

M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

ZigBee alapú rádiós kártya tervezése

B.Sc. Szakdolgozat

Végh Tamás

2009.

Konzulens:

Balogh László
Méréstechnika és Információs Rendszerek Tanszék

Szakdolgozat

Nyilatkozat

Alulírott **Végh Tamás**, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem hallgatója kijelentem, hogy ezt a diplomatervet meg nem engedett segítség nélkül, saját magam készítettem és a diplomatervben csak a megadott forrásokat használtam fel. Minden olyan részt, melyet szó szerint, vagy azonos értelemben de átfogalmazva más forrásból átvettem, egyértelműen, a forrás megadásával megjelöltem.

.....
Végh Tamás

Tartalomjegyzék

Kivonat	VI
Abstract	VII
1. Bevezető	1
1.1. WPAN szabványosításának fejlődése	1
1.2. A ZigBee és az IEEE	2
1.3. A ZigBee és a Bluetooth összehasonlítása	5
2. Az IEEE 802.15.4	6
2.1. Az fizikai réteg	6
2.1.1. Vevő teljesítményérzékelés (ED)	8
2.1.2. Kapcsolat minőség jelzés (LQI)	8
2.1.3. Üres csatorna vizsgálat (CCA)	8
2.2. A MAC réteg	8
2.2.1. A superframe szerkezet	10
2.3. A hálózat létrehozása	12
2.3.1. Star (csillag) topológia	13
2.3.2. MESH (peer-to-peer) topológia	14
2.3.3. Cluster-Tree (fa) topológia	15
2.4. A CSMA-CA algoritmus	15
3. A tervezés lépései	18
3.1. A eszköz kiválasztása	18
3.1.1. Microchip	19
3.1.2. Atmel	19
3.1.3. ST - Microelectronics	20
3.1.4. Texas Instruments	20
3.1.5. Freescale	21
3.1.6. Ember	21
3.1.7. Összefoglalás	23
3.2. A választott IC főbb tulajdonságai	24
3.3. Az IC tokozása	25
3.4. Az antenna	25

3.5. A DSP fejlesztőkártya	26
3.6. Az áramkör kialakítása	27

Kivonat

A szakdolgozat célja az Analog Devices BF537 EZ-KitLite fejlesztőkártyához egy rádiós eszköz megvalósítása, melynek segítségével fejlesztőkártyák hálózatba köthetők. A rádiós eszközzel szemben alapvető követelmény volt az egyszerű kezelhetőség, a modularitás és a teljes funkcionalitás. A végcél a MITMÓT-hoz már elkészített rádiós modulhoz hasonló, általános célú egység elkészítése, amelyben az adott IC minden funkcióját elérhetjük. Az így kapott eszköz oktatási és demonstrációs célokra használható, segítségével azon beágyazott rendszerek fejlesztése jelentősen megkönnyíthető, amelyek rádiós kommunikációt használnak.

A kapcsolat megvalósításához leginkább a ZigBee protokollt alkalmazó IC -ket részesítettük előnyben, azok számunkra kedvező tulajdonságai miatt. Ilyen tulajdonság például a kis fogyasztás, ami a beágyazott rendszerek esetén az egyik legfontosabb kritérium, valamint az alacsony ár.

A dolgozat két fő részből áll. Az első részben a rádiós szabványok összehasonlítása és a ZigBee alapját képző IEEE 802.15.4 szabvány ismertetése szerepel. A második részben a rádiós kártya megtervezésének lépései vannak bemutatva. Ennek első lépése a céljainknak leginkább megfelelő processzor kiválasztása, a kapcsolási rajz elkészítése, aminek tartalmaznia kell a processzor működéséhez szükséges alkatrészeket, a fizikai interfészeket a DSP fejlesztőkártyához, az antenna illesztését, az antennát és a processzor plusz szolgáltatásaihoz tartozó egyéb elemeket, ezután következik a nyomtatott áramkör tervezése.

Abstract

The aim of this thesis is a realisation of a radio device for a develop board of Analog Device BF532 EZ-KitLite, with its support the develop boards can be bound into a network. The standard requirements of the radio device were the simple manageability, the modularity and the full functionality. The intention is to achieve a general purpose unit is similar to the radio module that was done for MITMOT and in which the given IC's function is available. This device can be used for educational and demonstrational purposes, it can facilitate the development of the embedded system which use radio communication.

The IC's that use ZigBee protocol was preferred for the realization of the contact because of their propitious attributes. This kind of attributes are for example, the low power consumption , which is one of the most important criterias in the case of the embedded systems, and the low price.

The thesis has two main parts. The first section contains the comparison of the radio standards and the exposition of the IEEE 802.15.4 standard which is the basic of ZigBee. The steps of the designing are presented in the second section. The first step is choose the appropriate processor, then making of the circuit diagram, which shuld include the necessary components for the working of the processor, the physical interfaces for the DSP develop board, the setting, the antenna and the other elements of the processor's extra services, then comes the planing of the PCB layout.

1. fejezet

Bevezető

A beágyazott rendszerek területén jelentős szerepe van a rádiós kapcsolattal rendelkező eszközöknek. Ezek felhasználása az épület-, és lakás automatizálás, az ipari folyamatok felügyelete és orvosi eszközök területén a leggyakoribb. Ezeknél a rendszereknél nagy előny a rádiós kapcsolat, ugyanis egy-egy komplex hálózat kialakításánál a kábelezés költségét meg lehet spórolni és egy új eszközt ebből a szempontból lényegesen egyszerűbb telepíteni.

A három legerjedtebb vezeték nélküli WPAN (Wireless Personal Area Network) a Wi-Fi, a Bluetooth és a ZigBee. Ezek között a legfontosabb különbség a kapcsolat sebességében és a csatlakoztatható egységek számában van. A Wi-Fi -re jellemző adatátviteli sebesség 54Mbps maximum 32 egység, Bluetooth 2.0 maximum 2Mbps és maximum 8 aktív tag, ZigBee 250kbps, 64000 fölötti node szám. A korábban említett beágyazott rendszerek esetén a csatlakoztatandó eszközök száma igen nagy is lehet és csak kis adatsebességű kapcsolatok szükségesek. Ezekhez a ZigBee használata javasolt. A dolgozatban a számunkra megfelelő IC kiválasztását, a kiválasztott IC főbb tulajdonságait és a panel tervezési és gyártási lépéseit mutatom be.

1.1. WPAN szabványosításának fejlődése

Ahogy a XX. században mobilitás igénye és az új vezetékek fektetésének költsége nőtt, úgy nőtt a motiváció egy személyi, elhelyezkedéstől független hálózat kialakítására. Feltéve, hogy a legnagyobb cellák $1 - 2km^2$ -esek és mindegyik együttműködik a szomszédaival, létrehozható egy látszólag összefüggő hálózat. Egy példa ilyen hálózatokra a GSM. Ahhoz, hogy több ilyen hálózat megfelelően tudjon működni egy területen szükség van a szabványosításukra. Ezeket a szabványokat egymáshoz is harmonizálni kell, hogy ne fordulhassanak elő a párhuzamos működésből adódó zavarok. Ha ez elkerülhetetlen,

akkor azokat minimalizálni kell és a rendszert robosztussá kell tenni az ilyen típusú zavarokkal szemben. Ezeknek a szabványoknak az alapvető célja egy nagyvárosban belül a hang távközlés megkönnyítése.

A 80-as évek alatt nőtt az egységnyi területen lévő felhasználók száma, ezáltal csökkent a cella mérete és nőtt az adatforgalom is. Ennek hatására az IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) 802.11 szabványt megalkotó csoport létrehozott egy vezeték nélküli helyi hálózati szabványt. Minthogy IEEE 802.11 foglalkozott a nagy sebességű, nagy hatótávolságú, nagy bonyolultságú hálózatokkal, amelyek sebessége a 11MBps-ot is eléri, a WPAN -ek egy másik területre fókuszáltak. Ez egy személy vagy tárgy körüli kis terület. A legfőbb tulajdonságai a WPAN hálózatoknak az alacsony ár, kis teljesítmény, kis hatótávolság és a kis méret. Az IEEE 802.15 munkacsoport létrehozta a WPAN szabványt. Ez a csoport jelenleg három osztályát különbözteti meg a WPAN -eknek az adatsebesség, fogyasztás és a QoS (Quality of Service) szerint.

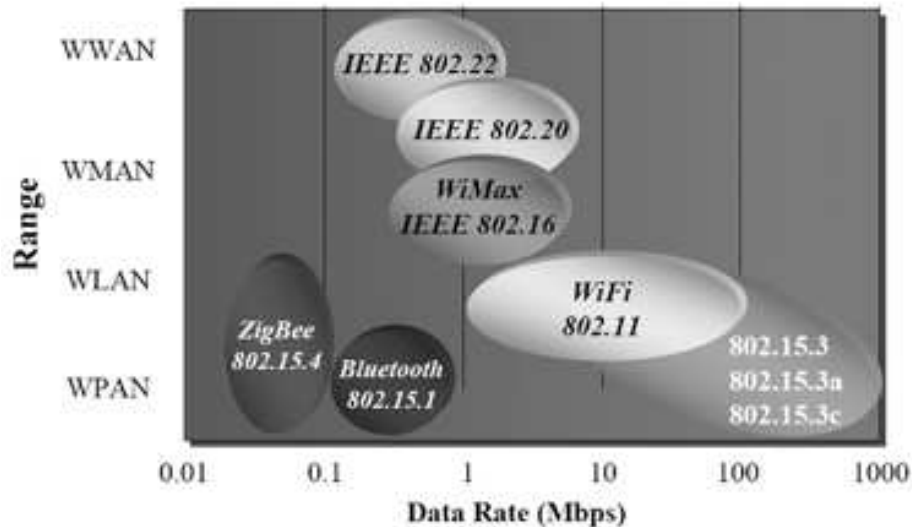
A 1.2. ábrán látható WPAN hálózatok:

- A nagy adatsebességű WPAN-ek (IEEE 802.15.3) alkalmasak a legtöbb multimédia alkalmazásra.
- Közepes adatsebességű WPAN-ek (IEEE 802.15.1/Bluetooth) úgy lettek kialakítva, hogy az alkalmazások sok típusával tudjanak együttműködni és a kommunikáció minősége megfelelő legyen a hang átvitelére is.
- A kis adatsebességű WPAN-ek (IEEE 802.15.4/LR-WPAN) az ipari, biztonsági és orvosi alkalmazások igényeihez lettek formálva, azaz nagyon alacsony teljesítményfelvételűek, olcsók, viszont az előzőeknél sokkal kisebb az adatsebességük és alacsony a QoS.

