

Önálló laboratórium beszámoló

Dolgozat címe: Mozgó objektum helyének meghatározása beltéri ultrahangos távolságmérések alapján

Konzulens neve: Tihanyi Attila

(Külső cég neve:)

címe:)

A Hallgató a kitűzött feladatot megfelelő színvonalon és a kiírásnak megfelelően

teljesítette

nem teljesítette

Konzulens aláírása

Hallgató neve: Bruzsa Péter

Képzés: Mérnök informatikus BSc

Leadás dátuma: 2010.05.19

Tartalomjegyzék

1.	A feladat rövid ismertetése, célkitűzés.....	3
2.	Bevezetés, eddigi eredmények a témában	3
2.1	Ultrahangos távolságmérés	4
2.2	Pozíció meghatározás	4
3.	Használt technológiák és eszközök bemutatása	4
3.1	Ultrahang – a longitudinális nyomáshullám.....	4
3.2	Mikrokontroller – PIC24FJ128GA008	5
3.2.1	Hardverjellemzők.....	5
3.2.2	Programozás.....	5
3.2.3	Használt irodalom.....	6
4.	A feladat megvalósítása.....	6
4.1	Elvek, elgondolások.....	6
4.2	Labormunka eredményei	12
4.3	Következtetések, tapasztalatok, összefoglalás	16
5.	Köszönetnyilvánítás	17
6.	Irodalomjegyzék	17

1. A feladat rövid ismertetése, célkitűzés

A feladat elvégzése során fejlesztendő egy rendszer, mely alkalmas ismert pozíciójú hangforrásokból érkező ultrahangimpulzusok időkésllettetése alapján meghatározni egy objektum pontos helyzetét. A GPS rendszerben használt algoritmusok segítségével lehetséges a feladat megoldása.

2. Bevezetés, eddigi eredmények a témában

Az ultrahangos távolságmérés a hang, reflektálódó tulajdonságán alapszik. A hanghullám, mint közegben terjedő longitudinális nyomáshullám a hullámhosszánál nagyobb objektumokról visszaverődik, s ezen echo hullám jól hasznosítható.

Ha ismerjük a médiumra jellemző terjedési sebességet, továbbá megmérjük a kiadott és visszaverődött nyomáshullám terjedési idejét, akkor a megtett távolság könnyedén kiszámolható. Ez a mérési elve az ultrahangos távolság-meghatározásnak.

Jelen esetben a médium a használt hullám pedig az ultrahang tartományba esik, mivel ezen frekvenciára az emberi fül érzéketlen.

A hang sebessége változik a légköri viszonyoktól függően, a legfontosabb tényező a hőmérséklet. A nedvességtartalom csak kis mértékben befolyásolja a hangsebességet, de a légnyomástól nem függ.

Feltéve, hogy a hang, levegőben való terjedési sebessége szobahőmérsékleten 340 m/s és a mért t időből, mialatt a forrásból kiinduló hullámok bejárják az utat a reflektáló tárgyig, majd a vissza irányban - egyenes vonalon (Line-of sight) - beérkeznek, a megtett d út az alábbi formula alapján számolható:

$$d[m] = 340 \left[\frac{m}{s} \right] \cdot t[s]$$

Mivel így az út két irányban szerepel, ezért a jelforrás és a tárgy közötti távolság:

$$\frac{d}{2}$$

2.1 Ultrahangos távolságmérés

Ezen a téren számos, már korábban kivitelezett technika létezik, melyek tömegtermékekben is megjelennek. Alkalmazási területük széles körben képviselteti magát, mit a robotikában, automatizálási technikában, egyszerű háztartási alkalmazásokban, ahol távolságmérésre van szükség.

A készen kapható, kijelzővel és kompakt tokozásban forgalmazott termékek mellett található a piacon egyéb megvalósítás is, mint például az Parallax által gyártott PING nevű ultrahangos jeladó/-vevő, amely Arduino platformra egyszerűen csatlakoztatva, a megfelelő programkóddal működésre bírva, használható.

2.2 Pozíció meghatározás

A fenti technika kiterjesztéseként, több eszköz alkalmazásával (adó és vevő egységek), geometriai számításokkal, a pozíció meghatározás is elérhető cél.

Léteznek kis fogyasztású, szabványos csatlókkal rendelkező rendszerek, melyek egy adóból és több vevőből, vagy egy adóvevőből (a távolságokat a falak okozta visszaverődésből állapítja meg), esetleg több adóból és egy vevőből állnak.

3. Használt technológiák és eszközök bemutatása

3.1 Ultrahang – a longitudinális nyomáshullám

Az emberi fül számára már nem érzékelhető 20 KHz feletti hangtartomány számos technikai alkalmazás alapjául szolgál. A kártevő állatok távoltartásától kezdve, a porlasztáson és a tisztításon keresztül, az orvosi képdiagnosztikáig, megtalálható az alkalmazása.

A hang longitudinális nyomáshullám, tehát az anyag részecskéinek kitérése és a terjedés iránya megegyezik.

Jellemző tulajdonsága a sebesség, mely levegőben mérve függ a hőmérséklettől, a légnyomástól, a páratartalomtól és a széndioxid koncentrációtól is. Számolható az ideális gáz törvényekből és, közelítőleg a 0-30 C° hőmérséklettartományban, az alábbi összefüggés adja meg az értékét:

$$c(T) = 331,4 + 0,6 \cdot T ,$$

melyben szereplő T hőmérsékletérték sem független és állandó, hanem

$T = f(t, x, y, z)$, ahol T a t időben, a tér x, y, z koordinátájú pontjában lévő hőmérsékletet jelöli. Könnyen elképzelhető eset, tipikusan beltéri környezetben, a légmozgások, vagy hőt termelő berendezések okozta hőmérsékletváltozás. De csupán a légrétegek közötti termodinamikai különbség is okozhat mérési hibát, különösen problémássá téve és eltorzítva a, terjedési időn alapuló, távolságmérést.

Másik fontos jellege a hangnak, az energia, melyet a terjedés során a szóródási veszteség, ill. a közeg okozta elnyelési veszteség emészt fel.

