

Térinformatikai és távérzékelési alkalmazások fejlesztése

Helymeghatározás és navigáció

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

Helymeghatározás és navigáció

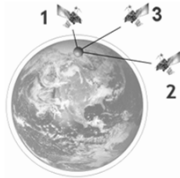
Helymeghatározó rendszerek

- 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 pozicionáláshoz (4 a 3 dimenziós pozicionáláshoz)
 - 3 dimenziós adatközlés, méteres pontosság



Helymeghatározás és navigáció

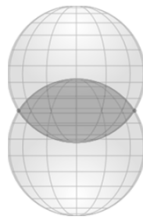
Adatküldés

- 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 elérési kód, civil használatra (maximum 1 méteres pontosság)
 - *Precision code (P)*: pontos elérési 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

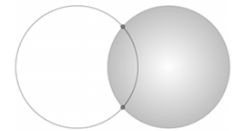
- A műholdadatok alapján a vevő egy műholdra vonatkozó adatai az $[x_i, y_i, z_i, t_i]$ négyessel írhatóak le, amely megadja a műhold pozícióját, valamint az üzenet küldésének idejét
 - ebből a fogadás ideje ($t_{r,uc}$) kiszámolható a hatósugár (p_i) fénysebességgel mérve az adatközlést:
$$p_i = (t_{r,uc} - t_i)c$$
 - 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*)



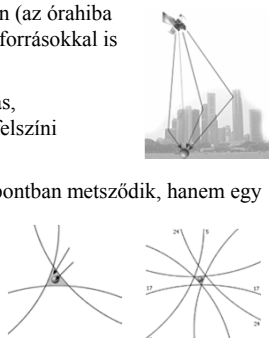
Helymeghatározás és navigáció

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 milliomed másodperc eltérés 300 méteres eltolást okoz
 - nem éri meg drága vevőket készíteni pontos órával, a hibakezeléshez szükséges egy negyedik műhold



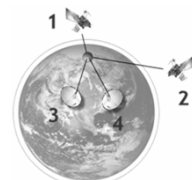
Helymeghatározás és navigáció	
A helymeghatározás folyamata	
<ul style="list-style-type: none"> a negyedik gömb és a megtalált pont közötti távolság felhasználható a korrekcióra a vevő időkorrekciós értéke (b_r) kiszámítható a $b_r = \frac{p_4 - r_4}{c}$ ahol r_4 a jelenleg mért távolság a negyedik műholdtól 	
<ul style="list-style-type: none"> A GPS vevő feladatai: <ul style="list-style-type: none"> a műholdak adatainak fogadása a pozíció megállapítása háromszögeléssel és a hibák korrigálása a lehetőségeknek megfelelően a pozíció közlése egy adott formátumon 	
ELTE IK, Térinformatikai és távérzékelési alkalmazások fejlesztése	7

Helymeghatározás és navigáció	
Hibák	
<ul style="list-style-type: none"> A pozíció meghatározása során (az órahiba mellett) különböző külső hibaforrásokkal is számolnunk kell <ul style="list-style-type: none"> 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 	
	
ELTE IK, Térinformatikai és távérzékelési alkalmazások fejlesztése	8

Helymeghatározás és navigáció	
Pontosság	
<ul style="list-style-type: none"> A mérés pontosságát a <i>DOP (Dilution of Precision)</i> érték határozza meg <ul style="list-style-type: none"> 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) komponensként 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) 	
ELTE IK, Térinformatikai és távérzékelési alkalmazások fejlesztése	9

Helymeghatározás és navigáció	
Előnyök, hátrányok	
<ul style="list-style-type: none"> A rendszer előnyei: <ul style="list-style-type: none"> napszaktól, (adott határig) sebességtől és földfelszíni magasságtól független adott korlátokon belül (néhány méter) pontos eredményt ad gyengébb minőségű vevővel is A rendszer hátrányai: <ul style="list-style-type: none"> a szükséges adatok vétele és kalibrációja sok ideig tart csak nyílt területen alkalmazható, a visszaverődő jelek nem küszöbölhetőek ki teljesen időjárás tényezők rontják az érzékelést, erős napkitörések alatt használhatatlan 	
ELTE IK, Térinformatikai és távérzékelési alkalmazások fejlesztése	10

