



TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT

Logisztikai rendszerek vezetékek nélküli hálózatainak GPS-alapú jelerősség mérése

GPS-based signal strength measurement for wireless networks of logistic systems

Méhes László

II. éves mérnök informatikus MSc hallgató

Konzulens:

Prof. Dr. Ajtonyi István
egyetemi tanár

Trohák Attila
egyetemi tanársegéd

Automatizálási és Kommunikáció-technológiai Tanszék

Miskolc, 2011

Tartalomjegyzék

1. Bevezető.....	1
2. Jelerősség mérés.....	2
2.1. Mérő berendezések	3
2.2. Mérési pontok	5
3. Megjelenítés.....	8
3.1. Térképek.....	8
3.2. Felhasználás	9
4. Térképkészítési lehetőségek	10
4.1. Létező online térképszolgáltató.....	10
4.2. Online térképréteg készítő.....	11
4.3. Létező asztali alkalmazás.....	11
4.4. Saját alkalmazás kifejlesztése.....	12
4.5. Helymeghatározás.....	13
5. A GPS	14
5.1. A helymeghatározási módszer	14
5.2. Az eljárás lépései	14
5.3. A GPS-sel történő helymeghatározás előnyei.....	15
5.4. A GPS-sel történő helymeghatározás hátrányai	15
6. Vezeték nélküli hálózatok.....	16
6.1. ZigBee	17
6.2. A ZigBee főbb jellemzői.....	17
6.3. Hálózati szerepkörök:.....	18
7. Az XBee.....	20
7.1. XBee Series 1:.....	20
7.2. XBee Series 2:.....	20
7.3. XBee Series 5:.....	21
7.4. Antenna típusok:	22
7.5. Működtetés	24
8. Mérőberendezések	26
8.1. Fix egység	26
8.2. Mobil egység	27
9. Mérő program	30
9.1. Java API XBee modulok részére	30

9.2. Felhasználói felület.....	31
9.3. Adatok konvertálása.....	33
9.4. Megjelenítés.....	33
10. A mérés menete.....	35
10.1. Előkészítés.....	35
10.2. Próbamérés.....	36
11. Éles használat.....	40
12. További fejlesztési lehetőségek.....	44
13. Összefoglalás.....	46
14. Irodalomjegyzék.....	47

1. Bevezető

Napjainkban a logisztikai rendszerek egyre nagyobb számban alkalmaznak kommunikációs célokra vezeték nélküli megoldásokat. Vezeték nélküli eszközök használatának előnyei egyértelműek a pénz- és időkötségeket figyelembe véve a vezetékes alternatívákkal szemben. Azonban a rádiós kommunikációs eszközök telepítésekor elengedhetetlen, hogy figyelembe vegyünk azok megfelelő térbeli elhelyezését!

Vezeték nélküli kommunikációs hálózati elemek elhelyezésekor, főként külső területeken, ahol nagyobb távolságokkal és közbenső tereptárgyakkal is számolni kell, célszerű jelerősség térképet készíteni. A térkép alapvető jellemzője a pontossága. Ennek érdekében a mérési pontok helyzetének pontos meghatározásához elengedhetetlen, hogy GPS-t használjunk. Azonban egy terület feltérképezésekor komoly nehézséget jelenthet az adott terület nagysága. Ez esetben időigényes lehet a teljes terület bejárása a mérés elvégzése során. Felmerül a kérdés, hogy hogyan határozzuk meg a mérés megkezdése előtt a majdani mérési pontok pozícióját, illetve, a be nem járt területek jelerősségére hogyan tehetünk minél pontosabb becsléseket. Dolgozatomban bővebben tárgyalom ezen kérdéseket.

Továbbá egy ilyen mérés során fontos magának a jel erősségének és az átvitel minőségének a meghatározási módszere is! Ma az iparban használatos vezeték nélküli kommunikációs eszközök legtöbbje már rendelkezik beépített jelerősség érzékelővel melyből ki lehet nyerni a jel minőségére vonatkozó adatokat. Továbbá a megfelelő illesztőegység segítségével a GPS vevő csatlakoztatása után a koordináta adatok is átküldhetők a mérés alatt álló vezeték nélküli hálózaton keresztül, melynek segítségével nem csupán a jelerősségre vonatkozó adatokat tudjuk hasznosítani, hanem a kommunikáció stabilitására vonatkozó információk is ismerté válnak. Ezt kihasználva lehetőség nyílik olyan mérési eszközök és eljárások kidolgozására, melyet a kihelyezésre szánt konkrét vezeték nélküli eszközhöz, vagy vele megegyező típusúra csatlakoztatva a mérés elvégezhető, így kapva a legpontosabb mérési eredményeket. Dolgozatomban ezen eszközök és eljárások feltárását külön-külön fejezetekben tárgyalom, valamint dolgozatomat mérési eredményekkel alátámasztom.

2. Jelerősség mérés

Mint minden rádiófrekvenciás kommunikációs eljárásnál a fent felsorolt esetekben is korlátos az a távolság, melyet a rádióadó a kisugárzott teljesítményének köszönhetően lefedni képes. Jelerősség mérés során az adóból kisugárzott jel térerősségét mérjük. A térerősség általában használt mértékegysége a V/m, illetve annak tizedes törtrészei (mV/m, vagy $\mu\text{V/m}$). Ez a mértékegység a térnek csak az elektromos összetevőjére érvényes (E), gyakran használják azonban a mágneses tér (H), és a tér mágneses összetevőjének meghatározására, a terjedési impedanciával való összefüggése alapján. A szabad tér hullám impedanciájának ($Z_0 = 377 \Omega$) figyelembevételével, a mágneses tér erőssége (H) az elektromos térerősség mért értékének ismeretében kiszámítható:

$$H(\text{A/m}) = E(\text{V/m}) / Z \quad (1)$$

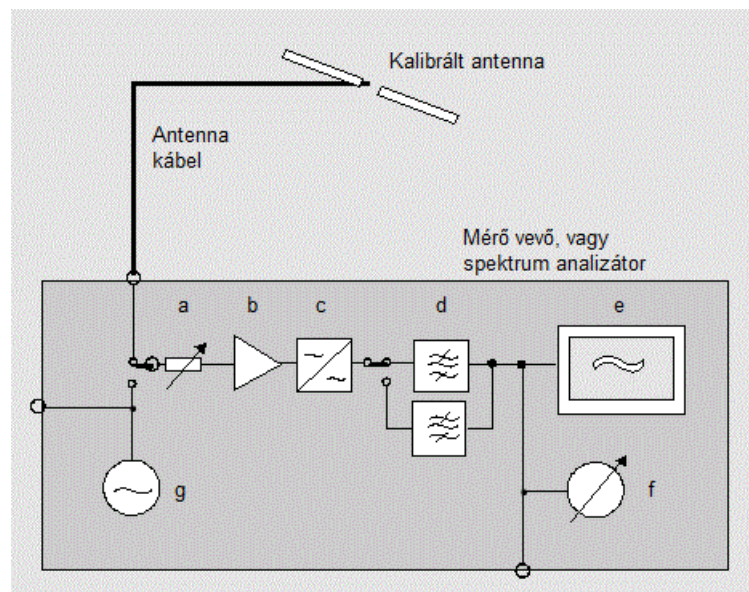
A térerősség méréskor a logaritmikus mértékegység, a dB ($1\mu\text{V/m}$ értékhez viszonyított) használata az elterjedt:

$$e(\text{dB}\mu\text{V/m}) = 20 \log E(\mu\text{V/m}) \quad (2)$$

Ha nyílt terepen végeznénk mérést, akkor a fix helyzetű adótól távolodva a távolság függvényével négyzetes arányban gyengülő jelerősséget észlelnénk, természetesen az adó antenna iránykarakteristikájának figyelembevételével megfelelően. Azonban a gyakorlatban ritka a nyílt, sík terep, gyakran állnak különböző tereptárgyak (fák, házak, villamos távvezetékek) az adó és a vevő között, ráadásul a vizsgált terület domborzata is jelentősen változhat.

2.1. Mérő berendezések

Jelerősség mérésére szolgáló műszer elvi felépítését a 1. ábra szemlélteti.



1. Ábra – Jelerősség mérő elvi felépítése

- a) Csillapító és előválasztó áramkörök,
- b) előerősítő,
- c) fő keverő,
- d) (kapcsolható) középfrekvenciás szűrő,
- e), f) detektáló és kijelző eszköz, például analóg vagy digitális műszer, regisztráló készülék, vagy analóg-digitális konverter számítástechnikai eszközzel,
- g) kalibrációs forrás (folyamatos hullámú jelgenerátor vagy követőgenerátor, impulzusgenerátor vagy véletlenzaj-generátor).

A gyakorlatban vagy az adott frekvenciára gyárilag hangolt térerősség mérő berendezéssel végzik a mérést, vagy állítható frekvenciatartományú berendezést használnak. Ezekből létezik kézi készülék, illetve hordozható rádiófrekvenciás spektrum analizátor. A 2. ábra egy eProt gyártmányú kézi berendezést szemléltet. Jól látható az antenna és a mért érték kijelzésére szolgáló LCD kijelző.

(Forrás: http://www.usatech.com/eport/wireless_testing_kit.php)



2. Ábra – Kézi jelerősség mérő készülék

Az 3. Ábrán egy XBee S2 rádiós modul spektrumképe látható egy spektrum analizátor kijelzőjén. A mérést a készülék „max hold” funkciójának bekapcsolt állapota mellett végeztem.



3. Ábra – XBee S2 modul spektrumképe

A mérés során a mérő berendezések egyik legkritikusabb pontja az antenna, így a majdan üzembe helyezendő berendezés antennájával megegyező, vagy ahhoz legközelebb álló antennával célszerű az előzetes jelerősség méréseket elvégezni. Bármely más antenna típussal is kaphatunk arányos, valóságnak megfelelő jeltérképet, azonban a különböző antennák közötti eltérésekből adódóan a későbbiekben használatra kerülő esetlegesen kisebb nyereségű, más iránykarakterisztikájú antennával már nem garantálható, hogy ugyanolyan jelszintet tud produkálni, mint a mérőberendezés antennája!

2.2. Mérési pontok

Nem csupán a jelerősség meghatározása, megmérése a fontos, hanem az is, hogy hol mérjünk. A mérési pontok kiválasztásánál figyelembe kell venni, hogy egy adott terület nem minden pontját tudjuk bejárni, mert utunkat állhatják épületek, vízfelületek, magán területek, sziklák stb. Feltehetőleg a be nem járható területekre nem kívánunk vezeték nélküli eszközt telepíteni, így ezektől tekintsünk el.

Vegyük figyelembe, hogy ipari és logisztikai célokra használt vezeték nélküli hálózatok már kiforrott technológiát használnak, szabvány rögzíti a velük szemben elvárt paramétereket. Így ismeretesek a gyártók által megadott hatótávolságra vonatkozó adatok is. Ezeket felhasználva egyrészt meg lehet határozni a maximálisan áthidalható távolságot (L_{max}), vagyis azt a távolságot, amin belül a mérést végezni érdemes. Másrészt a távolság és az elvárt mérési pontosság (M_p) szorzatából az egyes mérési pontok közötti távolságot ($L_{lépés}$), vagyis a mérések lépésközét is kiszámíthatjuk:

$$L_{max} * M_p = L_{lépés} \quad (3)$$

A hatótávolságot azonban nagyban befolyásolja a használt antenna is. Mind iránykarakterisztikáját tekintve, mind nyereségét tekintve. Gyártói adatok az antennákra vonatkozóan is elérhetőek, így ezeket is figyelembe kell venni a hatótávolság meghatározása során!

