



TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT

Telemetria rendszer fejlesztése Bosch Elektromobil járműhöz ZigBee vezeték nélküli hálózaton

Telemetry system developement for Bosch Elektromobil vehicle on ZigBee wireless network

Méhes László

II. éves mérnök informatikus MSc hallgató

Konzulens:

Trohák Attila

egyetemi tanársegéd

Automatizálási és Kommunikáció-technológiai Tanszék

Miskolc, 2012

Tartalomjegyzék

Tartalomjegyzék	II
1. Bevezető	2
2. Bosch Elektromobil versenyek	3
2.1. Áttekintés	3
2.2. Az I. Elektromobil verseny	3
2.3. A II. Elektromobil verseny	4
2.4. A III. Elektromobil verseny	5
2.5. A IV. Elektromobil verseny	6
3. Elvárások a rendszerrel szemben	7
3.1. Mérendő mennyiségek	7
3.2. Fúrókba épített elektronika	7
4. Mérőeszközök, jelző eszközök és működési elvük	9
4.1. Sebesség érzékelő	9
4.2. Fordulatszám érzékelő	12
4.3. Gyorsulásmérő szenzorok	14
4.4. Jelzőeszközök	16
5. ZigBee	17
5.1. Áttekintés	17
5.2. A ZigBee főbb jellemzői	17
5.3. Hálózati szerepkörök:	20
5.4. Hálózati topológiák:	21
6. XBee rádiós modul	23
6.1. XBee Series 1:	23
6.2. XBee Series 2:	23
6.3. Összehasonlítás	23
6.4. Antenna típusok:	25
6.5. Működtetés	26
7. A fedélzeti elektronika	28
7.1. Vezetékes csatlakoztatás	29
7.2. Tápfeszültség előállítása	29
7.3. A kijelző és vezérlőáramköre	32
7.4. Teljesítmény kimenetek	34
7.5. GPS modul	36

7.6.	XBee modul	38
7.7.	Mikrovezérlő	40
7.8.	Bővítő kimenetek	41
8.	A Mikrovezérlő beágyazott programja.....	42
8.1.	Sebesség és fordulatszám érzékelés	42
8.2.	Kijelzés.....	45
8.3.	GPS kezelése.....	46
8.4.	XBee kezelése.....	47
8.5.	Fő programciklus	48
9.	A Java alkalmazás	50
9.1.	Műszerfal.....	51
9.2.	Gyorsulás szenzorok képe	52
9.3.	Térkép.....	53
9.4.	Grafikon.....	54
9.5.	Felhasznált API-k	55
10.	Teszt eredmények	57
10.	Összefoglalás	60
11.	Irodalomjegyzék.....	61
12.	Mellékletek.....	62

1. Bevezető

A Bosch Elektromobil versenyen idén negyedik alkalommal veszek részt a Miskolci Egyetem ’’Csettegők’’ nevű csapatában. A korábbi években szép eredményeket értünk már el és idén is szeretnénk eredményesen szerepelni. Már a legelső versenyen is én készítettem a jármű számára az elektronikát, amit az évek alatt mindig tovább fejlesztettem. Egy komplett vezeték nélküli telemetria rendszer elkészítésének ötlete még a 2011-es verseny után jött, mivel az akkori projekt feladatom a ZigBee alapú vezeték nélküli szenzorhálózatokról szólt, melynek köszönhetően sikerült szélesebb körű tapasztalatra szert tennem ezekkel az eszközökkel kapcsolatban. Így a mostani dolgozatom témája adott volt.

A vezeték nélküli telemetria rendszereket alkalmazzák napjainkban a komolyabb autóversenyeken is, úgy, mint a Forma1 és a rallysport, mind a felkészülés, mind a futamok során. Továbbá vezetékes telemetriára is rengeteg példát lehet találni az iparban.

Egy ilyen rendszer alkalmazását a csapatunk Elektromobil járművén is ugyanaz indokolja, mint az autóversenyeken, vagyis, hogy minél jobb mechanikai beállításokat tudjunk alkalmazni a felkészülés és a verseny során, valamint a pilóta számára is tanácsot tudjunk adni az ideálisabb vezetési technika alkalmazásával kapcsolatban. Ezen rendszer alkalmazásával közel valós időben lehet monitorozni a jármű működés közbeni viselkedését, így akár futam közben is lehetővé válik, hogy instrukciókat adjunk a pilóta számára.

Dolgozatomban összefoglalom a jármű azon tulajdonságait, amiket monitorozni szükséges egy versenyképes jármű kialakítása érdekében. Továbbá tárgyalom az elkészített fedélzeti elektronikát, az elektronikában elhelyezett mikrovezérlőn futó programot, a ZigBee alapú vezeték nélküli hálózat adta lehetőségeket és a számítógép oldali eszközzel kapcsolatot tartó Java alkalmazást, melynek segítségével megjeleníthetővé és kielemezhetővé válnak a járműről nyert adatok.

2. Bosch Elektromobil versenyek

2.1. Áttekintés

A Bosch Elektromobil verseny 2012-ben 4. alkalommal kerül megrendezésre. A verseny célja, hogy 4-5 főből álló főként egyetemista csapatok egy olyan járművet építsenek, amelyet a Bosch által gyártott **PSR 18 Li 2** akkumulátoros kéziszerszámok hoznak mozgásba (1. ábra). A versenyen több kategóriában indulnak a járművek, többek között egy körversenyen, egy gyorsasági versenyen, valamint a műszaki megoldásokat és a legkreatívabb csapatot is díjazták.

A verseny leírás és a műszaki kiírás a <http://bosch-elektromobil.hu/> címen található.



1. ábra – PSR 18 Li 2 Akkumulátoros kéziszerszám

2.2. Az I. Elektromobil verseny

2009-ben az első versenyen 4 darab fent említett akkumulátoros csavarbehajtó hozta mozgásba a járműveket. Ekkor még senki nem tudott előre számítani arra, hogy milyen sebességeket lehet elérni egy ilyen járművel, mivel teljesen új problémáról volt szó. Az akkori leggyorsabb járművek maximális sebessége elérte a 25-30 Km/h-t, azonban előfordultak csupán 3-5 Km/h sebességre képes járművek is. Csapatunk abban az évben épphogy lemaradt a dobogóról a körversenyben, de a legjobb design kategória második helyezettjének járó díjat sikerült megszereznie. Ennek a járműnek a fedélzeti elektronikája a fúrógépek működésének visszajelzésére szolgált, valamint sebesség és fordulatszám adatokat szolgáltatott volna, ami műszaki hiba miatt megghiúsult. Az ott alkalmazott elektronika az interneten talált leírás alapján készült analóg alapú rendszer volt.

2.3. A II. Elektromobil verseny

A második Elektromobil versenyen 2010-ben az előző év tapasztalataira alapozva újra elindult csapatunk. Ebben az évben 6 darab Bosch **PSB 18 Li 2** típusú akkumulátoros ütvefúró és csavarozó szolgált az elkészítendő járművek meghajtására (2. ábra). Ekkor radikálisan új megoldásokat próbáltunk ki az előző évhez képest, tudván, hogy milyen sebességre, igénybevételre és verseny körülményekre számíthatunk. Nem csupán teljesen új alvázat, felfüggesztést, kormányzást, fékrendszert és hajtást kapott az új autó, hanem saját tervezésű elektronikával is kiegészült.



2. ábra - PSB 18 Li 2 típusú akkumulátoros kéziszerszám

Ezen elektronika már nem analóg megvalósítású volt, hanem 2db **Microchip PIC16F628A** típusú mikrovezérlővel készítettem el saját ötletek alapján. A sebességet és a fordulatszámot tudta műszerfalszerűen a pilóta számára kijelezni. A sebességet 2db 7 szegmenses **LED kijelző** mutatta, valamint a fordulatszámot 3db **nagy látószögű és nagy fényerejű** sárga, zöld és piros színű **LED** jelezte vissza. Mivel nem volt szükség arra, hogy a teljes fordulatszám tartomány kijelzésre kerüljön, így 3db LED elegendő volt.

A LED-ek jelentése balról jobbra haladva:

- Az ideális fordulatszám alatt.
- Az ideális fordulatszám ± 50 fordulat/perc.
- Az ideális fordulatszám fölött.

Verseny közben a sebesség adatoknak nincs sok jelentőségük, mivel mindig a lehető leggyorsabban kell menni. Azonban az ideális fordulatszám meghatározása nagyban elősegítheti a jármű dinamikusabb gyorsulását és jobb nyomatékugalmasságát. Azért is van szükség a fordulatszám vizuális visszajelzésére, mert a verseny alatt a pálya körül elhelyezett hangszórókon keresztül hangos zene és a verseny kommentátorának közvetítése hallatszik, amely elnyomja a meghajtó fűrészek hangját, így lehetetlenné téve a pilóta számára, hogy csupán hallására támaszkodva a legtöbbet tudja kihozni a fűrészekből. Továbbá a hallás alapján történő fordulatszám meghatározástól sokkal pontos visszajelzés is elérhetővé válik így az elektronikának köszönhetően. A sebesség és a fordulatszám visszajelzésére is külön mikrovezérlő került alkalmazásra, külön panelon elhelyezve azért, ha meghibásodás történne, azokat egyszerűen lehessen cserélni.

A 2010-es versenyen csapatunknak - a Csettegőknek- sikerült a körversenyt megnyernie, továbbá a leggyorsabb Elektromobil, legjobb műszaki megoldás és legjobb design kategóriák mindegyikében a dobogó második fokára felállnia.

2.4. A III. Elektromobil verseny

A következő évben a III. Elektromobil versenyre hasonló konstrukcióval készült csapatunk. Teljesen új autó épült. Ebben az évben ismét PSR 18 Li 2 típusú csavarbehajtók segítségével kellett járművet építeni, mint a legelső versenyen, ismét 6 darabbal. Mivel ezek a kéziszerszámok kisebb teljesítményűek, mint a 2010-ben használt PSB 18 Li 2 típusúak, így komoly feladat előtt állt csapatunk, hogy legalább olyan jól szereplő járművet építsen, mint előző évben. Ekkor is sok újdonságot alkalmaztunk a jármű meghajtását illetően, azonban már nem lehetett olyan radikális fejlődést felmutatni, mint a korábbi évben épült járművel. Az elektronika ebben az évben is változott. A sebességmérő funkcionalitása kibővült. Most már nem csupán az aktuális sebességet mutatta, hanem implementálásra került egy menü, melyet egy gomb segítségével lehetett léptetni. Így a menü segítségével már kijelvezhetővé vált a járművel eddig megtett összes út hossza, az aktuális tesztkörön megtett út hossza, az eddigi legnagyobb elért sebesség és az aktuális teszten elért legnagyobb sebesség is, melyet a mikrovezérlő a belső EEPROM-jában tárolt.

A fordulatszámérőben a korábbi 3db LED-et az új elektronikában 9-re bővítettem. Itt sem a teljes fordulatszám tartomány került kijelzésre, hanem a 600 fordulat/perctől 1100 fordulat/percig terjedő intervallum. Továbbá, hogy a napsütéses időjárás mellett is jól látható legyen az aktuális fordulatszám értéke a műszerfalon, így két sorba kerültek LED-ek minden egyes kijelzett értékhez, hogy együttesen nagyobb területet fedjenek le.

Mivel az elektronika működése megbízhatóbbá vált a korábbi évekhez képest a fejlesztéseknek köszönhetően, így egyetlen panelre kerültek a mikrovezérlők és a kijelző elemek is.

Ezen a versenyen a döntő futamban csapatunk komoly küzdelmeket folytatott. Miután a döntőben majdnem felborult a jármű, és a negyedik helyre esett vissza, mégis sikerült végül a második helyre feljönni, és így a körverseny kategóriában második helyezését elérnünk!

2.5. A IV. Elektromobil verseny

Az idén megrendezett IV. Bosch Elektromobil versenyre is nevezett csapatunk. Ezen a versenyen már 8 darab PSR 18 Li 2 típusú akkumulátoros csavarbehajtót kellett alkalmazni a járművek mozgásba hozására. A 8 darab akkumulátoros kéziszerszám, mint meghajtó motor nem lebecsülendő, ugyanis a 2011-es versenyen a döntőbe került járművek sebessége elérte már a 35-40 Km/h-t is, és a 2012-es versenyen részt vevő járművek verseny sebessége előre láthatólag akár az 50 Km/h-t is eléri! Ilyen sebesség és a kiélezett verseny mellett nem csupán a gépészeti megoldások fontosak a jobb eredmények elérése érdekében.

A korábbi évek fedélzeti elektronikájának továbbfejlesztéseként a 2012-es évben kidolgozásra került egy olyan ZigBee alapú vezeték nélküli szenzor hálózat, amely egy telemetria rendszer alapjaként szolgál és közel valós idejű adatokat szolgáltat a jármű pillanatnyi állapotáról. Így nem csupán a pilóta tudja nyomon követni a jármű sebességét és a fűrógépek fordulatszámát a fedélzeti műszerfalon keresztül, hanem a tesztek alatt a többi csapattag is meg tudja figyelni a jármű működés közbeni viselkedését, valamint utólag is kiértékelhetővé és összehasonlíthatóakká válnak az így lementett adatok.

3. Elvárások a rendszerrel szemben

3.1. Mérendő mennyiségek

Az elkészült telemetriai rendszernek, hogy hatékonyan tudjon működni, illeszkednie kell a részben elkészült járműhöz és miután teljesen elkészül az autó, akkor is megfelelően kell ellátnia feladatát.

A járművel kapcsolatos legfontosabb menetdinamikai tulajdonságokat kell a rendszer segítségével vizsgálnunk, hogy azokat a későbbiekben a szerzett tapasztalatok alapján módosítani tudjuk. Ezek a következők:

- Sebesség.
- Fordulatszám.
- Gyorsulás.
- Nyomaték.
- Megtett út hossza.
- Akkumulátor kapacitás.
- Az autóra ható oldalerők.

A fenti fizikai mennyiségek közül csupán néhány az, amit közvetlenül mérni szükséges, a többi adat ebből számítható, illetve becsülhető.

A korábbi évekhez hasonlóan a sebesség és a fordulatszám mérésére már kidolgozott eljárás állt rendelkezésemre. A nyomatékot a Bosch által közzétett kéziszerszámra vonatkozó jelleggörbék alapján számítani lehet a fordulatszámból. A gyorsulás meghatározható az időegység alatti sebességváltozás alapján. Továbbá a megtett út hossza is számítható közvetlenül a sebességmérő jeladója által közvetített jelek számából.

