

A satellite in space, viewed from a low angle, with several solar panels and instruments visible against the Earth's atmosphere.

**Eötvös Loránd Tudományegyetem  
Informatikai Kar**

# **Térinformatikai és távérzékelési alkalmazások fejlesztése**

---

## **Helymeghatározás és navigáció**

---

**© 2016 Giachetta Roberto**  
**groberto@inf.elte.hu**  
**<http://people.inf.elte.hu/groberto>**

# Helymeghatározás és navigáció

## Helymeghatározó rendszerek

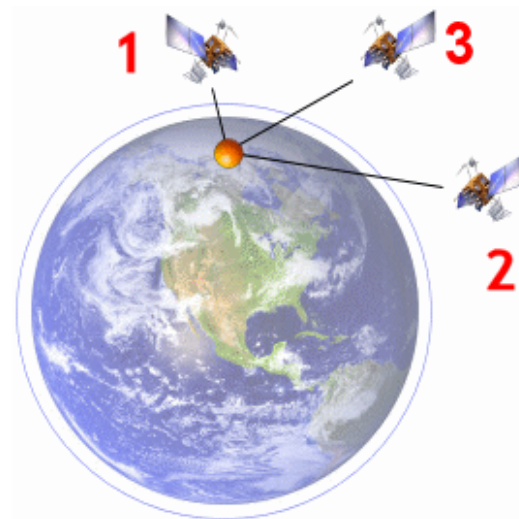
---

- A globális helymeghatározó rendszerek (*Global Navigation Satellite System, GNSS*) feladata a földfelszíni pozíció megállapítása műholdas távolsági mérés alapján
  - a pozíció számítása a műholdak által küldött jelek információi (küldési idő, műhold pozíció) alapján történik
  - a beméréshez több műhold által küldött adatok szükségesek, minél több az adatforrás, annál precízebb a pozicionálás
  - rendszertől függően 20-30 közepes föld körüli (MEO) pályán (kb. 20 000 km-es magasságban) mozgó műhold szükséges a globális beméréshez
  - az 1. generációs rendszerek (pl. *GPS, GLONASS*) után jelenleg a 2. generációsok (pl. *Galileo*) fejlesztése folyik

# Helymeghatározás és navigáció

## A GPS rendszer

- A jelenlegi egyetlen globálisan működő navigációs rendszer az amerikai *GPS (Global Positioning System)*
  - 24-32 műhold (jelenleg 29), egy fő és egy tartalék irányítóállomás, 4 antenna, 6 nyomkövető állomás
  - a műholdak 6 csoportra vannak osztva, 60°-os kelet-nyugati eltérésű pályákon, sík terepen maximum 6-12 műhold érzékelhető, ebből minimum 3 szükséges a pozícionáláshoz (4 a 3 dimenziós pozícionáláshoz)
  - 3 dimenziós adatközlés, méteres pontosság



# Helymeghatározás és navigáció

## Adatküldés

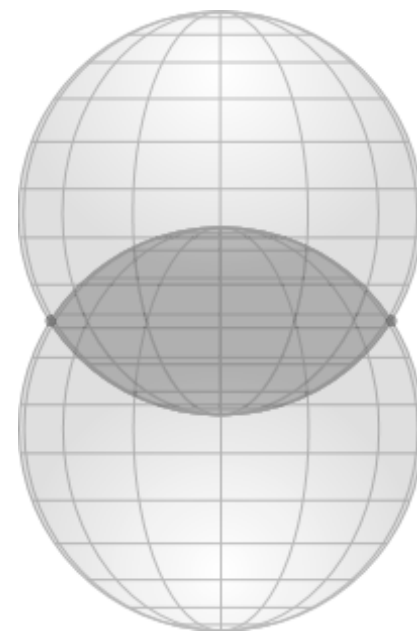
---

- A műholdak két frekvencián (L1: 1575,42 MHz, L2: 1227,6 MHz) sugároznak szórt spektrumú jelet (*pseudo-random noise*, *PRN*), amelynek két fajtája van:
  - *Coarse/Acquisition Code (C/A)*: durva elérésű kód, civil használatra (maximum 1 méteres pontosság)
  - *Precision code (P)*: pontos elérésű kód, katonai használatra
- Időkezelésre minden műholdon két atomóra helyezkedik el, amelyek UTC időzónában mérnek, míg a földi pozíciót a WGS84 ellipszoid alapján állapítja meg
- A jel tartalmazza a küldési időt, és a műhold pontos orbitális pozícióját, valamint általános rendszerinformációkat