Továbbá a mérés során fontos szempont az optikai rálátás. Ezen eszközök jelerősségét nagyban befolyásolják az adó és vevő közé kerülő árnyékolók. Ezek lehetnek fák, épületek, domborzati elemek illetve nem csak stabil, de mozgó tárgyak is. Ipari környezetben főleg daruk és egyéb anyagmozgató, szállító eszközök sorolhatók ide. Ezen tárgyak tovább bonyolítják a mérési pontok meghatározását. Árnyékolt területeken egyértelmű jelerősség romlással kell számolni, így ezeken a pontokon mindenképp célszerű mérést végezni, hogy megtudjuk a jelerősség csökkenés mértékét. Azonban azt sem hagyhatjuk figyelmen kívül, hogy ezekre a területekre előnytelen lesz a későbbiekben eszközt telepíteni, így kevesebb mérési pont felvétele is elégséges ezeken a helyszíneken.

Azt is fontos meghatározni azokon a területeken, ahol mérést fogunk végezni, hogy milyen elrendezésben kövessék egymást az egyes mérési pontok. Ennek több lehetséges módja is létezik:

- Véletlenszerű,
- szabályos:
 - háromszöghálós,
 - négyzethálós,
 - hatszöghálós.

A szabályos hálómintákkal jobb lefedettséget, egyenletesebb eloszlást és jobb közelítést tudunk elérni mérésünk során.

A fent felsoroltakból a háromszögháló adja a legsűrűbb hálót, a mérési pontok közötti azonos távolság esetén. A négyzetháló mentén történő mintavételezés a legkönnyebben kivitelezhető a fentiek közül. Azonban valós mérési helyzetben nehézséget okozhat szabályos rácsra illeszkedően felvenni a mérési pontokat. Ezt nehezítheti a pontok közötti esetlegesen nagy távolság, így a távolság felmérésénél keletkező pontatlanság is nagyobb lehet az egyes mérési pontok között. Ha a mérést folyamatosan az előző mért pontokhoz képest végzik, akkor a korábbi pontok közötti távolság nagyságában lévő szórás összeadódik és a kezdőponttól távolodva egyre jobban torzulhat a rács geometriája. Külső viszonyítási ponthoz történő

mérőpont meghatározásnál pedig nehézséget okozhat, ha nincs a mérési terület minden egyes pontjáról rálátás a viszonyítási pontra. Illetve nagy távolságból történő mérőpont meghatározáskor szintén jelentős torzulás keletkezhet a rács szabályosságában. Megoldás lehet a GPS alapú helymeghatározása a mérési pontoknak.

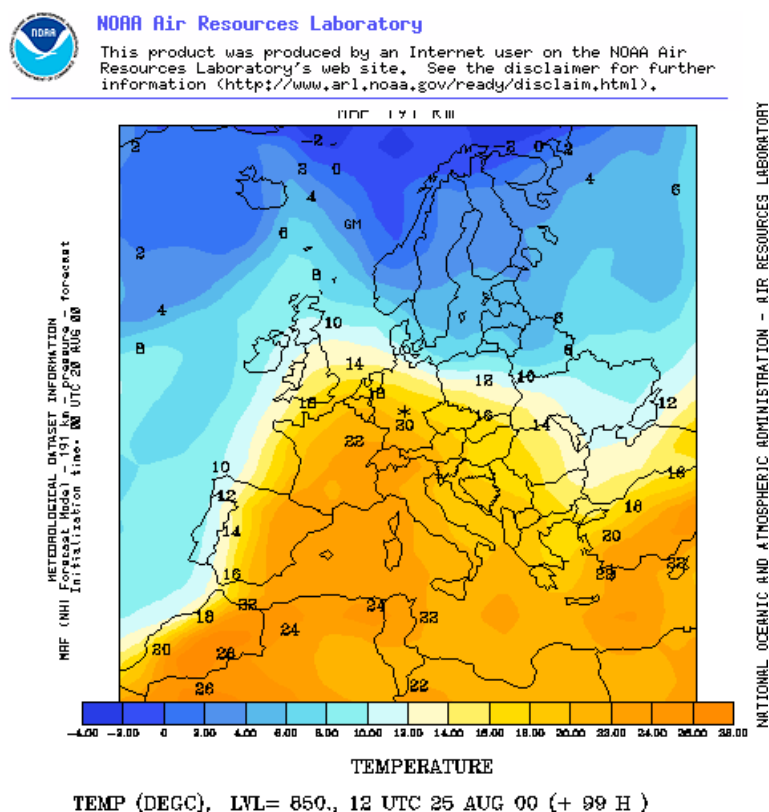
Szabálytalan geometria esetén a rácspontok sűrűsége területenként igen eltérő lehet. Azonban e módszerrel a legkönnyebb felmérni egy területet. Automatizálhatjuk is a mintavételezést. Vethetünk mintát adott időközönként, így a pontok közötti távolság a terep bejárásának sebességétől függ csupán. Ebben az esetben általában gyalogos bejárás során végezzük a mérést. Ennek köszönhetően gyorsabban elvégezhetőek a mérések, nem kell a szabályos rácspontok felvételével törődni. A jelerősség szempontjából kritikusabb helyeken több mérést is végezhetünk, a kevésbé fontos helyeken pedig felületesebb mérés is elégséges eredményt adhat. A későbbiekben be fogom mutatni egy fent említett, gyalogosan végzett, véletlenszerűen felvett pontokból álló mérés folyamatát és eredményeit.

3. Megjelenítés

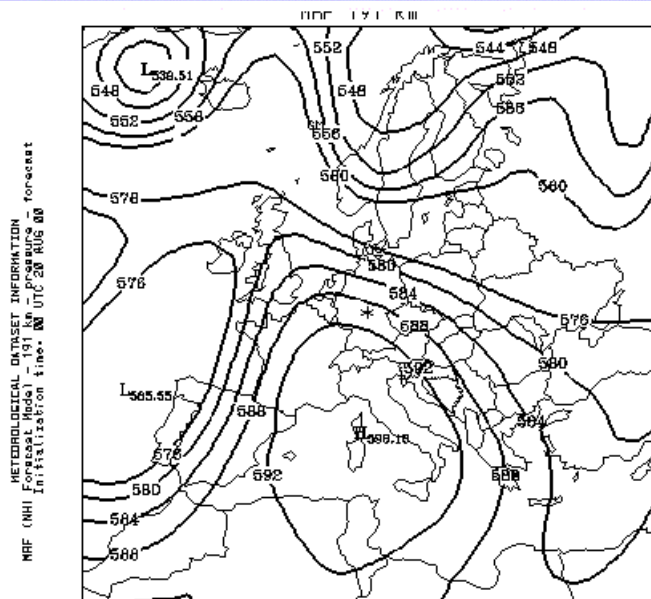
3.1. Térképek

Fontos olyan megjelenítési felületet használni, amely könnyen értelmezhető, egyértelmű és pontos. Ehhez nyújtanak segítséget már évezredek óta a térképek. A jelenleg alkalmazott jelerősség térképek nagy része a már korábban más tudományterületeken használatos térképekre alapozva jött létre. A jelerősség feltérképezésére az izobár és izoterma térképeken alapuló megjelenítés a legcélszerűbb. Nevükben az „izo” az azonos nagyságú mért értékeket összekötő vonalakból, jelölésekből ered. Az izobár térképek a légnyomást, míg az izoterma térképek a hőmérsékletet ábrázolják. Hasonló térképeken ábrázolják a csapadékszintet, a légszennyezettséget, pollenkoncentrációt is.

Az 4. és 5. ábrán látható két példa a térképek megjelenésére. Az 4. ábrán szereplő képen egy hőmérséklet térkép található, melyen színek segítségével lehet meghatározni a mért értékek elhelyezkedését. A 5. ábrán szereplő kép a fent említett vonalas megjelenítést szemlélteti.



4.Ábra Hőmérsékleti térkép



HEIGHT

HGTS (DM), LVL= 500., 00 UTC 25 AUG 00 (+ 99 H)

5. Ábra Légnymás térkép

3.2. Felhasználás

A két ábrán látható térképek közül az első, színezett térkép típus sokkal informatívabb megjelenítést tesz lehetővé, mivel itt nem kell minden egyes vonalhoz leolvasni a hozzá tartozó értéket, hiszen itt a színek alapján a teljes területre nézve azonnal láthatóak a mérési eredmények. Azonban mindkét típusnak hátránya, hogy a kisebb kiterjedésű kiugró értékek elvesznek a megjelenítés során. Továbbá azon helyekre vonatkozóan, ahol nem végeztek mérést, csupán közelítő értékek jeleníthetők meg.

Véleményem szerint a 4. ábrán szereplő térkép használata a célszerű megoldás egy terepi jelerősség mérésekből származó adathalmaz megjelenítésére.

4. Térképkészítési lehetőségek

A lemért adatokból valamilyen módszer segítségével elő kell állítani a jelerősség térképet. Erre több lehetőség is adódik. Az alábbi felsorolás ezeket a lehetőségeket veszi számba:

- Létező megjelenítő alkalmazás használta:
 - online alkalmazás,
 - térkép készítő,
 - térképréteg készítő,
 - asztali alkalmazás.
- Saját megjelenítő alkalmazás kifejlesztése:
 - online alkalmazás,
 - asztali.

4.1. Létező online térképszolgáltató

Online térképkészítő alkalmazások közül többet is találhatunk az interneten, azonban csak elvétve akad olyan, amely e projekt céljainak megfelelne. Az alábbi táblázat ad összehasonlítást az online szolgáltatások használatának előnyeiről és hátrányairól:

Előnyök:	Hátrányok:
Folyamatos rendelkezésre állás.	Élő internet kapcsolat szükséges.
Megbízhatóság.	Kevés ilyen szolgáltatás létezik.
Könnyen kezelhető.	Legtöbbször fizetős.
Rövid feldolgozási idő.	Nehezen megoldható valós idejű monitorozás.
	Korlátozott a megjeleníthető adatok száma.

1.Táblázat – Térképszolgáltatók tulajdonságai

A térkép készítő szolgáltatások segítségével komplett térképet készíthetünk kiegészítve az adataink vizualizálásához szükséges jelölésekkel. A Google lehetőséget biztosít a Google Maps térképeken alapuló hőtérkép készítésére. Erre felhasználható a Google Maps API, mellyel saját készítésű weboldalba

implementálható ezen szolgáltatás. Valamint a Google Docs is támogatja hőtéreképek készítését a hozzá tartozó felhasználói fiókban tárolt táblázatokból nyert adatok alapján. Sajnos, ha mért adatainkat ily módon akarjuk megjeleníteni, akkor csalódnunk kell, mivel hőtérekép helyett sokkal inkább sűrűség térképet kapunk, mivel kizárólag a mért adatok elhelyezkedését veszi figyelembe, magát az adatot nem! Így ezen irányú kutatásom hamar kudarcba fulladt a szolgáltatás nem egyértelmű elnevezése és leírása alapján!

4.2. Online térképréteg készítő

A másik lehetőség online adatfeldolgozáshoz a térképréteg készítő szolgáltatások. Ezen szolgáltatások lényege, hogy már meglévő alap térképünkre, amely lehet hagyományos térkép, műholdas, vagy domborzati, ráhúzhatunk egy réteget, mely kizárólag az adatok megjelenítésére használt elemeket tartalmazza. Ezen szolgáltatásoknak az online térképszolgáltatók hátrányain kívül van még egy negatívumuk. Mivel ezek általában nem hivatalos szolgáltatások, így a hozzájuk kötődő támogatás, vagy akár maga a szolgáltatás egyik napról a másikra megszűnhet előzetes bejelentés nélkül.

4.3. Létező asztali alkalmazás

Néhány asztali térkép készítő alkalmazást az alábbi felsorolás tartalmaz:

- PolyMap,
- AltaMap,
- HeatMapper,
- WirelessMon.

Az utolsó kettő program kifejezetten jelerősség térkép készítésére lett kifejlesztve. Azonban kizárólag WiFi hálózatok jelerősségét mérhetjük velük, a GPS koordináták feldolgozását csak a WirelessMon nevű alkalmazás támogatja.

Az asztali alkalmazások használatának előnyeit és hátrányait az alábbi táblázat tartalmazza:

Előnyök:	Hátrányok:
Megbízhatóság.	Esetenként itt is élő internetkapcsolat szükséges.
24 órás rendelkezésre állás.	Nem, vagy nehezen megoldható valós idejű monitorozás.
Pontosság.	Fizetős, ritka az ingyenes.
Elégséges számú megjeleníthető adat.	

