

GSM hálózat alapú helymeghatározásban belső adatbázis használata

Szakdolgozat

**Készítette: Baranyi István
Mérnök informatikus szak
2010.február- május**

Konzulensek:

Dr. Takács György

Tihanyi Attila

Alulírott Baranyi István, a Pázmány Péter Katolikus Egyetem Információs Technológiai Karának hallgatója kijelentem, hogy ezt a szakdolgozatot meg nem engedett segítség nélkül, saját magam készítettem, és a szakdolgozatban csak a megadott forrásokat használtam fel. Minden olyan részt, melyet szó szerint, vagy azonos értelemben, de átfogalmazva más forrásból átvettem, egyértelműen a forrás megadásával megjelöltem. Ezt a Szakdolgozatot más szakon még nem nyújtottam be.

Budapest, 2010.05.13.

Tartalomjegyzék

Bevezetés, motiváció.....	4
Előzmények.....	5
1. A GSM rendszer felépítése	5
2. A helymeghatározás módszerei.....	7
1.1 Leszármaztatott autonóm helymeghatározás (DR – Dead Reckoning):.....	7
1.2 Helymeghatározás bázisállomás-azonosítóik alapján (Cell-ID, Signal Signature):..	7
1.3 Helymeghatározás ívmetszéssel (Trilateration):	8
1.4 Helymeghatározás a háromszögelés elvével (AOA – angle of arrival)	9
1.5 Helymeghatározás elve az észlelt időkülönbség mérés alapján (OTD)	10
3. Kültéri helymeghatározás.....	11
4. Beltéri helymeghatározás.....	15
5. Kültéri és beltéri eset összehasonlítása.....	16
6. Adatbázis	17
Adatgyűjtés, értékelés.....	19
1. Mérőeszköz.....	19
2. Adatok formátuma	21
3. Algoritmusok	23
3.1 Statisztikus helymeghatározási modell és alkalmazása.....	24
3.2 Neurális hálózat	27
3.3 Bázisállomások egyezése	27
4. Megjelenítéshez használt alkalmazás.....	29
Továbbfejlesztés javasolt iránya.....	32
Összegzés.....	33
Köszönetnyilvánítás	34
Irodalomjegyzék	35

Bevezetés, motiváció

Manapság a GPS alapú helymeghatározás nagyon elterjedt, azonban sok esetben pontatlan és épületekben egyáltalán nem működik. A GPS jeleket szolgáltató műholdak sem az adott ország tulajdonát képezik, ezért bármikor leállhat, megszűnhet. Lehetőség van azonban a mobiltelefonokkal is a helymeghatározásra. Tulajdonképpen a mobil minden szükséges információt tartalmaz, amire nekünk szükségünk van a helymeghatározáshoz, hiszen ahhoz, hogy fogadni és indítani tudjunk hívásokat, kapcsolatban kell állnunk legalább egy bázisállomással. Amikor handover és roaming folyamatok zajlanak le, előre definiált számítások után a mobiltelefon kiválasztja a használni kívánt cellát (aktív cella). Ezekhez a számításokhoz tudni kell a vételi szintet, a leterheltséget és még sok más információt, ami alapján dönt az aktív celláról.

Ezek alapján több módszer segítségével is meg tudjuk határozni az adott eszköz helyét, és természetesen nem csak nyílt tereken, utcákon, hanem akár épületben is.

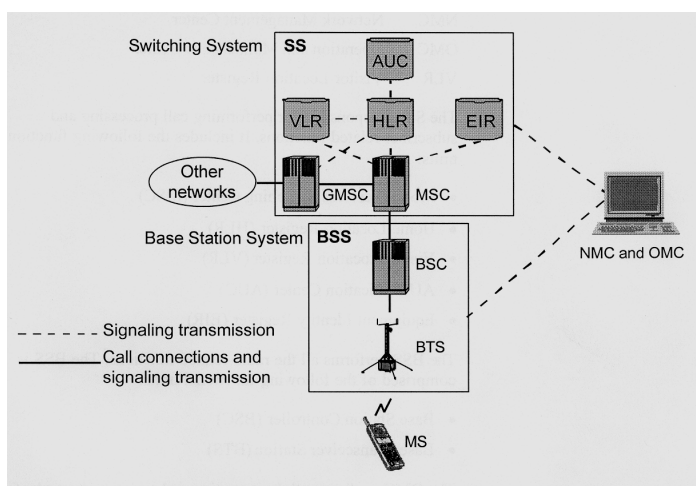
A dolgozatban főleg a beltéri helymeghatározást vizsgálom, mert míg kültéren a globális helymeghatározó rendszer jogos vetélytárs és alternatíva, addig épületen belül nem alakult ki ilyen rendszer.

Előzmények

1. A GSM rendszer felépítése

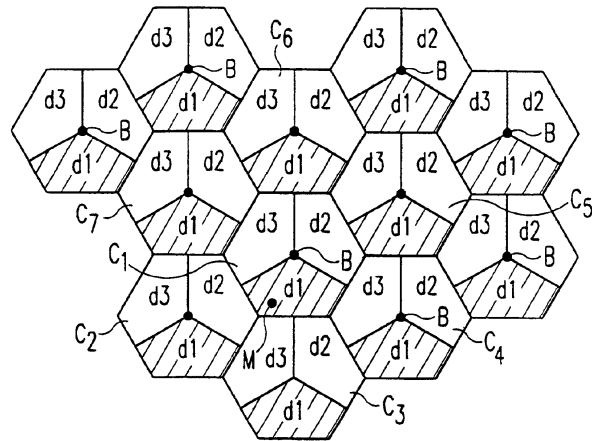
A GSM (Global Systems for Mobile Telecommunications) rendszer egy európai országok által létrehozott szabvány. Az alkotók célja egy egységes, nagy lefedettségű telekommunikációs rendszer létrehozása volt.

A kommunikáció a telefon és a kapcsolóközpont között történik. A kapcsolóközponttól a bázisállomásokig a jelek vezetéken terjednek. A bázisállomás és a mobiltelefon között a jelek szabad térben terjednek. Az utóbbi részét tudjuk hasznosítani a rendszernek a helymeghatározáshoz. Az **Hiba! A hivatkozási forrás nem található.** a rendszer felépítését szemlélteti.



1. ábra: GSM hálózat felépítése

Egy bázisállomás által lefedett terület nagysága véges a csillapítás miatt. Egy ilyen földi antenna sugárzási körzetét hatszöggként szoktuk közelíteni. Ezeket a hatszögeket hívjuk celláknak. Ezzel a módszerrel egy földrajzi helyre jól tervezhető a bázisállomások leendő helye. Azonban az egymás mellett lévő cellák nem használhatják ugyanazt a frekvenciát, mert zavarnák egymást. Ezért a bázisállomásoknak figyelniük kell a szomszéd cellákat, nehogy ugyanazt a frekvenciát osszák ki egy berendezésnek, amit már a szomszéd cellában használnak. A felhasználószám növekedésével szükséges a frekvencia újrafelhasználás, valamint a cellák méretének csökkentése.



2. ábra: Frekvencia újrafelhasználás

A cellahálózat akkor működik jól, ha az azonos frekvenciát használó cellák egymástól minél távolabb találhatók. A hálózat üzemeltetését megkönnyítendő a szolgáltatók a saját celláikat nagyobb egységekbe, úgynevezett Location Area-kba (LA) szervezik.

Forgalomarányban nő a bázisállomások sűrűsége, így minden egyes nagyvárosi terület többszörösen lefedett, ellátott sugárzott bázisállomás jellel. A bázisállomás egyedi azonosítójával, és a távközlésre használt frekvenciával írható le. Felhasználható frekvenciák száma szolgáltatónként is véges, így a csatornák kiosztása minden szolgáltatónál egy jelentős mérnöki feladat. Magyarországon 3 mobilszolgáltató sugároz. A frekvenciasávokat úgy osztották ki, hogy ne sugározhasson egy csatornán több mobilszolgáltató is.

A többutas terjedés megváltoztatja a bázisállomások által ellátott területek alakját. Ez a jelenség főleg nagyvárosi környezetben jelentős az acélszerkezetes házak miatt. Hatására egymást metsző, kevésbé szabályos sugárzási körzetek alakulnak ki, és egyszerre több frekvencián is lehet fogni jelet eltérő erősségekkel. Ebből következik, hogy az egy pontban vehető bázisállomás azonosító és frekvencia kettősök összessége a bázisállomások által leírtáknál kisebb összefüggő területekre osztja a várost. Ezek mérete néhányszor tíz méter átmérőjűek.

2. A helymeghatározás módszerei

Az [1] és [2] forrás segítségével összefoglalom a mobiltelefon illetve mobilhálózat alapú helymeghatározás lehetséges módszereit.

A mobil helymeghatározó rendszerek lehetnek végberendezés alapúak, hálózat alapúak és alapulhatnak a végberendezés és hálózat együttműködésén is. A rádiós rendszereken alapuló helymeghatározásban alapkérdés, hogy fix elemek (állomások) rádiójelét veszi a vándorló objektum (mobiltelefon) és a fix résztől vett jeleket visszaküldi, vagy a vándorló objektum által kisugárzott jeleit veszi a fix rész több alkalmas eleme. Előfordulhat még ezek kombinációja, de még az is, hogy ezekből kiindulva a helymeghatározás egészen más utakra tér.