1.2. A ZigBee és az IEEE

A ZigBee egy rádiós szabványrendszer, amelyet a ZigBee Alliance és az IEEE munkacsoport hozott létre több nagy IC gyártó közreműködésével. Az IEEE 802.15.4 bizottság kezdetben egy kis sebességű, kis hatótávolságú rendszert alakított ki.

A ZigBee Alliance és az IEEE csatlakozása után a ZigBee lett a kereskedelmi neve ennek a technológiának. A cél olyan ISM frekvenciasávban működő eszközök specifikálása volt, amelyek a már meglévő szabványok segítségével nem, vagy csak nehézkesen megvalósíthatók. ZigBee elvárásai között szerepelt az



1.1. ábra. Az IEEE 802.15.4 elhelyezkedése a többi vezeték nélküli szabvány között

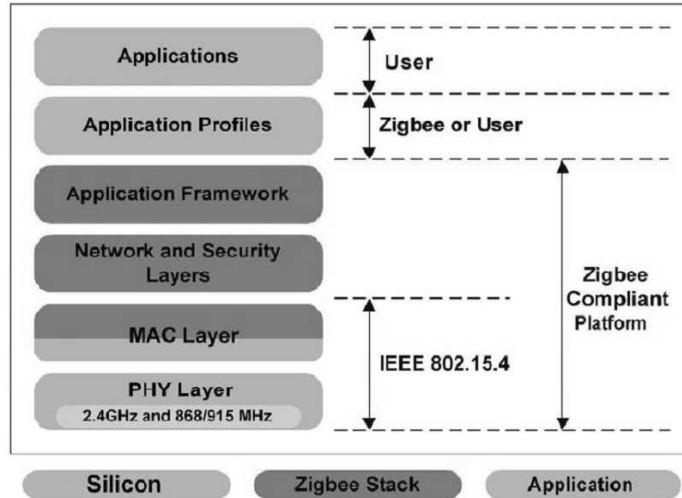
alacsony ár és az alacsony fogyasztás. Az eszközöket elemről használva azoknak több hónapig, esetleg több évig működniük kell. ZigBee vezeték nélküli egységek elvárt hatósugara 10-75 méter, függően az RF környezettől és a kimeneti teljesítménytől.

Az IEEE 802.15.4 szabvány specifikálja a protokoll két legalsó rétegét (fizikai és adatkapcsolati réteg). A ZigBee Alliance célja a felső rétegek (1.2. ábra) definiálása (hálózati és alkalmazási), hálózati munka egyszerűsítése, biztonsági szolgáltatások és egy sor vezeték nélküli otthon-, és épület ellenőrzési megoldás biztosítása, a különböző gyártótól származó eszközök együttműködésének vizsgálata, a szabvány értékesítése és a szabvány további fejlesztése.

A legalsó réteg a fizikai réteg. Ez a réteg határozza meg a kommunikáció közegét (rézvezeték, fénykábel, rádióhullámok, stb.), módját (AM, FM, PSK) és a beérkező jelekből létrehozza az információt. Ez az információ ekkor még nem csak a hasznos adatokat tartalmazza, hanem vannak közte szerviz üzenetek is. Ezeket a szerviz üzeneteket a következő, a MAC (Medium Access Control) réteg használja fel. Információkat tartalmazhat például a kapcsolat minőségéről, sebességéről vagy a használt frame szerkezetéről.

A hálózati réteg feladata az eszközök közötti kapcsolat létrehozása a hálózati struktúra alapján és megfelelő adatbiztonság szolgáltatása. A szabvány tartalmát 2004-ben véglegesítették. Azóta kiadták a ZigBee 2006 és 2007 protokollcsomagot. Ezek mindegyike kompatibilis az előző verziókkal.

Az IEEE 802.15.4 szabványban a PHY és MAC rétegben különböző blokkok



1.2. ábra. Az IEEE 802.15.4 és a ZigBee rétegek

vannak létrehozva a különböző hálózati topológiájú rendszerekhez. A hálózati összekapcsolási sémák úgy vannak megtervezve, hogy biztosítható az energiatakarékos működés és a gyors üzenettovábbítás.

A ZigBee hálózati rétegnek egy egyedi tulajdonsága, hogy képes a hálózatban lévő redundancia megszüntetésére. A fizikai réteg lehetőséget ad a jelerősség és a kapcsolat minőségének érzékelésére, a szabad csatorna vizsgálatra és a közös térben való működésre. Az egységek képesek önszervező módon MESH hálózatot felépíteni, így egyenként kis hatótávolságú eszközökkel nagy területet lefedhetünk. A hálózatban háromféle egység lehet, a koordinátor, a router és a végkészülék. Egy hálózat létrehozásához egy koordinátor egység szükséges, amit a felhasználónak kell kijelölnie, ezenkívül az útvonalak irányításához és átjátszáshoz router egységekre is szükség lehet. A végkészülékek csak rövid üzenetváltásokra képesek, és az üzenetek elküldése vagy vétele után azonnal sleep üzemmódba lépnek. Ez egy csökkentett funkcionalitással rendelkező mód, előnye az energiafelhasználás nagymértékű csökkentése. A koordinátor és a router egységek képesek más feladatok ellátására is.

A szabványokban a frekvenciasáv, adatsebesség, modulációs eljárás és a csatornakiosztás ugyancsak definiálva van. A használható frekvenciasávok, az ISM (Industrial-Scientific-Medical) sávok, használatuk nem engedélyköteles. Ezeket egy központi szerv határozza meg, Magyarországon a Nemzeti Hírközlési Hatóság. A magyarországi ISM frekvenciák hozzáférhetők a www.nhh.hu weboldalon[1]. Európa legtöbb országában ilyen ISM frekvencia a 868 MHz és 2.4GHz, ezért a ZigBee egységek is ezeken a frekvenciákon működnek.

A ZigBee Alliance határozta meg a hálózat logikai felépítését, az alkalmazá-

si profilt, a biztonsági eljárásokat és az adatvédelmi protokollokat. Ezek összefoglalása egy firmware stack amely ZigBeeStack vagy Z-Stack néven elérhető. Minden típushoz külön stack szükséges, ezt általában az IC gyártója, esetleg külső cég biztosítja. Az alkalmazási profilokat összeállíthatja magának a felhasználó vagy használhatja a ZigBee Alliance által készített profilt. Utóbbi esetben egy tanúsítványt kap, amely bizonyítja, hogy az eszköz képes együttműködni más gyártók által készített, ugyancsak tanúsítvánnyal rendelkező ZigBee eszközökkel. Ennek további feltétele a ZigBee Alliance tagság, amit egy évre biztosít a társaság a tagsági díj befizetése után. A tagsági díj 3500 USD és 50.000 USD között van a tagság típusától függően.

1.3. A ZigBee és a Bluetooth összehasonlítása

A ZigBee a rádiós protokollok közül leginkább a Bluetooth-hoz hasonlít, de annál egy kicsit egyszerűbb, kisebb adatsebesség és rövid üzenetváltások jellemzik, amik között az eszköz „sleep” módban van. Ezek a tulajdonságok teszik lehetővé, hogy egy végkészülék akár több évig folyamatosan működjön mindössze 2 AA elemmel.

Az átlagos távolság a ZigBee egységek között 10-75 m. Összehasonlításképpen ez 10 m Bluetooth-nál. A ZigBee adatsebessége a Bluetooth alatt marad. Ez a sebesség ZigBee-nél maximum 250kbps 2.4GHz-en, de a bonyolult biztonsági protokollok miatt ez gyakorlatilag csak a felét éri el. A többi, kisebb vivőfrekvenciájú ISM sávban ennél is lassabb az adatátvitel. Ezzel szemben a Bluetooth technológiával átlagosan 1MBps -os sebesség érhető el. ZigBee alapvetően egy egyszerű master-slave konfigurációt használ a csillag topológiánál. Itt a master feladatát egy FFD (full-function device) látja el, a slave -ek feladatát FFD és RFD (reduced-function device) is elláthatja. Az FFD -k között kell lennie egynek, ami a hálózatot megszervezi. Ez a PAN koordinátor egység. Ekkor az RFD -k egymásnak üzenetet küldeni közvetlenül nem tudnak. A master egységgel kis adatcsomagokon keresztül kommunikálnak. Ez az elrendezés akár 254 egység csatlakoztatására is alkalmas. A Bluetooth támogatja több kisebb, nem szinkronizált egység összekapcsolását egy hálózatban (piconet), de ez csak maximum 8 slave kapcsolódását engedi meg egy egyszerű master-slave elrendezésben.

