

Méréssel támogatott hálózattervezés ZigBee hálózaton

CSURGAI-HORVÁTH LÁSZLÓ, DANITZ ÁRPÁD, RIEGER ISTVÁN

BME Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszék
csurgai@mht.bme.hu

Kulcsszavak: szenzorhálózat, ZigBee, tervezés, mérés, térerősség

A cikk célja egy mérésen alapuló tervezési eljárás bemutatása a vezeték nélküli szenzorhálózatokhoz (például ZigBee). Az eljárás a mérésekhez csak egyszerű és olcsó eszközöket használ, így nem csak ipari környezetben lehet létjogosultsága. A mérési eljárás és kiértékelése egy példán keresztül kerül bemutatásra.

1. Bevezetés

A vezeték nélküli technológiák az utóbbi időben egyre nagyobb népszerűségnek örvendenek és dinamikus fejlődésük várható a következő években is. A technológia terjedése teljes mértékben logikus, mivel a vezeték nélküli kapcsolatot igénylő rendszerek telepítése bonyolult és költséges (a vezetékek költsége illetve annak ára még el is törpül a hálózat kiépítésének költsége mellett). A vezeték nélküli hálózatok dinamikusan telepíthetőek, mivel nincsenek szigorúan helyhez kötve. A rendszer telepítése kis elemszámú rendszerek esetén nem okoz problémát, sokelemű elosztott hálózatok esetén viszont a rendszer optimalizálása nehézségeket okozhat.

A lehetséges megoldások közül a mai napig a leginkább elterjedt a rendszerek túlméretezése, ami természetesen gazdasági szempontokat is vizsgálva nem a legelőnyösebb megoldás. A problémára megoldást jelenthetne a telepítési környezet számítógépes szimulációja, de ennek költségei az átlag felhasználó számára nem megfizethetőek. A vezeték nélküli hálózat megtervezésének egy harmadik lehetséges megoldása lehet az, hogy a rendszer telepítésére szánt környezetet – a térerősség-értékeket mérve – előre feltérképezzük. A következőkben egy ilyen feltérképező rendszert, illetve az azzal elért mérési eredményeket kívánjuk bemutatni vezeték nélküli szenzorhálózat esetében.

2. Vezeték nélküli szenzorhálózatok

A bevezetőben említett nagy elemszámú hálózatokra talán a legjobb példának tekinthetőek a vezeték nélküli szenzorhálózatok. A szenzorhálózatokat olcsó, vezeték nélküli kapcsolattal rendelkező szenzormodulok építik fel. A szenzormodulokra épülő vezeték nélküli szenzorhálózatoknak nem célja a magas adatátviteli sebesség, viszont lényeges, hogy nagyszámú eszköz integrálható legyen a rendszerbe és ezek beavatkozás nélkül sokáig működőképeseek legyenek. Több vezeték nélküli szabvány is létezik, mint például a Wi-Fi és Bluetooth,

de ezek a rendszerek leginkább az adatátviteli sebesség növelésére törekedtek fejlődésük során.

A vezeték nélküli szenzorhálózatok életre hívtak egy energiatakarékos, alacsonyabb adatátviteli sebességgel rendelkező szabványt, melynek a neve ZigBee lett. A fent említett hálózatok mindegyike a szabadon felhasználható ISM-frekvenciasávokban működik (ez leginkább a 2,4 GHz-es sávot jelenti).

2.1. A ZigBee

A ZigBee rendszer kifejlesztésének elsődleges céljai a következők voltak:

- nagyon alacsony energiafelhasználás,
- olyan frekvenciatartomány használata, amely nem engedélyköteles,
- egyszerű telepíthetőség és rendszerfejlesztés,
- alacsony ár,
- magas adatbiztonság a kommunikáció során.