2.Táblázat – Asztali alkalmazások tulajdonságai

4.4. Saját alkalmazás kifejlesztése

Egy lehetséges megoldás jelerősség térkép készítésére, ha saját térkép készítő alkalmazást fejlesztünk. Azonban ennek számos előnye mellett hátrányai is vannak. Ezeket az alábbi táblázat mutatja be:

Előnyök:	Hátrányok:
Megbízható.	Szükséges lehet élő internetkapcsolat.
24 órás rendelkezésre állás.	Fejlesztési idő magas lehet.
Kellően pontos.	Fejlesztési költség magas lehet.
Kellő számú megjeleníthető adat.	
Teljes mértékben testre szabható.	
Valós idejű térkép készítése.	
Valós idejű monitorozás.	

3.Táblázat – Saját alkalmazás tulajdonságai

A táblázatból kiderül, hogy a korábban felsorolt más lehetőségek előnyeit a saját alkalmazás fejlesztése ötvözi. Legnagyobb előnye a teljes testreszabhatóság, így a jelerősség térkép készítésének keretein belül felmerülő összes problémára megoldást jelenthet egy ilyen alkalmazás kifejlesztése. Nem kell olyan szolgáltatásért is fizetni, melyre nincs is szükségünk. Azonban egy ilyen program kifejlesztése igen költséges is lehet!

4.5. Helymeghatározás

A megjelenítési lehetőségek már ismertek, tudjuk, hogy milyen térkép alkalmazása a célravezető. Tudjuk azt is, hogy milyen térképkészítési lehetőségek állnak rendelkezésre. Azonban még nem esett szó arról, hogy hogyan kössük a megmért jelerősségi adatokat a térkép egyes részeihez. Ehhez a GPS-en alapuló helymeghatározás ad lehetőséget. Ennek tárgyalása a következő fejezetben található.

5. A GPS

A **GPS** (*Global Positioning System*) Globális Helymeghatározó Rendszer, az Amerikai Egyesült Államok Védelmi Minisztériuma által (elsődlegesen katonai célokra) kifejlesztett és üzemeltetett rendszere. A Föld bármely pontján, a nap 24 órájában működő, műholdas helymeghatározó rendszer, amellyel 3 dimenziós helyzet-meghatározást, időmérést és sebességmérést végezhetünk földön, vízen, vagy levegőben. Pontossága jellemzően méteres nagyságrendű, de differenciális mérési módszerekkel akár **mm**-es pontosságot is el lehet érni, valós időben is.

5.1. A helymeghatározási módszer

A helymeghatározás elmélete analitikus geometriai módszereken nyugszik. A műholdas helymeghatározó rendszer időmérésre visszavezetett távolságmérésen alapul. Mivel ismerjük a rádióhullámok terjedési sebességét, és ismerjük a rádióhullám kibocsátásának és beérkezésének idejét, ezek alapján meghatározhatjuk a forrás távolságát. A háromdimenziós térben három ismert helyzetű ponttól mért távolság pontos ismeretében már meg tudjuk határozni a pozíciót. A további műholdakra mért távolságokkal pontosítani tudjuk ezt az értéket.

5.2. Az eljárás lépései

1. A GPS-vevő folyamatosan rendelkezzen a műholdakon lévő atomórák pontos idejével.
2. Legalább 4 műhold láthatósága esetén „háromszögeléssel” meghatározható a földfelszíni pozíció.
3. Ehhez ismerni kell a vevő és a műholdak pontos távolságát, amihez a műholdak aktuális pályájának és a kisugárzott jel megérkezési idejének ismerete szükséges.
4. Hibák és korrekciók.

5.3. A GPS-sel történő helymeghatározás előnyei

- Napszaktól független,
- földfelszín feletti magasságtól független,
- mozgási sebességtől független (a műszerrel akár vadászgépen is mérhetünk).

5.4. A GPS-sel történő helymeghatározás hátrányai

- A szükséges adatok vétele viszonylag hosszú időbe telik (bekapcsolás után több perc is lehet),
- csak nyílt, fedetlen területeken alkalmazható (pl.: épületekben, alagútban nem),
- az épületekről visszaverődő jelek zavart okoznak a mérésben,
- a ritkán előforduló erős napkitörések alatt használhatatlanná válnak.

6. Vezeték nélküli hálózatok

Jelenleg több vezeték nélküli hálózat típus is használatos ipari, logisztikai alkalmazások kommunikációs eszközeként. Hogy hol melyik hálózatot célszerű alkalmazni, azt nagyban befolyásolják, az adott hálózat tulajdonságai.

Ezen vezeték nélküli hálózatokat és néhány főbb jellemzőjüket az alábbi táblázat foglalja össze:

WLAN	Számítógépek összekötésére, gyors adatátvitel, kis kiterjedés, önszervező, közepes eszközszám, alacsony megbízhatóság.
IWLAN	A WLAN ipari változata, megbízhatóbb, reakcióképesebb, mint a WLAN, nem csak számítógép összeköttetésre.
Wireless HART	Szenzor hálózati alkalmazás, WLAN-al közel megegyező kiterjedés, alacsony átviteli sebesség, megbízható, sok résztvevős.
GSM	Nagy kiterjedésű hálózatok, kevés résztvevő, alacsony átviteli sebesség, közepes megbízhatóság, általános célú.
Bluetooth	Kis kiterjedésű, közepes átviteli sebességű, kevés résztvevő, általános célú.
ZigBee	Kicsitől a közepesen nagy kiterjedésig, sok résztvevős, alacsony átviteli sebességű, általános és szenzorhálózati alkalmazás, megbízható.

4. Táblázat – Vezeték nélküli hálózatok

A táblázatból kiderül, hogy elég sokszínűek a jelenlegi vezeték nélküli átviteli technológiák. Közülük kedvező tulajdonságainak köszönhetően kitűnik a ZigBee. Ipari, logisztikai alkalmazhatósága kiváló minden olyan rendszerben, ahol nincs szükség realtime beavatkozásra. A továbbiakban a ZigBee alapú kommunikációt bővebben is tárgyalom. Továbbá erre alapozva végzem kutatásomat a jelerősség méréshez kapcsolódóan, melynek eredményeit szintén tárgyalni fogom a későbbiekben.

6.1. ZigBee

A **ZigBee** egy olyan nyílt globális szabvány, amely alacsony költségű, alacsony sávszélességű, kis fogyasztású digitális vezeték nélküli kommunikációs eszközöket definiál. Alapja az **IEEE 802.15.4** szabvány. A specifikációt a **ZigBee Alliance** hívta életre 2002-ben, majd 2006-ban tette nyílttá. Azóta több módosítást is elvégeztek az eredetihez képest, így jelenleg a 2007-es, véglegesnek tekinthető kiadást használják világszerte. Ebben az évben került kiadásra az első alkalmazási területhez kötődő szabvány is, amely az otthonautomatizálási szabvány volt. Azóta napvilágot látott több alkalmazási területre vonatkozó ZigBee szabvány is.

6.2. A ZigBee főbb jellemzői

A ZigBee létrejöttének célja az volt, hogy létrehozzon egy olyan eszközt a rádiófrekvenciás kommunikációs eszközök piacán, amely a következő igényeket elégíti ki:

- Legyen alacsony az előállítási és üzemeltetési költsége.
- Megfelelően nagy kiterjedésű hálózatot lehessen létrehozni vele.
- Gyors és egyszerű legyen az új tagok hálózatba léptetése, vagyis legyen önszervező.
- Alacsony legyen az eszközök energiaszükséglete, vagyis hosszú működési idővel bírjanak.
- Biztonságos legyen.
- A lehető legkevesebb beavatkozást igényelje.
- Nem szükséges a nagy sávszélesség.
- Nem szükséges a nagy hatótávolság.

Ezen kívánalmakat minden ZigBee eszköz teljesíti. Ezen eszközök közös tulajdonságai:

- Hálózatonként 65536 db eszköz.
- Akár 250 kb/s átviteli sebesség.
- 2 frekvenciatartományban összesen 27 csatorna.
- Alacsony fogyasztás.
- Alacsony válaszidő.
- A háló topológia támogatásával, gyors önszervező hálózat.
- AES 128 bites titkosítás.

6.3. Hálózati szerepkörök:

A hálózathoz kapcsolt eszközök különböző feladatokat látnak el, így ennek megfelelően különböző szerepkörökbe lehet őket besorolni a hálózaton belül feladatuk, szerepük alapján is.

Koordinátor (Coordinator):

Minden ZigBee hálózatnak van egy koordinátora. Egy hálózat kizárólag csak egyetlen koordinátorral rendelkezhet. Ennek az eszköznek a feladata a hálózat kialakítása, a címek kiosztása a többi eszköz számára és az eszközök közötti adatforgalmi útvonalak kiépítésének segítése. Általában hálózati tápforrásról célszerű üzemeltetni.

Router:

A router továbbítja az adatokat azon eszközök között, melyek nem képesek a köztük lévő távolság miatt közvetlenül egymással kapcsolatba lépni. Ajánlott akkumulátorral támogatott elektromos hálózati tápforrásról működtetni, mivel kiesése esetén az adott kommunikációs hálózat egy szegmense is kieshet miatta. Ebből az eszközből több is lehet egy hálózatban, azonban nem kötelező eleme annak. Továbbá minden olyan funkcióval bír, mint a végpontok.

Végpont (Endpoint/End Device):

Ez az eszköz az, amely a hozzákapcsolt szenzoroktól adatot gyűjt és irányítja a különböző beavatkozókat, vagyis ezen eszközöket a hálózathoz illeszti, és a többi eszköz számára elérhetővé teszi. Általában telepről üzemelnek, melynek köszönhetően szinte bárhol elhelyezhetőek. Az adatok küldése, vagy fogadása után célszerű alvó állapotba helyezni őket, hogy kevesebb energiát használjanak, így növelve a telep élettartamát. A végpontoknak minden esetben szükségük van egy „szülőre”, amely lehet egy router, vagy a koordinátor. A szülő segít a végpontnak a hálózathoz való csatlakozásban, valamint tárolja a számára küldött adatokat, amíg alvó állapotban van.

7. Az XBee

A ZigBee szabványnak megfelelő eszközöket több gyártó is készít. Ezen eszközök lehetnek teljesen komplett kommunikációs modulok, vagy annak bizonyos részegységei, mint a központi vezérlő, a rádió adóvevő részegység, illetve további összetevők. Ezen részegységek a szabványnak köszönhetően, gyártótól függetlenül kompatibilisek egymással mind hardveres, mind szoftveres szinten. A legjelentősebb ZigBee eszközgyártók:

- Digi International,
- STMicroelectronics,
- Texas Instruments,
- Samsung,
- Honeywell.

Az **XBee** terméknévvel ellátott ZigBee kompatibilis eszközöket többek között a Digi International és a Parallax is gyártja. Ezen eszközök teljes mértékben kompatibilisek egymással fizikai kialakításukban és protokollszínten, valamint az összes ZigBee kompatibilis eszközzel képesek együttműködni. A továbbiakban ezen eszközcsaláddal és egyes elemeivel fogok foglalkozni, a széleskörű elterjedtségük, jó terméktámogatásuk és a könnyű felhasználhatóságuk miatt.

Alapvetően három XBee hardver változatot különböztetünk meg:

7.1. XBee Series 1:

Egyszerű pont-pont összeköttetésű és hálós kommunikációt támogat. Ennek a szériának még sok hiányossága van, melyeket a Series 2-ben javítottak.

7.2. XBee Series 2:

Ezen sorozatú eszközök már támogatják a ZigBee hálós szerveződésének különböző módjait, gyors adathozzáférést biztosít a csomópontoktól, valamint ennek köszönhetően kiválóan alkalmas ember léptékű gyorsasággal beavatkozni a legkülönbözőbb feladatokban. Továbbá megbízható szenzorhálózatok építésének egyik legkiválóbb eszközét nyújtják.

