



BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
MÉRÉSTECHNIKA ÉS INFORMÁCIÓS RENDSZEREK TANSZÉK

Helymeghatározás vezeték nélküli rádióhálózatokban

SZAKDOLGOZAT

Készítette
Németh Zsolt

Konzulens
Balogh László

2009. május 14.

HALLGATÓI NYILATKOZAT

Alulírott *Németh Zsolt*, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem 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, amelyet szó szerint, vagy azonos értelemben, de átfogalmazva más forrásból átvettem, egyértelműen, a forrás megadásával megjelöltem.

Tudomásul veszem, hogy az elkészült szakdolgozatban található eredményeket a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, a feladatot kiíró egyetemi intézmény saját céljaira felhasználhatja.

Budapest, 2009. május 14.

Németh Zsolt
hallgató

Tartalomjegyzék

Tartalomjegyzék	III
Kivonat	VII
Abstract	IX
Bevezető	1
1. Helymeghatározás	3
1.1. Bevezetés	3
1.2. A GPS	4
1.3. Beltéri lokalizáció	4
1.4. GSM lokalizáció	5
1.5. A GSM lokalizáció és a dolgozatban alkalmazásra kerülő beltéri lokalizáció összehasonlítása	5
1.6. Beltéri helyzetmeghatározás vett jelerősség-nagyság alapján	5
1.7. A rendszer fizikai felépítése	8
2. Irodalmi áttekintés	10
2.1. A beltéri lokalizációs rendszerek háttere	10
2.2. A beltéri helyzetmeghatározó rendszerek főbb komponensei	13
2.3. A beltéri helyzetmeghatározó rendszerek osztályozása	14
2.3.1. Érzékelési módszer alapján történő osztályozás	15
2.3.2. Mérési elv alapján történő osztályozás	16
2.3.3. Egyéb rendszertulajdonságok	18
2.4. Létező beltéri lokalizációs rendszerek áttekintése	18
2.4.1. Az Active Badge rendszer	18

2.4.2.	Az Active Bat rendszer	20
2.4.3.	A SpotON rendszer	21
2.4.4.	A Cricket rendszer	22
2.4.5.	A PinPoint 3D-iD rendszer	22
2.4.6.	Létező helymeghatározó rendszerek teljesítménybeli összehasonlítása	23
2.5.	Beltéri helyzetmeghatározás vezeték nélküli kommunikációs csatorna, és RSSI (Received Signal Strength Indicator) érték alkalmazásával	24
2.5.1.	Fingerprint érték	25
2.5.2.	Pozícióbecslő algoritmus	26
3.	A megvalósításhoz használható eszközök	29
3.1.	A digitális jelfeldolgozó processzorok	29
3.2.	A fejlesztőkörnyezet	30
3.3.	Az ADSP BF537 Blackfin processzor	30
3.3.1.	A DSP struktúrája, memóriakezelése	31
3.3.2.	Aritmetikai egység	31
3.4.	A VisualDSP++ fejlesztőkörnyezet	31
3.5.	A BF537 EZ-KIT Lite fejlesztőkártya	32
3.6.	A CC2420 IC	34
3.6.1.	Az IC felépítése	34
3.6.2.	A CC2420 IC mikrokontrollerhez vagy DSP-hez való csatlakoztatása	37
3.6.3.	A demodulátor	38
3.6.4.	RSSI detektálás	39
4.	Vezeték nélküli hálózati szabványok	41
4.1.	Az IEEE 802.15.4 vezeték nélküli hálózati protokoll	42
4.1.1.	A fizikai réteg	44
4.1.2.	Az adatkapcsolati réteg	45
4.2.	A ZigBee protokoll – rövid áttekintés	49
4.2.1.	A ZigBee eszközök	50
4.2.2.	Topológia	51
4.2.3.	A hálózati réteg	51
4.2.4.	Az alkalmazási réteg	52
4.2.5.	Összefoglalás	52

5. Eredmények	54
5.1. A hardveres és szoftveres megvalósítás áttekintése	54
5.2. Az adó és vevő csomópontok működése	56
5.3. Az RSSI tulajdonságai	57
5.4. A pozícióbecslés megvalósítása MATLAB környezetben	62
6. Továbbfejlesztési lehetőségek, összefoglalás	68
6.1. Továbbfejlesztési lehetőségek	68
6.2. Összefoglalás	69
Köszönetnyilvánítás	71
Függelék	73
F.1. Script.m fájl	73
F.2. Letrehoz.m fájl	74
F.3. Modify.m fájl	75
F.4. Corr.m fájl	75
F.5. Modifyback.m fájl	76
F.6. Abrazol.m fájl	76
Ábrák jegyzéke	80
Táblázatok jegyzéke	83
Irodalomjegyzék	85

Kivonat

Szakedolgozatomban egy olyan, épületen belül működő helymeghatározó rendszermodult tervezek meg, amely ebben a belső környezetben figyelni és meghatározni képes tárgyak jelenlétét és helyzetét. A helymeghatározás az IEEE 802.15.4 szabványban meghatározott Received Signal Strength Indicator (Vett Jelerősség Indikátor) értéken alapul. Ez az érték a csomópontok (node-ok) közötti kommunikáció minőségét határozza meg. Több fix helyzetű, vezeték nélküli kommunikációs csatornán keresztül adó csomópont térerősségjelét figyelve egy vevővel, a vett térerősség-jelek nagysága alapján meghatározható a vevő pozíciója.

A beltéri helymeghatározás, és a hozzá szükséges eszközök és az alkalmazott módszerek ismertetése után bemutatom a pozícióbecslés MATLAB programban írt megvalósítását.

Abstract

This thesis report describes a model for monitoring the presence and position of objects in an indoor environment. The localization is based on the Received Signal Strength Indicator, defined in IEEE 802.15.4 standard. This value determines the quality of the communication between nodes. By monitoring the RSSI value of fixed position transmitters, the receiver's position can be estimated using the received signal strength informations.

After introducing the indoor localization and the necessary methods and tools, I demonstrate the location estimation algorithm in MATLAB environment.

Bevezető

A földrajzi helyzet meghatározása régóta igénye az emberiségnek. Napjainkban, a számítástechnika rohamos fejlődése lehetővé teszi földrajzi helyzetünk nagyon pontos, valós idejű meghatározását. Az egyik legismertebb, mindenki által hozzáférhető megoldás a GPS rendszer használata. Sok helyen szükség van ugyanakkor épületeken belüli pozícióbecslésre, melyhez a GPS legtöbbször nem megfelelő, mivel a nagyfrekvenciás rádióhullám nem tud áthatolni a falakon és a talajon. Ezeken a fedett területeken a lokalizációt beltéri, úgynevezett indoor alkalmazásokkal oldhatjuk meg.

Számos beltéri helymeghatározó rendszert létezik napjainkban, amelyek többféle jelátvitelen alapulnak: rádióhullám, ultrahang, vagy infravörös hullám. Az egyik leggyakrabban alkalmazott megoldás a rádióhullámú jelek használata, azon belül pedig a vett jelerősség nagysága alapján történő lokalizáció. Több fix helyzetű, vezeték nélküli kommunikációs csatornán keresztül adó csomópont térerősség-jelét figyelve egy vevővel, a vett térerősség-jelek nagysága alapján meghatározható a vevő pozíciója.

Szakedzőzetemben a beltéri helyzetmeghatározás, a hozzá szükséges eszközök és alkalmazott módszerek ismertetése után bemutatom a készített pozícióbecslő algoritmus MATLAB programban írt megvalósítását.

Az 1. fejezetben ismertetem a helyzetmeghatározáshoz alkalmazott főbb módszereket, és a beltéri lokalizációt.

A 2. fejezetben bemutatom a beltéri pozícióbecslés részletes tulajdonságait, osztályozási lehetőségeit, és áttekintem a létező helymeghatározó alkalmazásokat.

A 3. fejezetben a lokalizáció megvalósítása során használható eszközökről, az ADSP Blackfin 537 fejlesztőkártyáról, és a CC2420 adó-vevő IC-ről számolok be.

A 4. fejezet a vezeték nélküli hálózati szabványok áttekintéséről, az IEEE 802.15.4 vezeték nélküli hálózati protokollról, és a ZigBee áttekintéséről szól.

Az 5. fejezetben bemutatom az eredményeket, az RSSI tulajdonságait, és a pozícióbecslő algoritmus MATLAB környezetben történő megvalósítását.

A 6. fejezet ismerteti a továbbfejlesztési lehetőségeket, és az összefoglalást.

1. fejezet

Helymeghatározás

1.1. Bevezetés

A földrajzi helyzet meghatározásának igénye az ember ősi történelmi korszakaiba vezethető vissza. A kezdeti időkben a tájékozódáshoz a fontosabb tereptárgyak (folyómedrek, sziklák, dombok), valamint az égi objektumok (fényesebb csillagok, Nap) szolgáltak alapul, a távolságot pedig általában a lépések megszámlálásával mérték.

Az ősi civilizációk igen magas szintre emelték az égi objektumok megfigyelésének technikáit, ma már például biztosak vagyunk benne, hogy Stonehenge szikláit is hasonló célokra használták. Az égi objektumok megfigyelése során szerzett ismereteket felhasználták térképek készítéséhez, tájékozódáshoz [5].

Az időszámításunk előtt 2000-ből származó, kínai eredetű iránytű európai elterjedése távoli földrészek meghódítását, és a tengeri kereskedelmet segítette.

A középkortól kezdve a helymeghatározáshoz szükséges technológiai fejlesztések motorja a tengeri navigáció volt. A fejlődés a 13. században indult meg, és a 16. századra az északi féltekén a földrajzi szélességet már igen pontosan képesek voltak meghatározni.

A földrajzi hosszúság már elfogadható pontosságú meghatározását a nagy precizitású kronométerek kifejlesztése tette lehetővé a 18. századtól kezdve.

A tengeri navigációval párhuzamosan a térképészet és a geodézia is folyamatosan fejlődött. Egyre pontosabb térképeket készítettek, a mindennapi életben egyre nagyobb lett az igény a mérések pontosságának növelésére.

A 20. század elejéig a hagyományos tengeri navigációs eszközök kielégítették a felhasználók igényeit, a légi navigáció azonban új megoldásokat követelt. Bár az iránytűket, magasságmérőket és sextánsokat továbbfejlesztették, és új sebességmérő eszközöket is kifejlesztettek, az alapvető újdonságot a rádiós iránymérés technológiájának bevezetése

jelentette. Az igazi mérföldkövet a helymeghatározás tudományában a műholdas helymeghatározás hozta.

1.2. A GPS

A műholdas globális helymeghatározó rendszer [3] (Global Positioning System, rövidítve GPS) egy olyan technológia, amellyel 3 dimenziós helymeghatározást, pontos idő-, és sebességmérést végezhetünk a föld bármely pontján, valós időben. Pontossága jellemzően méteres nagyságrendű, de differenciális módszerekkel nagyobb pontosságot is el lehet érni.

A helyzetmeghatározás 24 db műhold segítségével történik, melyek a Föld felszíne fölött 20 200 km-es magasságban keringenek, az Egyenlítővel 55° -os szöget bezáró pályán. Egy-egy műhold naponta körülbelül kétszer kerüli meg a Földet. Az égbolton sík terepen egyszerre 7-12 műhold látható, melyből a helymeghatározáshoz 3, a tengerszint feletti magasság méréséhez pedig további egy műhold szükséges. A GPS műholdak kétféle vízfrekvenciájú jelet sugároznak: 1575,42 MHz-es, és 1227,6 MHz-es jeleket.

A rendszer legfőbb hátránya, hogy csak nyílt, fedetlen területeken alkalmazható, alagutakban, épületek belsejében nem használható. A GPS vevők és a műholdak közötti kapcsolat ezeken a helyeken megszakad, mivel a nagyfrekvenciás elektromágneses hullám nem tud áthatolni a falakon és a talajon.

Ezekon a fedett területeken a helymeghatározást beltéri (indoor) lokalizációs módszerekkel oldhatjuk meg.

1.3. Beltéri lokalizáció

Számos beltéri (úgynevezett indoor) lokalizációs megoldás van, amelyek többféle megoldáson alapulnak: rádióhullámú, ultrahang, vagy infravörös jelátvitel. A megoldás kulcsa a legtöbb esetben a térerősség-információn alapuló helymeghatározás. Szakdolgozatomban egy, szintén térerősség-információn alapuló helymeghatározó rendszermodult fejleszték ki. Munkámban többek közt DSP-k (Digital Signal Processor), digitális jelfeldolgozó processzorok felhasználásával egy olyan hálózat kerül bemutatásra, mely alkalmas vezeték nélküli helymeghatározásra.

1.4. GSM lokalizáció

A nem GPS alapú lokalizációs megoldások egy része GSM-hálózatokbeli helymeghatározáshoz készült (Global System for Mobile communications) [6], [7].

Ezek lényege, hogy a mobiltelefon térerősség-információi alapján meghatározzuk a mobiltelefon pozícióját. Előnyük a GPS-hez képest, hogy beltérben is használhatók, nem szükséges nyílt terepen vagy kevéssé fedett területen tartózkodni a működéshez. Hátrányuk a meghatározás pontatlansága, mely az esetek többségében több 10 méteres, néha 100 méteres, de akár km-es nagyságrendű is lehet. További hátrány, hogy a helymeghatározáshoz kalibrálás, és előzetes mérések is szükségesek.

Nemrég a Google fejlesztette ki, és tette ingyenesen felhasználhatóvá a Google Latitude nevű programját [20], mely ingyenesen letölthető mobiltelefonunkra, és a Google Térképek szolgáltatással egybefűzve megmutatja helyünket, vagy akár barátaink helyét a térképen. A szolgáltatáshoz így nincs szükség GPS vevőegységre a mobilkészülékben.

1.5. A GSM lokalizáció és a dolgozatban alkalmazásra kerülő beltéri lokalizáció összehasonlítása

A dolgozatban bemutatásra kerülő vezeték nélküli helymeghatározó rendszerben az egységek közötti kommunikáció 802.15.4 szabvány szerint történik. Ez a fajta helymeghatározás pusztán fizikai tulajdonságokban különbözik a GSM alapú lokalizációtól, a pozicionálás elve a legtöbb esetben ugyanaz. GSM hálózatok esetén az adók az adótornyoknak, a vevők a mobilkészülékeknek tekinthetők, a dolgozatban bemutatásra kerülő rendszerben mikrokontrollerek az adók és a vevők is. Az egységek közötti kommunikáció tekintetében az előbbi rendszer a mobiltelefonálásban használt frekvenciákat és kommunikációs csatornát használja, míg az utóbbi rendszerben az egységek 2.4 GHz-en működő csatornán kommunikálnak egymással. A pozícióbecslés elve mindkét esetben térerősség alapú.

1.6. Beltéri helyzetmeghatározás vett jelerősség-nagyság alapján

A vett jelerősség nagyságán (RSS – Received Signal Strength) alapuló beltéri helyzetmeghatározás úgynevezett „location fingerprinting” módszeren alapul. A location fingerprinting olyan alkalmazásra utal, amely egy meghatározott hely és egy bármely, hozzá

kapcsolódó mérhető fizikai mennyiség kapcsolatát használja ki.

A vett jelerősség nagyságán alapuló helyzetmeghatározási alkalmazás a különböző helyeken mért RSS értékek nagysága alapján végzi a pozícióbecslést. A feladat megvalósításához a pozícióbecslés során a meghatározni kívánt összes helyen lemérjük a rádiójel térerősség-információit, az RSS értékeket, majd az adatokat bevisszük egy adatbázisba vagy táblázatba. A lokalizáció úgy történik, hogy egy ismeretlen helyen a vevővel meghatározzuk a térerősség-információkat, majd ezeket összehasonlítjuk az adatbázissal. A pozícióbecsléshez lefuttatunk egy algoritmust ezekre az értékekre, és meghatározzuk a vevő helyét.

Ez a fajta helymeghatározás minden esetben igényli az RSS értékek előzetes meghatározását az összes kívánt pontban. Az értékeket a rendszer telepítése előtt, manuálisan érdemes felvenni, a helyzet meghatározását pedig általában egy központi szerver, bázisállomás, vagy a felhasználó mobil eszköze végzi. A rendszer azokon az általános vezeték nélküli interfészekon kívül, melyek képesek mérni a vett jelerősség értékét, nem igényel semmilyen speciális hardverkiépítésű eszközt, így relatíve egyszerűen kiépíthető.

A kültéri, nem GPS alapú lokalizációs rendszerekkel ellentétben, melyek a beérkezési szögön (AOA – Angle Of Arrival), vagy a beérkezési idők különbségén (TDOA – Time Difference Of Arrival) alapuló módszereket is használhatják, a beltéri rendszerek különböző problémákba ütköznek ezeknek a módszereknek az alkalmazhatósága terén: rálátás hiányában, valamint a többszörös útvonalelérés lehetősége miatt a fent említett megoldások kevésbé hatékonyan vagy egyáltalán nem használhatók.

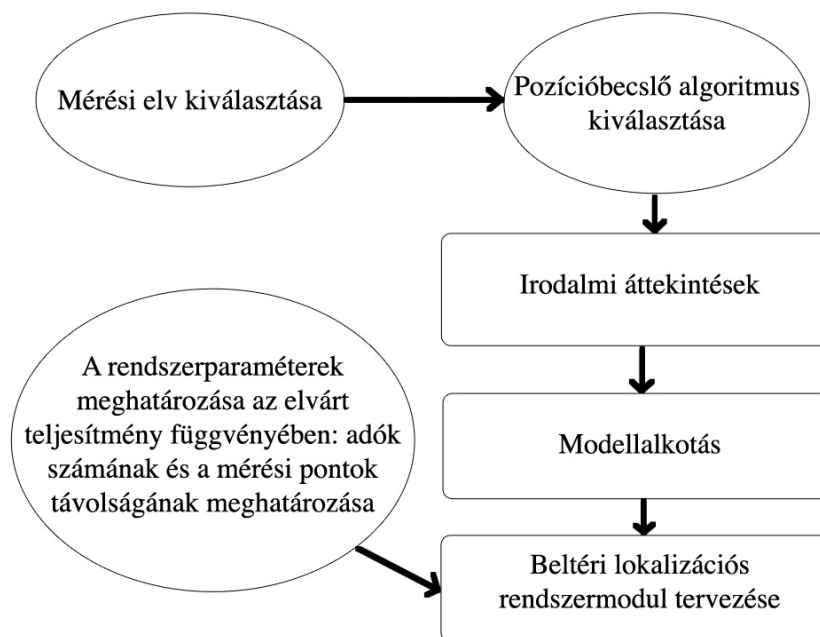
Az RSS értéken alapuló lokalizációs rendszert elég akár szoftveresen is kiépíteni, amennyiben már kiépített WLAN infrastruktúrával rendelkezik az adott épület, és annak használatára a pozícióbecslő rendszerhez lehetőség van. Ez a megoldás jelentős árcsökkenést és egyszerűsítéseket jelenthet, de kompromisszumokkal is jár, például a biztonság terén. Általánosságban, az RSS alapú lokalizációs rendszerek telepítése két fázisra osztható:

Először, az úgynevezett off-line fázisban, meghatározzuk azokat a helyeket, ahol az RSS értékekre szükségünk van. Ezután megmérjük az RSS értékeket mindegyik mérési pontra (rácspontokban felvesszük az értékeket), az összes elhelyezett adó által. A két legközelebbi mérési pont közti távolság nagyságát általában méterben adják meg. A mért RSS értékeket adatbázisba visszük, melyet rádiótérképnek (radio map) hívnak. Az egy pontban mért RSS értékek vektorát a mérési pont „location fingerprint” értékének nevezik.

Másodsor, az úgynevezett on-line fázisban, a helyzetmeghatározást igénylő mobil állomás elküldi az összes adó által küldött vett jelerősség-értékeket, tehát a mért jelerősség-vektort a bázisállomásnak. A bázisállomás egy helyzetmeghatározó algoritmus segítségével becsli a mobil állomás helyzetét, majd visszaküldi azt a mobil állomásnak, vagy továbbküldi azt egy igényelt alkalmazás számára. A pozícióbecsléshez használt leggyakoribb algoritmus az Euklideszi algoritmus, amely kiszámítja a vett jelerősség-vektor és az adatbázisban szereplő összes jelerősség-vektor euklideszi távolságait, és a legkisebb euklideszi távolságnak megfelelő térbeli pontot adja vissza a pozícióbecslés eredményeként.

A tervek és a részletes felépítés elkészítése előtt nem is érdemes az RSS értékek felmérése és adatbázisba vitele, hiszen bármely változtatás (például adó áthelyezése) megváltoztathatja az RSS értékeket. Amennyiben nem elég jó a rendszer teljesítménye, a javítás érdekében még több pontban érdemes felvenni a jelerősség-vektorokat. Elgondolkodtató kérdés, hány adó legyen, ezek hol legyenek elhelyezve, valamint mekkora legyen a távolság két mérési pont között a legjobb felbontás és a legjobb teljesítmény elérése érdekében. A rendszerparaméterek és a beállítások még mindig sok kérdést vetnek fel, kevés tanulmány foglalkozik az elméleti háttérrel [2].

A szakdolgozat felépítése az 1.1 ábrán látható.



1.1. ábra. A szakdolgozat felépítése

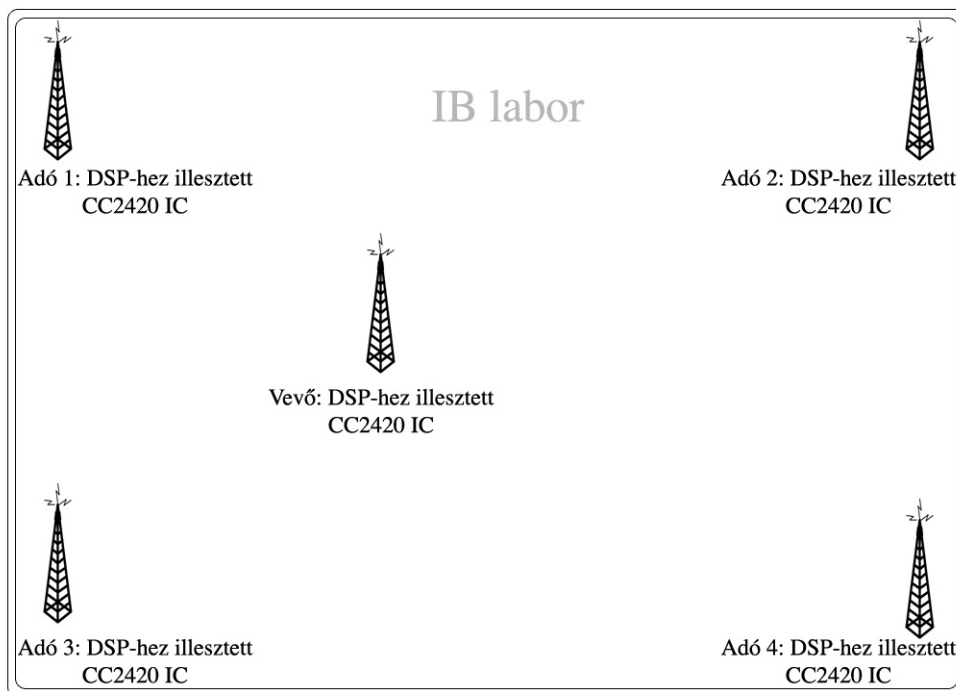
1.7. A rendszer fizikai felépítése

A helyzetmeghatározó rendszer fizikai működéséhez több DSP (Digital Signal Processor) digitális jelprocesszorra van szükség.