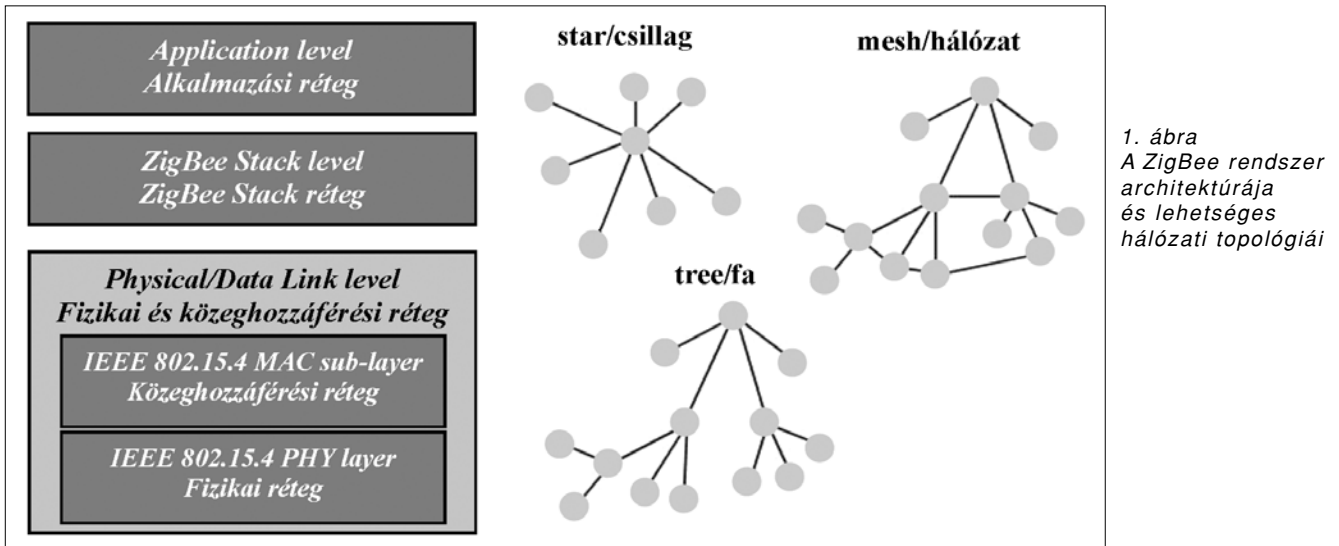
Ezen szolgáltatások kielégítésére jött létre az IEEE 802.15.4 szabvány, mely a rendszer fizikai illetve közeg-hozzáférési rétegét definiálja. A szabványosításnak köszönhetően a különböző gyártók ZigBee termékei zavartalanul képesek az egymással való kommunikációra.

A végleges architektúra az 1. ábrán látható. Ugyanezen az ábrán feltüntettünk a lehetséges hálózati topológiákat is [1,2].

A rendszert általában a 2,4 GHz-es ISM sávhoz kötik, pedig a ZigBee szabvány specifikációjában szerepel a 868 MHz-es európai és a 915 MHz amerikai ISM-sáv is. A ZigBee rendszerek kommunikációja meghatározott csatornákon történik és nem használja ki a kommunikációra az egész ISM-spektrumot (ellentétben a Bluetooth, vagy a WLAN rendszerekkel).

A 868 MHz-es sáv Európában szabadon használható. Ebben a frekvenciatartományban egy csatorna fért csak el, ez lett a nullás csatorna. A rendszer ebben a frekvenciasávban BPSK modulációt használ, az ezzel elérhető maximális adatátviteli sebesség 20 kb/s.

A 915 MHz-es sáv csak Amerikában és Ausztráliában van a szabadon, engedély nélkül felhasználható frekvenciasávok között. Pontos frekvenciaértéket tekintve



1. ábra
A ZigBee rendszer architektúrája és lehetséges hálózati topológiái

ez a 902-928 MHz-es frekvenciatartományt jelenti, amely sávban tíz csatorna fér el. Ebben a frekvenciatartományban szintén BPSK modulációt használ a rendszer, és az itt elérhető maximális adatátviteli sebesség 40 kb/s.

Végül a legismertebb a 2.4 GHz-es sáv, melynek pontos tartománya 2400-2483.5 MHz. Ebben a frekvenciatartományban 16 csatorna fér el. Az eddigiektől eltérően itt nem BPSK modulációt, hanem O-QPSK modulációt használnak. Ezzel a modulációval az elérhető adatátviteli sebesség 250 kbit/s-ra nő.

Megvalósítását tekintve a gyártók általában csak a 2,4 GHz-es kommunikációt építik bele a moduljaikba. Ez egyrészt érthető, mivel ebben a sávban érhető el a legnagyobb adatátviteli sebesség, továbbá világszerte korlátozások nélkül használható. Ugyanakkor mivel a ZigBee rendszer specifikációjában szerepelnek az alacsonyabb frekvenciás ISM-sávok is, ezzel némiképpen sérül a szabvány, hiszen a különböző ZigBee-eszközök esetleg képtelenek lesznek egymással kommunikálni.

3. A hálózattervezés lehetséges eszközei

Az elosztott hálózatok kialakítása során többféle tervezési metódust követhetünk, melyek közül három módszert, a túlméretezést, modellezés alkalmazását és a környezet méréssel történő feltérképezését ismertetjük.

3.1. A hálózat túlméretezése

A mai napig leginkább használatos eljárás a hálózatok túlméretezése. Ilyen esetben a kommunikáció biztosítása érdekében többleteszközöket (routereket) építenek be. Ez az eljárás kevéssé szisztematikus, nem feltétlenül oda kerülnek a többleteszközök, ahol a hálózatnak a ténylegesen sérülékeny szűk keresztmetszete van. Az eredmény nem tekinthető optimálisnak sem az eszközkihasználtság, sem a megbízhatóság és terheltség szempontjából.