1.1 Leszármaztatott autonóm helymeghatározás (DR – Dead Reckoning):

Lényege, hogy ismerjük egy adott kezdeti pont koordinátáit, valamint tudjuk mérni az idő múlását és a gyorsulást. Ezek alapján folyamatos mérés mellett ki tudjuk számolni a megtett utat és bizonyos hibával meg tudjuk határozni a helyzetet. A meghatározott aktuális pontból újra lehetőség van megtett utat számolni. Hátránya, hogy a hibák halmozódnak az ismétlődő számolásoknál. Ezt a rendszert használták a hajózásban is.

A módszer előnye, hogy akkor is van lehetőség továbbszámolni a helyzetet, ha a mobiltelefon elvesztette a jelét a műholdnak vagy bázisállomásnak. A mai telefonokban sokszor megtalálható a gyorsulásmérő, amely figyeli a mozgás nagyságát és irányát, és pontos óra, tehát elvileg minden adat adott.

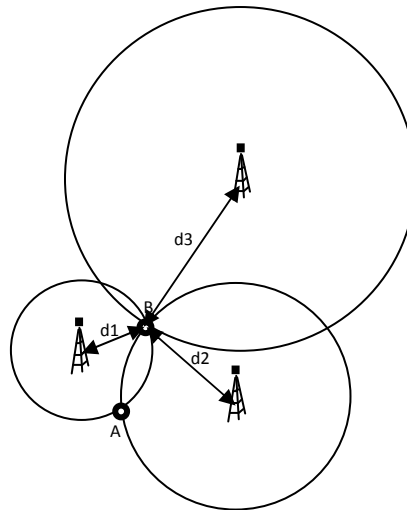
1.2 Helymeghatározás bázisállomás-azonosítóik alapján (Cell-ID, Signal Signature):

A bázisállomások sugározzák saját azonosítójukat (Cell-ID). Ehhez az azonosítóhoz a hálózat üzemeltetője hozzá tud rendelni egy olyan földrajzi koordinátát, amely a lefedett terület közepét jellemzi. Ennél a módszernél a cellaazonosítók követésével finomítható a helymeghatározás. Az adatsor alapján a mozgásirányt és sebességet is

bele tudja kalkulálni a helymeghatározásba a rendszer és így pontosabb becslés adható a pillanatnyi helyzetről. Mivel a sűrűn lakott városokban a cella mérete kisebb, így a becslés is pontosabb.

1.3 Helymeghatározás ívmetszéssel (Trilateration):

Ha meg tudjuk határozni két különböző bázisállomástól a tényleges távolságunkat, akkor helyzetünk két körív mentén adódik, amelyek rendszerint két pontban metszik egymást. Egy harmadik bázisállomástól távolságunkat meghatározva közülük már kiválasztható a valódi helyzetünket leíró pont (3. ábra).



**3. ábra: Helymeghatározás
távolságmérés alapján ívmetszéssel**

1.3.1 Távolságmérés a vett jel szintje alapján:

A távolságmérés alapulhat a jelerősség mérésen, mivel a vevő által vett rádiófrekvenciás jel szintje függ az adó és a vevő távolságától, az adó teljesítményétől, az adóantenna nyereségétől, iránykarakterisztikájától, a vevőantenna nyereségétől és a terjedést befolyásoló tényezőktől. Városi környezetben az Okumura-Hata modellt, vagy újabban a COST 231–Walfish–Ikegami modellt szokták alkalmazni. Ezeknek a modelleknek a használata esetén olyan specifikus adatokra van szükség, amiket csak a szolgáltató tudhat. Ha ezek az

adatok rendelkezésre állnak, akkor a mobiltelefon helyzete ívmetszéssel meghatározható a hálózat és a végberendezés együttműködésével.

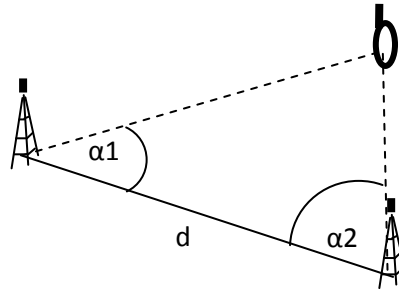
1.3.2 Távolságmérés a vett jel késleltetése alapján (time of arrival, TOA).

Szinkronizált adó és vevő esetén a vett jel késleltetése az adó és vevő távolságától függ (a terjedési sebesség ismert). A GPS rendszerben a szinkronizált adók a műholdakon vannak. A vevő órája eleve nem szinkronizált, ezért az ebből fakadó hibát egy ismert méréstechnikai fogással, a négy műhold alapján számolt egyenletekkel küszöbölik ki. A mobil rendszerekben semmilyen elvi akadálya nincs annak, hogy egy bázisállomás utasítására a mobilkészülék felküldjön egy jelcsomagot, amelyet a bázisállomás vesz és a beérkezési idő alapján a távolság számolható. Több bázisállomástól mért távolságból a mobiltelefon helyzete ívmetszéssel meghatározható.

A 3. generációs mobil rendszerekben alkalmazott terjedési idő mérésén és ívmetszésen alapuló helymeghatározó megoldások elterjedt nevei: AFLT – Advanced Forward Link Trilateration és EFLT – Enhanced Forward Link Trilateration. Abban a tekintetben, hogy a felmenő vagy a lemenő irányú terjedési ideje alkalmasabb a helymeghatározásra számos műszaki, jogi és biztonságtechnikai megfontolás ad döntési alapot.

1.4 Helymeghatározás a háromszögelés elvével (AOA – angle of arrival)

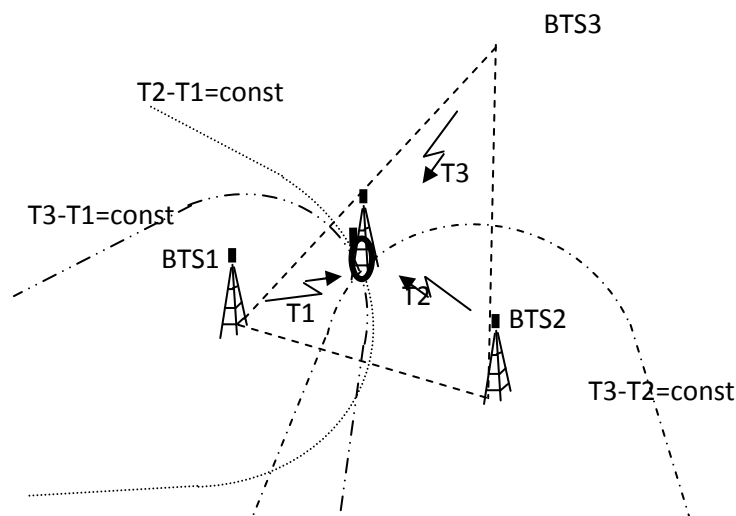
A háromszögelés módszere a rádióállomások (pl. kalózációk) bemérésének hagyományos eszköze. Különböző helyeken (esetünkben különböző bázisállomásokon) megméri, hogy a keresett rádióadó (esetünkben a mobilkészülék) jele milyen irányból érkezik. Elvileg két méréssel a helyzet meghatározható (4. ábra) a háromszög egy oldalának és két szögének ismerete alapján. Több méréssel a meghatározás hibája csökkenthető. Több, egymás melletti vevőantennát antennavektorként használva, az iránymérés az időkülönbségek alapján pontosabban megoldható.



4. ábra: Helymeghatározás elve a vett rádiójelek iránya alapján háromszögeléssel

1.5 Helymeghatározás elve az észlelt időkülönbség mérés alapján (OTD)

Tegyük fel, hogy a bázisállomások órái szinkronizáltak működnek. A mobilkészülékhez egy egyszerre elküldött jelsorozat a távolságtól függő időkésséssel érkezik (3. ábra T1, T2, T3). A mobiltelefon saját pontos, de nem szinkronizált órája alapján ugyanazt a jelsorozatot generálva korrelációs módszerrel azt tudja kellő pontossággal mérni, hogy különböző bázisállomásokról egyszerre küldött kódsorozatot milyen időeltéréssel érkeznek be. ($T_3 - T_1$, $T_3 - T_2$, $T_2 - T_1$). A bázisállomások helye a hálózatüzemeltető számára ismert. Azok a pontok, amelyeknek a távolságkülönbsége egy bázisállomás párra vonatkozóan állandó, egy hiperbola mentén helyezkednek el. A mobilkészülék helye tehát a hiperbolák metszéspontjában van (5. ábra).



5. ábra: Helymeghatározás elve a bázisállomásokról egyszerre küldött jelsorozat vételi időkülönbsége alapján.

Az időkülönbségek meghatározhatók fordított irányú terjedés alapján is. A mobiltelefonból kisugárzott rádiójelet a különböző bázisállomások különböző időpontban veszik. A rendszer meg tudja határozni az időkülönbségeket és ebből a mobiltelefon helyzetét. Ez a megoldás a TOA módszer rokona, ezért elterjedt neve TDOA.

3. Kültéri helymeghatározás

Ahogy azt az 1. és 2. fejezet ismertette a GSM hálózat alapja egy többszörös átfedésben lévő cellahálózat. A hálózatnak és a mobiltelefonnak együtt képesnek kell lennie akár hívás közben is bázisállomást váltania. Hiszen többnyire ezek az eszközök mozgásban vannak, a bázisállomások helye viszont fix, tehát előfordul, hogy egyszerűen elhagyjuk az állomás által lefedett területet. Ilyenkor nem szakadhat meg az összeköttetés a hálózattal. Ezért a hálózatnak fel kell ismernie, hogy az eszköz a lefedett terület széléhez közeledik, és valamilyen módszerrel kapcsolódnia kell egy másik állomáshoz, melynek a vételi szintje nagyobb az éppen elhagyni készülő állomás vételi szintjénél.