Az alapfelépítés az alábbi: Egy DSP-t kijelölünk vevőnek, a többi adó lesz. Az adókat egy helyiségben helyezük el, ezek vezeték nélküli kommunikációs csatornán keresztül egy meghatározott jelet sugároznak meghatározott sorrendben. A vevő IC-t pedig, melyet egy modullal a DSP-hez illesztünk, elhelyezzük bárhol a helyiségben. A vevő egység veszi az adók által sugárzott jeleket.

A feladat az adók elhelyezkedésének függvényében, a felvett térerősség-karakterisztika, és a vevő vett jeleinek térerősség-információi alapján a vevő helyének meghatározása. A vevő DSP-n futó alkalmazás feladata a vett jelekből a térerősség-információ kinyerése. Az IC egy modullal a DSP kártyához van csatlakoztatva, melyen a helymeghatározó és a kommunikációs alkalmazás fut.

Egy lehetséges elhelyezkedés az 1.2 ábrán látható.



1.2. ábra. Az eszközök elhelyezkedése

2. fejezet

Irodalmi áttekintés

2.1. A beltéri lokalizációs rendszerek háttere

A kültéri lokalizációs rendszerek sikerei, melyek a globális helymeghatározáson alapulnak (GPS), ösztönzőleg hatottak a beltéri lokalizációs rendszerek kutatására és fejlesztésére.

A GPS rendszer nem használható hatékonyan épületek belsejében – amikor az adott egységnek nincs rálátása legalább 3 GPS műholdra –, ezért más megoldások szükségesek a helymeghatározáshoz. A beltéri lokalizációs rendszerekben leginkább használatos technológiák: az infravörös, a rádiófrekvenciás, és az ultrahang tartománybeli jelek használata. Ezeknek az elektromágneses vagy longitudinális hullámú jeleknek a detektálásához különböző típusú szenzorok szükségesek.

Infravörös helymeghatározásra példa, amikor egy fotodiódát szenzorként használunk infravörös-tartománybeli jelek detektálására. Az érzékelő folyamat ezeket a jeleket A/D átalakítás után mikrokontroller segítségével mérhető értéktartományba konvertálja, mint hossz, vagy szög, amely értékek segítségével később helymeghatározás végezhető. Ezek a mért értékek egy pozícióbecslő algoritmuson kerülnek átfuttatásra.

Elektromágneses hullámok esetén a külső terekkel ellentétben egy beltéri környezet különböző kihívásokat jelent helymeghatározás szempontjából, mivel az elektromágneses jelek karakterisztikája erősen környezetfüggő. Az épületek anyagszerkezete és az épületekben található helyiségek és egységek nagymértékben befolyásolják az elektromágneses hullám terjedési tulajdonságait. A beltéri rádióhullám-terjedés alapos tanulmányozása elengedhetetlen egy pontos helymeghatározó rendszer fejlesztéséhez és tervezéséhez.

Napjainkban egyre több helyen találkozhatunk helyi vezeték nélküli hálózatokkal (WLAN-okkal – Wireless Local Area Network). Ezeket rendszerint egyéni felhasználók

vagy különböző szervezetek telepítik otthonaikban, munkahelyeinek, épületekben, vagy egyetemeken. A helyi vezeték nélküli hálózatok növekvő népszerűsége új lehetőséget teremt a helyzet-alapú szolgáltatások terén. A kiépített WLAN infrastruktúrák akár a beltéri helyzetmeghatározás eszközei is lehetnek, így nem szükséges külön eszközöket telepítenünk ezeken a helyeken. Ez az alternatíva jelentős költségcsökkenéssel járhat, hiszen a vezeték nélküli hálózati kártya, mely rendelkezik rádiófrekvenciás jelek adásának és vételének képességével, és a jelerősséget is mérni tudja, akár a szenzor egység szerepét is betöltheti rendszerünkben. A beltéri helyzetmeghatározó eszközök új, értékes szolgáltatásokat jelenthetnek a WLAN hálózatokban, melyek jelentős sikereket érhetnek el a jövőben.

A beltéri lokalizációhoz kapcsolódóan Pahlavan [15] felismerte, hogy ilyen jellegű, nagy pontosságú rendszerek kiépítéséhez elengedhetetlenül szükséges a beltéri rádióhullám-terjedés karakterisztikájának ismerete, tanulmányozása, hisz ez nagymértékben befolyásolja a rendszerek pontosságát. Szerinte egyfajta rendszerterv, megvalósítás terv mindenképp szükséges lenne, hogy ez a fajta növekvő és feltörekvő technológia sikereket érjen el.

Krishnamurthy [16] 4 szempontot emel ki, melyek szerinte a helymeghatározásban kiemelkedő fontosságúak: teljesítmény, ár és komplexitás, biztonság, valamint alkalmazás követelmények. Ezeket a szempontok a következőkben összefoglalásra kerülnek.

Teljesítmény

A legfontosabb ehhez kapcsolódó érték a helyzetinformáció pontossága. Ez a becsült helyzet és a valós helyzet hibáját jelenti. A teljesítményhez kapcsolódóan a sikeres helymeghatározások százalékos arányának, illetve a konfidencia-intervallum ismerete is fontos szempont.

Szintén ehhez a szemponthoz tartozó jelentős mértékek a helymeghatározó rendszer kapacitása, késleltetése, terhelhetősége, és lefedettsége.

A kapacitás-érték azt mutatja meg, hogy a rendszer egységnyi idő alatt hány helyzetbecslést tud véghezvinni.

A késleltetés-érték annak a mérőszáma, hogy mennyi idő telik el az információ érzékelése, és megjelenítése között.

Annak a területnek a nagyságát, amely területen a rendszer képes helyzetmeghatározásra, a lefedettség-érték határozza meg.

A terhelhetőség pedig azt mutatja meg, hogy mennyire működik hatékonyan a rendszer,

amennyiben a helyzetinformáció-kérések száma, és a felölelt terület nagysága számottevő. Ezek a teljesítményértékek nagyban függenek a választott érzékelési technológiától, a választott közegtől, a környezettől, a jelek sávszélességétől, a rendszer infrastruktúrájától, a helymeghatározó algoritmustól, és a jelfeldolgozó módszerek komplexitásától, melyeket a pozícióbecsléshez használunk.

Ár és komplexitás

A helyzetmeghatározó rendszer árát a szükséges extra eszközök költsége, a sávszélesség, a hibatolerancia, a megbízhatóság, és a felhasznált technológia költségei határozzák meg. Az ár tartalmazhatja a konfigurálás és a telepítési időszak alatti vizsgálatok és ellenőrzések költségeit is. Amennyiben a helymeghatározó rendszer egy már létező, kiépített kommunikációs infrastruktúrát használ, az eszközök, és a sávszélesség egyes részeinek költségei megspórolhatók. Akár a már létező kommunikációs jelek is használhatók helyzetmeghatározásra.

Mihelyt működik a rendszer, az egyes egységek áramfogyasztása is kiadásokat jelent. A jelfeldolgozási és helyzetmeghatározási algoritmus komplexitása közvetlen kapcsolatban van a rendszer teljesítményével. A pontosság és a komplexitás tipikusan szoros kapcsolatban állnak egymással, és a költségekkel. Általánosságban elmondható, hogy minél pontosabb rendszert szeretnénk kiépíteni, a költségek annál nagyobbak lesznek.

Alkalmazás követelmények

A helyzetmeghatározás főbb paraméterei a részletesség, a teljesítmény, és a hozzáférhetőség. Ezek a követelmények erősen alkalmazásfüggők.

A részletesség a helyzetinformáció részletességi szintjét jelenti.

A teljesítménybeli követelmények a fent tárgyalt teljesítmény-szemponatok egy megvalósítását jelentik. Lehet, hogy egy szolgáltatás nem igényel nagy pontosságot, de a kis válaszidő nagyon fontos.

Végül, a helyzetinformáció különböző egységeknél kérhető a vezeték nélküli hálózatban, akár a vevőegységnél, akár az egyik csomópontnál, amely a hálózatba van kötve. Ez jelenti az alkalmazás felhasználhatóságát. A felhasználhatóságra példa, amikor a helyzetmeghatározás információit egy központi szerveren érhetjük el egy hálózatban. Annak a modulnak alapján, amely a helymeghatározást végzi, kétféle beltéri helyzetmeghatározást különböztetünk meg: saját helyzetmeghatározást, és táv-helyzetmeghatározást.

A lokalizációs rendszerek kialakításakor ezenkívül figyelembe kell venni még többféle korlátozó tényezőt is, például az egységek akkumulátorának élettartamát.

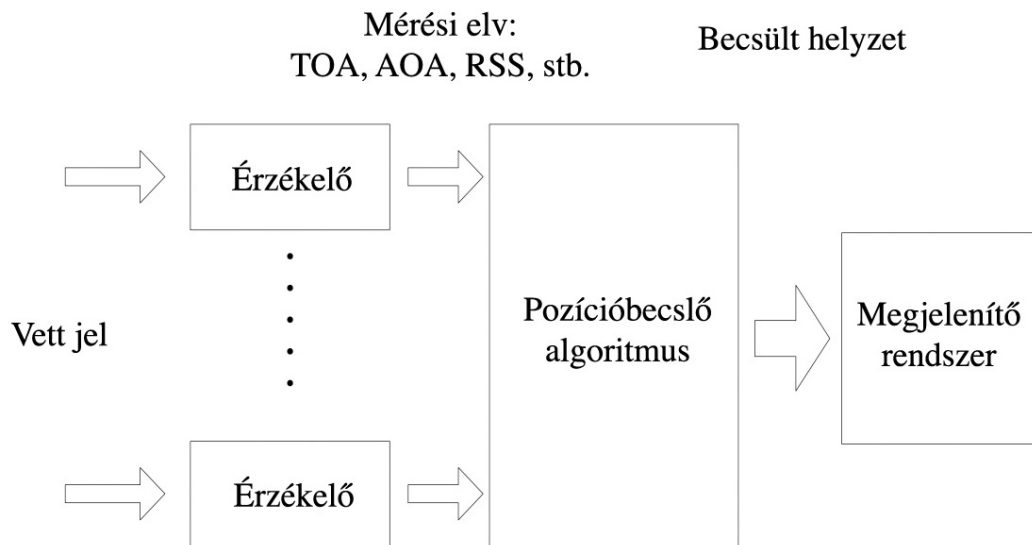
Biztonság

A rendszer biztonságossága főként abban áll, hogy a helyzetinformáció csak azok számára legyen hozzáférhető, akiknek van rá felhatalmazásuk. Ez a kérdés főként azokat a felhasználókat érinti, akik nem akarják, hogy a pozíciójuk idegenek számára meghatározható legyen, vagy a felhasználó útvonala követhető legyen. A biztonság szoros kapcsolatban áll a helyzetmeghatározás módjával, és az adott alkalmazás típusával. Egy GPS-hez hasonló rendszer, amelyben minden GPS vevő saját maga számítja a pozícióját a GPS műholdak adataiból, biztonságos a felhasználója számára. Másrésztől biztonsági megoldások nélkül egy helyzetkövető alkalmazás nem nyújt védelmet idegen hozzáférési kísérletek megakadályozására, így az feltörhető. Ezért fontos, hogy a lokalizációs rendszer beágyazott biztonsági protokollal legyen ellátva, a helyzetinformációt megvédendő. Az alkalmazás biztonságát nagymértékben korlátozza a helyzetérzékelés módszere. Például egy olyan helyzetmeghatározó rendszer, amely erre a célra már meglévő kommunikációs csatornákat használ fel, természetéből eredően nem nyújt teljes biztonságot a felhasználónak.

2.2. A beltéri helyzetmeghatározó rendszerek főbb komponensei

Pahlavan [15] egy alapvető blokkdiagramot javasolt vezeték nélküli helyzetmeghatározó rendszerekhez. Ez a blokkdiagram számos helyzetérzékelő eszközt, egy helyzetmeghatározó algoritmust, és egy megjelenítő rendszert tartalmaz. A 2.1 ábra ezeket a komponenseket, és ezek kapcsolatát szemlélteti.

Először a helyzetérzékelő eszközök az alkalmazott érzékelési módszerrel detektálják a sugárzott jeleket. A közvetített jelek legtöbbször rádiófrekvenciás, infravörös-tartománybeli, vagy ultrahang-tartománybeli hullámok. Az érzékelési módszer – amely időn, iránymérésen (szög mérésen), frekvencia-, vagy jelerősség-mérésen alapul – a megfelelő értéktartományba konvertálja az érzékelt jelet. Ezek az értékek az érkezés ideje (time of arrival – TOA), a beérkezés szöge (angle of arrival – AOA), a vivő aktuális fázisa beérkezéskor (phase of arrival – POA), és a vett jel erősségének értéke (received signal strength – RSS)



2.1. ábra. A helyzetmeghatározó rendszer blokkdiagramja

lehetnek. Egy referenciapont megadása után a vevőállomás relatív helyzete meghatározható ettől a ponttól a távolság vagy az irány számításával. A jelekről egy karakterisztika is felvehető (például RSS esetén), és a helymeghatározás alapjául ez a karakterisztika is szolgálhat.

Ezt követően a helymeghatározó algoritmus feldolgozza a mért értékeket, és megbecsüli a pozíciót. Pozícióbecslésre többféle módszer, algoritmus használatos: a becslés történhet távolság-alapú módszerrel, várható érték módszerrel, vagy akár neurális hálóval is.

Végül a megjelenítő rendszer a végfelhasználó számára alkalmas formába konvertálja a helyzetinformációt, és megjeleníti azt.

2.3. A beltéri helyzetmeghatározó rendszerek osztályozása

A beltéri lokalizációs rendszerek az alkalmazott érzékelési módszer, a mérés elve, vagy a különböző rendszertulajdonságok alapján osztályozhatók [1], [2]. Az érzékelési technológia a szenzorok által használt jelek típusára utal, a mérés elve pedig az alkalmazott elv típusára.

2.3.1. Érzékelési módszer alapján történő osztályozás

Mindegyik érzékelési típusnak megvannak a maga sajátosságai és korlátai. A jelek térbeli eloszlását, karakterisztikáit nagymértékben befolyásolják a törési, elhajlási, szóródási, késleltetési tulajdonságok. A technológia korlátok alatt itt a hatósugarat, a rendelkezésre álló sáv szélességet, az interferenciát, a rendelkezésre álló energiaforrásokat, és az árat értjük.

A beltéri vezeték nélküli helymeghatározáshoz használt főbb átviteli módok az infravörös, a rádióhullám, és az ultrahang tartománybeli jelek használata. Ezekon kívül lehetséges még lézeres mérésen, környezetanalízisen, és tehetetlenségi értékeken alapuló rendszerek kiépítése is. Az alkalmazott három fő technológia leírása:

Az infravörös átvitel

Az infravörös tartománybeli jelek olyan elektromágneses hullámok, melyek hullámhossza nagyobb a látható fény hullámhosszánál, viszont kisebb a rádióhullámokénál. Az infravörös tartomány kevéssel az emberi szem által látható frekvenciaspektrum alatt helyezkedik el, ezeket a hullámokat főként meleg testek bocsátják ki. Sokféle tárgy és élőlény, mint az emberek, vagy járművek motorjai bocsátanak ki hőt, melyek ebben a tartományban érzékelhetők. Az infravörös hullám nem tud áthatolni a falakon vagy építményeken, ez a tulajdonsága erősen lekorlátozza az elérhető működési tartományt. Az infravörös hullám terjedési sebessége jó közelítéssel megegyezik az elektromágneses hullámok vákuumbeli terjedési sebességével, amely $3 \cdot 10^8$ m/s. Ez a fajta érzékelés kifinomultabb és bonyolultabb áramköri kapcsolásokat igényel, mint az ultrahangos érzékelési módszer. A beltéri világítás interferálása ezzel a fajta jeltípussal számottevő problémát jelent a pontos helymeghatározásban.

Az infravörös érzékelés hatótávolsága körülbelül 5 méter. A használt eszközök általában kis méretűek, az ultrahangos eszközökhöz hasonlóan.

Rádióhullámú jelek

Mivel az itt alkalmazott rádióhullámú jelek áthatolnak a legtöbb falon és épületen belüli akadályon, hatótávolság szempontjából előnyt jelentenek az infravörös átvitelhez képest. A jel terjedési sebesség itt is nagyjából megegyezik az elektromágneses hullám vákuumbeli terjedési sebességével, amely $3 \cdot 10^8$ m/s.

A rádióhullámú jelátvitel megvalósítására több szabadon felhasználható frekvenciasáv is rendelkezésre áll. Ez a jel típus a legnagyobb hatótávolságú a három tárgyalt módszer közül. Az egyik tipikusan alkalmazott frekvencia 2.4 GHz.

Ultrahangos érzékelés

Bár az ultrahang tartománybeli kommunikációs módszer a másik két típushoz képest alacsony frekvenciatartományban üzemel (tipikusan 40 kHz-en), a pozíció-meghatározásban mégis igen jó pontosság érhető el. A terjedési sebesség a hang terjedési sebessége (343 m/s). Az ultrahangos eszközök előnye egyszerűségükben és alacsony árukban rejlik. Az ultrahang jel nem hatol át a falakon, és visszaverődik a legtöbb beltéri akadályon.

A hatótávolság általában 3 és 10 méter közé tehető, a távolságmérés felbontása pedig igen jó (1 cm). Az ultrahangos érzékelés másik hátránya, hogy a környezeti hőmérséklet is befolyásolja az átvitelt.

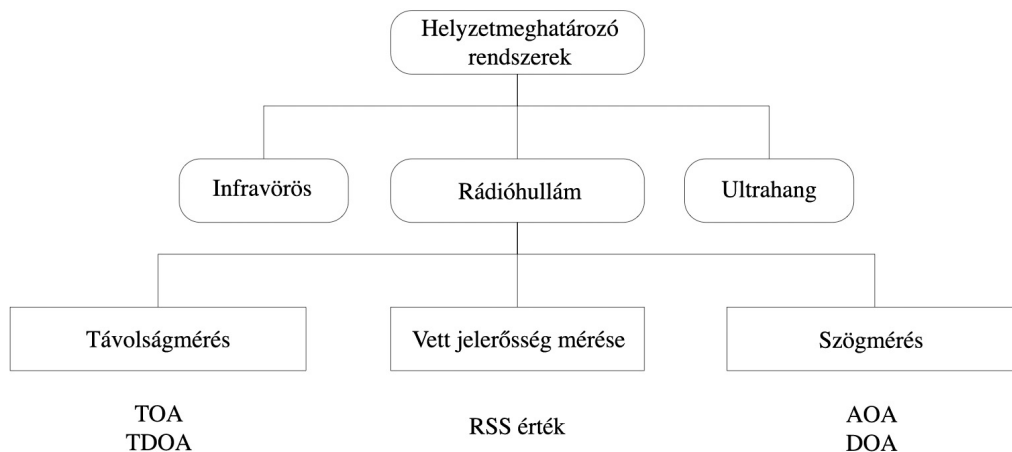
2.3.2. Mérési elv alapján történő osztályozás

Az érzékelési módszeren túl a vezeték nélküli lokalizációs rendszerek a mérési elv alapján is osztályozhatók. Napjainkban legtöbbször három különböző mérési elv használatos pozícióbecslésre: a távolságmérés módszere (mely a jelterjedési időből számítható, és két alkategóriára oszlik: az jel megérkezésének ideje (TOA), valamint a jelek megérkezésének időkülönbsége (TDOA)), a szögmérésen (AOA) alapuló módszer, és a vett jelerősség nagyságán (RSS) alapuló módszer.

A helyzetmeghatározáshoz természetesen ezek tetszőleges kombinációja is használható. A 2.2 ábra a mérési elv és az alkalmazott érzékelési módszer alapján történő osztályozás kapcsolatát szemlélteti.

A távolságmérés és a szögmérés a háromszögelés módszerének alkategóriái. Ezek a főbb kategóriákon túl környezetanalízisen, közelségen, és más nem geometriai jellegű módszereken, például hőmérsékleten alapuló mérések is lehetségesek. A közelségen alapuló becslés például egy, a mérendő helyhez közeli ismert helyzetet használ a távolság meghatározásához, míg a környezetanalízis a környezeti sajátosságok megfigyeléséből következtet a pozícióra. A távolságmérés esetén a távolság a jelerősség csillapodásának mértékéből, vagy a terjedési sebességen alapuló késleltetési időből számítható.

Ezt a két módszert széles körben kutatják kültéri helyzetmeghatározási területeken is. Kültéren a rendszerek megfelelően működnek, amennyiben az adónak közvetlen rálátása van a vevőre, de még itt is több probléma lép fel. A más rádiócsatornák által okozott zaj,



2.2. ábra. A helyzetmeghatározó rendszerek osztályozása

az interferencia, és a többszörös útvonalelérés komplex számításokat igényelnek. Beltérben az egyik legfőbb problémát a jel tárgyakon való szóródása és visszaverődése jelenti. Itt az adó és a vevő közti távolság is lényegesen kisebb, így csökken az adás és a vétel közt eltelt idő, és annak felbontása is. Ennek következtében beltérben nem használhatóak hatékonyan a szögmérésen (AOA), és az időbeli különbségmérésen (TDOA) alapuló megoldások. A jelerősség csökkenésének mérésén alapuló módszer egyszerűségénél fogva sokkal népszerűbb lett ezeken a helyeken. A mérési elvek az alábbiakban ismertetésre kerülnek.

Szögmérés

A beérkezési szög (AOA) vagy a beérkezési irány (direction of arrival – DOA) mérése lehetővé teszi a helyzet meghatározását. Kétdimenziós területen több referenciapont felvétele is szükséges a pozícióbecsléshez, mely a mért beérkezési szögek által lehetségessé vált helyzetek metszéspontjainak számításával történik. A módszer pontossága az árnyékolás és a tükröződések miatt korlátozott.

