

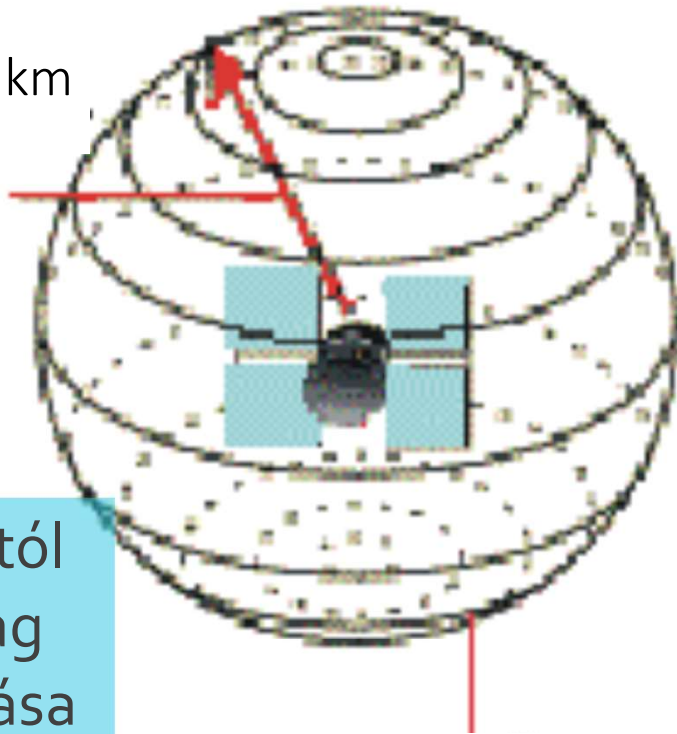
# A műholdas helymeghatározás

Gadó Béla



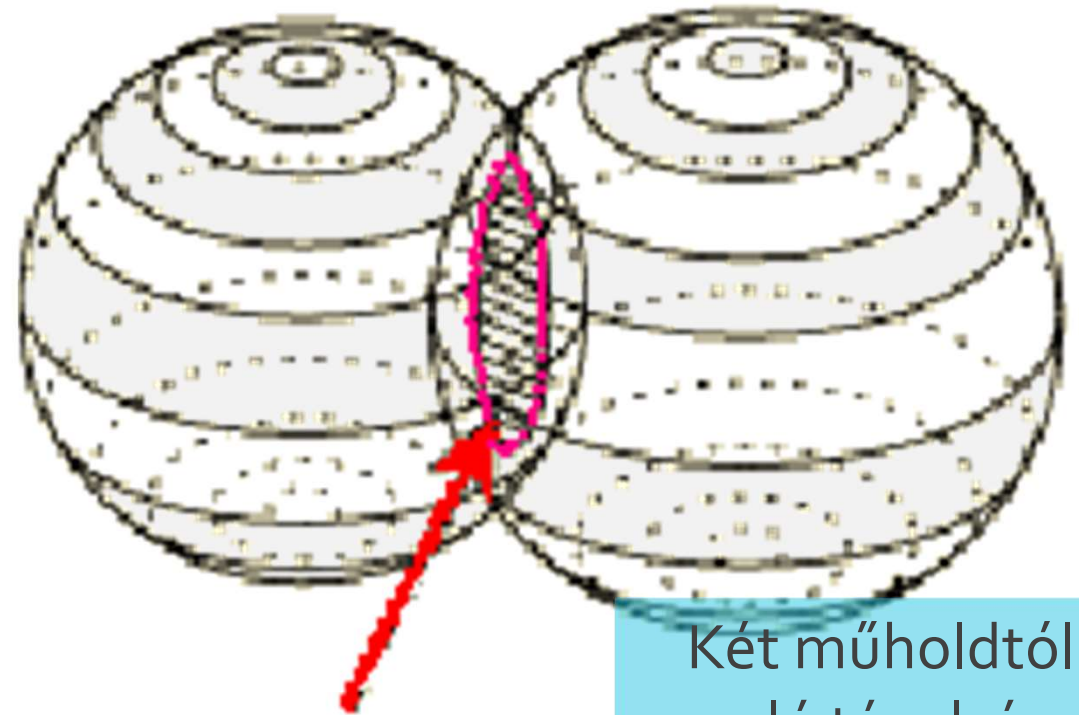
# A műholdas helymeghatározás geometriai alapelve

20 000 km



Egy műholdtól való távolság meghatározása esetén ezen a gömbön vagyunk

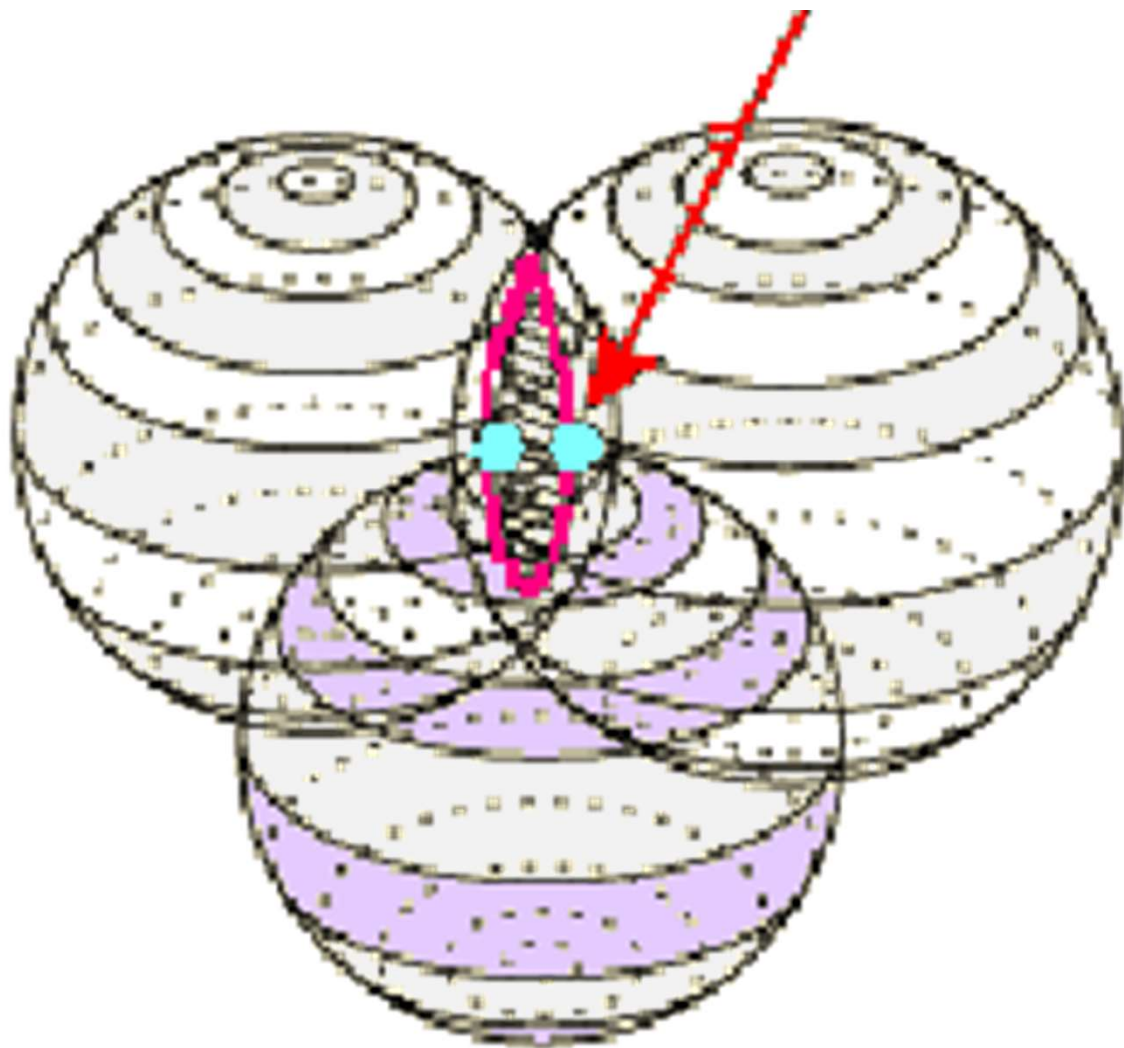
Ezen a gömbön állunk



Két mérés alapján ezen a körön vagyunk

Két műholdtól való távolság meghatározása esetén a pirossal jelölt gömbi körön vagyunk