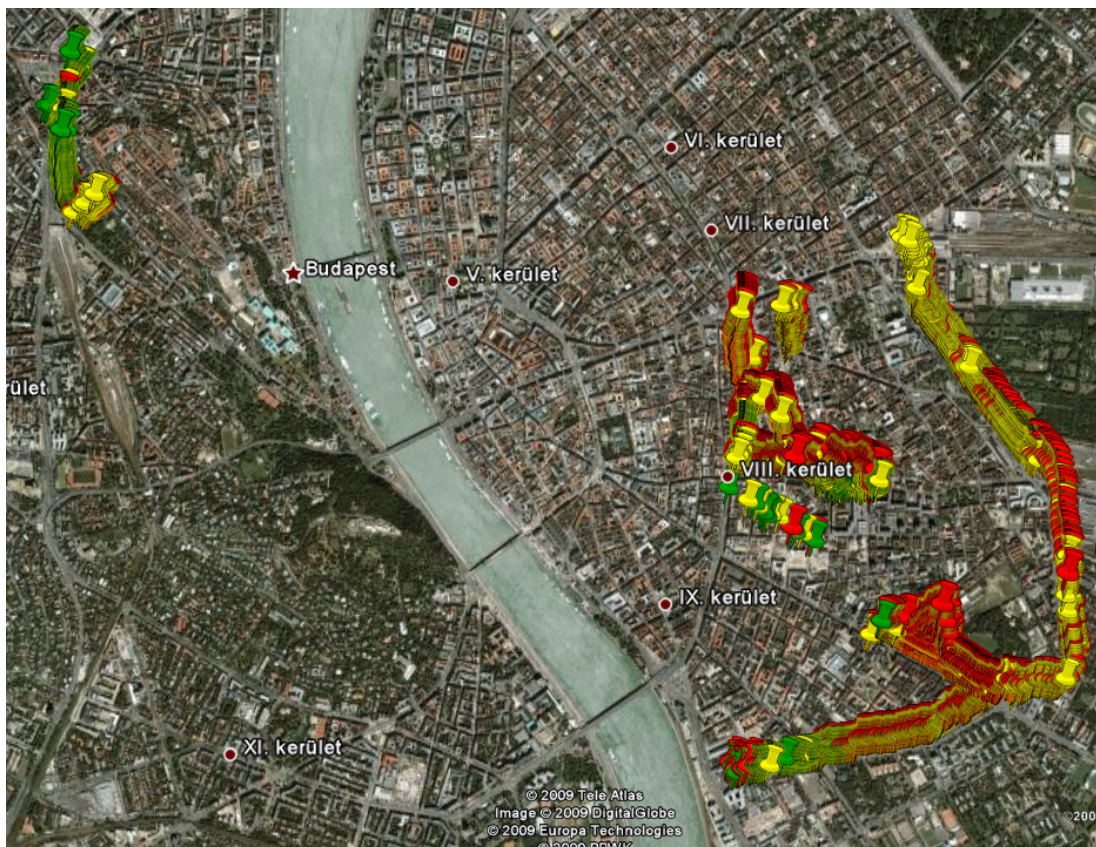
Ilyen bázisállomás váltást kizárólag akkor tud kezdeményezni, és megvalósítani egy mobiltelefon-készülék, ha a bázisállomások egyértelműen azonosíthatóak, és saját azonosítójukat folyamatosan minden körzetükben levő készülék tudomására is hozzák. Erre szolgál a jelzéscsatorna. A szabványnak megfelelő készülékek „ismerik” ezeket az adatokat. A helymeghatározás ezen módszere nem foglalkozik azzal, hogy ez a cellaváltás miként történik, csak azt a lehetőséget használja fel, hogy minden készülék látja az összes adott pontban vehető állomás információit. Ezek az állandóan kisugárzott paraméterek (MCC, MNC, LAC, CELL_id, Channel, stb) tartalmazznak olyan információkat, amelyekből lehetőség nyílik a bázisállomásokhoz viszonyított távolságok meghatározására is.

A cellainformációkból és a helyzeti információkból (amik jelen esetben GPS-adatok) lehetőség van egy adatbázis felállítására.

Ebből az adatbázisból a későbbiekben (elegendő mennyiségű mért adat felvétele után) sok olyan dolog kiolvasható, amelyet elméletben már megtanultunk, és itt jól megfigyelhetők az alkalmazásuk.

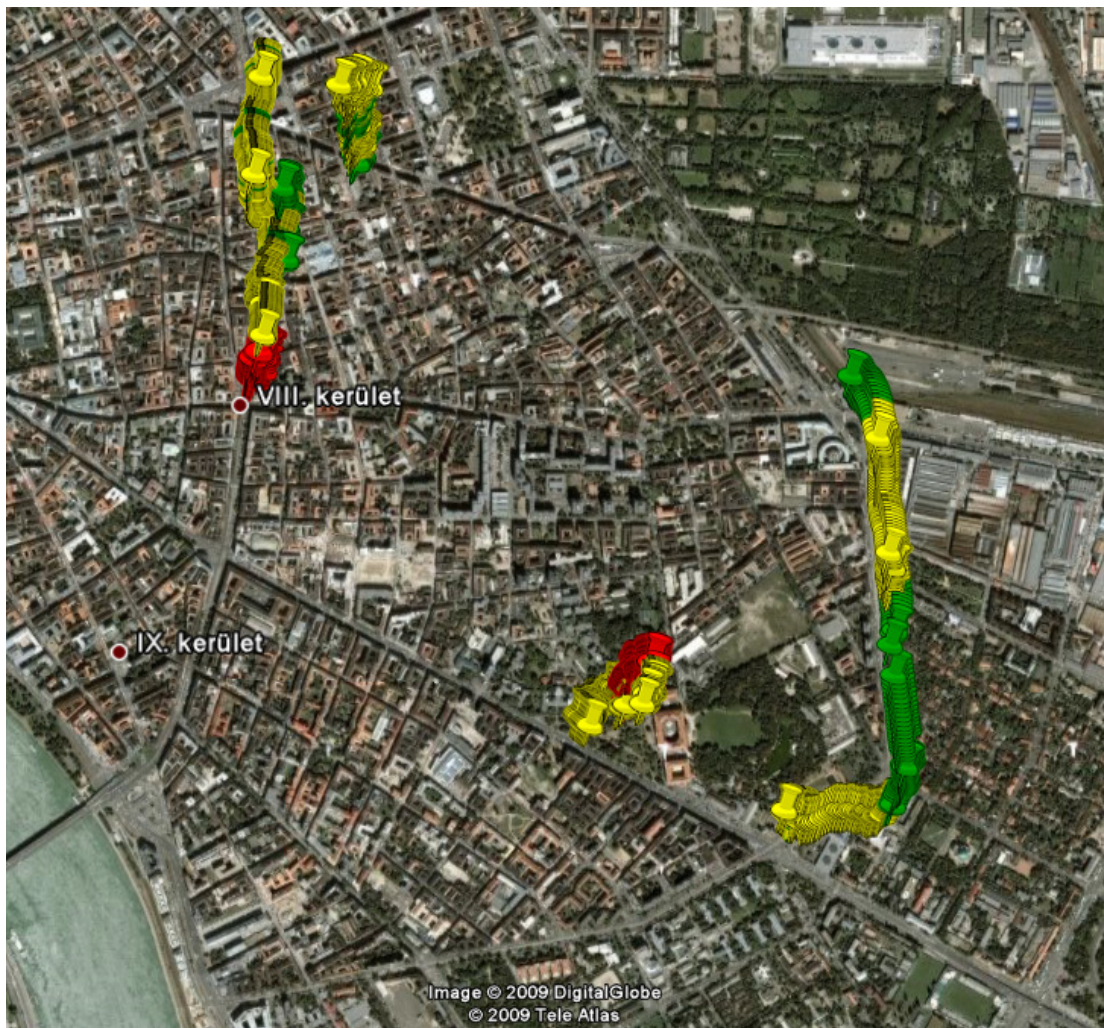
A következő képeket egy általam írt Java program, valamint Google Earth program segítségével készítettem. A Java program egy grafikus felület használatával megfelelő autentikáció után csatlakozik az adatbázist tároló MySQL szerverhez és különböző lekérdezések tud futtatni. A lekérdezések eredményét egy kml típusú fájlba menti el megfelelő szintaktikával. Egy ilyen fájl után a Google Earth segítségével meg lehet nyitni, és a GPS koordinátákhoz meg tudunk jeleníteni GSM adatokat.

Az első ilyen kép a 6. ábra. Ez a kép az aktív cella vételi szintjeit mutatja. Zöld színnel jelöltem a viszonylag gyenge, sárgával a közepes, pirossal pedig az erős vételi szinteket. Az adatsor elemzése alapján megfigyelhetők a hullám terjedési tulajdonságai. A pirossal jelölt vételi szintek általában olyan helyeken fordulnak elő, ahol nagyobb szabad tér van, tehát a rádióhullámok többnyire akadálytalanul jutnak el a mobiltelefonig. A sárga vételi szintek már az épületek közelében figyelhetők meg. Ebben az esetben a többutas terjedés csökkenti a vételi szintet. A zölddel jelölt helyek többnyire épületekkel körülvett terek, ahol a jelek a többutas terjedés mellett a sok reflektálódás miatt is gyengülnek.