Távolságmérés jelterjedési idő alapján

Az érkezés idejének (TOA) és az érkezési idők különbségének (TDOA) mérésének módszerei pontosságukat tekintve javarészt attól függenek, hogy mennyire pontosan tudjuk megmérni a jel adótól vevőig való terjedésének idejét. Ezeknél a rendszereknél a

nagy pontosságú szinkronizáció kiemelkedő fontosságú, ezért igen nagy pontosságú órák szükségesek. Három referenciaponttól való távolság meghatározásával, a háromszögelés módszerével a vevő pozíciója meghatározható.

Vett jelerősség nagyságán alapuló helyzetmeghatározás (úgynevezett fingerprinting)

Ez a módszer a vett jelerősség nagyságának (RSS) mérését veszi a lokalizáció alapjául. A vevő helyzetének meghatározásához az RSS értékek részletes felvétele szükséges a kívánt tartomány pontjain, majd ezek az értékek egy adatbázisba kerülnek. A helyzetmeghatározáshoz a mért értékekhez valamilyen értelemben vett legközelebbi találatot kell megkeresni az adatbázisban. Ez a módszer nem igényli legalább 3 bázisállomás használatát. Hátránya, hogy nagyon időigényes a részletes adatgyűjtés nagyobb kiterjedésű területeken (például kültereken), és a gyűjtött adatok pontossága csökken a környezet változtatásával, akár az újramérés is szükséges lehet.

2.3.3. Egyéb rendszertulajdonságok

A beltéri lokalizációs rendszerek a rendszer egyéb tulajdonságai alapján is osztályozhatók. A 2.1 táblázat ezeket a tulajdonságokat mutatja be [9] alapján. Ezek a tulajdonságok lehetőséget nyújtanak a pozícióbecslő rendszerek értékelésére, és a kategorizálás alapjául is szolgálhatnak.

2.4. Létező beltéri lokalizációs rendszerek áttekintése

Ebben a fejezetben áttekintünk néhány létező helyzetmeghatározó rendszert. Az áttekintés alapjául a [8], [9], [2] szolgál.

2.4.1. Az Active Badge rendszer

Az Active Badge lokalizációs rendszer egyike az első generációs beltéri helyzetmeghatározó rendszereknek. A rendszerben minden személy, akinek a helyzetét meg szeretnének határozni, egy kis infravörös jeladót visel, mely a 2.3 ábrán látható.

A jeladó egy egyedi azonosító jelet sugároz alapértelmezésben 10 másodpercenként. Ezeket az adatokat egy központi szerver gyűjti össze az épületen belül fix elhelyezkedésű infravörös szenzorokból. A helyzet meghatározása a jeladók és az infravörös szenzorok

Tulajdonság	Leírás
Fizikai vagy szimbolikus pozíció	<ul style="list-style-type: none"> - a fizikai pozíció koordinátákat ad meg, mint: szélesség, hosszúság, magasság - a szimbolikus hely ismert tárgytól való távolságon alapul
Abszolút vagy relatív referencia	<ul style="list-style-type: none"> - az abszolút referenciát használó rendszerek egységes referenciarácsot használnak - a relatív referenciát alkalmazó rendszerekben minden egységnek saját referenciarácsa van
Távoli vagy helyi számítások	<ul style="list-style-type: none"> - távoli számításokat végző rendszerek esetén a vevőállomás pozíciójának becslése egy távoli szerveren történik. Ezeket a rendszereket hálózat-alapú rendszereknek is nevezik. - helyi rendszerek esetén minden rendszer saját maga végez helymeghatározást
Felismerési lehetőség	<ul style="list-style-type: none"> - néhány helymeghatározó rendszer biztosít felismerési lehetőséget, melynek segítségével a lokalizált objektumok osztályozhatók vagy azonosíthatók, például minden egységnek saját ID-je vagy neve van
Pontosság	<ul style="list-style-type: none"> - a pontosság 2 tulajdonság kifejezésére szolgál: - a helyzet pontossága a becsült és a valós helyzet közti különbség nagyságát fejezi ki, mértékegysége általában méter - százalékban fejezi ki a helyes pozícióbecslések arányát megadott maximális pontatlanság mellett
Költség	<ul style="list-style-type: none"> - a rendszer költségei a telepítési, kiépítési, működtetési, ellenőrzési és karbantartási költségeket jelentik
Idő	<ul style="list-style-type: none"> - a rendszer telepítési idejét, vagy a pozícióbecslés idejét jelenti
Átalakíthatóság	<ul style="list-style-type: none"> - az átalakíthatóság jelentheti a lokalizációs rendszer térbeli, komplexitásbeli, felosztásbeli, vagy frekvenciaabeli átalakíthatóságát
Biztonság	<ul style="list-style-type: none"> - biztonsági alkalmazások kialakításával a lokalizációs rendszerhez való jogosulatlan hozzáférések akadályozhatók meg
Adatvédelem (privacy)	<ul style="list-style-type: none"> - segítségével biztosítható a felhasználók anonimitása

2.1. táblázat. Egyéb rendszertulajdonságok



2.3. ábra. Bázisállomás és egy jeladó

közelségén alapul, ezért a helyzetinformáció pontossága körülbelül egy szobányi területre terjed ki. A rendszer hatótávolsága korlátozott, továbbá az infravörös jelek interferenciája számottevő a napsugárral, valamint a fluoreszkáló fénnel. Az Active Badge rendszer abszolút helyzetinformációt szolgáltat, a jeladó helyzete pedig szimbolikus: például a szoba, amelyben a jeladó elhelyezkedik.

2.4.2. Az Active Bat rendszer

Az Active Bat lokalizációs rendszer növeli az Active Badge által nyújtott pontosságot azáltal, hogy mind rádiófrekvenciás, mind ultrahangos jeleket is használ. A távolság mérése az alapján történik, hogy az ultrahangos jel mennyi idő alatt ér az adótól a vevőig. A helymeghatározó rendszer több, plafonra szerelt vevőből áll, a felhasználók pedig úgynevezett Active Bat eszközöket viselnek. A működés a következő: egy központi kontroller rádiófrekvenciás jelet sugároz, melyre válaszol a Bat eszközök egy ultrahang tartománybeli jelet bocsátanak ki, és a plafonra szerelt ultrahangos érzékelők ezt érzékelik. A központi kontroller a rádiófrekvenciás jellel egy időben szinkronizáló reset jelet is küld a plafonon lévő érzékelők felé. Az érzékelők, melyek vezetékes hálózaton keresztül össze vannak kötve a központi kontrollerrel, az ultrahangos jel érzékelése után távolságot számítanak a reset jel és az ultrahangos jel érkezése közt eltelt idő alapján, az ultrahang jel ismert terjedési sebességéből. A számított távolságokból ezután a központi kontroller kiszámítja a Bat helyzetét. A rendszer, melyet 1999-ben mutattak be, igen meggyőző pontossággal működik: a mérések 95%-ában 9 cm-en belül van a pozícióbecslés pontossága. Ez a fajta helymeghatározási módszer sok szenzor elhelyezését igényli végig a plafonon, és különösen érzékeny a szenzorok elhelyezésének pontosságára. Így az Active Bat rendszer

hátrányaként a telepítés nehézsége és a viszonylag magas költségek említhetők.

2.4.3. A SpotON rendszer

A SpotON [10] egy úgynevezett ad-hoc lokalizációs rendszer. Ad-hoc lokalizációs rendszereknek azokat a rendszereket nevezzük, amelyekben minden egyes egyed (entitás, eszköz) ugyanazokkal a tulajdonságokkal rendelkezik: ugyanazokat a szenzorokat tartalmazzák, és ugyanazok a képességeik. Ezekben a rendszerekben a helyzet meghatározásához mindegyik eszköz együttműködik a hozzá közeli eszközökkel, és megosztják egymással adataikat a mérési hibák csökkentése érdekében. Ezáltal az ad-hoc eszközök egy-egy csoportjának, klaszterének összes tagja egyre jobb pontossággal tudja meghatározni az összes többi szomszédos egység helyzetét.

A SpotON rendszer szintén a távolság meghatározásával végez helymeghatározást, viszont ebben az esetben a távolság számítása a vett jelerősség csillapodásának mértékéből kerül kiszámításra, nem pedig a jelterjedési időből. A SpotON eszközök egymástól való távolságot mérnek, nem pedig egy ismert helyzetű szenzortól vagy bázisállomástól való távolságot. Az eszközök a mérési eredmények közötti korrelációt használják ki a pontosság növeléséhez. A 2.4 ábrán egy SpotON egység látható.



2.4. ábra. SpotON egység

A nem fix elrendezésű érzékelőrendszer nagy előnye a könnyű átalakíthatóság, és az alacsonyabb költségek. Napjainkban egyre több rendszer használja ki az ad-hoc koncepció előnyeit: nagyobb pontosság és alacsonyabb költségek. Az ad-hoc megközelítés például az Active Bat rendszerekben is használható lenne. Amennyiben a felhasználók által

hordott Bat eszközök ultrahangos jeleit nem csak a plafonra szerelt érzékelők vennék, hanem a többi Bat eszköz is, és ezek is végeznének egymástól való távolság-meghatározást, a pontosság tovább nőhetne.

2.4.4. A Cricket rendszer

A Cricket helyzetmeghatározó rendszert négy cél kitűzésével tervezték: adatvédelem, decentralizáció, alacsony ár, pontosság tekintetében pedig az a körülmény, hogy a pozícióbecslés eredménye egy pár négyzetméteres terület legyen. A rendszerben nincs központi szerver, ezért a lokalizáció számításának feladata a mobil állomásra hárul. A Cricket rádiófrekvenciás és ultrahang jeleket is használ. A vevők az adók által kibocsátott ultrahangos jeleket érzékelik, ezek alapján a vett jelek érkezési idejeinek különbségével (TDOA) határozzák meg helyüket, míg a rádiófrekvenciás jeleket szinkronizálásra és az ultrahang jelek periódusainak azonosítására használják. Minden szobában van egy rádiófrekvenciás adó, amely az egyedi azonosítóval ellátott rádiófrekvenciás jeleket sugározza az adott szoba számára. Így a rádiófrekvenciás csomag előtt vagy után érkezett ultrahang jeleket (például visszaverődő jeleket) a vevők figyelmen kívül hagyhatják. A Cricket hátránya, hogy a rádiófrekvencián sugárzott egyedi azonosító jelek interferálhatnak egymással, amely két szoba közt keveredést okozhat. A Cricket pontossága sokkal kisebb, mint az Active Bat rendszeré: körülbelül 2 négyzetméteres területre terjed ki, míg az Active Bat pontossága 9 cm. Nagy előnyei viszont az adatvédelem, a könnyű átalakíthatóság, valamint a viszonylag alacsony költségek.

2.4.5. A PinPoint 3D-iD rendszer

A PinPoint 3D-iD beltéri helyzetmeghatározó rendszer egy rádiófrekvencián működő kereskedelmi termék. A helyzet meghatározásához több, ismert pozíciójú adó sugároz folyamatosan jelet. Mihelyt a vevő vette a jelet, azonnal visszasugározza azt egy másik rádiófrekvencián, kódolva azt a saját azonosítójával. Egy rendszerirányító egység kiszámítja a távolságokat az RF jelek körbeérkezési ideje alapján, és pozícióbecslést végez. Az adók által sugárzott jelek szórt spektrumú, 2.4 GHz-es rádiófrekvenciás jelek 40 MHz sávzélességgel, míg a vevők által visszasugárzott jelek frekvenciája 5.78 GHz. A PinPoint 3D-iD rendszer hatótávolsága 30 méter, pontossága 1 és 3 méter között alakul. A rendszer hátránya, hogy sok adót igényel épületenként, az eszközök pedig drágák.

Ezeknek az úttörő rendszereknek megvannak a maguk korlátai: az infravörös és az ult-

rahang tartománybeli jelek nem tudnak áthatolni a falakon és a plafonokon, melyek a legtöbb épületben természetesen megtalálhatók. A szenzorhálózat kiépítésének és használatának költségei jelentőssé válnak egy nagyobb épület esetén, melyben sok kis szoba vagy iroda van. Egyik rendszer sem alkalmazta a beérkezési szögön (AOA) vagy a beérkezési irányon (DOA) alapuló helyzetmeghatározást, a visszaverődések és a tükröződések miatt létrejövő többszörös útvonalelérés lehetősége miatt. Mindegyik rendszer empirikusan bizonyította a sikerét, teljesítményüket és kialakításukat tekintve több elméleti magyarázatban is hiányt szenvednek [2].

2.4.6. Létező helymeghatározó rendszerek teljesítménybeli összehasonlítása

A 2.2 és a 2.3 táblázat bemutatja és összegzi azokat a már létező beltéri lokalizációs rendszereket, melyek a helymeghatározást a vett jelerősség nagyságának alapján (fingerprinting) végzik. Mindegyik rendszer IEEE 802.11 szabvány szerinti WLAN hálózatot használ. A rendszerek legfőbb tulajdonsága a pozíció-meghatározás pontossága, ez legtöbbször a valós és a becsült pozíció egymástól mért távolságát, tehát a távolságmérés hibáját jelenti. A pontosság kifejezéséhez a sikeres helymeghatározások százalékos aránya is megadható egy adott maximális pontatlanság mellett. A rendszerek paramétereit a 2.2 táblázat mutatja be, míg a 2.3 táblázat a legjobb elérhető teljesítményeket szemlélteti.

Rendszer	Felbontás (m)	Pozíciók	Adók száma	Környezet
RADAR	Nem egységes	70	3	folyosó
Saha	3	19	3	egy szint
Roos	2	155	10	egy szint
Battiti	N/A	257	6	egy szint
Ladd	3	11	5	folyosó
Prasithsangaree	1.5, 3	60	2-7	egy szint
Youssef	1.5	110	4	folyosó
Xiang	N/A	100	5	egy szint

2.2. táblázat. Lokalizációs rendszerek összehasonlítása

Bár a pontosság mindegyik rendszernél eltérő, a különbségek nem jelentősek. Könnyebb lenne az összehasonlítás, ha valamelyik értéket lefixálhatnánk, például 90%-ra, és ekkor a legnagyobb pontosságú rendszer a legjobb. Mindkét érték szorosan összefügg egymással.

Rendszer	Algoritmus típusa	Pontosság
RADAR	Legközelebbi szomszéd	38% 2 m-en belül
Saha	Legközelebbi szomszéd, neurális háló	90%, nincs meghatározva
Roos	Bayes tanulás	90% 2.5 m-en belül
Battiti	Legközelebbi szomszéd, neurális háló	90% 5 m-en belül
Ladd	Bayes tanulás	77% 1.5 m-en belül
Prasithsangaree	Súlyozott legközelebbi szomszéd	75% 7 m-en belül
Youssef	Bayes tanulás	90% 2 m-en belül
Xiang	Bayes tanulás	90% 2 m-en belül

2.3. táblázat. Lokalizációs rendszerek teljesítménybeli összehasonlítása

Amennyiben a pontossági tartományt szeretnénk növelni (kisebb tartományban legyen helyes a helyzetmeghatározás eredménye), kevesebb lesz a helyes helymeghatározások százalékos aránya. Másrészt, amennyiben csökkentjük a kívánt pontosságot, a helyes helymeghatározások számának aránya nő.

2.5. Beltéri helyzetmeghatározás vezeték nélküli kommunikációs csatorna, és RSSI (Received Signal Strength Indicator) érték alkalmazásával

A fejezetben bemutatásra kerülnek a rádiófrekvenciás alapú beltéri helyzetmeghatározó rendszerek tulajdonságainak részletei, és a leggyakrabban alkalmazott pozícióbecslő algoritmus, az Euklideszi algoritmus.

Az IEEE 802.15.4 szabvány szerinti vezeték nélküli személyi hálózatok (WPAN – Wireless Personal Area Network) elterjedése lehetővé tette a technológia széleskörű alkalmazását beltéri lokalizációs rendszerekben, mind mozdulatlan felhasználók helyzetének meghatározása, mind felhasználó-követés terén. Ez a fajta kommunikációs csatorna rugalmas lehetőségeket biztosít a helyzetmeghatározó rendszerek beállításai terén, lehetőséget nyújtva egy központi szerver, vagy akár a mobil állomás számára a pozícióbecslő algoritmus lefuttatására.

Az RSSI értéken alapuló helyzetmeghatározáshoz szükség van egy tanítási fázisra (offline fázis), mely a vett térerősség-értékek előzetes felmérését és adatbázisba vitelét jelenti.

Az on-line fázisban történik a rendszer valós időben történő működtetése. Az alábbiakban ismertetésre kerülnek a lokalizációs rendszerek főbb komponensei.

2.5.1. Fingerprint érték

Egy adott pozícióhoz tartozó mérhető fizikai mennyiség, location fingerprint érték, mint például az RSS érték a rádiófrekvenciás hálózatokban, jellegzetes mérőszáma az adott helynek. Egy adott helyet, pozíciót jelöljük L -lel (Location, $L \in \mathbf{R}$ vagy bármely irány), a hozzá tartozó jellegzetes információt, fizikai mennyiséget F -fel (Fingerprint, $F \in \mathbf{R}$). Ezeket az értékeket egy adatbázisban tároljuk el és használjuk később, a pozíció becslése során. Az off-line fázis során gyűjtött adatokat tanítókészletnek is nevezik.

Battiti [17] szerint a pozíció kétféle formában adható meg: koordinátákkal, vagy indikátor értékekkel. A valós koordinátákkal való megadás történhet 1-5 dimenzió megadásával, ahol 3 dimenzió jelenti a háromdimenziós tér 1-1 dimenzióját, a másik 2 dimenzió az irányítottság kifejezésére szolgál, melyeknek kifejezése gömbkoordinátákban történik meg. Például a hely meghatározása egy kétdimenziós rendszerben kifejezhető az alábbi módon:

$$L = \{(x, y, d) | x, y \in \mathbf{R}^2, d \in \{Eszak, Kelet, Del, Nyugat\}\}.$$

Az indikátor érték mindössze durva pontosságú eredményt ad vissza, mint azt, hogy a tárgy vagy felhasználó kint vagy bent van-e az épületben. Ekkor a hely az alábbi két érték valamelyikével fejezhető ki:

$$L = \{-1, 1\}.$$

Az RSS az egyik legegyszerűbb és leghatékonyabb érték helymeghatározás számára a rádiófrekvenciás jelátvitelben, mivel minden WLAN kártya rendelkezik a meghatározásának képességével. Az RSS érték jobban függ az adott helytől, mint az SNR (Signal-to-Noise Ratio: Jel-zaj viszony) érték, mert a zajkomponensek véletlenszerűek a természetben. Bár az RSS érték is változik az időben, minden adóra és minden helyre. Minden RSS érték véletlen változónak is tekinthető, megadható az őt leíró statisztikai paraméterek meghatározásával, eloszlásának becslésével, vagy az összes mérési eredmény felhasználásával. Ez a fajta RSS megközelítés többféle pozícióbecslési algoritmus kialakítását teszi lehetővé. A különböző megközelítések figyelmen kívül hagyásával, a helyzetinformáció általában a vett jelerősség vektorával kerül kifejezésre, melyeket a különböző adók által mérünk. A vektor méretét a hatótávolságon belüli adók száma határozza meg.

Egy fingerprint érték létrehozásához, mint egy adott ponthoz tartozó jelerősség-vektor meghatározásához több mérésre is szükség van. Minden adóra többször lemérjük az RSS értéket, majd ezeket adónként átlagoljuk. Egy olyan terület esetén, ahol N az adók száma, a fingerprint érték kifejezhető az RSS értékek átlagából képzett vektor megadásával, melynek elemei ρ_i :

$$F = (\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_N)^T.$$

Az RSS értékek átlagának vektora mellett minden egyes fingerprint értékhez akár extra adatok is megadhatók, mint például az RSS értékek szórása. A szórásokból képzett vektor jele D , az elemek jelölése σ_i :

$$D = (\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_N)^T.$$

Az off-line fázisban mért adatok mellett az on-line fázisban mért jelerősség-értékek is fontosak azoknak a rendszereknek, amelyeknek a felhasználó követése a feladatuk. Az időintervallum és a mintavételi gyakoriság is gondosan megválasztandó ezekben a rendszerekben. Egy statisztikai analízisben használt módszer, az előfeldolgozás szintén fontos szempont a pozícióbecslés során. Az előfeldolgozás ebben az esetben az off-line módban összegyűjtött adatkészleten való műveletvégzést jelent. A művelet lehet enkódolás, dimenziócsökkentés (a felesleges elemek eltávolítása), egy tulajdonság kiválasztása és előnyben részesítése, klaszterezés, vagy a kilógó elemek eltávolítása. Az előfeldolgozás gyorsabb pozícióbecslést tesz lehetővé, és segítségével csökkenthető a rendelkezésre álló adatkészletben lévő zaj hatása.

2.5.2. Pozícióbecslő algoritmus

A pozícióbecslő algoritmusok azok a folyamatok, amelyek a pillanatnyi RSS értékek vektora és a fingerprint adatbázis közti kapcsolatot kihasználva, megbecslik a mobil állomás aktuális helyzetét. A helyzetmeghatározó algoritmusok két csoportra oszthatók a pillanatnyi RSS értékek és a rendelkezésre álló adatkészlet kapcsolata alapján: determinisztikus és sztochasztikus típusra.

A legközelebbi szomszéd módszer

A legközelebbi szomszéd módszer determinisztikus módszer, mert csak pár adatvektort igényel a működéshez, például az RSS értékek átlagának vektorait. A helyzet meghatározása érdekében a módszer osztályozza az RSS vektorokat, ezért a módszert osztályalapú módszernek is nevezik. A legközelebbi szomszéd osztályozó algoritmus kiválasztja

azt az osztályt, amely a legközelebb van az aktuálisan mért RSS vektor osztályához.

Tegyük fel, hogy már felvettünk több fingerprint vektort, ezeket jelöljük $\{F_1, F_2, \dots, F_N\}$ -el, és mindegyik ilyen vektornak eltároltuk a helyzetét is, melyeket jelöljük $\{L_1, L_2, \dots, L_N\}$ -el. A helyzetmeghatározás során a mért RSS vektort jelöljük S -sel, ez is pár RSS érték átlagából képzett vektor lesz. Feltéve, hogy az állomás N darab adó által vett RSS értéket mér, és ezekből képez vektort, a vett RSS vektor kifejezése az alábbi lesz:

$$S = (s_1, s_2, \dots, s_N)^T.$$

Az adatbázisban található összes RSS vektor kifejezése az alábbi:

$$F_i = (\rho_1^i, \rho_2^i, \dots, \rho_N^i)^T.$$

Az algoritmussal meghatározzuk azt az RSS vektort az adatbázisban, amelynek értékei legközelebb vannak a mért RSS vektor értékeihez, tehát megkeressük azt a j vektort az adatbázisban, amelyre teljesül, hogy:

$$Dist(S, F_j) \leq Dist(S, F_k), \forall k \neq j.$$

Ennek a j vektornak az L helyzete lesz a pozícióbecslés eredménye. A távolságot számító függvény a legközelebbi szomszéd módszerben az alábbi:

$$Dist(A, B) = \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N \frac{1}{w_i} |a_i - b_i|^p \right)^{1/p},$$

ahol N az adók száma, w_i a súlyfaktor ($w_i \leq 1$), p pedig a norma értéke, értéke 1-től kezdődik. A w_i súlyfaktor segítségével kiemelhetjük vagy elnyomhatjuk egyes RSS komponensek szerepét a vektorban.