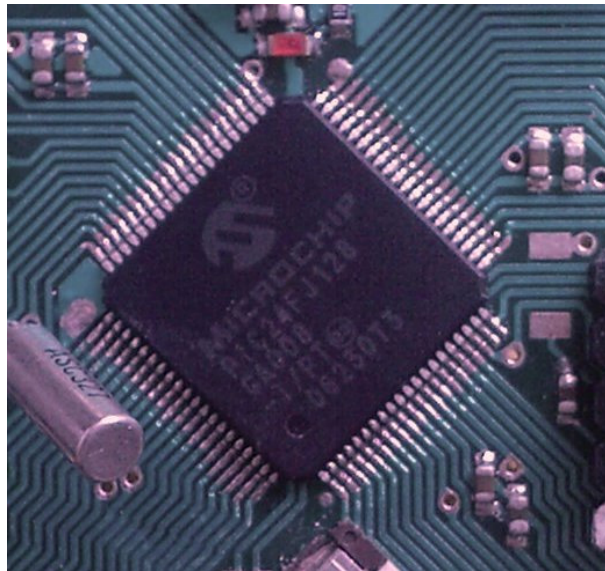
3.2 Mikrokontroller – PIC24FJ128GA008

3.2.1 Hardverjellemzők

A Microchip™ által gyártott mikrokontroller szolgált a feladat elvégzésére, mely egy 16 bites Harvard architektúrájú, 16 MIPS (million instructions per second) teljesítményű, akár 32 MHz-es órajelen működő mikrokontroller.

Egyéb fontosabb jellemzők:

- 128 KB programmemória
- 8 KB RAM
- 69 I/O láb
- 16 bites PWM felbontás
- 16 csatornás ADC
- 5 db 16 bites timer



1. ábra Microchip™ PIC24FJ128GA008

3.2.2 Programozás

A mikrokontrollert a Microchip™ MPLAB™ fejlesztőkörnyezet segítségével programoztam, C nyelven.

A számítógéppel való programozásra pedig egy MPLAB REAL ICE állt rendelkezésre.

3.2.3 Használt irodalom

A mikrokontrollerhez való programíráshoz való tudást, a hardver és szoftverjellemzőket, a jól hasznosítható, a termékhez tartozó leírásokból, ill. egy a Microchip™ belső munkatársa által írt 16 bites mikrokontroller programozást oktató tankönyvből igyekeztem megszerezni.

Az eszköz, funkcionalitásában igen gazdag, perifériás ellátottságban bővelkedő jellemzői miatt a labormunka nagy része a munkára bírhatósággal telt, s ezen nehézségek leküzdésére jól hasznosíthatók voltak ezen irodalmak.

4. A feladat megvalósítása

4.1 Elvek, elgondolások

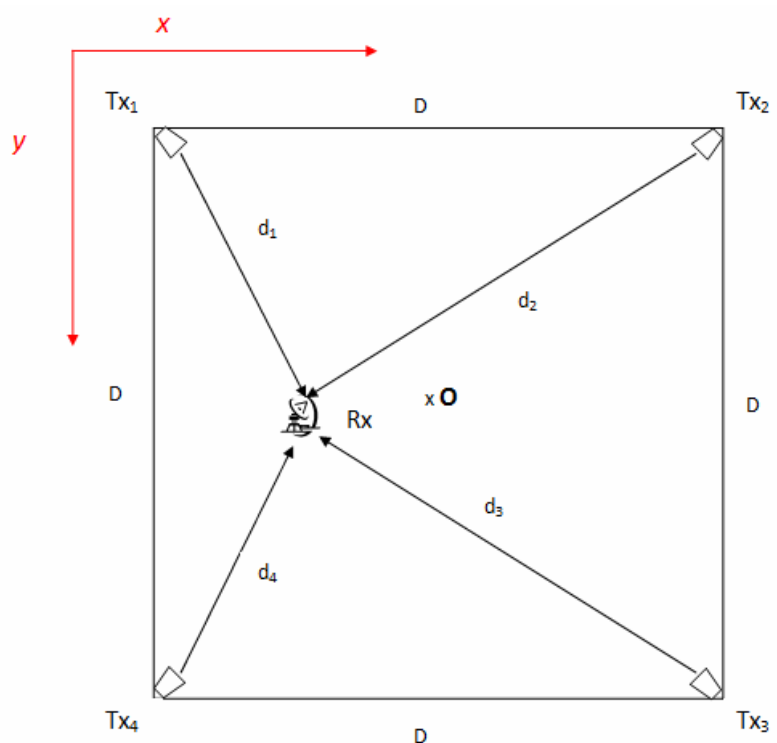
A feladat meghatározása szerint a pozíciómérés a GPS-hez hasonló módon, időkülönbségek összevetésével valósul meg.

A koncepció, hogy beltéri környezetben (négyzet alapú szoba, vagy nagyobb beltér), előre, fixen (a sarkokban), egymástól egyenlőt távolságokra rögzített ultrahangos adókból álló állomások periodikusan küldenek, őket azonosításra is alkalmas jeleket.

A mozgó objektum egy vevő egységgel rendelkezne, mely képes a küldött jeleket fogadni és az időkülönbségekből, a távolság kikalkulálása által, egy egyszerű egyenlettel, a relatív pozíció meghatározására.

A fenti két eszköz, az adók (Tx_i , $i=1,\dots,4$) és egy vevő (Rx) egység, mind egy előre programozott PIC mikrokontrollerrel valósítaná meg a funkcióját. Az adókat gömbsugárzónak tekintjük, amely a beltér minden pontjába képes sugározni. A jellevő pedig a tér minden pontja felé érzékeny.

Az így megvalósított rendszer, alapjaiban a GPS koncepciójához hasonló, mivel az adók passzívak, a rendszerbe tetszőleges időben



bevitt vevő egység (vagy akár több egység), a folyamatos jelvételezésből meg tudja határozni a pozícióját a térben (2D), melyet egy előre meghatározott ponthoz (O) viszonyított távolságként ad meg. Ez a pont a tér mértani közepe.