A három mérés a két pont egyikét adja meg álláspontként



Három műholdról történő távolságmérés a két pont egyikét adja meg álláspontként

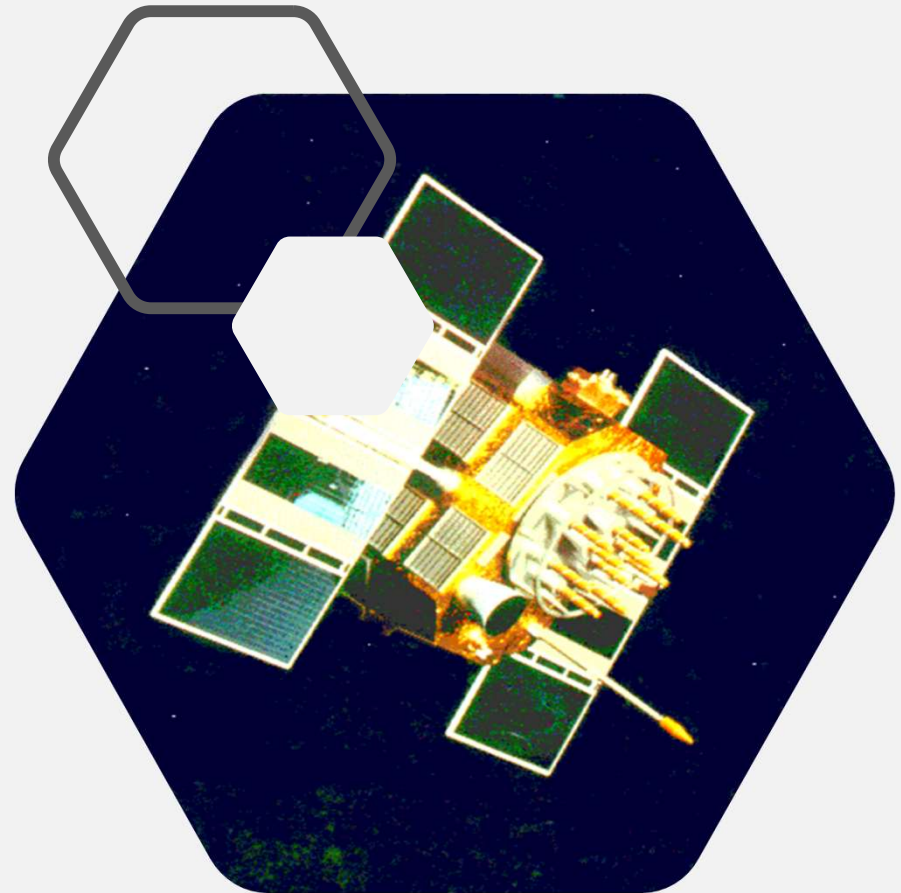
A két pont közül a valódi álláspont további mérés nélkül néhány egyszerű szabály figyelembe vételével meghatározható.

A továbbiakban a világszerte elterjedt NAVSTAR (NAVigation System using Time And Ranging) GPS (Global Positioning System) rendszerével fogunk foglalkozni.

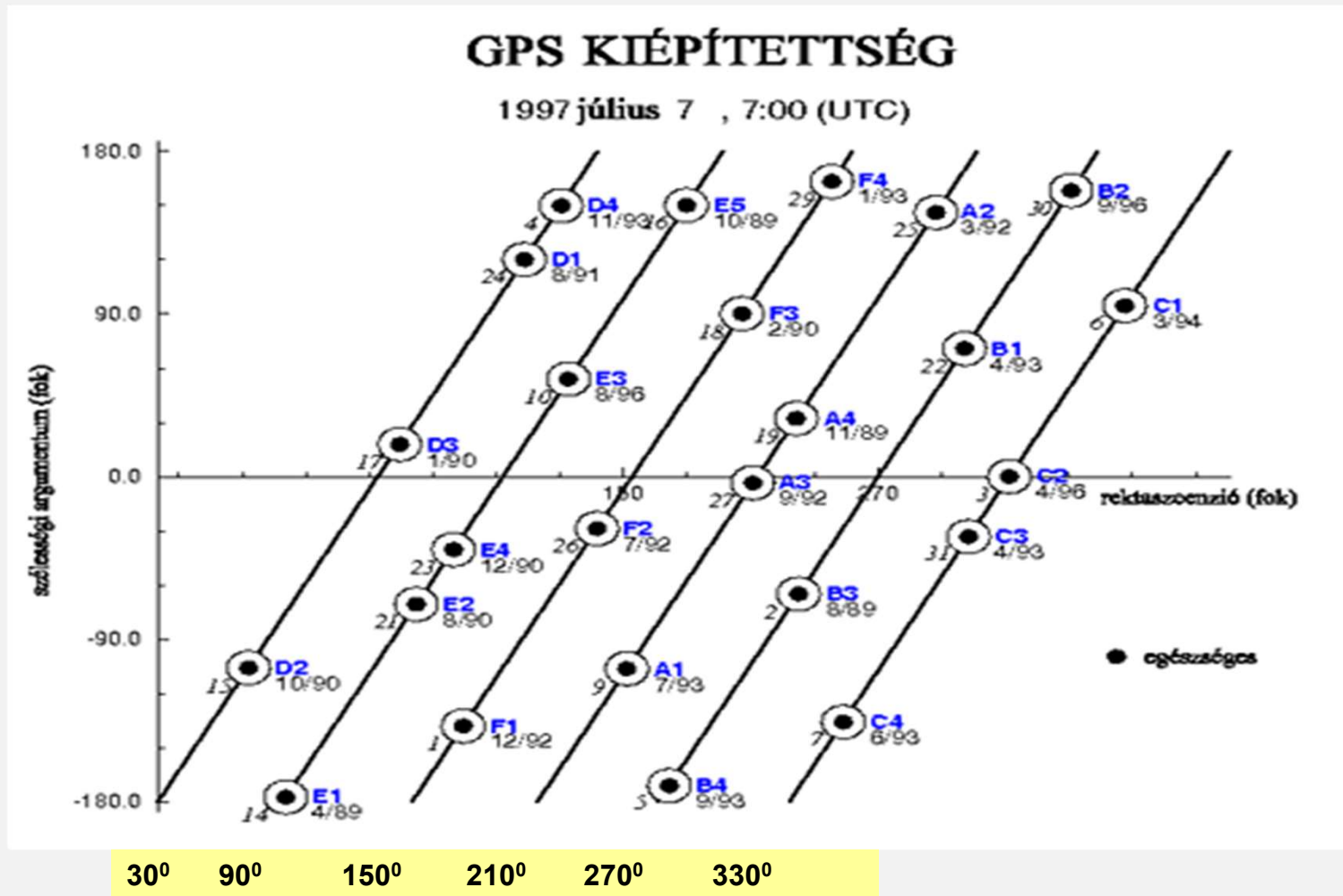
# A NAVSTAR/GPS rendszer felépítése

A NAVSTAR 3 fő részből áll:

- műholdak rendszere
- kontroll rendszer,
- felhasználók.