3.2. Fúrókba épített elektronika

A Bosch PSR 18 Li 2 típusú kéziszerszámok **rendelkeznek egy beépített elektronikával**, amely arra hivatott, hogy megakadályozza a fúrógépek és az akkumulátorcellák túlmelegedését, leégését és egyéb meghibásodásait, oly módon, hogy közben maximalizálja a használat során rendelkezésre álló fúró és

csavarbehajtó teljesítményt. **Mivel ezen elektronika Bosch szabadalom alatt áll, így pontos működése nem ismert.**

Amit az elektronika működésével kapcsolatban tudni lehet, az, hogy korlátozza azt az időtartamot, ami alatt egy adott nagyságú áram felvétel történhet az akkumulátorokból. Továbbá ennek az áramnak a nagysága összefüggésben van az akkumulátorcellák belső hőmérsékletével is. Valamint a lítium ionos technológia miatt nem megengedett az akkumulátorok töltöttségi szintjének egy bizonyos küszöb érték alá csökkennie, így korlátozva van a minimum megengedett töltöttség nagyságát is, megóvván az akkumulátor élettartalmát.

Amennyiben egy adott időn át a felvett áram nagysága meghaladja a küszöbértéket, akkor a fúró működése megáll, és a visszajelző LED-ek villogva jelzik a letiltást. Illetve ugyanez a reakció akkor is, amikor túlmelegedés, vagy egy meghatározott töltöttségi szint alá csökkent akkumulátor kapacitás problémája jelentkezik.

A tesztek és versenyek alapján azok a tapasztalatok, hogy a jármű hatótávját nem az akkumulátorok lemerülése korlátozza, hanem a normál használatot többszörösen felülmúló áramfelvétel okozta melegedés és az ennek köszönhető letiltás.

Amennyiben nem megfelelően van megválasztva a hajtáslánc áttételezése a fúrógépek igen rövid használat után letiltanak, mert kevés idő alatt igen fel tudnak melegedni. Mivel a letiltások oka főként a hőmérséklet, így a továbbiakban minden fúró újraindítás után rövidül a használhatóság ideje, így igen hamar mozgásképtelenné válik az a jármű, melyet ezek a kéziszerszámok hajtanak.

Az akkumulátor kapacitást a fentiek következtében csak becsülni lehet. Azonban ez a becslés is függ többek között az elkészült jármű és pilótája súlyától, a szélerősségtől, a kerekek nyomásától és legfőképp a környezeti hőmérséklettől és a pálya hosszától és vonalvezetésétől, melyek mind befolyásolják a kézi szerszámok igénybevételét. Ezen körülmények közül sok a verseny előtt még nem ismert, így nem lehet pontos becslő számítást alkotni.

A fentiekből következik, hogy a hajtáslánc megfelelő áttételezésének megválasztását sem lehet pusztán gépészeti számításokra alapozni, hanem figyelembe kell venni a jármű menet közbeni viselkedését is. Ennek monitorozására ad lehetőséget az általam készített rendszer.

4. Mérőeszközök, jelző eszközök és működési elvük

A korábbi fejezetben említettem a mérendő fizikai mennyiségeket, itt pedig bemutatom, hogy milyen eszközökkel és eljárással teszem ezt meg.

4.1. Sebesség érzékelő

Az egyik legfontosabb adat, amit a jármű működése során tudni szükséges, az a jármű aktuális sebessége. A sebesség mérésére több módszer is létezik és kereskedelmi forgalomban is kapható többféle mérőberendezés.

Az egyik típus, a régebbi kiadású gépjárművekben is alkalmazott spirálhajtású sebességmérő berendezés. Mivel ez a berendezés nem elektronikus működésű, így az Elektromobil fedélzeti egységének építése során nem alkalmazható.

Léteznek a kerékpárokra kapható sebességmérő egységek is. Ezek már elektromos eszközök. Működési elve azon alapul, hogy a kerék küllőkre szerelt mágnes elhalad a villára szerelt érzékelő előtt, amely kapcsolatban áll a kormányon elhelyezett kijelző egységgel. Az érzékelő lehet reed cső, vagy HALL szenzor. A mágnes az elhaladás pillanatában jelet ad az érzékelőnek, amelyből a kijelző egység ki tudja számolni a kerék átmérő függvényében, hogy milyen sebességgel halad a kerékpár. Ez a megoldás már jobban illeszkedne a fenti rendszerhez, azonban a kerék körbefordulására jutó egyetlen jel nem elégséges a sebesség meghatározásához kellő folytonossággal.

A mai modern motorkerékpárokon és autókon is hasonló módon történik a sebesség mérése, mint a kerékpárokon. Itt egy HALL szenzor szolgáltatja jelet a mérőegység számára. Ez jó megoldás, mivel nincs mechanikai kapcsolat. Illetve itt a kerék tengelyére van elhelyezve egy tárcsa, amelyen váltakozva találhatóak meg a mágneses és nem mágneses ablakok, melynek következtében a jeladó egy kerék körbefordulás alatt több jelet is tud fogadni.

Az én általam választott megoldás hasonló a modern autókban alkalmazott módszerhez, azonban az Elektromobil jármű adottságaihoz alakítottam.

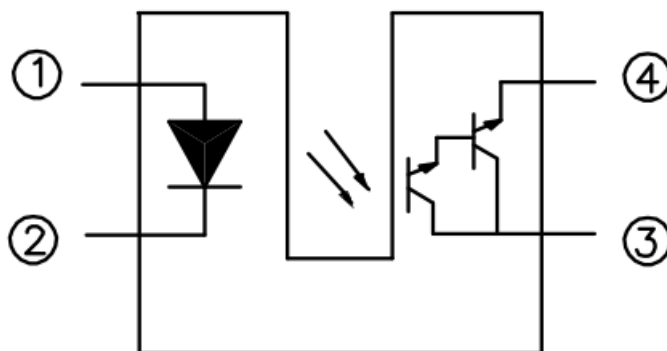
A jármű az első kerekein tárcsafékekkel rendelkezik, melyeknek féktárcsái felületén sűrűn bevágások találhatóak, melyet a 3 ábra mutat.



3. ábra - Avid bb5 féktárcsa és mintázata

Ezek a sűrű bevágások lehetőséget adnak a jó felbontású sebesség meghatározáshoz. Azonban itt a HALL szenzoros érzékelés nem megoldható. De létezik más alternatíva is, mégpedig az optikai érzékelők alkalmazása. A járművön a sebesség mérése egy réselt optokapu segítségével történik.

Az réselt optokapu egy olyan optikai szenzor, amely áramköri szempontból egy optocsatolóhoz hasonlít, azonban fizikai kivitelezése lehetővé teszi, hogy érzékelésre alkalmazzák (4. ábra).



4. ábra - Optokapu réssel

Az érzékelő egyik oldalán egy infravörös fénnel világító LED található (4. ábra bal oldala) és a vele szemben egy fototranzisztor van elhelyezve található (4. ábra jobb oldala), a kettő között pedig egy rés található. Ha a fény akadálytalanul átjut az infravörös LED-ből a fototranzisztorba, akkor a tranzisztor nyitott állapotba kerül és rajta áram folyhat keresztül. Amennyiben a résbe egy idegen tárgy kerül, az

megszakítja a fény útját a LED diódától a tranzisztorba és ekkor a tranzisztor lezár, rajta igen kevés, gyakorlatilag nulla áram folyhat keresztül.

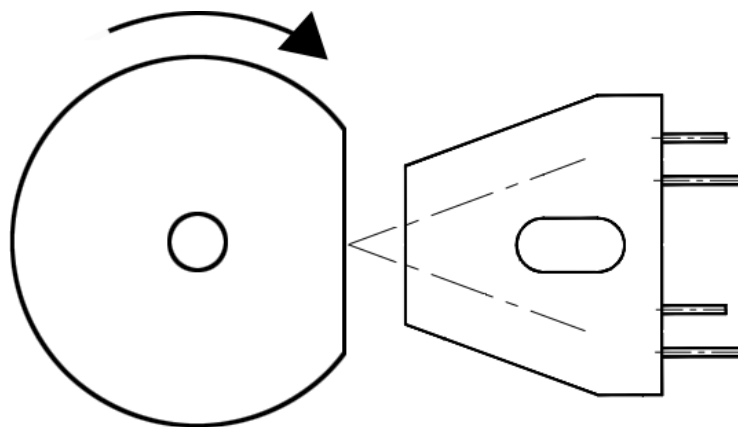
A féktárcsa az optokapu részébe nyúlik be, így forgása közben a tárcsa mintázatának köszönhetően, hol megszakítja a fényt, hol átengedi azt a lyukakon. A tárcsán 30 darab lyuk található, amely egy kerék körforduláshoz 30, vagy 60 jelet szolgáltat a feldolgozó program beállításától függően. Ez a két érték azért lehetséges, mert nem csak a fényt, hanem a fény hiányát is lehet detektálni, így a 30 darab fényt áteresztő lyukhoz 30 darab tömör felület is tartozik, ami megszakítja a fényt.

Az egyetlen kerék körforduláshoz tartozó jelek száma már 30 darab esetén is bőven kielégíti a telemetriaival rendszerrel szemben támasztott kívánalmakat. Mivel a járművön alkalmazott kerekek kerülete 1,52 méter, így valamivel több, mint 4 centiméterenként meg lehet határozni a jármű aktuális sebességét, valamint a megtett út hosszát.

4.2. Fordulatszám érzékelő

A fordulatszámmérés a sebességméréshez hasonlóan optikai úton történik. Ez esetben is optokaput alkalmaztam, azonban ez egy másik típusú, mégpedig reflexiós optokapu. Működési elve annyiban tér el a korábban említett réselt optokaputól, hogy itt nem egymással szemben helyezkedik el az infravörös LED és a fototranzisztor, hanem egymás mellett, azonos irányba nézve. Ennél a típusnál akkor jut el a fény a LED-től a tranzisztorba, amikor adott távolságban, vagy azon belül az érzékelő elé egy fényvisszaverő felület kerül. Fontos, hogy a felület visszaverje az infravörös fényt, mert például a fekete, vagy matt felületek elnyelik, illetve szórtan verik vissza a fényt! Továbbá a távolság is fontos, mert, ha túl messze kerül az érzékelőtől a felület, akkor már nem verődik vissza megfelelő mennyiségű fény, ahhoz, hogy érzékelni lehessen a tárgyat. A felület állása is fontos, mivel, ha ferdén éri a fény a felületet, akkor ferdén is verődik vissza, és nem a tranzisztorba, hanem máshová jut, amit szintén nem lehet érzékelni, így célszerű, ha teljesen merőlegesen helyezzük el a felülethez képest az érzékelőt.

Az én megoldásom szerint a fordulatszámot a fűrógépek behajtás tengelyén mérem, mivel itt volt lehetőség kialakítani a megfelelő fényvisszaverő felületet és itt a fűrók fordulatszámával azonos fordulatszámot kapunk. A fényvisszaverő felület a hajtásláncban található egyik fogaskerék agyrészén lett lelapolással kialakítva, melyet a 5. ábra bal oldalán lehet látni. Az 5. ábra jobb oldalán a reflexiós optokapu látható, valamint a belőle kibocsájtott fény útja visszatükröződés esetén.

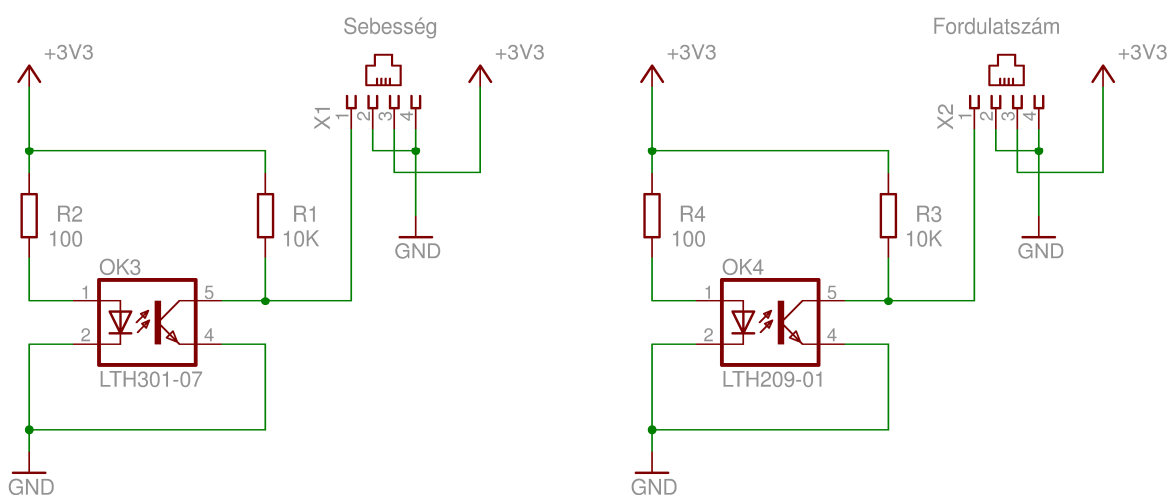


5. ábra - Fordulatszámmérő jeladó elhelyezése

A le nem lapot felület matt fekete festékkal lett bevonva, hogy ne tükrözze vissza az infravörös fényt az érzékelőbe. A lelapolás fényesre lett polírozva, hogy amikor

ezzel a részével fordul a fogaskerék agyrésze az érzékelő felé, akkor merőleges állás esetén az érzékelőre visszatükrözzé a kibocsájtott fényt.

A sebesség és a fordulatszám érzékelők önálló egységeket alkotnak, elektronikai működésünk teljesen megegyezik, különbség, csak a fent leírtak szerinti LED-fototranzisztor elhelyezkedésben és a fény által bejárt útban van. Az említett két egység kapcsolási rajza a 6. ábrán látható. A kapcsolási rajzon egyedül a két optokapu típusa az, ami eltér.



6. ábra - Optikai érzékelők kapcsolási rajza

Az egységek melegragasztóval lettek bevonva, hogy ellenálljanak az időjárásnak és az esetleges fizikai behatásnak, ezen felül önálló burkolattal nem rendelkeznek. Rögzítésük csavarral történik a jármű vázához a felfogatási pontokon.