Az 1. ábra szemlélteti a felépítést a vízszintes síkban (x, y).

Az adók periodikus időközönként adnak jelet, melyek közötti várakozás (ΔT), megállapításához figyelembe kell venni a minél nagyobb pontosságra való törekvést (lehető legkisebb ΔT), illetve, a nem megfelelő időben küldött, jelek interferenciájának kiküszöbölését (nagy ΔT).

Az ultrahang terjedési ideje és a megtett út egymás között, a sebesség ismeretében, könnyen átváltható, ezért mindegy, hogy a kettő közül melyikkel számolunk.

Tehát meg kell keresni azt a pontot a mérési síkon, amelyekre a $d_i - d_{i+1}$ különbség a legnagyobb, így biztosítva, hogy a Tx_i jele megérkezik, mire Tx_{i+1} sugározni kezd.

d_i a Tx_i -től az Rx vevőig mért távolság, ahol $i \in \{1, \dots, 4\}$.

Tehát a következő maximalizálást kell elvégezni:

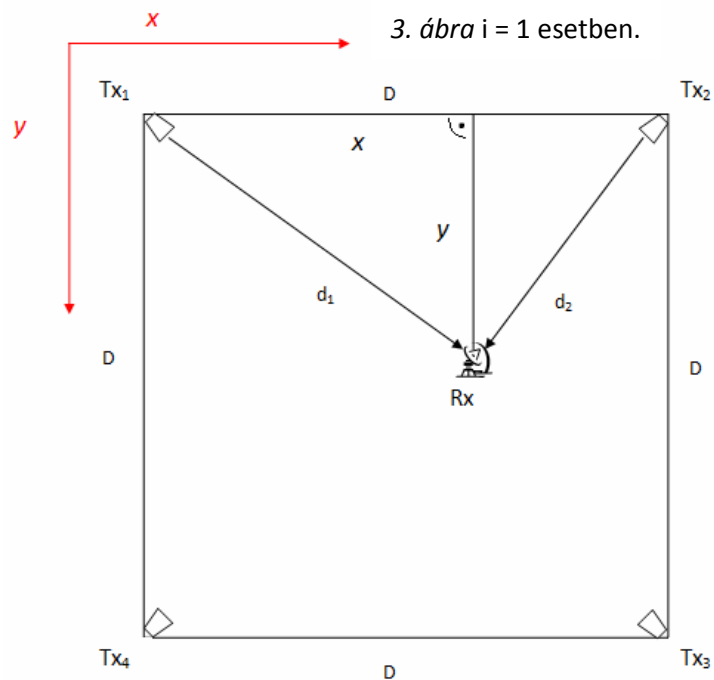
$$\max_{x,y} \{d_i(x,y) - d_{i+1}(x,y)\},$$

ahol $d_i = \sqrt{x^2 + y^2}$ és

$$d_{i+1} = \sqrt{(D-x)^2 + y^2},$$

valamint D a két adó közötti távolság. Beltéri alkalmazásról lévén szó, $0 \leq D \leq 10 \text{ m}$ tartomány elfogadható.

A maximalizálást Wolfram Mathematica™ program segítségével oldottam meg:



```

In[19]:=
d1 =  $\sqrt{x^2 + y^2}$ 

Out[19]=  $\sqrt{x^2 + y^2}$ 

In[20]:= d2 =  $\sqrt{(D - x)^2 + y^2}$ 

Out[20]=  $\sqrt{(D - x)^2 + y^2}$ 

In[22]:= Maximize[{d1 - d2, 0 ≤ x ≤ D, 0 ≤ y ≤ D, 0 < D ≤ 10}, {x, y}]

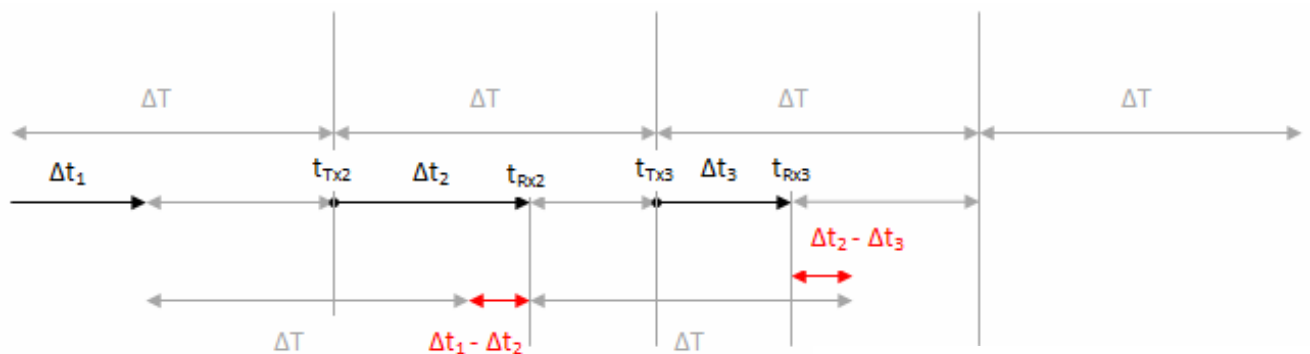
Out[22]= {{D, 0 < D ≤ 10, {x → D, 0 < D ≤ 10, y → 0, 0 < D ≤ 10}},
{-∞, True, {x → Indeterminate, True, y → Indeterminate, True}}}

```

Ebből látszik, hogy az $x = D$, és $y = 0$ -ra teljesül a fent megkívánt feltétel. Persze ez utólag triviális, hiszen a háromszög átfogója mindig hosszabb, mint a befogók különbsége.

Tehát a ΔT éppen a D -hez tartozó terjedési idő. Ennyinek kell eltelnie két szomszédos adó szignálja között.

Az egyszerűség kedvéért tegyük fel, hogy a mérés megkezdésekor éppen az első adó jelét érzékeljük először. A pozíció koordinátáinak megtalálása az alábbiak szerint történik:



5. ábra Szekvencia diagram a folyamatról.

