátával. Titkosítható (Y-kód). Mivel komplikáltabb, mint a C/A-kód, ezért nehezebb az kinyerése. Sok katonai vevő előbb a C/A-kód kinyerésével kezdi, aztán a P-kóddal.

GPS műholdak

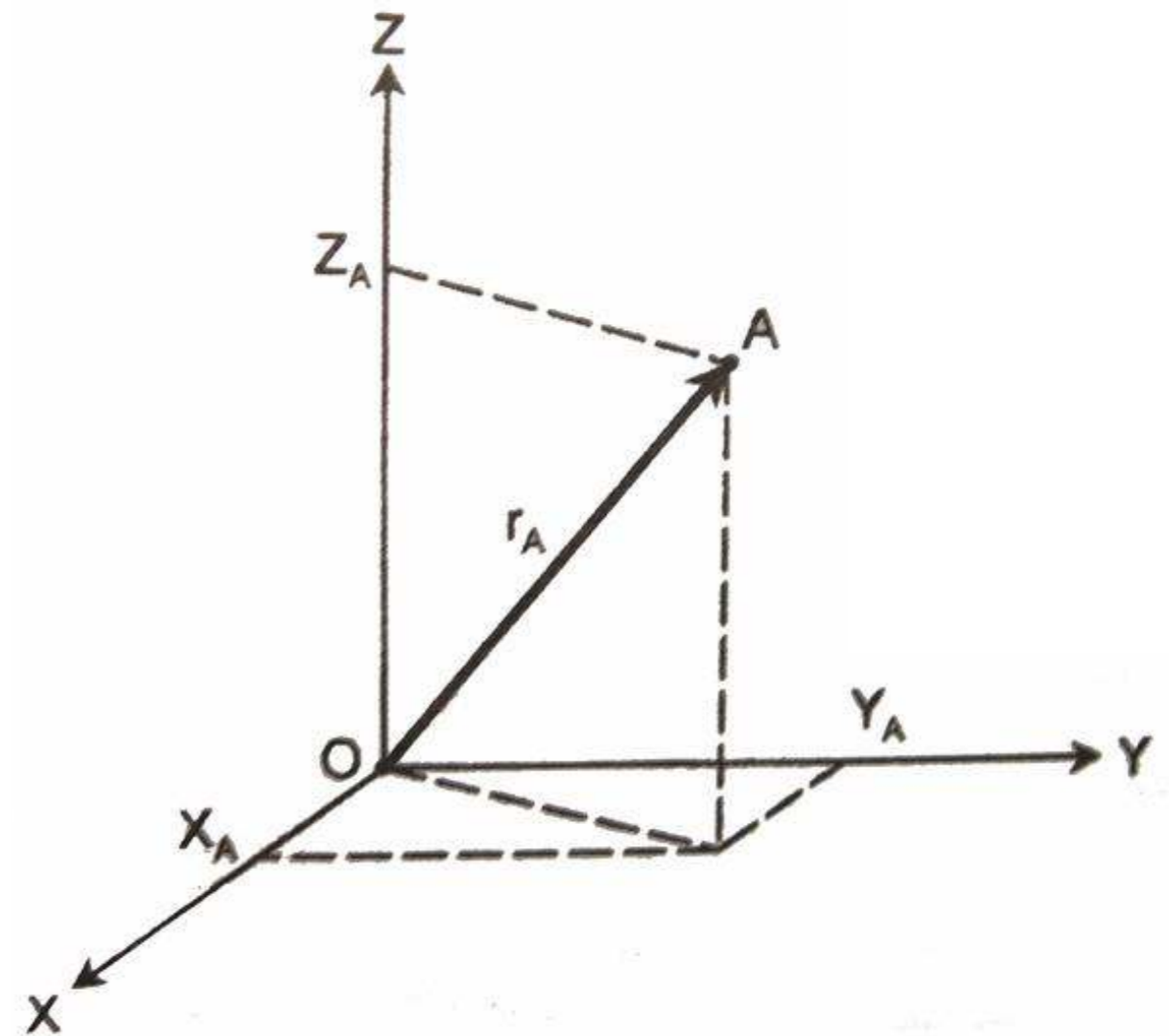
- Navigációs üzenetek:
- Alacsony frekvencia az L1-hez adódik. Ez információkat tartalmaz a szatelit helyéről, óra korrekációjáról és más státuszokról.
- Azért komplex, mert nem szinkronizálódik ezért más jelekhez.
- Minden szatelit saját PRC-dal rendelkezik, ezért a vevő nem azonosítja a vett jeleket más műholdak jeleként. Ezért minden szatelit azonos frekvenciákon sugározhat a jelek keveredése nélkül.
- Ellenségnek nehezebb dolga van jelzavarás során.
- Az USA védelmi minisztériumának nagyobb felügyelete van a rendszer felett.