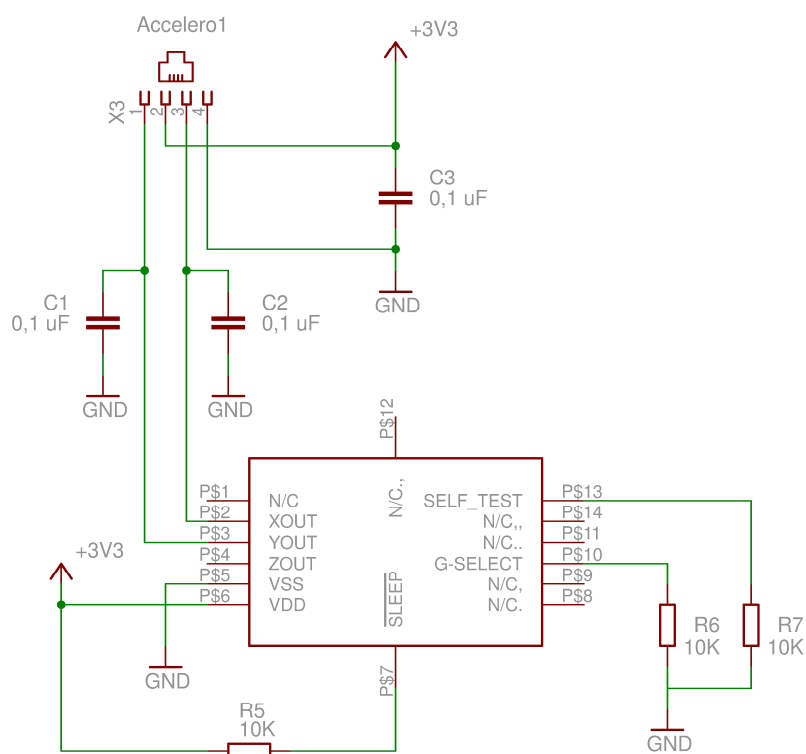
A fedélzeti elektronikához egy négy eres telefonkábel segítségével csatlakoznak, melyek RJ11 4P4C típusú csatlakozóban végződnek. A működéshez szükséges tápellátást a fedélzeti egységtől kapja az egység, valamint egyetlen digitális jelet szolgáltató kimenete is a fedélzeti elektronikába fut be. Mindkét érzékelő esetében a fototranzisztor kollektoráról kerül ki a jel, mely egy ellenálláson keresztül a pozitív tápfeszültségre van kötve. Így mikor a fény szabadon tud a LED-ből a tranzisztor felé jutni, akkor az egység kimenetén logikailag alacsony értéknek megfelelő jelszint mérhető. A fénysugár útjának megszakítása esetén pedig logikailag magas jelszint mérhető a kimeneten.

4.3. Gyorsulásmérő szenzorok

Az autóra ható oldalerők megismerése céljából gyorsulásmérő szenzorokat is elhelyeztem az autón. Ezen érzékelőknek köszönhetően ismerté válik a kanyarodás közben az autóra ható erő, továbbá a gyorsulás és lassítás következtében fellépő erők nagysága is.

Erre a célra a Freescale Semiconductor MMA7331 típusú háromtengelyű gyorsulásmérő szenzorját használtam fel. Ez az eszköz kapacitív mikro mechanizmussal rendelkezik, kimenete pedig analóg feszültségjelet szolgáltat. Gyárilag kalibrált, így könnyen használatba vehető és mindig pontos értéket mutat. Egyetlen negatívuma az igen kisméretű LGA14-es típusú tokozása, amely 3x5x1 milliméter befoglaló méretekkal rendelkezik, így áramkörbe ültetése igen komoly kihívást tud jelenteni.

Az alkalmazott áramkör kapcsolási rajza a 7. ábrán látható:



7. ábra - Gyorsulásmérő szenzor kapcsolási rajza

A kapcsolat a minimális működéshez szükséges elemeket tartalmazza, mivel nincs szükség a szenzor különleges funkcióinak kihasználására. A sebesség és fordulatszám érzékelőkhöz hasonlóan ez az egység is egy RJ11 4P4C típusú csatlakozóban végződő négy eres telefonkábel segítségével csatlakozik a fedélzeti

elektronikához. Mivel az érzékelő panelje igen kisméretű, így a könnyebb rögzíthetőség és a fizikai és időjárási behatások elkerülése érdekében egy vízhatlan alumínium házat esztergáltam számára, melyet csavar segítségével a jármű szinte bármely pontján rögzíteni lehet. Rögzítés során ügyelni kell a szenzor talajhoz képest vízszintes rögzítésére, valamint a jármű hossz tengelyével való párhuzamosságára is, ellenkező esetben fals gyorsulási adatokat szolgáltathat a gravitációs erő hatásának köszönhetően.

Ebből a szenzorból két darab is helyet kapott az autón, annak érdekében, hogy az alul és túlkormányozottságot, valamint a kicsúszásokat, farolásokat is meg lehessen figyelni. Az egyik érzékelő az autó orrában a padlólemezhez lett rögzítve, a jármű hossz tengelyének mentén, a másik pedig a hátsó lökhárítón helyezkedik el, szintén a jármű hossz tengelye mentén.

A szenzorok által szolgáltatott jel feszültségjel. Valamint az alkalmazott kapcsolás következtében a szenzorok $\pm 4g$ mérési tartománnyal rendelkeznek. A kimeneten megjelenő jel lineáris és arányos az erőhatás mértékével. A $0g$ -nek megfelelő feszültség szint a tápfeszültség felénél helyezkedik el minden esetben, két szélső értéke 0 Volttól a tápfeszültségig terjed. Mivel az alkalmazott tápfeszültség $3,3$ Volt, így a $0g$ -hez tartozó feszültség érték a kimeneten $1,65$ Voltnak felel meg. Ezt figyelembe kell venni a jel feldolgozása során is, továbbá a tápfeszültség esetleges változásának függvényében a $0g$ -hez tartozó jelszintet is újra kell kalibrálni a feldolgozó szoftverben.

4.4. Jelzőeszközök

A jármű rendelkezik olyan jelzőeszközökkel, melyek a használatot teszik biztonságosabbá, illetve dekorációs célokat szolgálnak. Ilyen jelzőeszköz a féklámpa, amely nagy fényerejű és nagy látószögű LED-ekből áll. Működése eltér a személygépjárművekben megszokottól, ugyanis nem a féklámpa kapcsoló működteti a lámpát, hanem az elektronika, amely a sebességmérő szenzortól nyert adatok alapján meghatározza a lassulás mértékét és annak megfelelően kapcsolja be a féklámpát. Ennek köszönhetően vészfékezés esetére villogó jelzést is lehet adni a féklámpával, ami még jobban felkelti a jármű után haladó autó vezetőjének figyelmét.

Ezen eszköz működéséről a későbbiekben a fedélzeti elektronika részletezése során ejtek több szót.

A jármű rendelkezik még egy pusztán dekorációs célokat szolgáló 78 darab, a főntebbiekkel megegyező típusú LED-ekből kirakott Bosch logóval az orrán, melyet kapcsoló, valamint szintén a fedélzeti elektronika segítségével is lehet aktiválni.

5. ZigBee

Mivel dolgozatom témája egy vezeték nélküli telemetriai rendszer, így szükség van rádiós kapcsolat kialakítására is a jármű és az adatokat fogadó, feldolgozó számítógép között. Ezen vezeték nélküli kapcsolat kiépítésére a **ZigBee** vezeték nélküli kommunikációs platformot választottam, mivel ez minden kívánalmat kielégít, ami egy kisebb méretű vezeték nélküli telemetriai rendszertől elvárható. A következőkben ezt be is fogom mutatni részletesen.

5.1. Áttekintés

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

5.2. A ZigBee főbb jellemzői

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

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

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

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

Regionális különbségek:

Léteznek különbségek az eszközök között, a felhasználási cél-régiók szerint:

Frekvenciasáv	Régió	Átviteli sebesség	Csatorna száma
868.3 MHz	Európa	20Kb/s	0
902-928 MHz	Amerika	40Kb/s	1-10
2405-2480 MHz	Nemzetközi	250Kb/s	11-26

A nemzetközi szabványnak megfelelő eszközök a legelterjedtebbek, mivel ezek rendelkeznek a legjobb átviteli sebességgel és a legtöbb csatornával és persze a legnagyobb potenciális felhasználókörrrel. A továbbiakban az ilyen jellegű eszközökkel foglalkozom.

Címzés:

Minden ZigBee egységnek van egy 64 bites azonosítója, ami a gyártás során kerül beégetésre. A 64 bites szélességnek köszönhetően minden egyes egység, amelyet a világon gyártanak, **egyedi** azonosítóval fog rendelkezni.

Minden hálózathoz csatlakozó eszköz rendelkezik egy hálózati címmel is. Ez egy 16 bites **egyedi** cím, melyet a koordinátor oszt ki minden hálózathoz csatlakozó csomópontnak (eszköznek), így egy hálózaton belül akár 65536 eszköz is lehet. Ennek köszönhetően nagy kiterjedésű, sok eszközt és funkciót magába foglaló összetett hálózatot igénylő feladatok megoldására is alkalmas a ZigBee.

Továbbá minden eszköznek lehet egy rövid szöveges nevet is adni, ami utalhat a funkciójára, elhelyezkedésére, stb. Azonban ennek **egyedisége nem garantált**, így

nem az eszköz hálózati beazonosítását szolgálja, csupán a felhasználónak segít beazonosítani az egységet egy könnyebben megjegyezhető névvel.

PAN:

Personal Area Network, vagyis „személyi kiterjedésű hálózat”. Néhány métertől, néhány tíz méterig való kiterjedés jellemzi. Ide tartozik a ZigBee és többek között a Bluetooth is.

A ZigBee hálózatok is rendelkeznek saját címmel, nemcsak a hozzájuk csatlakozó eszközök, ez pedig a PAN cím, más néven PAN ID. Ez egy 16 bites cím, amely magát a hálózatot azonosítja, így az egy hálózaton belüli eszközöknek azonos PAN címmel kell rendelkezniük!

A fentiekből következik, hogy akár több mint 4 Milliárd egyedi eszközt lehet egy helyen ZigBee hálózatban működtetni. Ezt a számot tovább növelhetjük, ha azt is figyelembe vesszük, hogy a 2,4GHz-es frekvenciatartományú eszközök között 16 különböző csatornát is választhatunk a kommunikációra, valamint több frekvenciatartomány közül is választhatunk!

Reakcióidő:

Igen gyorsak az egyes egységek hálózattal történő interakció, így a rövid idő alatt végbemenő műveleteknek köszönhetően két esemény között az egység alvó állapotba kerülhet, csökkentve az energiaszükségletét és növelve telepről történő üzemeltetés esetén a telep élettartamát:

- Új csomópont hálózathoz csatlakozása: <30ms
- Alvó egység aktiválódása: <15ms
- Csatorna hozzáférési idő: <15ms

Fogyasztás:

Igen alacsony teljesítményfelvétellel rendelkeznek a ZigBee modulok, aminek köszönhetően évekig képesek üzemelni telepről. Aktív állapotukban néhányszor 10mA, alvó állapotban csupán néhány μ A a fogyasztásuk!

További fontos tulajdonságok:

- **Önszervező:**

Külső beavatkozás nélkül automatikusan képes a hálózat az újonnan hatókörbe került, vagy bekapcsolt eszközt behatárolni, felismerni és csatlakoztatni a hálózathoz.

- **Önjavító:**

Ha váratlanul kiesik egy csomópont, vagy szegmens, a rendszer ezt észleli és újraszervezi a kommunikációs útvonalakat a megmaradt eszközök között.

- **Útvonal meghatározása:**

Egy táblázatban tárolódik, hogy az egyes csomópontoktól az üzenet milyen más csomópontokból alkotott útvonalon keresztül juthat el a célállomásig.

5.3. Hálózati szerepkörök:

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

Koordinátor (Coordinator):

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

Router:

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

Végpont (Endpoint/End Device):

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

Az 8. ábra mutatja be a fenti szerepköröket különböző topológiákban.

5.4. Hálózati topológiák:

A ZigBee hálózat több topológia szerint is összeállhat. Ez logikai topológiát jelent, nem fizikait!

Pár:

Ez a legegyszerűbb kialakítás, itt mindössze két csomópont található, melyek egymással kommunikálnak. Az egyikük kötelezően a koordinátor, a másik lehet router, vagy végpont is.

Csillag:

Ebben az esetben egy koordinátor és több végpont, vagy router van egy hálózatban. Az eszközök kizárólag a koordinátorral kommunikálnak közvetlenül, így, ha két csomópont szeretne kapcsolatot teremteni, azt a koordinátor közbeiktatásával teheti meg, amely ez esetben routerként is funkcionál. A router egységek viszont csakis végpont funkcióval vehetnek részt a hálózatban!

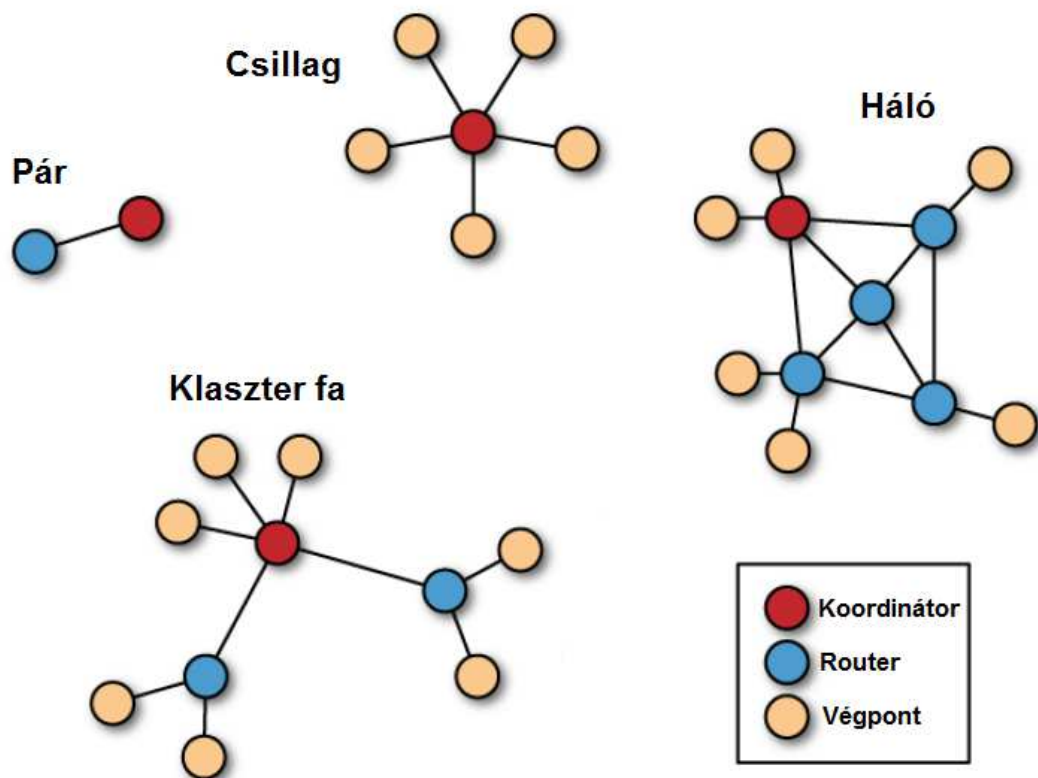
Klaszterfa:

A hálózatot a koordinátor, valamint egy, vagy több router és végpontok alkotják olyan módon, hogy a végpontok kizárólag egy routerekhez, vagy a koordinátorhoz, mint szülőkhöz kapcsolódhatnak, továbbá a routerek nem kapcsolódhatnak egymáshoz, kizárólag a koordinátorhoz. A routerek és a koordinátor itt már router funkciókat is betölthetnek!