Egy ZigBee egység kikapcsolt állapotából képes 15ms alatt üzembesz állapotba lépni és üzenetet fogadni és válaszolni. Ez a Bluetooth esetén 3s.

A szabványban két fizikai réteget definiáltak. Mindkettő a DSSS-n (Direct Sequence Spread Spectrum) alapul. Ennél a kódolásnál minden átvinni kívánt bitet egy egyedi bitmintával helyettesítenek, így az átviteli hibák ellenére is nagy valószínűséggel helyreállítható az adat. Az 2.1. ábrán látható jel az 11011001110000110101001000101110 bitsorozatot hordozza, ami a 0 szimbólum. Ezek a szimbólumok a 2.2. táblázatból kiolvashatók. Más eszköz számára a DSSS jel széles sávú kis energiájú zaj. Ez egy nagyon gyakori kódolási eljárás a WPAN hálózatokban.

Az adatsebességek a 2.1. táblázatban vannak összefoglalva.[5]

Symbol	Chip sequence (C ₀ , C ₁ , C ₂ , ..., C ₃₁)
0	1 1 0 1 1 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0 1 1 0 1 0 1 0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 1 1 1 0
1	1 1 1 0 1 1 0 1 1 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0 1 1 0 1 0 1 0 0 1 0 0 0 1 0
2	0 0 1 0 1 1 1 1 0 1 1 0 1 1 0 0 1 1 1 0 0 0 0 1 1 0 1 0 1 0 0 1 0
3	0 0 1 0 0 0 1 0 1 1 1 0 1 1 0 1 1 0 0 1 1 1 0 0 0 0 1 1 0 1 0 1
4	0 1 0 1 0 0 1 0 0 0 1 0 1 1 1 0 1 1 0 1 1 0 0 1 1 1 0 0 0 0 1 1
5	0 0 1 1 0 1 0 1 0 0 1 0 0 0 1 0 1 1 1 0 1 1 0 1 1 0 0 1 1 1 0 0
6	1 1 0 0 0 0 1 1 0 1 0 1 0 0 1 0 0 0 1 0 1 1 1 0 1 1 0 1 1 0 0 1
7	1 0 0 1 1 1 0 0 0 0 1 1 0 1 0 1 0 0 1 0 0 0 1 0 1 1 1 0 1 1 0 1
8	1 0 0 0 1 1 0 0 1 0 0 1 0 1 1 0 0 0 0 0 0 1 1 1 0 1 1 1 1 0 1 1
9	1 0 1 1 1 0 0 0 1 1 0 0 1 0 0 1 0 1 1 0 0 0 0 0 0 1 1 1 0 1 1 1
10	0 1 1 1 1 0 1 1 1 0 0 0 1 1 0 0 1 0 0 1 0 1 1 0 0 0 0 0 0 1 1 1
11	0 1 1 1 0 1 1 1 1 0 1 1 1 0 0 0 1 1 0 0 1 0 0 1 0 1 1 0 0 0 0 0
12	0 0 0 0 0 1 1 1 1 0 1 1 1 1 0 1 1 1 0 0 0 1 1 0 0 1 0 0 1 0 1 1 0
13	0 1 1 0 0 0 0 0 0 1 1 1 0 1 1 1 1 0 1 1 1 0 0 0 1 1 0 0 1 0 0 1
14	1 0 0 1 0 1 1 0 0 0 0 0 0 1 1 1 0 1 1 1 1 0 1 1 1 0 0 0 1 1 0 0
15	1 1 0 0 1 0 0 1 0 1 1 1 0 0 0 0 0 0 1 1 1 0 1 1 1 1 0 1 1 1 0 0 0

2.2. ábra. IEEE 802.15.4 szimbólum - chip hozzárendelés

PHY (MHz)	Frekvencia sáv (MHz)	Chip rate (kchip/s)	Moduláció	Adat- sebesség (kbit/s)	Szimbólumok
868	868-868,6	300	BPSK	20	bináris
915	902-928	600	BPSK	40	bináris
2450	2400-2483,5	2000	O-QPSK	250	16 bites ortogonális

2.1. táblázat. A ZigBee által használt ISM sávok

A nagyobb adatsebességhez (2.4GHz) egy bonyolultabb modulációs séma, nagyobb teljesítmény és kisebb késleltetés tartozik. A kisebb frekvenciához alacsony sebesség, jobb érzékenység és nagyobb hatótávolság társul.

A 868MHz - 868.6MHz - es frekvenciasávban 1, a 902.0MHz - 928.0 MHz -es sávban 10 és a 2.4GHz - 2.4835GHz -es sávban 16 kommunikációs csatorna található. A különböző csatornákon több eszköz is képes egyszerre kommunikálni. A szabvány megengedi a dinamikus csatorna kiválasztást. Ez egy funkció, amelyben az eszköz megvizsgálja az összes számára használható csatornát és azt választja, amiben a legjobb a kapcsolat minősége és másik eszköz még nem használja.

A vevők átlagos érzékenysége -85dBm (2.4GHz) és -92dBm (868/915MHz) között van. Itt látható a kisebb sebességű eszközök jobb érzékenysége. A maximális adóteljesítmény helyi szabványokban, előírásokban rögzítve van.

2.1.1. Vevő teljesítményérzékelés (ED)

A vevő teljesítményérzékelés célja a csatornaválasztási algoritmus segítése. Ez csupán egy becslést ad az adott csatornán érzékelhető jel teljesítményéről, de nem célja a vett jel azonosítása vagy dekódolása. Az ED mérés értékét egy 8 bites szám adja 0b00 -0bFF tartományban.

2.1.2. Kapcsolat minőség jelzés (LQI)

Célja az alkalmazási réteg tájékoztatása a hálózati kapcsolat minőségéről. Számítása az ED értékből és egy becsült SNR értékből történik. A becslést a beérkezett csomagokban lévő hibák számából lehet számolni, a DSSS kódolás miatt a hibák száma meghatározható és egy bizonyos szintig javítható. Az LQI értéke 0b00 és 0bFF tartományban lévő 8 bites szám.

2.1.3. Üres csatorna vizsgálat (CCA)

A CCA a történhet az adott csatornán érzékelhető jelteljesítmény (ED), a vivő érzékelés vagy mindkettő alapján. Ha az ED vagy egy vivőfrekvenciájú jel egy értéket meghalad, a csatornát foglaltnak tekinti.

2.2. A MAC réteg

A MAC réteg szolgáltatásait ugyancsak két részre oszthatjuk, az adatszolgáltatásokra és a menedzsment szolgáltatásokra. A MAC réteg adat szolgáltatása a PHY rétegen keresztül érkező adatokat és a felsőbb rétegekből érkező

Minden eszköz képes a saját adó és vevő egységét kikapcsolni és engedélyezni, így az IDLE periódusokban sokkal kevesebbet fogyaszt. Ilyen üres periódus van a superframek között, a superframe CAP periódusában ha az egység nem versenyzik és a CFP periódusban azon a részen, ahol a többi eszköz számára lefoglalt GTS van. Egy másik energiamegtakarítási mód, hogy a hálózatban az üzenetek küldését nem a koordinátor kezdeményezi, hanem az eszközök. A koordinátor csak azt jelzi, hogy egy üzenet várakozik. Ezt a jelzést az eszköz csak bizonyos időközönként olvassa be, így a két beolvasás között eltelt időben nem kell aktívnak lennie.

2.2.1. A superframe szerkezet

LR-WPAN hálózatokban megengedett a superframe szerkezet használata. A superframe formátumát a koordinátor definiálja. Egy superframe 16 egyenlő nagyságú időrészből áll. A beacon frame mindegyik superframe első időosztásában van. Ha egy koordinátor nem akar használni a superframe szerkezetet, akkor abbahagyja a beacon framek küldését. Ekkor az összes keret CSMA-CA szerint versenyez és minden GTS letiltódik.

A beacon frame feladata a superframe leírása, a hálózat azonosítása és az összekapcsolt egységek szinkronizálása. A superframenekek lehet egy aktív és egy inaktív része. Az inaktív periódusban a koordinátor belép sleep módba. Az aktív részben a hálózat résztvevői versengenek a szabad slotokért vagy a számukra kijelölt időrést használják.

A versengési időszak a CAP (Contention Access Period), ekkor az eszköznek előre jeleznie kell, hogy részt vesz-e a versenyben. A versengés nélküli időszakban az egységek kapnak egy szavatolt méretű időintervallumot, ezek a GTS-ek.

A GTS-ek minden esetben jelen vannak a superframeben a CAP periódus után. Méretük több slot hosszúságú is lehet. A különböző hosszúságú GTS-ek adatait a beacon tartalmazza.

A beacon keret adása az első slotban történik, ezután következik a CAP. A CAP periódusban az ACK és közvetlen adatkérés után érkező DATA keretek kivételével minden adás előtt versengenek az egységek a slot birtoklásáért. A verseny CSMA-CA algoritmus szerint történik.

Egy átvitelnek a CAP-ban teljesnek kell lennie egy IFS (Initial Interframe Space) periódussal a CAP vége előtt. Abban az esetben ha ez nem teljesül, az egység nem versenyezhet a következő superframeben a slotokért.

A CFP rész közvetlenül a CAP után kezdődik és a superframe aktív részének végéig tart. A CFP hosszúságát az összes GTS hossza határozza meg. A CFP átvitel közben nincs versengés, az eszközök a számukra biztosított időben szabadon kommunikálhatnak, de az adást be kell fejezni egy IFS periódussal a

GTS vége előtt. Erre a szünetre a GTS -ek között azért van szükség, mert a fizikai réteg ekkor dolgozza fel a vett adatot. Ebből következik, hogy az IFS periódus hossza függ az éppen átvitt adat hosszától, vagyis a GTS hosszától. Ha az adat hossza a maximális érték alatt marad, akkor azt egy SIFS frame követi, ha meghaladja azt, akkor egy LIFS frame.