GPS műholdak

- Kódolt GPS:
- Az USA védelmi minisztériuma fejlesztette a hadseregnek.
- Bár 10x több a civil felhasználó, mégis jelentős a hadi értéke.
- A hadseregnek kizárólagos hozzáférése van a P-kódhoz. 10x agyobb frekvenciájú, mint a civil C/A-kód.
- A kódolt Y-PRC-ot kód-kulccsal lehet fogni.
- Mivel ez a kód 2 vivőn is modulálva van, ezért az atmoszférikus hibák javítására is lehetőség van.
- A PRC lehetőséget teremt, hogy “erősíteni” lehessen a GPS jeleket, ezért nem kell a vevőhöz nagy antenna.

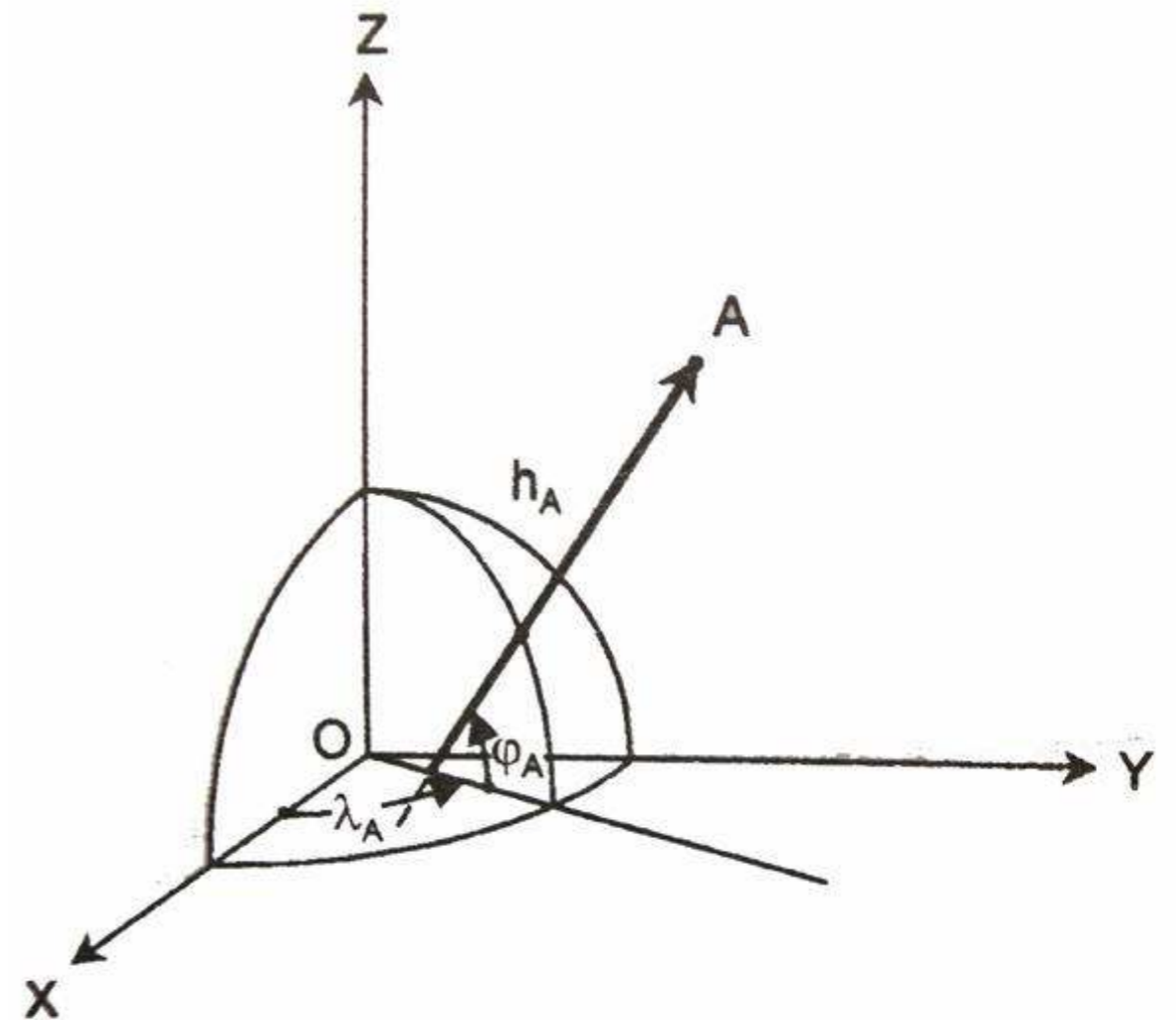
Koordináta-rendszerek, derékszögű földrajzi koordináta rendszer