Az Euklideszi távolság számítása az egyik legközelebbi szomszéd módszer a pozíciók osztályozására. Az Euklideszi távolság számításánál $p = 2$, és $w_i = 1 (\forall i = 1, \dots, N)$. A szakdolgozatban is ezt az algoritmust használtam.

3. fejezet

A megvalósításhoz használható eszközök

3.1. A digitális jelfeldolgozó processzorok

A digitális jelfeldolgozó processzor (digital signal processor, rövidítve: DSP) egy speciális processzor, melyet digitális jelfeldolgozásra terveztek. A DSP és a hagyományos mikroprocesszor között több hasonlóság van. Ma már elmosódott a határvonal, de régebben élesen megkülönböztettük a DSP-t és a mikrokontrollereket.

A DSP-eket speciális jelfeldolgozási feladatok elvégzéséhez találták ki, tulajdonságaik:

- nagyobb műveletvégzési sebesség (de nagyobb fogyasztás is)
- speciális, de jelfeldolgozásban gyakori műveletsorok összefogása egyetlen műveletbe
- integrált nagy sebességű (elsősorban memória) elemek.

A sebesség növelése érdekében a DSP-k párhuzamos utasítás-végrehajtást alkalmaznak. Emellett az adat-, és a programmemória is szét van választva (Harvard-architektúra), így azok párhuzamosan is elérhetők, ami további teljesítménynövekedést eredményez. Egyes processzorok esetében az adatmemória is több részre van osztva a gyorsabb, párhuzamos elérés érdekében.

Jelfeldolgozás hagyományos mikroprocesszorokkal is végezhető, de ott sokkal kisebb hatásokkal.

3.2. A fejlesztőkörnyezet

A jelfeldolgozó algoritmusok szoftveres implementálását nagyban megkönnyítik a fejlesztőkártyák és az azokat támogató fejlesztőkörnyezetek.

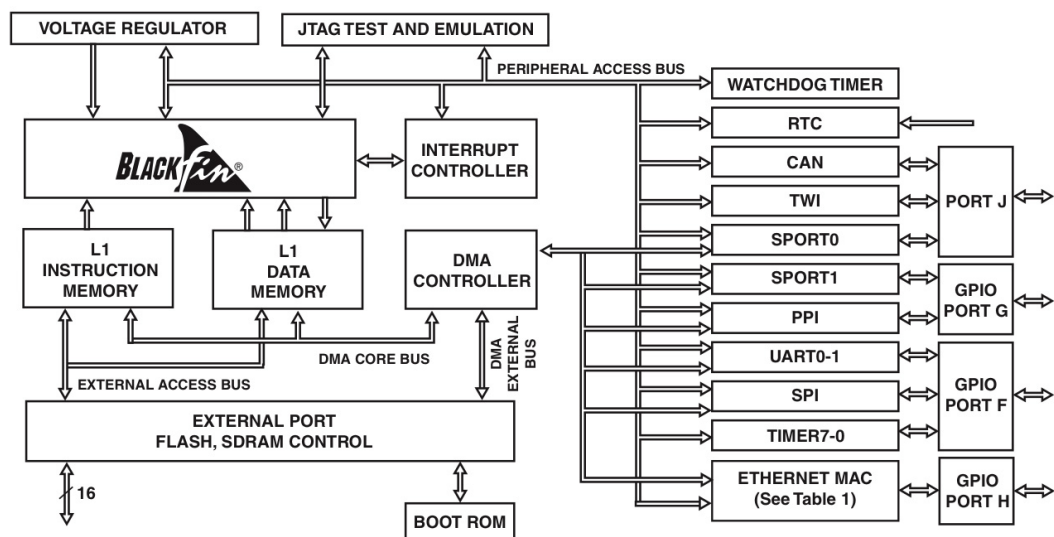
Miután a fejlesztés során kiválasztottuk a felhasználni kívánt processzort, a szoftverfejlesztés fázisában nem szükséges azzal foglalkoznunk, hogy egy kis példányszámban esetleg egyébként is nehezen beszerezhető processzorra egy prototípust építsünk, nyomtatott áramkört tervezzünk, alkatrészeket ültessünk be, és legyártassuk azt. Ezekben az esetekben sokkal jobb megoldásnak bizonyul, ha az adott processzor egy fejlesztőkártyáját használjuk, amennyiben ilyen létezik.

A fejlesztőkártyák úgy vannak kialakítva, hogy a processzor összes funkciójához, kivételéhez, perifériájához hozzáférhessünk.

A fejlesztőkártyával együtt megvásárolt szoftverfejlesztő környezet teljes körű támogatást nyújt a kártya minden funkciójának kihasználásához, a legtöbb ilyen szoftver emulátor és debugger funkciókat is tartalmaz. Egy így elkészült szoftver kifejlesztése során a hardver megtervezése is könnyebb feladat.

3.3. Az ADSP BF537 Blackfin processzor

A BF537 processzor [4], [19] blokkdiagramja a 3.1 ábrán látható.



3.1. ábra. A BF537 processzor blokkdiagramja

3.3.1. A DSP struktúrája, memóriakezelése

A processzor a Harvard architektúrának megfelelően egy programmemóriát, és egy adatmemóriát tartalmaz. A programmemória szóhosszúsága 64 bit, az adatmemóriáé 32 bit. A processzor 64 kByte belső programmemóriát, 2 db 32 kByte-os adatmemória egységet, és egy 2 kByte-os Boot ROM-ot tartalmaz. Az utasítások 16 és 32 bitesek lehetnek, az adatok pedig 8, 16 vagy 32 bitesek. Külső memória (például SDRAM) illesztésére is lehetőség van. A belső memóriaterület elegendő nagyságú a feladatban meghatározott program és a változók tárolására.

3.3.2. Aritmetikai egység

Az aritmetikai műveleteket 3 különböző egység végzi:

- 6 db ALU (Arithmetic logic unit) – aritmetikai-logikai egység
- 2 db MAC (Multiple And Accumulate) egység (szorzó-összeadó egység)
- 1 db Shifter – léptető egység.

A processzormag blokkvázlata a 3.2 ábrán látható.

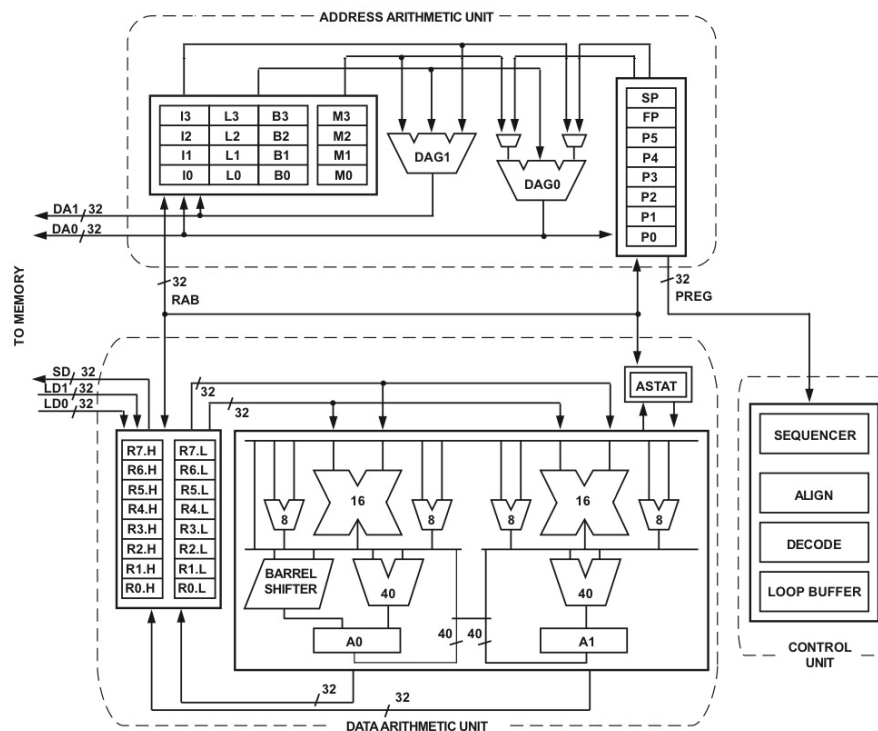
3.4. A VisualDSP++ fejlesztőkörnyezet

A VisualDSP++ fejlesztőkörnyezet az Analog Devices cég jelfeldolgozó processzoraihoz készült szoftverfejlesztő környezete.

A fejlesztés során a project editor segítségével szerkeszthetjük forrásfájljainkat, melyek egy projektet alkotnak. A kész programunkat a VisualDSP++ - szal lefordítva és linkelve egy DSP-re feltölthető fájlt kapunk. Ezt a DSP-re USB csatlakozás segítségével, vagy JTAG porton keresztül tölthetjük fel. A forrásfájlokat elkészíthetjük assembly, C vagy C++ nyelven, egy projekten belül a különböző nyelveken megírt szoftverkomponenseket keverhetjük.

A fejlesztőkörnyezet többféle szolgáltatást nyújt a futó alkalmazások figyelésére, tesztelésére, hibajavítására.

A debugger funkció segítségével nyomon követhetjük a programműködést mind szoftveres szimulációs, mind valós hardveres környezetben. Az egyes programrészek lefutásának figyelésére breakpointok beszúrásával van lehetőség. A program futását tetszés



3.2. ábra. A processzormag blokkvázlata

szerint bármikor megállíthatjuk, majd folytathatjuk.

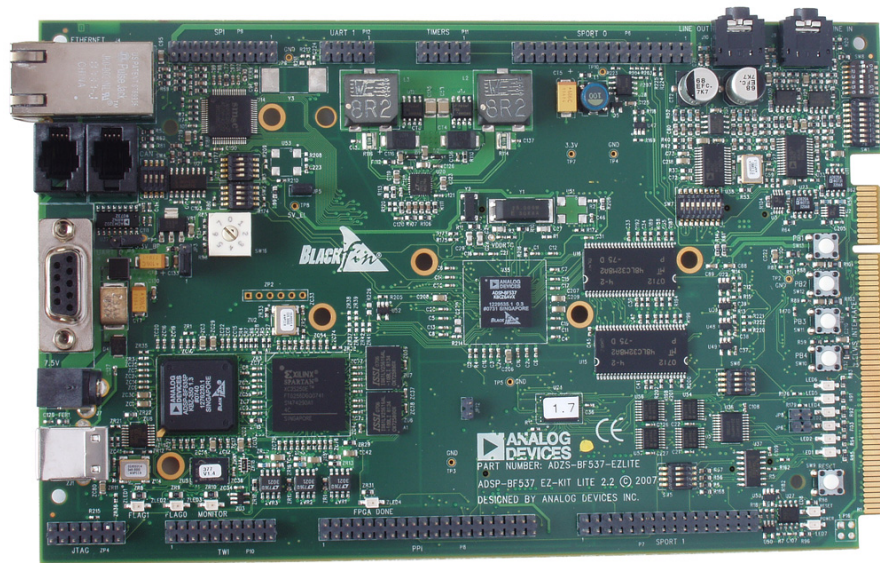
A program által nyújtott további extra szolgáltatások lehetővé teszik a processzor regisztereinek, illetve memóriaterületeinek monitorozását, figyelését. A memóriatartalom tetszőleges címtartományból fájlba menthető (dumpolható), a fájlt később más programok, például MATLAB segítségével feldolgozhatjuk.

3.5. A BF537 EZ-KIT Lite fejlesztőkártya

A BF537 EZ-KIT Lite fejlesztőkártya a 3.3 ábrán látható.

A fejlesztőkártya USB porton csatlakoztatható a számítógéphez. A kártyán található főbb alkotórészek, és ezek tulajdonságai:

- Analog Devices ADSP-BF537 processzor:
 - maximális 600 MHz órajel
 - belső memória:
 - * 64 kByte programmemória
 - * 2x32 kByte adatmemória



3.3. ábra. A BF537 EZ-KIT Lite fejlesztőkártya

* 2 kByte Boot ROM

- SDRAM:
 - 64 MB (8M x 8-bits x 4 banks) x 2 chips
- Flash memória:
 - 4MB (2M x 16-bits)
- Ethernet interfész:
 - 10-BaseT (10 Mbits/sec) és 100-BaseT (100 Mbits/sec) Ethernet Medium Access Controller (MAC)
 - SMSC LAN83C185 eszköz
- Controller Area Network (CAN) interfész:
 - Philips TJA1041 nagy sebességű CAN interfész
- univerzális aszinkron adó/vevő (UART)
- ADM3202 RS-232 vonalmeghajtó/vevő
- LED-ek

- nyomógombok
- bővítő interfészek
- JTAG ICE 14 pin port
- USB EZICE

3.6. A CC2420 IC

3.6.1. Az IC felépítése

A Chipcon CC2420 adó-vevő IC [11] egy olyan vezeték nélküli rádiófrekvenciás kommunikációs eszköz, amely a 2.4 GHz-es ISM (Industrial, Scientific and Medical – ipari, tudományos és orvosi célokra szabadon felhasználható) rádiófrekvencia sávot használja, és az IEEE 802.15.4 szabvány szerint működik.

Az IC tartalmaz egy Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS) modemet, amely 9 dB-es szórt erősítést biztosít, 250 kbps adatátviteli sebességgel. Az IC széleskörű lehetőségeket biztosít csomagkezelés, adatbufferelés, adattitkosítás, adat azonosítás, szabad csatornafigyelés számára. Az antennát tartalmazó, beültetett IC a 3.4 ábrán látható.



3.4. ábra. A CC2420 IC

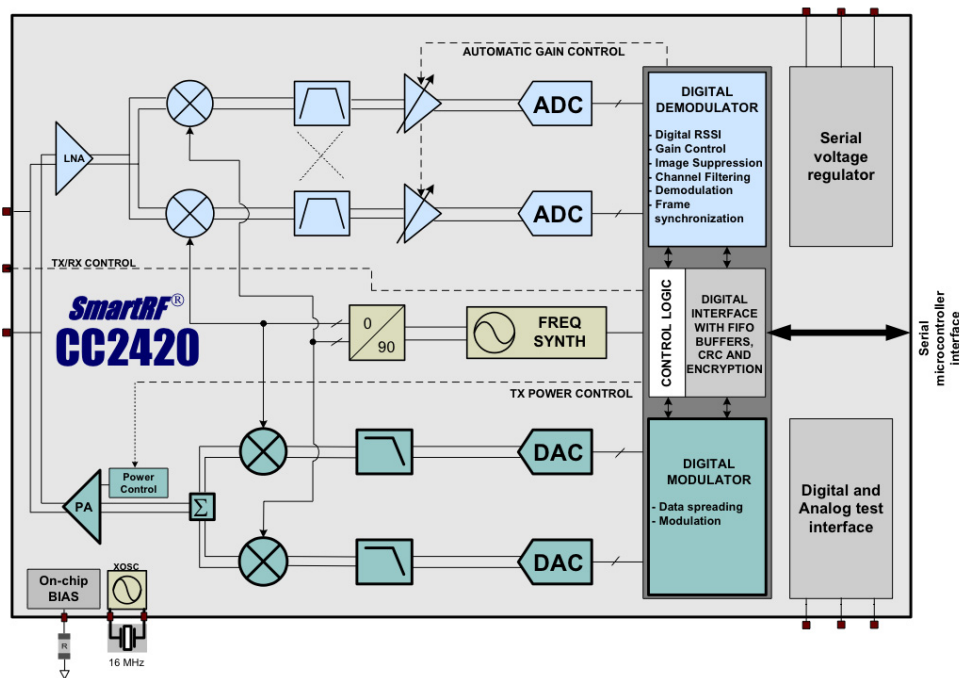
Az IC tulajdonságai:

- 2400 - 2483.5 MHz rádiófrekvenciás adó-vevő:
 - Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS) adó-vevő

- 250 kbps adatátviteli sebesség
- O-QPSK (ofszet kvadratúra-fázis) moduláció
- alacsony áramfogyasztás (Rx: 8.8 mA, TX: 17.4 mA)
- magas érzékenységi szint: -95 dBm
- VCO (Voltage Controlled Oscillator) – feszültségvezérelt oszcillátor
- LNA (Low-noise Amplifier) – kiszajú erősítő
- PA (Power Amplifier) – teljesítményerősítő
- alacsony tápfeszültség (2.1 - 3.6 V)
- 4 vezetékes SPI interfész
- FIFO az adás és vétel számára:
 - 128 byte küldött adat FIFO
 - 128 byte vett adat FIFO
- kevés külső komponens:
 - referencia oszcillátor és minimális számú passzív alkatrész
 - nem szükséges külső szűrő alkalmazása
- 802.15.4 MAC hardware támogatás:
 - automatikus preamble generátor
 - szinkronizáló szó beszúrása/detektálása
 - CRC-16 számítás
 - jelerősség érzékelés – digitális RSSI érték
 - szabad csatornafigyelés
 - 802.15.4 szabvány szerinti MAC hardveres biztonság:
 - * CTR titkosítás - visszafejtés
 - * CBC-MAC hitelesítés
 - * CCM titkosítás - visszafejtés
 - * AES titkosítás
- rendelkezésre álló, elérhető fejlesztői eszközök:

- teljes fejlesztői környezet
- fejlesztő kártya
- példaprogramok

Az IC blokkdiagramja a 3.5 ábrán látható.



3.5. ábra. A CC2420 IC blokkdiagramja

Az CC2420-ban Low IF vevő található (Low Intermediate Frequency), amely a 2.4 GHz-es rádióhullámú jelet lekeveri alacsony frekvenciás tartományba.

A vett kvadratúra modulált RF jelet a kiszájú erősítő (LNA) felerősíti, majd kvadratúra demoduláció során lekeverésre kerül a középfrekvenciás tartományba (2 MHz). A demodulált jelek szűrése és erősítése után az A-D átalakítók digitalizálják a jeleket. Az automatikus erősítés-beállítás, a végső csatornaszűrés, és a byte szinkronizáció a digitális jelen kerülnek elvégzésre. Az IC a frame delimiter érzékelésének kezdetét az SFD lábon jelzi. A CC2420 128 byte-os FIFO tárolóba helyezi a beérkezett adatot, amelyet a felhasználó SPI interfészen keresztül olvashat ki. A CRC kód ellenőrzése hardveresen történik, az RSSI és a korrelációs értékek pedig az adatkerethez vannak csatolva.

A CC2420 adóegysége a közvetlen felfelé konvertáláson (direct up-conversion) alapul. A küldendő adatok a 128 byte-os kimeneti adat FIFO-ba kerülnek, amely a vett adatok FIFO-jától külön van választva. A keret kezdet (start of frame delimiter) hardveresen

generálódik. Mindegyik szimbólum (4 bit) az IEEE 802.15.4 szabvány szórásis szekvenciája szerint kerül kiadásra. Az adó által küldendő digitális jelek a D-A átalakítás után egy analóg aluláteresztő szűrőn mennek keresztül, majd a jel kvadratúra moduláció során felkeverésre kerül a 2.4 GHz-es tartományba. A rádiófrekvenciás jelet a Power Amplifier (PA) erősítő erősíti, majd az antenna kisugározza. A PA és LNA erősítések eltolása a TXRX_SWITCH láb RF_P és RF_N lábával való külső összeköttetésével biztosítható.

A frekvenciaszintetizátor egy VCO-t és egy 90 fokos fázishasítót tartalmaz, a jelek fel-, illetve lekeverése érdekében. A VCO 4800-4966 MHz-es frekvenciatartományban üzemel, ez a frekvencia később felezésre kerül. Az XOSC16_Q1 és XOSC16_Q2 lábakra illesztett külső kristály biztosítja a frekvenciaszintetizátor referencia frekvenciáját. Az IC támogatást nyújt a keretkezeléshez, a címfelismeréshez, az adatbuffereléshez, és a MAC titkosításhoz.

Az adatbufferelésre és a konfigurálásra 4 vezetékes SPI interfész áll a felhasználó rendelkezésére.

A chipen található feszültségregulátor 1.8 V tápfeszültséget szolgáltat. A feszültségregulátor egy külön lábon engedélyezhető, vagy tiltható.

3.6.2. A CC2420 IC mikrokontrollerhez vagy DSP-hez való csatlakoztatása

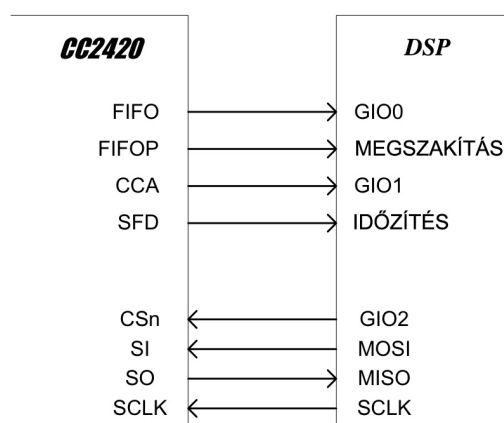
A CC2420 IC olyan kontrollerekhez vagy processzorokhoz csatlakoztatható, amelyek képesek a CC2420 programozására, adatok beolvasására illetve kiírására, státuszinformációk olvasására 4 vezetékes SPI interfészen keresztül.

A CC2420 konfigurálása 16 bites regiszterek programozásával történik. A kimeneti és a vett jel FIFO-k 2 darab 8 bites regiszteren keresztül érhetőek el: TXFIFO és RXFIFO.

Az igényelt eszközöknek interfészt kell nyújtaniuk a:

- a vett jel és a kimeneti jel FIFO-k eléréséhez (FIFO és FIFOP lábak)
- a CCA láb eléréséhez a szabad csatornafigyelés számára
- az SFD láb eléréséhez az időzítés információk számára
- az SI, SO, SCLK, CS_n lábak eléréséhez az SPI kapcsolat felépítéséhez.

A CC2420 mikrokontrollerhez vagy más processzorokhoz való csatlakoztatásának módja a 3.6 ábrán látható.