ΔT időközönként egy ultrahangos jel bocsájtódik ki. Vételi oldalon nem lehet tudni ennek idejét (t_{Tx_i}), csak a vétel időpillanatát (t_{Rx_i}). A távolság meghatározásához Δt_i értékekre van szükség. Ezeket közvetlenül nem tudjuk. Az egyedüli információ, amit mérni tudunk az a $\Delta t_i - \Delta t_{i+1}$, illetve rendelkezésünkre áll a ΔT konstans.

A pozíció meghatározásához ezekből kell kikalkulálni a koordinátákat. Az (5) ábra mutatja az időbeni lefolyását az adás/vételnek.

Δt_i értékét nem tudjuk, a hozzá tartozó távolságot most p -vel jelöljük.

$\Delta t_{i+1} = \Delta t_i + t_c$, ahol a t_c pozitív, vagy negatív; méréssel megállapítható. (vételi jelek időbeli különbsége). Számolásnál így írjuk fel: Δt_{i+1} -hez tartozó távolságot: $p \pm c$.

A (6) ábra mutatja az objektum elhelyezkedését a térben. Két adó által sugárzott jelből felírhatjuk az alábbi egyenleteket:

$$x^2 = p^2 - y^2, \quad (1)$$

$$y^2 = (p \pm c)^2 - (D - x)^2, \quad (2)$$

ahol c és D ismert.

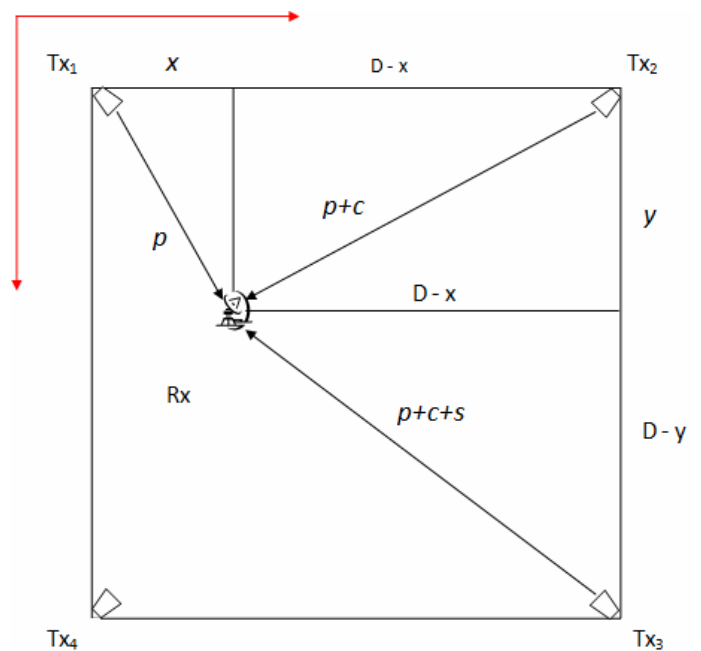
Fejezzük ki x -et a fenti két egyenletből:

$$x^2 = p^2 - (p \pm c)^2 + (D - x)^2$$

$$x^2 = p^2 - p^2 \mp 2pc - c^2 + D^2 - 2Dx + x^2$$

$$x = \frac{D^2 \mp 2pc - c^2}{2D}$$

x -et tehát kifejeztük, de értéke csak paraméteresen ismert. Fel kell írjunk még egy egyenletet, hogy egyértelműen meghatározható legyen. Ehhez van szükség egy harmadik adó jelére is.



6. ábra A képletben szereplő értékek a térben

Az $x = y$, $p = (p \pm c)$, $(D - y) = (D - x)$ és $(p \pm c) = (p \pm c \pm s)$ behelyettesítéssel az (1) és a (2) összefüggéseket felhasználva y kifejezhető:

$$y^2 = (p \pm c)^2 - (p \pm c \pm s)^2 + (D - y)^2,$$

$$y^2 = p^2 \mp 2pc + c^2 - p^2 - c^2 - s^2 \mp 2pc \mp 2ps \pm 2cs + D^2 - 2Dy + y^2,$$

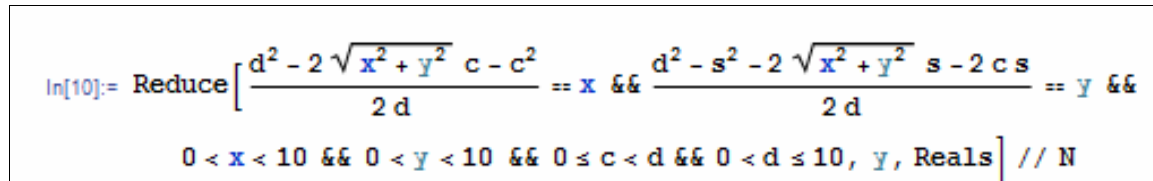
$$y = \frac{D^2 - s^2 \pm 2ps \pm 2cs}{2D}$$

A fenti két keretezett összefüggést p köti össze. x és y is p függvénye, ami viszont x és y függvénye, mivel $p = \sqrt{x^2 + y^2}$.

Tehát mindkét egyenlet felírható $y = f(x)$ alakban, s a függvényeik metszéspontja adja a pozíciót.