Háló:

A klaszterfára épül, azzal a különbséggel, hogy itt a routerek egymás között is kiépítenek kapcsolatokat. Ez a többszörösen összetett „háló” jelleg adja a legrobosztusabb topológiát. A redundáns útvonalaknak köszönhetően a kommunikáció mindig a legrövidebb útvonalon zajlik bármely két pont között, valamint, ha egy, vagy több csomópont kiesik, a kommunikációs útvonalak azonnal újraszerveződnek, és ha lehetséges, akkor a megmaradt csomópontok átveszik a kiesett csomópont, vagy csomópontok helyét a kommunikációs útvonalban. Ekkor a végpontok új szülőhöz kötődnek, és a routerek közötti kapcsolatok is új útvonalakkal bővíthetnek.

A fent felsorolt hálózati topológiákat az 8. ábra szemlélteti:



8. ábra - Hálózati topológiák és szerepkörök

6. XBee rádiós modul

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

- Digi International
- STMicroelectronics
- Texas Instruments
- Samsung

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

Alapvetően három XBee hardver változatot különböztetünk meg:

6.1. XBee Series 1:

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

6.2. XBee Series 2:

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

6.3. Összehasonlítás

Az S2 családon belül is megkülönböztethetünk két típust, egy normál hatótávolságút, melynek a neve egyszerűen XBee és egy kiterjesztett

hatótávolságút, az XBee-PRO-t. A két típus közötti legjelentősebb különbséget a hatótávolságuk és a fogyasztásuk jelenti, valamint nem elhanyagolható szempontként az árak. Ezen modulok teljes mértékben kompatibilisek egymással, mind kommunikáció terén, mind pedig fizikai interface terén.

Az XBee S2, XBee-PRO S2 főbb jellemzőit az alábbi táblázat taglalja:

Típus	XBee® S2	XBee-PRO® S2
Műszaki jellemzők		
Átviteli sebesség	250 Kbps	
Hatótáv épületben	40m	90m
Szabadtéri hatótáv	120m	3200m/1500m
Rádió teljesítmény	1.25 mW (+1 dBm)	63 mW (+18 dBm)
Vevő oldali érzékenység	-96 dBm	-102 dBm
Funkciók		
Rádió teljesítmény	Állítható	
I/O Interface	3.3V CMOS UART, ADC, DIO	3.3V CMOS UART, SPI, I2C, PWM, DIO, ADC
Konfigurációs lehetőségek	API, vagy AT parancsokkal soros porton, vagy hálózaton keresztül	
Frekvenciasáv	2.4 GHz	
Interferencia tűrés	DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)	
Soros átviteli sebesség	1200 bps - 1 Mbps	
Analóg bemenet	(4db) 10-bit ADC inputs	
Digitális I/O	10db	
Antenna változatok	Chip, Drót, U.FL, RPSMA	NYÁK antenna, Drót, U.FL, RPSMA
Működési hőmérséklet, páratartalom	-40°C to +85°C, 0-95%	
Csomagküldés	Retries/Acknowledgments	
Azonosítók és csatornák	PAN ID, 64-bit IEEE MAC, 16 csatorna	PAN ID, 64-bit IEEE MAC, 15 csatorna
Erőforrásigény		
Tápfeszültség	2.1 - 3.6VDC	2.7 - 3.6VDC
Adó fogyasztás	35 mA @ 3.3VDC	205 mA
Vevő fogyasztás	38 mA @ 3.3VDC	47 mA
Alvó módú fogyasztás	<1 uA @ 25° C	3.5 uA @ 25° C

Választásom a fenti táblázat alapján az S2 családra esett, mivel ez a típus jól használható az a fellépő adatmennyiség átvitelének ellátására, valamint könnyen és olcsón beszerezhető.

6.4. Antenna típusok:

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

Drót antenna:

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

Chip antenna:

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

NYÁK antenna:

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

U.FL csatlakozó:

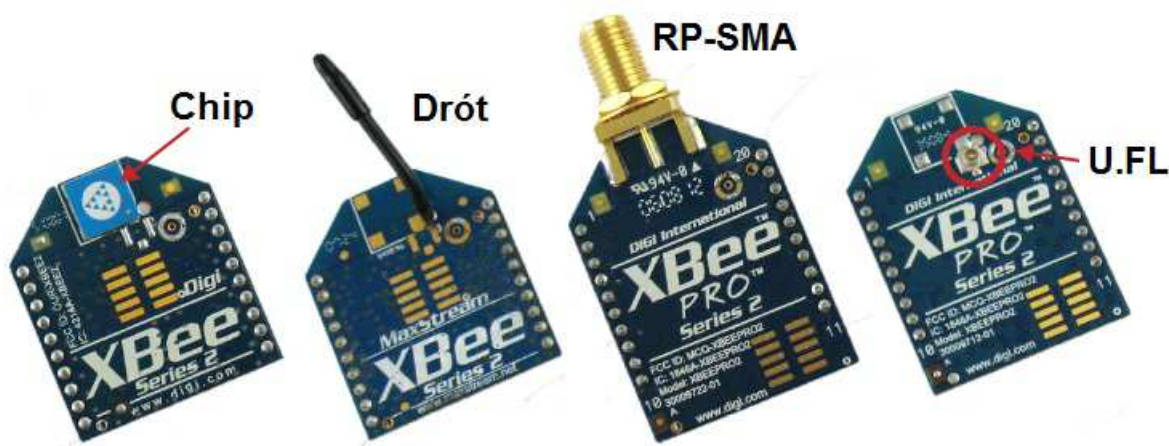
Olyan esetekben alkalmazzák, ahol a modult és a hozzá kapcsolódó elektronikát fém dobozba építik, vagy más módon árnyékolódik le a modul. Ilyen esetben külső antennát alkalmaznak, melyhez a jelet egy árnyékolt vezetéken vezetik el a modulon található U.FL antenna csatlakozóról. Olyankor is ezt a típust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

RP-SMA csatlakozó:

Szerepe ugyanaz, mint az U.FL csatlakozóé, azonban ehhez a típushoz közvetlenül, kábel közbeiktatása nélkül hozzákapcsolható a külső antenna. Ezzel a

csatlakozótípussal már találkozhattunk a legtöbb WiFi eszközön. Segítségével a modul mechanikusan az egység dobozához is rögzíthető.

A 10. ábrán Digi gyártmányú eszközök szerepelnek különféle antenna kivittel, melyen jól látható a sima és a PRO változat közötti méretbeli eltérés is.



9. ábra - Series 2 XBee és XBee-PRO modulok drót antennával

6.5. Működtetés

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

- Mikrovezérlő.
- Számítógép.
- Szenzorok.
- Beavatkozók.

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

API módban a küldött üzeneteket nem különböztetjük meg, hogy az adat, vagy parancs, mivel ez esetben minden elküldött üzenet keretek közé van foglalva,. Továbbá ebben a keretben lehet megadni, hogy melyik hálózati szereplőnek küldjük az üzenetet, milyen jellegű (adat/parancs), illetve milyen további paraméterekkel rendelkezik. Használta bonyolultabbnak tűnhet, az AT-hoz képest, de sokkal funkcionálisabb annál, valamint a legtöbb számítógépes programnyelvhez elkészült XBee könyvtárak az API módot használják a modulokkal történő interakciókra.

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

A következőkben az Java API csomag használatát is be fogom mutatni, amely az XBee modulok számítógépről történő elérését teszi lehetővé API módú kommunikáció során.

7. A fedélzeti elektronika

A korábbi években is én készítettem az elektronikát az Elektromobil járművünkhöz, így már kialakult egy kép arról, hogy miként kell funkcionálnia az idei évben alkalmazott fedélzeti egységnek. Továbbá az előző verseny óta eltelt időszakban sikerült tanulmányaim során megismerkednem a ZigBee vezeték nélküli kommunikáció technológiájával, valamint gyakorlatot is sikerült szereznem ezen eszközök használatában és programozásában.

Az általam készített elektronika az 10. ábrán látható:



10. ábra - Fedélzeti elektronika és műszerfal

Az egység a következő főbb elemekből épül fel:

- Csatlakozók és sorkapcsok,
- tápfeszültség előállítását és stabilitását biztosító alkatrészek,
- kijelzést végző eszközök:
 - o LED-ek,
 - o 7-szegmenses kijelzők,
 - o LED meghajtó és vezérlő.
- kezelő gombok,

- teljesítmény kimenetek
- GPS vevő modul,
- XBee rádiós modul,
- mikrovezérlő.
- extra i/o lábak a további fejlesztésekhez

A fenti egységgel szemben támasztott elvárás az, hogy megbízhatóan és pontosan kell működnie, valamint ellenálljon a teszt és verseny körülmények közötti megpróbáltatásoknak úgy, mint az időjárás és a menet közbeni erőhatások.

7.1. Vezetékes csatlakoztatás

A fedélzeti elektronika a korábbi fejezetben említett érzékelőkhöz és jelző eszközökhöz csatlakozik, valamint a tápforráshoz.

Az érzékelőkkel való kapcsolatot a panel hátulsó oldalán elhelyezett RJ11 4P4C csatlakozók teszik lehetővé.

A tápfeszültség az egységhez 0,5 mm² keresztmetszetű műanyag szigetelésű sodort rézkábelon keresztül jut el, ami áramkörbe forrasztható sorkapcsokon keresztül tud a panelhoz csatlakozni.

A féklámpához és a logóhoz szintén áramkörbe forrasztható sorkapcsokon keresztül lehet a fent említettel azonos típusú rézkábelt csatlakoztatni.

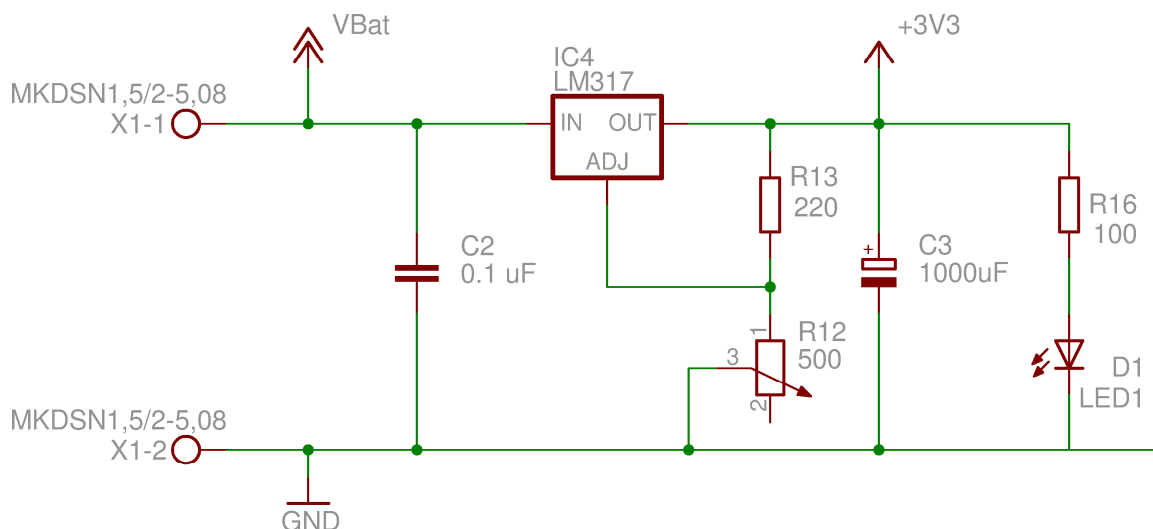
A réz kábelek az áramkört burkoló műszerdobozba tömszelencén keresztül jutnak be, ami meggátolja a nedvesség bejutását, valamint kellően szoros ahhoz, hogy a vezetékek kirántását is megakadályozza.

7.2. Tápfeszültség előállítása

A fedélzeti elektronika a működéséhez szükséges tápfeszültségét 6db D1 típusú, közismertebb nevén góliát elemből nyeri. Az elemek soros kapcsolásával töltöttségi szintjük függvényében 7,8-9,6 Volt nyerhető. Ezt a feszültséget a féklámpa és a logó közvetlenül fel tudja használni működéséhez, azonban a fedélzeti elektronika és a szenzorok más tápfeszültséget követelnek meg.

A 3,3 Volttal működő áramkörök tápfeszültségének előállítását egy LM317-es típusú feszültség stabilizátor végzi. Bemenetén egy 100 nF-os kerámia kondenzátor

szűri a beérkező feszültséget, valamint a kimeneten egy 1000 uF-os elektrolit kondenzátor pufferelem és simítja a tápfeszültséget. A kimenő feszültség nagysága egy trimmer potenciométer segítségével finoman állítható a megfelelő értékre. Továbbá a feszültség meglétéről egy visszajelző LED gondoskodik egy 100 Ohmos ellenállás segítségével. Ezen áramköri részlet kapcsolási rajza a 11. ábrán látható:



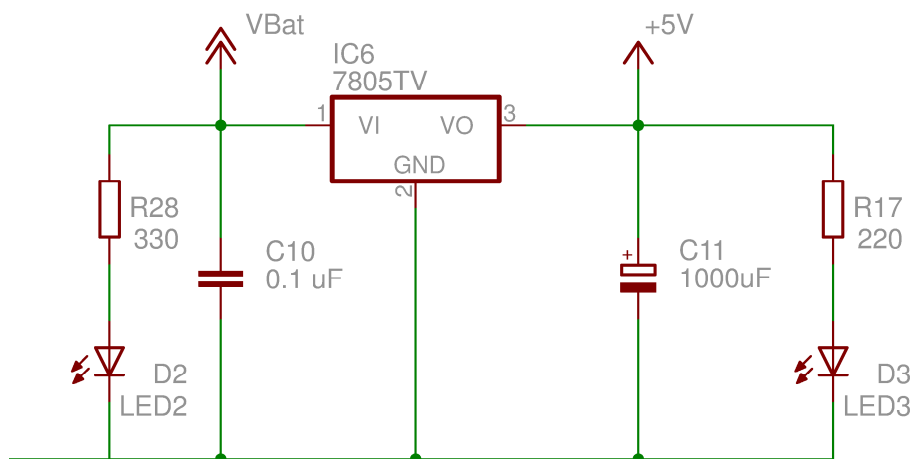
11. ábra - 3,3 Voltos tápfeszültség előállítás

A 3,3 Voltos tápfeszültséget használják a következő egységek:

- Mikrovezérlő.
- XBee modul.
- GPS modul.
- Szenzorok.
- Kijelző vezérlés.