3.2. Modellezés

A hálózatoptimalizálás egy másik lehetősége a modellezési eljárás. Ennek során a vizsgálni kívánt épület alaprajzát valamint a terjedést befolyásoló egyéb belső berendezési tárgyakat is beleértve létrehozható az épület háromdimenziós digitális modellje. Ebben a modellben számítógépes szimulációval, a sugárkövetésnek (ray tracing) nevezett eljárás segítségével meghatározhatóak a tér pontjaiban mérhető térerősség értékei [5,6].

Az eljárás lényege, hogy a sugárforrásból kiinduló elektromágneses hullámot felbontja irányított sugarakra. Meg kell jegyezni, hogy ez egy közelítő eljárás, amely annál jobban közelíti a valóságot, minél több sugárra bontja fel az eljárást a vizsgált hullámot. Az eljárás minden sugarat külön kezel, a viselkedésüket a Maxwell-egyenletek alapján számolja. Az elektromágneses térszámítás ily módon alkalmas az elektromágneses hullámok pontos viselkedésének, csillapodásának illetve kölcsönhatásának más hullámokkal illetve a közeggel történő szimulációjára. A Maxwell egyenletek megoldása bonyolult differenciálegyenlet-rendszerre vezethető vissza, amelynek megoldása igen számításgépes feladat. A kialakuló rendszerben használt sugarak számának növelésével exponenciálisan megnő a kölcsönhatások száma, így a feladat megoldásához szükséges számítási kapacitás is.

Az épület háromdimenziós modelljének digitális formában történő előállításának nehézségei illetve a szimulációhoz szükséges jelentős számítási teljesítmény a feladat megvalósítását túlzottan bonyolulttá teszi. Ezért a következő fejezetben egy a gyakorlatban is könnyebben megvalósítható eljárást, a környezet méréssel történő feltérképezésére épülő hálózattervezési módszert ismertetünk.

3.3. Méréssel támogatott hálózattervezés

A méréssel támogatott hálózattervezésnek az alapja, hogy a hálózat kiépítése előtt egy mérőeszközzel feltérképezzük egy rögzített pontban elhelyezett adóberendezés esetén az épület különböző pontjain mérhető térerősségeket. A hullámterjedési viszonyok pontos mo-

dellezése jelen esetben lényegtelen, csak az adó által az épület egyes pontjaiban létrehozott térerősség értékei hordoznak információt, mivel a modulok kommunikációs képességeit a pontokban mérhető térerősség jellemzi. Kellően sok mérési pont esetén az eredményeket interpolálva megkapható a térerősség eloszlása az adott épületgeometrián belül. A mérési eljárás kevés erőforrás segítségével (egy adó és egy szenzor) könnyen elvégezhető. Ez után az adatok feldolgozása és ábrázolása egy matematikai programcsomag számára már nem jelent problémát. A méréssel támogatott hálózattervezés kézzelfoghatóbb és könnyebben kivitelezhető, mint a modellezési eljárással támogatott tervezés.

4. A mérés gyakorlati megvalósítása

Az elérni kívánt cél tehát egy olyan rendszer kifejlesztése, amely speciális és drága berendezések nélkül képes a térerősség viszonyok feltérképezésére egy tetszőleges geometriájú épületben. Az elképzelt mérőrendszer a ZigBee-modulokba épített, a gyártási és bemérési eljárás során használt tesztmodulokat használja a méréshez. A modulokban található RSSI (Received Signal Strength Indicator) regiszter segítségével kiszámolható az adott csatornán mérhető hasznos jel erőssége, azaz a térerősség. A mérés során a feltérképezendő épületben egy adott ponton rögzített adót használva egy laptop-hoz csatlakoztatott modullal, mint szenzorral feltérképezhető a térerősség értéke az épület különböző pontjain.

A mérési pontok a későbbiekben tetszőleges matematikai programcsomaggal, például a MATLAB-al kiértékelhető. A mérési pontok közötti interpolációt elvégezve egy olyan térerősségeloszlás-grafikon kapható, amely kellően sok mérési pont esetén hitelesen mutatja a térerősség eloszlását az épület minden pontjában.