7.3. XBee Series 5:

Az előbbi két család 2,4 GHz-es frekvenciát használ, míg az S5 868 MHz-et. Ennek köszönhetően sokkal nagyobb távolság hidalható át segítségével, azonban alacsonyabb átviteli sebességet tudunk elérni vele.

A továbbiakban az S2 és az S5 típusú eszközöket használom. Ezen modulok főbb jellemzőit az alábbi táblázat taglalja:

Típus	XBee® S2	XBee-PRO® S2	XBee-PRO® S5
Műszaki jellemzők			
Átviteli sebesség	250 kbps		24 kbps
Hatótáv épületben	40 m	90 m	550 m
Szabadtéri hatótáv	120 m	3200 m	40 km
Rádió teljesítmény	1.25 mW (+1 dBm)	63 mW (+18 dBm)	315mW (+25 dBm)
Vevő oldali érzékenység	-96 dBm	-102 dBm	-115 dBm
Funkciók			
Rádió teljesítmény	Állítható		
I/O Interface	3,3V CMOS UART, ADC, DIO	3,3V CMOS UART, PWM, DIO, ADC	
Konfigurációs lehetőségek	API, vagy AT parancsokkal soros porton, vagy ZigBee hálózaton keresztül		
Frekvenciasáv	2.4 GHz		868 MHz
Interferencia tűrés	DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)		
Soros átviteli sebesség	1200 bps - 1 Mbps		1200bps – 230 kbps
Analóg bemenetek	(4 db) 10-bit ADC bemeneti		(6 db) 10 bit ADC bemeneti
Digitális I/O	10 db		13 db
Antenna változatok	Chip, drót, U.FL, RPSMA	NYÁK antenna, drót, U.FL, RPSMA	
Működési hőmérséklet, páratartalom	-40°C to +85°C, 0-95%		
Azonosítók és csatornák	PAN ID, 64-bit IEEE MAC, 16 csatorna	PAN ID, 64-bit IEEE MAC, 15 csatorna	PAN ID, 64-bit IEEE MAC, 1 csatorna
Erőforrásigény			
Tápfeszültség	2,1 – 3,6 VDC	2,7 – 3,6 VDC	
Adó fogyasztás	35 mA @ 3,3 VDC	205 mA	500 mA
Vevő fogyasztás	38 mA @ 3,3 VDC	47 mA	65 mA

5.Táblázat XBee modulok összehasonlítása

Ahogyan a táblázatból kiderül az S2 és az S5 családon belül is megkülönböztethetünk két típust, egy normál hatótávolságút, melynek a neve egyszerűen XBee és egy kiterjesztett hatótávolságút, az XBee-PRO-t. A két típus közötti legjelentősebb különbséget a hatótávolságuk és a fogyasztásuk jelenti, valamint nem elhanyagolható szempontként az árak. Ezen modulok teljes mértékben kompatibilisek egymással, mind a kommunikációt tekintve, mind pedig a fizikai interfész terén.

7.4. Antenna típusok:

Több antenna kivittel is gyártanak modulokat, melyek közül mindig olyat érdemes választani, melynek karakterisztikája jól illeszkedik az adott hálózat működési környezetéhez és kialakításához.

Drót antenna:

Az egyik legegyszerűbb antennatípus. Egyetlen vezetékdarabból áll, mely az egyik végén a modulhoz csatlakozik. A drót irányára merőlegesen minden irányba azonos karakterisztikával sugároz. A legtöbb alkalmazáshoz megfelelő, elterjedt típus.

Chip antenna:

Ez egy kerámia chippet jelent, melyet a modulra forrasztanak. Alig lóg ki a modul síkjából, így főként ott alkalmazzák, ahol szűkre szabott a beépítési hely, vagy más típusú antenna túl nagy mechanikai igénybevételnek lenne kitéve. Hátránya a drót antennával szemben, hogy sugárzási karakterisztikája nem körkörös, hanem „szív alakú”.

NYÁK antenna:

Az XBee-PRO SB2-vel került bevezetésre. A modul nyomtatott áramkörének részét képezi, innen a neve is. Nyilván ennek a legalacsonyabb az előállítási költsége, mivel nem igényel külső antenna egységet.

U.FL csatlakozó:

Olyan esetekben alkalmazzák, ahol a modult és a hozzá kapcsolódó elektronikát fém dobozba építik, vagy más módon árnyékolódik le a modul. Ilyen esetben külső antennát alkalmaznak, melyhez a jelet egy árnyékolt vezetéken vezetik el a modulon található U.FL antenna csatlakozóról. Olyankor is ezt a típust érdemes választani, amikor speciális sugárzási karakterisztikára van szükség, így külső, ehhez illeszkedő antenna szükséges.

RP-SMA csatlakozó:

Szerepe ugyanaz, mint az U.FL csatlakozóé, azonban ehhez a típushoz közvetlenül, kábel közbeiktatása nélkül hozzákapcsolható a külső antenna. Ezzel a csatlakozótípussal már találkozhattunk a legtöbb WiFi eszközön. Segítségével a modul mechanikusan az egység dobozához is rögzíthető.

A 6. ábrán Digi gyártmányú eszközök szerepelnek különféle antenna kivitellel, melyen jól látható a sima és a PRO változat közötti méretbeli eltérés is.



6.Ábra –Series 2 XBee és XBee-PRO modulok különféle antennával

7.5. Működtetés

Ahhoz, hogy használatba vegyük ezen modulokat szükség van egy hardverre, amely biztosítja számára a tápellátást akár telepről, akár hálózati áramforrásról, továbbá a modul I/O portjait a vele együttműködő eszközökhöz illeszti. Ilyen eszközök lehetnek:

- Mikrovezérlő,
- számítógép,
- szenzorok,
- beavatkozók.

Azonban ez még nem elegendő egy hálózat kiépítéséhez és működtetéséhez, szükség van a modulok működését meghatározó vezérlőutasításokra is. Itt két lehetőség közül választhatunk, az egyik, hogy AT módban küldünk üzeneteket a modulnak, a másik, hogy API parancsokon keresztül. AT módban a vezérlési utasítások és az adatok egymás után következhetnek, így az AT parancsokat meg kell különböztetni az adatoktól, melyek lehetnek akár az eszközhöz kapcsolt szenzor mérési adatai is. Ezért a parancsok kiadása előtt mindig „+++” elküldésével parancs módba kell lépni!

API módban a küldött üzeneteket nem különböztetjük meg, hogy az adat, vagy parancs, mivel ez esetben minden elküldött üzenetet keretek közé foglalunk, majd ebben a keretben lehet megadni, hogy kinek küldjük az üzenetet, milyen jellegű (adat/parancs), illetve milyen további paraméterekkel rendelkezik. Használta bonyolultabbnak tűnhet, az AT-hoz képest, de sokkal funkcionálisabb annál.

Előnye többek között, hogy biztosított a hibamentes üzenetküldés, beállításokat lehet végezni egy távoli csomóponton anélkül, hogy adatmódból parancsmódba kellene váltanunk közben, illetve, az üzenet fejléce tartalmazza a küldő címét és jelerősségét is, lehetőséget adva a csomópontok könnyebb újraszervezéséhez. Továbbá minden elküldött üzenetről nyugta érkezik a küldőnek, így biztosított a helyes átvitel. A távoli eszközök konfigurálása is könnyebben elvégezhető.

Az XBee API módban történő használatához több számítógépes és mikrovezérlő programozási nyelvre elérhetőek a függvények, többek között Java, C, C++, C#, Python, CCS C, stb. A továbbiakban számítógéphez csatlakoztatva fogom ezen eszközöket használni, API módban.

Az XBee eszközök AT és API módban is több olyan parancsot biztosítanak, melyeknek segítségével az átvitel minőségére és az utoljára érkezett jel erősségére tudunk információkat kinyerni.

Ezen eszközök tartalmazznak beépített áramköröket a fogadott jel erősségének monitorozásához. Mivel a ZigBee hálózat önszervező és öngyógyító, így szükség van arra, hogy a modulok meg tudják határozni a közöttük lévő rádiós kapcsolat minőségét és, ha kell, újra tudják szervezni a hálózat topológiáját annak megfelelően. A belső jelerősség mérőt az eszközök nem csupán a háttérben, transzparens módon képesek használni, hanem lehetőséget biztosítanak a felhasználó számára is információ kinyerésre.

A fentebb említett parancsok közül fontos megemlíteni a „DB” parancsot, amely a későbbiekben fontos lesz egy jelerősség térkép elkészítéséhez:

DB:

- Az utoljára érkezett üzenet jelerőssége.
- Diagnosztikai célokat szolgál.
- A visszatérési érték dBm-ben értendő.
- Az érték -40 dBm és az adott rádió modul vételi érzékenysége közötti egész szám.
- Inicializáló értéke 0.

8. Mérőberendezések

Ahhoz, hogy jelerősség térképet készíthessünk, szükségünk van egy mérő eszközre is. Az általános jelerősség mérő eszközök felépítését a korábbiakban már bemutattam. Azonban az XBee modulokban rejlő lehetőségeknek köszönhetően nem szükséges költséges berendezések vásárlásába beruházni. Akár a majdan telepítésre kerülő eszközzel is el tudjuk végezni a szükséges méréseket, melynek köszönhetően a valóságnak leginkább megfelelő eredményeket kaphatunk!

A mérés elvégzéséhez két berendezésre van szükség, egy fix és egy mobil egységre. A fix egység pozíciója legyen adott a mérés során, a mobil egység mozogjon mérési pontról-pontra a folyamat alatt.

8.1. Fix egység

A fix egység egy előre meghatározott ponton helyezkedjék el, helyzete legyen konstans a mérés elvégzése során. Ez az egység kapcsolódjon egy számítógéphez, ez adja a parancsokat a mobil egység számára valamint a válasz üzeneteket ez közvetítse a számítógépen futó mérő alkalmazás számára.

Ezen egységnek tartalmaznia kell a következő elemeket:

- XBee modul,
- megfelelő antenna,
- UART – USB átalakító,
- táp áramkör.

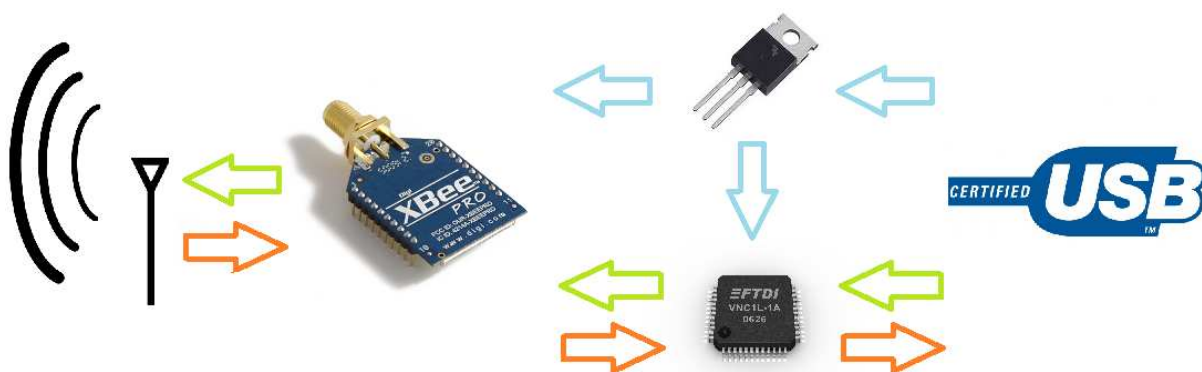
Az XBee modulnak cserélhetőnek kell lenni, annak érdekében, hogy több változatot ki lehessen próbálni a mérések során: más szériát, más teljesítményű egységet, más antenna típusokkal. Így megfelelő csatlakozó aljzatot kell hozzá biztosítani.