# Helymeghatározás és navigáció

## A helymeghatározás folyamata

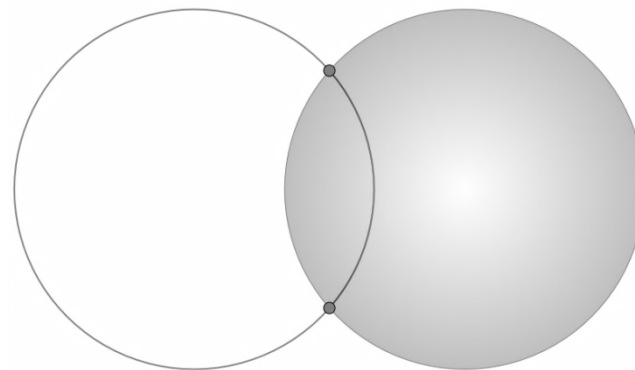
- A műholdadatok alapján a vevő egy műholdra vonatkozó adatai az  $[x_i, y_i, z_i, t_i]$  négyessel írhatóak le, amely megadja a műhold pozícióját, valamint az üzenet küldésének idejét
  - ebből a fogadás ideje ( $t_{r,uc}$ ) kiszámolható a hatósugár ( $p_i$ ) fénysebességgel mérve az adatközlést:
$$p_i = (t_{r,uc} - t_i)c$$
  - a hatósugár alapján megállapítható egy gömb, és a vevő ennek a gömbnek a felületén helyezkedik el
  - kettő gömb metszete megad egy kört, míg három gömb metszete két pontot definiál (*háromszögelés*)



# Helymeghatározás és navigáció

## A helymeghatározás folyamata

- a két pont közül az egyik a földön kívül helyezkedik el, a másik pont adja meg a vevő elhelyezkedését
- elvileg 3 műhold szükséges, gyakorlatilag a vevő órájában a legapróbb hiba is pozicionálási hibához vezet
  - pl. 1 milliomod másodperc eltérés 300 méteres eltolást okoz
  - nem éri meg drága vevőket készteni pontos órával, a hibakezeléshez szükséges egy negyedik műhold



# Helymeghatározás és navigáció

## A helymeghatározás folyamata

---

- a negyedik gömb és a megtalált pont közötti távolság felhasználható a korrekcióra

- a vevő időkorrekciós értéke ( $b_r$ ) kiszámítható a

$$b_r = \frac{p_4 - r_4}{c}$$

ahol  $r_4$  a jelenleg mért távolság a negyedik műholdtól

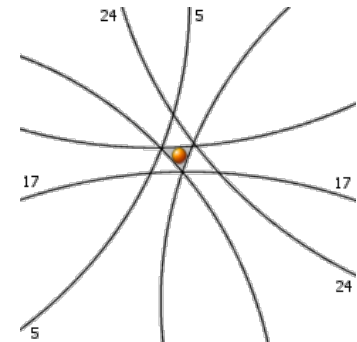
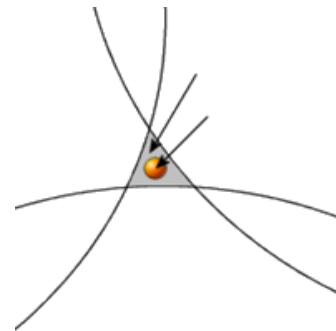
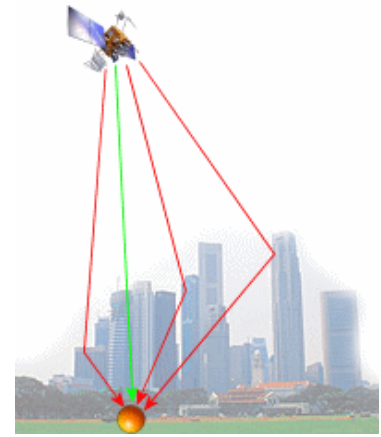
- A GPS vevő feladatai:
  - a műholdak adatainak fogadása
  - a pozíció megállapítása háromszögeléssel és a hibák korrigálása a lehetőségeknek megfelelően
  - a pozíció közlése egy adott formátumon



# Helymeghatározás és navigáció

## Hibák

- A pozíció meghatározása során (az órahiba mellett) különböző külső hibaforrásokkal is számolnunk kell
  - pl. légköri zavarok, időjárás, műhold pályájának hibái, felszíni visszaverődés
  - a háromszögelés nem két pontban metsződik, hanem egy területet ad, amelynek egy pontjában helyezkedik el a vevő, a műholdak számának növelésével a terület csökkenthető





# Helymeghatározás és navigáció

## Pontosság

- A mérés pontosságát a *DOP* (*Dilution of Precision*) érték határozza meg
  - a különböző korlátozó tényezők kombinációja
  - 1 alatt: tökéletes, 1-2: kitűnő (magas precíziójú eszközöknek), 2-5: jó, 5- közepes (közúti navigációra még elfogadható), 10-20: gyenge, 20 felett: elégtelen
  - megadható külön vertikális (VDOP), horizontális (HDOP), pozíciós (PDOP) és időbeli (TDOP) komponensenként
- A maximális mérési hiba a DOP és vevő pontosságának szorzata (a kereskedelmi vevők 5-7 m pontosak, így pl. 6-os DOP mellett  $5 \cdot 6 = 30$  m hibakorlát várható)

# Helymeghatározás és navigáció

## Előnyök, hátrányok

---

- A rendszer előnyei:
  - napszaktól, (adott határig) sebességtől és földfelszíni magasságtól független
  - adott korlátokon belül (néhány méter) pontos eredményt ad gyengébb minőségű vevővel is
- A rendszer hátrányai:
  - a szükséges adatok vétele és kalibrációja sok ideig tart
  - csak nyílt területen alkalmazható, a visszaverődő jelek nem küszöbölhetőek ki teljesen
  - időjárási tényezők rontják az érzékelést, erős napkitörések alatt használhatatlan