A GTS -ek kiosztása

Ha egy eszköznek egy csatornán saját időablakra van szüksége, akkor a superframen belül a CFP periódusban van lehetőség erre egy saját GTS -sel. Az eszköz egy ilyen időablak lefoglalását kérheti, ha az aktuális hálózat beconjaira van szinkronizálva. A GTS időablakokat csak a hálózat koordinátora foglalhatja le és csak koordinátor és eszköz közötti kommunikációra használható. Egy GTS hossza több superframe slotra is kiterjedhet. A koordinátor egy framen belül maximum hét GTS -t oszthat ki. A GTS -ek kiosztása a beérkező kérések sorrendjétől függ, amelyik eszköz előbb kért GTS -t, az előbb kap. Az eszközöknek kiosztott GTS -ek egymást folytatólagosan követik a superframe végén a CAP periódus után.

Attól függetlenül, hogy az egység a CFP periódusban birtokol egy GTS -t, a CAP periódusban részt vehet a versenyben. A hálózat koordinátora az összes GTS -ről tárolja az információkat. Ilyen információk például a kezdő slot helye, a GTS hossza, a kommunikáció iránya, - ami lehet adatküldés vagy fogadás - és az eszköz címe. Mindegyik eszköz kérhet egy adás és vétel céljára is egy-egy GTS -t. Minden lefoglalt GTS kezdő slotját, hosszát és irányát tárolja az eszköz is. Ha az eszköz egy vételi GTS -t foglal le, akkor csak arra az időre kell aktiválnia a vevőt. Ez megint egy energiamegtakarítási lehetőség a protokollban. Az eszköz a GTS foglalás kérését egy „GTS request command” segítségével teheti meg, amiben megadja a szükséges hosszt és az adás irányát és beállítja az alkalmazáshoz szükséges követelményeket. Egy ilyen parancs hatására a koordinátor egy nyugtát küld. Ezután megvizsgálja a hálózatban meglévő szabad kapacitásokat és az aktuális superframet, hogy rendelkezik-e a szükséges kapacitással. Ha szükséges a koordinátor csökkenti a CAP periódus hosszát annyival, hogy az igényelt GTS elférjen a frameben, de a CAP hossza nem csökkenhet egy bizonyos előre definiált érték alá. Az eszköz a nyugta vétele után szinkronban marad a superframmal és várakozik egy GTS leíró keretre. Ha ilyen GTS leíró keret nem érkezik a superframeben, akkor a MAC réteg üzenetet küld a felsőbb rétegeknek, hogy a GTS allokáció sikertelen volt. Ha a koordinátor úgy dönt, hogy a rendelkezésre álló erőforrások elegendők a kért GTS -hez, generál egy GTS leíró keretet, amiben szerepel a GTS -t igénylő eszköz címe és jelzi az eszköznek a megadott hosszt, a GTS kezdetét a superframen belül és a koordinátor a felsőbb rétegeknek jelenti, hogy új GTS foglalás történt. A CFP terület felosztása nem állandó, a benne lévő GTS -ek

hossza és tulajdonosa változhat. Ha egy GTS -re már nincs többé szükség, a GTS területet fel kell szabadítani. Ezt bármikor megteheti a koordinátor, vagy az az eszköz amelyik kérte. Ha az eszköz fel akar szabadítani egy létező GTS -t, akkor „GTS request commmand” paranccsal leírja a GTS adatait és a felszabadítását kéri. Ekkor a GTS területen felszabadul és már nem lesz használható az eszköz számára. Ezután egy nyugta érkezik koordinátortól az eszközhöz. A CFP területen keletkező üres részeket a koordinátornak el kell távolítania, hogy maximalizálja a CAP hosszát.

2.3. A hálózat létrehozása

Egy hálózat kiépítését egy FFD aktív csatorna vizsgálat vagy ED végrehajtása után kezdheti. Az aktív csatornavizsgálatot azután lehet végrehajtani, miután az összes elérhető csatorna be van állítva.

Ha a csatornavizsgálat alapján nincs adás, az FFD egy koordinátor beacon frame-t küld ki, benne a POS (personal operating space)-sel és egy „beacon req.” paranccsal. Ezután az eszköz engedélyezi a vevőt legfeljebb a superframe hosszának megfelelő idő $2^n + 1$ szereséig, ahol 'n' 0 és 14 közötti érték lehet. Ez idő alatt az eszköz elutasít minden frame-t, ami nem egy beacon és a beérkező beaconokból kinyert adatokat eltárolja egy hálózatileíró struktúrába. Ezt a folyamatot minden szabad csatornán megismétli. Ha egy időosztásos hálózat koordinátora veszi a kérést, azt figyelmen kívül hagyja és folytatja az átvitelt. A következő superframe elején mindig egy koordinátor beacon frame van. Ha egy nem időosztásos hálózat koordinátora veszi a parancsot, akkor az egy egyszerű beacon frame-t küld időosztás nélküli CSMA/CA-val. A teljes letapogatás akkor ér véget, amikor a tárolt azonosítók száma egyenlő a specifikált maximummal, vagy minden elérhető csatornát szkennelt. Ezután egy alkalmas hálózatazonosítót választ a koordinátor a tárolt hálózatazonosítók alapján és egy üres csatornát választ.

A csatorna ED vizsgálata során az FFD méri a vételi energiákat az egyes csatornákon. Ez egy passzív csatorna vizsgálat. Az ED scan alatt a MAC réteg a szerviz üzeneteken kívül lemond minden adatról. Az ED mérés akkor fog befejeződni, amikor az ED mérések száma eléri a maximumot vagy a mérés az összes csatornán megtörtént. Előfordulhat az az eset, hogy két hálózat létezik azonos hálózatazonosítóval és POS -el. Ebben az esetben a koordinátor és az eszközök végrehajtanak egy „identifier conflict resolution procedure”-t.

Egy FFD a jelenlétét a hálózatban a többi egységnek egy beacon adásával tudja jelezni, így lehetőség van egy adott hálózathoz a benne lévő egységek segítségével új eszközt csatlakoztatni. Egy FFD az új hálózatban nem koordinátorként kezd el beacont küldeni, csak akkor, ha már sikeresen kapcsolódott és a hálózati topológia ezt lehetővé teszi. Egy egység csatlakozása

azután kezdődik, miután már befejezte a csatornavizsgálatot. A passzív letapogatásnál úgy mint egy aktív letapogatásnál az egység koordinátorjelzéseket keres és a beacon kereteken belül lévő azonosítókat figyeli. A passzív vizsgálatnál beacont nem tud igényelni. A csatornaletapogatás eredményeit akkor használja fel, amikor egy alkalmas hálózatot választ magának. Az egység csak akkor kísérli meg a csatlakozást egy hálózathoz, ha abban a hálózatban az új tagok felvétele engedélyezett. Ezt az a leíró tartalmazza, amit a csatornavizsgálatkor hozott létre. A következő művelet a kiválasztott hálózat konfigurációs adatainak lekérése, amiben megtalálható a kiterjesztett MAC cím vagy a rövid MAC cím. A csatlakozást az új eszköz fogja elindítani azzal, hogy egy csatlakozási kérdést küld a koordinátornak. Ehhez ismernie kell a hálózat paramétereit. Ezt ugyancsak a koordinátortól kell lekérdeznie. Ha a kérést vette a koordinátor, akkor nyugtázza azt, de ez a nyugta még nem jelenti azt, hogy az egységet a hálózathoz kapcsolta. A koordinátornak időre van szüksége, hogy meghatározza, hogy van-e elegendő erőforrás a hálózatban egy új egység csatlakoztatásához. Ha elegendő forrás elérhető, akkor a koordinátor lefoglal egy címet az eszköznek és generál egy csatlakozási választ benne az címmel és egy státusszal a sikeres kapcsolódásról. Miután fogadta a választ az egység, nyugtát küld és eltárolja a koordinátor címét. Ha nincs elég erőforrás, akkor a koordinátor generál egy választ a csatlakozási kérésre aminek a státusza: sikertelen csatlakozás.

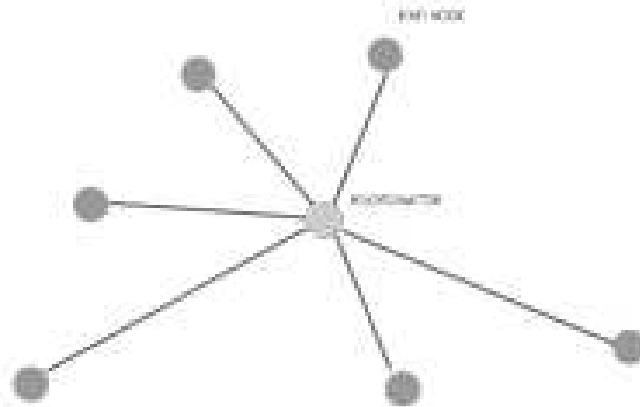
Ha egy koordinátor egy egységet a hálózatból le akar kapcsolni, akkor indirekt módon küld neki egy bontási értesítést. Miután az egység vette ezt az értesítést, nyugtát küld még abban az esetben is ha a hálózatban nem engedélyezett a nyugta. Ezután a koordinátor törli az egység adatait.