5. A kifejlesztett rendszer

A mérések elvégzéséhez a Jennic cég JN5139 típusszámú vezeték nélküli moduljait választottuk. A modul beépített kerámiaantennával rendelkezik, a rendszer köz-

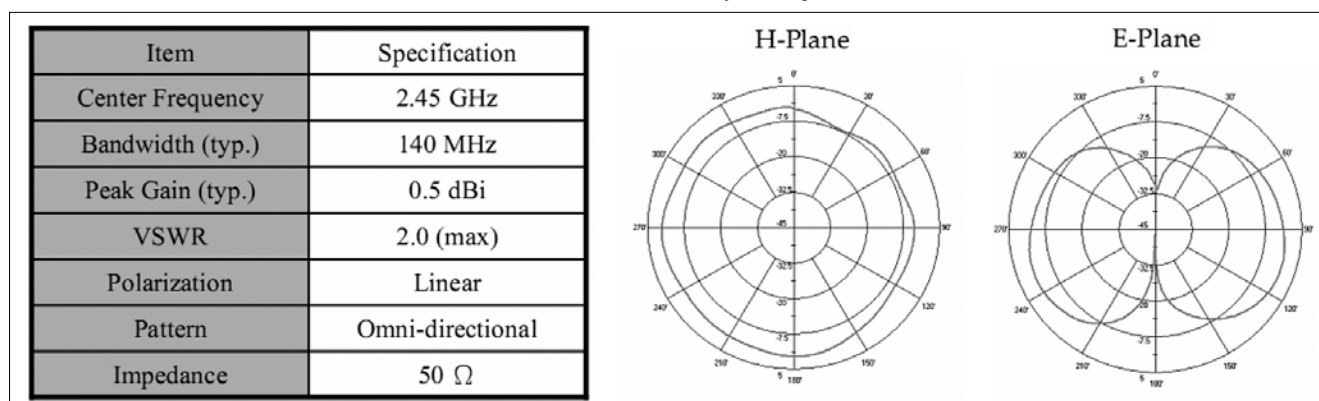
ponti egysége pedig a JN5139-es Jennic mikrokontroller. A modul alkalmazásához egy egyszerű befogadó alaplapot kellett tervezni, amely biztosítja a szükséges tápfeszültséget, a kommunikációt biztosító USB-soros átalakítást, valamint a működés ellenőrzésére szolgáló visszajelző LED-eket. A felhasznált modul központi egysége a Jennic cég saját fejlesztésű mikrokontrollere, amely a JN5139-es típuszámot viselő 32 bites, RISC utasításkészletű 16 MIPS teljesítményű vezérlő.

A mérésekhez a gyárilag kerámiaantennával szerelt modult választottuk, melynek maximális adóteljesítménye 0 dBm, a minimális jel pedig, amelyet érzékelni képes -98 dBm. Az újabb modulokban van lehetőség egy úgynevezett „turbo” módra, amely ideiglenesen képes az adóteljesítményt 3 dBm-re növelni [3,4]. A legújabb fejlesztésű modulokban a kimenő teljesítményt fokozták és a vevő érzékenységét javították, amivel a hatótávolság jelentősen növelhető, különösen külső antenna alkalmazásával [9,10]. A kerámiaantennáról néhány jellemző adat a 2. ábrán látható [8].

A mérőszoftver a Jennic által biztosított CodeBlocks környezetben, C nyelven íródott. Mivel a ZigBee-szabvány nem engedélyezi a felhasználónak sem a vezeték nélküli modem erőltetett ki/be-kapcsolását, sem az erőltetett manuális csatornaválasztást, ezért ezeket a műveleteket a fejlesztői környezet stack szintje elfedi. Ugyanakkor az általunk elérni kívánt célok megvalósításához szükség volt a hozzáférésre ezekhez az alapművelethez. Ennek érdekében a mérés során a háttérben futó beépített operációs rendszernek (BOS – Basic Operation System) nem engedhető át a vezérlés, hiszen alapesetben az kezelné a rádiós kapcsolatot. A mérőprogramunk ezért a gyártó cég teszt-utasításkészletét használja. A tesztkörnyezet ugyan nem része a fejlesztőrendszernek, de szerencsére bővítményként letölthető a gyártó honlapjáról.

A mérés során a fixen rögzített adónak kinevezett modulon a rádiós egységet a maximális teljesítményszint beállításával kapcsoljuk be, majd választhatóan egy bináris „1” sorozatot vagy egy pseudo-random bit-sorozatot küldünk a rádiós interface felé. A mobil vevőegység egy terminálprogrammal kapcsolódva folyamatosan méri a térerősséget, amely a mérni kívánt helyen leolvasható vagy folyamatosan naplózható.