- A földdel együtt forog - geocentrikus
- Kezdőpontja a föld tömegközéppontja
- Hosszegysége méter
- Z tengely a referencia pólus felé mutat
- X tengely a kezdő meridiánsíkba (a föld forgástengelyével párhuzamos sík) esik



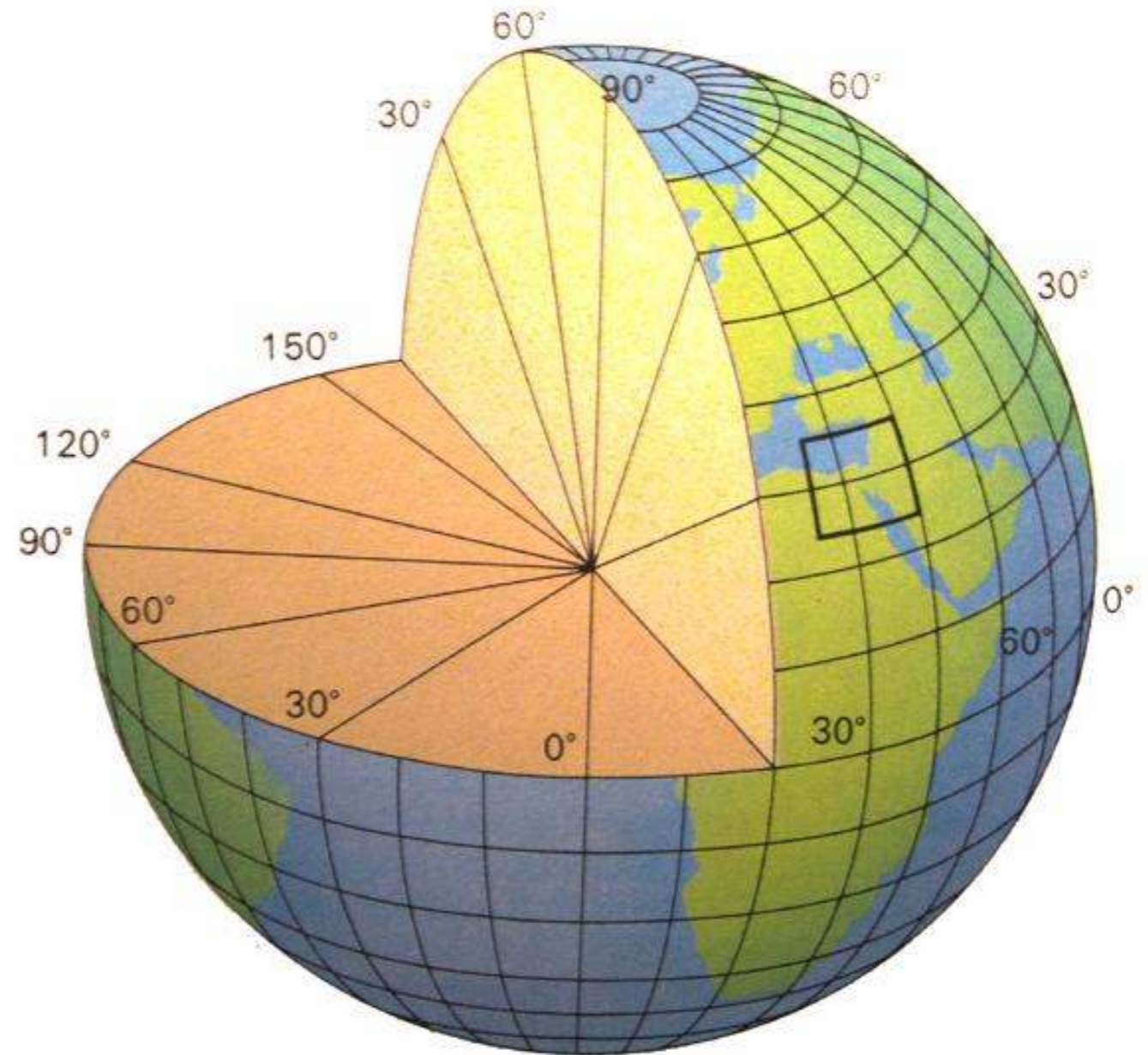
Koordináta-rendszerek, elipszoid földrajzi koordináta rendszer

- $A = (\phi, \lambda, h)$
- ϕ, λ - A derékszögű koordinátarendszerben értelmezett szögek
- h - az ellipszoid felületétől mért magasság (nem a hagyományos tengerszint feletti magasság)



Koordináta-rendszerek

Felületi derékszögű koordináta rendszer: kölcsönösen merőleges helymeghatározó vonalai a meridiánok és paralelkörök. A meridián mentén a földrajzi szélesség, a paralelkörök mentén a hosszúság mérhető.



Koordináta-rendszerek

Áttérés másik rendszerre:

$$X = (N + h) \cos \varphi \cos \lambda \cong (R + h) \cos \varphi \cos \lambda$$

$$Y = (N + h) \cos \varphi \sin \lambda \cong (R + h) \cos \varphi \sin \lambda$$

$$Z = \left((1 - e^2) N + h \right) \sin \varphi \cong (R + h) \sin \varphi$$

N, R, e – az ellipszoid jellemzői

Koordináta-rendszerek

- WGS-84 (World Geodetic System 1984, 2004-ben felülvizsgálva)
 - Egy standard (térképészet, geodézia, navigáció) koordináta rendszer a GPS-hez.
 - Az origó a föld tömegközéppontja, a hiba kisebb, mint 2cm (reményeik szerint).
 - Z tengelye egybeesik a Föld forgástengelyének 1900-1905. évi középhelyzetével
 - XY síkja a forgástengelyre merőlegesen a tömegközépponton átmenő sík
 - X, Y, Z jobbsodrású rendszert alkotnak
- A kőzetlemezek (litoszféra-lemezek) mozgása helyenként meghaladja az 1 cm/év értéket, ezért:
- Nemzetközi Földi Koordináta Rendszer (ITRF: folyamat leírása, hogyan kell referencia keretet képezni)
- ETRS: Európát tekinti referenciának, minden más hozzá képest változik.