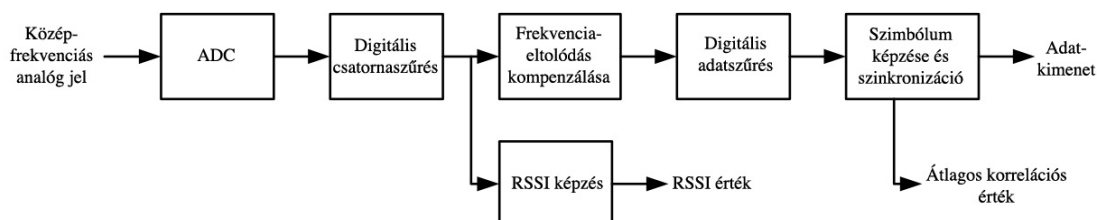
3.6. ábra. A CC2420 csatlakoztatása controllerhez

Az SPI kapcsolat létrehozásához a controllernek 4 I/O lábra van szüksége (SI, SO, SCLK, CSn). Az SO láb a controller bemenetéhez, a többi a kimenetéhez csatlakoztatandó. Amennyiben a controller hardveresen nem támogatja az SPI interfészt, azt szoftveresen szükséges megírni.

Vételi módban az SFD láb magasba menetele jelzi a start of frame delimiter (SFD) keret vételének befejezését. A FIFO láb aktív, amennyiben a vett adat FIFO-ba (RXFIFO) egy, vagy több adatbyte érkezett be. Amennyiben a vett adat FIFO-ban lévő byte-ok száma elér egy meghatározott, beállítható értéket, a FIFOP láb aktív. Adás üzemmódban az SFD láb magasba menetele jelzi a start of frame delimiter adásának végét. A FIFO és a FIFOP lábak adás üzemmódban is a vett adat FIFO-hoz kapcsolódnak.

3.6.3. A demodulátor

A CC2420 IC demodulátorának egyszerűsített blokkdiagramja a 3.7 ábrán látható.



3.7. ábra. A demodulátor blokkdiagramja

A csatornaszűrés és a frekvencia eltolás kompenzálása digitálisan történik. Az IC a

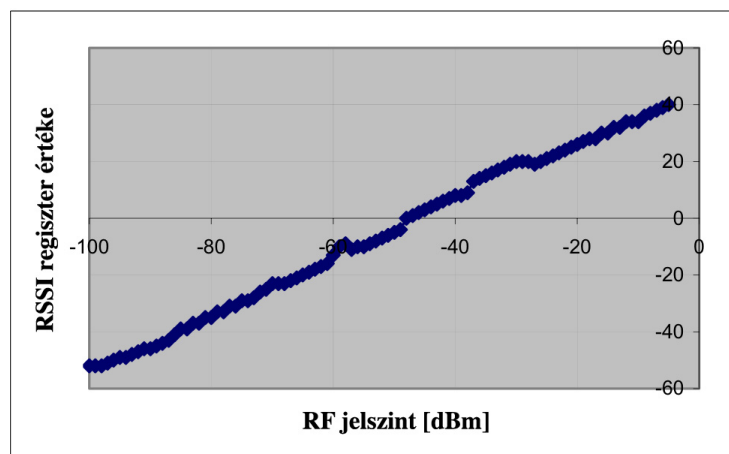
csatorna jelszintjéből határozza meg az RSSI értéket. Az adatszűrés a teljesítmény növelését szolgálja. A CC2420 demodulátor maximum 300 kHz-es ofszetet tolerál, ekkor még nem csökken jelentősen a vevő teljesítménye. A szimbólumok szinkronizációja a start of frame delimiter keret kezdet folyamatos figyelésével történik. Az SFD érzékelésekor az adat beírásra kerül az RXFIFO tárolóba, és onnan külső kontroller alkalmazásával kiolvasható.

3.6.4. RSSI detektálás

A CC2420-ban található beépített RSSI generátor által biztosított digitális érték a 8 bites RSSI.RSSI_VAL regiszterből olvasható ki. Az RSSI érték mindig egy 8 szimbólumból álló periódus (128 us) RSSI értékének átlagából képződik le. Az RSSI_VALID státuszbit jelzi az RSSI érték érvényességét, amely azt jelenti, hogy az érték legalább 8 szimbólum átlagából képződött. A jelteljesítmény (P) az RSSI_VAL értékből az alábbi módon számítható:

$$P = \text{RSSI_VAL} + \text{RSSI_OFFSET} [dBm],$$

ahol RSSI_OFFSET a rendszer telepítése során empirikusan került meghatározásra, értéke körülbelül -45 dBm. Az RSSI_VAL regiszterből -20 dBm kiolvasása esetén az RF bemenet jelszintje körülbelül -65 dBm. A bemeneti jelerősség és az RSSI érték kapcsolatát a 3.8 ábra mutatja.



3.8. ábra. RSSI érték a bemeneti jelszint függvényében

Az ábrán látható, hogy az RSSI meghatározása az RF jelszint függvényében nagyjából lineáris, a dinamik tartomány körülbelül 100 dBm. Az RSSI_VAL regiszter értéke folyamatosan frissül a szimbólumok beérkezése folyamán.

4. fejezet

Vezetéknélküli hálózati szabványok

A számítógépes, illetve a mikroprocesszoros rendszerek közti vezetéknélküli kommunikációt IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) szabványok írják elő. A különböző igényeknek megfelelően több eltérő vezetéknélküli hálózattípus, és vezetéknélküli szabvány létezik, melyek az előírt adatátviteli sebességben, hatótávolságban, keretformátumban különböznek egymástól.

A személyi számítógépek (PC-k), laptopok összekapcsolásakor leggyakrabban alkalmazott szabvány az IEEE 802.11-es vezetéknélküli adatátviteli protokollsalád [14], amelynek szintén több változata van: 802.11a, 802.11b, 802.11g, 802.11n. A legelterjedtebb, 802.11g szabvány maximálisan 54 Mbit/s adatátviteli sebességet biztosít, a hatótávolság általában 50-100 méter. A hatótávolság minden vezetéknélküli alkalmazás esetén erősen függ a felhasznált eszközöktől, és a környezettől. A 802.11 család azok számára a nagy sebességet igénylő hálózatok számára ajánlott, ahol nem lehetséges vagy nem célszerű vezetékes kapcsolat használata. Tipikus alkalmazása a WLAN (Wireless Local Area Network – Vezetéknélküli Helyi Hálózat) hálózatokban történő alkalmazása.

A kisebb területű és kevesebb csomópontot tartalmazó WPAN (Wireless Personal Area Network – Vezetéknélküli személyi hálózat) hálózatok általában a 802.15.4 szabványcsaládot használják a vezetéknélküli kommunikáció során. Ezek a hálózatok tipikusan néhány 10 méter hatótávolságúak. A 802.15.1 szabvány [13], ismertebb nevén Bluetooth szabvány a viszonylag kis átviteli sebességet igénylő, kisebb hatótávolságú eszközök közt elterjedt. Tipikus alkalmazására példa a mobiltelefon, a vezetéknélküli billentyűzet, egér, és fejhallgató. A 2.0-s verzió maximális adatátviteli sebessége 3 Mbit/s, hatótávolsága az alkalmazott rádió osztálya szerint 1, 10, vagy 100 méter. A szabvány 3 rádióosztályt specifikál: 1., 2., és 3. osztály.

Több alkalmazás számára elegendő ennél kisebb adatátviteli sebesség is, a kis energia-

fogyasztás és a kis erőforrásigény pedig fontos szempont. Ezeknek az alkalmazásoknak az IEEE 802.15.4 szabvány alkalmazása jó megoldás a vezetéknélküli adatátvitelre. A szabvány az úgynevezett LR-WPAN hálózatok (Low-Rate WPAN – kis igényű WPAN) számára specifikál fizikai, és adatkapcsolati (MAC – Media Access Control) réteget. Így a szabvány az OSI modell 7 rétegének alsó 2 rétegét definiálja. Az adatátviteli sebesség 20, 40, 100, vagy 250 kbit/s lehet, 10-50 méteres hatótávolság mellett. A Bluetooth átvitelnél kevésbé komplex adatátvitel, és kisebb energiafogyasztás jellemzi. A szabvány többek közt a ZigBee, a WirelessHART, és a MiWi protokollok alapját képezi.

Az alkalmazott CC2420 adó-vevő is a 802.15.4 szabványt használja, így az a következőkben részletesen ismertetésre kerül.

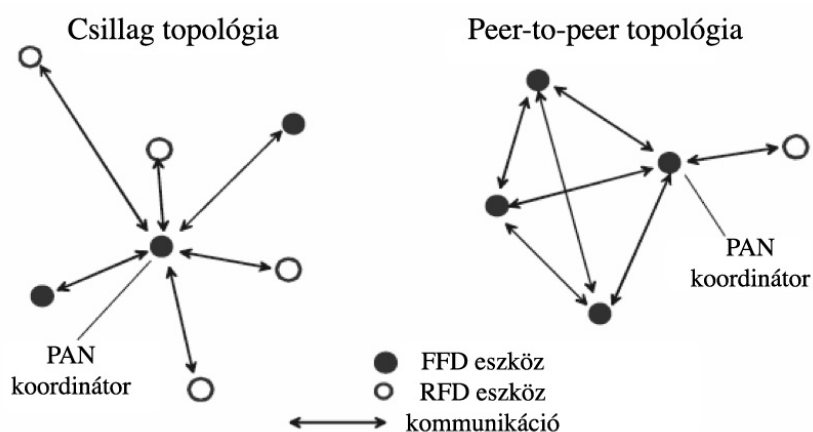
4.1. Az IEEE 802.15.4 vezetéknélküli hálózati protokoll

Az IEEE 802.15.4 szabvány [1], [12] a kisebb területű, kevesebb csomópontot tartalmazó, kevesebb adatátviteli sebességet, viszont alacsony erőforrásokat igénylő hálózatok (LR-WPAN-ok) által használt vezetéknélküli átviteli protokoll, mely a fizikai és az adatkapcsolati réteget definiálja. A szabvány első verzióját 2003-ban adták ki, majd 2005-ben, 2006-ban és 2007-ben adtak ki egy újabbat. A 2006-os verzió egyszerűsítéseket tartalmaz, és nagyobb adatátviteli sebességeket enged meg, a 2007-es verzióban pedig kiegészítések találhatók.

A protokoll meghatározza az LR-WPAN-okban használható eszközök típusát. Ennek alapján kétféle csomópontot különböztetünk meg a 802.15.4-es hálózatokban: RFD (Reduced Function Device – csökkentett funkciójú eszköz), és FFD (Full Function Device – teljes funkciójú eszköz). Az RFD csomópontok a szabványnak csak egy részét implementálják (ezt a szabvány határozza meg), míg az FFD csomópontok a teljes szabványt. Az RFD-eket egyszerűbb alkalmazásokban használják, amelyeknek nincs szükségük nagy mennyiségű adatátvitelre, és csak néhány FFD-vel kell kommunikálniuk. Az FFD a WPAN hálózat irányítójaként, vagy mint egy egyszerű eszköz is működhet. Egy FFD kommunikálhat bármely FFD-vel, vagy bármely RFD-vel, míg egy RFD csak egy FFD-vel tarthat fenn kapcsolatot.

A szabványban a hálózatok csillag vagy peer-to-peer topológia szerint építhetők fel, ezt a 4.1 ábra szemlélteti.

A csillag topológiájú hálózatokban az RFD-k kizárólag egy központi irányító FFD egységgel, a PAN koordinátorral kommunikálnak. A PAN koordinátor a hálózat irányításáért felelős: nyilvántartja a hálózatban található eszközöket, kiosztja a címeket, és a

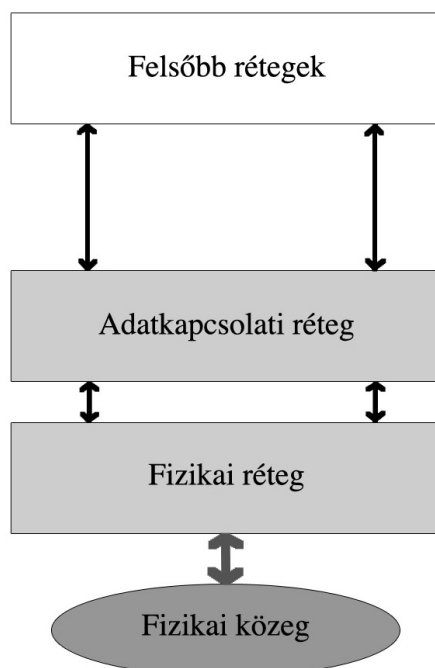


4.1. ábra. Csillag és peer-to-peer topológia az LR-WPAN hálózatokban

kommunikáció kezdeményezését, szinkronizálását, megszakítását végzi.

A peer-to-peer topológia ad-hoc hálózati kommunikációt támogat. A topológiában található összes csomópont a hatókörén belül lévő összes egységgel kommunikálhat. Ebben a hálózatban is szükség van PAN koordinátorra.

A szabvány az OSI modell 7 rétegének alsó 2 rétegét definiálja, az architektúra a 4.2 ábrán látható.



4.2. ábra. LR-WPAN architektúra

Az alkalmazási és a hálózati rétegek a szabvány keretein kívül esnek. A fizikai réteg meghatározza az eszközökkel kapcsolatos összes elektromos specifikációt, a teljesítmény-, és feszültség szinteket, az alkalmazható frekvenciatartományokat, és alacsony szintű átvitelt biztosít. Az adatkapcsolati réteg a fizikai réteghez való hozzáférés módját határozza meg, biztosítja azokat a funkciókat, amelyek lehetővé teszik az adatok átvitelét két hálózati eszköz között. A rétegek az alábbiakban részletesen ismertetésre kerülnek.

4.1.1. A fizikai réteg

A szabvány 2 szolgáltatást definiál, melyet a fizikai rétegnek biztosítani kell: ezek a fizikai réteg adategységeinek (PPDU) adása és vétele.

A protokoll 3 frekvenciasávot használ a vezetéknélküli kommunikációhoz, melyek mindegyike a szabadon felhasználható ISM rádiófrekvencia-sávok közé tartozik. A 868-868,6 MHz-es sáv Európában, a 902-928 MHz-es sáv Észak-Amerikában, a 2400-2483,5 MHz-es sáv az egész világon használható. Mindegyik sáv különböző adatátviteli sebességeket, modulációs technikákat és kommunikációs csatorna számot támogat. A 4.1 táblázat összefoglalja a fizikai réteg főbb paramétereit.

Frekvenciasáv	Használható	Moduláció	Átviteli sebesség	Csatornák max. száma
868-868,6 MHz	Európában	ASK/BPSK/O-QPSK	20/40/100/250 kbit/s	3
902-928 MHz	Észak- Amerikában	ASK/BPSK/O-QPSK	20/40/100/250 kbit/s	30
2400-2483,5 MHz	Egész világon	O-QPSK	250 kbit/s	16

4.1. táblázat. A 802.15.4 szabvány frekvenciasávjai, és adatátviteli módjai

A fizikai réteg úgynevezett PPDU (Phy Protocol Data Unit – a fizikai réteg adategysége) csomagokat használ a kommunikáció során.

A fizikai csomagformátum a 4.2 táblázatban látható.

4 byte	1 byte	1 byte		Változó
Preamble	SFD	Keret hossza (7 bit)	Foglalt (1 bit)	Csomag (PSDU)
SHR		PHR		PHY csomag

4.2. táblázat. Fizikai csomagformátum

Adáskor és vételkor mindig az LSB bit kerül először elküldésre, illetve fogadásra.

Az SHR header (Synchronization Header – szinkronizáló header) a preamble és az SFD (Start of Frame Delimiter – keret kezdet határoló) mezőket tartalmazza, amelyek a szinkronizációt segítik. A 4 byte-os preamble mező 0 biteket tartalmaz, melyet szinkronizációra használnak. Az SFD mező meghatározott 1-0 szekvenciát tartalmaz, a keret kezdetét jelöli. A PHR header (Phy Header) a csomag hosszát tartalmazza, és egy fenntartott bitet. A csomag (PSDU: Phy Service Data Unit, a fizikai réteg által továbbított adategység) ezután következik, hossza maximum 127 bájt lehet.

4.1.2. Az adatkapcsolati réteg

Az adatkapcsolati (MAC) réteg a fizikai és a felsőbb rétegek közti interfészt biztosítja. A fizikai réteghez hasonlóan, a MAC réteg is 2 szolgáltatást nyújt: a szolgáltatás felelős az MPDU (Mac Protocol Data Unit – Mac réteg adategysége) csomagok adásáért és vételéért a fizikai réteg szolgáltatásain keresztül. A MAC szolgáltatás felelős a beaconok – szinkronizáló keretek – kezeléséért, valamint a keretek jóváhagyásáért, és két egység közötti megbízható kapcsolat létrehozásáért. Az átviteli közegért versengés folyik, amelynek kezelése a CSMA-CA ütközésselkerülő protokoll alkalmazásával történik.

Az IEEE 802.15.4 protokoll négyféle keretformátumot definiál a MAC réteg számára:

- adat
- nyugta
- vezérlés
- beacon keret.

Az összes kerettípus az általános MAC keretformátumon alapul, mely a 4.3 táblázatban látható.

2 byte	1 byte	0/2 byte	0/2/8 byte	0/2 byte	0/2/8 byte	Változó	2 byte
Frame Control	Sorszám	Célhálózat címe	Céleszköz címe	Forráshálózat címe	Forráseszköz címe	Adat	FCS
		Címzés					
MHR						MAC payload	MFR

4.3. táblázat. Általános MAC keretformátum

A Frame Control mező a keret típusát határozza meg, és megadja, hogy a keret titkosítva van-e. Minden MAC keret egy MHR (MAC Header), egy MAC Payload (adat), és egy MFR (MAC Footer) részből áll. Az összes keretformátum tartalmaz MHR részt, amely a Frame Control mezőből, és a sorszámból áll, valamint az információs mezőből áll. A különböző keretformátumok különböző adatmezőket tartalmaznak, kivéve a nyugta keretet, amely nem tartalmaz adatmezőt. A keret végén található FCS (Frame Check Sequence) 16 bites CRC kódot tartalmaz a hibák detektálása érdekében. Az MDPU adatok a PPDU-hoz hasonlóan kerülnek továbbításra: mindig a keretben található LSB bit kerül először elküldésre és fogadásra.

A PAN koordinátor engedélyezett szinkronizáció esetén periodikusan beacon keretet sugároz. A keret szinkronizálja a hálózatba csatlakoztatott eszközöket, és információkat nyújt a hálózatról az eszközök számára.

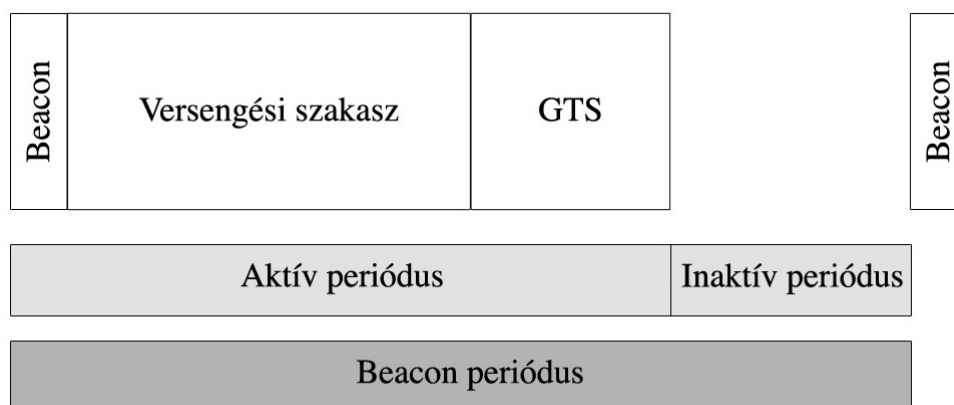
A hálózat kétféle szinkronizációs módban működhet: engedélyezett és nem engedélyezett szinkronizáló keretekkel.

Nem engedélyezett szinkronizáló keretek esetén a csomópontok bármikor küldhetnek adatot, a versengés a CSMA-CA ütközésselkerülő protokoll alkalmazásával történik.

Engedélyezett szinkronizáló keretek esetén a hálózati eszközök a periodikusan küldött beacon keretekhez szinkronizálnak, az adatküldés csak a periódusok elején történhet. A beacon keretben található meg a periódus hossza, valamint az aktív és az inaktív időintervallumok hossza. Az inaktív periódusban az eszközök kevesebb áramfogyasztást igénylő alvó üzemmódba válhatnak, de készen kell állniuk a következő beacon érkezésére.

A beacon érkezésekor kezdődik az aktív periódus, amely 16 egyenlő részre van osztva. Az aktív periódusban az eszközök versenyezhetnek az átviteli közegért. A periódus ezenfelül 2 részből áll: CAP (Contention Access Period) és CFP (Contention Free Period). A CAP periódusban bármely eszköz kommunikálhat, CSMA-CA ütközésetektáló hozzáférést használva. A CFP periódus GTS (Guaranteed Time Slot – garantált időrés) részekre oszlik. A CFP periódus maximum 7 részből áll, melyeket ki lehet osztani a kis késleltetési igényű csomópontok számára garantált időszelteként. Ekkor az a csomópont, amely megkapta az időszelteként, versengés nélkül küldhet adatot, a többi eszköz nem forgalmazhat. A működési módot a 4.3 ábra szemlélteti.

A csomópontok címezésére 2 lehetőség van: 64, illetve 16 bites azonosítók használata. Minden eszköz egyedi, 64 vagy 16 bites címmel rendelkezik. Lehetőség van broadcast címezésre is, amely esetben a küldött adat 64 vagy 16 bites címe csupa 1-es értékekből áll.



4.3. ábra. IEEE 802.15.4 beacon periódus

A címeket a PAN koordinátor osztja ki a csomópontok számára az eszközök csatlakozási folyamata során. Egy csomópont a bekapcsolása után végigpásztázza a csatornákat, és próbálja felderíteni a hatósugarán belül lévő hálózatokat. A felderítésre két módja van:

Aktív felderítés módban az eszköz beacon request kérést küld, amennyiben ezt a PAN koordinátor veszi, beacon kerettel válaszol rá.