# Helymeghatározás és navigáció

## Támogatott GPS

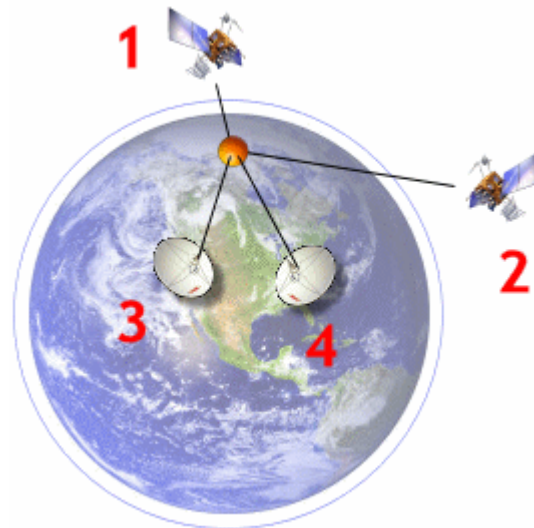
---

- Amennyiben a rendszer által biztosított pontosság nem elegendő, lehetőségünk van további eszközökkel növelni
- A támogatott GPS (Assisted GPS, aGPS) lehetőséget ad az egyéb hálózatba (pl. internet, mobilhálózat) is bekapcsolt eszközöknek további adatok letöltését a hálózatról, két módja:
  - kliens oldali pozicionálás javítása (pontos idő lekérés, műholdadatok továbbítása, bázisállomások adatainak elérése)
  - szerver oldali pozicionálás (egy precízebb számítást végezni képes szerver, a bázisállomástól mért távolság segítségével adja meg a vevő pozícióját)

# Helymeghatározás és navigáció

## Differenciális GPS

- Egy továbbfejlesztése a GPS rendszernek a *differenciális GPS* rendszer (*Differential GPS, DGPS*), amely földi állomások segítségével korrigálja a GPS mérési hibáit
  - a földi vezérlőállomások helyzete állandó, hibakorrekciós rádiójelet továbbítanak
  - egy állomás hatótávolsága 370 km, de távolodva csökken a biztonság (pl. 100 km-re a hiba mértéke 0,67 m-re csökken)
  - a vevő rendelkezhet külön antennával a korrekciós jel vételére, egyszerre több korrekciós jelet is fogadhat



# Helymeghatározás és navigáció

## Adatok közlése

---

- A GPS adatok közlésére a legtöbb vevő a NMEA (National Marine Electronics Association) szabványokat támogatja,
  - a legáltalánosabb támogatással a *NMEA0183* rendelkezik, amely ASCII alapú kódsorozat, mondatokból áll, összesen 50 féle mondattípussal
    - a mondatok \$ karakterrel kezdődnek, amit az adás kódja követ
    - az adatokat vessző választja el
    - a mondat végén \*, majd ellenőrző szám található
  - az újabb eszközök már ismerik a *NMEA2000*-t is, amely bináris kódsorozattal kommunikál nagyobb adatsebességgel

# Helymeghatározás és navigáció

## Adatok közlése

---

- A NMEA0183 szabvány legfontosabb mondatai:
  - *RMC* (*recommended minimum*): a földfelszíni helymeghatározáshoz szükséges minimális információk
    - időpont, kapcsolat (A: aktív, V: inaktív), szélesség, magasság, sebesség (tengeri csomóban), irány, dátum, mágneses variáció
    - pl.: `$GPRMC,123519,A,4807.038,N,01131.000,E,022.4,084.4,230394,003.1,W*6A`
  - *GGA*: 3 dimenziós helymeghatározáshoz szükséges adatok
    - pl.: `$GPGGA,123519,4807.038,N,01131.000,E,1,08,0.9,545.4,M,46.9,M,,*47`

# Helymeghatározás és navigáció

## Adatok közlése

- *GSA*: műholdakra, és a kapcsolat pontosságára vonatkozó információk
  - pl.: \$GPGSA,A,3,04,05,,09,12,,,24,,,,,2.5,1.3,2.1\*39
- *GSV*: a látható műholdak adatai
  - egyszerre maximum 4 műhold adatait adja meg, ezért több mondat kellhet a teljes adatsorhoz
  - tartalmazza a jel/zaj arányt (SNR), amely 0-99 közötti szám (vevőtől függően legalább 25-35 kell az értékelhető adatközléshez)
  - pl.: \$GPGSV,2,1,08,01,40,083,46,02,17,308,41,12,07,344,39,14,22,228,45\*75