A számítógéphez történő csatlakoztatáshoz célszerű USB kapcsolatot használni. Az USB igen elterjedt felület, minden mai számítógépen megtalálható. Nem csupán az adatvezetékeket tartalmazza, hanem a külső eszköz tápellátását is képes ellátni adott teljesítmény igényig (5 V @ 500 mA maximum!).

Az XBee modulok rendelkeznek beépített UART egységgel, melynek segítségével képesek a hozzá kapcsolódó egyéb berendezésekkel kommunikálni. A fentiekből következik, hogy szükséges egy UART – USB illesztő egység, melynek segítségével megoldható az XBee modul és a számítógép kommunikációs kapcsolata.

A számítógép USB portjából 5 V-os feszültséget lehet vételezni, azonban a használt ZigBee eszközök 2,1 V - 3,6 V-os tápellátást igényelnek, ezért szükség van egy tápellátást biztosító áramkörre.

Ezen mérőegység elvi felépítését a 7. Ábra szemlélteti:



7. Ábra – Fix mérőegység felépítése

A fenti követelményeknek megfelelő eszközt a Maxstream kínálatában is találhatunk. Mivel az Automatizálási és Kommunikáció-technológiai Tanszék is rendelkezik ilyen fejlesztő eszközzel, választásom a Maxstream XBIB-U-DEV-re esett.

8.2. Mobil egység

A mobil egység a felméréendő terepen pontról-pontra mozog. Kapcsolatban áll a fix egységgel. A kapott parancsokat feldolgozza és válaszol a fix egységnek. Továbbá folyamatosan továbbítania kell a helyzetére vonatkozó adatokat is. Célszerű kis mérettel és alacsony súllyal rendelkeznie.

Ezen egységnek tartalmaznia kell a következő elemeket:

- XBee modul,
- megfelelő antenna,
- GPS vevő egység,
- tápforrás,
- tápáramkör.

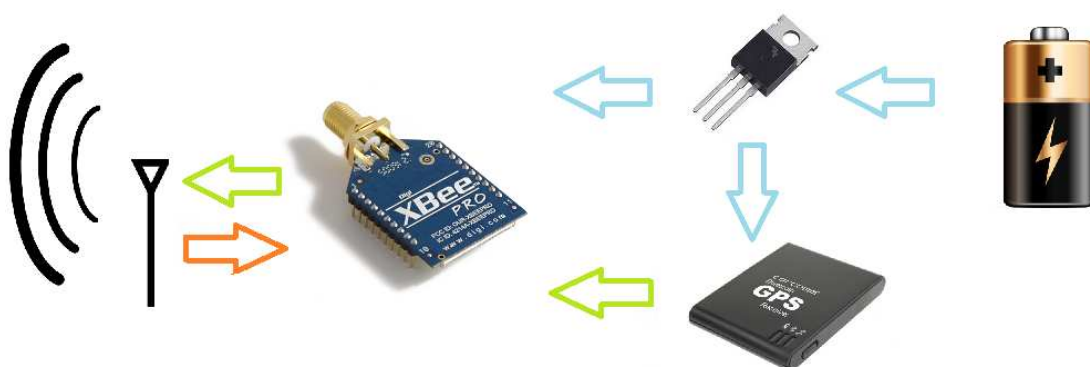
Hasonlóan a fix egységhez, ennek az egységnek is cserélhető XBee modullal kell rendelkeznie.

Rendelkeznie kell egy komplett GPS vevő modullal (antenna + receiver), melynek illeszthetőnek kell lennie az XBee modulhoz. Szerencsére a legtöbb GPS eszköz UART-ot használ adattovábbításra, így ennek illesztése könnyen megoldható a rádiós modulhoz.

A tápellátás biztosítására mobil, mozgatható eszköz révén mindenképpen elemes/akkumulátoros tápforrást kell használni. Ennek kiválasztásánál figyelembe kell venni, hogy a nagyobb adóteljesítménnyel rendelkező ZigBee egységek jelentősen nagyobb áramfelvétellel rendelkeznek alacsony teljesítményű társaikhoz képest! Továbbá a GPS modul tápellátását is biztosítani kell.

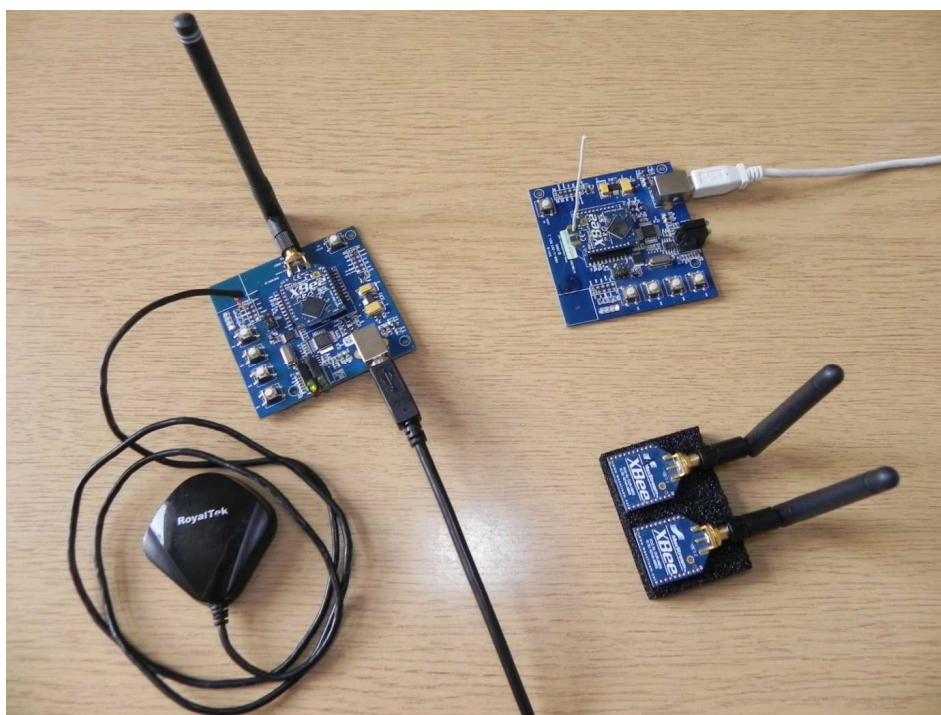
Az XBee modul a korábban már említett 2,1 V – 3,6 V közötti feszültség szintet igényli, azonban a GPS-nek ettől eltérő tápfeszültségre is szüksége lehet, mivel legtöbbjük 5 V-on üzemel! Ennek érdekében célszerű a korábban már említett tápáramköröket alkalmazni a mobil egységben is. Valamint az akkumulátor kiválasztásakor ezen igényeket is számításba kell venni.

Ezen mérőegység elvi felépítését a 8. ábra szemlélteti:



8. ábra – Mobil mérőegység felépítése

A fix egységnél említett Maxstream XBIB-U-DEV fejlesztő kártya került felhasználásra a mobil egység kialakításán is. Továbbá egy RoyalTek RGM-3600 típusú GPS vevő lett a fejlesztőpanelhez csatlakoztatva. A GPS vevőből másodpercenként érkező szabványos koordináta adatok az XBee modul UART portjához lettek illesztve, így minden adat, amelyet a GPS modul szolgáltat, azonnal elküldésre kerül a fix modul számára. Tápellátást jelen esetben egy notebook USB portja szolgáltatta. Ennél a kapcsolatnál adatcsere nem történik, kizárólag tápforrásként szolgál a notebook. Az összeállított mérőegységeket a 9. ábra mutatja:



9. ábra – Összeállított mérőrendszer

9. Mérő program

A mérések feldolgozásához és megjelenítéséhez számítógépet használunk, továbbá a fix egység is egy számítógéphez csatlakozik. Ebből kifolyólag szükség van egy számítógépes alkalmazásra ahhoz, hogy a mérőrendszert működtetni lehessen.

Az alkalmazás megvalósításakor számításba kell venni, hogy milyen igényeink vannak a rendszerrel szemben:

- Informatív grafikus felhasználói felület,
- könnyű kezelhetőség,
- minél több automatizált folyamat,
- hordozhatóság.

Ezen feltételek mellett azokat az elvárásokat is figyelembe kell venni, ami a rendszer kivitelezhetőségére vonatkoznak:

- Külső egységgel való kapcsolattartás,
- egyszerű, gyors implementálhatóság,
- kompatibilitás.

A fenti követelményeket a Java programozási nyelv alkalmazása egytől-egyig kielégíti.

9.1. Java API XBee modulok részére

Az XBee modulok működtetésénél már említettem az API módot. Az XBee API parancsokat tartalmazó függvénykönyvtárat Java nyelv alá is implementálták, így ennek alkalmazása elősegítheti a gyors programfejlesztést.

A megfelelő Java API (Application Programming Interface) az XBee eszközök API módú kezeléséhez az alábbi linkről letölthető GNU GPL3 licenz alatt:

<http://code.google.com/p/xbee-api/>

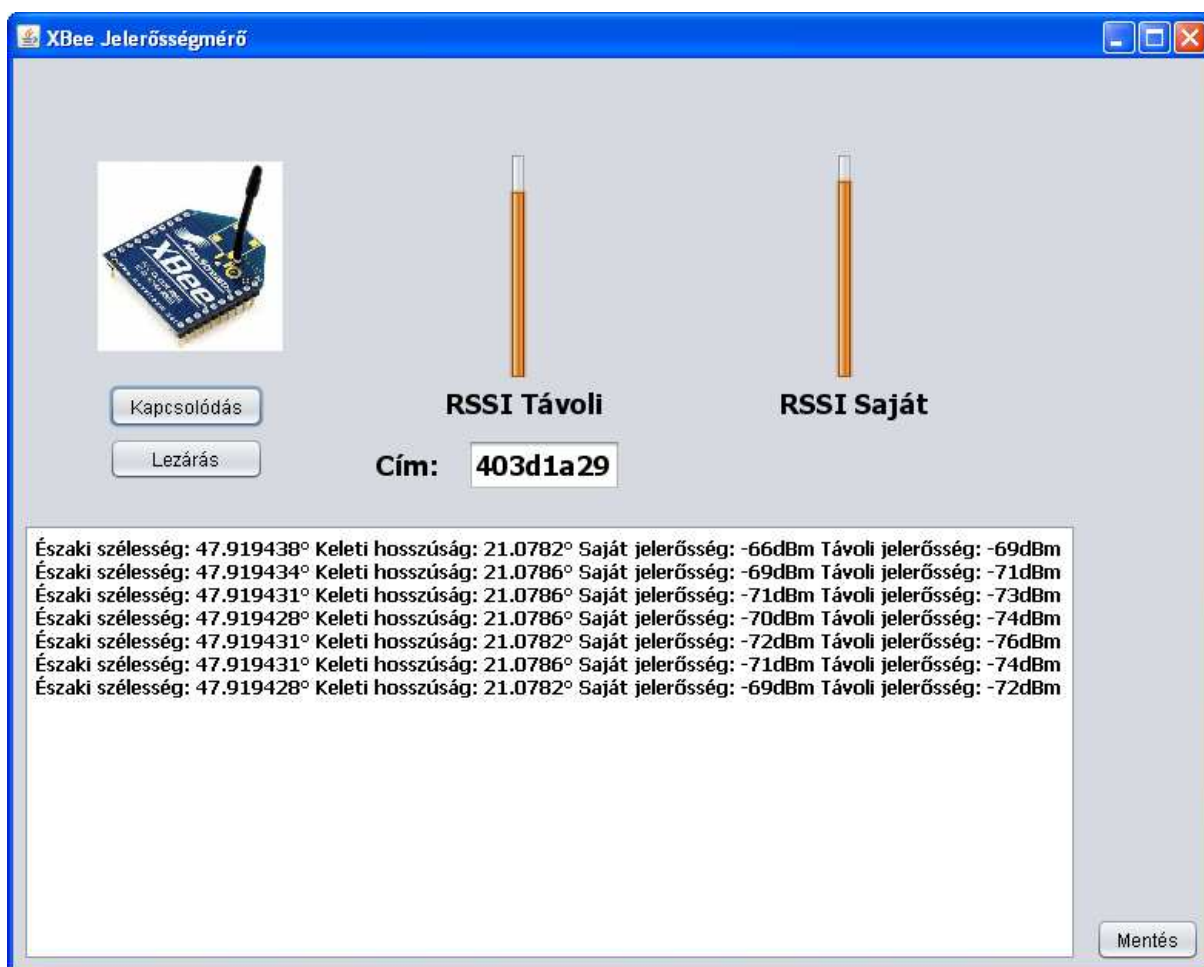
Segítségével az XBee modulokban elérhető összes paraméterét beállíthatjuk és lekérdezhetjük a számítógéphez csatlakoztatott eszközön és távoli eszközökön egyaránt. Továbbá üzenet küldésére és fogadásra is alkalmas.

