

SZAKDOLGOZAT

Beltéri helymeghatározó rendszer kialakítása ultrahangos távolságmérés alapján.



Pázmány Péter Katolikus Egyetem

2010

készítette:

Bruzsa Péter

mérnök informatikus BSc

témavezető:

Tihanyi Attila

Nyilatkozat

Alulírott Bruzsa Péter, a Pázmány Péter Katolikus Egyetem Információs Technológiai Karának hallgatója kijelentem, hogy ezt a szakdolgozatot meg nem engedett segítség nélkül, saját magam készítettem, és a szakdolgozatban csak a megadott forrásokat használtam fel. Minden olyan részt, melyet szó szerint, vagy azonos értelemben, de átfogalmazva más forrásból átvettem, egyértelműen a forrás megadásával megjelöltem. Ezt a Szakdolgozatot más szakon még nem nyújtottam be.

.....

.....

Tartalom

Nyilatkozat	2
Tartalmi összefoglaló	4
Abstract.....	5
Feladatkiírás	6
Bevezetés.....	8
1. Kitekintés.....	9
1. 1 Beltéri pozíció meghatározás	9
1.1.1 A helymeghatározás elvi módszerei	9
1.1.2 Létező megoldások.....	9
1.2 Ultrahang – a longitudinális nyomáshullám.....	12
1.3 Ultrahangos távolságmérés.....	13
1.4 Ultrahangos beltéri pozíció meghatározás.....	14
1.4.1 Létező megoldások beltéri ultrahangos helymeghatározásra.	15
2. A rendszer specifikációja	16
2.1.1 Pozíció-meghatározás 2D-ben.....	17
2.1.2 Pozíció-meghatározás 3D-ben.....	22
3. Hardver és szoftverfejlesztés	26
3.1 Mikrokontroller – PIC24FJ256GB108.....	26
3.1.1 Hardverjellemzők	26
3.1.2 Programozás – MPLAB IDE.....	26
3.1.3 Konfiguráció, beállítások	27
3.2 Távolságmérő prototípus – Transceiver	27
3.3 Adó egység – Transmitter	30
3.4 Vevő egység – Receiver	32
3.5 Soros vonali kommunikáció.....	34
3.6 Megjelenítő és vezérlő szoftver.....	35
3.6.1 Adó oldali beállító program.....	35
3.6.2 Vevő oldali megjelenítő program.....	35
3.7 A rendszer pontossága.....	35
4. Eredmények értékelése.....	38
5. Tovább lépési lehetőségek.....	40
Összefoglalás.....	41
Köszönetnyilvánítás	43
Irodalomjegyzék.....	44

Tartalmi összefoglaló

A helymeghatározás módszerei, mint a széles körben elterjedt GPS, vagy GSM alapú rendszer, WLAN, vagy ultrahangos pozíció-meghatározási módszerek, olyan létező és adott célterületen jól működő megoldások, melyek bizonyítják a helymeghatározás fontosságát, valamint létjogosultságot adnak egy olyan beltéri, ultrahang alapú rendszernek, mely elképzeléseim szerint éppen ilyen célra hivatott.

A feladatom egy ultrahangos jeladáson alapuló valós idejű helymeghatározó rendszerről (RTLS - Real Time Location System) szól, mely beltéri infrastruktúra kiépítésével, szobán belüli pozíció-meghatározásra képes (IPS - Indoor Positioning System), vezeték nélküli hardverrel és valós idejű szoftverrel. Kábeles összeköttetést nem igényel, ezért a „nincs ingyen ebéd” törvényszerűség alapján számítási komplexitás, ill. jelfeldolgozási bonyolultság oldalán kell ezért fizetni.

A mért időkülönbségeken (OTD – Observed Time Difference) alapuló helymeghatározási elvet választottam a pozíció meghatározásához. Ennek lényege, hogy azok a pontok - a síkon -, melyeknek távolságkülönbségük egy adóállomáspártól állandó, egy hiperbola mentén helyezkednek el [6], a térben pedig hiperboloid mentén. A 3D pozíció-meghatározáshoz a három mért időkülönbségre van szükség, amit négy adóállomás tud szolgáltatni. A három egyenletből a három ismeretlen koordináta (x, y, z) már számolható. A vételi oldalon való kiigazodás érdekében az ötödik adási időérés kimarad, így azonosíthatóvá válik a szekvencia eleje és ezáltal a vett jelek hozzárendelhetők az adóállomásokhoz.