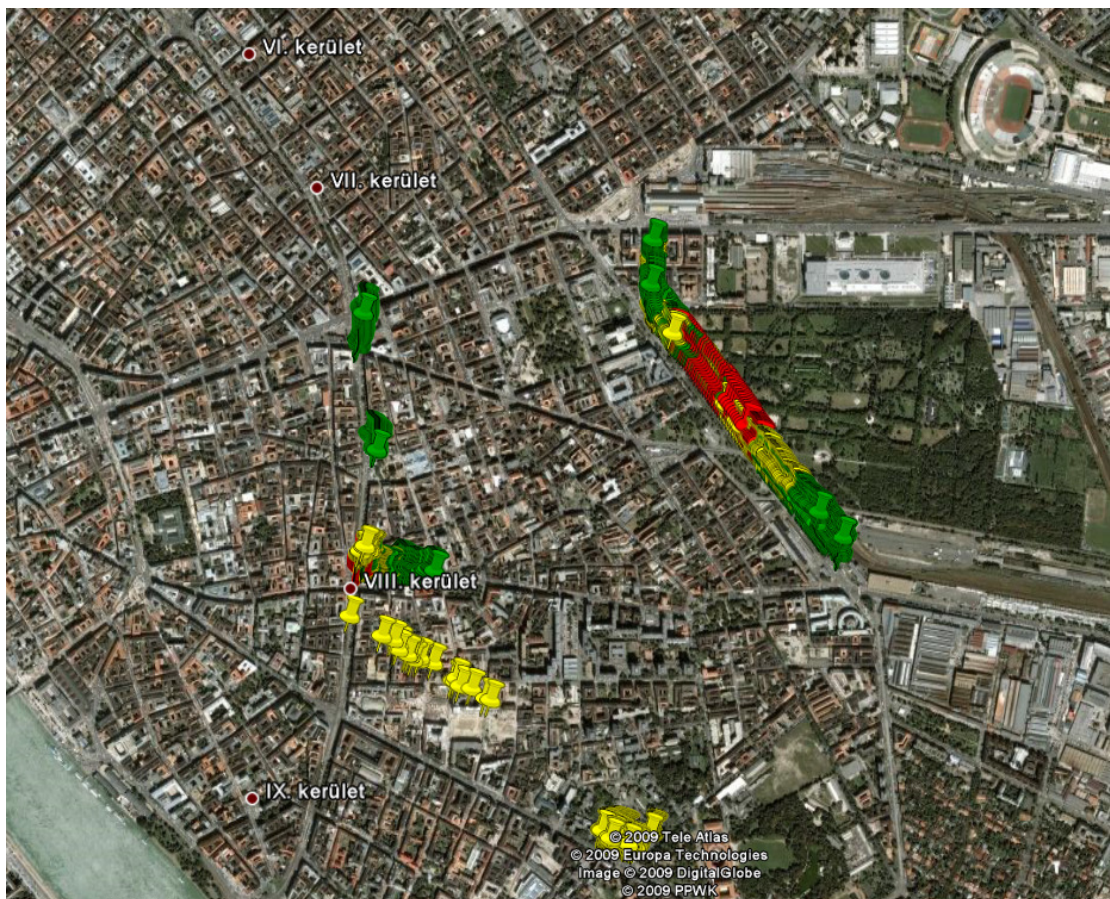
6. ábra: Aktív cella vételi szintjei

A 7. ábráról jól leolvasható a frekvencia újr felhasználás. Jelen esetben az 513-as frekvenciára szűrtem az adatokat. Itt látszik, hogy egy nagyvárosban egymástól nem is olyan messze újra felhasználják ugyanazt a frekvenciát. A szín megjelölések itt is a vételi szintet jelentik, ebből az is meg lehet becsülni, hogy hol lehetnek azok az adóantennák, amelyek az ilyen frekvenciás jeleket sugározzák.



7. ábra: 513-as frekvencia

A 8. ábrán egy bázisállomásokra szűrést láthatunk. A lekérdezésben az 56-os BSIC (Base Station Identity Code) mezőre szűrtem. Itt a kép az 56-os azonosítójú bázisállomás által sugárzott jel erősségét láthatjuk. Több adatsor azért jelenhetett meg, mert ez az azonosító másik LA-ban (Location Area) is előfordulhat. A jobboldali adatsort figyelve, valamint esetleges további méréseket végezve a környéken, meghatározható az állomás helyzet. Nyilván a piros jelzés felé kell keresnünk, hiszen erre nagyobb a vételi szint, tehát a bázisállomás ezekhez a pontokhoz van közelebb.



8. ábra: 56-os bázisállomás azonosító

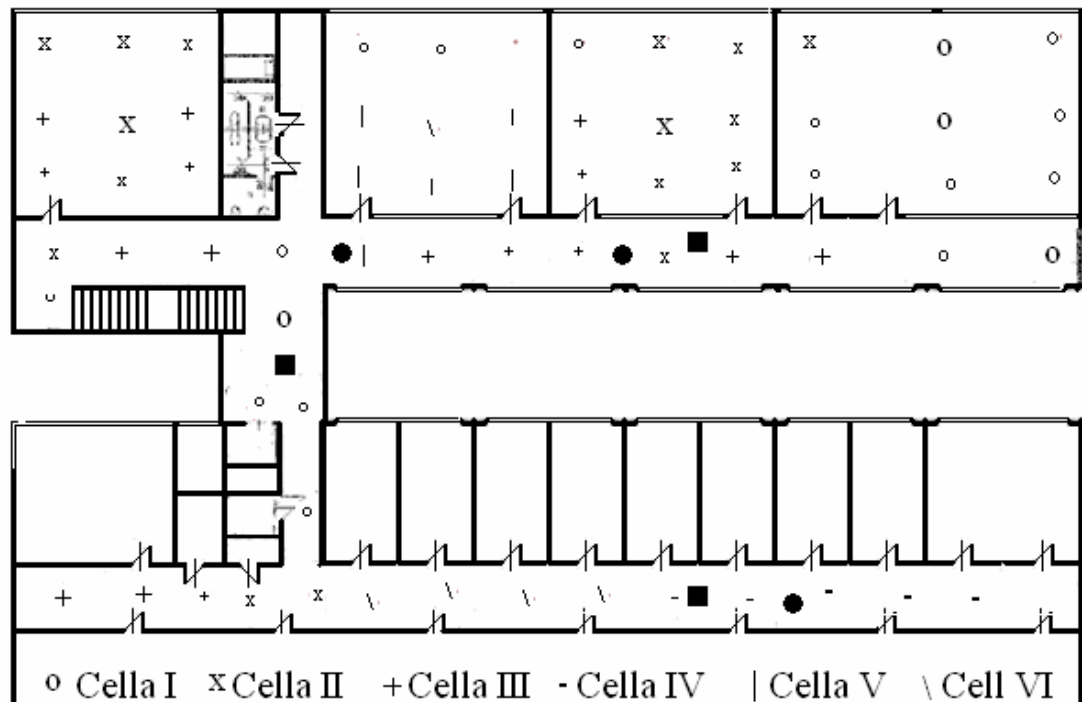
4. Beltéri helymeghatározás

Épületen belül nem lehet megtenni azt a hozzárendelést a GSM adatok és a helyzeti adatok (jelen esetben GPS koordináták) között, amelyre a szabadban jó megoldások születhetnek. Hiszen épületen belül nem tudunk GPS jeleket venni, ezáltal valami mással kell próbálkoznunk.

Mivel a GPS rendszer épületen belül nem működik, ezért a helymeghatározásra egy kézenfekvő megoldást az alaprajz nyújtja, hiszen ez egyértelműen átvizsgálható a későbbiekben GPS koordinátákra is. Épületen belüli adatfelvételre készült a MobileInside nevű alkalmazás. A digitalizált alaprajz megfelelő helyére kattintva történik az adatfelvétel. A GPS adatok helyére az alaprajz megfelelő koordinátája

kerül, míg a GSM adatok ugyan olyan formában kerülnek rögzítésre, mint az előző program esetében.

Az 9. ábra azt mutatja, hogy a belső területeken is lehetséges a mobiltelefon használata, de az egyes folyosókon és termekben különböző bázisállomások látszanak a legnagyobb térerővel. A különböző cellákat különböző jelek jelölik (o;x;+;-;|;\;), míg a jelzőcsatornán érkező rádióhullámok vételi szintjét a jelek nagysága érzékelteti. Ezen túlmenően a mérési eredmények azt is mutatják, hogy minden egyes mérési pontban több bázisállomás jele is „látható”.