Ha egy csatlakozott egység el kívánja hagyni a hálózatot, bontási értesítést küld. Az üzenet vétele után a koordinátor mindenképpen nyugtát küld. A csatlakozott egység bonthatja a kapcsolatot úgy is, hogy töröl minden adatot a hálózatról és a koordinátor is lekapcsolhat úgy egységet, hogy töröl róla minden adatot.

2.3.1. Star (csillag) topológia

Ennél a típusnál a kommunikáció egy központi irányító és több egyszerűbb egység között folyik (2.4.ábra). A központi egység a PAN koordinátor mindig működésben van, ezért nem célszerű energiaellátását elemről biztosítani. A többi egység feladata legtöbbször nagyon egyszerű és az idő nagy részében nem aktív. Ezt a topológiát a lakásautomatizálás területén, játékoknál és PC perifériáknál használják legtöbbször. A hálózat egy FFD első aktiválásakor épül ki. Ekkor ez lesz a PAN koordinátor és kiválaszt egy egyedi PAN azonosítót, ami éppen nincs használatban. Így képes több STAR topológiájú hálózat is

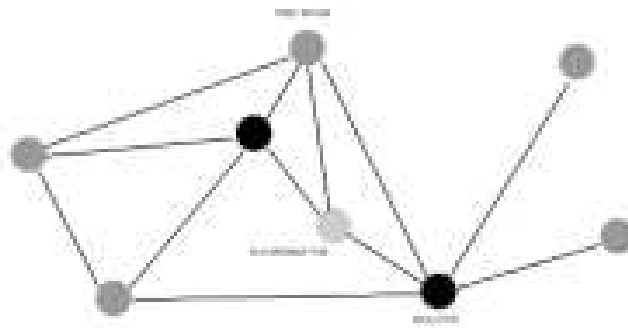
egy térben működni.



2.4. ábra. A STAR topológia

2.3.2. MESH (peer-to-peer) topológia

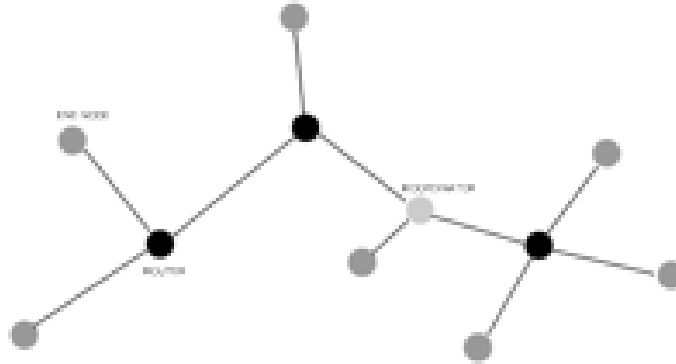
Itt is egy koordinátor van, de itt bármelyik egység képes kommunikálni bármelyikkel akár úgy is, hogy nincsenek egymással közvetlen kapcsolatban (2.5. ábra). Ekkor az üzenet a router egységeken keresztül jut el a célba. Ez a topológia ad-hoc módon jön létre, önrendező és önjavító, ezért ipari célokra, megfigyelésre és irányításra alkalmazzák.



2.5. ábra. A MESH topológia

2.3.3. Cluster-Tree (fa) topológia

Egy speciális esete a MESH hálózatnak, amiben FFD -k mellett RFD -k is vannak a hálózatban (2.6.ábra). Mivel egy RFD csak egy FFD -nek küldhet üzenetet, egy-egy RFD a hálózatban egy „ág” lesz, míg a „törzs” FFD egységekből áll.



2.6. ábra. A TREE topológia

2.4. A CSMA-CA algoritmus

A WPAN hálózatokban az üzenetek küldése előtt szükség lehet versenyztetésre. Ez időosztásos vagy időosztás nélküli CSMA-CA (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance) algoritmussal történik, attól függően, hogy a hálózat superframe struktúrát használ vagy sem. A mindkét esetben a CSMA-CA egy előre definiált, backoff időegységet alkalmaz. Időosztásos CSMA/CA csatornaelérés esetén a backoff időegységek határa minden egységben a superframe slot határokkal van összehangolva, így a CAP periódusban minden egység ami adatot akar küldeni, egy időpontban jelzi azt. Ez az időpont a következő backoff periódus határa. Időosztás nélküli CSMA/CA esetén az egységek backoff periódusai nincsenek egymáshoz szinkronizálva.

A MAC rétegben a három legfontosabb változó az NB, CW és BE. Az NB a CSMA-CA algoritmus által megkísérelt adatküldések száma, mielőtt sikeresen elküldte az aktuális adatot. Ez az érték minden új átvitel előtt 0 értékre van állítva.

A CW értéket csak időosztásos CSMA/CA esetén használjuk. Mielőtt új adatot küldhet egy egység, el kell telnie valamennyi backoff periódusnak úgy, hogy a csatornát semmi nem használja. A CW backoff periódusok számát adja meg. Ennek a default értéke 2. $CW = 0$ értéknél indíthat az eszköz

adatátvitelt, ezért minden üres backoff periódusban csökkenti a változó értékét eggyel. Ha a csatornán adást érzékel, $CW = 2$ értéket állít be.

A BE értékéből számolható a következő adásig terjedő idő hossza a 2^{BE} képlet alapján. Ennyi backoff periódusnak kell eltelnie mielőtt újra megpróbálhat adni, függetlenül attól, hogy a csatorna mennyire használt.

Időosztásos CSMA-CA esetén, NB, CW és BE, időosztás nélküli CSMA/CA esetén csak NB és BE értékeit használjuk. Minden adást a MAC réteg késleltet egy véletlen számmal, aminek az értéke 0 és $2^{BE} - 1$ között van és csak ezután utasítja a PHY réteget CCA vizsgálatra. Ezután következik a CSMA/CA algoritmus többi része, melyben a frame átvitele és az ACK üzenetek érkezése szerepel. Ezek mindegyike be kell hogy fejeződjön a CAP periódus végéig. Ha ez nem történik meg, akkor a következő lehetőségénél egy superframeben megismétli az egész átvitelt. Abban az esetben ha nem tudja megismételni a csatorna foglaltsága miatt, megnöveli BE és NB változói értékét eggyel, amikor BE elérte a maximális értéket, akkor azt változatlanul hagyja.

Az időosztásos CSMA/CA -ban, ha NB meghalad egy előre definiált értéket, akkor a CSMA/CA algoritmus „Channel Access Failure” hibával tér vissza. Amíg NB értéke kisebb vagy egyenlő ennél az értéknél, a sikertelen csatornahozzáférés után CW értékét állítja vissza és újra próbálkozik maximum $2^{BE} - 1$ idő múlva. Ha a csatorna üres, CW értékét csökkenti eggyel és a PHY réteget CCA vizsgálatra utasítja. Azt, hogy a CAP periódus vége előtt befejeződjön az átvitel, a MAC biztosítja.

A protokollban az adatátvitel három típusa definiált. Attól függően, hogy az adatátvitelben résztvevő egységek milyen szerepet töltenek be a hálózatban, létezik két egyenrangú egység közötti, koordinátortól a végesszközhöz és végesszköztől a koordinátorhoz irányuló kommunikáció.

Ha az eszköz egy időosztásos hálózatban adatot akar küldeni, akkor először figyel a hálózatot, amikor megtalálja a beacont szinkronizálódik a superframe struktúrához. A megfelelő időben elküldi az adatframet a hálózat koordinátorának. Az adatátvitel végén itt is lehet opcionálisan nyugta. Amikor a koordinátor akar adatot küldeni egy eszköznek, egy időosztásos hálózatban, jelzi egy beaconnal, hogy adatot fog küldeni. Az eszköz folyamatosan figyel a network beacont és ha az üzenet várakozik, akkor a MAC utasítást ad az adat vételére. A koordinátor opcionálisan nyugtázhatja a csomag teljes átvitelét. Az eszköz nyugtázhatja a sikeres fogadást egy ACK framemel, ami törli a várakozó üzenetek listájából az aktuális üzenetet.

Ha az eszköz adatot akar küldeni egy nem időosztásos hálózatban, azt egyszerűen elküldi az unslotted CSMA-CA algoritmust használva a koordinátornak. Az átvitel végén opcionálisan lehet nyugta. Amikor a koordinátor akar átvinni egy eszköznek egy nem időosztásos hálózatban, akkor egy beacon frame-mel jelzi az eszköznek ezt. Ha nem várakozik adat, a koordinátor átküld egy adatframet, amiben az adat nulla hosszúságú, így jelezve azt, hogy nincs

várakozás. Az eszköz is küldhet adatot úgy, hogy küld egy MAC parancsot a koordinátornak adat vételére.

Egy peer-to-per hálózatban minden eszköz tud kommunikálni minden más egységgel, ami a hatókörén belül van. Erre két lehetőség van. A első esetben az eszköz folyamatosan figyel és adatot küld időosztás nélküli CSMA-CA szerint, a második esetben az eszközök szinkronizálódnak egymással és csak adott időpontokban lehet kommunikáció, így ezzel energiát takarítanak meg.

Egy olyan FFD számára, amelyik még nincs kapcsolódva hálózathoz, három lehetőség van. Létrehozhat egy új hálózatot ahol koordinátor szerepét tölti be és elkezd beacon frameket sugározni. Kapcsolódhat egy meglévő hálózathoz mint eszköz, ekkor nem ő látja el a koordinátori szerepeket és szinkronizálnia kell a meglévő superframe struktúrához. Esetleg maradhat „beacon mentes” üzemmódban is, ekkor ha adatot akar küldeni, időosztás nélküli CSMA-CA-val teheti.