Azonban nem csupán 3,3 Voltra van szüksége a fedélzeti elektronika működésének. A kijelzés vezérlő eszköze tápforrásnak 3,3 Voltot igényel, azonban a kijelző elemek (LED-ek, 7-szegmenses kijelzők) megfelelő vezérléséhez 5 Voltot kell biztosítani számára.

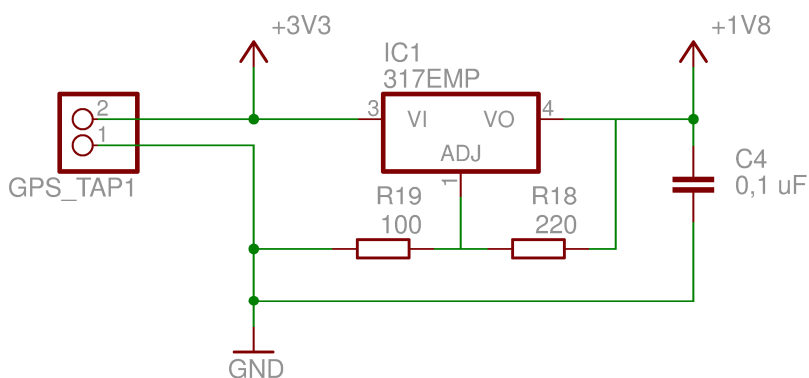
Az 5 Voltos feszültség előállításához szintén az D1-es típusú elemekből összeállított telepből nyer feszültséget az áramkör. Ennek a részegységnek a kapcsolási rajz részlete a 12. ábrán látható:



12. ábra - 5 Voltos tápfeszültség előállítása

A fenti kapcsolási rajz részleten is megtalálható a bemenő feszültség szűrésére szolgáló 100 nF-os kerámia kondenzátor, valamint a kimeneti pufferként elhelyezett 1000 uF-os elektrolit kondenzátor, továbbá a feszültség jelenlétét jelző LED a rajta átfolyó áramot korlátozó 200 Ohmos ellenállással. Valamint a kép bal oldalán megtalálható a telepről érkező bemenő feszültség jelenlétét jelző LED és a hozzá tartozó ellenállás. A képen nem látszik, de az alsó vezeték a fedélzeti elektronika GND jelű negatív tápágába tartozik.

Az eddig említett feszültségeken kívül még szükség van egy 1,8 Voltos tápfeszültségre is, melyet a fedélzeti elektronikához tartozó, de attól külön panelon elhelyezkedő GPS modul igényel működése során. Ezen kapcsolási rajz részletet a 13. ábrán lehet látni:



13. ábra - 1,8 Voltos tápfeszültség előállítása

A fedélzeti elektronika paneljéhez tüskesoron keresztül csatlakozik a GPS modul egysége. A bemeneti tápfeszültséget a korábbiakban előállított 3,3 Voltból nyeri, majd a működéséhez szükséges 1,8 Voltot ebből állítja elő saját maga számára. A

feszültség stabilizátor alkatrész típusa megegyezik a 3,3 Voltot előállító alkatrészével, azonban tokozása eltér attól. Ezen áramkör bemenetén nincs szűrőkondenzátor, mivel a beérkező feszültség már elég stabilnak mondható. Kimenetén pedig egy 100 nF-os kerámia szűrőkondenzátor került elhelyezésre.

7.3. A kijelző és vezérlőáramköre

A fedélzeti elektronika műszerfal funkciót is betölt, így rendelkezik egy kijelzést megvalósító felülettel, amely 9x2db LED-et és 2 db 7-szegmenses kijelzőt foglal magába.

Az elkészült kijelző felületét a 11. ábrán lehet megtekinteni.

Mivel a fedélzeti elektronikában alkalmazott mikrovezérlő nem rendelkezik elég kimenettel, továbbá a kimenetek terhelőárama is maximalizált, így a MAX6957 típusú LED meghajtó áramkört használtam a kijelzés megvalósításához.

Ezen áramkör LED meghajtó és port bővítő feladatokat tud ellátni ki- és bemenő irányban egyaránt. Hozzáférti SPI porton keresztül lehetséges. Tápfeszültségnek pedig a korábbiakban említett 3,3 Voltot igényli, de a kijelző elemek vezérléséhez ettől eltérő értéket is lehet számára biztosítani, ami a korábbiakban tárgyalt 5 Volt lett ezen eszköz esetében. LED meghajtó kimeneteinek mindegyikén külön-külön 16 lépésben lehetséges az átfolyó áram maximumának meghatározása, mivel ezen áramköri elem áramgenerátoros kimenetekkel rendelkezik. Azonban ennek az alkatrésznek is korlátozottak a kapacitásai, ugyanis csak 20 külön-külön konfigurálható és vezérelhető i/o lábbal rendelkezik.

A fordulatszám kijelzésre felhasznált LED-ek száma 9x2 darab. Minden kijelzett fordulatszámhoz 2db LED tartozik a jobb láthatóság érdekében. Ez a két darab LED egymással párhuzamosan van kötve, így a rajtuk folyó áram megoszlik.

A sebesség kijelzésére 2db 7-szegmenses LED kijelző kapott helyet az áramkörben. Mivel a 2x7db kijelzést szolgáló LED igen sok kimenetet venne igénybe a meghajtó áramkörtől, már nem maradna elég a fordulatszám kijelzésére is. Ennek megoldására multiplexált vezérlést alkalmaztam a sebesség kijelzése során. Így a 2db kijelző meghajtásához 14 port helyett csupán 9-re van szükség.

A kijelzés külön áramköri lapon foglal helyet a fedélzeti elektronikán belül, azonban a dobozolást megkönnyebbítendően a fedélzeti elektronika fő áramköri

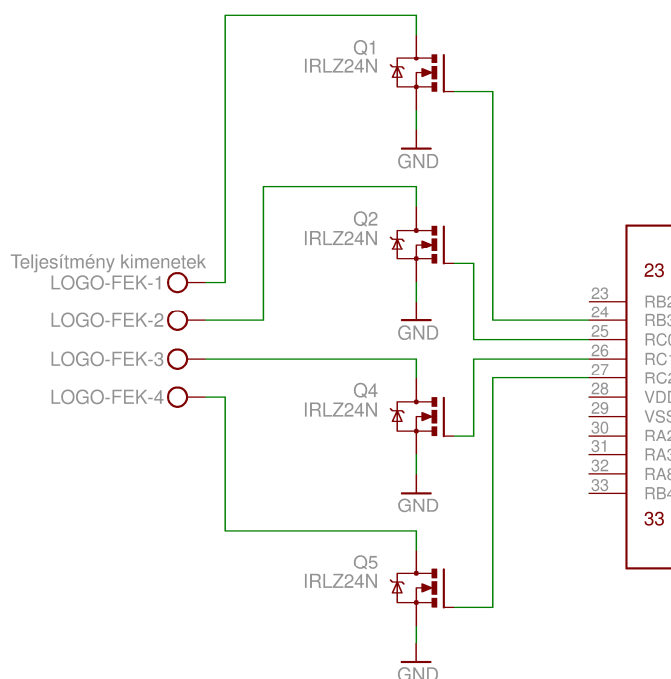
7.4. Teljesítmény kimenetek

A jármű orrában elhelyezett logó és a féklámpa működtetése céljából teljesítmény kimenetekkel is el lett látva a fedélzeti elektronika.

Erre a célra 4 darab IRLZ24N típusú, teljesítmény MOSFET-et alkalmaztam. Használata mellett szól, hogy 55 Voltig képes feszültséget kapcsolni, folyamatos üzem mellett 18 Amper áram folyhat rajta keresztül. Továbbá nagyon alacsony a nyitott állapotú belső ellenállása ($R_{DS(on)} = 0,06\Omega$), aminek köszönhetően folyamatos üzem mellett sem melegszik észlelhető módon. Valamint a gate küszöbfeszültsége 2 Volt alatti ($V_{GS(th)} < 2 \text{ Volt}$), aminek köszönhetően a 3,3 Voltos logikai jelekkel dolgozó mikrovezérlő is képes biztonságosan kapcsolni a FET-et.

A logóhoz és a féklámpához elegendő lenne 2db teljesítmény kimenet is, azonban a további fejlesztési lehetőség érdekében 4db ilyen megvalósítású kimenetet készítettem az áramkörön.

Ezen kimenetek áramköri rajza a 15. ábrán látható:



15. ábra - Teljesítmény kimenetek

A kimenetek a korábbiakban már említett sorkapcsokban végződnek az áramköri lapon, ahonnan sodort rézkábeleken keresztül jut a feszültség a vezérelt eszközökhöz.

A MOSFET-ek alkalmazása során nem használtam áram korlátozó ellenállást a mikrovezérlő kimenetein, habár azok csupán 4 mA-rel terhelhetőek maximum. Ezt az indokolja, hogy még a tervezési fázisban lehetőségem volt próbapanelen összeállítani és kipróbálni a majdan megépülő áramköröket, így méréseket is tudtam végezni a tesztek közben.

A kocsí orrában elhelyezkedő Bosch logó mivel 78 LED-et tartalmaz, így maximális áramfelvétele elérheti az 1,6 A-t is! Azonban a MOSFET technológiájának köszönhetően igen alacsony kácsoló áram szükséges a felhasznált teljesítmény MOSFET gate-jén ahhoz, hogy a logó által igényelt nagy áramot is kapcsolni lehessen.

A tesztek során a mérés alkalmával a MOSFET gate-jén mindössze 200 μ A-t mértem a logó működése közben. A kapott eredmény miatt számításokat már nem láttam szükségesnek végezni. Ennek köszönhető, hogy a kész panelen sem szerepelnek a mikrovezérlő kimenetein áram korlátozó ellenállások.

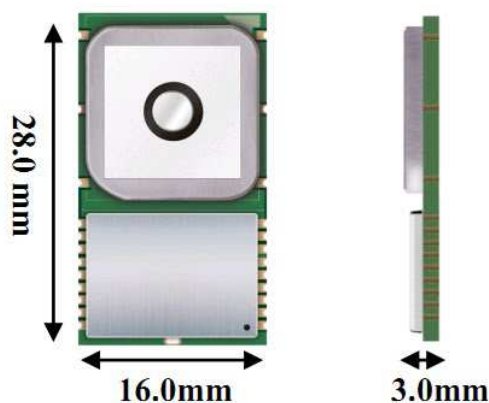
Továbbá az elkészült fedélzeti elektronika alkalmazása közben sem merült fel olyan jelenség, amely hibára utalna.

7.5. GPS modul

Az autó szenzorjai közé nem sorolható, de mégis a mérési eredményekhez hozzájáruló egysége a rendszernek a GPS. Ennek az egységnek köszönhetően meg lehet határozni az autó pozícióját a pályán, valamint sebességre, illetve időre vonatkozó adatokat is szolgáltatni tud.

Sajnos a GPS technológiájának köszönhetően a pozícióra vonatkozó adatok másodpercenkénti frissítéssel érkeznek a műholdaktól, így magas sebesség mellett nem túl részletes a helyzet meghatározása a pályán. Azonban még ez is segíthet abban, hogy a mért sebesség, fordulatszám és gyorsulási eredményeket a pálya egyes szakaszaihoz lehessen kötni a mérés elvégzése után. Továbbá a jármű működése közben is nyomon lehet követni előre haladását a pálya olyan szakaszain is, melyeket esetlegesen nem lehet belátni.

Quectel L50 típusú GPS vevő modult választottam a feladat elvégzésére. A modul kis befoglaló méretekkel bír, aminek köszönhetően jól elhelyezhető, valamint beépített antennával rendelkezik, így könnyen használatba vehető és az antenna elhelyezésével sem kell bajlódni. A modult a 16. ábra mutatja:



16. ábra - GPS modul

A GPS vevő előnye, hogy soros, UART interface-el van szerelve, így könnyedén illeszthető számítógéphez, vagy mikrovezérlőhöz is. Továbbá igen alacsony fogyasztással és kimagasló vételi érzékenységgel rendelkezik.

Egyetlen hátránya, hogy 1,8 Voltos tápfeszültséget igényel, aminek az előállításáról már a korábbiakban írtam. Valamint szintén 1,8 Voltos logikai jelszintekkel dolgozik. Emiatt külön áramkört kellett készíteni a modul számára, amely megoldja

[illegible]

A kapcsolási rajzon látható, hogy az UART kommunikációban használt RXD, illetve TXD vonalak mellett egy ON/OFF vonalat is ki kellett alakítani, ugyanis a modul a tápfeszültség megjelenése után hibernált állapotba kerül, amelyből ez utóbbi vezetéken érkező jel hatására kerül át aktív állapotba.

A TXD lábon megjelenő 1,8 Voltos logikai magas jelet a kapcsolási rajzon szereplő R3, R4, Q1 alkatrészek alakítják át 3,3 Voltos logikai magas jellé, amit a mikrovezérlő is egyértelműen tud detektálni. Az alacsony jelszintek mindkét fenti esetben a 0,45 Voltnál alacsonyabb értéket jelentik.

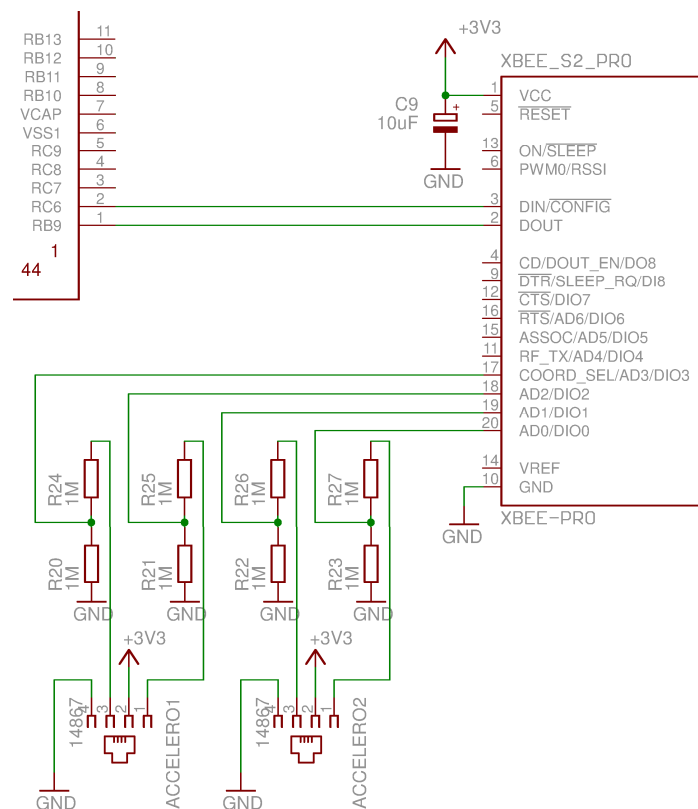
37

7.6. XBee modul

A korábbiakban tárgyalt XBee modult használtam fel a vezeték nélküli kommunikáció megvalósítására. A modul 3,3 Voltos tápfeszültséget igényel, és ezzel azonos logikai magas jelszinttel dolgozik, így egyszerűen megoldható volt a rendszerhez való csatlakozása.