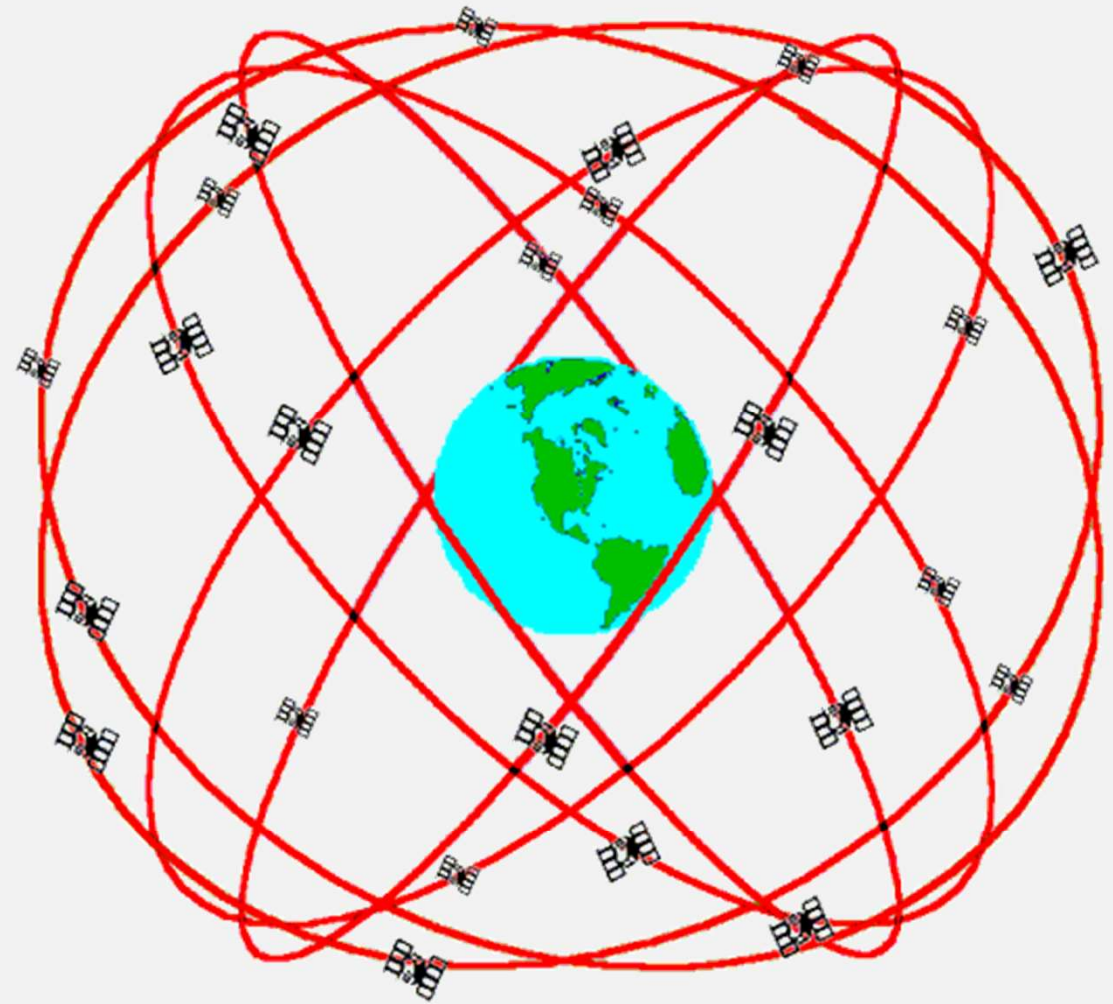
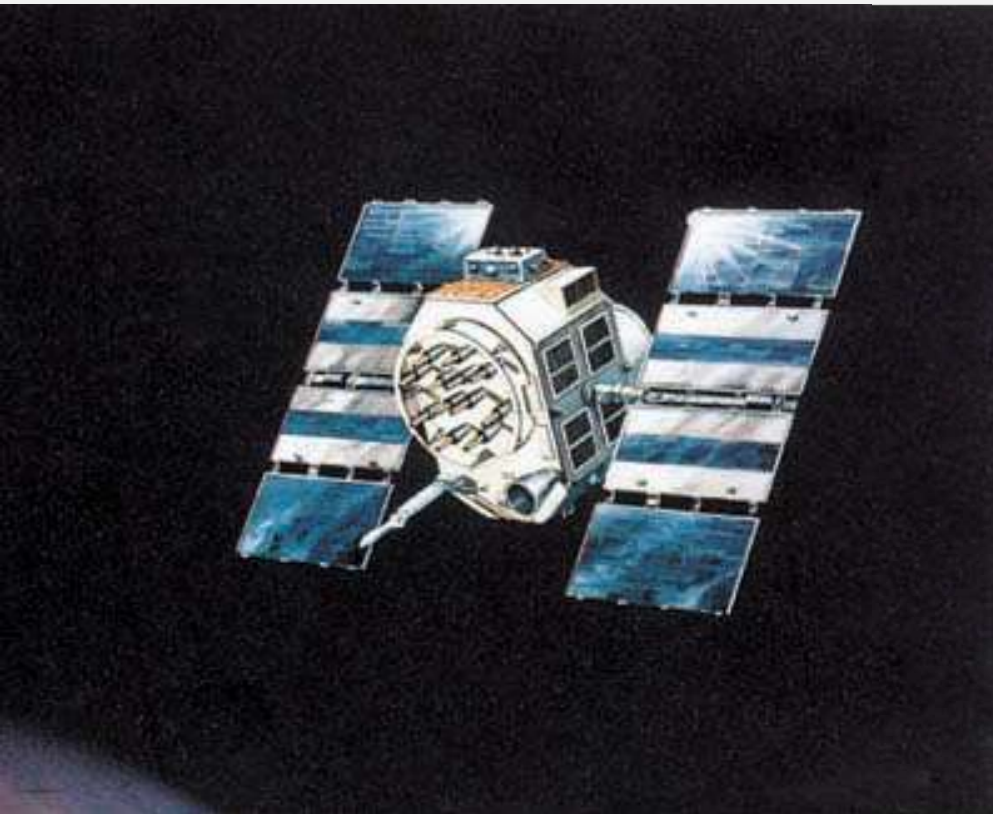


# A műholdak rendszere



A műholdak pályasíkja az egyenlítő mentén 60°-os szöget zár be egymással, azaz  $360 / 60 = 6$  pályasíkon, pályasíkonként egymással 120°-ra kering 3-3, összesen  $6 \times 3 = 18$  műhold, így biztosítva azt, hogy a Föld bármely helyén legalább 4 GPS hold elérhető legyen. Ezenkívül több tartalék műhold is kering.

# GPS műholdak felettünk



**GPS Nominal Constellation**  
**24 Satellites in 6 Orbital Planes**  
**4 Satellites in each Plane**  
**20,200 km Altitudes, 55 Degree Inclination**

# A műholdak alapvető funkciói a következők:

- A kontroll állomások által kisugárzott információk vétele és tárolása.
- Korlátozott mértékű adatfeldolgozás.
- Igen pontos időszolgáltatás oszcillátorok segítségével. Minden műholdon 2 cézium és 2 rubidium oszcillátor van, melyek stabilitása 10-12 /nap - 10-13 /nap. A 4 atomi etalon közül a földi állomás parancsára bármelyik kiválasztható fő oszcillátorra. A műholdakon az atomi oszcillátorok által generált alapfrekvencia:  $f_0 = 10,23 \text{ MHz}$ . Ezekből állítják elő a két L-sávú vivőfrekvenciát:

$$L1 = 154 f_0 \quad (19,05 \text{ cm hullámhossz})$$

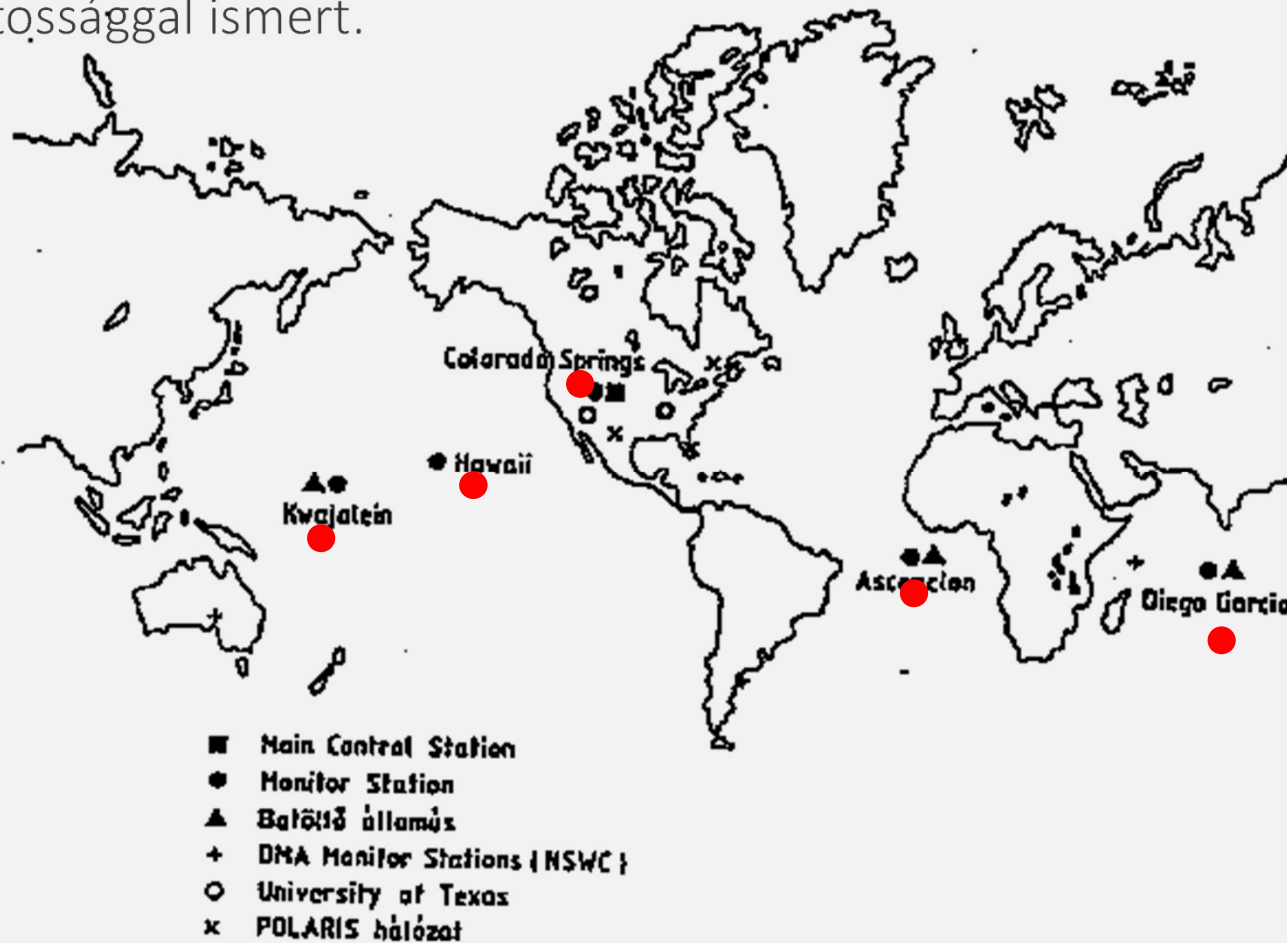
$$L2 = 120 f_0 \quad (24,45 \text{ cm hullámhossz}).$$

- Ezeket a frekvenciákat különböző kódokkal modulálják, amelyek segítségével a felhasználók távolság meghatározást végezhetnek, a modulációval közvetített pályainformációkból.
- A felhasználók felé információk küldése.
- A rendszerfenntartók parancsára kontrollált manőverezés végrehajtása.