A rendszer megvalósításához szükséges vevő egység hardveres fejlesztését elvégeztem (adóegységet átvettem), a mikrovezérlő programkódját megírtam, beleértve a soros vonali kommunikációt, melyet az adóegységen is implementáltam.

Készítettem egy felhasználói programot - Labview™ környezetben -, mely képes a vevő eszközzel kommunikálni, üzeneteket/parancsokat megjeleníteni, ill. a kapott 10 bites jelszintértékeket kirajzolni.

A rendszer elvi pontatlanságai mellett – vételi idő alatti elmozdulás – technikai gondokkal is küzd, melyek a teljes megvalósítást és az elvárt működést fenyegetik.

Fejlesztési lépések megtétele esetén nagy pontosságú valós idejű szobán belüli helymeghatározás valósítható meg.

Abstract

The methods of location systems like the widely used GPS, GSM-, WLAN-, or ultrasonic based position systems are existing solutions proofing the importance of the knowledge of the location. This way it could be the similar importance and usage of an indoor ultrasonic positioning system by my conception.

My work is about an ultrasonic based real time location system that is functioning indoors with built-up infrastructure, wireless hardware and real time software.

There is no wire to send data because the transmitters are active and receiver (or more than one) is passive (listening). Completely no wire is an advantage that one has pay for it - because "there is no free meal" - on the computational complexity and signal processing side.

The principle of the observed time difference (OTD) based locationing was my choice to carry out the positioning: solution set is all points – in the plan – the difference of whose distances from two fixed points (transmitter base stations) is constant, lies on a hyperbola; while in the space it is hyperboloid.

In the case of 3D positioning we need three measured time difference which can be obtain by receiving 4 transmitter signals. Three independent equations provide us information enough to calculate the three coordinates (x, y, z). While the transmitting process, the 5th timeslot remains without signal, the receiver can identify the beginning of the transmitter signal sequence.

I have done the work to realize the hardware and software of necessary receiver unit (the transmitter was overtaken), written the program code of the microcontroller, serial line communication included - implemented by me - on the transmitter side too.

I have created a user application program – in Labview™ environment -, that is capable to communicate with the receiver, display messages/commands, and the received 10 bit represented signal level respectively.

In addition to the principal accuracy of the system – appears in case of moving object -, there are technical problems which threaten the completely realization and the desired function.

In case of development it is achievable a high accuracy real time indoor location system.

Feladatkiírás

Az ultrahang, terjedéssel kapcsolatos fizikai ismeretek és ultrahangos mérés technika jelenlegi helyzetének áttekintése nemzetközi irodalom tanulmányozásával.

Elengedhetetlen a jelátvitelre használt ultrahangos jellemzők megismerése a feladat szempontjából.

Alkalmazásában elterjedt és széles körben hasznosított elektromágneses terekkel való analógia felállítása segít a problémák megoldásában, azon témában kimunkált ismeretek és módszerek által.

Az áttekintés alapján válassza ki a feladat megoldásához használható, az ultrahang távolságmérési technikát, melyet a későbbiekben kivitelez és felhasznál a feladat megoldásához!

Az irodalomkutatás során felderített, már létező alkalmazások, vagy tesztrendszerek, esetleges publikált részeredmények, valamint a megismert ultrahangos jelenség tekintetében, ill. a lehetőségek figyelembevételével, a használt technikák kiválasztása.

Becsülje meg a tervezett rendszer pontosságának határait, alkalmazhatóságának lehetőségeit!

A rendszer egy olyan feladat megoldására hivatott, mely egy egzakt eredményt kell, hogy produkáljon.

Az eszköz fizikai voltából, valamint az esetlegesen szűkös lehetőségekből adódó rendszer-sajátosságok miatt, a pontos mérés lehetősége eleve kizárt.

A feladat, a pontosság meghatározása, méréssel és/vagy számolással, lehetőség szerint pedig ezen jellemző javítása.

Készítse el a várható helymeghatározással kapcsolatos specifikációt a tervezett rendszerről!

Alapos megfontolás után, melynek során a nem megfelelő elgondolások elvetésre kerülnek, a végleges specifikáció elkészítése.

Dolgozza ki a szükséges adó és vevő eszközök felépítését és készítse is el azokat, az optimális működés tekintetében!

A célnak megfelelő adó és vevő egységek tervezése és kivitelezése.

Tesztelje a részegységek jellemzőit (adó és vevő)!