A fedélzeti elektronikában helyet foglaló modulnak egy botantennás XBee PRO S2 modult választottam, mivel a feladathoz megfelelő hatótávval rendelkezik.

A vezeték nélküli modul ábrázoló kapcsolási rajz részlet a 18. ábrán látható:



18. ábra - XBee modul kapcsolási rajza

A modul a mikrovezérlőhöz a DIN és DOUT kivezetésein keresztül csatlakozik. Valamint a mikrovezérlő terhelésének csökkentése érdekében a rádiós modul analóg bemeneteire lettek csatlakoztatva a gyorsulásmérő szenzoroktól befutó jelek, miután azok egy feszültségosztón keresztül mennek. A feszültségosztó használatára azért van szükség, mert a korábban tárgyalt gyorsulásmérő szenzorok a teljes tápfeszültségük tartományában képesek a kimeneteikre az aktuális g erőhöz tartozó feszültségjelet kiadni, ami túl nagy lenne az XBee modul A/D átalakítójának 0-1,2 Voltig terjedő tartományához. Miután ennek a jelnek a nagysága a felére csökken a

feszültségosztó hatására, már azt a rádiós modul értelmezni tudja. A vezeték nélküli egységekben beállításra került, hogy ezen kivezetései analóg bemenetként funkcionáljanak, valamint a rajtuk megjelenő érték leolvasásának frissítési gyakorisága is be lett konfigurálva. Ennek köszönhetően a modul automatikusan elküldi a fogadó egység számára a gyorsulásmérő szenzorok által mért értéket, így a mikrovezérlő a további szenzorok értékeinek feldolgozására, valamint a megjelenítésre és kommunikációra tud több időt fordítani.

Mivel az áramkör egy mozgó járművön lett elhelyezve, annak is a kormányoszlopán, ezért a vezeték nélküli modul botantennáját rögzíteni kellett a dobozon kívül, hogy ne tudjon elmozdulni, vagy esetlegesen letekeredni, vagy letörni. Azonban nem lehetséges ezt a típusú antennát a csatlakozóján kívül más helyen rögzíteni. Így fémből készült elemekkel sem rögzíthető az oldalán, mivel az leárnyékolná a rádióhullámok terjedését és nemcsak csökkentené a modul hatótávolságát, hanem akár teljesen ellehetetlenítené a kommunikációt!

Lehetőség volt még arra is, hogy az antennát a jármű egy biztonságos pontjára rögzítsem, ahol kevesebb behatás érheti. Azonban ebben az esetben koaxiális kábellel kellett volna a modult és az antennát összekötnöm, amely nem csak drága, hanem csökkenti is a rádiós modul adó és vevő teljesítményét is, ráadásul a kábel elvezetése a járművön, újabb megoldandó problémát jelentett volna.

Ennek megoldására bakelitből esztergált távtartót alkalmaztam, mely az elektronikát fogadó műszerdoboz hátfalához lett rögzítve szintén bakelitből kialakított csavar segítségével.

7.7. Mikrovezérlő

A fedélzeti elektronika lelke a Microchip **PIC24HJ128GP204** típusú mikrovezérlő. Választásom azért erre a típusra esett, mert egyrészt a PIC mikrovezérlők programozásában - hobbi felhasználás során- már sikerült igen jelentős tapasztalatra szert tennem, továbbá ezen eszköz rendelkezik minden olyan hardvertámogatású perifériával, amire egy fedélzeti elektronika és telemetria működése során megkívánhat.

A PIC24HJ128GP204 legfőbb jellemzői:

- 40 MIPS utasítás végrehajtási sebesség.
- 16 bites architektúra.
- C fordítóra optimalizált utasításkészlet.
- 128 kB program memória.
- 5db 16 bites timer.
- 35db egyenként felhasználható i/o.
- Programozható periféria <-> kivezetés összerendelés.
- Külső megszakítás bemenetek.
- 3,3 Voltos tápfeszültség igény.
- SPI és UART soros kommunikációs portok hardveres támogatása.
- Áramkörön belüli programozhatóság (ICSP) és debug lehetősége.

A korábban említett elektronikai egységek mindegyike a mikrovezérlővel tartja a kapcsolatot. Ez az eszköz felel azért, hogy a sebesség és fordulatszám szenzoroktól érkező jelet detektálja, és feldolgozza, majd elküldje a kijelzőt vezérlő LED meghajtó számára a megfelelő utasításokat, amelyek hatására a kijelzőn megjelennek majd a kiértékelt adatokat.

Elindítja a GPS működését és utasítja azt, hogy mely típusú koordináta formátumban várja az adatokat. Végül fogadja a számítógéptől érkező parancsokat és továbbítja a számítógép felé a kiértékelt sebesség, fordulatszám és pozíció adatokat.

A fedélzeti elektronika teljes kapcsolási rajza a mellékletben megtalálható.

Nagy előnye ezen mikrovezérlőnek, hogy rendelkezik úgynevezett „Peripheral pin Select” funkcióval, melynek köszönhetően szoftveresen megadható, hogy az ilyen

funkcióval rendelkező fizikai kivezetések, mely hardveres funkcióval legyenek összerendelve. Ennek köszönhetően rugalmasan felhasználható ez az alkatrész.

Mivel tápfeszültsége megegyezik a korábban említett eszközökével, így összekapcsolásuk során nem kellett külön feszültségillesztési eszközöket beiktatni. Természetesen ez alól a már említett GPS modul kivétel, mert ott más a megkövetelt tápfeszültség és jelszint.

7.8. Bővítő kimenetek

Mivel nem került a mikrovezérlő minden egyes kivezetése felhasználásra, így a megmaradt lábait két tűskesorra vezettem ki, mely tűskesorokon a negatív és a pozitív tápfeszültség is megtalálható.

Ez a megoldás abban az esetben lehet hasznos, amennyiben később újabb funkciókat kell alkalmazni a fedélzeti elektronikában, mert így nem kell új áramkört tervezni, hanem könnyedén a meglévő rendszerhez lehet igazítani az új feladatot elvégző kiegészítő egység tervezését. Ezen új bővítmény csatlakoztatása is könnyebbé válik ennek köszönhetően.

8. A Mikrovezérlő beágyazott programja

A mikrovezérlő programozását a Microchip MPLAB IDE v8.84 fejlesztőkörnyezetben végeztem. Azonban fordítóként a CCS C Compiler PCH 4.114-et használtam. Az eszköz felprogramozására és debug-olására a Microchip PICKIT3 típusú eszközt használtam. Részletesebb információ a fejlesztőkörnyezetről a fordítóról és a programozó eszközről az alábbi címeken érhetőek el:

<http://www.microchip.com/>

<http://www.ccsinfo.com/>

A program kódját mellékletben csatoltam a dolgozatom végén, így minden későbbiekben hivatkozott kód részlet, abban megtalálható!

8.1. Sebesség és fordulatszám érzékelés

A program fő feladata a csatlakoztatott szenzoroktól érkező adatok feldolgozása, majd megjelenítése és továbbítása.

A korábbi fejezetekben tárgyaltam a sebesség és fordulatszám szenzorokat, melyek 0, illetve 3,3 Voltos jelszintekkel dolgoznak. Ezen eszközök a központi elektronikához és így a mikrovezérlőhöz telefon kábelén és RJ11 4P4C csatlakozópáron keresztül csatlakoznak, annak RB7 és RB8-as lábaira. A programban ezeket a lábakat „SEB”, illetve „FORDULATSZAM” címkével láttam el, továbbá a korábbi fejezetben említett periféria választási funkció segítségével ezen kivezetéseket külső megszakítási funkcióval rendeltem össze. Tudni kell, hogy az ilyen feladatot betöltő bemenetek CMOS kompatibilisek és Schmitt Trigger-eltek.

A sebesség és fordulatszám mérési elve a következő:

Ha jel érkezik a jeladótól, akkor egy külső megszakítás keletkezik és hatására meghívódik az ezt kezelő rutin. Ebben a rutinban el kell indítani egy Timer megszakítást, melynek hatására elindul egy számláló. Ha ismét jel érkezik a szenzortól és külső megszakítás generálódik, akkor meg kell állítani a korábban elindított számlálót és megkapjuk az eltelt órajelek számát. Ebből a számból meg

lehet határozni a mikrovezérlő órajel frekvenciája és a Timer beállításainak ismeretében, hogy mennyi idő telt el a két jel között.

Fordulatszám mérésekor ismert, hogy egyetlen tengely körbeforduláshoz egyetlen jel tartozik. Így a kapott idő alapján meghatározható a forgás frekvenciája, ami ekvivalens a fordulatszámmal. Ezek alapján pedig a kívánt fordulatszám tartomány kijelzéséhez egyesével meg kell határozni, hogy mely frekvenciák elérésekor villanjanak fel a kijelző panelen elhelyezett LED-ek. Erre a feladatra egy Excel táblázatot készítettem, melyben meg lehet adni a kijelzendő fordulatszám tartományt és a táblázat automatikusan hozzárendeli a 9db LED-hez, hogy milyen Timer értékek esetében kell felvillanniuk. Ha például az első LED a kijelzőn 600 fordulat/perc esetén kezdjen világítani, akkor a számítás a következő:

A 600 fordulat/perc az 10 Hz frekvenciának felel meg. A mikrovezérlő 80 MHz-es belső oszcillátorral rendelkezik, és minden második órajel hatására érkezik a Timer számlálójának számára inkrementáló jel. Továbbá a Timer számlálójának beállításakor az inkrementációhoz tartozó előosztó értéke 256-ra lett beállítva, ami azt jelenti, hogy minden 256. inkrementáló jel fogja ténylegesen növelni a Timer számlálójának értékét egyel. Így a fenti adatok alapján az 1. képlet segítségével számítható, hogy hány órajelnek kell eltelnie ahhoz, hogy 600 fordulat/percnek megfelelő értéket kapjunk:

$$\frac{\text{Oscillátor}_\text{frekvencia}}{2 * \text{Timer}_\text{előosztó} * \text{Forgási}_\text{frekvencia}} = \frac{80\text{MHz}}{2 * 256 * 10} = 15625 \quad (1)$$

A többi LED felvillanásához tartozó fordulatszámokból ugyanígy számítható a további órajelek száma is. Majd az így kapott értékeket a program fő ciklusában egymásba ágyazott if - else if párosokkal lehet összehasonlítani a ténylegesen mért órajelek számával.

A sebesség mérése is hasonló elven történik. Itt adott a jármű kerekének kerülete, amely 1,52 méter. Ennek ismeretében kiszámolható, hogy az 1 Km/h-hoz tartozó kerék körbefordulási idő másodpercben: $3,6 * 1,52 = 5,472$ másodperc. Mivel a Km/h-t m/s-ra váltottam, így megjelent a 3,6-es szorzó. Továbbá ismert, hogy 30 jelet szolgáltat egyetlen kerék körbefordulás során a féktárcsa a jeladó számára. Így 1 Km/h esetén két jel között $5,472 / 30 = 0,1824$ másodperc időnek kell eltelnie.

Továbbá ismert, hogy az oszcillátor 80 MHz-es órajellel bír, minden második órajelre inkrementálódik a Timer számlálója, valamint az Timer előosztóját itt is 256-ra állítottam. Ezek alapján kiszámítható a 2. képlet szerint, hogy a Timer számlálójának egyel való növekedéséhez milyen frekvencia tartozik:

$$\frac{\text{Oszcillátor_frekvencia}}{2 * \text{Timer_előosztó} * \text{Timer_növekedés}} = \frac{80\text{MHz}}{2 * 256 * 1} = 156250 \quad (2)$$

A kapott frekvencia átváltható időre is, így az $1/156250 = 0,0000064$ másodperc.

Az 1 Km/h-hoz tartozó jel idő és az egyel való Timer számláló növekedéshez tartozó idő alapján meghatározható, hogy az 1 Km/h-hoz milyen Timer számláló érték tartozik: $0,1824 \text{ másodperc} / 0,0000064 \text{ másodperc} = 28500$.

Továbbá a fenti összefüggésekből következik, hogy a jármű aktuális sebessége minden esetben kiszámítható a 3. képlet alapján:

$$\text{Sebesség} = \frac{28500}{\text{Timer_számláló}} \quad (3)$$

Így amikor megszakítás érkezik, akkor a számláló értéke egy külön változóba kerül és a számlálót újraindítom. Majd a fő program ciklusban elvégződik a fenti osztás és megkapom az aktuális sebesség értékét.

A fenti két funkcióhoz két külön Timer-t használok, a beállításaik, ahogy fent is látható, megegyeznek. Valamint két külön külső megszakításrutint használok a két jeladóhoz, melyek minden esetben felfutó élre generálnak megszakítást.

8.2. Kijelzés

A kijelzési feladatok ellátására a korábbiakban ismertetett MAX6957 típusú LED meghajtó és port bővítő áramkört használok. Ehhez az egységhez SPI porton keresztül lehet hozzáférni.

A mikrovezérlő RB11, RB12 és RB13-as lábaira csatlakozik a LED meghajtó. Ezeket a lábakat a következőképpen konfiguráltam SPI használatára:

```
#use spi(DO=PIN_B12, CLK=PIN_B13, ENABLE=PIN_B11, BITS=16, MODE=0)
```

A fenti program részletben megadtam a kimenet, az órajel és az engedélyező lábakat.

A kijelzés során a fordulatszám mérő LED-jeit közvetlenül kapcsolja a meghajtó áramkör kimenetei. A sebesség megjelenítésére szolgáló 7-segmenses kijelzők azonban multiplexálva kerülnek alkalmazásra, így mivel közös anódos kijelzőkről van szó, egy-egy BC337-es tranzisztorttal kapcsolom a kijelzők anódját a +5 Voltos tápfeszültségre. A tranzisztorok kapcsolását szintén a LED meghajtó áramkör végzi, azonban az erre szolgáló kimeneteit normál használatuként definiáltam, mivel nem töltenek be LED meghajtó funkciót. A multiplexálás folyamatához felhasználok egy további Timer megszakítást is a mikrovezérlőben, amelynek előosztója egyszeres.