# Helymeghatározás és navigáció

## Navigációs rendszerek alkotóelemei

---

- A navigációs rendszer feladata útvonal meghatározása egy kiinduló pontból egy célpontba, részei:
  - *vevő*, amely megadja a helymeghatározó rendszer (pl. GPS) által megjelölt koordinátákat szabványos csatornán (pl. MNEA)
  - *térképi adatbázis*, tartalmazza egy adott terület teljes vektoros térképi megfelelőjét, kiegészítve attribútumokkal
  - *útvonalkereső algoritmus*, amely megadja az aktuális pont és a célpont közötti megfelelő utat
  - *vizualizációs és interakciós felület*, amely megjeleníti a navigációt a felhasználó számára, és fogadja a bemenetet

# Helymeghatározás és navigáció

## Navigációs rendszerek típusai

---

- A navigációs rendszer működése szerint lehet:
  - *kapcsolatmentes (offline)*: a térképi adatok a navigációs készülékben helyezkednek el, amelyet külön tudunk frissíteni
    - a frissített tartalom több hónap lemaradásban lehet a ténylegessel
    - általában kifejezetten navigációs készülékek szoftverei
  - *folyamatos kapcsolatú (online)*: az adatok betöltésére és a navigáció egy szerver segítségével történik, amely az adatokat folyamatosan biztosítja
    - állandó szélessávú (internetes) kapcsolat szükséges, általában mobil telefonok szoftverei

# Helymeghatározás és navigáció

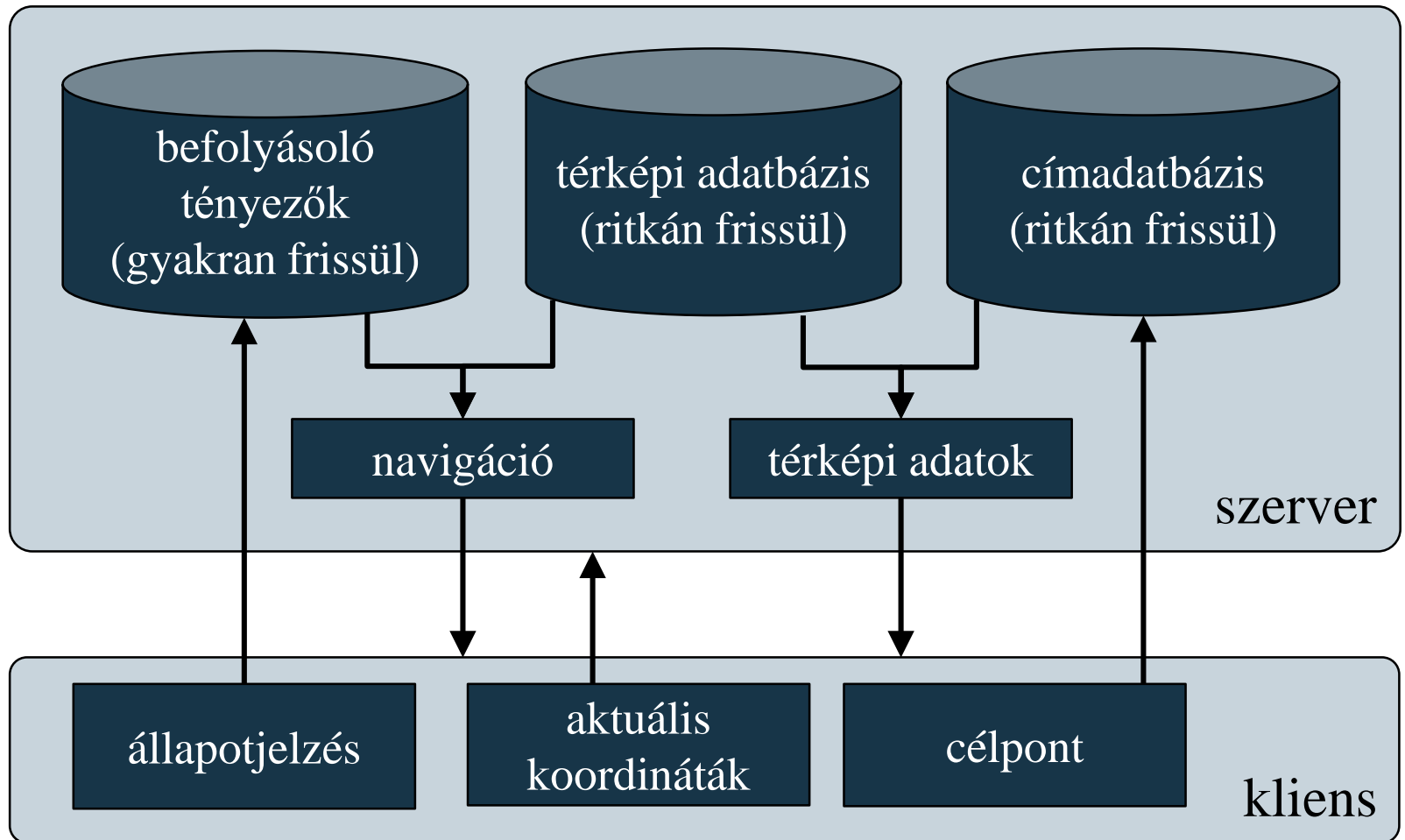
## Kapcsolattartás

---

- Az online rendszerek hálózati tevékenységei:
  - *térképi tartalom letöltése*: így az adatok nem foglalnak helyet az eszközön (csak a gyorsítótár), továbbá a szerveren tárolt friss adatok kerülnek letöltésre
  - *geokódolás*: a pozíció visszafejtése a címből
  - *navigációs útvonal letöltése*: az útvonalszámítást is a szerver végzi, amely rendelkezik a befolyásoló tényezőkkel (pl. forgalmi helyzet, útlezárások)
  - *állapot visszatöltés*: a kliens visszaküldhet adatokat a szerverre (pozíció, sebesség), amely felhasználható befolyásoló tényezők számításában (pl. forgalmi dugók)