Ez a lépés elengedhetetlen része a pontosság javításának, a hiányosságok felderítésének és a továbbfejlesztés lépéseinek meghatározásának.

Írjon programkódot, amely elvégzi a szükséges jeladást, vagy jelfeldolgozást, az eredményeket jelenítse meg és értelmezze felhasználó számára könnyen bemutatatható módon!

A megvalósítás tehát részben szoftveres módon történjen, mely nem csak a működés, de a megjelenítés szempontjából is kidolgozott.

Ellenőrizze és tesztelje az elkészült rendszert, végezze el a tervezés során becsült adatok ellenőrzését!

A megvalósítás mértéke szerint, a tapasztalt jellemzők összehasonlítása a várttal, valamint az esetleges, nem várt paraméterek jelentőségének kiértékelése.

Elemesse a kapott eredményeket és hasonlítsa össze azokat a specifikációban megfogalmazottakkal!

Az elért eredményeket viszonyítása a kezdetekben megfogalmazottakkal.

Konklúzió levonása a munkára vonatkozóan. Tovább lépési lehetőségek felvázolása.

Bevezetés

A helymeghatározás az embernek már a történelem korai szakaszába megfogalmazódott igénye, gondolván itt a kereskedelem által generált szárazföldi és tengeri utak során szükségelt navigációra. A technológiai fejlődéssel számos megoldás született globális és lokáli pozíció-meghatározásra, igen szélessé téve a lehetőségek palettáját.

A viszonyítási pontok megválasztása alapján egészen specifikus alkalmazások fejlődtek ki az egyes technikákhoz - szofisztikusabb esetben - rendszerekhez. A tájékozódásra alkalmas építmények, fák, tengerparti világítótornyok, műholdak, rádiótelefon adók, égitestek, alkalmasak lehetnek mozgó, vagy álló helyzetű objektumok pozíciójának meghatározására. A helyzet ismerete fontos lehet a vándorló objektum szemszögéből, vagy annak távoli irányítója számára.

A helymeghatározás elvi módszerei, mint a leszármaztatott autonóm helymeghatározás, ívmetszéssel-, háromszögelés elvével-, észlelt időkülönbség mérése alapján történő helymeghatározás, stb. – olyan elgondolások, melyek sokféle technológiát sorakoztathatnak fel maguk mögött.

A Csillagászati navigáció – mely az egyik legősibb tájékozódási forma – autonóm helymeghatározási lehetőséget kínál, mindenféle elektronikus függéstől mentesen. Többnyire az elektronikus navigációs rendszerek meghibásodása esetén tartalékként megtalálható a hajózásban [7]. Az égitestek helyzetéből való tájékozódás azonban nem nyújt kielégítő szolgáltatást mai modern műholdas rendszerekkel ellentétben.

A Global Positioning System (GPS) - műholdas alapú globális helymeghatározó rendszer (Global Navigation Satellite Systems - GNSS) – képes 3 dimenziós helyzet-meghatározásra, időmérésre, valamint sebességmérésre földön, vízen vagy levegőben. Helyzet alapú szolgáltatásokkal párosítva széles körben ismert a mindennapi felhasználásban is.

A mobil hálózatok is versenyképes megoldásokat kínálnak a mobil készülék helyének meghatározására egy olyan előnnyel, amivel a GPS nem rendelkezik. Ez pedig a beltéri lefedettség. Egy zárt térben nem fogható elégséges szinten a szükségelt 4 műhold mikrohullámú jele – a nagy csillapítás miatt. Legalább is a megnövelt érzékenységgel és kifinomultabb jelfeldolgozási technikákkal, konzisztens és robusztus helymeghatározás nem megvalósítható a műholdas rendszerrel beltérben.

A pontosság azonban nem kielégítő egyik esetben sem, olyan helyzetek során ahol deciméteres, vagy centiméteres hibánál nagyobb tévedés nem megengedett.

A fentieket tekintve, két kíváncsi teljesítését szeretném körüljárni: nagyobb pontosság és beltéri használat.

1. Kitekintés

Az alábbiakban azon helymeghatározó rendszerek sajátosságait és alkalmazási területeit mutatom be, melyek hatással voltak az én munkámra is, vagy csak egyszerűen érdekes megközelítésnek tartottam őket.