# Kontroll-rendszer

A műholdak követésére öt kontroll-állomás működik. Mindegyik állomás un. monitor állomás, amely követi a NAVSTAR műholdakat. Ezek pozíciója földrajzi helymeghatározással igen nagy pontossággal ismert.





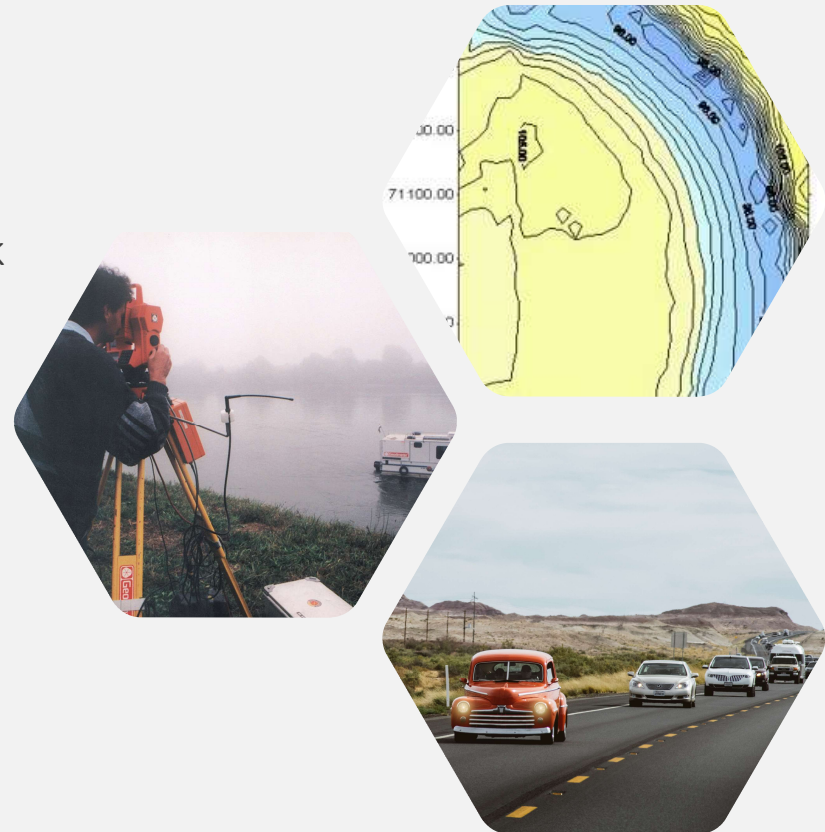
# A felhasználók

- Katonai felhasználás (cirkáló rakéták navigálása, precíziós bombák, mozgatható kilövőállású rakéták gyors telepítése, mentőakciók végrehajtása stb.).
- Légiközlekedés navigációja, mint térbeli navigáció. (Menet közbeni navigációnál a nemzetközi légügyi hatóságok 100 méteres, a repülőtérre bevezetés esetében néhány méteres, a landolás alatt pedig 1 méteren belüli pontosságot írnak elő, különösen a magassági helymeghatározás tekintetében).
- Hajózás navigációja, mint síkbeli navigáció. (A kikötőbe való bevezetés pontossága hasonló a repülőtérre való bevezetés pontosságához). Nem lebecsülendő a GPS szerepe a vízi mentés területén sem.



# A felhasználók

- Szárazföldi közlekedés navigációja.
  - Szállító járművek útvonalának utólagos ellenőrzése, adatrögzítővel ellátott GPS vevővel.
  - Járműkövetés pl. gépkocsi lopások ellen.
  - Jármű navigáció digitális térkép segítségével. (Ide tartozik a legrövidebb útvonal meghatározása, a legrövidebb elérési időhöz tartozó útvonal meghatározása stb.).
- Térinformatikai rendszerekhez adatgyűjtés (Autóra, vonatra, hajóra szerelt GPS vevővel az úthálózat, vasúti hálózat, víziutak feltérképezése, részletmérés).
- Hidrográfiai felmérés.
- Geodéziai célú felmérések: alapponthálózat kialakítása (1 cm-nél kisebb helyzeti hiba).
- Földkéreg mozgásának vizsgálata, mérnökgeodéziai mozgásvizsgálatok stb.

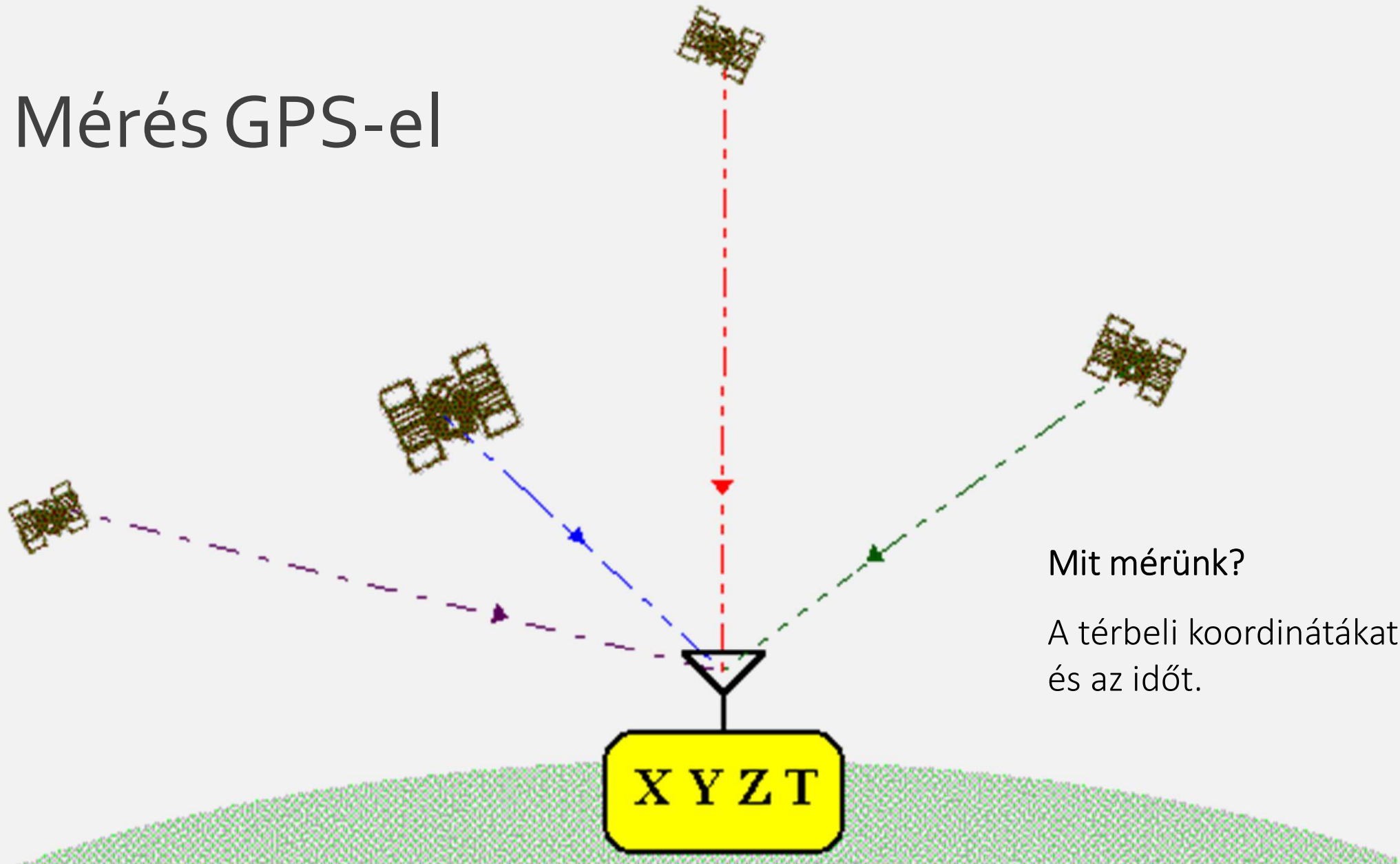


# GPS ~~jövőkép~~<sup>jelen</sup>

- Az emberek zsebében ott van egy miniatűr helymeghatározó-számítógép-telefon, amely a világ bármely pontján akár 1:1000 méretarányú digitális térképpel és komoly adatbázissal rendelkezik, (melyben a sarki fűszerestől a 3D-moziig minden szerepel).
- A kapcsolatot más felhasználókkal a cellás műholdas videotelefon segítségével tarthatja, és mindez a mai GSM telefonok méretében...