A Java API alapvetően soros porton keresztüli kommunikációt tesz lehetővé az XBee modulokkal, de az USB-s soros port emulátorokkal is együttműködik. A soros porti kommunikációhoz implementálja az RXTX API-t. (USB soros emulátor esetén is.)

Ahhoz, hogy használni tudjuk a parancsokat, a számítógéphez csatlakozó modulnak koordinátor szerepkört kell betöltenie. Digi-mesh firmware-el rendelkező modulok esetén ez nem szükséges. Továbbá Windows, Mac OS és Linux rendszereken garantált a működése.

9.2. Felhasználói felület

Az általam készített alkalmazás grafikus felhasználói felülettel rendelkezik (GUI), melynek segítségével monitorozható a rendszer működése. A 10. ábra mutatja a program képernyőjét működés közben:



10. ábra – Felhasználói felület

A felületen megtalálható a számítógéphez csatlakozó eszközhöz való kapcsolódást kezdeményező gomb, valamint a mérés végeztével a kapcsolat lezárását végző gomb.

A programban meg lehet adni a távoli eszköz címét. Amennyiben többféle modullal is szeretnénk mérést végezni, úgy itt lehet beállítani, az éppen a mobil egységben helyet foglaló XBee modul címét.

Két jelerősség szint kijelző is megtalálható az alkalmazásban, melyek segítségével könnyebben nyomon követhető a mért értékek változása a számszerű kijelzéshez képest. Az „RSSI Távoli” feliratú kijelző a mobil egység által utoljára fogadott üzenet jelerősségét mutatja, míg az „RSSI Saját” feliratú kijelző a fix egység által utoljára fogadott üzenet jelerősségét mutatja.

A program ablak alján foglal helyet egy szövegmező, melyben a mérés kezdete óta beérkezett koordináta adatok és jelerősség szintek olvashatóak. A GPS modul által másodpercenként küldött koordinátákat megkapja a fix modul, melyet folyamatosan olvas ki a számítógépes program. A beérkező adatok az NMEA 0183 szabvány szerinti formátumnak megfelelő, ASCII karaktereket tartalmazó szöveges adatok. A beérkező üzenetből szűrő segítségével válogatja ki a program a szükséges koordináta és idő adatokat. A jelerősségre vonatkozó adatokat az XBee API segítségével a korábbi fejezetben említett DB paranccsal nyeri ki az alkalmazás mind a mobil egységből, mint a fix egységből. Erre egy külön programszál szolgál 500ms-os időzítéssel, így biztosítva a folyamatos és akadástól mentes megjelenítést az adatoknak és a kommunikációt az egységekkel.

Valamint megtalálható a képernyőn egy mentésre szolgáló gomb is.

A program GPX formátumba képes elmenteni a mérési eredményeket. Ez a formátum a GPS-ek által rögzített útvonalak (track-ek) rögzítésére lett kidolgozva. Általánosan elfogadott és használt formátum, amely XML alapokra épül. A hagyományos GPS track-ben tárolt adatokon felül a program két extra adatmezőt is tárol egy-egy koordinátahoz, melyek a saját és a távoli jelerősségek.

9.3. Adatok konvertálása

A lementett adatok megjelenítésére több lehetőség is kínálkozik, mint azt a korábbiakban már tárgyaltam. Jelen alkalmazás még nem képes önálló megjelenítésre, csupán a jelerősség adatok monitorozására és rögzítésére. A saját megjelenítő modul kifejlesztésére és funkcióinak bővítésére a későbbiekben kerülhet sor.

Azonban addig is szükség van a jelerősség adatok térképszerű megjelenítésére. Erre tökéletesen használható megoldást nyújtanak a korábban említett online térképréteg készítő szolgáltatások. Az általam alkalmazott szolgáltatás működésére a későbbiekben fogok kitérni.

Mivel ezen szolgáltatások nem egységes működésűek, így az inputként várt adatok és azok formátuma is szolgáltatónként eltérő.

Az általam választott szolgáltatás az egy ponthoz tartozó koordináta adatokat szélességi, majd hosszúsági adatként, fokban kifejezve kéri be, majd végül a megjeleníteni kívánt értéket kell megadni. Ahhoz, hogy programom a későbbiekben ezzel a szolgáltatással, és más szolgáltatásokkal, illetve a saját megjelenítő felülettel is együtt tudjon működni, külön alkalmazást készítettem, amellyel a lementett GPX formátumú jelerősség adatokat át tudom konvertálni az adott szolgáltatás által elvárt formátumra.

Ezen alkalmazás részleteire nem térnék ki bővebben. Működése során a kiválasztott fájlt, amely a GPX adatokat tartalmazza, átkonvertálja, majd lementi egy szöveges fájlba, amelyet már tetszés szerint felhasználhatunk az adott online szolgáltatáshoz.

9.4. Megjelenítés

Megjelenítésre jelenleg a <http://diffent.com/map/demo9.html> címen elérhető Google Maps-ra épülő online térképréteg szolgáltatást használom. Kezelőfelületének lényegi része a 11. ábrán látható:

Type or paste 3 columns without a header line:

latitude longitude data

34.0	-118.4	3.0
34.1	-118.5	2.2
34.2	-118.4	2.9
34.15	-118.3	4.4
34.2	-118.6	1.5

resolution of overlay grid (number of color cells)

x res:

y res:

lower cutoff* [0.0 to 1.0]:

blend exponent:
 should be greater than zero
 typical good values to try are 1.5 to 30

map size (pixels): x

11. ábra – Az alkalmazott online térképréteg szolgáltatás felülete

A képen fent látható egy szövegdoboz, melyben a szélességi és hosszúsági koordinátát, majd a megjeleníteni kívánt értéket lehet megadni. Minden egyes adatot szóközzel, vagy újsor karakterrel elválasztva, folytonosan kell megadni.

A megjelenő térképréteg felbontása a szerver kapacitása miatt korlátozott, így a függőleges és vízszintes felbontását (x res, y res) 0-60 közötti intervallumban lehet megadni, vagyis maximum 3600 pontban képes a réteget elkészíteni. A felbontás független a megjelenítendő kép méretétől.

A „lower cutoff” mezőben 0 és 1 közötti valós számként lehet megadni, hogy a megjelenítendő értékek terjedelmének alsó részéből hány százaléknnyit vágjon le a teljes terjedelemre nézve megjelenítés során. A térkép elkészítésénél figyelembe veszi a levágásra kerülő értékeket, azonban azok nem kerülnek megjelenítésre.

A „blend exponent” mezőben a kép színezetének elmosását lehet beállítani. Kisebb értékre jelentősebben, a nagyobb értékre kevésbé elmosott jeltérképet eredményez. Kiemelkedően magas értékre, láthatóvá válnak a diszkrét mintavételi pontok.

A „map size” mezőben az elkészítendő kép méretét lehet megadni pixelben.

10. A mérés menete

10.1. Előkészítés

Mielőtt méréseket végezhetnénk szükséges néhány beállítást és előkészítést megtenni a használt eszközökön.

Mint a korábbiakban írtam, a fix mérő egységben helyet foglaló XBee modulnak koordinátor szerepkört kell betöltenie. Ennek és a további paraméterek beállításához a modul gyártója által biztosított konfiguráló programot használtam. Segítségével több fontos paramétert is megadható a rádiós modul számára:

- PAN ID,
- csatornaszám,
- cél eszköz címe,
- API mód használata,
- kibocsájtott jel teljesítménye.

Továbbá ezen program segítségével lehet a megfelelő firmware-t az XBee modulunkba tölteni. Fontos, hogy azonos típusú firmware legyen a fix és mobil egységekben a sikeres együttműködés érdekében! Továbbá a PAN ID-nak és a csatorna beállításoknak is meg kell egyezniük a két modulban.

A cél eszköz címét célszerű mindkét modulban a másikra állítani, annak érdekében, hogy az esetegesen a környezetben működő más ZigBee kommunikációt használó egységek ne zavarják meg a mérőmodulok közötti kommunikációt.

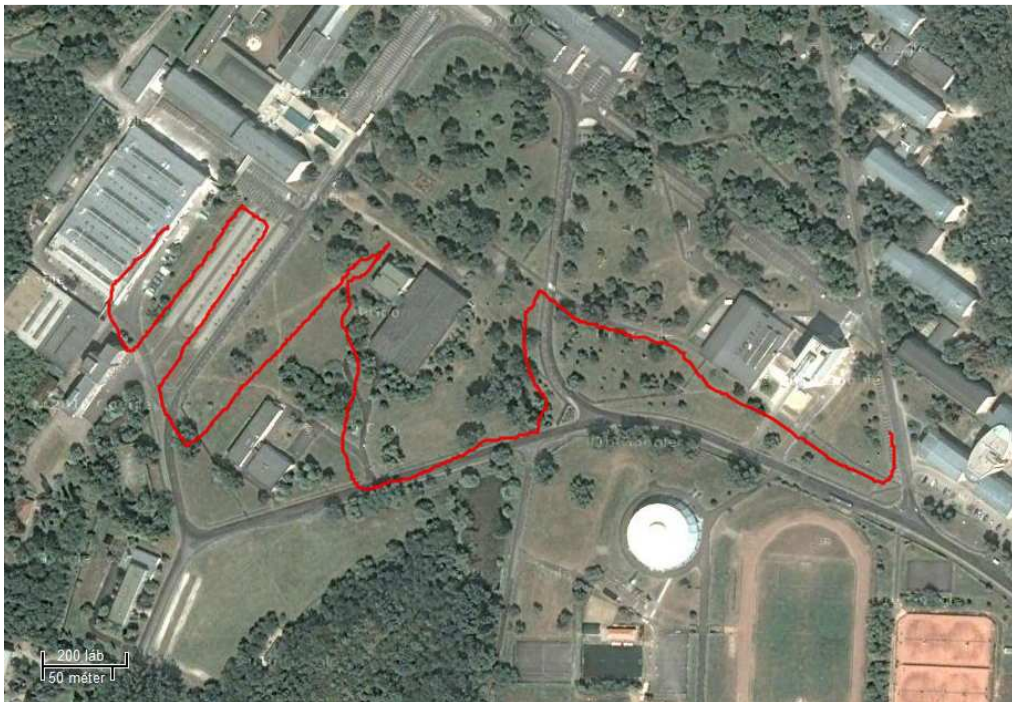
A számítógépes alkalmazásban is beállítottam a távoli eszköz címét, valamint a jelerősségi adatok frissítési idejét.

A mérés megkezdése előtt célszerű a mobil egységet előre bekapcsolni, hogy a GPS vevő a mérés megkezdéséig meg tudja találni a műholdakat és valós koordináta adatokat tudjon szolgáltatni

10.2. Próbamérés

Az elkészült mérőegységeket és a számítógépes alkalmazást összekapcsolva tesztméréseket végeztem.