1. 1 Beltéri pozíció meghatározás

Számos beltéri pozíció-meghatározásra alkalmas rendszer (Indoor Positioning System - IPS) érhető el - vagy van éppen fejlesztési folyamatban - mely lokális referenciapontokat használva távolságokat, szöveget, bejövő jelerősséget mér, vagy jeladót azonosít [12].

1.1.1 A helymeghatározás elvi módszerei

Az ISO/IEC 24730-2:2006 szabvány két légi interfész protokollt és egy programinterfészt (API) nyújt valós idejű helymeghatározó rendszerekhez (Real-Time Locating Systems - RTLS), hogy az a növekvő RTLS termékek piacán a kompatibilitási problémákra megoldást nyújtson [13][14].

A szabvány a helymeghatározás módszereiként 6 lehetőséget sorol fel.

Az alábbiak nem, vagy csak részlegesen ezekből valók.

Néhány fontosabb a teljesség igénye nélkül:

- Helymeghatározás a háromszögelés elvével (Angle of Arrival - AoA)
- Leszármaztatott autonóm helymeghatározás (Dead Reckoning - DR)
- Helymeghatározás ívmetszéssel (Trilateration)
- Helymeghatározás elve az észlelt időkülönbség mérése alapján (Observed Time Difference - OTD)
- Helymeghatározás terjedési idő méréseivel (Time of Flight - ToF)
- Vételi jelerősségen alapuló helymeghatározás (Received Signal Strength Indication - RSSI)

1.1.2 Létező megoldások

GPS indoors

Általános és gyakran hangoztatott felfogás, hogy a Globális műholdas helymeghatározó rendszerek (GNSS) nem képesek beltéri környezetben működni [16].

Ám nem minden tekintetben tartható ez a megállapítás.

A vevő egységek már sokkal érzékenyebbek fejlett chip technológiáknak és a nagy számítási teljesítménynek köszönhetően. Továbbá az új GNSS rendszerek – GLONASS, GALILEO, COMPASS - felállításával az elérhető műholdak száma és azok kisugárzott jelei egyre elérhetőbbek lesznek a jövőben.

A beltéri használat során a csak az esetek elenyésző részében éri a vevőantennát direkt (line of sight) hullám, hanem sokkal inkább reflektált, szóródott, vagy diffrakció által elterelt jel.

Azonban léteznek próbálkozások ezen, nemkívánatos jelenségek kompenzálására és a beltéri gyenge lefedettség és további hiányosságainak kiküszöbölésére, hogy használható lehessen ez a kültéren jól működő rendszer [8].

WLAN-alapú beltéri helymeghatározás

A vezeték nélküli helyi hálózatokon megvalósított, rádióhullámokon alapuló helymeghatározó rendszereknek számos előnye van a beltéri pozíció-meghatározásban. Wifi rendszerek például nagyon elterjedtek ezért kiépítésük már nem igényel külön infrastruktúrát. Vezeték nélküli eszköz alkalmazásával a begyűjtött jelforgalom segítségével helyzetre vonatkozó információ is kikövetkeztethető.

Egy 2003-ban kiadott publikációban Jin Chen - a torontói egyetem PhD hallgatója és az IBM kutatója - egy olyan rendszerről nyilatkozott, mely – tapasztalatok szerint - 2 méteres pontosságra képes 90%-os valószínűséggel, álló objektum esetén, ill. 5 méteres pontosságra 90%-os valószínűség mellett, mozgó objektum esetében [10].

Inerciális navigáció rendszer (Inertial Navigation System- INS) [11]

Az INS tulajdonképpen egy navigációt kisegítő rendszer, mely gyorsulásmérőből, elfordulást mérő szenzorból (giroszkóp) és számítást végző egységből áll. Folyamatos számításokat végez az előző lépésben meghatározott pozícióhoz képest (dead reckoning). A gyorsulást mérő szenzor által szolgáltatott érték kétszeres integráljának számításából meghatározza a megtett utat, a giroszkóp segítségével pedig annak irányát. Mindezt külső referencia használata nélkül. Csupán a kiinduló pozíció ismerete szükséges. A mérési hiba csökkentésének fontos feltétele, hogy biztosítani kell a koordináta tengelyek mozdulatlanságát.

Az INS-sel rövidtávon nagy pontosságú és nagy pozícionálási gyakoriságú helymeghatározást lehet végezni, ugyanakkor a giroszkópok és gyorsulásmérő műszerek hibáinak halmozódása miatt a pontosság rohamosan csökken. Az INS pozíció hibák kedvezőtlen mértékű halmozódását például GPS pozíció adatok

folyamatos frissítésével lehet megakadályozni. A GPS-el, illetve INS-sel mért pozíciók és sebességek értékéből különböző szűrési eljárásokkal (elsősorban Kálmán szűrővel) határozhatók meg az előre jelzett, illetve a szűrt pozíciók.