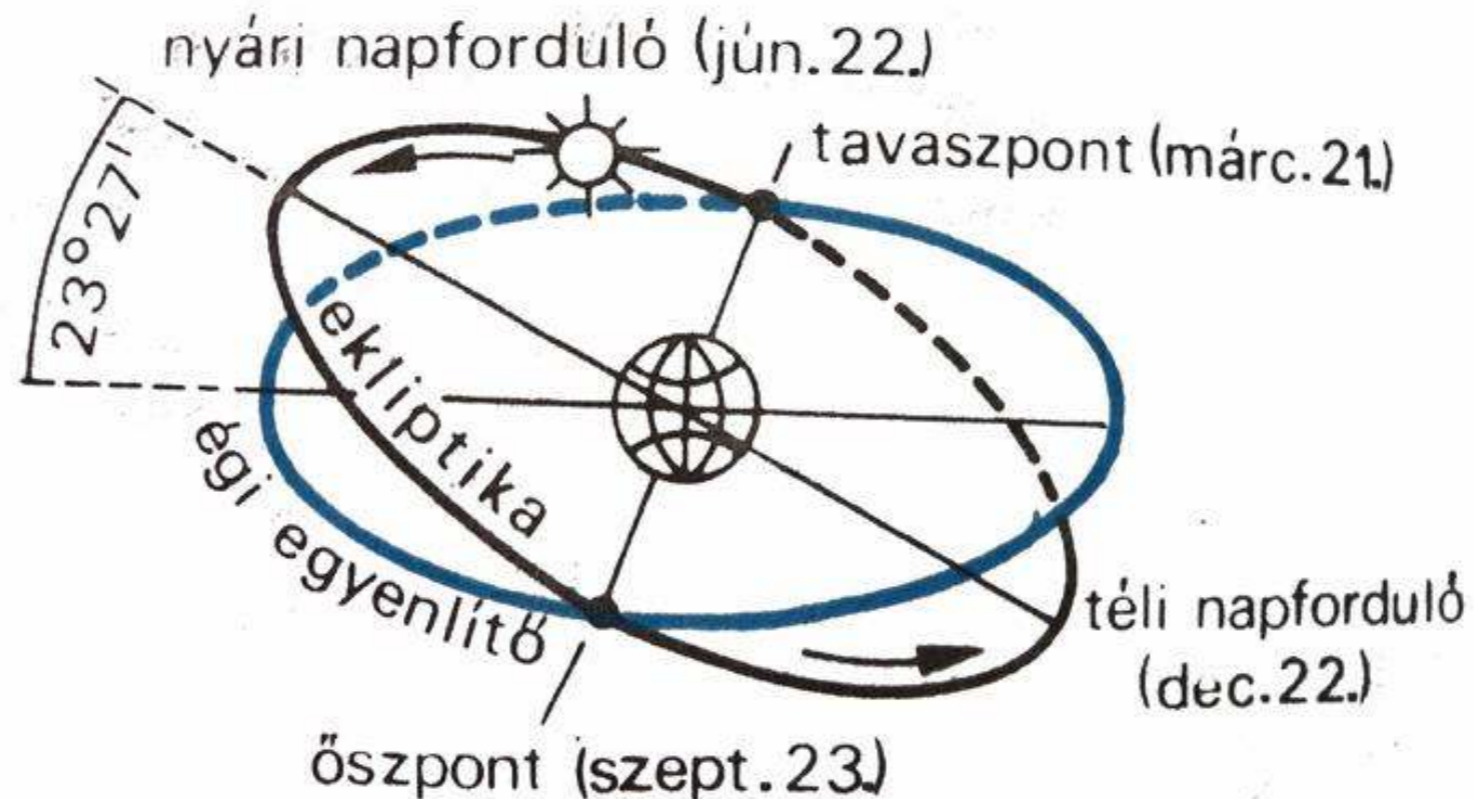
Időrendszerek



Időrendszerek

Greenwich Apparent Sidereal Time

GAST csillagidő