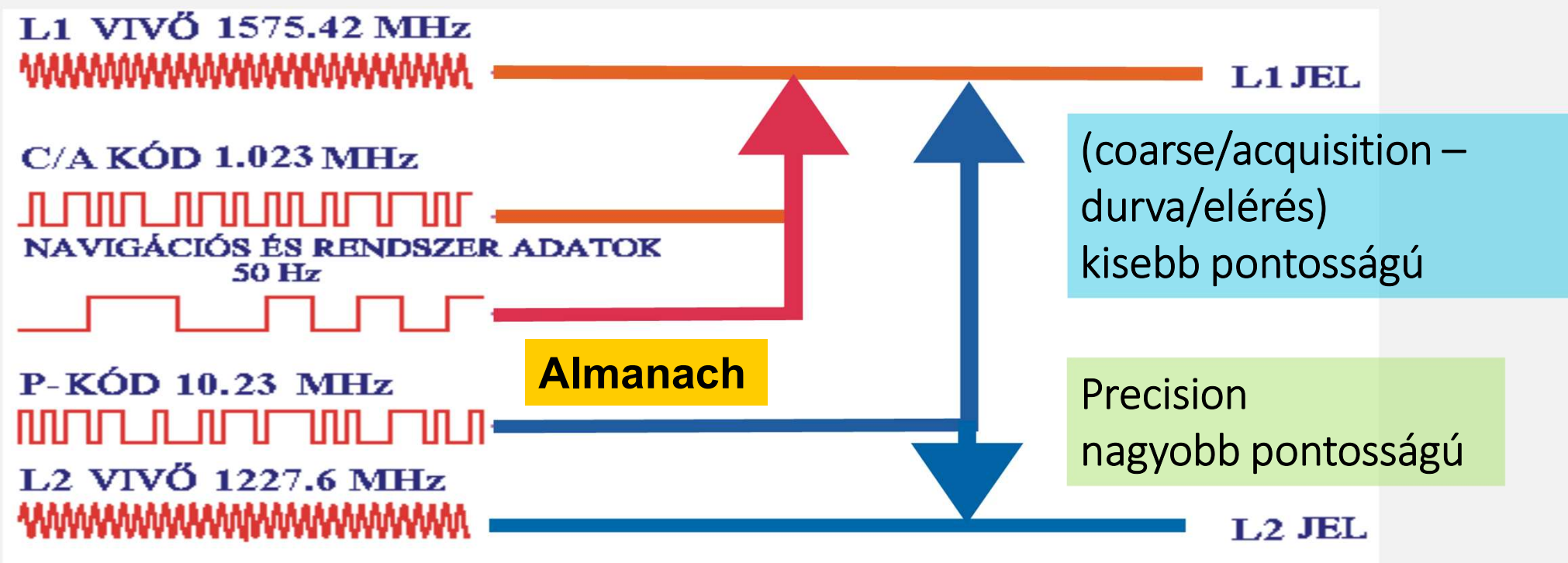
# Mérés GPS-el



Mit mérünk?

A térbeli koordinátákat  
és az időt.

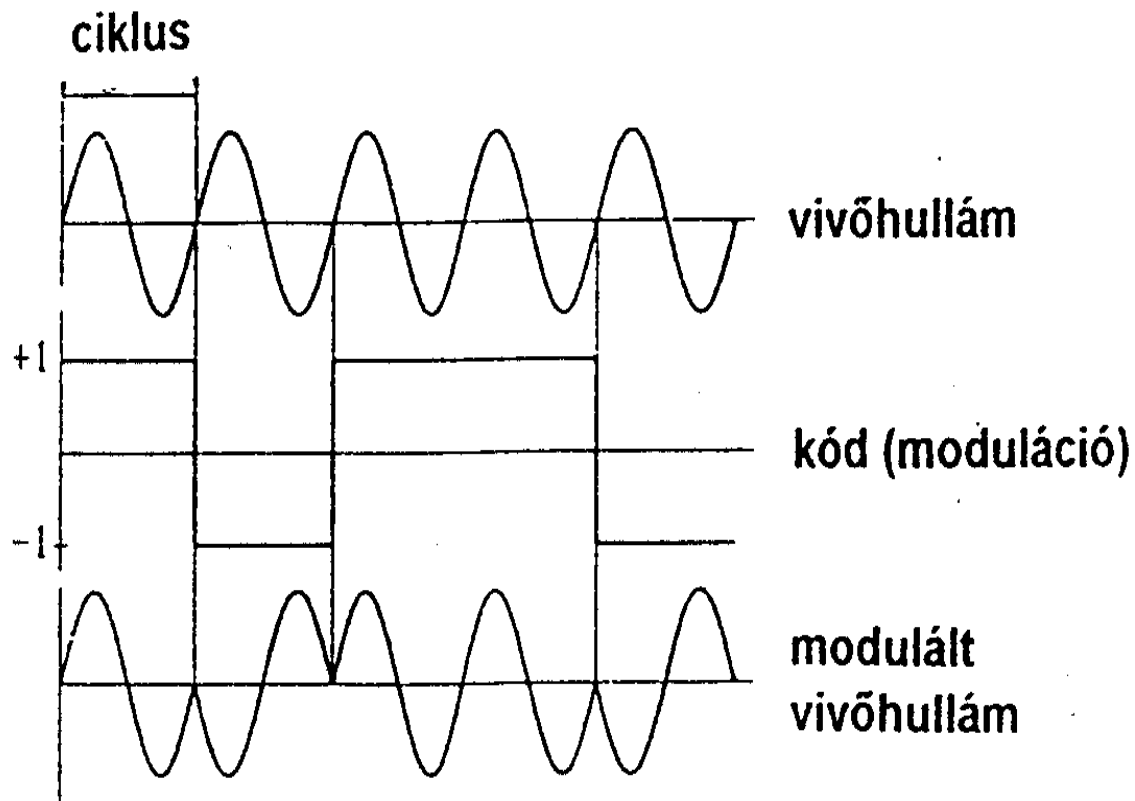
- A műholdakon az atomi oszcillátorok által generált alapfrekvencia:  $f_0 = 10,23 \text{ MHz}$ . Ezekből állítják elő a két L-sávú vivőfrekvenciát:
  - $L1 = 154 f_0$  (19,05 cm hullámhossz)
  - $L2 = 120 f_0$  (24,45 cm hullámhossz).
- Ezeket a frekvenciákat különböző kódokkal modulálják, amelyek segítségével a felhasználók un. Pseudotávolság meghatározást végezhetnek.



- Vagyis az L1 vivőfrekvenciát mind a C/A kóddal, mind a P kóddal, az L2 vivőfrekvenciát pedig csak a P kóddal modulálják.
- Az előbbieken előállított kétféle PRN kód mellett még küldenek a műholdak egy 1500 bitnyi információt tartalmazó navigációs üzenetet is 50 Hz frekvenciával, így a navigációs üzenet műholdanként 30 mp-ig tart. A navigációs üzenet tartalmazza a műhold órájára, pályaelemeire, állapotára vonatkozó adatokat. Az összes működő GPS holdról szóló üzenet vétele 12,5 percet vesz igénybe.

Ezt nevezzük almanacnak.

- A kódok tulajdonképpen -1 és +1 értékekből álló sorozatok, melynek hatására a vivőhullám fázisa 180 fokkal eltolódik, ha a kód értéke változik.



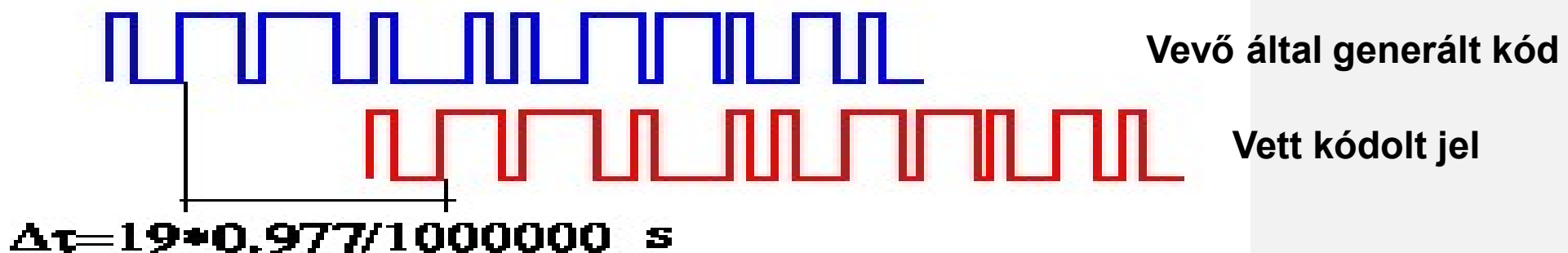
A mért távolságokat azért nevezik *pseudo-távolságoknak*, mivel értéküket a vevő órájának a műhold órájához viszonyított késése is befolyásolja.