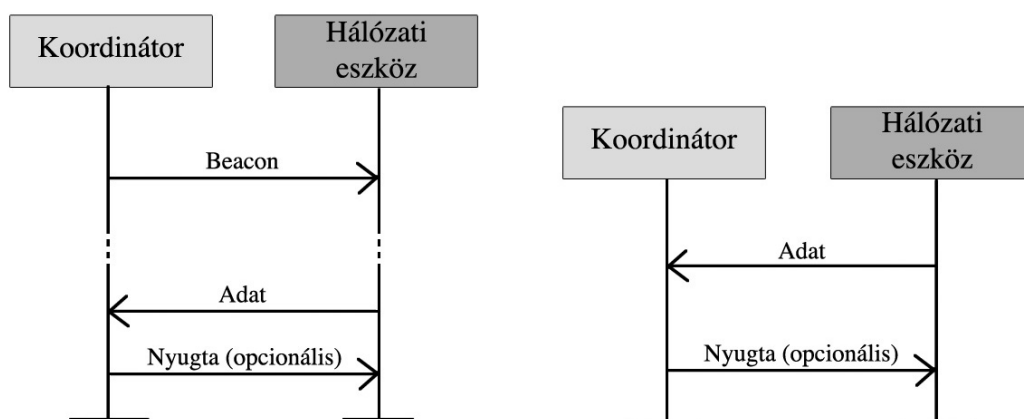
Passzív felderítés módban a csomópont vételi üzemmódba állított rádióval várakozik, beacon keret vételekor beállítja a paramétereit, és szinkronizál a hálózathoz. A megtalált hálózat PAN koordinátora ekkor elvégez a csomóponttal egy csatlakozási folyamatot, bejegyzi az eszközt a hálózatban lévő eszközök közé, és kioszt neki egy címet.

A hálózat háromféle adatátviteli üzemmódban működhet: peer-to-peer adatátviteli módban, csomóponttól koordinátor felé történő adatátviteli módban, valamint koordinátortól csomópont felé történő átviteli módban. Az adatátviteli módok felbonthatók szinkronizáló keretek használatára, illetve tiltására.

Peer-to-peer adatátviteli módban az összes csomópont szabadon kommunikálhat a hatótávolságán belül található csomópontokkal. A peer-to-peer módban állandó vételre, és egymással való szinkronizációra is lehetőség van.

Az eszköztől a PAN koordinátor felé történő adatátvitel megvalósítása a 4.4 ábrán látható.

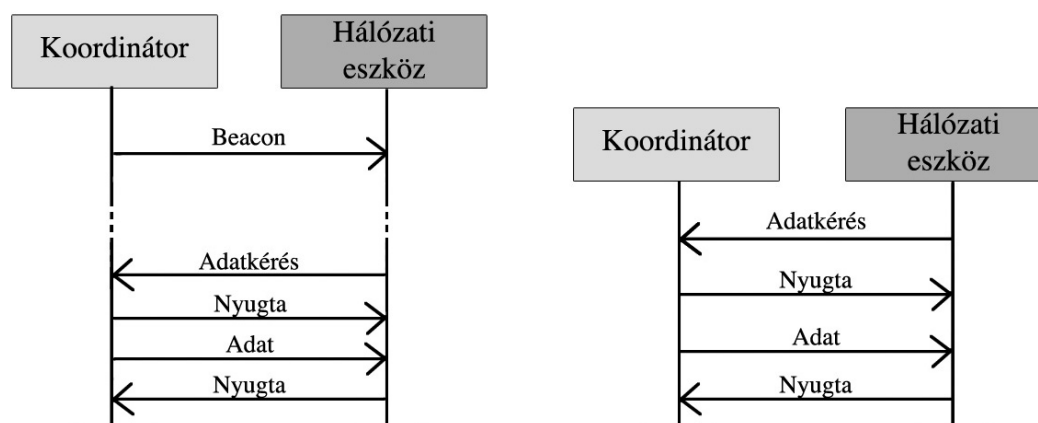
Amennyiben nincs engedélyezve szinkronizáló keretek használata, az adatátvitel úgy történik, hogy az eszköz elküldi az adatot vagy adatra való igényét a CSMA-CA ütközésselkerülő protokoll alkalmazásával.



4.4. ábra. Kommunikáció az eszköztől a PAN koordinátor felé, (a) engedélyezett szinkronizáló, (b) nem engedélyezett szinkronizáló keretek mellett

Szinkronizáló keretek alkalmazása esetén a csomópont beacon keretre vár. Amint érzékeli, szinkronizál, és a meghatározott időkeretben elküldi az adatot CSMA-CA használatával. A koordinátornak mindkét esetben lehetősége van az adatátvitel nyugtázására, amely az átvitel befejeződését jelenti.

A PAN koordinátortól az eszköz felé történő átvitel módját szintén rögzíti a szabvány. Az átvitel megvalósítása a 4.5 ábrán látható.



4.5. ábra. Kommunikáció a PAN koordinátortól az eszköz felé, (a) engedélyezett szinkronizáló, (b) nem engedélyezett szinkronizáló keretek mellett

Engedélyezett beacon keretek esetén a koordinátor beacon keretet küld, amelyre az eszköz adatkéréssel (vezérlés keret), CSMA-CA alkalmazásával válaszol. A koordinátor nyugta küldése (opcionális) után küldi az adatot, melyre az eszköz nyugtával válaszol.

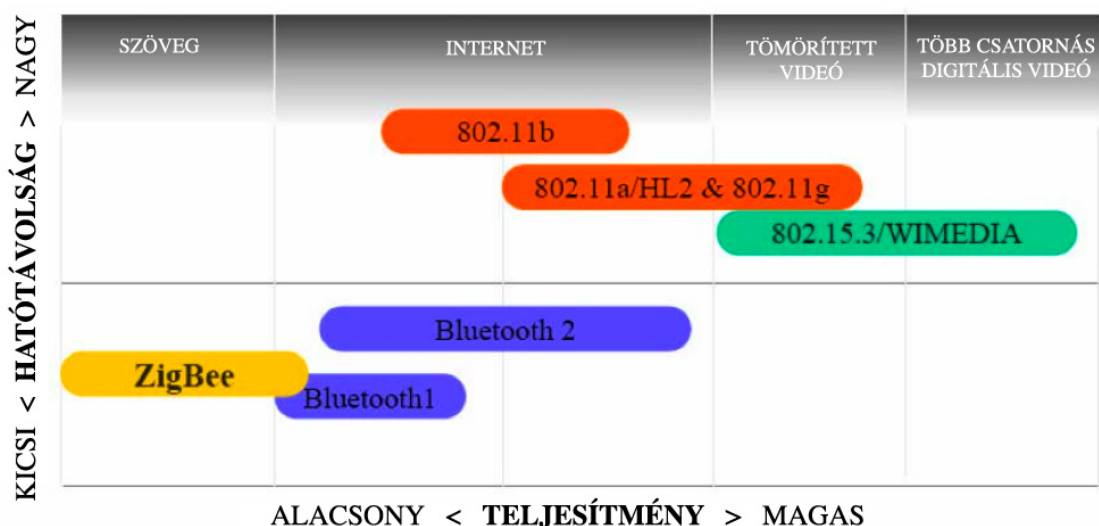
Ezzel az átvitel befejezésre kerül.

Amennyiben a szinkronizáció nincs engedélyezve, a csomópont periodikusan adatkérést (vezérlés keret) küld a koordinátor számára. A koordinátor nyugtáz, majd elküldi az adatot. Az átvitel az eszköz adatvételének nyugtázásával záródik.

Az IEEE 802.15.4 szabvány biztonsági elveket is javasol az eszközök számára, a titkosításhoz AES algoritmust ajánl. A titkosítás alkalmazását a felsőbb rétegek döntenek el, ezek a rétegek felelősek a csomópontok hitelesítéséért és a kulcskezelésért is. A következőkben röviden bemutatásra kerül a ZigBee szabvány, amely az IEEE 802.15.4 szabvány rétegeit, és a felsőbb OSI rétegeket implementálja.

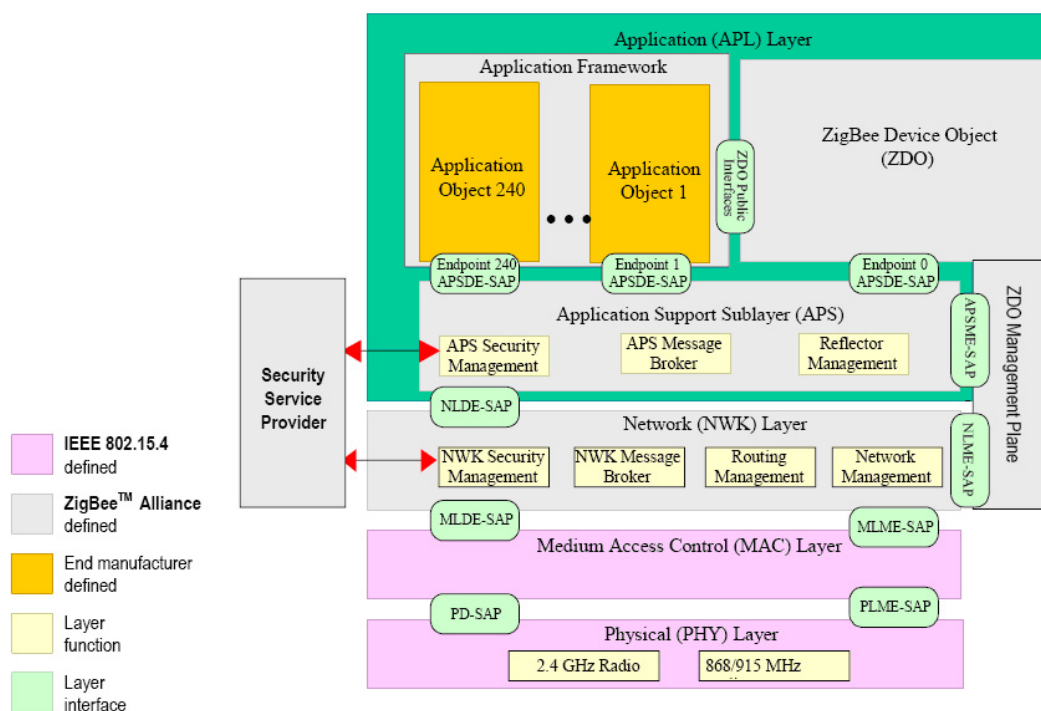
4.2. A ZigBee protokoll – rövid áttekintés

A ZigBee [1], [18] egy megbízható, költséghatékony, kis fogyasztási igényű vezeték nélküli kommunikációs szabvány. A protokoll 2004-ben került kiadásra, és 2007-ben frissítették. A ZigBee az IEEE 802.15.4 protokollon alapul, azt a hálózati és az alkalmazási réteggel egészíti ki. A 4.6 ábra a különböző vezeték nélküli kommunikációs szabványok összehasonlítását szemlélteti.



4.6. ábra. A különböző vezeték nélküli kommunikációs szabványok összehasonlítása

A 4.7 ábrán a ZigBee rétegek szerkezete, és a 802.15.4 rétegekkel való kapcsolata látható.



4.7. ábra. ZigBee stack

A kerekített sarkú téglalapok a rétegek közti kapcsolódási pontokat jelentik. A ZigBee 64 vagy 16 bites rövid címeket használ.

Az ábrához tartozó rövidítések:

- APSME-SAP: Application Support Sublayer Management Entity Service Access Point
- APSDE-SAP: Application Support Sublayer Data Entity Service Access Point
- NLME-SAP: Network Layer Management Entity Service Access Point
- NLDE-SAP: Network Layer Data Entity Service Access Point

4.2.1. A ZigBee eszközök

A protokoll a 802.15.4 szabványban alkalmazott fizikai eszközök megkülönböztetésére (RFD, FFD) további kifejezéseket is használ: az eszközöket logikai eszközöknek tekinti. A ZigBee koordinátor az első típusú logikai eszköz. Feladata a hálózat inicializálása, karbantartása, és irányítása. A hierarchiában a koordinátor alatt a ZigBee router helyezkedik el, amely a csomópontok közti kommunikáció útvonalválasztásáért felelős. Végül,

a végpont eszközök (ZigBee End Device) a hálózat egy-egy végpontjai. A koordinátor és a router csak FFD eszközök lehetnek, míg a végpont eszközök lehetnek FFD-k és RFD-k is.

4.2.2. Topológia

A szabvány 3 hálózati topológiát támogat: csillag, fa, és szövevényes (mesh) topológia. A csillag topológiájú hálózatokban kétféle csomópont létezik: a ZigBee koordinátor, és a végpont eszköz.

Fa topológiájú hálózatokban a végpont eszközök routerekhez csatlakoznak, amelyek a ZigBee koordinátorhoz kapcsolódnak.

Szövevényes topológia esetén mindhárom csomópont előfordul, de ekkor a routerek nem fa topológiába szerveződnek.

A csillag és a fa topológia esetén a hálózat működhet engedélyezett, illetve nem engedélyezett szinkronizáló keretekkel (beacon) is, szövevényes topológia esetén nem engedélyezett a beacon keretek alkalmazása.

4.2.3. A hálózati réteg

A hálózati réteg feladatai közé a hálózat felépítése, az eszközök konfigurálása, a címkezelés, a hálózati szinkronizáció, a keretbiztonság, és az útvonalválasztás tartozik. A réteg elérhetővé teszi az alkalmazási réteg számára a 802.15.4 adatkapcsolati réteg szolgáltatásait. Ehhez két szolgáltatás-elérési pontot biztosít. Az NLDE-SAP (Network Layer Data Entity Service Access Point) adattovábbítási szolgáltatást nyújt, míg az NLME-SAP (Network Layer Management Entity Service Access Point) a hálózatmenedzsmenttel kapcsolatos szolgáltatások eléréséért felelős.

Az NLDE feladatai:

- az NDPU (Network Protocol Data Unit – hálózati protokoll adategysége) előállítás az alkalmazási rétegtől átvett csomagokból
- az előállított csomag továbbítása a címzetthez, vagy a címzett felé vezető első állomáshoz
- az adatátvitel biztonságának biztosítása.

Az NLME feladatai:

- csatlakozás egy meglévő hálózathoz, vagy lecsatlakozás róla

- új hálózat indítása
- koordinátorként vagy routerként címek kiosztása az újonnan csatlakozott eszközök számára
- útvonalkeresés.

4.2.4. Az alkalmazási réteg

Az alkalmazási réteg a ZigBee legfelső rétege, amely szabványos felületet biztosít a felhasználói programok számára. A réteg feladatai:

- kötési táblák létrehozása, végpontok összekapcsolása
- üzenetek továbbítása az összekötött eszközök között
- a több csomagban elküldhető üzenetek darabolása, összerakása
- megbízható adattovábbítás.

4.2.5. Összefoglalás

A ZigBee szabvány jó választás a biztonságot, és útvonalkeresést igénylő vezetéknélküli hálózatokban. Az OSI modell összes rétegét lefedi a fizikai rétegtől kezdve az alkalmazási réteget. Egyes esetekben nincs szükség a ZigBee által támogatott bonyolultabb szolgáltatások használatára, a ZigBee implementálására, elegendő a 802.15.4 szabvány 2 rétegének alkalmazása a kommunikáció során. A CC2420 IC a 802.15.4 szabványt hardveresen támogatja, és egy helyi helymeghatározó rendszer felépítéséhez a protokoll által nyújtott szolgáltatások bőven elegendőek.

5. fejezet

Eredmények

Ebben a fejezetben bemutatom a választott helyzetmeghatározó rendszer hardveres tulajdonságainak összefoglalását, a választás okait, a szoftveres implementáció felépítését, és a tervezett szimuláció és algoritmus MATLAB-os megvalósítását. Ezen kívül bemutatásra kerülnek az RSSI értékek tulajdonságai, és a mért értékek.

A helyzetmeghatározáshoz használt controllernek a Blackfin 537 EZ-KIT Lite fejlesztőkártya került kiválasztásra, mert a tavalyi évben is egy ahhoz nagyon hasonló, Blackfin 533 EZ-KIT Lite fejlesztőkártyán dolgoztam az önálló laboratórium tárgy keretében, így annak felépítését és működését részletesen megismertem. A helymeghatározáshoz szükséges adó-vevő IC a Chipon CC2420 adó-vevő IC. Az IC alacsony ára és könnyű kezelhetősége, az RSSI érték meghatározásának támogatása, valamint viszonylag egyszerű illeszthetősége miatt ideális választás lokalizációs alkalmazás megvalósításának szempontjából. A BF537 fejlesztőkártya és a CC2420 adó-vevő IC illesztése jelenleg egyetemi keretek között folyamatban van. Az illesztés elkészülése után lehetőség nyílik a pozícióbecslő rendszer valós idejű megvalósítására, a BF537 kártyára való C programozási nyelvű implementálására, mely a szakdolgozatom egyik továbbfejlesztési lehetősége.

5.1. A hardveres és szoftveres megvalósítás áttekintése

Flexibilitás

A hardveres megvalósítás nagy flexibilitású, a rendszerhez egyszerű módon hozzáadhatók vagy megváltoztathatók benne egyes hardveres elemek. Mindegyik egység egy DSP kártyából, és a hozzá illesztett adó-vevő áramkörből áll, számuk és elhelyezkedésük

a rendelkezésre állásuknak megfelelően bármikor változtatható.

Számítási kapacitás és memória

A DSP kártya megfelelő sebességű, és megfelelő méretű memóriával és processzorral rendelkezik a pozícióbecslő rendszer megvalósításához, a CC2420 IC pedig megfelelően képes kezelni a vezeték nélküli összeköttetést.

Kommunikáció

A DSP kártya és a CC2420 adó-vevő közti kommunikáció SPI interfész használatával lehetséges. Az illesztett adó-vevő és DSP csomópontok közti kommunikáció kizárólag az IEEE 802.15.4 vezeték nélküli kommunikáció szabvány szerint történik, a szabadon felhasználható ISM rádiósávok igénybevételével. A kommunikációban zavart okozhatnak azok az eszközök, melyek fizikailag közel helyezkednek el a helyzetmeghatározó alkalmazáshoz, és szintén ezeket a frekvenciasávokat használják.

Költség

Hardveres költségek tekintetében a CC2420 adó-vevő egység alacsony árú, a BF537 fejlesztőkártya ára viszont igen magas. Ez a széleskörű felhasználhatóságnak és a nagy számú és nagy sebességű, fejlesztőkártyán található modulnak köszönhető. A modulok nagy része nem kerül felhasználásra a helyzetmeghatározó rendszerben, így a kártya akár kisebb komplexitású, kisebb fogyasztású, és alacsonyabb árú controllerre is cserélhető a jövőben.

Adók száma, adók helyzete, és a mérési pontok távolsága

A helyzet minél pontosabban történő meghatározásához szükséges, hogy a fix elhelyezkedésű adókat egymástól lehetőleg minél távolabbi pontokba helyezzük. Ekkor a helyiség különböző pontjain mért RSSI vektorok kevésbé lesznek egymáshoz hasonló értékűek, ez pedig alapvető fontosságú, hogy a vevő helyzetét egyértelműen becsülhessük.

Kisebb helyiségben vagy egy nagyobb asztalon történő lokalizáció esetén érdemes körülbelül 4 adó használata, amelyeket a helyiség vagy az asztal sarkain javasolt elhelyezni.

Az adók által sugárzott jelek térerősség-információinak off-line fázisban történő lemerésekor felvesszük a helyiség vagy asztal pontjain az RSSI értékeket. Az egy pontban

mért RSS értékek vektorát, a „location fingerprint” értékeket adatbázisba visszük. A két mérési pont közti távolságot egy $6 * 4$ méteres területen érdemes 20-40 cm-re választani, hogy megfelelő felbontású eredményt kaphassunk. Mivel a jelerősség-érték a helyiségben vagy asztalon lévő egyéb tárgyak és eszközök elhelyezkedésétől, és az időtől is nagymértékben függ, 4 adó esetén 5-10 cm-esnél nagyobb pontosság valószínűleg nem érhető el, a mérési pontok egymáshoz viszonyított távolságának csökkentésével sem.

Pozícióbecslő algoritmus

A szakdolgozatban a pozícióbecslés során az euklideszi távolság számítását használok, a feladathoz illeszkedő nagy hatékonysága miatt. Az algoritmus nagy pontosságú eredményt ad, és szinte bármely eszközben felhasználható. Implementációja sokkal egyszerűbb, mint például egy neurális háló elkészítése ezekben az alkalmazásokban, lefutási idő tekintetében pedig sokkal gyorsabb, kisebb teljesítményű kontrollereken is megvalósítható. Az algoritmus kiszámítja a vett jelerősség-vektor és az adatbázisban szereplő összes jelerősség-vektor euklideszi távolságait, és a legkisebb euklideszi távolságnak megfelelő térbeli pontot adja vissza a pozícióbecslés eredményeként.

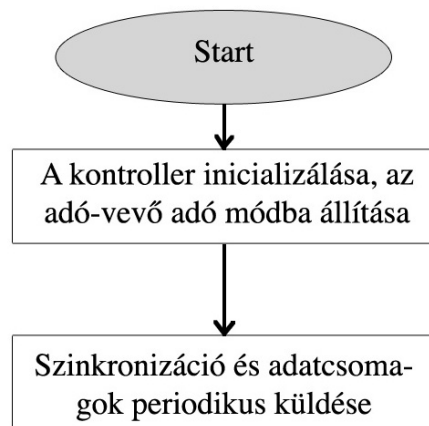
Egyéb tulajdonságok

A rendszerben szimbolikus hely meghatározására van lehetőség. A MATLAB-os megvalósításkor szimbolikusan határoztam meg a vevő helyzetét, amely esetben a helyiség vagy asztal egyik sarkát tekintettem $(0, 0)$ pozíciónak, és a vevő helyzetét ehhez képest határoztam meg. A pozícióbecslés minden esetben 2 dimenzióban történik.

A rendszer abszolút referenciát használ, a referenciarács egységes minden adóra és vevőre. Az eszközök helyi számításokat végeznek, a vevők maguk végzik a pozícióbecslést. A felismerési lehetőség, a biztonság és az adatvédelem nem kerültek előtérbe, mivel egy helyi, prototípus rendszerről van szó.

5.2. Az adó és vevő csomópontok működése

Az adó csomópontok feladata egy meghatározott frekvenciájú jel megfelelő periódusonként történő sugárzása, melyet a vevő vétel után demodulálhat és digitalizálhat, valamint meghatározhatja a csatorna jelszintjéből a vett jel térerősségét, az RSSI értéket. Az adó csomópontok működését az 5.1 ábra mutatja.



5.1. ábra. Az adó csomópont működése

A vevő csomópontok működését az 5.2 ábra szemlélteti.