# Helymeghatározás és navigáció

## Kapcsolattartás



# Helymeghatározás és navigáció

## A TMC rendszer

---

- A forgalomkövetés leggyakrabban alkalmazott formája a *TMC* (*Traffic Message Channel*), amely FM, DAB, vagy szatellit vivőhullámon keresztül ad tájékoztatást a forgalmi állapotról
  - a forgalmi eseményekhez egy kód tartozik (2048 különböző esemény az Alert C szabvány szerint), amelyet az üzenetben egy pozíció követ, majd további részletes információk
  - RDS-TMC esetén a vivőhullámba másodpercenként 1-3 alkalommal küld 37 bites sorozatokat (a pozíció 16, a kód 11 bit), a pozíciót megfeleltetési táblával kódolja le
  - Magyarországon a pozíciós tábla 2.0 verziója érhető el, a kommunikáció az MR2, a Neo FM és a Radio Cafe frekvenciáján fut

# Helymeghatározás és navigáció

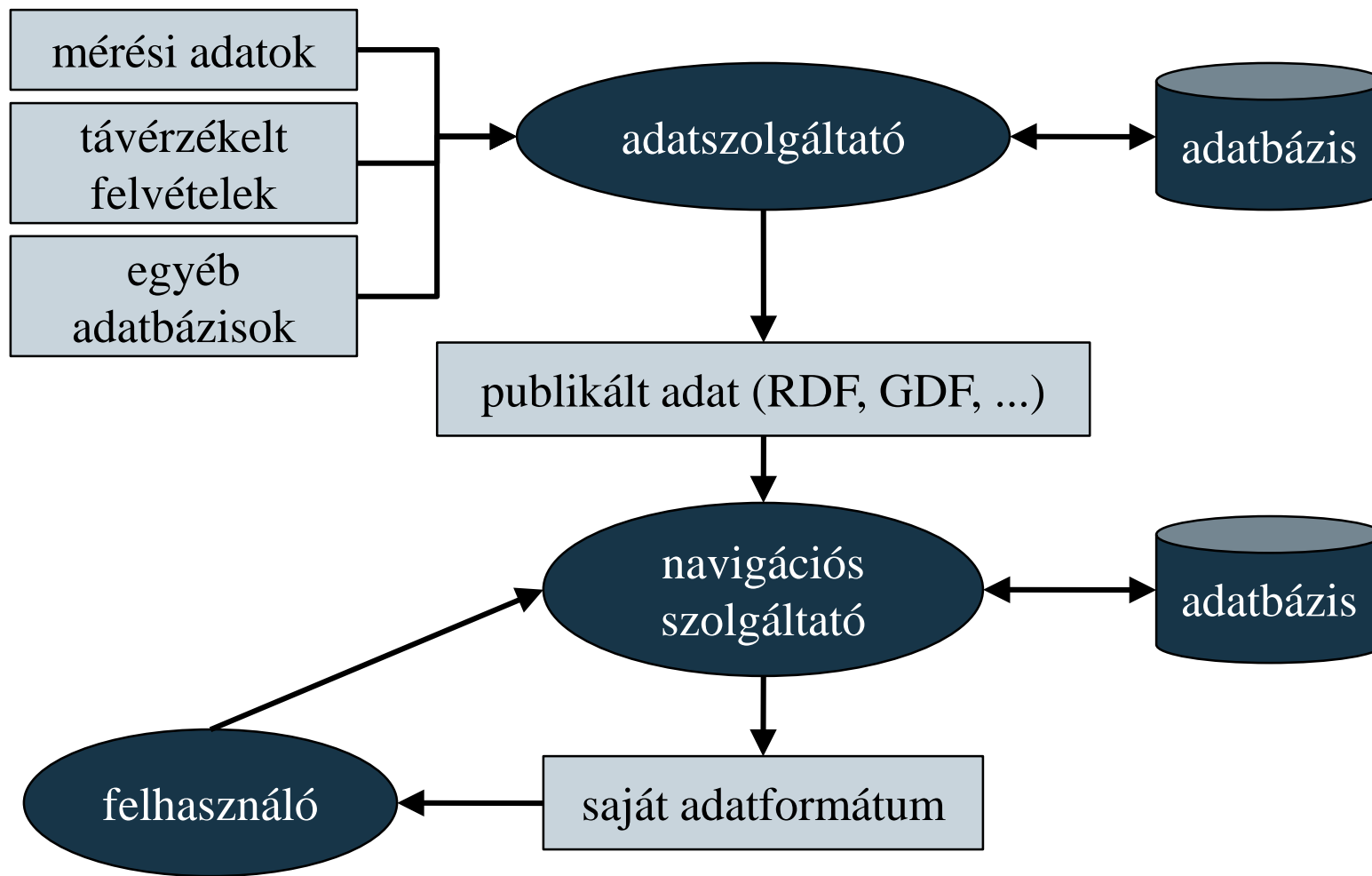
## Adatok publikálása

---

- Az adatszolgáltatók (pl. Here, TeleAtlas) különböző formátumban teszik elérhetővé az adatokat (*interchange format*), amelyet később adatbázisba kell szervezni, amelyet a felhasználók számára elérhetővé teszünk (*runtime format*)
- A publikálási formátumok megszokott szabványai:
  - általános: *Relational Data Format (RDF)*, *Geographics Data Format (GDF)*, *Standard Interchange Format+ (SIF+)*
  - speciális: *Oracle Data Format (ODF)*
  - egyéni: *NAVStreets* (Here formátum, ArcGIS és MapInfo kompatibilis)

# Helymeghatározás és navigáció

## Az adattovábbítás folyamata





# Helymeghatározás és navigáció

## Útvonaltervezés

- Mivel a vektoros úthálózat egy gráfot épít fel, a probléma analóg a *legrövidebb út megtalálásával irányított gráfon*
  - a gráf csúcsai az útszakaszok kereszteződései és végpontjai
  - az élek az útszakaszok, irányítottságuk megegyezik az útszakasz irányítottságával, súlyuk arányos adott áthaladási tényezővel
  - az útszakasz hosszát a határoló pontok távolságával tudjuk kiszámítani a földfelszínen a *Haversine formulával*:

$$2R \sin^{-1} \sqrt{\sin\left(\frac{\varphi_1 - \varphi_2}{2}\right)^2 + \cos \varphi_1 \cos \varphi_2 \sin\left(\frac{\lambda_1 - \lambda_2}{2}\right)^2}$$

ahol  $R = 6371,009$  km (a föld egyenlítői sugara)