# Pseudotávolság meghatározása kód méréssel

- A C/A kód úgynevezett pseudo véletlen kód (bár meghatározott szabályok szerint készül mégis úgy néz ki mintha zaj lenne), tulajdonképpen +1 és -1 számok egymásutánja.
- Egy kódelem frekvenciája  $f_0/10$ , azaz 1.023 MHz. A kódsorozat milliszekundumonként ismétlődik. Maga a kód 1023 bit hosszú.
- P kódnál a kódelem frekvenciája  $f_0$ !
- *A kód egy elemének a hossza C/A kód esetén tehát:*  
 $2.99792458 \times 10^8 \text{ m/s} \times 0,001 \text{ s} / 1023 \text{ bit} = 293.052 \text{ méter/bit}$ , az egész kódsorozat pedig hosszban kifejezve  $293.052 \times 1023 = 299792.458 \text{ méter}$ .
- Ahol:  
 $2.99792458 \times 10^8$  a fény terjedési sebessége m/s-ban.



- A kód mérés úgy történik, hogy a GPS vevő is előállítja azt a kódsorozatot (C/A, vagy P kód), amit a GPS műholdak sugároznak.
- A vevő által generált és a vett kód egymáshoz képest eltolva jelentkeznek a vevőben.
- A vevő az általa generált kódsorozatot szinkronba hozza a vett kódsorozattal, azaz meghatározza azt, hogy hány kódbit eltérés van a generált és vett kódsorozat között. Emlékeztetőül: egy kódbitnek  $\sim 300$  méter távolság felel meg!
- Ezt követően meghatározza a vevő az egy kódbiten belüli fáziseltérést, amit a jelenlegi eszközökkel 1% pontossággal végezhető el, azaz C/A kód esetén az elméleti pontosság  $\sim 3$  méter, P kód esetében pedig – mivel ott egy kódélem frekvenciája  $f_0$ , vagyis tízszerese a C/A kódénak – 30 cm.



- A P - kód (precision code) frekvenciája megegyezik az  $f_0$  alapfrekvenciával, és 266.4 naponta ismétlődik. A holdak azonosítását itt az teszi lehetővé, hogy a kód " mintája" minden hold esetében egyedi. A P - kód teljes, 266.4 napos ciklusának 7-7 napos darabját rendelték hozzá egy-egy GPS holdhoz. A kód generálása minden vasárnap éjfélkor, a GPS hét kezdetén újra indul.
- Geometriai szempontból az álláspont ismeretlen koordinátái akkor számíthatók, ha ezek a mérések egyidejűleg három műholdra rendelkezésre állnak. Az ismeretlen óra késést egy negyedik műholdra végzett méréssel lehet meghatározni.



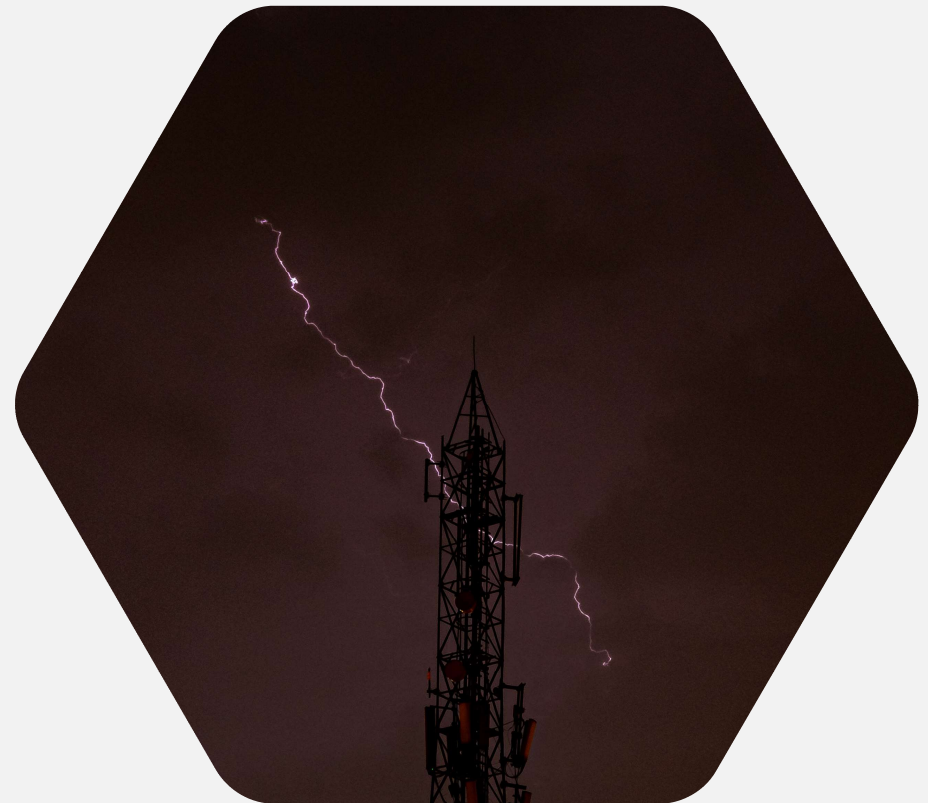
GPS  
vevő

# Peszeudótávolság meghatározása vivőfázis (hordozófázis) méréssel

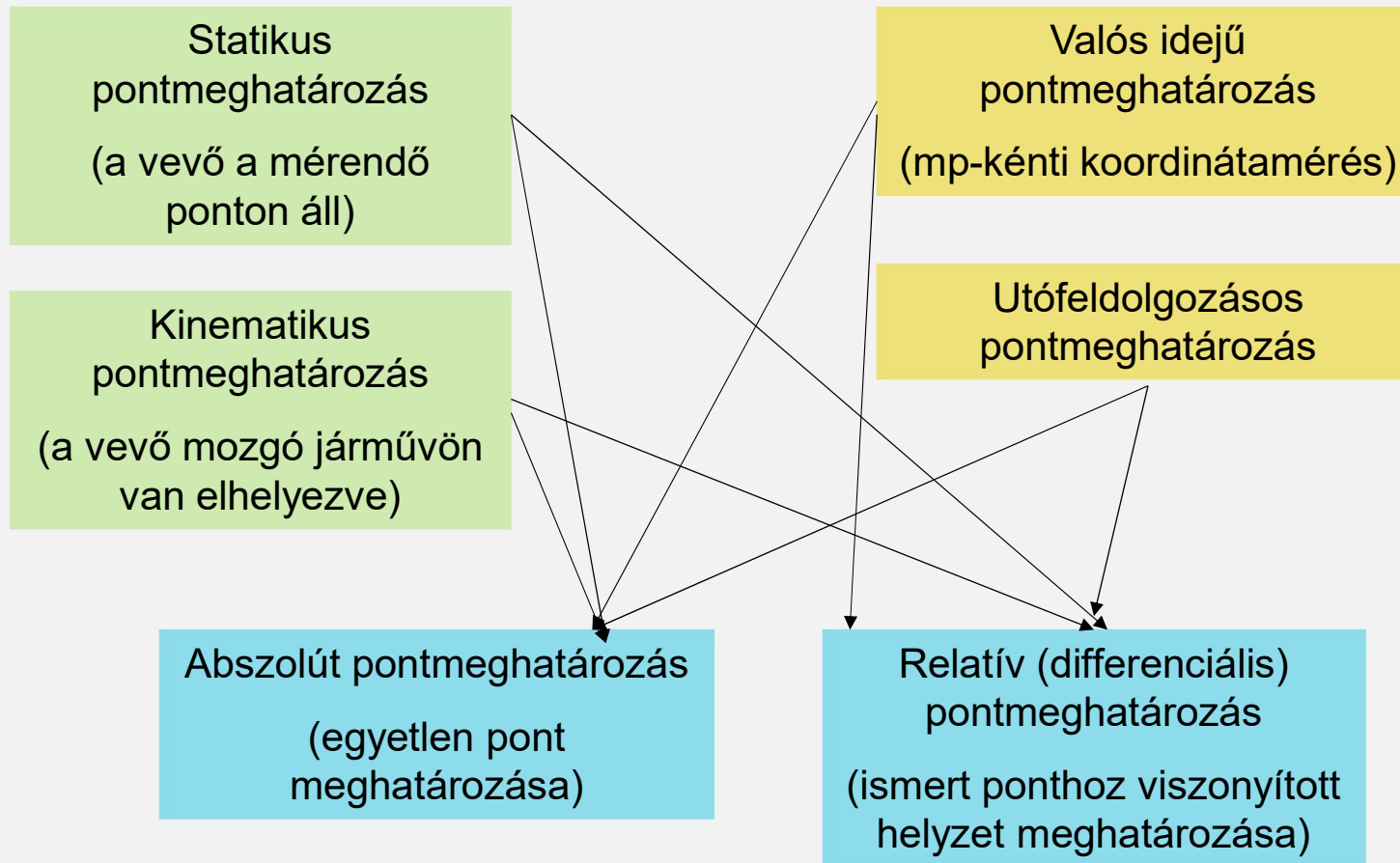
- Fázismérésnél a műholdról a vevőbe érkező vivőfrekvencia (L1 és/vagy L2) fázisa és a vevő oszcillátora által előállított konstans frekvencia fázisa közötti különbséget mérik. Mivel a vivőhullám hullámhossza sokkal rövidebb, mint a kódok hullámhossza, a vivőfázis mérés sokkal pontosabb eredményt ad, mint bármely kóddal való mérés.
- A fázismérés hátránya, hogy csak igen nehezen lehet az egész ciklusok számát ( $N$  = teljes hullámhosszak számát) meghatározni.
- Azt az eljárást, amivel az  $N$  értékét meghatározzuk, nevezzük **inicializálásnak**.