9. ábra: PPKE-ITK épület 4. emelet

5. Kültéri és beltéri eset összehasonlítása

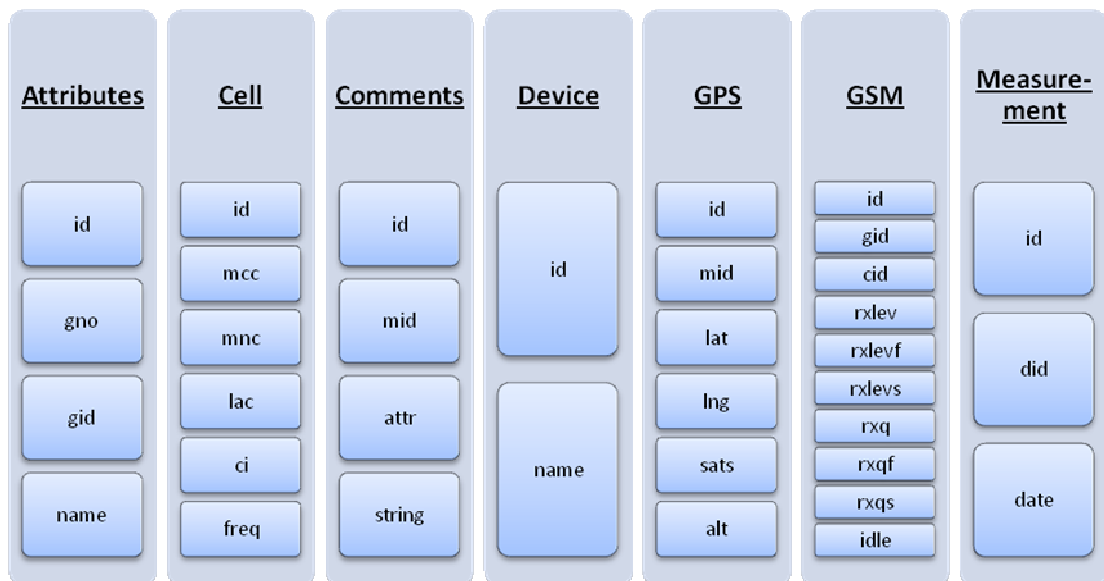
Az épületen belüli és kívüli esetekben nincs olyan nagy különbség. De épületen belül nem tudunk GPS jeleket venni, ezért szükség van egy másfajta koordináta-rendszerre. Az ideális állapot az lenne, ha az épületen belüli és kívüli koordinátarendszereket jól össze lehetne hangolni.

A koordináta-rendszer eltérésén kívül a rádióhullámok ugyanúgy viselkednek a két esetben, beltéren a csillapítás nagyobb.

A GSM rendszer tervezői úgy tervezték meg a rendszert, hogy többnyire beltéren is lehet a telefont használni. Egy „link budget” típusú számolásnál, ahol például az adótól haladunk a mobiltelefon felé, meg is jelenik ez a fajta veszteség.

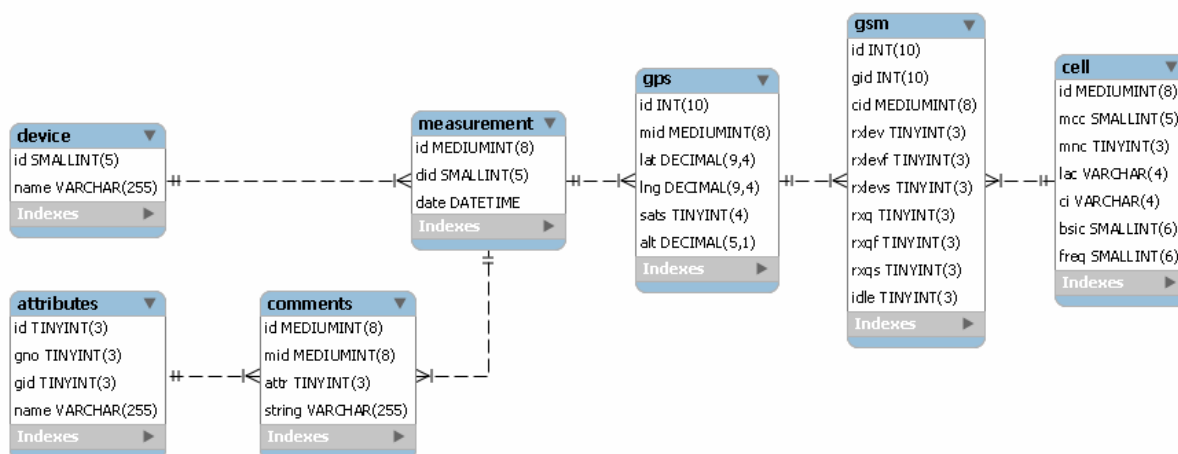
6. Adatbázis

Ahogy azt már az előző fejezetekben ismertettem, az adatok tárolására egy adatbázis használunk, amely tárolja a beltéri és kültéri adatokat egyaránt. Az adatbázis 7 táblából áll. A GPS táblában a GPS adatokat, a GSM-ben az adatgyűjtő által rögzített GSM adatokat, a Measurement-ben a mérést végzőt és a dátumot, a Device-ban a mérőeszköz adatait, a Cell-ben a cellához tartozó információkat, valamint az Attributes és Comments táblák egyéb adatok tárolását teszik lehetővé. A táblák mezőit a 10. ábra mutatja.



10. ábra: Az adatbázis táblái, mezői

A táblák egymáshoz kapcsolását az 11. ábra mutatja.



11. ábra: Táblák kapcsolata

Az adatbázisnak szükségszerűen elérhetőnek kell lennie kívülről is. Ezért a MySQL servernek ilyen beállítása is megtörtént. Így a mobilhely.itk.ppke.hu távolról is elérhető.

Az adatfelvételeket követően az adatbázis egyre bővült, most már elegendő mennyiségű információt tartalmaz az esetleges algoritmusok kipróbálására.

Adatgyűjtés, értékelés

1. Mérőeszköz

A helymeghatározással foglalkozó közösségben két eszköz segítségével tudunk hatékonyan adatot gyűjteni. Az egyik egy távirányítással működő robot, a másik pedig a Kelemen Mihály által tervezett és készített vevő készülék, amelyet részletesen a [3] forrás mutat be. Működésüket tekintve szinte megegyeznek, azonban mindkét eszköznek megvannak az előnyei és hátrányai is.

A nyomtatott áramkört használó hordozható eszköz az adatgyűjtés első részében bizonyult hasznosnak, mivel kis fogyasztása ellenére nagy mennyiségű kültéri adatot volt képes tárolni. Mivel kézben elfér, cserélhető akkumulátorral rendelkezik, az épületen kívüli adatgyűjtést egyszerűvé tette.

A távirányítású robot inkább a beltéri adatgyűjtésben volt segítségünkre. A robot irányítása is emberi beavatkozással zajlik. Azonban ebben az esetben lehetőség van egy nem elhanyagolható fejlesztésre is, hiszen ennek a robotnak lehetséges programozni a mozgását. Későbbiekben akár nagy segítséget nyújthat eddig feltérképezetlen beltéri helyekről (például pláza, vagy bevásárlóközpont) adatrögzítésre, mivel megoldható, hogy akár munkaidő után, éjszaka hajtsa végre az épület bejárását. Ugyanakkor arra is figyelni kell, hogy a robot mozgása közben keletkező helyzeti hibák additív jellegűek, amik általában forduláskor keletkeznek. Ezért szükség lehet a bejárando pálya szükség szerinti módosítására is.

Az adatok felvételét a csoporttárs által készített hordozható eszközzel végeztem. Az eszköz minden pillanatban rögzíti a GPS adatokat és a hozzájuk tartozó GSM információkat is. Ehhez szükség van egy GPS és egy GSM antennára, valamint egy tároló eszközre, ami jelen esetben egy memóriakártya. Az eszköz bekapcsolása után elkezdi keresni a műholdakat, a folyamat végét egy visszajelző LED villogása jelzi. Ezután kezdődhet a tényleges mérés.

A mérés befejeztével, a memóriakártya eltávolítható, majd a megfelelő olvasóba helyezve számítógépre másolható a mérés eredménye. Az eredmények adatbázisba való feltöltésére webes felület áll rendelkezésre.

A bejárt területet utólagos szűréssel ellenőrizhető, ugyancsak az általam készített program segítségével, a pontokat Google Earth-szel ábrázolva.



12. ábra: Ludovika téri mérés

A 12. ábrán a Ludovika-tér környékén készített mérés útvonala látható. A piros vonal bizonyos hibával mutatja a megtett utat. A parkot először körbejártam, majd a keresztülmenő gyalogutakon haladtam.

A beltéri mérés sem tér el az épületen kívülitől, de ebben az esetben a GPS adatok helyére csupa nulla kerül, hiszen az eszköz nem talál műholdakat. A webes adatfeltöltőben be lehet állítani, hogy épületen belüli vagy kívüli volt-e a mérés, így utólag akár a beltéri adatokhoz is lehet GPS koordinátákat párosítani.

Az adatbázisban is megjelennek a GPS információk helyén a csupa nullás mérések, innen lehet következtetni, hogy az adott pont vagy beltéri mérésből származik, vagy akkor rögzítette az eszköz, amikor nem látott egyetlen műholdat sem.

2. Adatok formátuma

A GPS és GSM jellemzőket tartalmazó fájl a következőképpen néz ki. A GPSCell program által lementett adatok első sora a következőképpen néz ki:

```
$GPGGA,163934,4729.2112,N,01904.7371,E,1,03,3.2,128.8,M,41.0,M,,*4A,2
16,30,001E,2B21,10,741,51,41,49, 000,000,0000,0000,00,0,0,-,
,216,30,001E,FFFF,07,732,35,25,37,216,30,001E,0F1A,56,735,30,20,26,21
6,30,001E,2B53,22,736,23,13,19,216,30,001E,2B24,12,729,21,11,25,216,3
0,001E,2B74,14,738,21,11,27
```

Az adatsor két fő részből épül fel, az első az NMEA típusú GPS koordináta GPGGA sora (ez a sor tartalmazza a szélesség, a hosszúság és magassági koordinátákat), majd ezt követik a telefonból származó cella információk. A használt készülék hét szomszédos cella információját szolgáltatja, így 7db ilyen cella adat következik: \$GPGGA, Cella1, Cella2, Cella3, Cella4, Cella5, Cella6, Cella7.