2. ábra Antennatulajdonságok



Távolság [m]	1	6	16	26	34	40	48	58	64	76	88
Télerősség [dBm]	-39.0	-54.6	-63.1	-67.3	-69.7	-71.1	-72.7	-74.3	-75.2	-76.7	-77.9

1. táblázat Télerősség-értékek elméletileg számított értékei

Távolság az adótól [m]	1	6	16	26	34	40	48	58	64	76	88	94
Télerősség a folyosó bal szélén [dBm]	-55	-70	-70	-78	-78	-82	-82	-86	-88	-90	-92	-98
Télerősség a folyosó közepén [dBm]	-47	-60	-65	-72	-98	-90	-98	-92	-98	-98	-98	-98
Télerősség a folyosó jobb szélén [dBm]	-53	-65	-67	-72	-72	-78	-82	-86	-88	-88	-92	-98

2. táblázat Télerősség értékek mért értékei a 7. emeleti folyosón

Távolság az adótól [m]	1	6	16	26	34	40	48	58	64	76	88	94
Télerősség a folyosó bal szélén [dBm]	-76	-78	-78	-82	-82	-82	-80	-88	-92	-94	-96	-98
Télerősség a folyosó közepén [dBm]	-76	-78	-72	-80	-82	-98	-92	-98	-98	-98	-98	-98
Télerősség a folyosó jobb szélén [dBm]	-76	-78	-78	-82	-82	-80	-82	-88	-92	-94	-96	-98

3. táblázat Télerősségek mért értékei a 6. emeleti folyosón

6. Egy konkrét mérési eredmény

A következőkben példaképpen BME V2-es épületének 7. illetve 6. emeletének folyosóján elvégzett mérések eredményeit ismertetjük. A teret lépcsőházak és liftgép-házak is tagolják, valamint számos kiszögellés módosítja a falak reflexiós tulajdonságait. Az adóberendezést a 7. emeleti folyosó egyik végén, középen helyeztük el, a talajtól számított 1 m-es magasságban, a folyosó szabad része felé irányított antennával.

A mért értékek a folyosó alaprajza szerint megadott jellegzetes mérési pontokon, vagyis a jól azonosítható ajtóknál, lépcsőlejáratok helyein stb. kerültek rögzítésre. Az épület 100 méteres hosszát figyelembe véve kiszámíthatóak a mérési pontok elhelyezkedési koordinátái.

A mérések megkezdése előtt a folyosót, mint szabad teret tekintve elvégeztünk néhány számítást annak érdekében, nagyságrendileg felbecsülhessük, milyen eredmények várhatók a tényleges mérések során.

6.1. Terjedési csillapítás számítása

A folyosón végzett mérés előnye, hogy az egyszerű geometria miatt szabadtéri terjedést feltételezve ellenőrizhető, hogy a mért értékeink nagyságrendileg milyen tartományba esnek majd.

A Friis-egyenlet alapján (1) egyutas terjedés esetén számítható szabad térben az R távolságban mérhető télerősség, amennyiben az interferencia-zóna határán kívül vagyunk, azaz a térrész már az antenna távolterének számít [7].

$$\frac{P_r}{P_t} = G_t \cdot G_r \cdot \left(\frac{\lambda}{4 \cdot \pi \cdot R} \right)^2 \quad (1)$$

A képletben P_r a vett teljesítmény, P_t az adó teljesítménye, G_t az adó antenna nyeresége, G_r a vevő antenna nyeresége, λ a hullámhossz és R a vevőnek az adótól mért távolsága.

Fontos megjegyezni, hogy jelen esetben minden mennyiség lineáris egységrendszerben szerepel. Általában az adatlapokon a mennyiségek logaritmikusságban vannak megadva. Ehhez a Friis-egyenlet módosítása szükséges (2). Az egyenlet ebben az alakban a szabadtéri csillapítást adja logaritmikusságban.

Ezt levonva az adóteljesítményből kaphatjuk R távolságra a télerősséget:

$$a_0[\text{dB}] = 20 \cdot \lg \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot R}{\lambda} \right) - (G_t[\text{dB}] + G_r[\text{dB}]) \quad (2)$$

Természetesen ezek a formulák csak egy közelítő becslésre használhatóak, mivel egy zárt folyosót nem tekinthetünk a modell által leírt szabadtéri egyutas terjedésnek, így kizárólag közvetlen rálátás esetén a vevő helyén mérhető télerősség nagyságrendjének becslésére használhatóak. Az 1. táblázatban foglaltuk össze ezeket a számításokat, amelyek jó összehasonlítási alapot szolgáltatnak a később ismertetésre kerülő tényleges mérési eredményekkel.

6.2. Terjedési mérések ZigBee modulokkal

Ebben a szakaszban a 7. és 6. emeleti folyosókon elvégzett mérések eredményeit ismertetjük. A méréshez használt Jennic modul vételi jelszint kijelzésének határa -98 dBm, amely értéket tapasztalataink szerint a jelszint az adótól a legtávolabbi pontoknál el is érte. A 7. emeleti mérések során kapott jelszinteket a 2. táblázat mutatja be.

A folyosó, mint az első mérési sorozat helyszíne, a viszonylag egyszerű geometriájának következtében az előzőleg jól becsülhető télerősség eloszlást mutatta (3. ábra).