Helymeghatározás és navigáció	
Támogatott GPS	
<ul style="list-style-type: none"> 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: <ul style="list-style-type: none"> 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) 	
ELTE IK, Térinformatikai és távérzékelési alkalmazások fejlesztése	11

Helymeghatározás és navigáció	
Differenciális GPS	
<ul style="list-style-type: none"> Egy továbbfejlesztése a GPS rendszernek a <i>differenciális GPS</i> rendszer (<i>Differential GPS, DGPS</i>), amely földi állomások segítségével korrigálja a GPS mérési hibáit <ul style="list-style-type: none"> 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 	
	
ELTE IK, Térinformatikai és távérzékelési alkalmazások fejlesztése	12

Helymeghatározás és navigáció	
Adatok közlése	
<ul style="list-style-type: none"> A GPS adatok közlésére a legtöbb vevő a NMEA (National Marine Electronics Association) szabványokat támogatja, a legáltalánosabb támogatással a <i>NMEA0183</i> rendelkezik, amely ASCII alapú kódsorozat, mondatokból áll, összesen 50 féle mondatípussal <ul style="list-style-type: none"> 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 <i>NMEA2000</i>-t is, amely bináris kódsorozattal kommunikál nagyobb adatsebességgel 	
ELTE IK, Térinformatikai és távérzékelési alkalmazások fejlesztése	13