3. fejezet

A tervezés lépései

3.1. A eszköz kiválasztása

Az IC gyártó vállalatok többségének kínálatában szerepelnek ZigBee protokollt használó IC családok, melyek az egy IC-be beépített szolgáltatások széles spektrumát mutatják, az egyszerű adóktól kezdve egészen az SoC (System on Chip) rendszerű IC -kig, melyekben már nagy teljesítményű mikrokontroller több MB, esetenként több megabyte memória és sok periféria (DMA, USART, SPI, stb...) található. A gyártók kínálatában szereplő IC -ket három főbb csoportra lehet osztani. Az első csoportban az egyszerű adók vannak. Ezekben a chipekben csak egy rádió adó-vevő található. A következő csoportban az adón kívül több periféria is található. Tipikusan néhány A/D átalakító hőmérő szenzorra kötve vagy kivezetve, memória, néhány GPIO kivezetés és egy belső mikrokontrolleren implementált Z-Stack. A harmadik típusba azok az IC -k sorolhatók, amelyekben egy komplett rendszer van kialakítva. Ezeknek mindegyikében egy programozható mikrokontroller van, amit JTAG vagy SPI porton keresztül lehet elérni. Egy ilyen IC -vel egy egész ZigBee rendszer kialakítható.

Mivel a megvalósítandó áramkör célja a DSP fejlesztőkártya funkcióinak bővítése, ezért nincs szükségünk utóbbira. Egy új mikrokontroller megismerése hosszadalmas folyamat és ez esetben nem szükséges, mert a DSP el tudja látni a feladatait, számítási kapacitása sokszorosa egy ilyen mikrokontrollerének. A bővítőkártya könnyebb kezelhetősége érdekében előnyös, ha a kiválasztott IC tartalmaz firmware stack -et, ugyanis ebben az esetben előre megadott utasításokkal vezérelhetjük azt. Ezeket az utasításokat általában UART vagy SPI porton fogadja az eszköz.

Az előzőekben felsorolt adatok alapján a második IC csoportból kell választanunk. A legnagyobb ZigBee IC -ket gyártó vállalatok a Texas Instruments,

Microchip, az ST-Microelectronics, Freescale, Ember és az Atmel. A továbbiakban a piacon található IC -k rövid áttekintése következik az egyes eszközök-nél csak a számunkra lényeges információkat kiemelve.

Áttekintés a ma kapható ZigBee adókról:

3.1.1. Microchip

MRF24J40

A IEEE 802.15.4 szabványt használó 2.4GHz-es adó-vevő, amely támogatja a ZigBee és MiWi protokollokat. Négy vezetékes SPI interface-el kapcsolódik a HOST processzorhoz. Az IC-n található 6 darab GPIO kivezetés, amely lehetőséget ad külső Tx/Rx mód váltásra is. Működéséhez két külső oszcillátor szükséges, egy 20 MHz és egy 32.768 kHz a kis áramfelvételű módhoz. Beépített Hardware security engine (AES-128), 128bitos titkosítással. Automatikus csomag újraküldés és ACK válasz, hardver CSMA-CA.

Az IC -ben nincs integrált ZigBee Stack, de a gyártó honlapjáról ingyenesen letölthető egy azt megvalósító programkód.

6 mm x 6 mm -es QFN40 tokozás.

Ár: 3.24 USD

3.1.2. Atmel

AT86RF230, AT86RF231

Speciálisan a ZigBee 2.4GHz/IEEE802.15.4 szabványhoz fejlesztett IC. A kommunikáció ugyancsak négy-vezetékes SPI kapcsolaton történik. A legtöbb alkatrész itt is az IC -be van integrálva, és ennél a típusnál csak néhány külső elem kell a működéséhez. Ezek az elemek a kvarc, 4 darab csatolókondenzátor és az antenna. GPIO kivezetések és egyéb perifériák nincsenek. Ez a legegyszerűbb, tipikus "SPI-to-ANTENNA" eszköz. Az AT86RF231-es típusban az elérhető szolgáltatások száma nagyobb, ilyen az AES Security Module és High Data Rate Mode.

5 mm x 5 mm-es QFN32 tokozás.

A gyártó kínálatában szerepelnek SoC kivitelű ZigBee egységek is. Ezek egy mikrokontroller és egy AT86RF230 rádiós egységből állnak. A processzorok JTAG-en programozhatók. A mikrokontrollerek típusai: ATmega64, ATmega128 és ATmega256.

Ár: 4.73 - 20.1 USD

3.1.3. ST - Microelectronics

SN250, SN260

Az SN250 egy 2.4GHz-es ZigBee adó-vevő, beépített 16 bites mikrokontrollerrel, 128KB Flash - és 5kB RAM memóriával. Két működési mód közül választhatunk, a SYSTEM MODE és az APPLICATION MODE közül. A processzorban megtalálható ZNet - stack SYSTEM MODE -ban hozzáférést biztosít a processzor minden egységéhez. APPLICATION MODE -ban csak limitált hozzáférése van a futó programnak. Az integrált perifériák között megtalálhatók a 16 GPIO kivezetés, UART, SPI, I2C, ADC és a belső Timer-ek.

Az SN260 -ban a legnagyobb különbség az integrált EmberZNet ZigBee - stack. A stack használatával ez a processzor a HOST processzor számára egy "ZigBee periféria"-ként látszódik.

Az SN260 egy számunkra már alkalmas ZigBee processzor.

6 mm x 6 mm -es QFN32 tokozás.

Ár: 8.11 USD

3.1.4. Texas Instruments

CC2420 és CC2520

Ez a két IC típus egy egyszerű ZigBee adó-vevő egység, nincs implementált Z-Stack. A különbség a CC2520 és a 2420 között a működési paraméterekben van. A CC2520 egy modernebb változat.

CC2430 és CC2431

A CC2430 és CC2431 SoC rendszerű IC-k. Ezekben van Z-Stack, de a használatukhoz a bennük lévő mikrokontrollert is programozni kell.

CC2480

A CC2480 -as egy egyszerű ZigBee adó-vevő, de található benne egy 8051-es processzormag, amin a TI által gyártott firmware-stack a Z-Stack fut. Ez a processzor is megfelel céljainknak és előnye az SN260-nal szemben, hogy az IC -ben több integrált periféria is van. Hátránya, hogy a GPIO lábak száma kisebb (6 db).

6 mm x 6 mm -es QLP48 tokozás.

Ár: 10.15 USD

3.1.5. Freescale

MC13191 és MC13201

Egyszerű 2.4GHz -es ZigBee transceiver. Működéséhez HOST processzor szükséges. Nincs implementált firmware stack.

MC13192 és MC13202

Egyszerű 2.4GHz -es ZigBee transceiver. Működéséhez HOST processzor szükséges. Freescale's ZigBee 2006 Protocol Stack található benne. SPI kapcsolaton kommunikál a mikrokontrollerrel, 7 GPIO láb található az IC -n. Hátránya a működéséhez szükséges sok külső alkatrész és a hasonló IC-khez képest bonyolult antenna illesztés.

5 mm x 5 mm, QFN32 tokban kapható.

Ár: 2.2 USD (1000 darab megrendelése esetén)

MC13211, MC13212 és MC13213

SoC rendszerű, egy tokba integrált mikrokontroller és adó-vevő. Nagyszámú GPIO lábbal - több mint 38- és nagyméretű - 60kB-memóriával ellátva. Mivel ezeknél a típusoknál is szükséges a mikrokontrollert külön programozni, ezek egyike sem megfelelő számunkra.

3.1.6. Ember

EM250

SoC felépítésű ZigBee egység, melyben egy 12MHz-es XAP2b 16-bites mikrokontroller mag található. Minden funkció megtalálható rajta, amit ma egy fejlett mikrokontrollertől elvárhatunk.

EM260

Co-processor jellegű egység, amelyben egy ZigBee adó-vevő és egy mikrokontroller van. A mikrokontroller megvalósítja az Ember ZigBee Protocol Stack funkcióit és biztosítja a kommunikációt a HOST processzorral.

Kevés külső alkatrész szükséges a működéséhez. Az antennához illesztésre van szükség.

6 mm x 6 mm, QFN40 tokozással kapható

Ár: 9.82 USD

IC Type	Nominal output power [dBm]	Receiver sensitivity [dBm]	Adjacent channel rejection [dB]	Alternate channel rejection [dB]
MRF24J40	0	-95	30 (@ +/- 5 MHz)	40 (@ +/- 10 MHz)
AT86RF230	3 (max. 6)	-101	36, 34 (@ +/- 5 MHz)	53, 52 (@ +/- 10 MHz)
AT86RF231	3 (max. 6)	-101	35, 32 (@ +/- 5 MHz)	48 (@ +/- 10 MHz)
SN250, SN260	5	-97	35 (signal @-82dBm)	40 (signal @-82dBm)
CC2420, CC2430-31,	0	-95	45, 30 (@ +/- 5 MHz)	54, 53 (@ +/- 10 MHz)
CC2520	max. 5	-98	49 (@ +/- 5 MHz)	54 (@ +/- 10 MHz)
CC2480	0	-92	41, 30 (@ +/- 5 MHz)	55, 53 (@ +/- 10 MHz)
MC13191, MC13192	max. 4	-92	25, 31 (@ +/- 5 MHz)	42, 41 (@ +/- 10 MHz)
MC13201	max. 3	-91	31, 30 (@ +/- 5 MHz)	43, 41 (@ +/- 10 MHz)
MC13202	max. 3	-92	31, 30 (@ +/- 5 MHz)	43, 41 (@ +/- 10 MHz)
MC13211, <i>MC13212-13</i>	max. 2	-92	34, 29 (@ +/- 5 MHz)	44 (@ +/- 10 MHz)
EM250	3	-99	35 (signal @-82dBm)	43 (signal @-82dBm)
EM260	2.5	-99	35 (signal @-82dBm)	40 (signal @-82dBm)