A 7-segmenses kijelzőhöz az áramköri huzalozásának megfelelően készítettem egy tömböt a programban, amelynek egyes indexein az indexel azonos szám megjelenítéséhez tartozó bitmintát tárolom 8 biten.

A MAX6957-hez tartozó adatlapban megtalálhatóak a regisztercímek, melyeken keresztül el lehet érni az egyes kimeneteket, így ezekre nem térnék ki jelen írásomban.

Ezen egységgel történő adatátvitelt a mikrovezérlő programjának fő ciklusában végzem el a korábban kiértékelt sebesség és fordulatszám adatok alapján.

8.3. GPS kezelése

A használt GPS egység UART soros porton keresztül csatlakozik a mikrovezérlőhöz. Ennek konfigurálásához az alábbi program részletet használok:

```
#use rs232(BAUD=4800, UART2, STREAM=gps)
```

Valamint a korábbiakban a mikrovezérlő RB14 és RB15 lábait hozzárendeltem a kettesszámú hardveres UART-hoz.

Az egység több - NMEA formátumnak megfelelő- GPS adatokat tartalmazó üzenetet is elküld minden másodpercben 4800 baud/s sebességgel. Mivel csupán egyetlen NMEA üzenet is tartalmaz minden koordinátákra vonatkozó adatot, így a rendszer bekapcsolása után a mikrovezérlő elküld egy parancsot a GPS egységnek, melyben jelzi annak, hogy kizárólag a GGA típusú üzenetek kéri a továbbiakban.

Miután ez a beállítás megtörtént szükség van a GPS egység aktív állapotba helyezésére, mivel a tápfeszültség megjelenése után a GPS egység azonnal hibernált állapotba kerül. Erre a program elindulása után 500 ms-al későbbi felfutó, majd 10 ms múlva lefutó él ad jelet a mikrovezérlő RA7-es kimenetén, ami a GPS egység ON/OFF bemenetére kapcsolódik.

Az üzenetek fogadására definiáltam egy UART megszakítást, amely abban az esetben hívódik meg, amennyiben üzenet érkezik az adott soros porton keresztül. Ebben a megszakítás rutinban minden beérkező karaktert egy tömbbe helyezek, valamint, ha a sor vége karakter is megérkezik az üzenet végén, akkor egy segédváltozó értékét 1-re állítom. Ezt a segéd változót a programfő ciklusában folyamatosan vizsgálom, és, amennyiben értéke 1, akkor ugyanitt a fő ciklusban elküldöm az üzenetet a számítógép felé. Azért nem az UART megszakítást feldolgozó rutinban teszem ezt, mert addig a többi megszakítás feldolgozása szüneteltetve lenne, így ellehetetlenedne a megfelelő program végrehajtás.

8.4. XBee kezelése

A korábban már tárgyalt XBee modult használok a mikrovezérlő és a számítógép összeköttetésére. Jelen esetben az XBee modul transzparens módon jelenik meg a mikrovezérlő számára, mivel az csak egy UART portot érzékel belőle. A port konfigurálását szolgáló program részlet itt látható:

```
#use rs232(baud=115200, UART1, STREAM=xbee)
```

A korábbiakban már itt is beállítottam, hogy a megfelelő kivezetések (RB9 és RC6) a hardveres UART-hoz legyenek hozzárendelve. A fenti kódban látható, hogy a gyorsabb adatátvitel érdekében a sebességet 115200 baud/s-ra állítottam be.

Az XBee modulnak semmilyen extra funkciója nem kerül használatra a programban, kizárólag az üzenetek elküldésére és fogadására használok fel. Ez az XBee modul AT firmware-el rendelkezik, ennek köszönhető, hogy nem igényel extra kódrészletet a beállítása.

A fő programciklusban kerülnek elküldésre a korábban kiértékelt sebesség és fordulatszám adatok, valamint a GPS által küldött pozícióra vonatkozó szöveges adatok is.

A sebesség és fordulatszám nem a számított értéket továbbítja, hanem a Timer számlálóik értékét, ami a későbbi számítógépes feldolgozás során több információt tud hordozni, mivel több tizedes jegyig is kiszámíthatóak a Java alkalmazásban, ellentétben a fedélzeti kijelzőn látható egész számú értékekkel szemben.

Továbbá a korábban említett gyorsulásmérő szenzorok is az XBee modulhoz kapcsolódnak, melyek a mikrovezérlőtől függetlenek.

8.5. Fő programciklus

A mikrovezérlő programja a korábban tárgyalt megszakítás függvényeken kívül tartalmaz egy „main” függvényt is. Ez a függvény indul el a mikrovezérlő bekapcsolásakor. Ennek az elején történik meg a megszakítások beállítása, a kijelző konfigurálása és a GPS modul beállítása és elindítása.

Mivel a rendszer C nyelven íródott, ezért a korábbi port és egyéb konfigurációs beállítások már megtörténtek a fordító által, mire a vezérlés erre a részre kerülne.

A beállítások után egy végtelen ciklus következik, amiben a fedélzeti elektronika által elvégzendő feladatok kerülnek ismétlésre. A ciklusból való kilépés a tápfeszültség megszűnésével történik.

A ciklus elején a fordulatszám kiértékelése történik. Ez alatt a fordulatszámhoz kötődő megszakításfüggvények le vannak tiltva, a hibás működés elkerülése érdekében. Itt a megszakítás függvényekben egy globális változóba beírt számláló értékét veszem, ami alapján if – else if segítségével megvizsgálom, hogy a számláló értéke az előre kiszámolt és itt megadott értéktől kisebb, vagy nagyobb-e, majd ez alapján küldöm el az SPI porton keresztül a LED meghajtó számára, hogy mit jelezzon ki a műszerfalon.

A sebesség kiértékelése következik ez után. Először megvizsgálom, hogy a jármű gurul-e épp, amivel megakadályozom, hogy az álló jármű miatt túlcsonduló megszakítás számláló miatt fals érték kerüljön kiszámításra. Majd a sebességhez tartozó Timer számláló értékével elvégzem a korábban meghatározott műveletet (sebesség = $28500 / \text{time}$). Miután előállt az eredmény a sebességhez tartozó megszakítások letiltása következik. Ezt követően a kijelzésért felelős tömbbe beírom a sebesség értékében a tízesek és egyesek helyiértékén szereplő számjegyeket, majd újra aktiválom a megszakításokat.

Ezek után a sebesség és fordulatszám Timer számlálóinak értékét és a bekapcsolás óta megtett út hosszát küldöm el a számítógép számára. Itt 4db segédváltozót alkalmazok, melyekben a számlálók 16 bites értékét fogom hexadecimális karakterenként tárolni szöveges karakterré alakítva, melyet már soros kommunikáció során is le lehet küldeni. Végül ezeket a karaktereket egymás után

elküldöm, majd utánuk a soremelés és kocsi vissza karaktereket is, hogy a számítógép oldalán is értelmezhető legyen az üzenet vége.

Ezt a folyamatot elvégzem a sebességre, a fordulatszámra és a megtett út hosszára is. Mindeközben a soros portokkal kapcsolatos megszakítások le vannak tiltva, nehogy a végrehajtás közben érkező új üzenet megzavarhassa az éppen folyamatban lévő üzenetküldést.

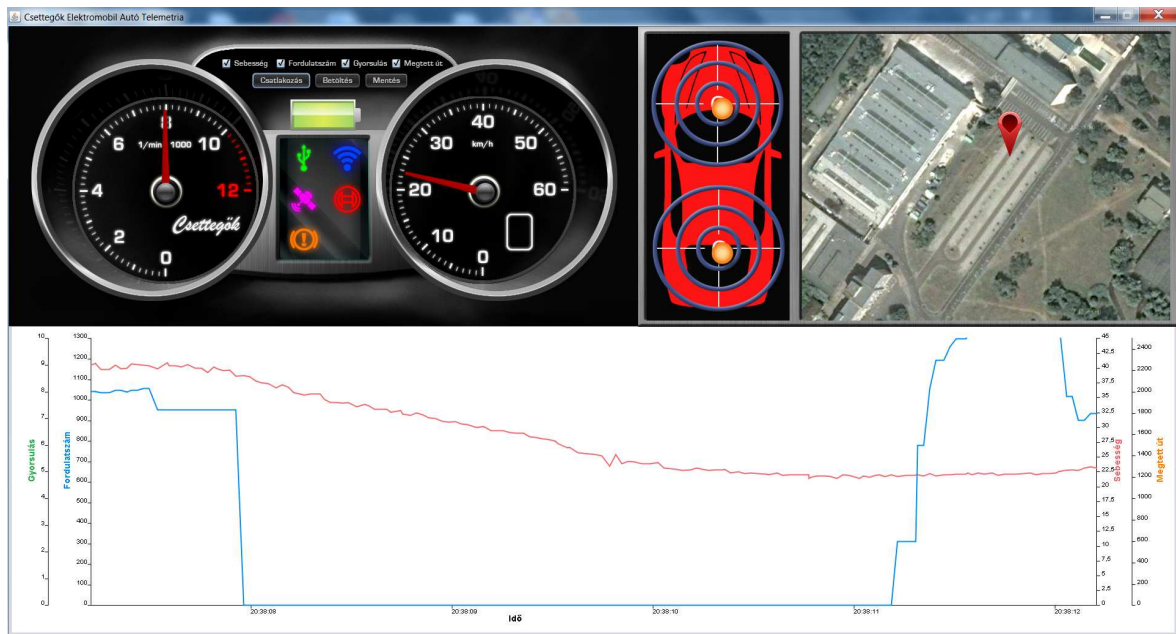
Miután a fenti adatok elküldésre kerültek, akkor következik a GPS egységtől fogadott üzenet elküldése is. Itt először megvizsgálom, hogy a GPS-nél korábban említett puffer tömb megtelt-e, vagyis, hogy érkezett-e sor vége karakter. Ha rendelkezésre áll GPS üzenet, akkor azt azonnal el is küldöm, majd a pufferhez tartozó jelző változó értékét 0-ra állítom, hogy jelezzem a GPS üzeneteket fogadó függvénynek, hogy a puffer felülírható.

A későbbiekben sor kerül még lassulás alapú féklámpa működtető függvények kidolgozására is, mely szintén itt a fő programciklusban fog helyet kapni.

9. A Java alkalmazás

A számítógépen futó alkalmazás Java nyelven került elkészítésre. Ez a nyelv jól támogatott, platform független megoldást jelent, így számítógépek között is hordozható alkalmazást kapunk.

Az elkészült alkalmazás grafikus felhasználói felülettel rendelkezik, melyet a 19. ábra mutat:



19. ábra - Grafikus felhasználói felület

A felület 4 fő részre osztható:

- Műszerfal,
- gyorsulás szenzorok képe,
- térkép,
- grafikon.

Továbbá a későbbiekben rendelkezni fog az alkalmazás egy másik ablakkal is, melynek segítségével a lementett tesztadatok visszajátszhatóak lesznek, akár animált módon is.

Sajnos a Java kódot nagy terjedelme miatt nem tudom dolgozatomhoz csatolni mellékletként!

9.1. Műszerfal

A műszerfal részletes képe az 20. ábrán látható:



20. ábra - Műszerfal

A háttér Photoshop segítségével készítettem egy Audi TT műszerfalának mintájára.

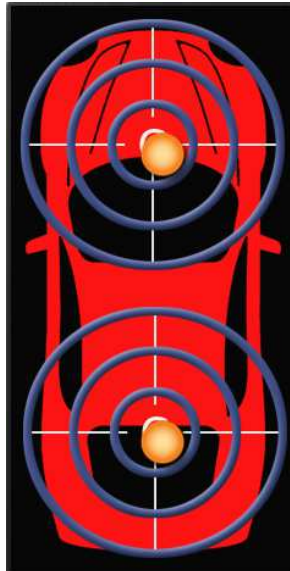
Megtalálható rajta bal oldalt egy analóg fordulatszámmérőt ábrázoló egység, valamint jobb oldalt egy szintén analóg sebességmérőt ábrázoló egység, melyben egy fokozatkijelző is megtalálható. Az analóg kijelzés hatását keltő megjelenítőt azért választottam, mert a hirtelen változásokat sokkal szemléletesebben tudja érzékelteni, mint egy digitális műszer képe. A fokozatkijelzés nem került implementálásra, mivel a járművön nem sikerült elhelyezni ennek meghatározására szolgáló érzékelőt.

A két kijelző között lent a rendszer működésének visszajelzői találhatóak. Ezek működése jelenleg még nincs implementálva, így folyamatos működést jeleznek vissza. Fölötte egy akkumulátor töltöttségi szint kijelző található, amely még szintén nem funkcionál, ugyanis ez idáig nem sikerült megfelelő becslést eredményező függvényt találni a jármű akkumulátorainak a töltöttségi szintjének a meghatározására.

E fölött található a megjeleníteni kívánt grafikonok kiválasztását lehetővé tevő jelölő négyzetek sora és alatta a különböző funkciókat aktiváló gombok sora.

9.2. Gyorsulás szenzorok képe

A Gyorsulás szenzoroktól érkező adatok megjelenítésére szolgál a 21. ábrán látható panel:



21. ábra - Gyorsulás szenzorok képe

A kép a jármű elejében és hátuljában elhelyezett gyorsulásmérő szenzorokat szimbolizálja a két célkereszttel, melyekben egy-egy „golyó” mozog annak megfelelően, hogy milyen erő hat az adott érzékelőre. Az elmozdulás nagysága és iránya arányos ezzel az erővel, így szemléletesen megjeleníthető hogy működés közben milyen erőhatások érik az autót.

Az itt megjelenítendő adatok az XBee modul analóg bemeneteiről automatikusan érkező üzenetek feldolgozásából származnak.

A mozgó golyók animálását magam csináltam, a nyugalmi helyzetben mért gyorsulásértékeket a céltábla közepére rendelve, majd a működés közben értékeket ettől a ponttól eltolva rajzoltattam ki a golyókat, mikor új adat érkezett az erőkre vonatkozóan.

9.3. Térkép

A tesztelés közbeni helymeghatározás érdekében a fedélzeti elektronika által küldött koordináta adatok megjelenítésre kerülnek a felhasználói felületen.

Mivel a tesztek közben külső terepen dolgozunk a járművel, így élő internet kapcsolat elérésére nincs lehetőségünk. Ennek megoldására a Google Maps-ről egy statikus képet mentettem le, amely az esetleges tesztek helyszíneit ábrázolja. A 22. ábrán a Miskolci Egyetem főépülete melletti parkoló műholdképe látható. A tesztelés nagy része itt folyt, mivel elegendő hely állt rendelkezésre és az esti órákban már nem voltak ott parkoló autók.