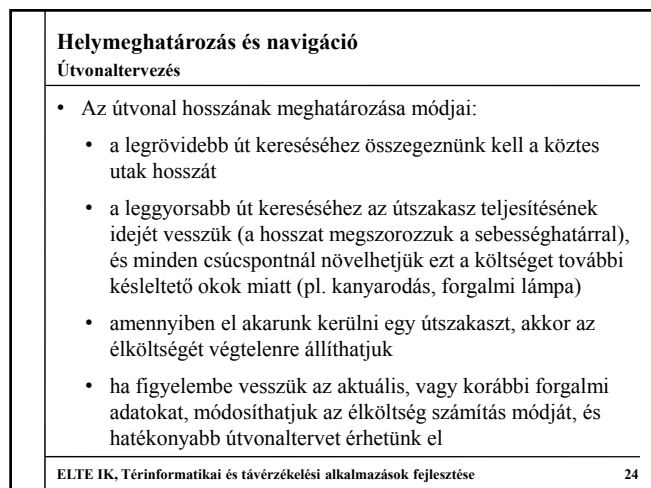
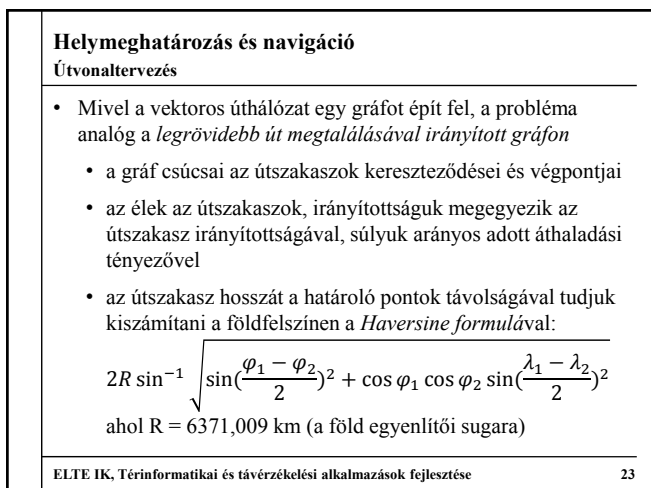
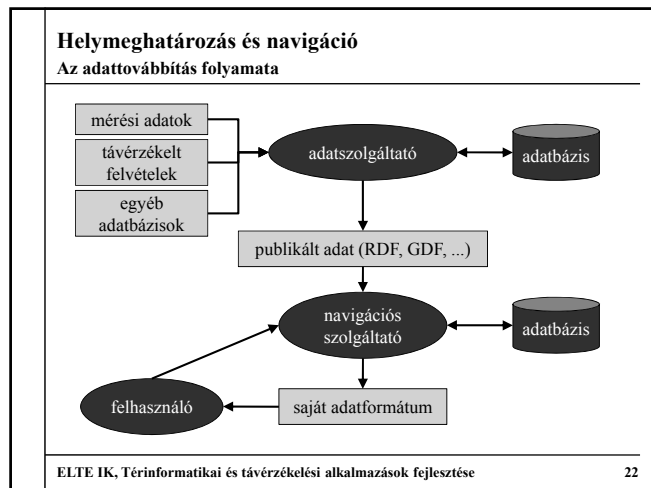
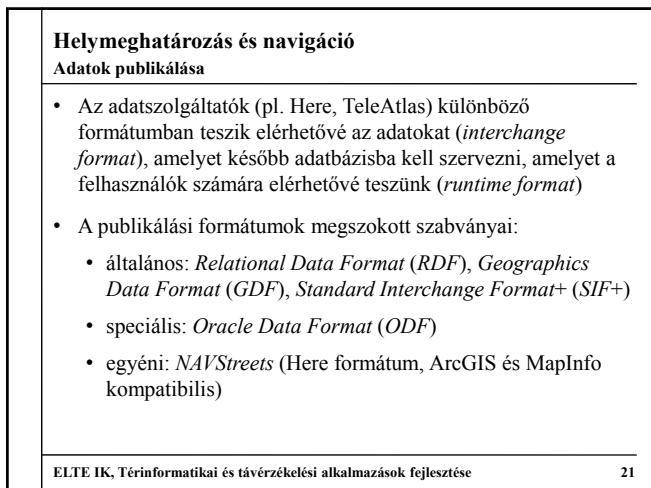
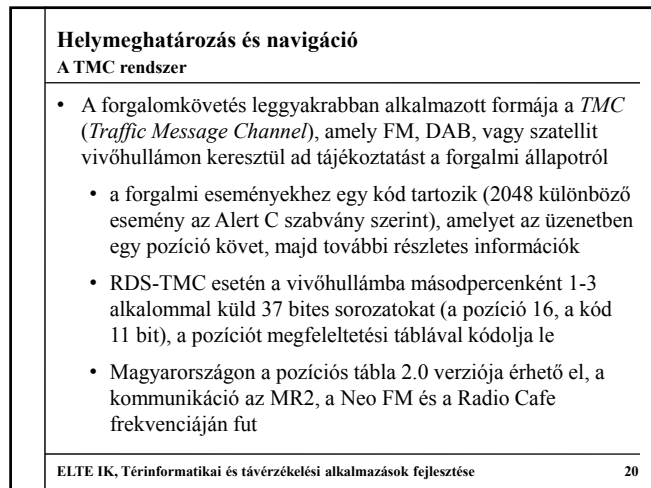
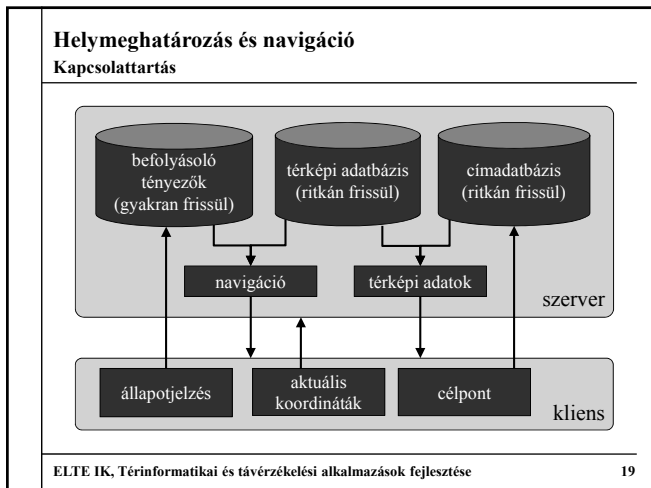
Helymeghatározás és navigáció	
Adatok közlése	
<ul style="list-style-type: none"> A NMEA0183 szabvány legfontosabb mondatai: <ul style="list-style-type: none"> <i>RMC (recommended minimum)</i>: a földfelszíni helymeghatározáshoz szükséges minimális információk <ul style="list-style-type: none"> időpont, 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 <i>GGA</i>: 3 dimenziós helymeghatározáshoz szükséges adatok <ul style="list-style-type: none"> pl.: \$GPGGA,123519,4807.038,N,01131.000,E,1,08,0.9,545.4,M,46.9,M,,*47 	
ELTE IK, Térinformatikai és távérzékelési alkalmazások fejlesztése	14