A könnyebb és hibátlanabb számolás érdekében, Mathematica™ programmal végeztem el az alakra hozást és az egyenletmegoldást egy lépésben:

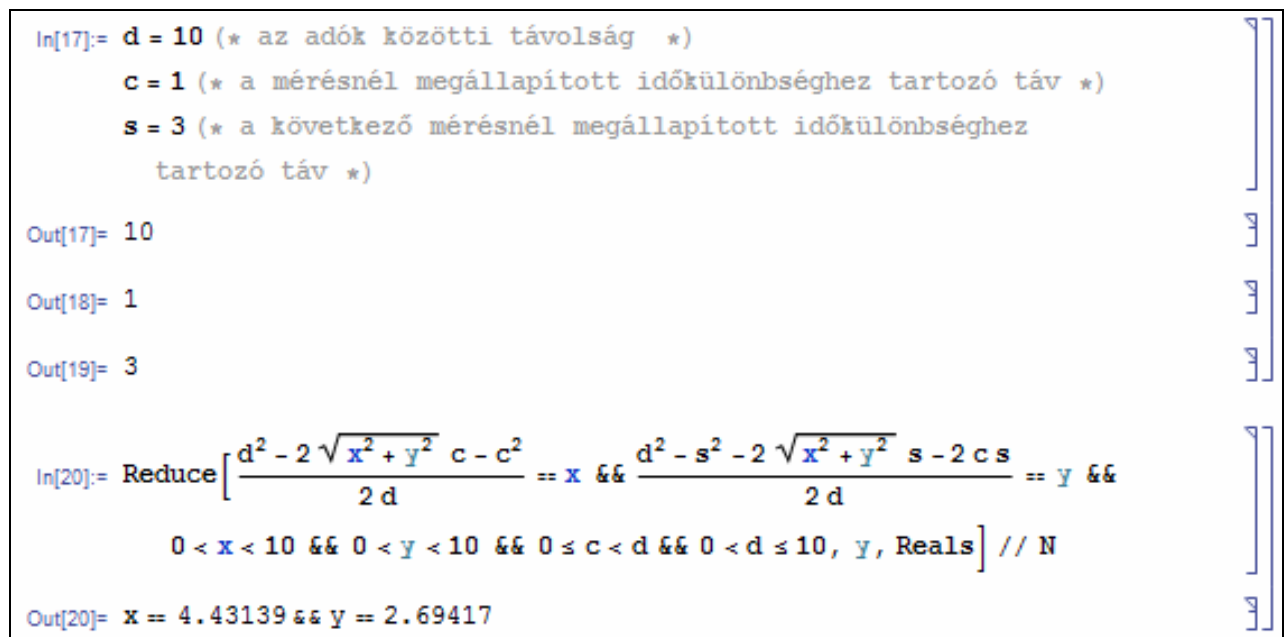
7. ábra Függvények közös pontjának keresése



```
In[10]:= Reduce[ $\frac{d^2 - 2\sqrt{x^2 + y^2}c - c^2}{2d} == x \ \&\& \ \frac{d^2 - s^2 - 2\sqrt{x^2 + y^2}s - 2cs}{2d} == y \ \&\&$ 
 $0 < x < 10 \ \&\& \ 0 < y < 10 \ \&\& \ 0 \leq c < d \ \&\& \ 0 < d \leq 10, y, Reals] // N$ 
```

A 7.ábrán megoldás formulája látható, ahol a felső sor a két egyenletet tartalmazza, az alsó pedig a megkötéseket, amiket már eddig is megfogalmaztunk a rendszerrel kapcsolatban. (A D-t d-vel kellett helyettesítenem, mert a képletben nem lehet használni D-t, mivel az egy lefoglalt (reserved) szimbólum.)

A fenti parancssori utasítást lefuttatva az alábbi példányosított értékekkel kiadja a pozíció x, y koordinátáit:



```
In[17]:= d = 10 (* az adók közötti távolság *)
c = 1 (* a mérésnél megállapított időkülönbséghez tartozó táv *)
s = 3 (* a következő mérésnél megállapított időkülönbséghez tartozó táv *)

Out[17]= 10
Out[18]= 1
Out[19]= 3

In[20]:= Reduce[ $\frac{d^2 - 2\sqrt{x^2 + y^2}c - c^2}{2d} == x \ \&\& \ \frac{d^2 - s^2 - 2\sqrt{x^2 + y^2}s - 2cs}{2d} == y \ \&\&$ 
 $0 < x < 10 \ \&\& \ 0 < y < 10 \ \&\& \ 0 \leq c < d \ \&\& \ 0 < d \leq 10, y, Reals] // N$ 

Out[20]= x = 4.43139 &\& y = 2.69417
```

8. ábra Egy példa a pozíció koordinátáinak meghatározására. Az értékek méterben értendők.

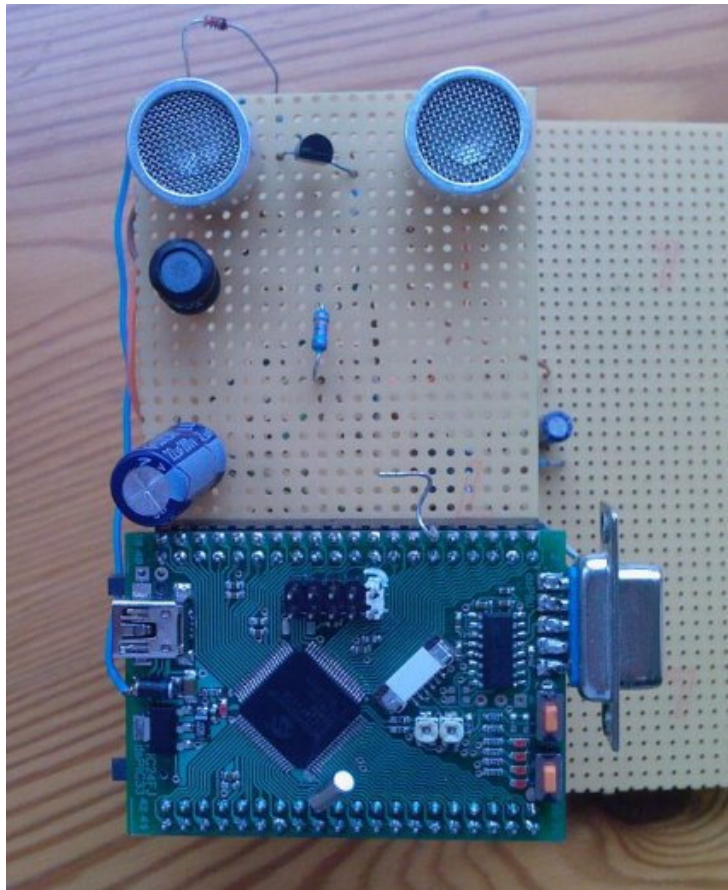
Ezeket a számolási műveleteket a mikrokontroller valós időben elvégzi és valamilyen kimeneten szolgáltatja további feldolgozásra, vagy megjelenítésre.