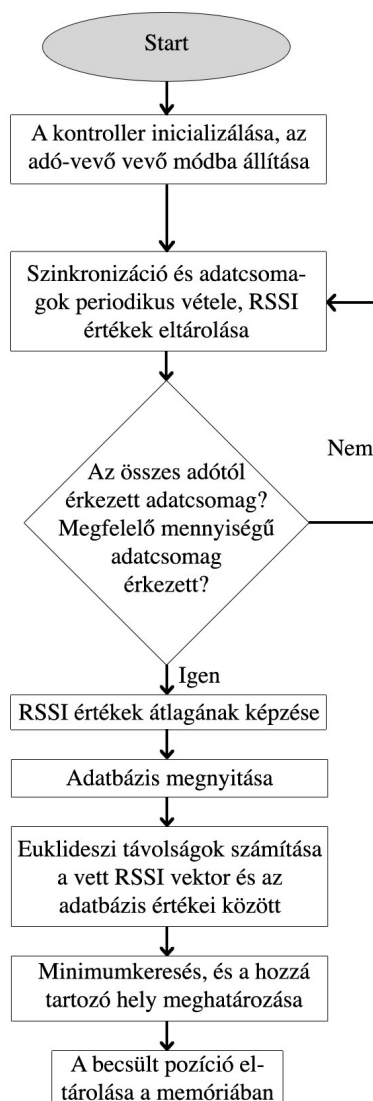
A vevő a vett jelek RSSI értékeinek átlagát számítja, majd a megfelelő mennyiségű adat vétele után megnyitja a térerősség-értékek adatbázisát, és kiszámítja a vett RSSI vektor, valamint a tárolt adatok Euklideszi távolságait. Ezután minimumkeresést végez, és a minimumhoz tartozó helyet, mint a pozícióbecslés eredményét eltárolja a memóriában.

5.3. Az RSSI tulajdonságai

Az IEEE 802.15.4 szabványt használó rádiós eszközök széleskörű felhasználhatóságának köszönhetően RSSI alapú helyzetmeghatározó rendszerek is könnyen fejleszthetők a protokoll használatával. A rendszerek pontosságát több külső, a jelerősség értékét nem kevésbé befolyásoló faktor nehezíti. A fejezetben bemutatásra kerülnek azok a méréseink során megfigyelt, és irodalomkutatások alapján megismert tulajdonságok és hatások, amelyek a vett jelerősség értékét befolyásolják. A jelerősség tulajdonságainak megismerése szerepet játszik a pozícióbecslő algoritmusok fejlesztésében és javításában.

Az RSS értékre hatást gyakorló főbb tényezők [1], [2] a felhasználók jelenléte/hiánya, elhelyezkedése, az épületek, falak szerkezete, a napszak, az adótól való távolság, a rádió típusa, és a helyiségekben található nagyobb tárgyak elhelyezkedése és jelenléte. Ezeken kívül még több kisebb tulajdonság is szerepet játszik a jelerősség nagyságában. Egyik lehetséges hatásként még az antenna típusa és irányítotttsága említhető.

Az RSS értéket befolyásoló főbb tényezők és azok tulajdonságai az 5.1 táblázatban kerültek összefoglalásra.



5.2. ábra. A vevő csomópont működése

Tényező	Tulajdonság
A felhasználó közelsége	A felhasználó jelenléte vagy hiánya
Az alkalmazott adó-vevő típusa	CC2420, egyéb
A mérés ideje	A napszak meghatározása
A mérési periódus	Másodperc, perc, óra
Interferencia	Közeli rádiócsatorna
Környezeti tulajdonságok	Kisebb vagy nagyobb helyiség, falak szerkezete

5.1. táblázat. Az RSS értéket befolyásoló főbb tényezők

Az RSS értéket befolyásoló egyéb tulajdonságok:

Az adók tulajdonságai: különböző adók különbözőképp viselkedhetnek, még akkor is, ha ugyanúgy lettek konfigurálva. Ha egy adót beállítunk, hogy egy megadott dBm teljesítményű jelet sugározzon, az adó tulajdonságai következtében ez az érték kis-mértékben változhat, mely befolyásolhatja a jelerősség értékét.

A vevők tulajdonságai: különböző típusú vevők különböző chipeket használnak, ezáltal a vett jelerősség értéke különböző lehet, még akkor is, ha minden más paraméter állandó.

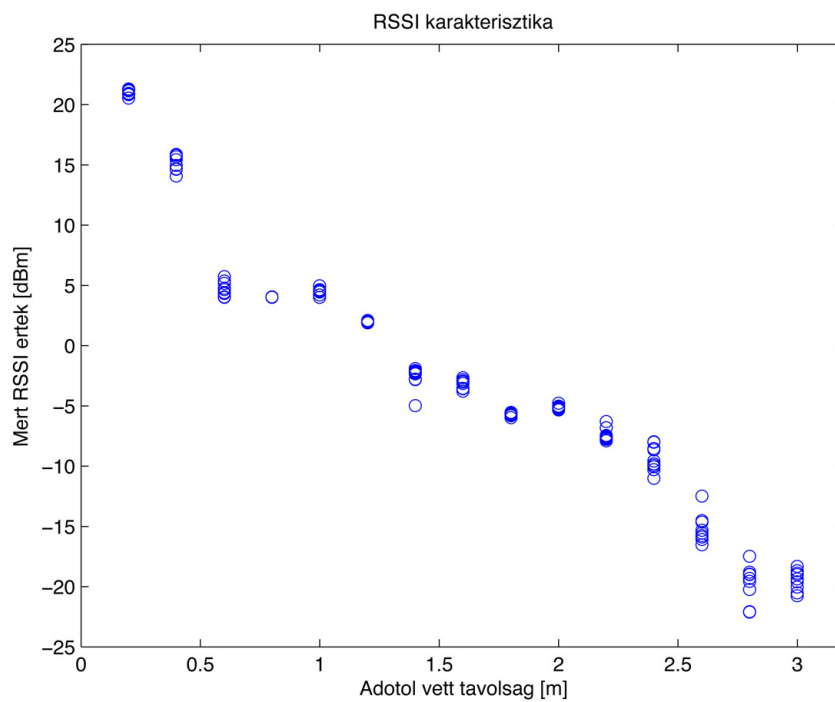
Az antenna irányítottsága: minden antenna karakterisztikája különböző. Ennek hatására a vett jel erőssége eltérő lehet, ha a vevők az antennától ugyanolyan távolságban, de nem közvetlenül egymás mellett helyezkednek el.

Méréseink során az RSSI karakterisztika felvételéhez 2 db, CC2420 IC-t tartalmazó fejlesztői kártyát használtunk. A kártyákhoz adott, Windows operációs rendszeren futtatható SmartRF Studio szoftverek használatával 20 cm-enként lemértük az RSSI karakterisztikát, az adótól való 0.2-3 méter távolságban. A SmartRF Studio könnyen kezelhető grafikus felületet nyújt a fejlesztői kártyák funkcióinak használatához. Többek közt a kártyák felkonfigurálására, a regiszterek értékeinek közvetlen beállítására, adatcsomagok küldésére és vételére biztosít lehetőséget. A méréseket az I épület 3. emeleti tárgyalóban végeztük. A mérések során az adót és a vevőt egy asztalra helyezve, a vevő helyét mérési távolságonként változtattuk. Minden pontban 10 mérést végeztünk, a kapott RSSI értékek minden esetben 50 kapott adatcsomag RSSI értékének átlagából kerültek kiszámításra. A mérések közvetlenül egymás után kerültek elvégzésre, úgy, hogy a környezetet a megfigyelések alatt megpróbáltuk a lehető legkevésbé változtatni. Az antenna függőleges helyzetben állt a mérések során. Az RSSI értékek alatt az RSSI_VAL regiszterből kiolvasott értékek értendőek, nem a valós vett jelteljesítmény, amely kb. 45 dBm-mel kisebb a regiszter értékénél. A kapott karakterisztika az 5.3 ábrán látható.

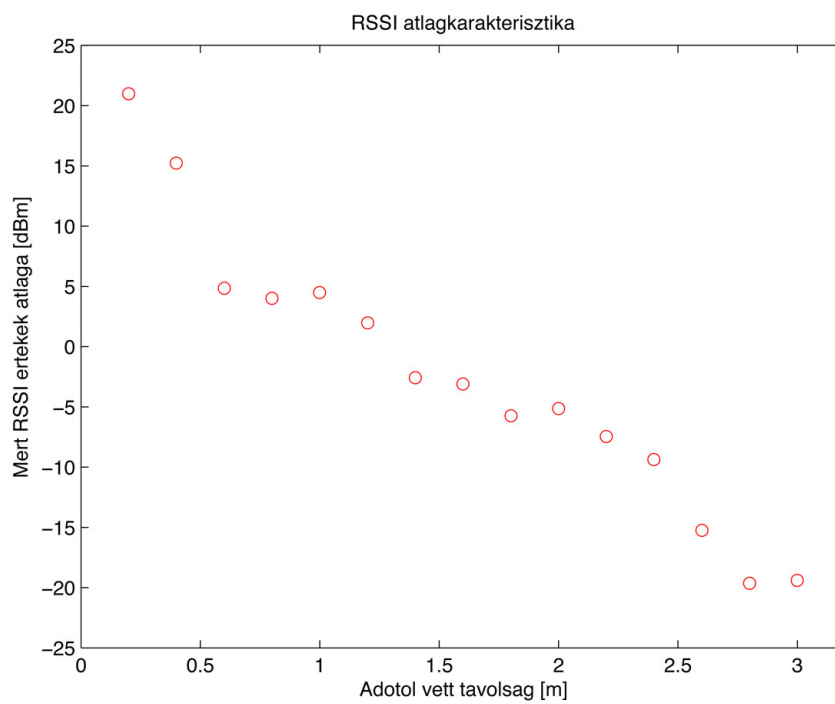
Az ábrán megfigyelhető, hogy az egy mérési pontban felvett értékek is kissé eltérnek egymástól, úgy is, hogy a környezetet a legkevésbé változtattuk, és a méréseket közvetlenül egymás után végeztük.

Az 5.4 ábrán látható az RSSI átlagkarakterisztika.

Ezek az átlagértékek alkothatnak egy adatbázist, mely alapján a pozícióbecslés történik.

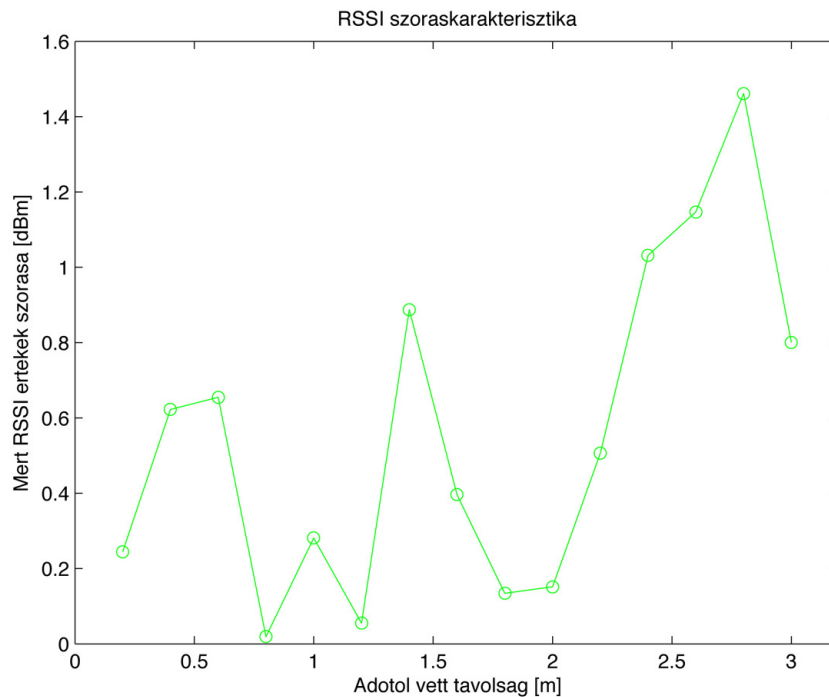


5.3. ábra. RSSI karakterisztika



5.4. ábra. RSSI átlagkarakterisztika

Az 5.5 ábra az RSSI értékek szórását mutatja.



5.5. ábra. RSSI szóraskarakterisztika

Látható, hogy a szórás a távolság függvényében változik, minimuma 0 körüli érték, maximuma 1.45 dBm.

Az eredményeket összevetve megállapítható, hogy az RSSI karakterisztika felvétele mindenképp abban a helyiségben vagy azon az asztalon ajánlott, ahol később a pozícióbecslés történik. A mérést egy másik tárgyalóteremben elvégezve már más, a lokalizáció szempontjából máshol szinte használhatatlan értékeket kaptunk, az ábrákon látható karakterisztika ott ettől nagymértékben eltért. Egyes távolságok esetén az átlagérték több mint 15 dBm-mel különbözött.

A tapasztalatok alapján a mért karakterisztika erősen függ az antenna irányítottságától. Az antennát alapesetben függőleges helyzetbe állítottuk, 45 vagy 90 fokos helyzetben megdöntve a mért értékek 1-10 dBm-mel is különböztek egy adott helyen. Az eltérések oka a nem ideális antenna karakterisztika.

A jelterjedés tulajdonságai, a törés, visszaverődés és szóródás miatt a jelerősség nem csökken mindenütt egyenletesen. Egyes esetekben, az adótól távolodva, a falhoz közeledve a vett jelerősség nőtt a kisebb távolságban lemerített értékekhez képest. Bizonyos tárgyak, mint egy vonalzó vagy könyv útba helyezése is több dBm-mel befolyásolta az eredmé-

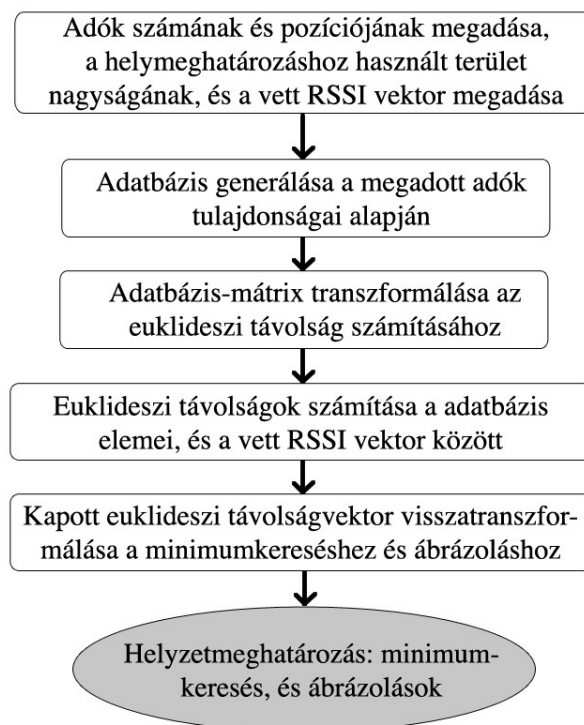
nyeket. A mérési periódus, és a mérés időpontja kis mértékben volt hatással a kapott értékekre, más adókkal való interferencia vizsgálatára nem került sor.

Összességében megállapítható, hogy a legfontosabb szempont a karakterisztika felvétele során, hogy a rendszer telepítése után, a lokalizációt használni kívánt helyen mérjük le és vigyük adatbázisba az RSSI átlagértékeket.

5.4. A pozícióbecslés megvalósítása MATLAB környezetben

A szakdolgozat elkészítése során a pozícióbecslés és a mért RSSI értékek adatbázisának generálása MATLAB környezetben került megvalósításra. A MATLAB egy professzionális, numerikus számításokat lehetővé tevő környezet, valamint programozási nyelv. A felhasználók munkáját beépített függvények, algoritmusok és grafikus felületek segítik.

Az elkészített MATLAB program felépítését az 5.6 ábra mutatja.

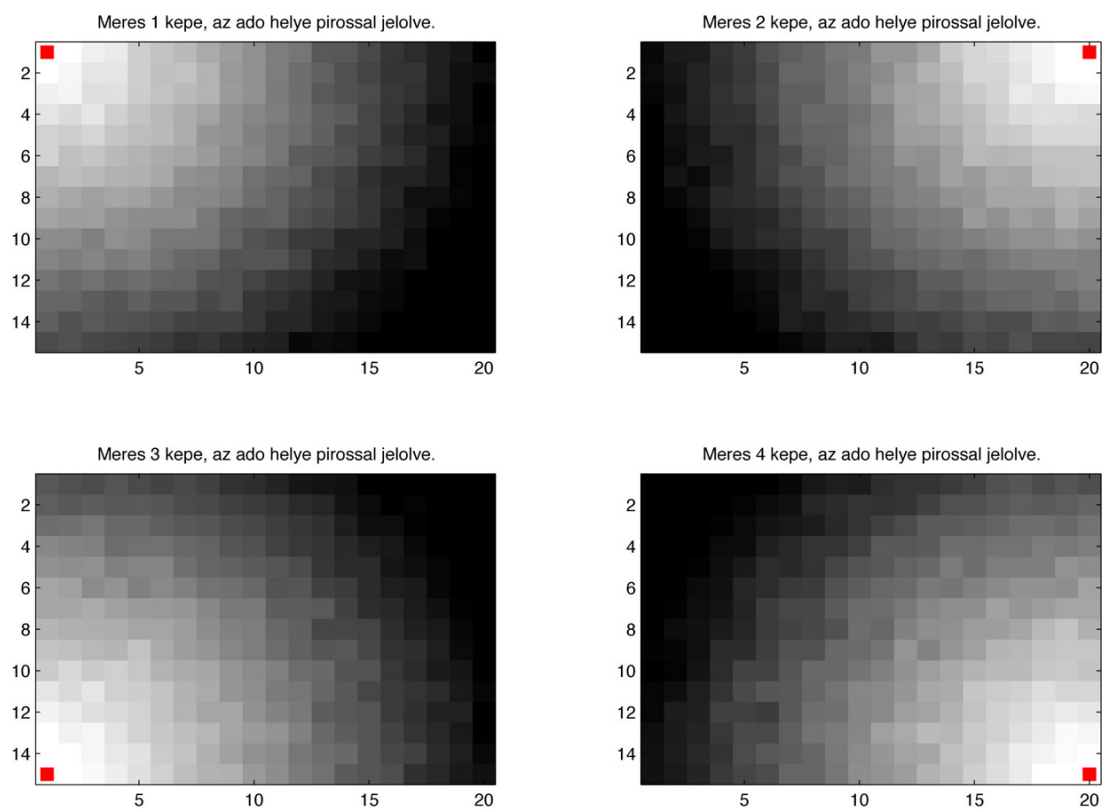


5.6. ábra. A MATLAB program felépítése

A függvényeket egy MATLAB script fájl hívja meg, meghatározott sorrendben. A script fájlban adható meg az adók száma, pozíciója, a kívánt terület nagysága, valamint a

vett jelerősség-vektor. Két mérési pont közti távolságot tekintünk 20 cm-nek. A kapott pozíció szimbolikus, a pozícióbecslés eredménye a megadott terület egyik sarokpontjától, a bal felső saroktól megadott helyzet lesz. Az adatbázis generálásakor egy egyenest illesztettem a tárgyalóteremben felvett RSSI karakterisztika átlagértékeire. Ehhez egy kis zajt keverve kaptam az RSSI értékeket az egyes mérési pontokban az adatbázis generálása során, az RSSI értékek nagysága tehát a távolság elsőfokú függvénye, kevés zaj hozzáadásával.

A generált adatbázis képe 4 adó esetén, az adókat a sarokpontokba helyezve, 3×4 méter nagyságú területen, az 5.7 ábrán látható.



5.7. ábra. Az adatbázis képe, az adókkal

Az ábrán pirossal pontok jelölik az adók pozícióját, az egyes adókhoz tartozó RSSI értékek minden adóra külön ábrán láthatók. Az egyes négyzetrácsok egymástól való távolsága 20 cm-nek tekintendő. A világosabb terület a nagyobb jelerősség-értékeket, míg a sötétebbek a kisebbeket jelzik. Értéke az adónál 17 dBm körüli, míg 3 méter távolságban -19 dBm körül van.

Az adatbázismátrix létrehozása után meghívott függvény átkonvertálja a mátrixot $A * B$ nagyságúvá, ahol A jelenti az egy adó által felvett mérési pontok RSSI értékeit,

B az adók számát. Ezen a mátrixon kerül elvégzésre az euklideszi távolság számítása: vesszük minden sor, és a vett jelerősség-vektor euklideszi távolságait, majd az eredményekkel feltöltünk egy oszlopvektort. Az euklideszi távolság számítása az ismert képlet alapján történik:

$$Dist(A, B) = \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N \frac{1}{w_i} |a_i - b_i|^p \right)^{1/p},$$

ahol N az adók száma, w_i a súlyfaktor, $w_i = 1, \forall i \in \mathbf{R}$, p pedig a norma értéke, ahol $p = 2$.

Az alábbi kódrészlet szemlélteti az euklideszi távolság számítását (adatbasis_konv jelenti az átkonvertált adatbázist, a vett jelerősség vektora egy sorvektor, jelölése jelerosseg_vektor) :

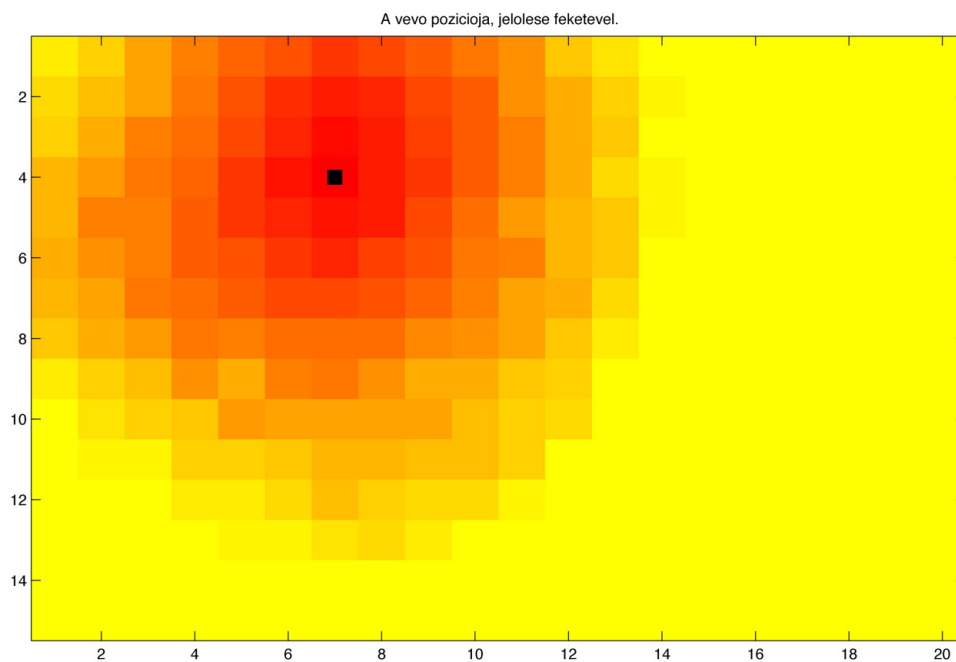
```
for i = 1:sorok száma adatbasis_konv-ban
    y = 0;
    for j = 1:oszlopok száma adatbasis_konv-ban
        y = ( adatbasis_konv(i, j) - jelerosseg_vektor(1, j) )^2 + y;
    end
    y = sqrt(y) / adok_szama;
    euklideszi_eredmeny(i, :) = y;
end
```

Az euklideszi_eredmeny vektort egy másik függvény visszakonvertálja $X * Y$ nagyságúvá, ahol X a megadott terület nagysága függőleges irányban, Y a terület nagysága vízszintes irányban. A kapott mátrix minimumhelye a pozícióbecslés eredménye, a mátrix képe az 5.8 ábrán látható.