## Pontossági kérdések

- A pszeudótávolság meghatározásának pontossága a következő "ökölszabály" segítségével határozható meg:
- *a pontosság a kód vagy vivőfázis periódusidejének megfelelő hullámhossz 1%-a,*
  - C/A kód esetén  $1,023 \text{ MHz}$   $300/100 \text{ m} = 3 \text{ m}$
  - P-kód esetében  $10,23 \text{ MHz}$   $30/100 \text{ m} = 30 \text{ cm}$
  - L1 vivőfázis esetén  $19,05/100 \text{ cm} = 1,9 \text{ mm!}$



# Mérési módszerek

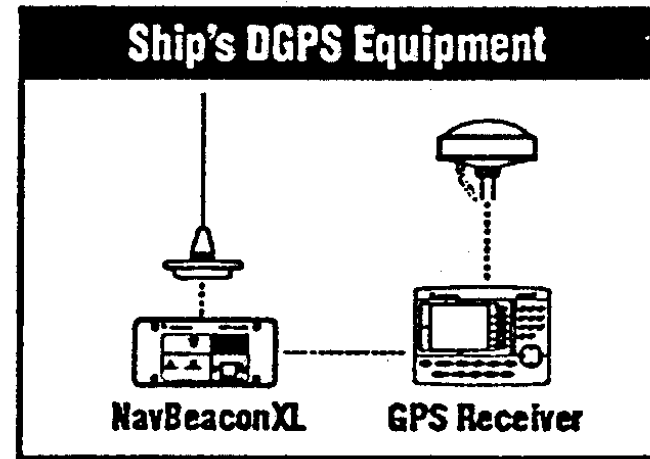
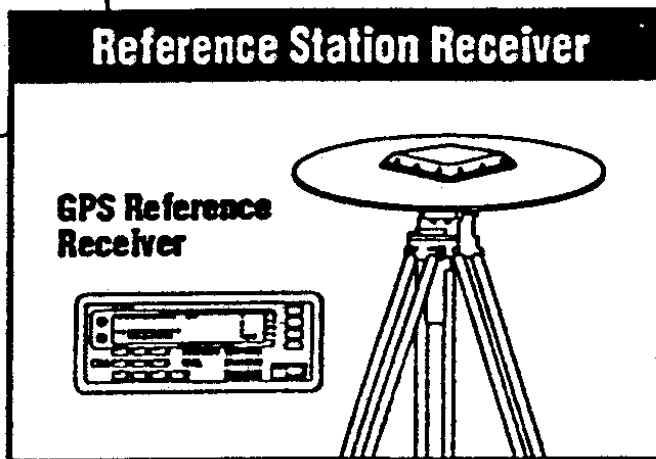
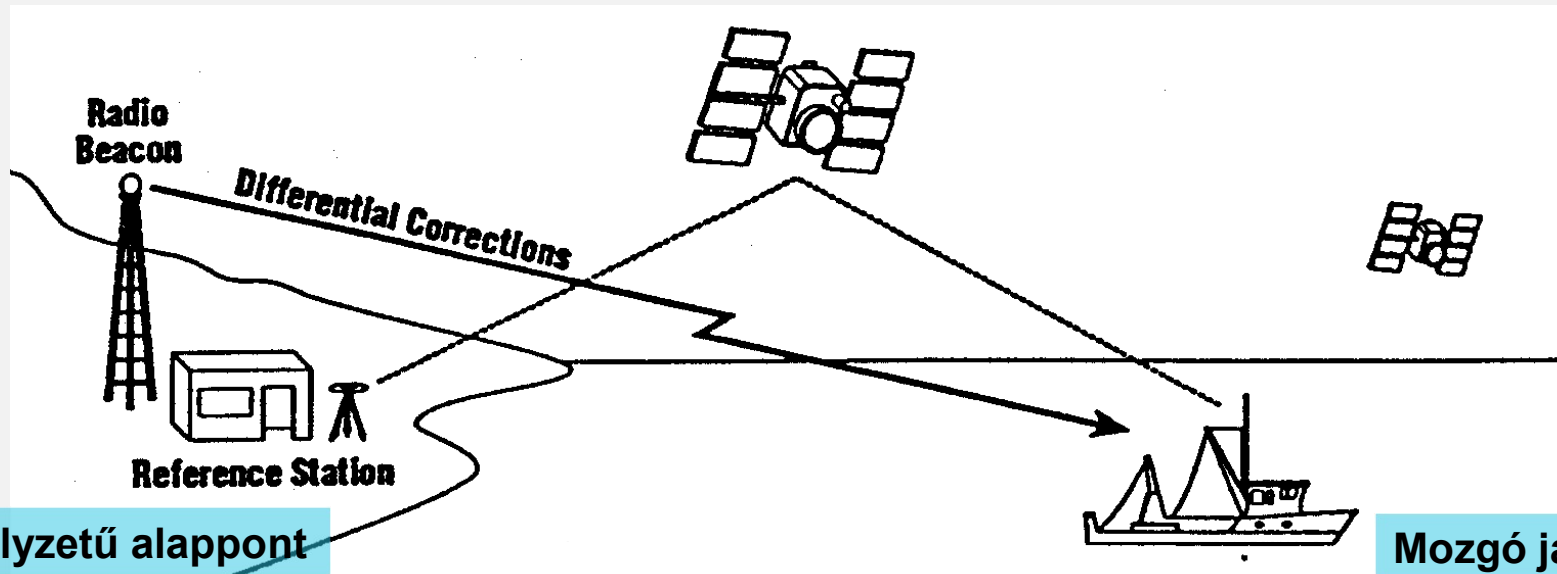


- Statikus pontmeghatározás, ha a vevő a mérendő ponton áll.
- Kinematikus pontmeghatározás, ha a vevő mozog.
- Abszolút pontmeghatározás, amikor egyetlen GPS antenna koordinátáit számítjuk ki GPS koordináta-rendszerben.
- Relatív pontmeghatározás, amikor legalább két ponton folynak fázismérések ugyanazokra a műholdakra.  
Az egyik pont koordinátái rendszerint nagy pontossággal ismertek (ez a referencia pont), a másiké ismeretlenek.  
A módszer tulajdonképpen a két pont közötti vektort adja meg.

- Valós idejű (real time) mérés, amikor a pontmeghatározás "azonnal" mp-en belül történik.
- Utófeldolgozás (postprocessing), amikor a pontmeghatározás utólag, nagyobb pontossággal történik. Itt - szélső pontosságra való törekvés esetén - fel lehet használni az ellenőrző állomások által közzétett műhold pályaadatokat is.