A grafikon mellett láthatóak a színekhez tartozó jelszint értékek dBm-ben kifejezve. A grafikon bal szélén középen helyezkedett el az adó-modul. Jobbra távolodva az adótól látszik, hogy egyenletesen csökken a télerősség értéke. Az első nagyobb csillapítású pont az ábrán a folyosón található liftakna mögött található. A liftakna után a szórt tér miatt még nem csökken le teljesen a télerősség. A következő nagy csillapítást okozó objektum a beton lépcsőház. A lépcsőházon belül az első lépcsőlejárónál elvégzett mérés szerint a szórt teret hatására -92 dBm vételi jelszint detektálható.

A mérések eredménye három dimenzióban ábrázolva talán még szemléletesebb (4. ábra). A térbeli ábrán jól látható, hogy a folyosó szélén, ahol nincsenek zavaró objektumok, a télerősség csökkenése lineáris jelleget mutat.

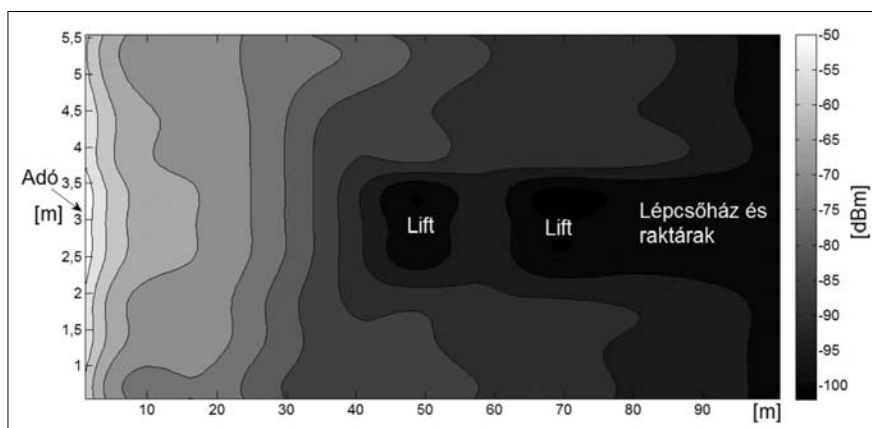
A méréssorozatot a 6. emeleten is elvégeztük, változatlanul hagyva az adót helyét, amely a 7. emeleten volt. A mért eredmények szerint közvetlenül az adó alatti helyen, ahol egy betonfödém választja el az adót a vevőtől, meglepően nagy, -76 dBm-es érték volt tapasztalható. Alaposabban megfigyelve a szinteket elválasztó betonréteget, megállapítható volt, hogy a folyosó végén, feltehetőleg szellőzési céllal egy körülbelül 20 cm-es légrés található az oldalfal és a szinteket elválasztó beton réteg között. Ez okozhatta a vártnál nagyobb térerősség-értékeket, melyeket a 3. táblázatban foglaltunk össze.

Az egész folyosón mért vételi jelszint-értékek közül a maximális, -72 dBm a lépcső alján volt mérhető, ami a modulok egymásra való közvetlen rálátásának volt a következménye.

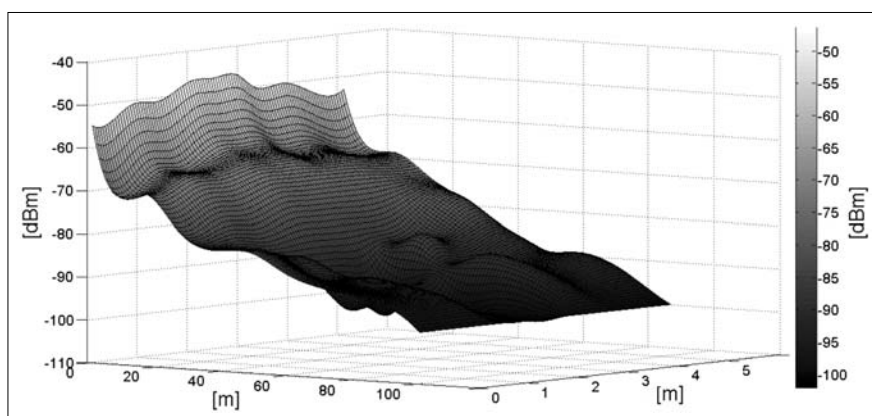
Az eredmények grafikusán ábrázolva az 5. ábrán láthatóak. Az ábra jellegét tekintve megegyezik az előzővel, jól látszik rajta az első liftakna okozta hirtelen térerősség-csökkenés, majd a következő térerősség-csökkenés az újabb lift és beton lépcsőház kezdetével. A jelszint térbeli eloszlását a szemléletesség kedvéért ebben az esetben is bemutatjuk (6. ábra).