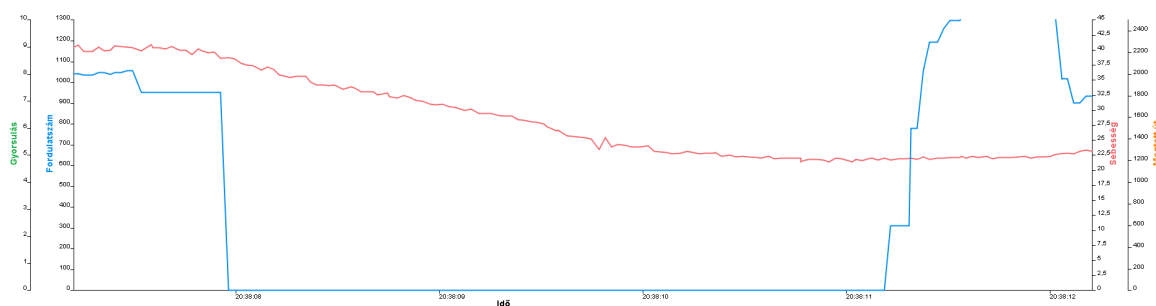
22. ábra - Térkép

A piros jelölő a térképen a jármű aktuális helyzetét mutatja a rendszer működése közben. Mivel a GPS koordináták másodperces frissítésben érkeznek a műholdaktól, így a megjelenítés „darabos” a nagy sebesség miatt, de ahhoz éppen elegendően részletes, hogy a tesztadatokat hozzá tudjuk rendelni a pálya egyes szakaszaihoz.

Mivel statikus képről van szó, ezért meg kellett határoznom a képen található néhány pontnak a GPS koordinátáit. Ez után a képen való elhelyezkedése és a valós földrajzi pozíció alapján kiszámoltam a kép bal felső sarkának GPS koordinátáit és a képen belüli területen elhelyezkedő koordinátákhoz rendelhető képi pixelek meghatározásának függvényét. Így a tesztek alatt működött az élő megjelenítés.

9.4. Grafikon

A jármű működés közbeni adatairól nem csupán pillanatnyi képet szeretnék kapni, hanem olyan módon is vizualizálni szeretném, hogy azt a későbbiekben fel lehessen dolgozni, illetve az autón gépészeti beállításokat végző mérnökök is használni tudják az adatokat. Ezért ebből a célból grafikont is elhelyeztem a felhasználói felület alján, melyet a 23. ábra mutat:



23. ábra - Sebesség és fordulatszám grafikon

A fenti ábrán a piros színű görbe mutatja a jármű sebességét, a kék pedig a fordulatszámát.

A grafikon függőleges tengelyein a sebesség, fordulatszám, gyorsulás és megtett út hosszának mértéke található, míg a vízszintes tengelyről az idő olvasható le. A függőleges tengelyek skálázása a működési tartományra korlátozódik, és a grafikon teljes magasságáig tart. Az idő tengely folyamatosan gördül balra, így mindig egy 5 másodperces ablakot látni az aktuális állapottól visszamenőleg. Ez utóbbi tengely skálázása másodperc alapú.

A képen nem került megjelenítésre a megtett út hossza és a gyorsulás mértéke, mivel ezek egyesével kiválaszthatóak, hogy ne legyen zavaró, ha túl sok görbe látható a grafikonon. Továbbá igény esetén kiválasztható lesz a későbbiekben, hogy melyik tengelyhez tartozó rácsvonalak jelenjenek meg a grafikon háttérében, hogy könnyebben lehessen a görbe adatait leolvasni.

9.5. Felhasznált API-k

A Java alkalmazás megírása során több más fejlesztőktől származó API-kat is felhasználtam.

A fordulatszám és sebesség értékét megjelenítő analóg műszert a **SteelSeries 3.9.16**-os API segítségével animáltam. Ennek segítségével analóg és digitális kijelzőket lehet Java és Java script környezetben használni. Komplette kijelző eszközöket tartalmaz mind kinézetre, mind funkciókat tekintve, azonban a saját tervezésű műszerfal háttér miatt a felhasznált műszer grafikus felületét kikapcsoltam, kizárólag a mutatót tartottam meg belőle. Ettől függetlenül a mutató működtetését végző függvények továbbra is használhatóak maradtak, így ennek segítségével oldottam meg a kijelzést. Részletes információ az alábbi linken található:

<http://harmoniccode.blogspot.com/search/label/steelseries>

A grafikon megjelenítésére a **Jchart2D** API-ját használtam fel, melynek segítségével statikus és dinamikus grafikonokat is meg lehet jeleníteni. Nagyon jól konfigurálható, ennek köszönhetően teljes mértékben az alkalmazás igényeinek megfelelően tudtam alakítani a megjelenítést. Egyetlen kivétel volt ez alól, mégpedig a tengelyek mellett megjelenő feliratok pozíciója, amit a jobb oldalra helyezett tengelyek esetében hibásan jelentek meg. Ezért felüldefiniáltam az ezt végző osztályt, hogy a helyes működést érjem el. Részletes információ az alábbi linken található:

<http://jchart2d.sourceforge.net/>

Az XBee modullal történő kommunikációra a **JAVA API for Digi XBee/XBee-Pro OEM RF Modules**-t használtam fel. Ennek segítségével a számítógéphez csatlakozó API firmware-el rendelkező XBee modul teljes funkcionalitását ki lehet használni. Lehetőség van különböző típusú üzenetek küldésére és fogadására, konfigurációs beállítások alkalmazására a helyi, illetve a vezeték nélküli hálózat más tagjainak konfigurálására is. Előnye, hogy saját listener-t kínál a beérkező csomagok kezelésére, melyet a felhasználó teljes mértékben a saját igényeire szabhat. Részletes információ az alábbi linken található:

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

Továbbá az adatok táblázatos formában történő lementésére felhasználtam az **Apache POI 3.8**-as verzióját. Ez az API lehetővé teszi Microsoft formátumú dokumentumok létrehozását és feldolgozását. Ennek köszönhetően a kapott teszt eredmények egy Excel táblázatban is lementhetőek, majd ott is megjeleníthetőek grafikonon, illetve további feldolgozásra is lehetőség nyílik, mivel az Excel saját függvényeit is alkalmazni lehet a kinyert adatokon. Ez nagyban megkönnyítheti a jármű beállításait végző gépészmérnök hallgatók munkáját! Részletes információ az alábbi linken található:

<http://poi.apache.org/>

10. Teszt eredmények

Jelenleg már több tesztet sikerült elvégezni a rendszer segítségével. A kapott eredmények biztatóak. A tesztek mindegyike a Miskolci Egyetem főépület melletti parkolójában lettek elvégezve. A parkolóban egy kör megtételéhez csaknem 250 méter szükséges. A jármű a számítógéptől 120 méter távolságig távolodott el maximum. Ez a távolság az rádiós kommunikáció legnagyobb áthidalandó távolságát is jelenti. Azonban a versenypálya kialakításának ismeretében ettől nagyobb távolságra és rosszabb optikai rálátásra kell számítani.

A teszt során, a járművön elhelyezett elektronikában egy 2,4 GHz-es XBee modul foglalt helyet, amely XBP24-ZB firmware-el volt ellátva. Ezen modul bot antennával volt felszerelve, ahogy a 10. ábrán is látható.

A számítógép oldali eszközben egy szintén 2,4 GHz-en üzemelő XBee modul volt megtalálható, azonban ez XB24-ZB típusú firmware-el került alkalmazásra és drót antennával volt felszerelve. A teszt közben a jelerősség értékek a fent leírt modul páros mellett jó értéket mutattak, még a legtávolabbi ponton is!

Az adatok beérkezésének sebessége is kiváló. A számítógépen időbélyeggel vannak ellátva a beérkező fordulatszám és sebesség értékek, ennek köszönhetően megállapítható, hogy a mikrovezérlő programjában beállított frissítési időt a számítógép oldalán megérkező adatok követik, az adatforgalom zavaroktól mentes. A mikrovezérlő által 0,03 másodpercenként küldött adatok a számítógép oldalán legfeljebb 0,004 másodperces késéssel megérkeztek.

A későbbiekben sor kerül más modul típusokkal is a rendszer kipróbálására, habár az eddigi eredmények nem indokolják azt, hogy ezen a téren bármely változtatás is szükséges lenne.

A kezdeti mérések során fény derült hibákra is. Mindegyik egyformán jelentkezett és következetesen. Minden egyes bukkánónál a teszt ideje alatt a sebesség- és főként a fordulatszám-mérő kijelzők értéke hirtelen megugrik. Ennek magyarázata, hogy a tápforrást jelentő 6db góliát elem tartójának kivezetéséről a tesztek során elveszett egy rögzítő anya, minek következtében a bukkánók során a tápellátás

megszakadhatott rövid időkre. Miután a hiba forrását megtaláltam, azt kijavítottam, így a hiba teljes mértékben megszűnt!

Továbbá a sebességmérő kalibrálásából adódó helytelen megjelenítésre is fény derült. Ezt a korábbiakban tárgyalt sebesség számítására alkalmazott képlet hibás gépelése okozta. Miután a javítottam a megjelenítő alkalmazásban a sebesség számító képletet a hiba megszűnt!

A teszt alatt készített egyik hibát jelző pillanatkép az 24. ábrán látható:



24. ábra - Hiba a teszt alatt

A további számított adatok nem kerültek megjelenítésre, hogy tisztább képet kaphassunk a működésről.

A hibák kijavítása utáni tesztekéről csupán néhány képet tudok megmutatni a terjedelmük miatt. Egy helyes működés közbeni kép a 25. ábrán látható.

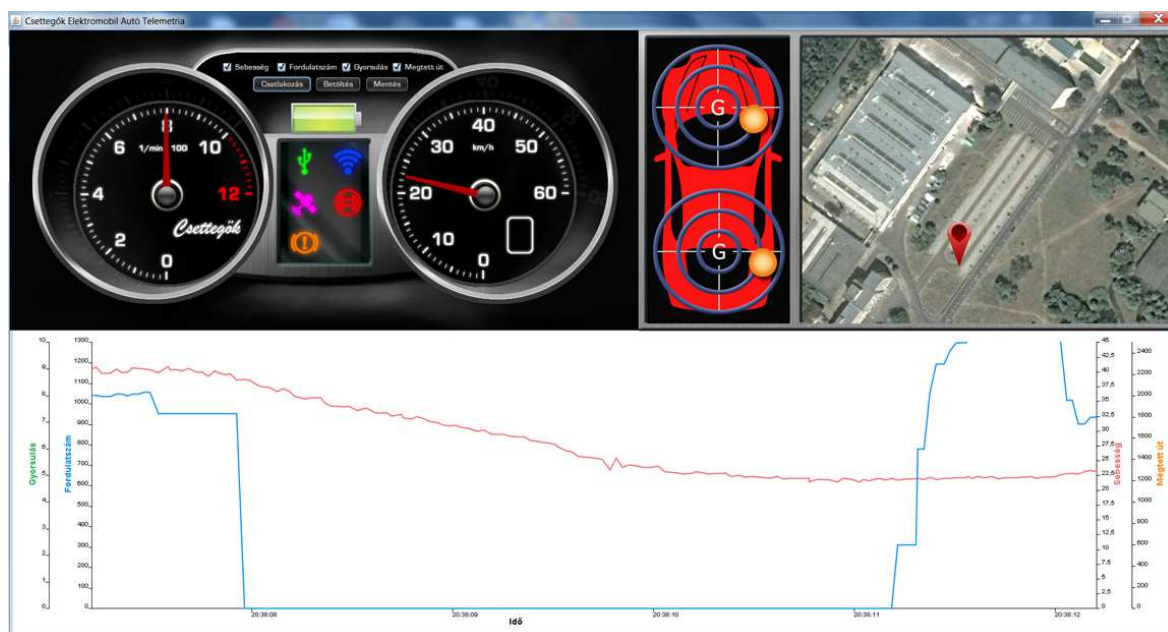
Jól látható, hogy elindulás után a fordulatszám gyorsan emelkedik, majd a sebességváltás ideje alatt visszaesik, a későbbiekben pedig alacsonyabb fordulatszámmal újra indul és folytatódik a hajtás a második sebességfokozatban, ami után a sebesség ismét fokozódik.



25. ábra - Elindulás utáni adatok

A 25. ábrán látható értékek a vártnak megfelelő eredményeket mutatják.

A 26. ábrán látható az egyik kanyar a parkolóban és a jármű kanyar közbeni viselkedése. Az eredmények az 25. ábrával hasonlatosak, a sebességváltás folyamatát mutatják harmadik fokozatból második fokozatba. Közben megfigyelhető a fordulatszám teljes leesése, és a sebesség csökkentése a kanyar előtt. Majd a kanyar végeztével az ismételt motor indítás és a sebesség fokozódása.



26. ábra - Az autó viselkedése a kanyarban

10. Összefoglalás

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

Dolgozatom készítése során törekedtem széleskörűen feltárni az Elektromobil verseny, az elkészített jármű és a vezeték nélküli telemetria rendszer témakörét. A mai modern eszközök adta lehetőségeket próbáltam megfelelően kombinálni és kihasználni, hogy egy összetett, de hatékony módszert dolgozzak ki a jármű működés közbeni megismerése és monitorozása céljából. Úgy gondolom, hogy az általam bemutatott módszerek alkalmazásával gyorsabban és megbízhatóbban lehet tapasztalatot szerezni az autó viselkedésével kapcsolatban, melyet később eredményesen fel lehet használni a gépészeti beállítások és finomhangolás során.

Meg kell jegyeznem, hogy mérési eredményeim kizárólag a fenti mérések elvégzése során fennálló környezeti viszonyok mellett értendők, a külső körülmények megváltozásával (például: eső, köd) nem garantált ezen mérés eredményeinek megismételhetősége, mind a rádióhullámú jelek terjedésére, mind pedig a jármű vezethetőségére gyakorolt hatása miatt.

Bízom benne, hogy munkámmal rávilágítottam az ebben a területben rejlő kihasználatlan lehetőségekre és irányt tudtam mutatni a további fejlesztésekkel kapcsolatban. Továbbá bízom abban is, hogy a következő években a Miskolci Egyetemről rajthoz álló Elektromobil csapatok is ötletet tudnak meríteni munkámból és jobb eredményeket tudnak elérni a versenyen, így öregbítve egyetemünk hírnevét!

11. Irodalomjegyzék

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

12. Mellékletek