GPGGA (Global Positioning System Fix Data) felépítése:

Name	Example	Data Description
Sentence Identifier	\$GPGGA	Global Positioning System Fix Data
Time	170834	17:08:34 Z
Latitude	4124.8963, N	41° 24.8963' N or 41° 24' 54" N
Longitude	08151.6838, W	81d 51.6838' W or 81d 51' 41" W
Fix Quality: - 0 = Invalid - 1 = GPS fix - 2 = DGPS fix	1	Data is from a GPS fix
Number of Satellites	05	5 Satellites are in view
Horizontal Dilution of Precision (HDOP)	1.5	Relative accuracy of horizontal position
Altitude	280.2, M	280.2 meters above mean sea level

Height of geoid above WGS84 ellipsoid	-34.0, M	-34.0 meters
Time since last DGPS update	Blank	No last update
DGPS reference station id	Blank	No station id
Checksum	*75	Used by program to check for transmission error

A mobil készülék egy cellára vonatkozó információi:

[MCC],[MNC],[LAC],[cell],[BSIC],[chann],[RSSI],[C1], [C2].

Egy példa: 216,30,001E,2B21,10,741,26,16,24.

Ahol:

- MCC (Mobile Country Code)
Mobil országcód, melynek hossza 3 számjegy, és egyértelműen meghatározza a mobil előfizető hálózata szerinti országot. A mobil országcódokat az ITU jelöli ki. Magyarország mobil országcódja: 216.
- MNC (Mobile Network Code)
Mobil hálózati kód, melynek hossza két számjegy. Az MNC az MCC-vel együtt egyértelműen meghatározza a mobil rádiótelefon szolgáltatást igénybe vevő végberendezés vagy előfizető honos hálózatát. Az MNC az MCC-vel együtt, a mobil szolgáltatást nyújtó hálózatokkal jelzésttechnikailag kompatibilis szolgáltatás nyújtása céljából egyértelműen azonosíthat helyhez kötött telefonhálózatot vagy hálózat csoportot is. A mobil hálózati kódot a hatóság jelöli ki. A kijelölés feltételeit külön jogszabály tartalmazza. pl.: Magyar T-Mobile: 30, Vodafone: 70, Pannon: 1
- LAC (Location Area Code)
A 4 számjegyből álló azonosító, ami egy nagyobb terület azonosítására szolgál!
- CELL(cell identifier)
4 hexadecimalális számjegyből álló azonosító, ami azonosítja a cellát
- BSIC (Base station identity code) $BSIC = NCC + BCC$
 $NCC = \text{National Colour Code}$

BCC = Base Station Colour Code

- Chann ARFCN (Absolute Frequency Channel Number),
az a frekvencia, amin az adó sugároz.
(http://www.mpirical.com/companion/mpirical_companion.html#http://www.mpirical.com/companion/GSM/ARFCN.htm)
- RSSI Recived signal level of BCCH carrier (0..63),
az értéke a jel mért erősségéből dBm-ben és egy offsetből áll.
- C1-C2
A C1 és C2 algoritmusok által adott eredmények (Ezek nem kerülnek felhasználásra, de mivel a készülék ezeket is szolgáltatja ezért itt fel lett tüntetve.)

Ha a készülék az adott helyen nem lát 7db cellát, akkor az „üres” adatokat a következő formában jeleníti meg:

000,000,0000,0000,00,0,0,-,-,

Ezek az „üres” adatok annak megfelelően jelentkeznak, hogy a készülék épp melyik cellát nem látja, így előfordulhat, hogy két konkrét adat között található ilyen „üres” adat is.

3. Algoritmusok

Mivel kültérre és beltérre is hasonló az helymeghatározó algoritmus, ezért nem választottam szét ilyen szempont szerint az itt felsorolt módszereket.

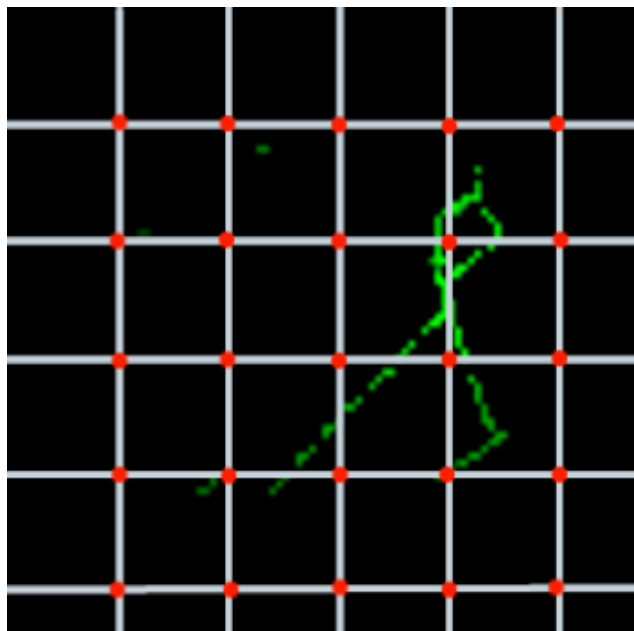
Az eddig elkészült, vagy fejlesztés alatt álló algoritmusok épületen belül és kívül is egyaránt működnek. Általában azonban a pontosságot és egyéb információkat a kültéri mérésekből gyűjtik. Egyrészt, mert a GPS koordinátákat nem nehéz elhelyezni egy adott térképen, valamint a mérőműszer is ezeket a koordinátákat rögzíti. Természetesen lehetséges megjeleníteni a beltéri adatokat, ahogy az látható beltéri helymeghatározás c. fejezetben. Azonban programozás és talán látványosság

szempontjából egyelőre egyszerűbb a kinti adatok megjelenítése. Ezek alapján mutatom be a már meglévő algoritmusokat.

3.1 Statisztikus helymeghatározási modell és alkalmazása

Ezen algoritmus az [5] forrásban van részletesen kidolgozva. Mivel az algoritmus a dolgozatommal párhuzamosan készült, így a szerző tesztadatait használtam fel.

A modell a bázisállomások és jelerősségük alapján adja meg a pontos helyzetünket. Tegyük fel, hogy van egy tér, amelyen helymeghatározást szeretnénk végezni. A teret négyzethálókkal fedjük le (13. ábra). Ezen négyzetháló minden pontjához rendelhető egy valószínűség, amely az adott pontban érzékelhető bázisállomások vételi szintjeit adja meg. Ezt a valószínűségi értéket a tér egy pontjával, az ott látható bázisállomásokkal és vételi szintjeikkel definiálhatjuk.

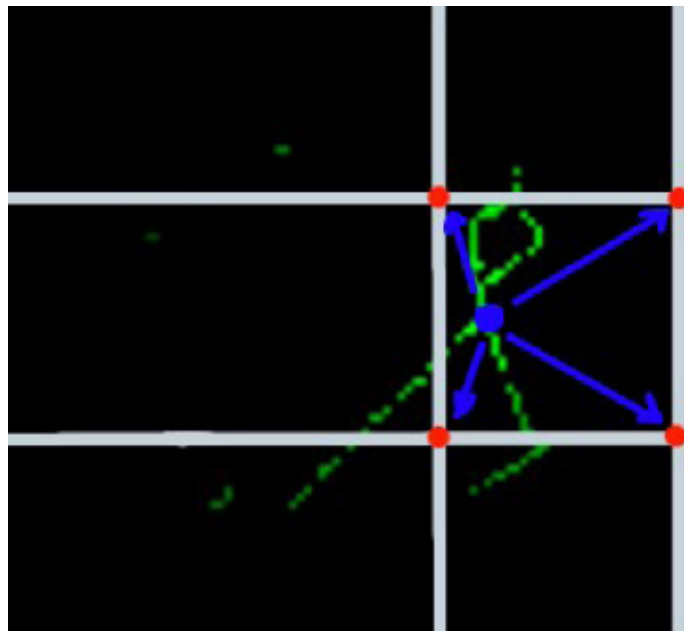


13. ábra: A tér felosztása

Ha a tér pontjairól vannak mérési adataink, az ott látott bázisállomások és vételi szintjeik, és ismerjük az adott pontra jellemző fenn ismertetett valószínűségi értéket, akkor a helyzetünk a legnagyobb valószínűségi pontban adódik.

Egy mérési ponthoz több bázisállomás tartozik. Ezeknek a valószínűségi értékeik kiszámolása után a kapott eredményeket összeszorozva számíthatjuk ki a valódi valószínűséget. Ezt azért tehetjük meg, mert az egyes bázisállomásokhoz tartozó valószínűségi értékek egymástól függetlenek, aminek következtében összeszorozhatjuk őket.

A valószínűségek kiszámolásához a teret lefedjük egy négyzethálóval. A négyzetháló minden egyes pontjára készítünk statisztikát. Ez azt jelenti, hogy egy-egy mérési pontot a megfelelő négyzet mind a négy sarokpontjához beszámítunk (14. ábra). A beszámítás mértéke a távolságtól fordítottan arányos. Minél közelebb van a háló egy adott pontjához, annál nagyobb mértékben változtatja meg a kiszámolandó értékeket.