6.3. A mérési eredmények értékelése

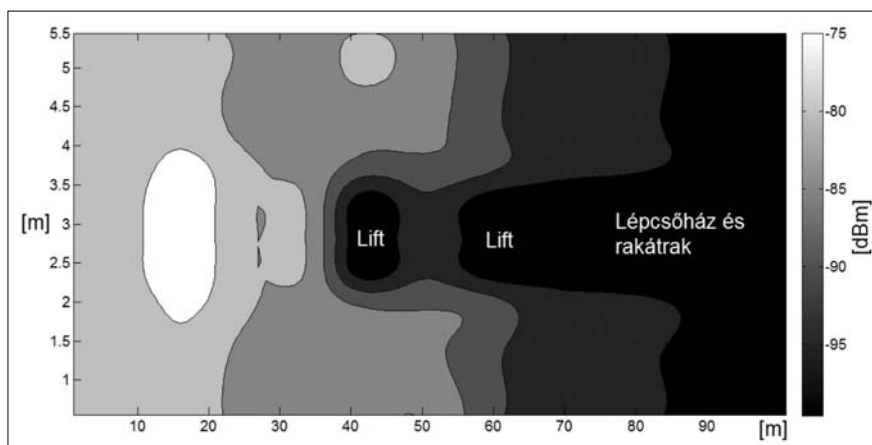
A mért térerősség-értékek az elméletileg elvárt eredményeket jól tükrözik. Mindazonáltal a modulok kommunikációs képességeit ezek az eredmények csak közvetve mutatják, mivel ezeknek a rendszerekben kifinomult hibajavító képességek vannak. A térerősség természetesen összefüggésben van a bithiba valószínűségével, továbbá a modulokba épített hibajavító eljárások miatt az eszközök meghatározott számú bithibát képesek kijavítani csomagonként a kommunikáció során. A nem javítható csomagoknak az újraküldését kérik a modulok és ez a mechanizmus jelentősen javítja a hálózat működőképességét és robusztusságát, ugyanakkor azonban jelentős átviteli sebesség csökkenést okoz. Tehát a hálózat tervezésekor célszerű meghatározni azt a térerősséget, aminél még nem fordul elő csomagvesztés. Annál a tér-



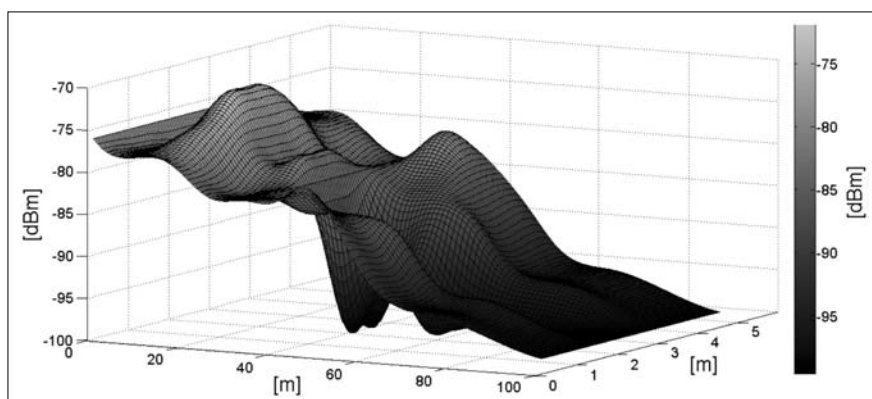
3. ábra Mért térerősségek eloszlása a 7. emeleten



4. ábra A 7. emeleti mérés eredményének térbeli ábrázolása



5. ábra Vételi jelszint értékek a 6. emeleten, 7. emeleti adó esetén



6. ábra A 6. emeleti vételi jelszint térbeli ábrázolása

erősségnél magasabb térerősségű helyre érdemes helyezni a modulokat, amivel kommunikálni akarunk. Ha a vevőnk helye is rögzített és az előbb meghatározott térerősségű helynél kisebb térerősségű helyen található, a rendszer stabilitása érdekében többféle lehetőség is van az adatátvitel megbízhatóságának a növelésére. Lehetőség van egy vagy több router modul hálózatba iktatására, illetve az új típusú, nagyobb teljesítményű, kisebb érzékenységgű modulok alkalmazására. Külső antennával is javítható a megbízhatóság, sőt újabban a modulok a diverziti eljárásokat is támogatják.

A térerősség mérések helyett teljesen hasonló módon, a modulok beépített függvényei segítségével közvetlenül mérhető a csomag hiba arány (PER – Pocket Error Rate) is, de ennek a kiértékeléséhez nem állt rendelkezésre elegendő gyártói információ. A mért PER értékből a tényleges BER (Bit Error Rate) kiszámítására nem volt módunk, ezért ezeket a méréseket itt nem adjuk közre.