Helymeghatározás és navigáció	
Adatok közlése	
<ul style="list-style-type: none"> <i>GSA</i>: műholdakra, és a kapcsolat pontosságára vonatkozó információk <ul style="list-style-type: none"> pl.: \$GPGSA,A,3,04,05,,09,12,,,24,,,,,2.5,1.3,2.1*39 <i>GSV</i>: a látható műholdak adatai <ul style="list-style-type: none"> 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 	
ELTE IK, Térinformatikai és távérzékelési alkalmazások fejlesztése	15

Helymeghatározás és navigáció	
Navigációs rendszerek alkotóelemei	
<ul style="list-style-type: none"> A navigációs rendszer feladata útvonal meghatározása egy kiinduló pontból egy célpontba, részei: <ul style="list-style-type: none"> vevő, amely megadja a helymeghatározó rendszer (pl. GPS) által megjelölt koordinátákat szabványos csatornán (pl. NMEA) 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 	
ELTE IK, Térinformatikai és távérzékelési alkalmazások fejlesztése	16

Helymeghatározás és navigáció	
Navigációs rendszerek típusai	
<ul style="list-style-type: none"> A navigációs rendszer működése szerint lehet: <ul style="list-style-type: none"> kapcsolatmentes (offline): a térképi adatok a navigációs készülékben helyezkednek el, amelyet külön tudunk frissíteni <ul style="list-style-type: none"> 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 <ul style="list-style-type: none"> állandó szélessávú (internetes) kapcsolat szükséges, általában mobil telefonok szoftverei 	
ELTE IK, Térinformatikai és távérzékelési alkalmazások fejlesztése	17

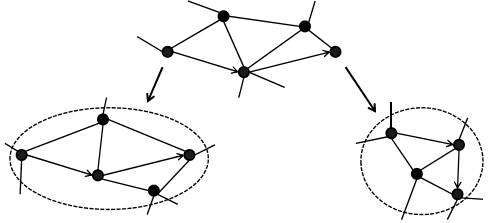
Helymeghatározás és navigáció	
Kapcsolattartás	
<ul style="list-style-type: none"> Az online rendszerek hálózati tevékenységei: <ul style="list-style-type: none"> térképi tartalom letöltése: így az adatok nem foglalnak helyet az eszközön (csak a gyorsítótár), továbbá a szerveren tárolt friss adatok kerülnek 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) 	
ELTE IK, Térinformatikai és távérzékelési alkalmazások fejlesztése	18



Helymeghatározás és navigáció

Útvonaltervezés összetett gráfokon

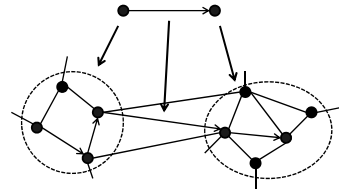
- A gráf szerkezetében figyelembe kell venni, hogy a térkép több rétegből is állhat, így az gráf is több rétegen át vezethet
 - először a felsőbb rétegekben végezzük el a keresést, majd haladunk az alsóbbak felé



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, autótút, 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 újratervelés megvalósítható visszalépéssel, vagy mélységi kereséssel

Helymeghatározás és navigáció

Tranzit csomópont alapú útvonalkeresés

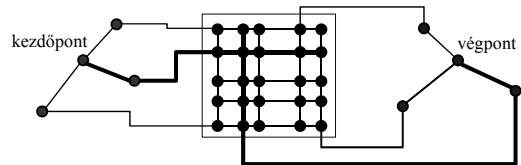
- Egy további lehetőség a gyorsításra a tranzit csomópontos útvonalkeresés (*transit node routing*)
 - bizonyos fontosabb forgalmi csomópontokat, mint tranzitpontokat eltárolunk, ezek a tranzitpontok közel azonos távolságra vannak egymástól
 - egy táblázat (*tranzittábla*) tartalmazza a köztük átvezető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