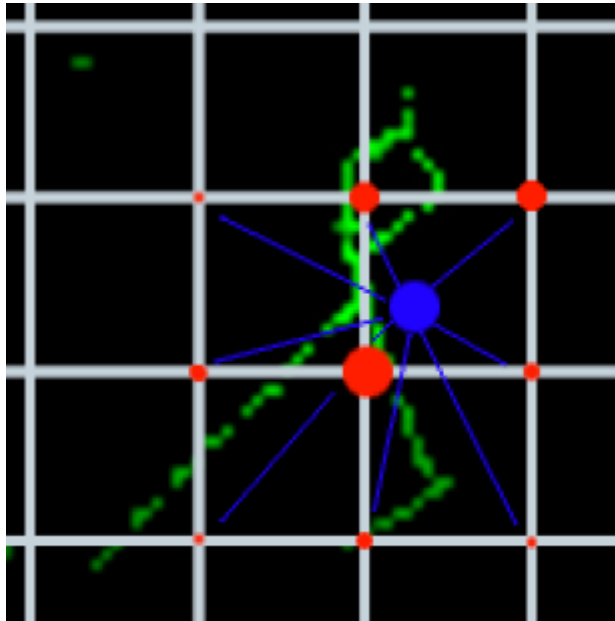


14. ábra Mérés pontok besorolása a négyzet pontjaihoz

A statisztika abból áll, hogy a háló minden egyes pontjához, minden oda tartozó bázisállomásra kiszámítjuk a várható értéket és a szórást, a távolságot is belekalkulálva. Az egyes bázisállomásokhoz tartozó jellemzők, várható érték és szórás Gauss eloszlású. A projektben résztvevők készítettek egy egyhelyben álló mérést, aminek az adathalmazát elemezve az egyes bázisállomásokra jellemző térerő eloszlások megfelelnek a Gauss sűrűségfüggvénynek. (centrális határeloszlás tétel jön még ide)

Egy mérés helyének meghatározásakor a statisztika alapján kiszámoljuk a legvalószínűbb helyet, ahol a mérés történhetett. A kapott eredmény a háló egy

pontja lesz, amely a négyzetháló pontjainak távolságától függő pontosságú lesz. A háló pontjai minél távolabb vannak egymástól a mérés annál pontatlanabb lehet. Ennek a hibának a kiküszöbölésére, az eredmény további finomításának céljából a végleges koordináta becslésébe beleszámítjuk a legnagyobb valószínűségű rácspont 8 szomszédját is (15. ábra). Az új koordináta a 9 szomszéd által kapott súlyozott átlag lesz. Ha valamelyik szomszédja is nagy valószínűséggel lehet a keresett hely, akkor az ő irányukba mozdul el a végleges pont.



15. ábra Mérési pont helyének pontosítása 9 szomszédja segítségével

Az algoritmus tesztelése az adatbázisból történt. Az adott adathalmaz 1237 mérési pontot tartalmaz, ebből csak azok az érdekesek, amely pontokban legalább 4 cella jele fogható volt. Ezen pontok száma 499, amelyből 450 lett felhasználva a statisztika készítéséhez, a többi, 49 pontnak a helye lett meghatározva. Az első esetben a statisztika készítésekor létrehozott háló pontjai közötti távolság 20 méter. Ekkor a legnagyobb hibaérték 28.3 méter. Az átlagos hibaérték 13.6 m. Ha a háló pontjai közötti távolságot 10 m-re csökkentjük a legnagyobb hibaérték 13.6 m-re csökken, az átlagos hibaérték 6.8 m-re. A háló pontjai közötti távolságot 5 m-re csökkentve a maximális hiba és az átlagos hiba értéke is alacsonyabb értéket vesz fel. A legnagyobb értékű hiba 7.6 m lesz, az átlagos hiba 3.4 m. Ezen a mérési területen az utcák viszonylag szélesek, a magas épületek távolabb találhatók egymástól, ezáltal a GPS koordináták is pontosabbak ezen a területen. Sok bázisállomás található, kis cellamérettel, sok átfedéssel, amely magyarázata lehet a pontos eredményeknek.

A statisztikus helymeghatározási modell sikeres megvalósítása után bizonyíthatóvá vált, hogy a helymeghatározás kívánt pontossága beállítható. Egy bizonyos beállított értékhez közelít a hiba. A vizsgált esetekben, amikor a rács méretét 20, 10 illetve 5 m-re állítva vizsgáltuk, az eredmények hibaérték a rács értékének közelében volt. Az eredményeket a GPS rendszerrel kapott értékekhez viszonyítottuk és úgy vizsgáltuk a pontosságot. Ekkor természetesen a helymeghatározás pontossága attól is függ, mennyire mért pontosan az adott helyen a GPS készülék.

A GPS rendszerrel lehet ma a világon a legpontosabban helymeghatározást végezni, a pár métertől akár a milliméteres pontosságot is elérhetjük. A statisztikus helymeghatározási modellel ilyen pontosság nem érhető el. A GSM hálózat segítségével végzett helymeghatározási módszerek, amelyek a bázisállomások alapján határozzák meg a helyzetet pontatlanabbak ennél a módszernél. A statisztikus helymeghatározási módszerrel akár 5 méteres pontosság is elérhető.

A modell másik előnye a pontossága mellett, hogy a PDCA ciklus alapján fejleszthető. A ciklusok újabb és újabb végrehajtásakor az eredmények pontossága javult.

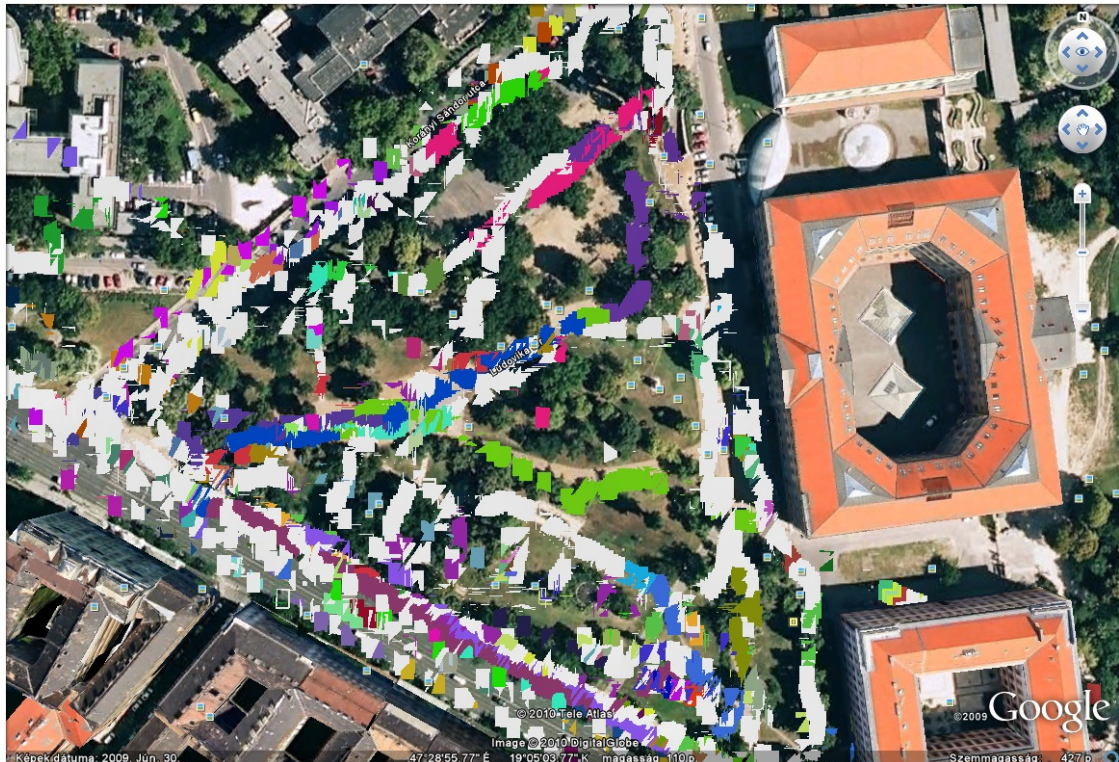
3.2 Neurális hálózat

Ez az algoritmus, egyelőre fejlesztési fázisban van. A lényege, hogy egy előre betanított neurális hálózatnak a bemenetére adjuk a GSM adatokat, és a hálózat az adott bemenetre egy olyan kimenettel válaszol, amelyből meg tudjuk mondani a helyzetünket. A megvalósításban vannak nehézségek, mint például egy ilyen hálózat megfelelő betanítása.

3.3 Bázisállomások egyezése

Az algoritmus lényege, hogy adott helyen rendelkezésre állnak a GSM adatok, a látott cellákról és a vételi szintekről is. Az algoritmus valamilyen formában lekérdezést hajt végre az adatbázison. Ebbe a lekérdezésbe belekerülnek a GSM adatok.

Első közelítésben a látott bázisállomások azonosítóit (BSIC) küldjük el az adatbázisnak. Az adatbázisból, megfelelő lekérdezéssel kideríthető, hogy melyek azok a pontok, illetve helyek, ahol ugyanezeket a bázisállomásokat láttuk az adatgyűjtés során. Nyilvánvalóan ez a módszer nem elég pontos, ugyanis nagyvárosi környezetben gyakoriak a lefedettségben egymást metsző cellák. Valamint attól is függ a pontosság, hogy hány bázisállomás azonosító egyezését vizsgáljuk. Az alábbi képen láthatók azok a területek azonos színnel, amelyekről ugyanazt a 7 állomást láttuk.



16. ábra: 7 bázisállomás egyezése

Ilyen formában az algoritmus pontossága több tíz méter.