A NavShoe™ egy ilyen, cipőbe épített INS eszköz, mely járókelők ideális útvonalmérő eszközének is felfogható.

A NavShoe™ az InterSense Incorporated terméke.

SONITOR [9]

Kidolgozott és alkalmazható ultrahang alapú beltéri helymeghatározó rendszer.

Az ultrahang alapú IPS rendszereket tervező vállalkozások, mint a Sonitor Technologies, a hanghullámok kedvező tulajdonságait hangoztatják az RF hullámokkal szemben.

A rádiófrekvenciás hullámok pontossága csökken az épületeken belül, ahol a hullámok gyakran kerámia vagy fémtárgyakról verődnek vissza. (A fémből készül irodai berendezések igen gyakoriak tűzvédelmi okokból.)

Mivel az ultrahang hullámok jobban elnyelődnek, mint az RF hullámok, amelyek hajlamosak a reflexióra, többutas terjedésre, falon keresztüli interferenciára, nem mellékesen pedig a más rádiófrekvenciás berendezések zavarjeleire, ezért a Sonitor rendszer a robosztusabb, ultrahangos jelekből álló szisztémát használ helymeghatározásra.

A koncepció szerint rádiófrekvenciás azonosítás (RFID) helyett magas frekvenciás jeladáson alapú identifikációt használó hordozható eszközökről és azok jeleit venni képes rögzített helyű mikrofonokról van szó.

Alapvetően az ultrahang nem hat zavaróan az érzékeny orvosi berendezésekre, ezért a Sonitor rendszer főleg kórházi épületekben való alkalmazásra lett kitalálva. Az Egyesült Államokban és Európában 20 kórházban lett telepítve ilyen beltéri helymeghatározás, mely a páciensek, ill. bizonyos berendezések (orvosi műszerek) helyét képesek meghatározni egy épületen belül.

A University of Pittsburgh Medical Center (U.P.M.C.) is tesztel egy ilyen rendszert, mellyel úgynevezett „smart room”-ot hoznak létre,



1. ábra Sonitor ultrahangos adó [9].

azáltal, hogy a kórterembe belépő orvosok és nővérek azonosítva vannak, így személyre szabott információk jelennek meg a betegről a mellette lévő monitoron. A páciensek szintén azonosító jeladót hordanak (1. ábra), hogy a kezelőorvosok, akik sok beteggel, különböző időben foglalkoznak, gyorsan megtalálják a segítségre szoruló személyt. A jeladó hordása során az magas azonosító frekvenciás hangot bocsájt ki, amit a termekben elhelyezett vevők vesznek, így mindig lehet tudni, hogy ki melyik helységben található.

A fent ismertetett példák közös jellemzője, hogy nem elég pontosak, vagy kiforratlanságukból fakadóan, vagy a hozzávetőleges helyzeten kívül nincs nagyobbra igény, vagy lehetőség. A pontosság növelése kritikus feladat lehet, ahol erre igény van. Az utolsó bemutatott alkalmazás - mely ultrahang alapokon nyugszik - egy vonzó lehetőséggel kecsegtet akár a pontosság terén is, melyre számos példa született nemzetközi szinten.

A következő részben a nagyfrekvenciás nyomáshullám áttekintését szeretném sorra venni, majd néhány meglévő, vagy fejlesztés alatt álló konkurens munka rövid bemutatását.

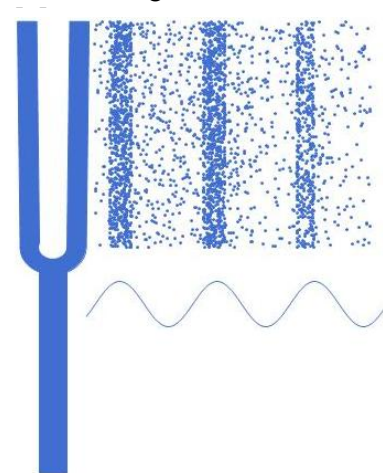
1.2 Ultrahang – a longitudinális nyomáshullám

A fenti példából is kitűnik, hogy van helyük a magas frekvenciás hanghullámoknak a helymeghatározásban, ezért a longitudinális nyomáshullám tulajdonságait meg kell vizsgálni.