3.1. táblázat. A vizsgált IC -k adó-vevő egységének legfőbb paraméterei

3.1.7. Összefoglalás

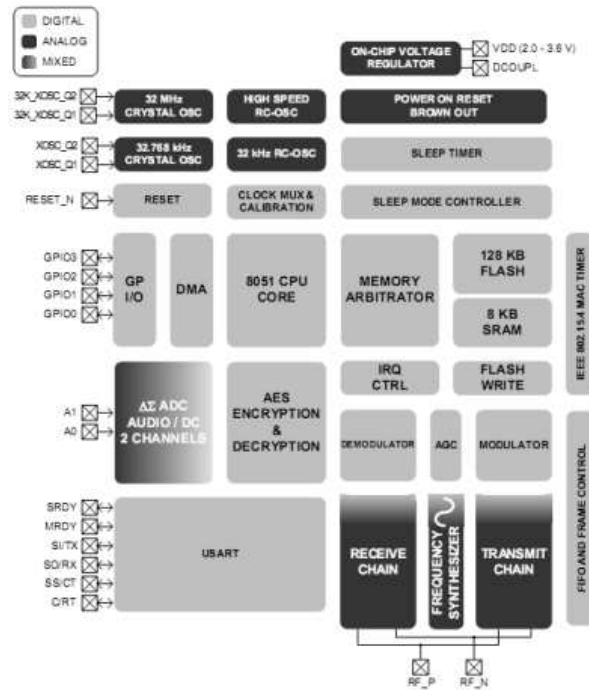
Az IC -k közül a TI által gyártott CC2480-as típust választottuk. A választás fő oka, hogy a bemutatott hasonló IC -ekkel szemben (SN260, EM260 MC13192, MC13202) a CC2480-as rendelkezik több beépített perifériával. Ez azért fontos a mi szempontunkból, mert az panel oktatási, fejlesztési céllal készül. Ezt a folyamatot lényegesen megkönnyítheti a 6 kivezetett GPIO port és az ADC, amikkel az egyszerű kommunikációs feladatokat gyakorolhatjuk. Az implementált Z-Stack elfedi a MAC réteget, így az utasításokat a hálózati vagy alkalmazási réteg szintjén adhatjuk ki. Ez jelentősen megkönnyíti a programozó feladatát.

További előnye, hogy a gyártó termékei jól dokumentáltak, széleskörű támogatást nyújtanak és van fejlesztési tapasztalat egy régebbi modellel, a CC-2420 -assal.

3.2. A választott IC főbb tulajdonságai

A CC2480-as ZigBee adó bármely mikroprocesszoros rendszerhez könnyen illeszthető, vezérléséhez csak egy SPI vagy UART port szükséges. Kis fogyasztású, ezért táplálható elemről, vagy egy másik eszköztől. Áramfelvétele TX/RX módban maximum 27mA, a szükséges tápfeszültség 2,0V - 3,6V között változhat. Automatikusan belép LOW-POWER módba, ha nincs feladata, ekkor az áramfelvétele kevesebb mint 5uA.

Az IC részletes felépítése a 3.1 ábrán látható.



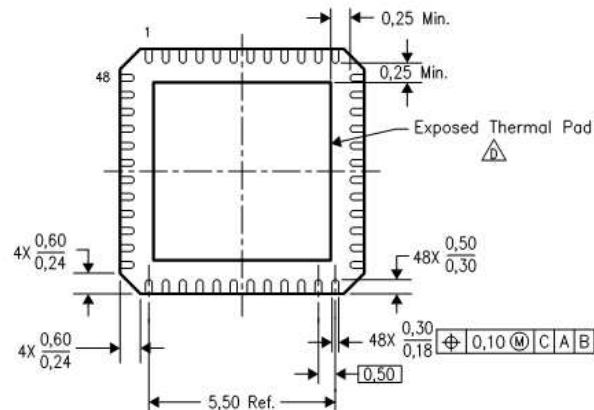
3.1. ábra. A CC2480 -as IC felépítése

Az IC -ben található egy két csatornás 12 bites szigma-delta A/D átalakító, egy hőmérő szenzor, egy telep töltöttséget figyelő áramkör, egy véletlenszám-generátor és 6 GPIO kivezetés. Az adóba a ZigBee2006-os Z-Stack van implementálva. Ezzel a protokoll-csomaggal még a ZigBee2007-tel ellentétben nagy biztonságú hálózatok nem készíthetők, de a javított címzési móddal már nagyszámú node összekapcsolható és segítségével rugalmasan csatlakoztathatók és eltávolíthatók eszközök a hálózatból.

A gyártó honlapján elérhető hardware reference design és fejlesztést segítő program, mint pl.: Packet sniffer, ami egy fejlesztőkártya segítségével regisztrál két vagy több node közötti kommunikációt.

3.3. Az IC tokozása

A CC2480-as RF Transciever IC csak QLP tokozásban elérhető. Az IC 6 mm * 6 mm oldalhosszúságú, oldalanként 12 kivezetéssel rendelkezik. Az IC felülnézeti képe és méretei a 3.2 ábrán láthatók. Kis méretei miatt beültetése csak beültetőgéppel lehetséges.



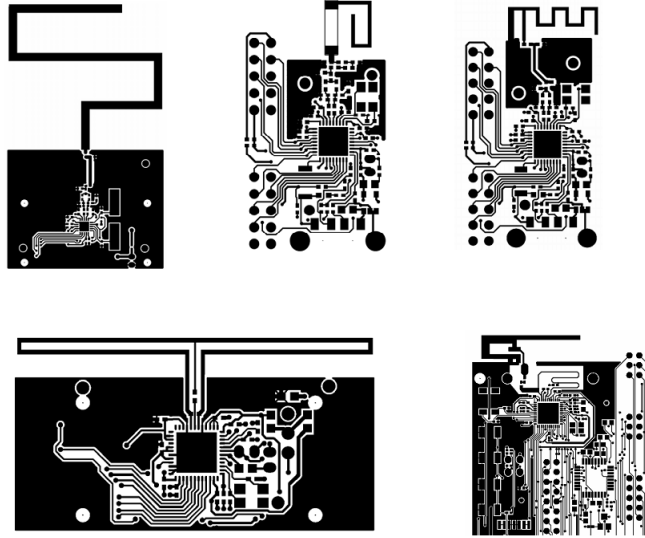
3.2. ábra. A CC2480 -as IC tokozása

3.4. Az antenna

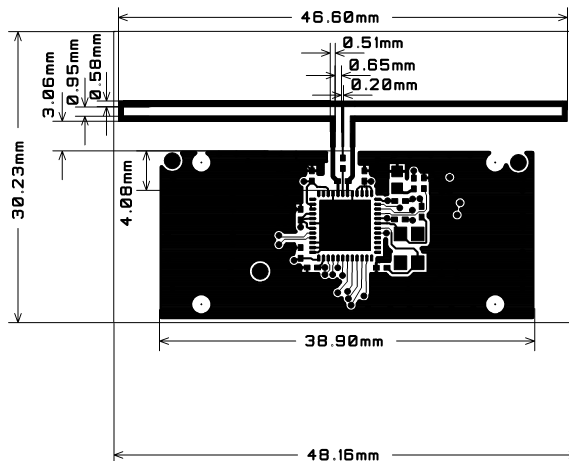
Az adó működéséhez szükség van egy külső antennára, melynek kialakítását ugyancsak nekünk kell meghatározni. Szerencsére a CC2480 a legtöbb antenntípussal használható, azaz az antenna lehet monopól, dipól, helikális vagy hurok. Az antennákat ki lehet csatlakozóra vezetni, de némelyiket a NYÁK lapon is ki lehet alakítani. A 3.3 ábrán látható néhány antenntípus, melyeket a NYÁK rajzolon lehet megvalósítani.[7]

A CC2480 dokumentációja szerint egyszerű és költségtakarékos megoldás a PCB dipól antenna, aminek alkalmazása esetén nincs szükség illesztőáramkörre [7]. Ez az antenntípus a NYÁK rajzolon megvalósítható. A 3.4. ábrán a kialakított antenna látható.

A TI honlapján az antenna tervezéséhez további segítséget találunk kész NYÁK tervek formájában.



3.3. ábra. A lehetséges PCB antenna formák



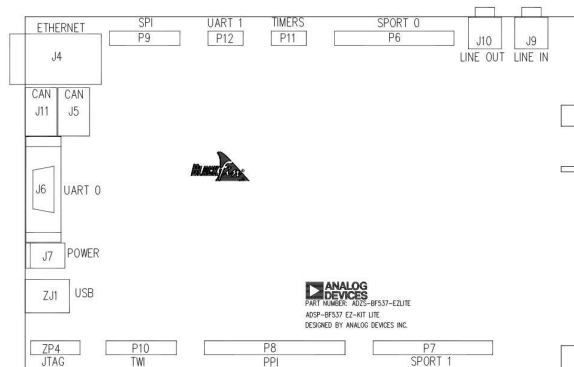
3.4. ábra. A megvalósított antenna

3.5. A DSP fejlesztőkártya

[8]

A tervezés során a panelt egy ADSP BF 537 EZ-KIT LITE típusú fejlesztőkártyához kellett illeszteni. Itt fontos tényező volt a fejlesztőkártya fizikai

kialakítása, az SPI port, a szabad GPIO lábak és a tápfeszültség elhelyezkedése egymáshoz képest és figyelembe kellett venni más elemeket is amelyek esetleg akadályozhatják a csatlakoztatást. A DSP kártya felülnézeti rajza a 3.5 ábrán látható. A ZigBee rádiós modul az SPI és a mellette lévő UART portra csatlakozik egy összefüggő hüvelysorral. A NYÁK lap a fejlesztőkártya szélével párhuzamosan, függőlegesen helyezkedik el úgy hogy a két panel síkjának metszéspontja az áramköri lapokon kívülre esik.