A mérés helyszíne a Miskolci Egyetem területe. Ezen a helyen történt a mobil egység mozgatása. A fix eszköz a műhelycsarnok második emeleti ablakában helyezkedett el. Ebből a pontból az Egyetemvárosra jó rálátás nyílt. A lentebb található útvonalképen a kép bal oldalán található a kiindulási pont, amellyel a fix egység pozíciója egybe esik. A méréshez használt modulok típusa XBee series 5, XBP08-DP típusú firmwarrel. A mérés során készült útvonalat a 12. ábra szemlélteti:

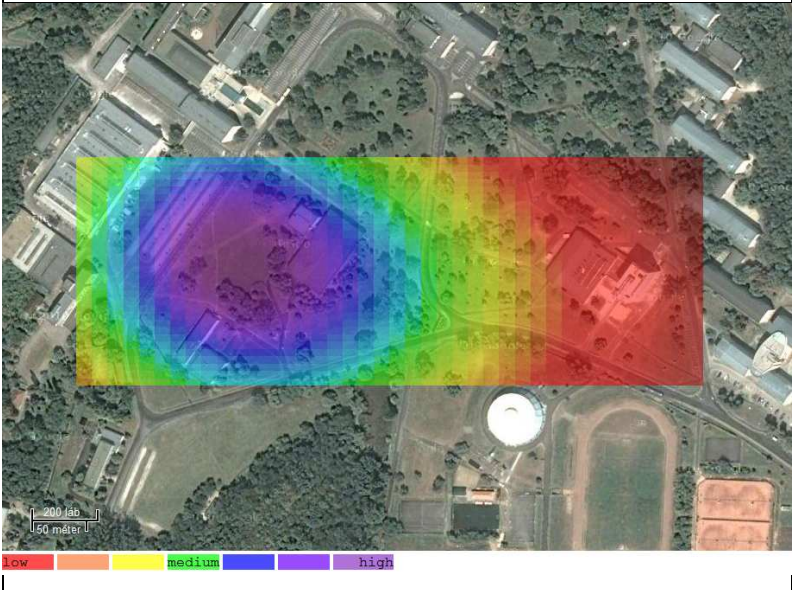
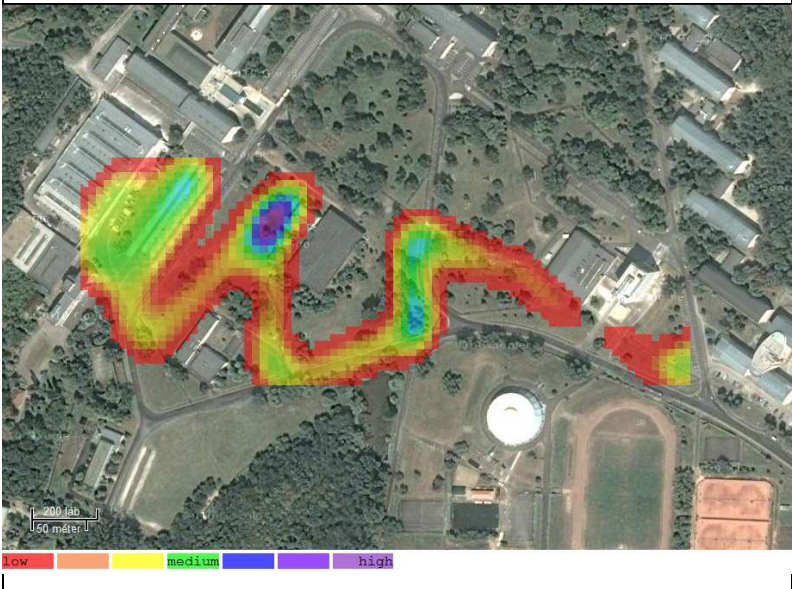
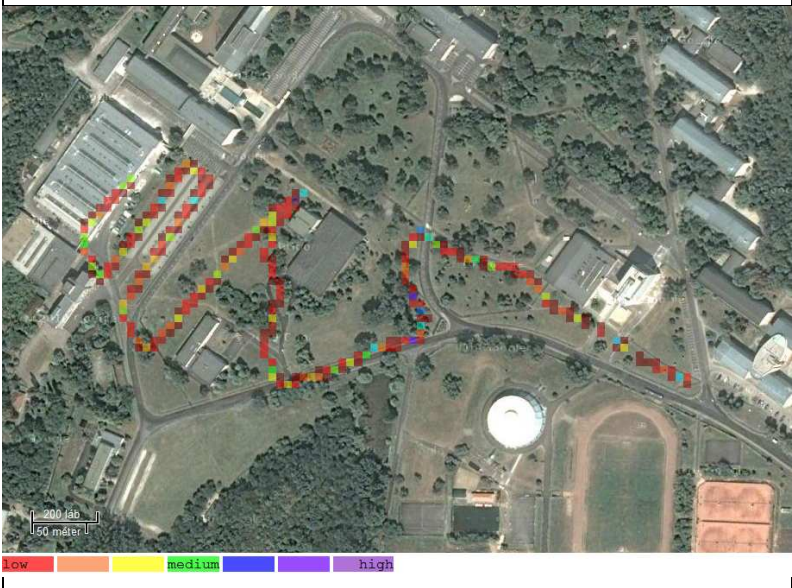


12. ábra – Mérési útvonal

Az útvonal térkép elkészítéséhez a <http://www.gpsvisualizer.com> oldal szolgáltatását vettem igénybe.

A fix mérőegység és a mobil egység közötti legnagyobb távolság körülbelül 430 méter légvonalban a térkép alapján.

Az online térképréteg szolgáltatás alkalmazására először ezen mérés eredményeivel került sor. Több beállítással is készítettem térképet a mért adatok alapján. Ezeket az alábbi táblázat foglalja össze:

Jelerősség térkép	Paraméterek
	lower cutoff: 0,0 blend exponent: 7 x res: 30 y res: 30
	lower cutoff: 0,2 blend exponent: 400 x res: 30 y res: 60
	lower cutoff: 0,01 blend exponent: 50000 x res: 30 y res: 60

6.Táblázat – Próba mérési eredmények

A képek mindegyikén a vörös színű területekhez alacsony jelerősség, a zöld színűekhez közepes jelerősség, és az ibolya színűekhez kiváló jelerősség tartozik a képek alján látható színskála szerinti felosztásban.

Az első képen látható jelerősségi térkép elnyomja a kis kiterjedésű, de kiugró értékeket, így a lokális értékek elvesznek. Azonban ez a térkép jól közelíti azokat a jelerősségi viszonyokat, melyek akkor állnának fent, ha a kisebb tereptárgyak árnyékolása nem rontaná a jel terjedését.

A képeken látszik, hogy kisebb „blend exponent” értékek mellett az alkalmazás próbál a mért pontok körülötte területre vonatkozó értékekre is közelítést adni. Sajnos a bejárt útvonal geometriájából adódóan túl nagy a távolság a bejárt görbék egyes szakaszai között, így a köztes területek irányába az alkalmazás romló jelerősséghez tartozó jelet próbál közelíteni. Ebből adódik a 2. képen a nyomvonal széle felé irányuló romló jelerősséget mutató színátmenet. Ezen kép generálásakor levágásra kerültek a legrosszabb 20%-nyi jelerősséggel bíró területek. Ennek köszönhetően, nem csupán a rosszul közelített „üres” területekre vonatkozó alacsony jelerősség került eltávolításra, hanem a ténylegesen megmért jelszintek legrosszabb 20%-a is! Ebből adódik a 2. kép jobb oldalán a szakadás az útvonalban.

A harmadik jeltérképen a magas „blend exponent” érték miatt a jelértékekkel nem rendelkező területekre nem készült közelítés, az ábrázolt jelerősségi adatok kizárólag az útvonal mentén mért pontokon értelmezendők. Megfigyelhető, hogy ezen kép 1%-os „lower cutoff” mellett készült. Ez azért volt szükséges, mert a terület jelerősség értékkel nem rendelkező pontjaiban az alkalmazás 0 értékre állítja a feldolgozandó értékeket, így a kép minden olyan pontja, ahová nem tartozik mért érték vörös színűre színeződött volna.

Az alkalmazás beállításait minden jeltérkép készítése előtt az adott mérés körülményeinek és kívánalmainak megfelelően kell beállítani, hogy használható eredményt kapjunk!

A fenti térképeken észrevehető, hogy az útvonal és a jelerősséget tartalmazó képréteg is el van csúszva az épületek, utak, járdák műholdképen látható

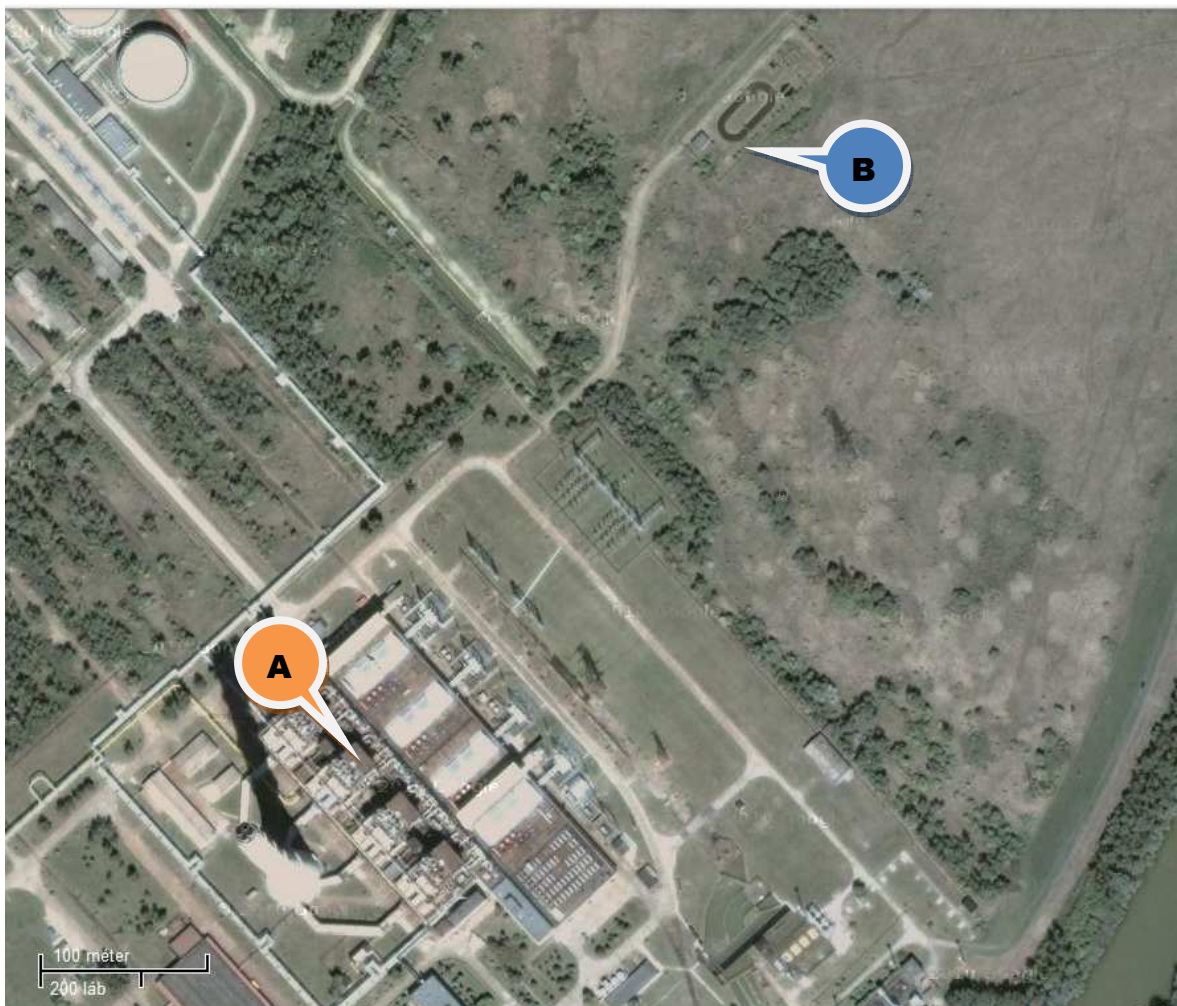
helyzetétől. Ez azonban nem a koordináták pontatlansága miatt van. A Google által megjelenített műholdkép van rosszul illesztve a valós koordinátákhoz! Sajnos ezzel nem lehet mit tenni, az egyetlen lehetőség az, ha az eredetileg helyes jelerősség réteget is a Google műholdképek eltolásának megfelelően eltoljuk a konvertáló program működése során. Ezt a konvertálás alatt az eltolás mértékének megfelelő kompenzáló mennyiség, lemért koordinátákhoz történő hozzáadásával tehetjük meg. Az eltolás mértéke folyamatosan változik a Google Maps műholdképeinek mentén! Ezt célszerű figyelembe venni a jeltérképek készítése során.