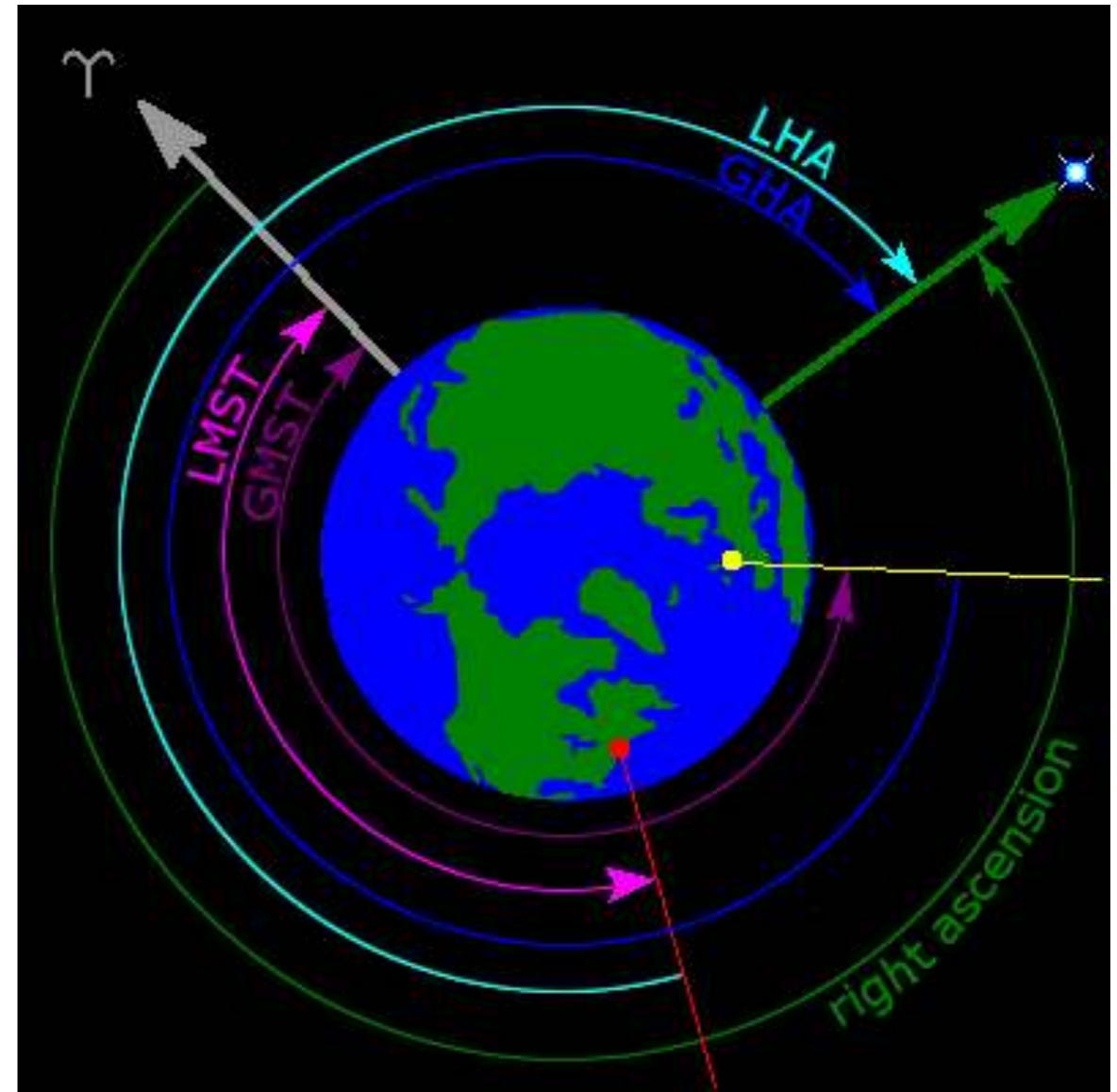


Precesszió: a földtengely – a Nap és a Hold forgatónyomatékának hatására bekövetkező – elmozdulása.