# Helymeghatározás és navigáció

## Útvonaltervezés

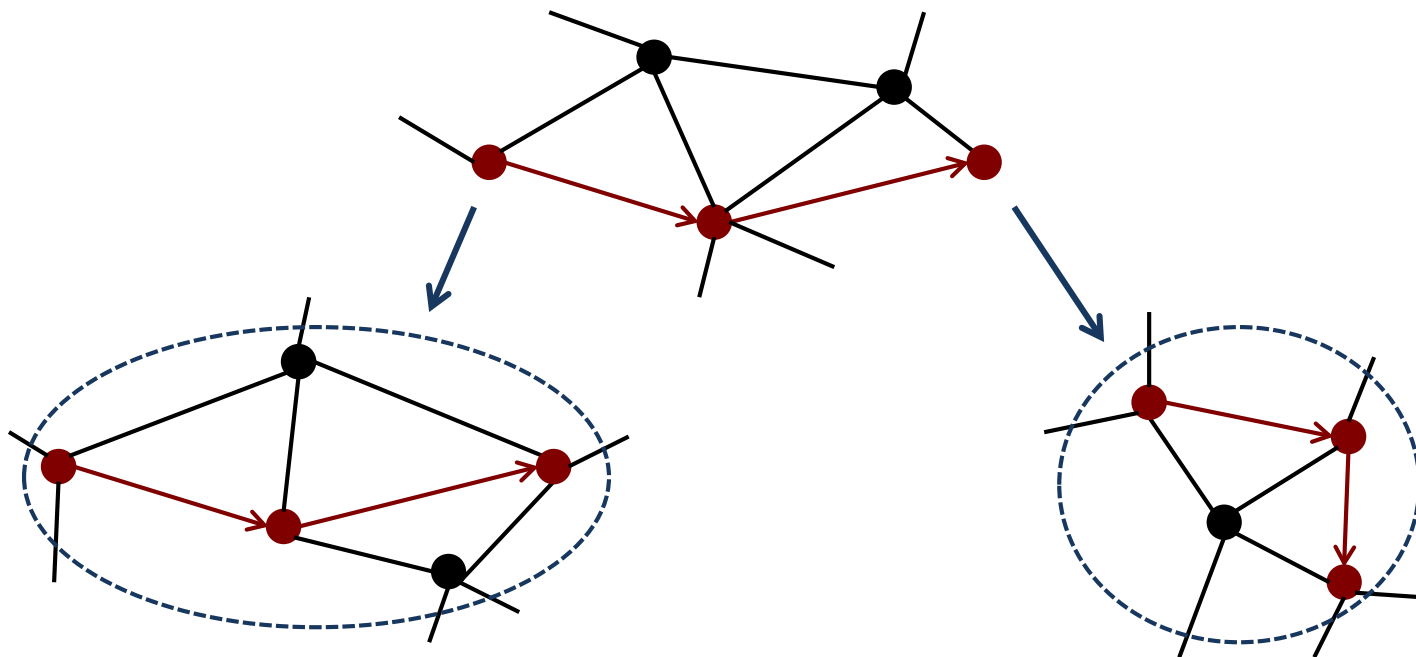
---

- Az útvonal hosszának meghatározása módjai:
  - a legrövidebb út kereséséhez összegeznünk kell a köztes utak hosszát
  - a leggyorsabb út kereséséhez az útszakasz teljesítésének idejét vesszük (a hosszat megszorozzuk a sebességhatárral), és minden csúcspontnál növelhetjük ezt a költséget további késleltető okok miatt (pl. kanyarodás, forgalmi lámpa)
  - amennyiben el akarunk kerülni egy útszakaszt, akkor az élköltségét végtelenre állíthatjuk
  - ha figyelembe vesszük az aktuális, vagy korábbi forgalmi adatokat, módosíthatjuk az élköltség számítás módját, és hatékonyabb útvonaltervet érhetünk el

# Helymeghatározás és navigáció

## Útvonaltervezés összetett gráfokon

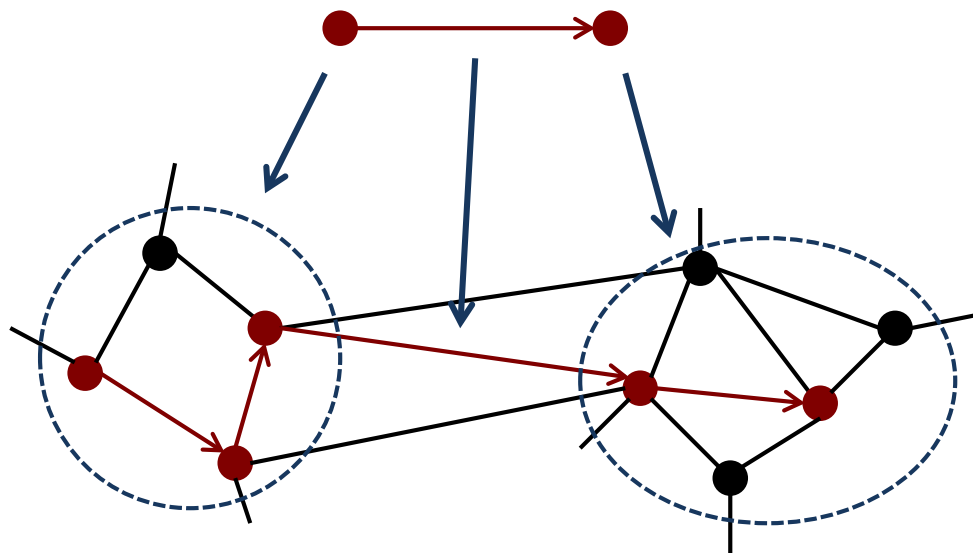
- A gráf szerkezetében figyelembe kell venni, hogy a térkép több rétegből is állhat, így az gráf is több rétegen át vezethet