4.2 Labormunka eredményei

Mindenek előtt össze kellett válogatni és megismerni azokat az eszközöket, amelyekkel a kiírt feladatot el tudtuk végezni. Itt meg kell, hogy jegyezzem, ez csak részben sikerült, ugyanis a mikrokontroller programozásához szükséges előismeretek megszerzése, valamint az áramköri összeállítása, annak tesztelése, hibajavítása, felmerülő problémák megoldása, igen nagy mértékben felemésztette a munkára szánt időt.

A laborban sikerült megoldanunk a pozíció-meghatározás alapjául szolgáló távolságmérést, mely a reflexió hatását kihasználva működik.

A 9. ábrán látható az erre a célra készített eszköz, mely ultrahangos adóval és vevővel rendelkezik.



9. ábra Fejlesztett eszköz

A lapka lelke az PIC mikrokontroller és a (zöld) panel, melyre forrasztva van. A rá szerelt perifériákkal képes kommunikálni, ill. tápfeszültséget is kapni.

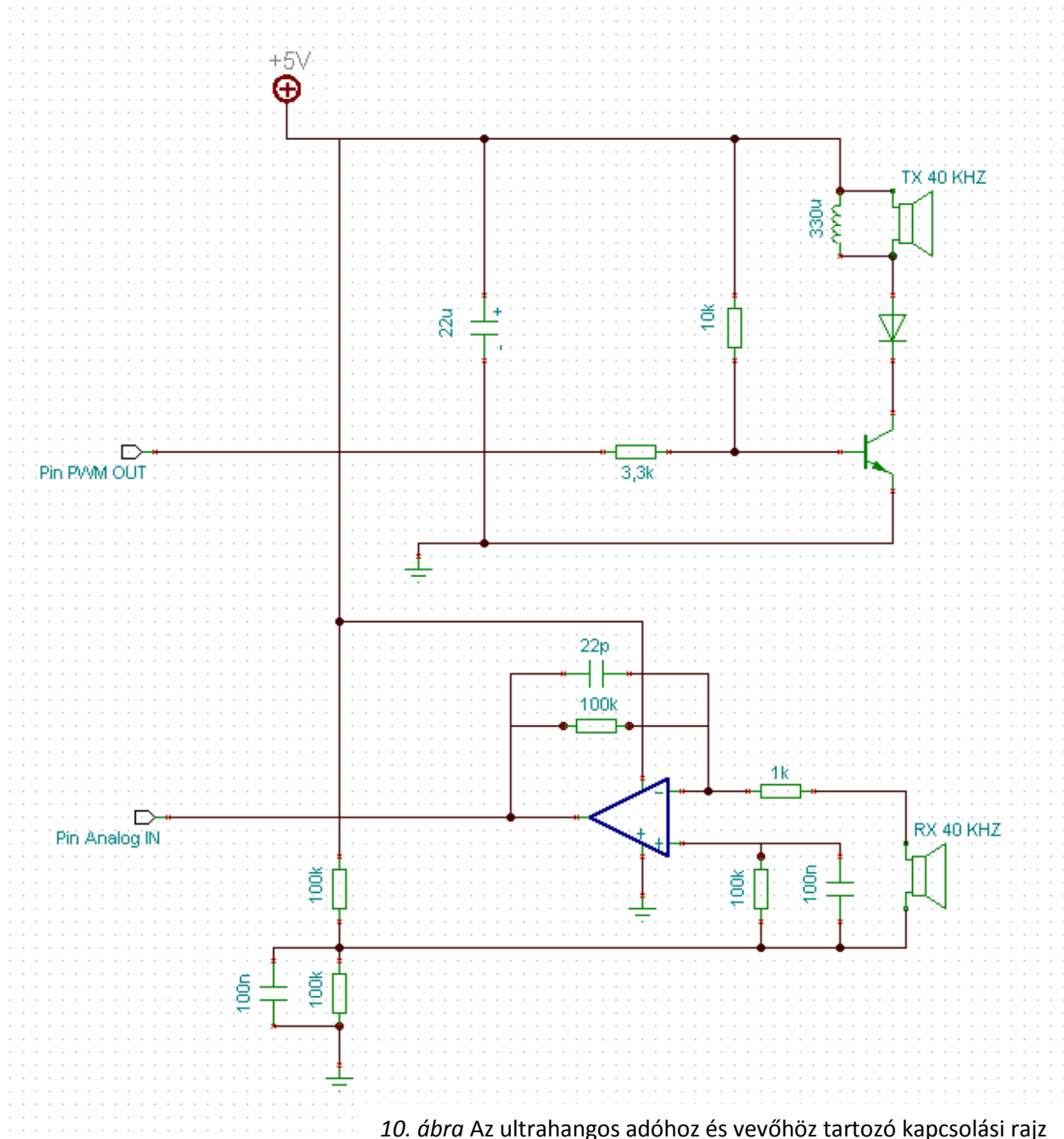
Az alatta lévő lapkát magunk (két, hasonló témában dolgozó, társammal együtt) készítettük.

A hozzá való elemeket össze kellett válogatni és felforrasztani, majd tesztelni, s olykor hiba javítani is.

Az elemek a szükségelt feszültséget PIC paneljéről kapják, ami viszont USB portról van ellátva. A fejlesztett eszköz kapcsolási rajza a 10. ábrán látható.

A kontroller programozása számítógépről történt, mely gyors tesztelhetőséget és kényelmes kezelést biztosított.

A felépítését tekintve az eszköz egy PIC mikrokontrollerből, egy ultrahangos adóból, egy ultrahangos vevőből és erősítésből áll.