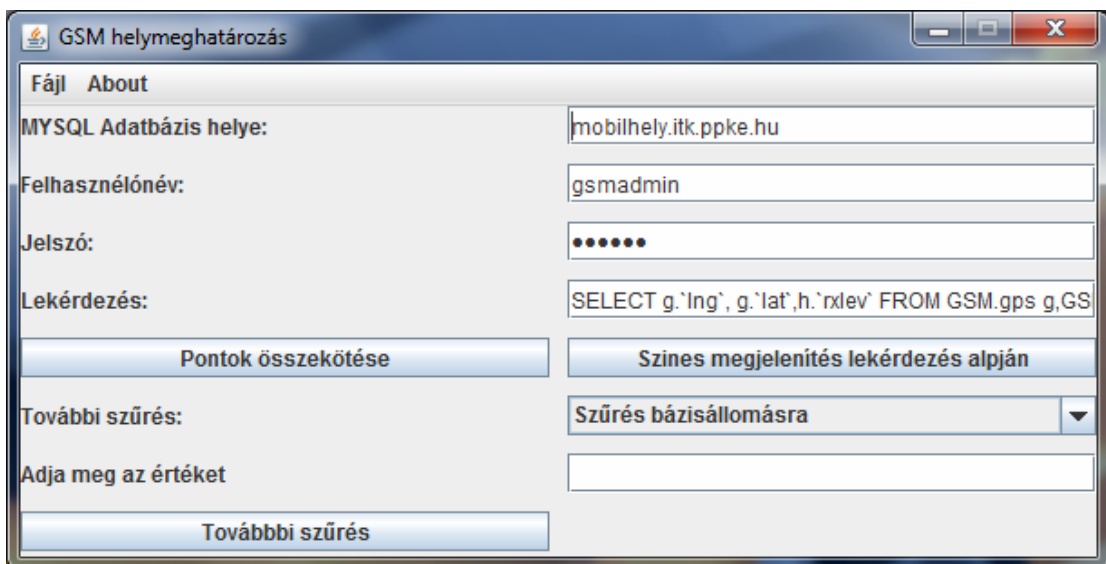
Az algoritmus tesztelése során egyes helyeken akár szemrevéttel is meg tudtam határozni azt a területet, ahol ugyanazok a bázisállomások látszanak. Ennek tudatában érdemes lehet a 14. ábrán látott területet sűrűbben bejárni, mert ezzel jó közelítést kapunk az algoritmus pontosságára.

Hasonlót lehet felfedezni a már említett beltéri alaprajzon. Bár ebben az esetben csak egy cella változása látszik, ez az aktív cella.

Fejlesztésként fel lehet használni a vételi szinteket a helyzet pontosságának javítására. Minél több bázisállomástól ismerjük a távolságot, annál pontosabban tudunk helyet meghatározni.

4. Megjelenítéshez használt alkalmazás

A dolgozatban szereplő képek többségéhez a saját magam által írt Java programot használtam. A program a felhasználóval egy grafikus felületen keresztül kommunikál. Ezt a grafikus felületet mutatja a 17. ábra.



37. ábra: Grafikus felület

Az első három sorban megadhatjuk a MySQL adatbázis adatait, IP-cím, felhasználónév, jelszó sorrendben. A pontok összekötése gomb a mérési pontokat összekötve rajzolja ki az eredményt. A Színes megjelenítés gomb a lekérdezés sorban megadott lekérdezést futtatja, a mérési pontokat a vételi szint alapján 3 színnek, zöld, sárga, piros, rajzolja ki. A további szűrés sorban kiválaszthatjuk, hogy melyik adatra szeretnénk a szűrést végezni. Egyelőre a bázisállomás azonosító és a frekvencia van a felsorolásban. Az érték mezőben pedig azt az értéket, amelyre a szűrés lefut.

A program a megnyomott gombtól függően egy lekérdezést futtat az adatbázison. Az eredményt pedig egy kml fájlba menti, amelyet a Google Earth alkalmazatok és koordinátái tárolására használ.

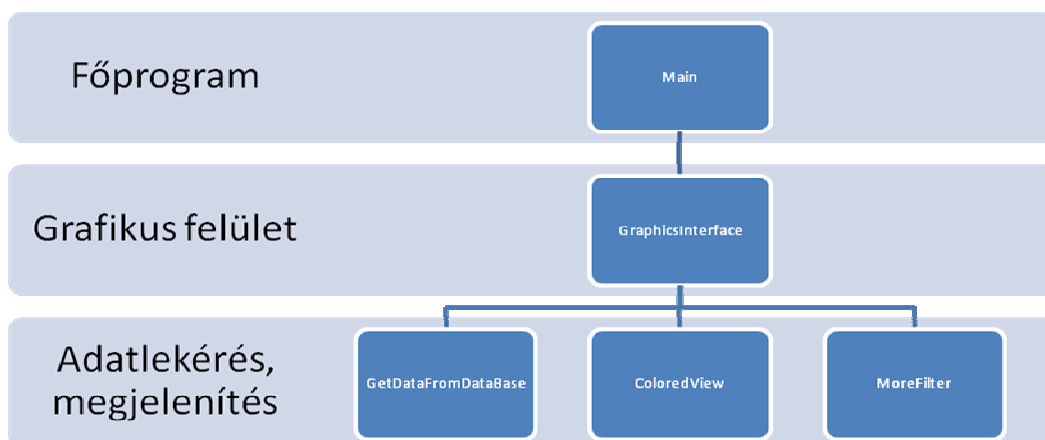
A fájl általános struktúrája hasonlít egy HTML-kódhoz, ugyanazt a tagrendszert használja. Néhány fontosabb tag:

- `<kml ...> - </kml>` fájl kezdete és vége
- `<Placemark> - </Placemark>` pont és tulajdonságai
- `<name> - </name>` pont név
- `<description> - </description>` ponthoz tartozó jegyzet
- `<Point> - </Point>` pont koordinátái
- `<LineString> - </LineString>` pontok összekötése
- `<coordinates> - </coordinates>` koordináták megadása

Általános felépítés:

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<kml xmlns="http://www.opengis.net/kml/2.2">
  <Document>
    <name>Paths</name>
    <description>Examples of paths.</description>
    <Style id="yellowLineGreenPoly">
      <LineStyle>
        <color>7f00ffff</color>
        <width>4</width>
      </LineStyle>
      <PolyStyle>
        <color>7f00ff00</color>
      </PolyStyle>
    </Style>
    <Placemark>
      <name>Absolute Extruded</name>
      <description>Transparent green wall with yellow
outlines</description>
      <styleUrl>#yellowLineGreenPoly</styleUrl>
      <LineString>
        <extrude>1</extrude>
        <tessellate>1</tessellate>
        <altitudeMode>absolute</altitudeMode>
        <coordinates> -112.2550785337791,36.07954952145647,2357
          -112.2549277039738,36.08117083492122,2357
          -112.262073428656,36.08626019085147,2357
        </coordinates>
      </LineString>
    </Placemark>
  </Document>
</kml>
```


A helyes adattárolás után a program elindítja a Google Earth-t. Ezután a megjelenítésért már a Google Earth program „felelős”.



48. ábra: A program blokk diagramja

A kapott képet le tudjuk menteni akár egy segédprogrammal, akár a Google Earth által felkínált módon.

Továbbfejlesztés javasolt iránya

Úgy gondolom, hogy az itt felsorolt algoritmusok mindegyike továbbfejleszthető. Valamint érdemes lenne épületen belüli adatsorokra is tesztelni őket. A statikus helymeghatározási modell épületen kívül a teszt alapján jól működik, megfelelően pontos. Mivel ennek az algoritmusnak a célja az adattömörítés is, ezért érdemes lehet ilyen irányban is statisztikát csinálni.

A bázisállomások egyezésén alapuló algoritmus pontossága egymagában nem túl jó a statikus modellhez viszonyítva. Ezért itt szükséges lehet a más algoritmusokkal való kombinálása. A már felvetett vételi szint szerinti becslés jó iránynak ígérkezik.

Ahogy azt az Algoritmusok című fejezet elején írtam, eddig a kültéri tesztek történtek túlnyomó többségben. Ha a felsorolt algoritmusokat beltéren is alkalmazni szeretnénk, akkor egy hosszabb feladattal találjuk szembe magunkat. Hiszen például a statikus modell is a GPS koordinátákhoz viszonyít. De mindenképpen megvalósítható ez a folyamat is.

Összegzés

A dolgozatomban bemutattam a GSM rendszer főbb jellemzőit, a helymeghatározáshoz szükséges elemeit a hálózatnak. Források alapján írtam le a helymeghatározás elméleti módszereit, amelyek alapján lehetséges meghatározni a pozíciót. Az épületen kívüli helymeghatározás megismerését segítette az általam írt programmal készült szemléletes kép készítése is. Azonban az épületen belüli és kívüli helymeghatározásban vannak különbségek, ezekre is megpróbáltam széleskörűen kitérni.

Adatgyűjtés során új adatok kerültek az adatbázisba, melynek struktúráját és tulajdonságait is ismertettem. A használt adatgyűjtő rögzített adatainak segítségével megismertem a GSM és GPS információk tárolásának módját.

A felsorolt algoritmusok által lehetséges a kültéri helymeghatározás, továbbfejlesztésükkel beltérre is alkalmas megoldást kínálnak.

Köszönetnyilvánítás

Köszönetet szeretnék mondani konzulenseimnek, Dr. Takács Györgynek és Tihanyi Attilának segítségükért és tanácsaikért, amelyekkel elősegítették a dolgozat létrejöttét.

Irodalomjegyzék

- [1] Takács György: „Helymeghatározás mobiltelefonnal és mobil hálózattal”, Híradástechnika 2008.8.
- [2] Bányai Balázs: „Új műszaki koncepcióra épülő helymeghatározási rendszer”, 2008
- [3] Kelemen Mihály: „GSM helymeghatározás”, 2009
- [4] Google Earth: <http://earth.google.com>
- [5] Májer Julianna: GSM alapú helymeghatározás alapadatállományának tömörítése, 2010