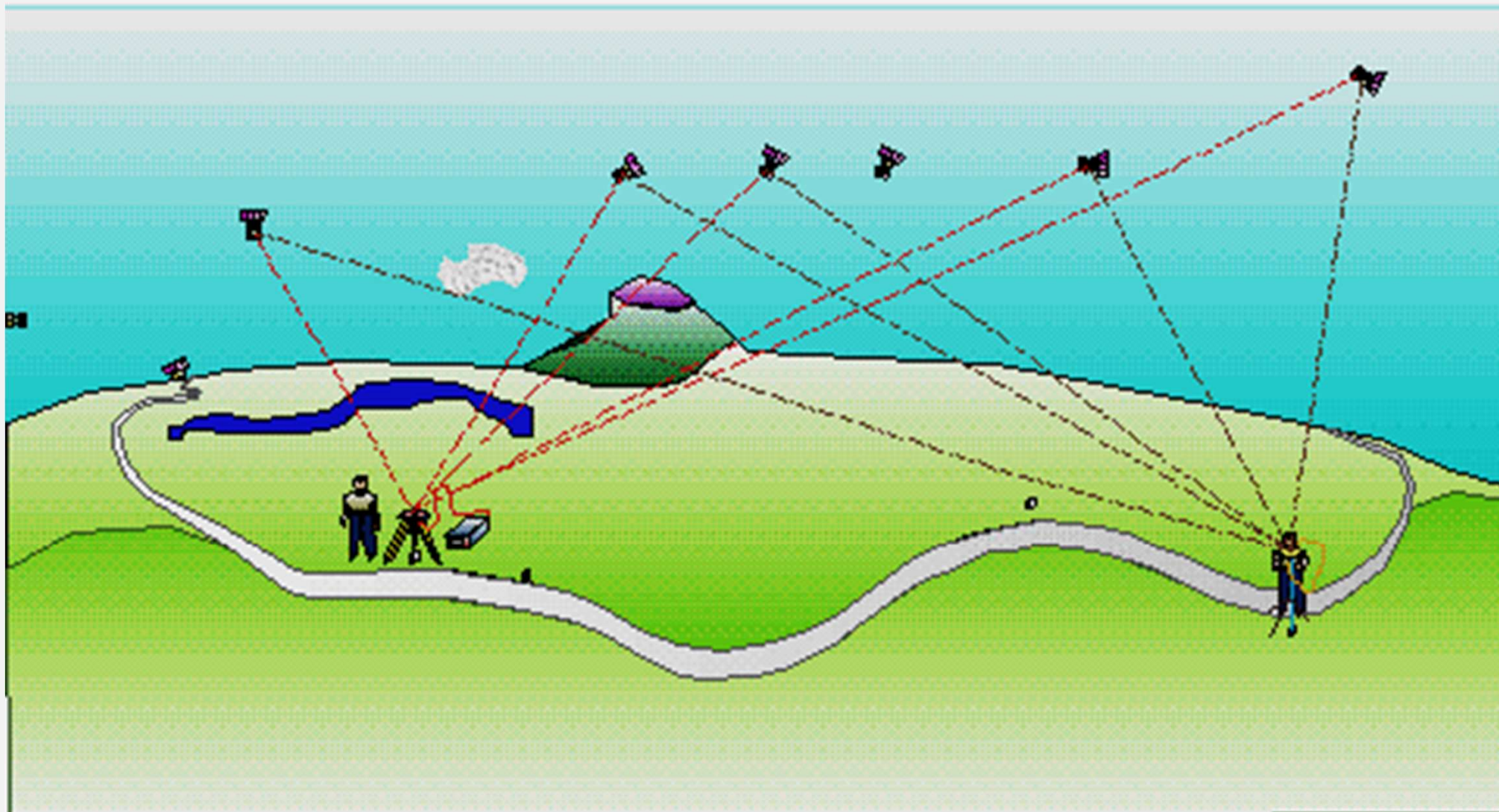
Ezek kombinációi adják a különböző mérési módszereket, pl. valós idejű kinematikus abszolút pontmeghatározás, vagy

# Valós idejű kinematikus differenciális helymeghatározás





# Valós idejű kinematikus differenciális pontmeghatározás



# Mi is történik?

- A referencia ponton ismertek az  $Y$ ,  $X$  és  $mBf$  geodéziai koordináták.
- A referencia ponton felállított GPS antenna mp-kénti  $t_i$  időpontban meghatározza a helyzetét és számítja a:

$$dy_i = Y_{\text{adott}} - Y_{\text{imeghatározott}}$$

$$dx_i = X_{\text{adott}} - X_{\text{imeghatározott}}$$

$$dm_i = M_{\text{adott}} - M_{\text{imeghatározott}}$$

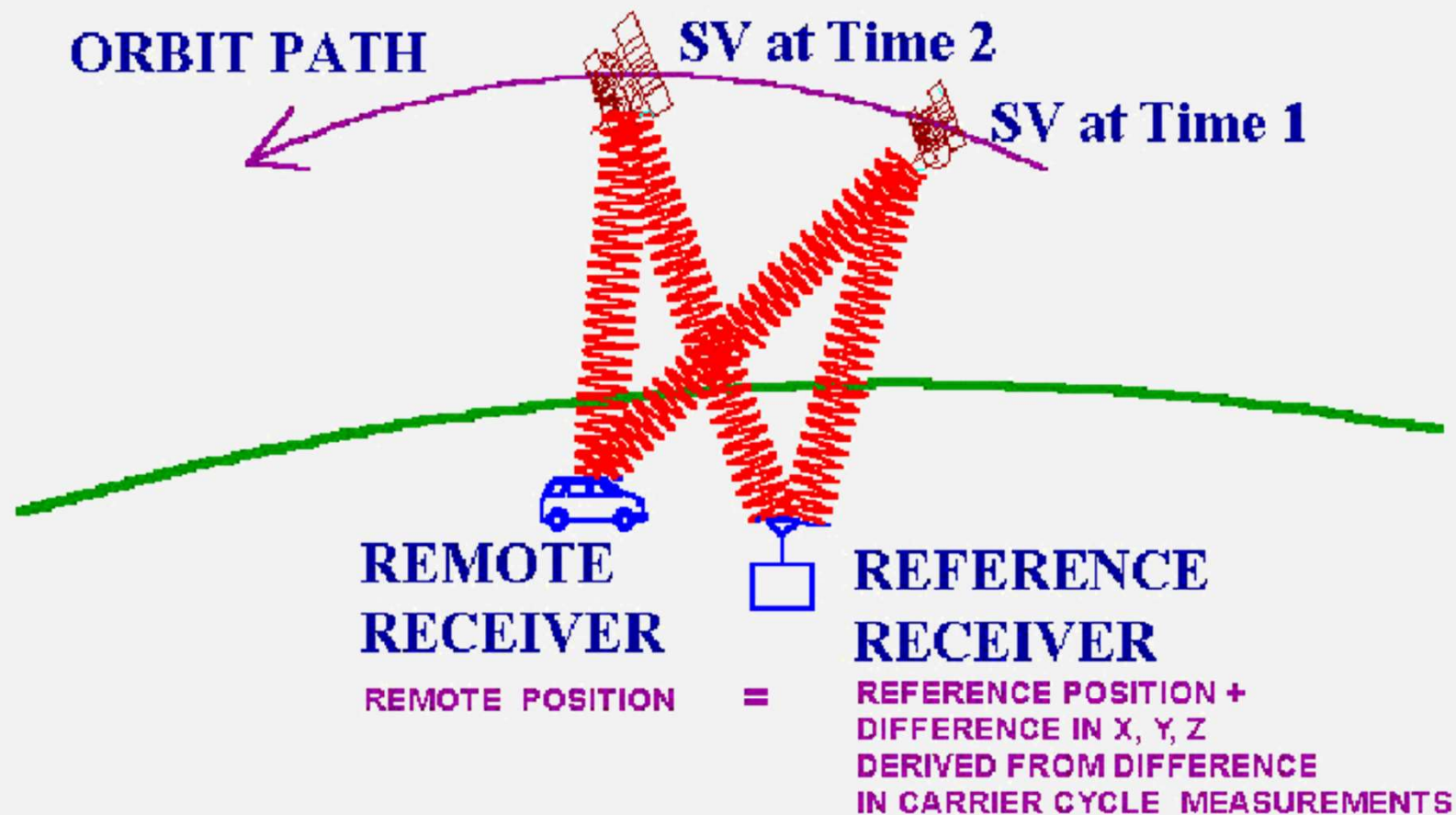
koordináta különbségeket, amelyeket rádión folyamatosan továbbít a mozgó GPS antenna felé.

- A mozgó GPS vevő a  $t_i$  időpontban mért pozícióját megjavítja a vett koordináta különbségekkel:

$$Y_i = Y_{\text{imeghatározott}} + dy_i$$

$$X_i = X_{\text{imeghatározott}} + dx_i$$

$$M_i = M_{\text{imeghatározott}} + dm_i$$



## GPS CARRIER PHASE POSITIONING

Valós idejű kinematikus differenciális pontmeghatározás gépjármű útvonalának követésére

Azon a feltevésen alapszik, hogy a referenciaállomáson telepített vevőkészülék és a tőle nem túl távol levő mozgó vevőkészülék(ek) ugyanazokat a GPS műholdakat „fogják be” és a mérés pontosságát zavaró tényezők is ugyanazok.