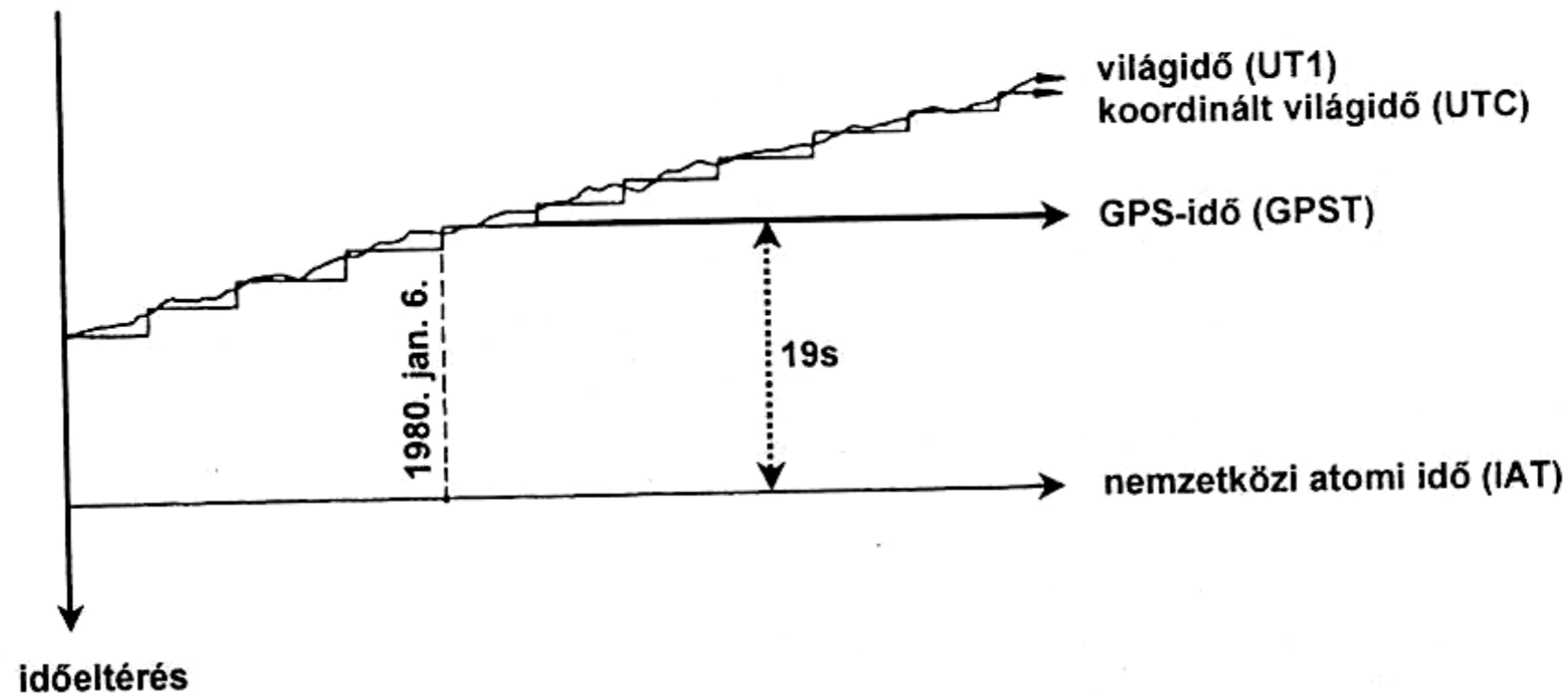
- GAST: a napéjegyenlőség óraszöge a Greenwich-i meridiánnál (0 hosszúsági kör)

Időrendszerek

- Egyezményes koordinált világidő (UTC - Universal Time Coordinated) a GMT-t (időzóna) váltotta 1961-ben.
- Világ 50 laborjában mért atomidőből számolják (International Atomic Time).
- Föld forgása lassul, nem egyenletes, ezért évente 1 másodpercet hozzáadnak, hogy kövesse a Föld forgásából kiszámolt egyezményes időt (UT).
- Greenwich-től számolják, keletre +, nyugatra -.