10. ábra Az ultrahangos adóhoz és vevőhöz tartozó kapcsolási rajz

A PIC, PWM kimeneten impulzusokat küld a tranzisztor bázisára, s így az hangszóró tápfeszültségét változtatja, megszólalásra gerjesztve azt. A mikrofon a kiküldött és visszaverődött jelet érzékeli, majd egy erősítésen átmenve, a mikrokontroller analóg bemenetére kerül. Az input jel tartalmazza a közvetlen reflektált illetve a több-utas visszaverődéseket is:

$$z(t) = \sum_{k=1}^n A_k s(t - \Delta t_k),$$

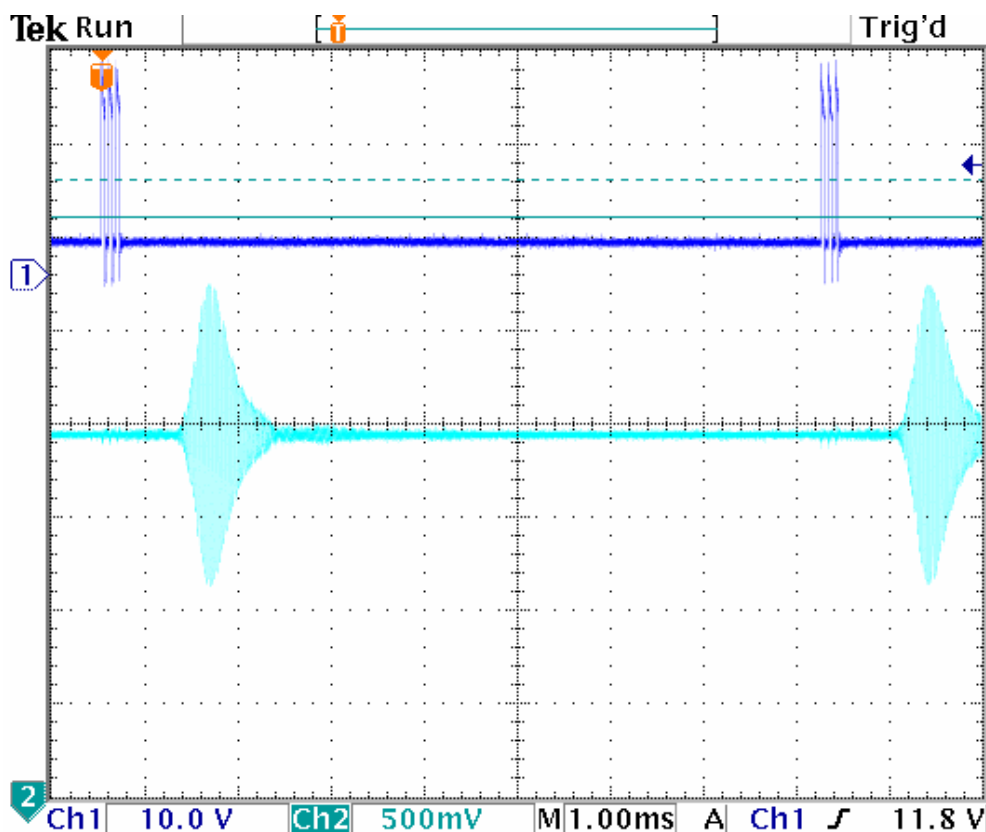
ahol n jelöli a reflexiók számát, A_k a k . útvonalon visszaérkező jel amplitúdója, Δt_k a hozzá tartozó terjedési idő, amely alatt az $s(t)$ ultrahang jel eljut az adótól a vevőig.

Az általunk kiadott impulzus jelen esetben 40 KHz-es négyszögjelek egy rövid sorozata. Moduláció egyelőre nem szükséges.

A mérések során meglepő módon nem volt tapasztalható jelentős zaj a 40 KHz-es hangfrekvencia közelében. Ez a 11. oszcilloszkópos ábrán is jól látszik, ahol a fenti impulzussorozat a kiadott jel, lenti pedig a vett. Szépen elkülönül a bejövő hullám; jól látszik az eltolódás az eredetihez képest. Az ábrán felfedezhető egy teljes periódus; az oszcilloszkópos kép jobb oldalán az ismétlődés jelenik meg. A reflexió egyértelmű; jól detektálható a csúcs, s így a vételi idő is könnyen meghatározható, különbsége pedig a kiküldési idővel, a terjedési időt adja, amelyet másodpercben mérünk, majd azt $340 \frac{m}{s}$ -al beszorozva megkapjuk a távolságot méterben. A fejlesztett eszközzel ezt kb. 2 méteres maximális távolságban lehet megtenni, mely korlátot a távolság függvényében való halkulás és a refrakció okozza. Persze további erősítésekkel ez a korlát kitolható.

A detekció és a feldolgozás az alábbiak szerint valósult meg:

Analóg lábon jelerősséget mérünk a mikrokontrollerrel, amit az ADC modullal konvertálunk, majd a főprogramban feldolgozunk.