7. Összefoglalás

A fentiekben megvalósított mérőrendszer alkalmasnak bizonyult arra, hogy tetszőleges épületgeometria esetén feltérképezhető legyen a segítségével egy szenzorhálózatban tapasztalható vételi jelszint eloszlás. A mérési eljárás egyszerű eszközökkel elvégezhető, az eredmények pedig jól alkalmazhatók a rendszer topológiájának a kialakítása során.

Mivel a ZigBee és a hozzá hasonló vezeték nélküli szenzor hálózatok a házautomatizálási trendeknek köszönhetően egyre dinamikusabban terjednek, a nagy elemszámú hálózatoknál a hálózattervezés létjogosultsága is megnő. A méréssel támogatott tervezés a gyakorlatban is hasznosítható, sőt továbbfejleszhető lenne a rendszer más vezeték nélküli hálózat kialakítása előtti jelszint becslési eljárások során.

A szerzőkről



CSURGAI-HORVÁTH LÁSZLÓ a Budapesti Műszaki Egyetemen szerzett villamosmérnöki diplomát 1985-ben. 1988-tól a Mikrohullámú Híradástechnika Tanszéken, majd annak utódján, a Szélessávú Hírközlés és Villamoságtan Tanszéken dolgozik. Fő kutatási területe jelenleg a csapadék hullámterjedésre gyakorolt hatásainak vizsgálata mikrohullámú földi rádióösszeköttetésekben, az esőcsillapítás fading folyamatának statisztikai jellemzése és digitális modellek kialakítása. Foglalkozik továbbá többutas terjedéssel, illetve árnyékolással terhelt rádiócsatornák modellezésével, valamint a 70 GHz körüli frekvenciasáv speciális terjedési kérdéseivel. A BME-n végzett oktatási tevékenységén kívül több hazai illetve európai uniós kutatási együttműködésben vesz részt, melyek eredményeit folyóiratokban és konferenciákon publikálja.



DANITZ ÁRPÁD a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Villamosmérnöki és Informatikai Karán, villamosmérnök képzésben szerzett BSC diplomát 2009-ben a „Nagyfrekvenciás rendszerek és alkalmazások” szakirányon. Tanulmányai során a hatvani Bosch gyárban töltött szakmai gyakorlatot. A 2009-es TDK konferenciára beadott ZigBee témájú munkájával harmadik helyezést ért el. Jelenleg a BME MSC képzését végzi „Számítógép alapú rendszerek” szakirányon.



RIEGER ISTVÁN 1976-ban szerzett okleveles villamosmérnöki diplomát a BME-n. 1976-tól a BME Szélessávú Hírközlés és Villamoságtan Tanszéke Úrkutató Csoportjában kutatóként dolgozik, ahol 1983-ban doktori fokozatot szerzett. Több nemzetközi űrprojektben dolgozott RF adatátviteli, illetve tápellátó rendszerek fejlesztésében. Részt vett többek között az SSPI projekt Fedélzeti Adatgyűjtő Rendszer, a VEGA projekt Kamera Tápellátó Rendszer és a ROSETTA/ROLAND Fedélzeti Tápellátó Rendszer fejlesztésében és elkészítésében. Pályázat keretében dolgozott az L- és S-sávú Fedélzeti Mikrohullámú Rádióméter Rendszer, illetve több GPS-t felhasználó projekt fejlesztésében. Jelenlegi munkái során szélessávú, nagy teljesítményű erősítővel, illetve vezeték nélküli szenzor technikával foglalkozik.

Irodalom

- [1] IEEE Computer Society: “Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs), the IEEE Std. 802.15.4”, 2006.
- [2] Fred Eady: “Hands on ZigBee-Implementing 802.15.4 with Microcontrollers”, Elsevier, 2007.
- [3] Jennic JN5139 mikrokontroller adatlap; <http://www.jennic.com/>
- [4] Jennic JN5139 vezeték nélküli modul adatlap; <http://www.jennic.com/>
- [5] M.P.M. Hall, L.W. Barclay, M.T. Hewitt: “Propagation of Radiowaves”, Institution of Electrical Engineers, 1996.
- [6] K. Pahlavan, A.H. Levesque: “Wireless Information Networks”, Wiley, 2005.
- [7] Liberti, J.C., Rappaport, T.S.: “Smart Antennas for Wireless Communications”, Prentice-Hall, NJ, 1999.
- [8] Multilayer Chip Antenna for 2,4 GHz datasheet; <http://www.rainsun.com/>
- [9] Jennic JN5148 mikrokontroller adatlap; <http://www.jennic.com/>
- [10] Jennic JN5148 vezeték nélküli modul adatlap; <http://www.jennic.com/>