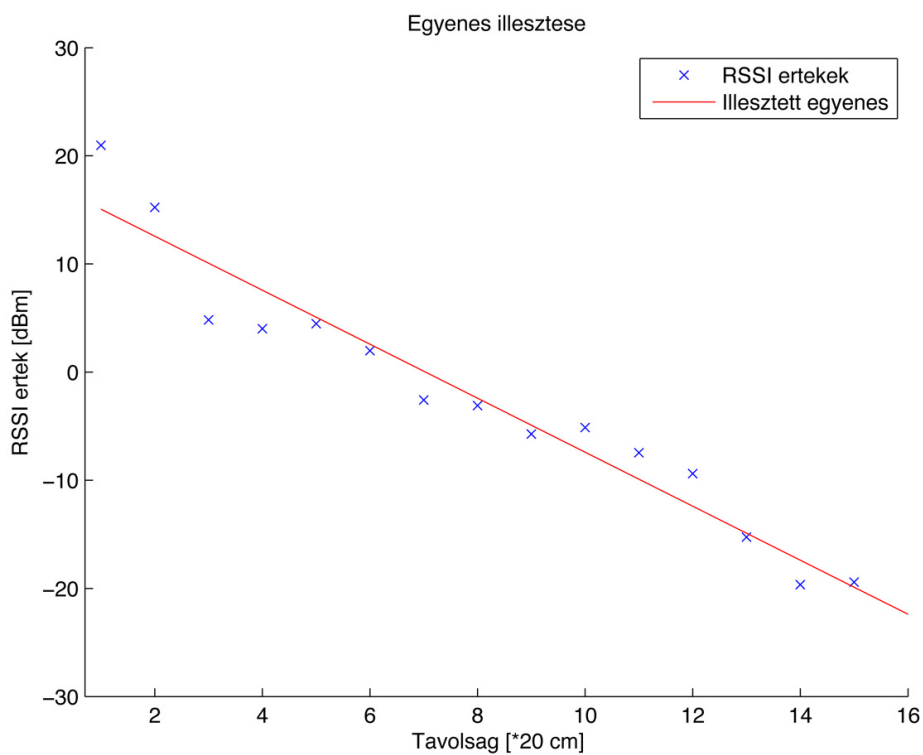
Az ábrán a közelebbi euklideszi távolságú helyek sötétebb színnel kerültek színezésre, míg a helyzetmeghatározás eredményét, a legkisebb euklideszi távolságú RSSI vektor helyét feketével jelöltem. Az egyes négyzetrácsok egymástól mért távolsága 20 cm-nek tekintendő. Amennyiben a legkisebb értékből több is van, több fekete pontot láthatunk. A nem grafikus eredmény a MATLAB Command Window-ban olvasható:

```
,, Megoldas(ok): Vevo helye(i): 4.sor, 7.oszlop, a bal felso saroktol fuggolegesen 60 cm tavolsagra, vizszintesen pedig 120 cm tavolsagra.''
```

Az 5.8 ábrán látható eredmény a [0.6 -16 -13 -26] vett jelerősség-vektorhoz tartozik. A tárgyalóteremben felvett mérési pontok átlagértékeire illesztett egyenes az 5.9 ábrán látható.



5.8. ábra. A kapott eredmény



5.9. ábra. Egyenes illesztése a mért értékekre

Az egyenes a legkisebb négyzetes hiba szerint illeszkedik, kapott egyenlete:

$$y = 17.5623 - 2.497 * x.$$

Az implementált algoritmus megfigyeléseim szerint nagyon jó megoldás a hatékony pozícióbecslésre, mivel a vett RSSI vektorhoz négyzetes értelemben vett legközelebbi vektor helyét adja vissza a helyzetmeghatározás eredményeként. Az így kapott eredmény igen nagy pontosságú, és további előnye, hogy az algoritmus az egyik legegyszerűbb, így a leggyorsabb lefutású, és kisebb kontrollerekre is implementálható a többi (például neurális hálós) megoldáshoz képest. Az algoritmus a választott hardvereken hatékonyan megvalósítható.

Az adók számának tekintetében, egy pár négyzetméteres területen 4 adó elhelyezése elegendő az elfogadható pontosságú pozícióbecsléshez. Az adók elhelyezésekor lényeges szempont, hogy egymástól lehetőleg minél távolabb helyezzük őket, így a fingerprint értékek a lehető legkülönbözőbbek lesznek, amely növeli a lokalizáció hatékonyságát. Két mérési pont közti távolságot érdemes 20 cm körüli értékre választani. Ezáltal maximum 20 cm-es pontosság érhető el a helymeghatározásban, amely általában megfelelő felbontású egy pár négyzetméteres területen. Nagyobb pontosság ennél nagyobb felbontás esetén sem érhető el az RSSI értéket befolyásoló tényezők által okozott zaj hatása miatt.

6. fejezet

Továbbfejlesztési lehetőségek, összefoglalás

6.1. Továbbfejlesztési lehetőségek

A helyzetmeghatározó rendszer legfőbb továbbfejlesztési lehetősége a Blackfin 537 processzorra való implementálása. A CC2420 adó-vevő IC és a BF537 DSP egyetemi keretek között megvalósuló illesztése után C nyelven meg lehetne írni a helyzetmeghatározó programot, amely kezeli az off-line fázisban felvett adatbázist, vezeték nélküli adatküldést-fogadást, és pozícióbecslést végez euklideszi algoritmus felhasználásával, majd a meghatározott helyzetet memóriába menti a későbbi kiolvashatóság érdekében. Lehetőség lenne az adók fix pozíciókba, egy szoba sarkaiba, vagy egy asztal sarkaira való elhelyezésére, és a lokalizáció valós idejű futtatására. Az adók konfigurálása után meghatározott jelet sugározhatnak meghatározott periódusonként, melyet a vevővel fogadva, átlagértékek képzése után felhasználhatunk a helyzetmeghatározáshoz.

Egy másik továbbfejlesztési lehetőség az adó-vevőhöz olyan mikrokontroller illesztése és programozása, amely olcsóbb, mint egy DSP fejlesztőkártya, de mégis megfelelő sebességű és kapacitású a helyzetmeghatározás, valamint az adó-vevő kezelés, csomagküldés-fogadás, és pozícióbecslő algoritmus megvalósításához.

6.2. Összefoglalás

Szakedolgozatomban áttekintettem a beltéri helyzetmeghatározó rendszerek jellegzetességeit, részletesen ismertettem tulajdonságaikat, és bemutattam a már létező fontosabb lokalizációs alkalmazásokat. Megvizsgáltam az RSSI érték főbb paramétereit, és bemutattam egy pozícióbecslő algoritmust, az euklideszi távolság számítását. Ezután áttekintettem a helyzetmeghatározó rendszer megvalósításához szükséges hardvereszközöket. A negyedik fejezetben ismertettem a lokalizációs alkalmazások kialakítására alkalmas IEEE 802.15.4 vezeték nélküli hálózati protokollt, és a rá épülő ZigBee szabvány tulajdonságait. Több helyzetmeghatározó rendszernek elegendő kisebb adatátviteli sebesség, a kis energiafogyasztás és a kis erőforrásigény pedig fontos szempont, így a 802.15.4 szabvány ideális választás lehet számukra a vezeték nélküli kommunikációhoz.

A tervezés során meghatároztam a BF537 kártyával, és a hozzá illesztett CC2420 adóvevő IC-vel megvalósítható helymeghatározó rendszer tulajdonságait, valamint alapvető szoftveres felépítését. Részletesen megvizsgáltam a jelerősség-érték tulajdonságait, és MATLAB környezetben terveztem egy helyzetmeghatározó alkalmazást, amely a megadott értékek alapján adatbázist generál, és pozícióbecslést végez. A továbbfejlesztési lehetőségeket dokumentáltam.

Köszönetnyilvánítás

Szeretnék köszönetet mondani konzulensemnek, Balogh Lászlónak a sok értékes segítségért és hozzászólásért, valamint Horváth Ákosnak az RSSI karakterisztika felmérésében való közös munkáért.

A szakdolgozat átnézésében segített Lanszki Judit, észrevételeit és segítségét neki is köszönöm.

Függelék

F.1. Script.m fájl

```
% Script a helymeghatározó rendszerhez. Az adatok megadása és ellenőrzése
% után meghívja az igényelt függvényeket.

clear all;

% Hány ado legyen
adok_szama=4;

% Mi legyen ezek pozicioja (barmely koordinata > 0 és kisebb vagy egyenlo,
% mint a a beirt terület nagysaga azon a tengelyen)
adok_pozicioja=[1 1; 1 20; 15 1; 15 20];

% területnagysag megadása
terulet_nagysaga=[15 20];

%kapott RSSI vektor, mely alapján helymeghatározunk
jelerosseg_vektor=[0.6 -16 -13 -26];

% feltetelvizsgálatok, hogy a script lefusson-e
if( size(adok_pozicioja,1)==adok_szama && size(adok_pozicioja,2)==2 && ...
    size(terulet_nagysaga,1)==1 && size(terulet_nagysaga,2)==2 && ...
    max(adok_pozicioja(:,1))<=terulet_nagysaga(1) && ...
    max(adok_pozicioja(:,2))<=terulet_nagysaga(2) && ...
    min(min(adok_pozicioja))>=1 && size(jelerosseg_vektor,2)==adok_szama )

% adatbázis generalasa
adatbázis=letrehoz(adok_szama , adok_pozicioja , terulet_nagysaga);

% kapott adatbázis atrendezese
adatbázis_corr = modify( adok_szama, terulet_nagysaga, adatbázis );

% korreláció számítása az atrendezett adatbázisban
corr_eredmeny = corr ( adatbázis_corr , jelerosseg_vektor );

% a korreláció eredmények visszarendezése ábrázolható matrixba
corr_kep = modifyback (corr_eredmeny, terulet_nagysaga);
```

```

% abrazolasok
abrazol(adok_szama , adok_pozicioja , terület_nagysaga , adatbazis , corr_kep);

% minden OK
lefutott='ok'

else

%vmi hiba van a megadott adatokkal
lefutott='hiba'

end

```

F.2. Letrehoz.m fájl

```

% A fgv. adatbazist general. A megadott adatok alapján egymás alá helyezi
% az egy adohoz tartozó generalt adatbázisokat.
% Amennyiben a megadott terület nagysága pl 7*5, az adok száma 3, a
% visszateresi matrix mérete (3*7 x 5) = 21x5-os lesz.

function [adatbazis]=letrehoz(adok_szama , adok_pozicioja , terület_nagysaga )

% terület lefoglalása
y=zeros(adok_szama*terület_nagysaga(1),terület_nagysaga(2));

for k=0:(adok_szama-1)

ado=adok_pozicioja(k+1,:);

% Az adonal a jelerőség legyen 17.562+randn.
jelerőség_adonal=17.562+randn;

for i=1:terület_nagysaga(1)

for j=1:terület_nagysaga(2)

%a jelerőséget az adotól való távolság alapján számítsa.
távolság= sqrt( (i-ado(1))^2 + (j-ado(2))^2 ) ;

% A jelerőség számítása egy pontban = jelerőség adonal-
% - 2.497*tav-randn
jelerőség=jelerőség_adonal-2.497*távolság-randn;

%matrix feltöltése a kapott értékekkel
y( (k*terület_nagysaga(1)+i) ,j)=jelerőség;
end
end
end

adatbazis=y;

```

E.3. Modify.m fájl

```
%A létrehozott meresi matrix atrendezeset vegzi a fgv. Az egy adhoz
%tartozo meresek mint oszlopvektorok lesznek az eredmeny. Az adatbazis
% matrixot soronkent olvassa be, igy rendezi oszlopokba.
%Amennyiben 4 ado van, a terület nagysaga pedig pl. 3*5,
%a matrix nagysaga 15*4-es lesz

function [adatbazis_corr] = modify( adok_szama, terület_nagysaga, adatbazis )

% terület lefoglalasa
y=zeros(terület_nagysaga(1)*terület_nagysaga(2),adok_szama);

for i=1:adok_szama
    for j=1:terület_nagysaga(1)

        y((j-1)*terület_nagysaga(2)+1:j*terület_nagysaga(2),i)=...
        adatbazis((i-1)*terület_nagysaga(1)+j,:);
    end
end

adatbazis_corr=y;
```

E.4. Corr.m fájl

```
% Korrelacio szamitas, modja: a tavolsagnegyzetek összeadasa, majd gyokvonas,
és leosztas az adok szamaval.
% A fgv. soronkent veszi az adatbazis_corr matrixot, es minden sorra
% meghatározza, hogy a sorban levo elemek negyzetesen milyen tavol vannak
% a mert jelerosseg vektortol. Ezeknek veszi az osszeget, majd az egesz gyoket,
% es az eredmenyt leosztja az adok szamaval. Az eredmeny ket vektor euklideszi
% tavolsaga. Ez lesz egy sor eredmenye.
% A fgv. egy oszlopvektorral ter vissza, melynek hossza megegyezik az
% adatbazis_corr sorainak szamaval.

function [corr_eredmeny] = corr ( adatbazis_corr , jelerosseg_vektor )

% terület lefoglalasa
corr_vektor=zeros( size(adatbazis_corr,1), 1);

for i=1:size(adatbazis_corr,1)

    y=0;

    for j=1:size(adatbazis_corr,2)

        y=(adatbazis_corr(i,j)-jelerosseg_vektor(1,j))^2+y;
    end
end
```

```

        y=sqrt(y)/size(adatbazis_corr,2);
        corr_vektor(i,:)=y;

end

corr_eredmeny=corr_vektor;

```

E.5. Modifyback.m fájl

```

% Kapott korrelacios oszlopvektor matrix-sza valo visszarendezese, hogy kepet
% abrazolhassunk rola. A kapott corr_kep matrix nagysaga természetesen
% megegyezik a terület_nagysaga - val.

```

```

function [corr_kep]=modifyback (corr_eredmeny, terület_nagysaga)

```

```

% terület lefoglalasa

```

```

y = zeros( terület_nagysaga(1) , terület_nagysaga(2) );

```

```

for i=1:terület_nagysaga(1)

```

```

    for j=1:terület_nagysaga(2)

```

```

        y(i,j)=corr_eredmeny((i-1)*terület_nagysaga(2)+j,:);

```

```

    end

```

```

end

```

```

corr_kep=y;

```

E.6. Abrazol.m fájl

```

% Kep abrazolasa a tererossegekbol, valamint a kapott eredmeny abrazolasa.

```

```

function []=abrazol(adok_szama , adok_pozicioja , terület_nagysaga , adatbazis , corr_kep)

```

```

%% Az adatbazis abrazolasa:

```

```

figure(1);

```

```

colormap(gray(160));

```

```

%az adok szamanak fuggvenyeben egy j*k nagysagu abrahamlalmazt lathatunk a
%jelerossegek abrazolasakor.

```

```

x=sqrt(adok_szama);

```



```

x_ceil=ceil(x);

if (x==x_ceil || x_ceil*(x_ceil-1)<adok_szama)

    j=x_ceil;
    k=x_ceil;

else

    j=x_ceil-1;
    k=x_ceil;

end

for m=1:adok_szama

    subplot(j,k,m);

    image(adatbазis((m-1)*terulet_nagysaga(1)+1:m*terulet_nagysaga(1),:)*3.5+110);
    hold on;

    x=adok_pozicioja(m,1);
    y=adok_pozicioja(m,2);

    % Adok abrazolasa pirossal
    plot(y,x,'--rs','LineWidth',3,'MarkerEdgeColor','r');
    title(['Meres ', num2str(m), ' kepe, az ado helye pirossal jelolve.']);

    hold off;

end

%% A kapott eredmeny abrazolasa:

% Kepalkotas, a kep autumn colormapet kap, melynek parametere a corr_kep
% atlagerteke szerint valtozik:
% a kep vilagossaga folyamatosan korrigalodik a kivant szinekhez.

figure(2);

corr_kep_2=corr_kep*adok_szama;
A=ceil(mean(mean(corr_kep_2)));
colormap(autumn(A));
image(corr_kep_2);
title('A vevo pozicioja, jelolese feketevel.');
```

```

% corr_kep matrix minimum ertekenek es helyeinek meghatarozasa
[min_ertek oszlop]=min(min(corr_kep));

k=0;

for i=1:terulet_nagysaga(1)

```

```

for j=1:terulet_nagysaga(2)

    if (corr_kep(i,j)==min_ertek)

        k=k+1;
        minimumok(k,:)=[i j];

    end

end

end

end

%A vevo poziciojanak (pozicioinak) jelolese feketevel
hold all;
for i=1:k

    plot(minimumok(i,2),minimumok(i,1),'--rs','LineWidth',5,'MarkerEdgeColor','k');

end

hold off;

%eredmenyek kiirasa
for i=1:k

MO= ['Megoldas(ok): Vevo helye(i): ' num2str(minimumok(i,1)) '.sor, '...
num2str(minimumok(i,2)) '.oszlop' ...
', a bal felso saroktol fuggolegesen ' num2str((minimumok(i,1)-1)*20) ...
' cm tavolsagra, vizszintesen pedig '...
num2str((minimumok(i,2)-1)*20) ' cm tavolsagra.' ]

end

```


Ábrák jegyzéke

1.1.	A szakdolgozat felépítése	7
1.2.	Az eszközök elhelyezkedése	8
2.1.	A helyzetmeghatározó rendszer blokkdiagramja	14
2.2.	A helyzetmeghatározó rendszerek osztályozása	17
2.3.	Bázisállomás és egy jeladó	20
2.4.	SpotON egység	21
3.1.	A BF537 processzor blokkdiagramja	30
3.2.	A processzormag blokkvázlata	32
3.3.	A BF537 EZ-KIT Lite fejlesztőkártya	33
3.4.	A CC2420 IC	34
3.5.	A CC2420 IC blokkdiagramja	36
3.6.	A CC2420 csatlakoztatása kontrollerhez	38
3.7.	A demodulátor blokkdiagramja	38
3.8.	RSSI érték a bemeneti jelszint függvényében	39
4.1.	Csillag és peer-to-peer topológia az LR-WPAN hálózatokban	43
4.2.	LR-WPAN architektúra	43
4.3.	IEEE 802.15.4 beacon periódus	47
4.4.	Kommunikáció az eszköztől a PAN koordinátor felé, (a) engedélyezett szinkronizáló, (b) nem engedélyezett szinkronizáló keretek mellett	48
4.5.	Kommunikáció a PAN koordinátortól az eszköz felé, (a) engedélyezett szinkronizáló, (b) nem engedélyezett szinkronizáló keretek mellett	48
4.6.	A különböző vezeték nélküli kommunikációs szabványok összehasonlítása	49
4.7.	ZigBee stack	50
5.1.	Az adó csomópont működése	57
5.2.	A vevő csomópont működése	58

5.3. RSSI karakterisztika	60
5.4. RSSI átlagkarakterisztika	60
5.5. RSSI szóráskarakterisztika	61
5.6. A MATLAB program felépítése	62
5.7. Az adatbázis képe, az adókkal	63
5.8. A kapott eredmény	65
5.9. Egyenes illesztése a mért értékekre	65

Táblázatok jegyzéke

2.1. Egyéb rendszertulajdonságok	19
2.2. Lokalizációs rendszerek összehasonlítása	23
2.3. Lokalizációs rendszerek teljesítménybeli összehasonlítása	24
4.1. A 802.15.4 szabvány frekvenciasávjai, és adatátviteli módjai	44
4.2. Fizikai csomagformátum	44
4.3. Általános MAC keretformátum	45
5.1. Az RSS értéket befolyásoló főbb tényezők	58

Irodalomjegyzék

[1] Shashank Tadakamadla. Indoor Local Positioning System For ZigBee, Based On RSSI. M.Sc. Thesis, Mid Sweden University, October 2006.

[2] Kamol Kaemarungsi. Design of indoor positioning systems based on location fingerprinting technique. PhD Thesis, University of Pittsburgh, February 2005.

[3] Global Positioning System.

URL:http://en.wikipedia.org/wiki/Global_Positioning_System

[4] Analog Devices. ADSP-BF537 Blackfin Embedded Processor. Rev. G, 2009.

[5] Pap László. A technika új csodája: a globális helymeghatározás.

URL:<http://www.mindentudas.hu/mindentudasegyeteme/pap/20030623paplaszlo.html>

[6] Veljo Otsason, Alex Varshavsky, Anthony LaMarca, and Eyal de Lara. Accurate GSM Indoor Localization. Tartu University, University of Toronto, Intel Research Seattle, 2005.

[7] GSM localization.

URL:http://en.wikipedia.org/wiki/GSM_localization

[8] Joshua A. Tauber. Indoor Location Systems for Pervasive Computing. August 2002.

[9] Jeffrey Hightower, Gaetano Borriello. Location Systems for Ubiquitous Computing. University of Washington, August 2001.

[10] Jeffrey Hightower, Gaetano Borriello. SpotON: An Indoor 3D Location Sensing Technology Based on RF Signal Strength. University of Washington, February 2000.

[11] Texas Instruments: Chipon CC2420 2.4 GHz IEEE 802.15.4 / ZigBee-ready RF Transceiver. Version SWRS041B, 2007.

[12] IEEE Computer Society. IEEE Std 802.15.4 -2007. Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs). August 2007.

[13] IEEE Computer Society. IEEE Std 802.15.1 -2005. Part 15.1: Wireless medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications for wireless personal area networks (WPANs). June 2005.

[14] IEEE Computer Society. IEEE Std 802.11 -2007. Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. June 2007.

[15] K. Pahlavan, X. Li, and J. P. Makela. Indoor geolocation science and technology. IEEE Commun. Mag., February 2002.

[16] Prashant Krishnamurthy. Position location in mobile environments. University of Pittsburgh, January 2002.

[17] Roberto Battiti, Mauro Brunato, Alessandro Villani. Statistical learning theory for location fingerprinting in wireless lans. University of Trento , October 2002.

[18] ZigBee Alliance. ZigBee Specification. January 2008.

[19] Analog Devices. Getting Started with ADSP-BF537 EZ-KIT Lite. Revision 1.1, April 2006

[20] Google Latitude
URL:<http://www.google.com/latitude>