  - először a felsőbb rétegekben végezzük el a keresést, majd haladunk az alsóbbak felé



# Helymeghatározás és navigáció

## Útvonaltervezés összetett gráfokon

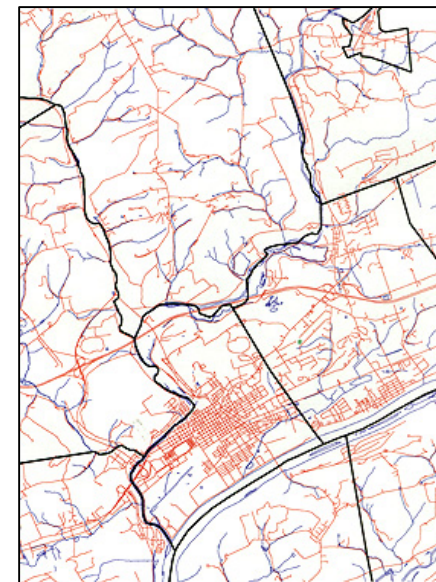
- a különböző rétegek megfelelő csúcsait össze kell kapcsolnunk, így egy csúcs, illetve egy él többel reprezentálhat a felsőbb rétegben, de mindegyik alsóbb rétegű csúcshoz egyértelműen megadható a felsőbb rétegben hozzá tartozó csúcs



# Helymeghatározás és navigáció

## Útvonaltervezés hierarchikus gráfokon

- Egy réteg esetén is felállíthatunk egy hierarchikus sorrendet az élek és csúcsok között
  - ez általában 4-5 szintet takar: fizetős autópálya, nem fizetős autópálya, autóút, főút, mellékút, ...
  - az útvonaltervezés során elsőbbséget rendelhetünk bizonyos szintekhez, illetve kizárhatjuk őket
  - külön gráfokat alkothatunk, amelyek csak bizonyos szintszámig bezárólag tartalmazzák az éleket