Időrendszerek



1980. január 6. GPST (ekkor GPST=UTC)

WN (Week Number) 1980- január 6. óta eltelt hetek száma

TOW (Time Of Week) az aktuális hét kezdete (vasárnap 0h) óta eltelt idő másodpercekben

$$\text{GPST} = 604800 \text{ WN} + \text{TOW}$$

2000. Január 1-jén a GPST és UTC eltérése 14 s volt

A GPS rendszer előnyei

- A rendszer előnye, hogy független:
- időjárástól
- napszaktól
- légköri viszonyoktól
- földfelszín feletti magasságtól
- mozgási sebességtől (a műszerrel akár vadászgépen is mérhetünk)

Az NMEA Protokoll



- National Marine Education Association
- Amerikai Nemzeti Tengerészeti Elektronikai Egyesület fejlesztette ki tengerészeti eszközök közötti kommunikáció céljára
- Valós idejű adat szolgáltatáshoz minden software ezt használja
- PVT szintű információ áramlás (pozíció, sebesség, idő)

Az NMEA ötlete

- Egy sornyi adatot küld (nevezzük mondatnak), ami önmagában értelmes, és független más mondatoktól.
- Minden szabványos mondat kétjegyű kóddal kezdődik, ami jelzi, hogy milyen eszköz használja az adott mondatot.
- A GPS vevőkészülék kódja a GP.

Az NMEA “nyelvtana”

- A kétbetűs azonosító után következik egy hárombetűs kód, ami a mondat tartalmát definiálja.
- Az NMEA engedélyezi a gyártóknak, hogy saját céljaiknak megfelelő kódokat adjanak meg, amiket le is védenek, szabványosítanak.
- Az ilyen kódok P-vel kezdődnek, és 3 betű kóddal folytatódnak, ami a gyártóra utal, aki kiadta az adott szabványt. Például: Garmin: PGRM, vagy Magellán: PMGN.
- Minden mondat '\$' jellel kezdődik és sor vég karakterrel zárul (CR/LF), és nem lehet hosszabb 80 karakternél (záró karakterrel együtt 81).
- A mondaton belüli adatokat vessző választja el. Maga az adat egyszerű ascii szöveg.

Sentence	Description
\$GPGGA	Global positioning system fixed data
\$GPGLL	Geographic position - latitude / longitude
\$GPGSA	GNSS DOP and active satellites
\$GPGSV	GNSS satellites in view
\$GPRMC	Recommended minimum specific GNSS data
\$GPVTG	Course over ground and ground speed

\$GPGGA Sentence (Fix data)

Field	Example	Comments
Sentence ID	\$GPGGA	
UTC Time	092204.999	hhmmss.sss
Latitude	4250.5589	ddmm.mmmm
N/S Indicator	S	N = North, S = South
Longitude	14718.5084	dddmm.mmmm
E/W Indicator	E	E = East, W = West
Position Fix	1	0 = Invalid, 1 = Valid SPS, 2 = Valid DGPS, 3 = Valid PPS
Satellites Used	04	Satellites being used (0-12)
HDOP	24.4	Horizontal dilution of precision
Altitude	19.7	Altitude in meters according to WGS-84 ellipsoid
Altitude Units	M	M = Meters
Geoid Separation		Geoid separation in meters according to WGS-84 ellipsoid
Separation Units		M = Meters
DGPS Age		Age of DGPS data in seconds
DGPS Station ID	0000	
Checksum	*1F	