A fent említett nehézségek, pontatlanságok és a nem megfelelő beállítások alkalmazása akár az elkészült jeltérkép hiteltelenségéhez is vezethetnek. Ennek elkerülése érdekében célszerű a korábbiakban már említett, saját megjelenítő alkalmazás fejlesztése!

11. Éles használat

Az általam kidolgozott és megvalósított mérőrendszer éles használatára is sor került a Miskolci Egyetem Automatizálási és Kommunikáció-technológiai Tanszékén egy projekt keretében. Ezen projekt egyik célja a Tiszaújvárosban található AES-TISZA ERŐMŰ KFT részére történő mérések elvégzése, melyek segítséget nyújthatnak a későbbiekben egy külső területen található épület, valamint a hozzá tartozó érzékelők és a központi épület közötti rádió alapú kommunikációs kapcsolat kialakítására.

A helyszínt ábrázoló műholdkép (Google Maps) a 13. ábrán látható:



13. ábra – Mérési terület

A képen az „A” jelölő hegye mutatja, az erőmű 3-as blokkjának az épületét, melynek a tetején került elhelyezésre a fix mérőegység. Ennek a pontnak a

kiválasztásánál szerepet játszott, a magassága, melynek köszönhetően nagyobb távolságokra is biztosított a kellő optikai rálátás.

A fenti képen a „B” jelölő mutatja azt a külső területet, ahová a későbbiekben kommunikációs kapcsolatot kívánna a gyár kiépíteni, és amelyhez a jelerősség méréseket kell elvégezni. A későbbi képeken csak a B jelű terület lesz ábrázolva, a jobb láthatóság érdekében.

Az épület és a külső helyszín között körülbelül 400 méteres távolság húzódik. A korábbi próbamérések, melyeket az Egyetemváros területén végeztem, közel azonos távolságig történtek, így segítséget nyújtanak ezen mérések elvégzéséhez és kiértékeléséhez is.

A mérés során a korábbiakban említett és alkalmazott hardver-, valamint szoftvereszközök kerültek felhasználásra. Valamint ezen eszközök kiegészítésre kerültek XBee S2 2,4 GHz-es modulokkal.

A külső területen az első mérés alatt bejárt útvonalat a 14. ábra mutatja:

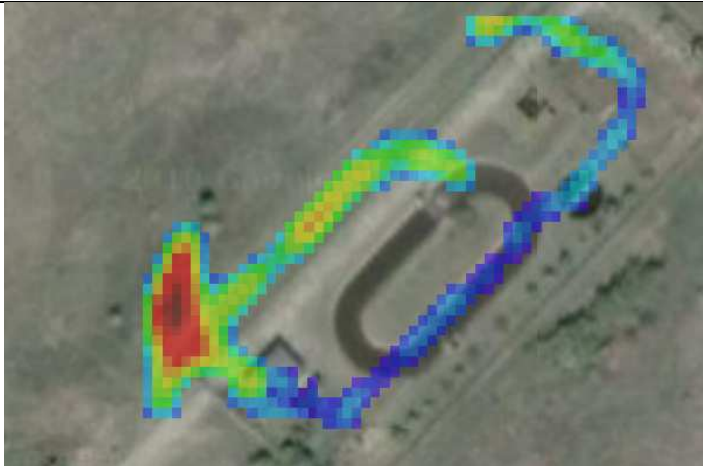


14. ábra – Erőmű területén bejárt útvonal

Az útvonal térkép elkészítéséhez szintén a <http://www.gpsvisualizer.com> oldal szolgáltatását vettem igénybe. Ezen a képen is megfigyelhető a valós koordináták és a műholdkép közötti elcsúszás.

A további mérések is ugyanezen útvonal mentén történtek, azonban a pontos pozícióban és bejárési sebességben kisebb eltérések lehetnek. Ezért a további mérésekhez az útvonalat nem, csak a mérési eredményeket, jelerősség térkép formájában fogom közölni.

A mérés során készült eredményeket szintén a <http://diffent.com/map/demo9.html> címen található online térképreteg készítő szolgáltatás segítségével jelenítettem meg. A mérési eredményeket a következő táblázat mutatja be:

Jelerősség térkép:	Paraméterek:
	XBee S5 PRO lower cutoff: 0,01 blend exponent: 720 x res: 40 y res: 40
	XBee S2 normál lower cutoff: 0,01 blend exponent: 720 x res: 40 y res: 40

7. táblázat – Mérési eredmények

A jeltérképeken alkalmazott színek a korábban, a próbamérés során bemutatott színeknek megfelelően jelölik a jelerősségi adatokat. Az első mérés során XBee S5 PRO modulok kerültek felhasználásra. A fix egységbe drót antennás, a mobil egységbe bot antennás változata került a moduloknak. A PRO változatnak a nagyobb adóteljesítménynek köszönhetően, valamint az S5 verziónak a 868 MHz-nek köszönhetően lényegesen nagyobb hatótávolsága van, mint a későbbiekben kipróbált 2,4 GHz-es normál változatoknak.

A második mérés normál XBee S2 típusú modulokkal készült. Ezen modulok bot antennával szerelve kerültek felhasználásra.

A fenti két mérés megjelenítése során ugyanazokat a beállításokat alkalmaztam. A különbség a két különböző modul típus segítségével készített vizsgálatok eredményei között igen szembetűnő.

A második esetben is sor került ugyanazon útvonal bejárására! Azonban az adatlapban is megadott kisebb hatótáv értékek a valóságban is megmutatkoztak. Itt csupán 4 értékelhető koordináta adat érkezett meg, melyek mellé a jelerősség adatokat már nem sikerült lekérdezni, mivel null értékkel tértek vissza a megfelelő függvények. A mérési eredmények alapján ezt a típusú modul és antenna kombináció későbbi kiépítését nem javasolnám!

Az első képen látható S5 PRO modulokkal végzett mérés eredménye igen biztató. Látható a képen egy vörös folt, mely gyenge jelerősséggel rendelkező területet jelez. Ez meglepő lehet, mivel közel azonos távolságban a fix ponthoz képest, a rossz értékkel rendelkező területtől jobbra kitűnő jelerősség értékek láthatóak. Ennek oka a teljes területet mutató műholdképen is látható erdősáv, mely az erőmű épülete és a külső mérési terület között helyezkedik el. Ebben a sávban magasabb facsoportok is találhatóak, melyek zavarják az optikai rálátást és így a jelterjedést is.

Véleményem szerint jelerősség és a kapcsolat folytonossága szempontjából megfelelő kommunikációs kapcsolatot lehet a későbbiekben teremteni az erőmű épülete és a külső helyszín között az XBee S5 modulok alkalmazásával.

12. További fejlesztési lehetőségek

Ez a témakör még rengeteg fejlesztési lehetőség nyújt a jelenleg használatban lévő és bemutatott mérőrendszerrel kapcsolatban.

A legfontosabb fejlesztési lehetőség egy saját megjelenítő felülettel történő bővítése az alkalmazásnak. Ennek köszönhetően függetlenedni lehetne más forrásból származó megjelenítő alkalmazásoktól. Ebből kifolyólag teljes mértékben testre lehetne szabni a megjelenítést, nem lennének ismeretlen részletek a megjelenítő működésének hátterében, a valóságnak jobban megfelelő, jobban értelmezhető jelerősség térképet lehetne készíteni. A megjelenítő eszköz biztos forrásból származna, továbbá a folyamatos rendelkezésre állás, karbantartás és támogatás is biztosított lenne hosszú távú használat során is.

Ennek kidolgozása azonban akár hosszabb időtartamot is felölelhetne, mivel több részletre is ügyelni kell. Ezek közé tartozik a megfelelő közelítő eljárás megtalálása, amelynek segítségével a mért értékkel nem rendelkező köztes területekre is megfelelő becslést lehet biztosítani. Továbbá meg kell találni azt az eljárást, amellyel megoldható a mérési pontokra történő háló illesztésére is. Ennek az eljárásnak az adott helyzethez alkalmazkodva kell a pontok hálózását végezni, a megfelelő végeredmény előállítása érdekében.

A fent bemutatott ZigBee alapú rendszert más hálózat típusokra is ki lehet terjeszteni a jövőben. WLAN-ra épülő jelerősség mérő és jeltérkép készítő alkalmazások már léteznek elfogadható áron. Azonban legtöbbjük között hardver kompatibilitási problémák merülnek fel. Továbbá nem tudnak kétoldali mérést végezni, csupán a számítógéphez csatlakozó WLAN eszközt használják a mérés folyamán. IWLAN-ra, Wireless HART-ra, Bluetooth-ra az eszközgyártók saját konfigurációs szoftvert kínálnak, amely tartalmazhat jelerősség mérőt is, azonban nem biztosítanak lehetőséget jelerősség térkép készítésére.

Ezen problémára megoldás lehet az általam bemutatott rendszer kiterjesztése, a gyártói konfigurációs alkalmazásokhoz történő API fejlesztésével. Ennek segítségével ugyanabban a jelerősség monitorozó és rögzítő programban

feldolgozhatóvá válnának más kommunikációs hálózatok jelerősségre vonatkozó adatai is. Továbbá meg kell oldani az adott hálózathoz tartozó megfelelő kommunikációs hardver egységek kiterjesztését GPS vevővel és a hozzá tartozó illesztő elemekkel. Úgy gondolom, hogy egy komolyabb rendszerbe történő beruházás esetén ez már nem jelenthet problémát.

További fejlesztési lehetőség lehet egy webes felületű alkalmazás létrehozása. Ennek köszönhetően bárholnan elérhető és használható lenne a mérő alkalmazás, ahol élő internetkapcsolat is elérhető.

Célszerű a kisebb, kompaktabb mérőeszközök létrehozásának irányában is fejlesztéseket tenni. Ennek köszönhetően a mérés elvégzése gyorsítható. Továbbá a mérőegységek megfelelő burkolását, védelmét is érdemes megoldani, hogy ellenállóbbak legyenek a környezeti behatásokkal szemben, legyen ez nedvesség, szélsőséges hőmérséklet, illetve mechanikai behatások.

13. Összefoglalás

A bemutatott kutató munka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

Dolgozatom készítése során törekedtem széleskörűen feltárni a jelerősség mérés témakörét. A mai modern eszközök adta lehetőségeket próbáltam megfelelően kombinálni és kihasználni, hogy egy összetett, de hatékony módszert dolgozzak ki a jelerősség mérésére. Úgy gondolom, hogy az általam bemutatott módszerek alkalmazásával gyorsabban és megbízhatóbban lehet jelerősség térképeket készíteni ipari és logisztikai rendszerek számára, melyet később eredményesen fel lehet használni ezen területeken.

Meg kell jegyeznem, hogy mérési eredményeim kizárólag a mérések elvégzése során fennálló környezeti viszonyok mellett értendők, a külső körülmények megváltozásával (például: eső, köd) nem garantált ezen mérés eredményeinek megismételhetősége.

Bízom benne, hogy munkámmal rávilágítottam az ebben a területben rejlő kihasználatlan lehetőségekre és irányt tudtam mutatni a további fejlesztésekkel kapcsolatban.

14. Irodalomjegyzék

- [1] <http://hu.wikipedia.org/wiki/GPS>
- [2] Robert Faludi: Building Wireless Sensor Networks, ISBN: 978-0-596-80773-3
- [3] <http://www.zigbee.org/>
- [4] <http://www.digi.com/>
- [5] <http://www.muszeroldal.hu/MMK/nr67/tomka.html>