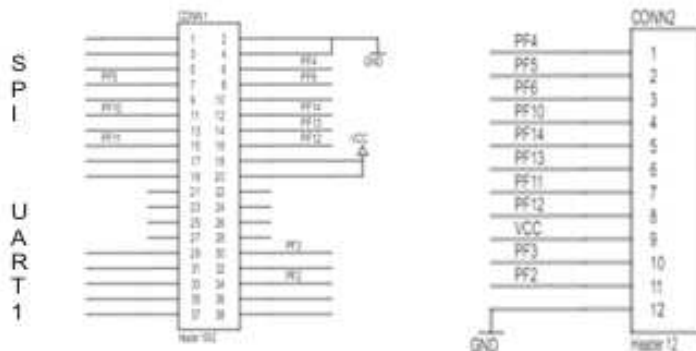


3.5. ábra. A DSP fejlesztőkártya fizikai kialakítása

3.6. Az áramkör kialakítása

A kapcsolási rajz és a NYÁK terv elkészítésének alapját a TI honlapján elérhető hasonló terv szolgáltatta. Ez a terv nem a 2480 -as típushoz készült hanem a 2400-áshoz, ezért csak korlátozottan volt használható. Tervezéskor más, működő terveket is megvizsgáltam és egyes áramköri megoldásokat átvettem. Egyik ilyen terv a MITMÓT -hoz fejlesztett rádiós kártya terve volt. A tervezés során az áramkört úgy lett kialakítva, hogy az összes szolgáltatás, amit a processzor kínál elérhető legyen. A panelen külön kivezetést kapott az AD átalakító, beépítésre került a nagyon kis energiafogyasztású üzemmódhoz szükséges kisfrekvenciás kvarc, az IC-n lévő GPIO lábak kapcsolódnak a DSP GPIO lábaihoz és az összes jel, ami a DSP kártya és a ZigBee modul között van, megfigyelhető egy különálló csatlakozósoron (3.6). A kommunikáció módja nem állítható, az áramkört csak SPI módban lehet használni. Az UART opció az áramkör fizikai kialakításból adódóan nem használható, ugyanis a DSP kártyán csak az SPI portra csatlakoztatható. Ahhoz, hogy a tápfeszültséget, a földelést, a négy GPIO jelet és az SPI jeleit a rádiós kártyáról átvezessük a DSP kártyára, nem elég az SPI porton lévő kivezetések száma. A könnyű

kezelhetőség érdekében a fennmaradó jelek (2 db GPIO) a közvetlenül mellette lévő UART1 portra lettek kivezetve az ott található két GPIO (PF2 és PF3) lábra (3.6. ábra). A kártya mechanikai tartását ez az SPI és UART1 portra csatlakozó, egy darabból álló, 19 raszter hosszúságú dupla hüvelysor biztosítja.

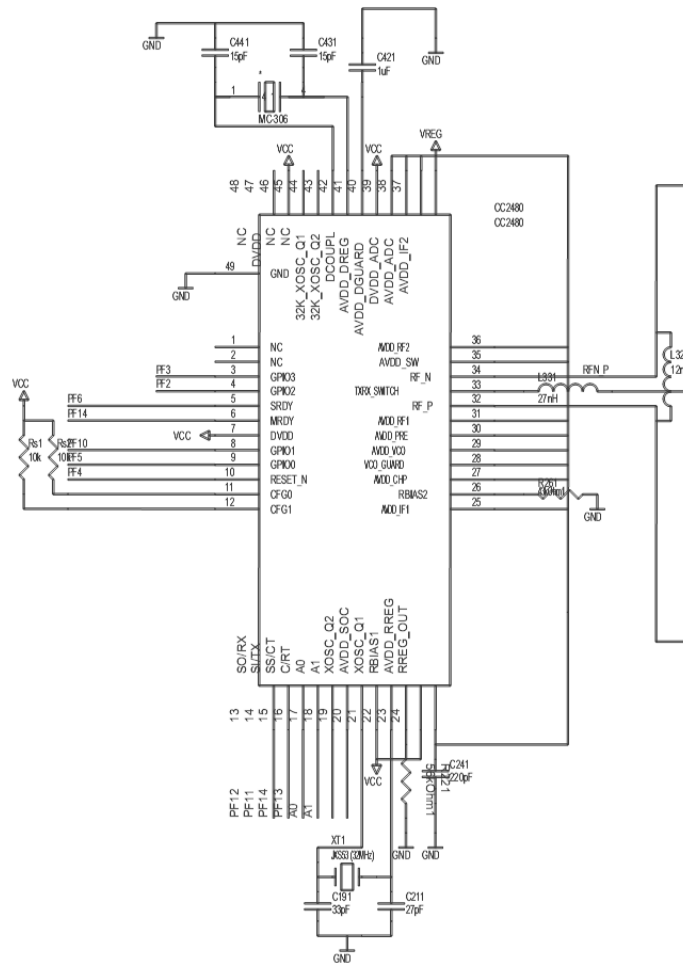


3.6. ábra. A ZigBee kártya csatlakozója és a jelek kivezetései

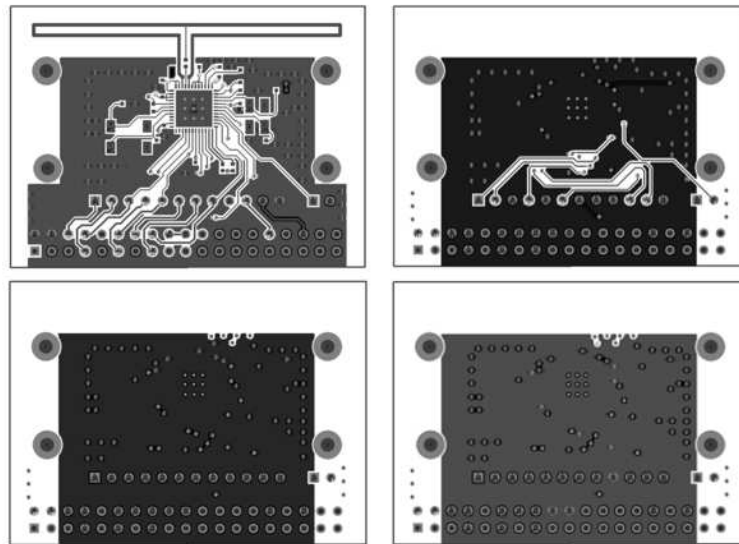
Az áramkör kapcsolási rajzát az [6] és [5] alapján készítettem el (3.7) .

A NYÁK terv egy négyrétegű nyomtatott áramköri lapon lett megvalósítva (3.8. ábra). A két köztes rétegen a két tápfeszültség, V_{REG} és V_{UNREG} , a két szélső rétegen a jelvezetékek és egy összefüggő földelés található. A felhasznált alkatrészek mindegyike, a csatlakozók kivételével felületszerelt.

A kondenzátorok, ellenállások és a tekercsek 0402 tokozásúak. Mivel ez egy nagy sebességű CMOS digitális áramkör, ezért az összes tápfeszültség bemenet elé szükséges egy kondenzátort kapcsolni. Ezzel szűrjük a rajta lévő nagyfrekvenciás zajt, amit a gate kapacitások gyors feltöltődése és kisülése okoz. Ezek a kondenzátorok 68pF és 100nF közötti értékűek, attól függően hogy milyen kivezetésen vannak. Ezek az értékek az IC dokumentációban megtalálhatók. A szűrőkondenzátorok 0402 tokozásúak.



3.7. ábra. Az áramkör kapcsolási rajza



3.8. ábra. A NYÁK terv TOP, BOTTOM, MIDTOP és MIDBOT rétege

Irodalomjegyzék

- [1] Nemzeti Hírközlési Hatóság - 6. melléklet a 346/2004. (XII. 22.) Korm. rendelethez
<http://www.nhh.hu/dokumentum.php?cid=11111>
- [2] Vidács Attila – Szenzorhálózatok oktatási segédanyag
<http://hsnlab.tmit.bme.hu/vidacs/education/vimm9082/2006/-060504.PDF>
- [3] A 802.15.4/2007 szabvány
<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.15.4a-2007.pdf>
- [4] A 802.15.4/2006 szabvány
<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.15.4-2006.pdf>
- [5] A CC2480 -as IC adatlapja
<http://focus.ti.com/lit/ds/swrs074a/swrs074a.pdf>
- [6] Fejlesztési segédlet a CC2480 -as IC -hez
<http://focus.ti.com.cn/cn/lit/an/swra176/swra176.pdf>
<http://focus.ti.com/lit/er/swra175a/swra175a.pdf>
- [7] Antenna típus leírások és a dipól antenna
<http://focus.ti.com/lit/an/swra161/swra161.pdf>
<http://focus.ti.com/lit/an/swra093d/swra093d.pdf>
- [8] ADSP BF537 EZ KIT Lite Evaluation System Manual
http://www.analog.com/static/imported-files/eval_kit_manuals/-ADSP_BF537_EZ-KIT-Lite-Manual_Rev_2_4.pdf