# Helymeghatározás és navigáció

## Útvonalkereső algoritmusok

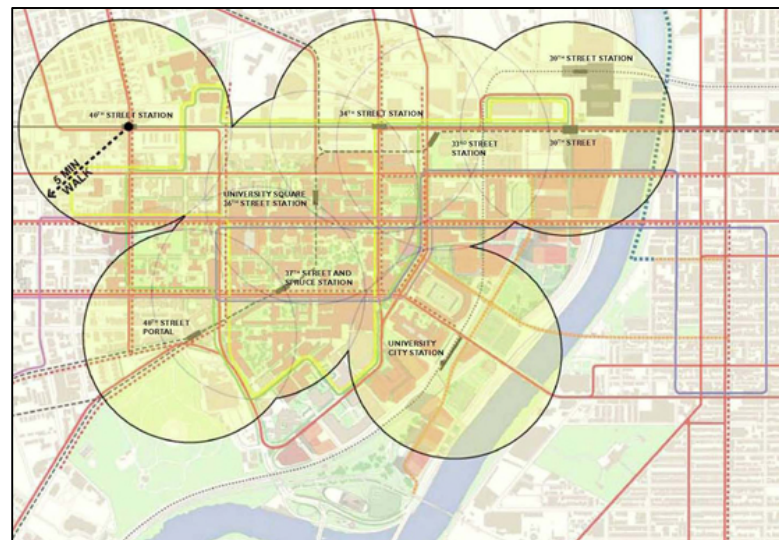
---

- Az útvonalkeresést csak pozitív élsúlyokból álló gráfon végezzük, így alkalmazható a *Dijkstra* algoritmus, vagy az  $A^*$  algoritmus
  - az  $A^*$  heurisztikát használ, figyelembe veszi a célpont távolságát a már kiszámolt távolságtól
  - további lehetséges javítások:
    - nem a célirány körzetébe vezető útvonalak kizárása
    - útvonaltervezés a kezdőpontból és a végpontból párhuzamosan, és az útvonalak egyesítése
- Az útvonal újratervezés megvalósítható visszalépéses, vagy mélységi kereséssel

# Helymeghatározás és navigáció

## Tranzit csomópont alapú útvonalkeresés

- Egy további lehetőség a gyorsításra a tranzit csomópontos útvonalkeresés (*transit node routing*)
  - bizonyos fontosabb forgalmi csomópontokat, mint tranzitpontokat eltárolunk, ezek a tranzitpontok közel azonos távolságra vannak egymástól
  - egy táblázat (*tranzittábla*) tartalmazza a köztük átvezető legrövidebb utakat (ez statikus időben kiszámítható, és mellékelhető az adatbázishoz)

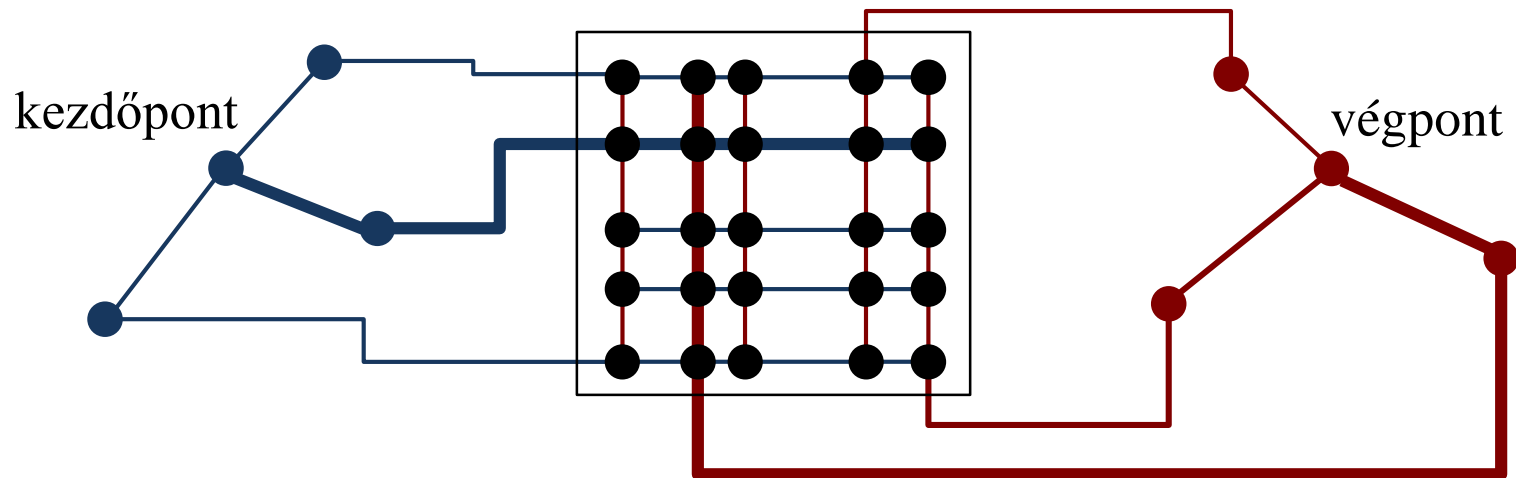




# Helymeghatározás és navigáció

## Tranzit csomópont alapú útvonalkeresés

- legrövidebb út kereséskor egy adott körzeten belüli tranzitpontokba vezető utakat keressük meg mindkét végpontból, amelyek távolsága már adott



- jelentősen növeli a hatékonyságot, de befolyásolja az útvonal optimalizáltságát a pontok megválasztása