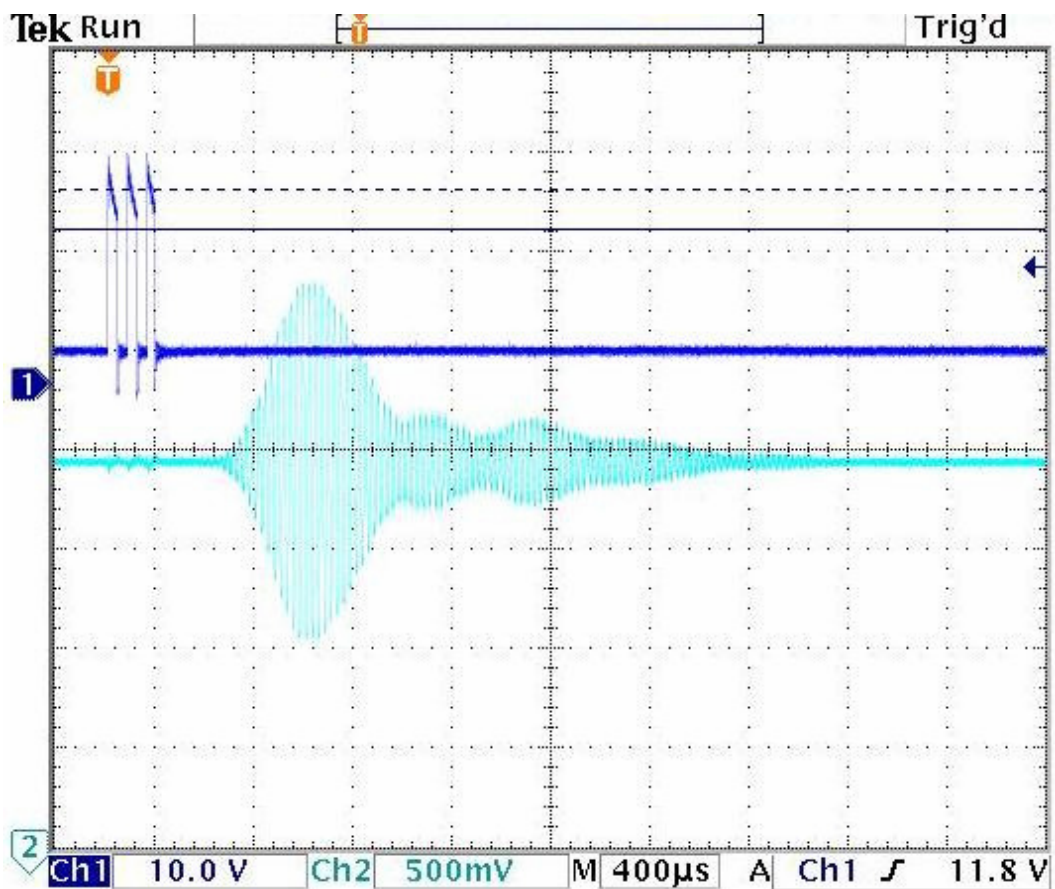


11. ábra Oszcilloszkópos felvétel a fadingmentes detekcióról

Tudjuk a kiadott hangjelek közti időt. Ezt felosztuk $\frac{1}{n}$ részre és eltároljuk egy tömbben, majd ezek közül a minták közül kiválasztjuk a legnagyobbat. A minta sorszámával (azzal egyenértékűen, hogy hányadikként észleltük) beszorozzuk a mintavételek közötti késleltetéssel és megkapjuk a Δt időt. Ezt beszorozzuk $340 \frac{m}{s}$ -al, így megkapjuk a kívánt távolságot méterben.

A detekció során környezeti zaj elhanyagolható, hibakódolás nem kell, ilyen kis távolságban nem jelentős a fading.

Némi zavarás azért néha észlelhető, ahogy azt a 12. ábra is mutatja.



12. ábra Némi zavarral terhelt vétel

4.3 Következtetések, tapasztalatok, összefoglalás

Fent bemutatott ultrahangos eszköz jó alapját tudja szolgáltatni, a kiírásban eredetileg célul kitűzött pozíciómérés megvalósításához.

Utólagos átgondolva, a megfogalmazott cél teljesítése előismeretek nélkül nem volt lehetséges. A tapasztalatok azonban, melyekkel gazdagabb lettem, ezután már sokkal eredményesebb, pontosabb és magabiztosabb munkavégzést irányoznak elő.

A mikrokontroller programozása számos buktatót és nehézséget jelentett, melyet sok idővel, kitartással és olykor segítséggel sikerült megoldani. Nem is hiába, hiszen a megismerésben sokat segítő Lucio Di Jasio által írt *„Programming 16-bit microcontrollers in C”* [1] c. oktató könyve is több mint 350 oldalas terjedelmű. Ebből, néhány fejezet elolvasásával, hasznos ismeretekkel lettem gazdagabb, amit sikerült kamatoztatni. A téma tehát igen terjedelmes, de persze az alkalmazások lehetősége is igen számos.

A labormunka kezdeti része mikrokontrolleres rutinok írásával telt, hogy a későbbi perifériák, mint az ADC vagy a PWM már tapasztalt módon üzembe helyezhető legyen. Az így elvégzett munka nem bemutatható, de hasznos része volt a félévnek.

Ami a pozíció-meghatározó rendszert illeti, a teljes megvalósítás még várat magára, továbbá van még tér a továbbfejlesztésre:

Ki lehetne terjeszteni a mérési korlátot, hogy nagyobb távolságban is jól detektálható jeleket lehessen fogni. Ezt a hangszóró nagyobb teljesítményre állításával, ill. jobb vételi erősítéssel lehetne megoldani.

A kiadott burst jelet modulációval információhordozásra lehetne bírni. Így el lehetne érni, hogy azonosítható legyen az adó, ami a fent taglalt pozíció-meghatározás fontos feltétele lenne.

Több eszközzel ki lehet próbálni a reflexiómentes közvetlen adást.

Több hangszóró és több mikrofon is felszerelhető lehetne a tér minden irányú kihasználása érdekében.

5. Köszönetnyilvánítás

Köszönet illeti konzulensem Tihanyi Atila tanár urat, aki szakértelmével elősegítette a tanulási folyamatot, valamint készséges rendelkezésre állással terelgetett a helyes irányba, önálló munkám során. A laboreszközöket rendelkezésre bocsájtotta, a terem- és géphasználatot mindig biztosította.

6. Irodalomjegyzék

[1] Jasio L. D. (2007), *"Programming 16-Bit PIC Microcontrollers in C - Learning to Fly the PIC24"*, Burlington

[2] Microchip Technology Inc.(2009), *"PIC24FJ128GA010 Family Data Sheet"*

[3] Omar A. M. Aly & A.S. Omar (2005), *"Spread Spectrum Ultrasonic Positioning System"*
[Online]. Elérhető:

http://www.wpnc.net/fileadmin/WPNC05/Proceedings/Spread_Spectrum_Ultrasonic_Positioning_System.pdf

Letöltés dátuma: 2010.05.05.

[4] Jóvér B. (2001). *"Rádióhullámok és antennák"*. [Online]. Elérhető:

http://www.ertms.hu/modulok/DOK_Radiohullamok%20es%20antennak.pdf

Letöltés dátuma: 2010.05.16.

[5] Bao-yen Tsui, James (2000), *"Fundamentals of global positioning system receivers : a software approach"*, Wiley