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 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:

$$c(T) = 331,4 + 0,6 * T [3],$$

2. ábra hangvilla hullámkeltése



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 hő termelő berendezések okozta hőmérsékletváltozás. De csupán a légrétegek közötti termodinamikai különbség is okozhat esetleges mérés során - igaz, csekély - 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. Utóbbi hatását az alábbi összefüggés mutatja. A jelerősség változása:

$$A = A_0 e^{-\alpha(\omega)z} \quad [15],$$

ahol A_0 a kisugárzott kezdeti jelerősség α a frekvenciától függő együttható, z pedig a távolság.

1.3 Ultrahangos távolságmérés

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 mérhető és 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 távolságmeghatározásnak. 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:

$$d^{[m]} \cong 340 \left[\frac{m}{s} \right] * t^{[s]}$$

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

$$D = \frac{d}{2}$$

Ultrahangos távolságmérésre 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.

1.4 Ultrahangos beltéri pozíció meghatározás

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

A hang sebessége megfelelően lassú ahhoz, hogy gyors feldolgozással pontos terjedési időbeli különbségeket lehessen számolni.

Léteznek kis fogyasztású, szabványos csatolókkal 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.

Egyes vállalatok, egyetemek, kutatási csoportok, nagy lehetőséget látnak az ultrahang alapú – legyen az nagy pontosságú, vagy hozzávetőleges – pozíció-meghatározásban.

Áruházak épületeiben való navigáció segítheti a vásárlókat megtalálni a kívánt terméket, illetőleg célirányosabban felhívható a figyelem az egyes eladni kívánt árukra, ha tudni lehet, hogy a potenciális vásárló melyik polc előtt áll.

Nagy forgalmú, nagy létszámú munkahelyeken könnyebben meg lehet találni egymást, vagy egyéb eszközöket, mint például kórházakban, ahol a rádiófrekvenciától való mentesség is nagy előny.

A szülők a nagyobb játszótereken a gyermekük helyének ismeretében könnyebben meg tudják találni őket.

Háztartási vagy ipari robotok könnyebben el tudnak navigálni a beltéri berendezések között, vagy egyes helységekből a másikkba.

1.4.1 Létező megoldások beltéri ultrahangos helymeghatározásra.

MIT Crickets [20]

Az MIT-n belüli kutatócsoportja (CSAIL – Computer Science and Artificial Intelligence Laboratory) készítette és mozgó eszközök (host) pozíciójának meghatározására tervezték.

RF és ultrahangjelekkel operál. Rögzített adók rádiófrekvenciás jeleket bocsájtanak ki, s párhuzamosan ultrahangos jelet is. A vevő a két jel beérkezési idejének különbségéből számítja az adott adótól való távolságot. 1-3 centiméteres pontossággal és gyorsan dolgozik. A gazda (host) eszközzel RS232-es soros porton kommunikál. PDA hordozható kézi eszközön TinyOS-re írt alkalmazás segíti a használatát.

Koncepció: aktív adók, passzív vevő.

Spread Spectrum Ultrasonic Positioning System [19]

Magdeburgi egyetemen fejlesztett rendszer.

Mozgó aktív adóból és 4 darab rögzített passzív vevőkből áll, melyek össze vannak kötve. Hozzáadott pszeudorandom jelsorozatot használ szórt spektrumú jelátvitelre, az SNR növelésére.

Vétel oldalon korrelátoros vevőket használ.

Az esetek 85%-ban fél centiméteres hibahatáron belül van; ez figyelemre méltó.

HX17TK Ultrasonic Positioning System [21]

Beltéri lefedettsége a néhány négyzetmétertől több ezerig is terjedhet.

Aktív mozgó adók és nagyszámú (max. 136) mennyezetre rögzített és sorosan összekötött (RS232) vevőkkel rendelkezik, melyek egy feldolgozó egységben végződnek. Terjedési idő (time of flight) alapján számolja a node-októl való távolságot. 30 Hz-es frissítési frekvencia. 9 mm-es pontosság. Kiforrott, kész termék.

2. A rendszer specifikációja

A feladat egy ultrahangos jeleken alapuló valós idejű helymeghatározó rendszerről (RTLS) szól, mely beltéri infrastruktúra kiépítésével, szobán belüli - abszolút - pozíció-meghatározására képes (IPS), vezeték nélküli hardverrel és valós idejű szoftverrel.

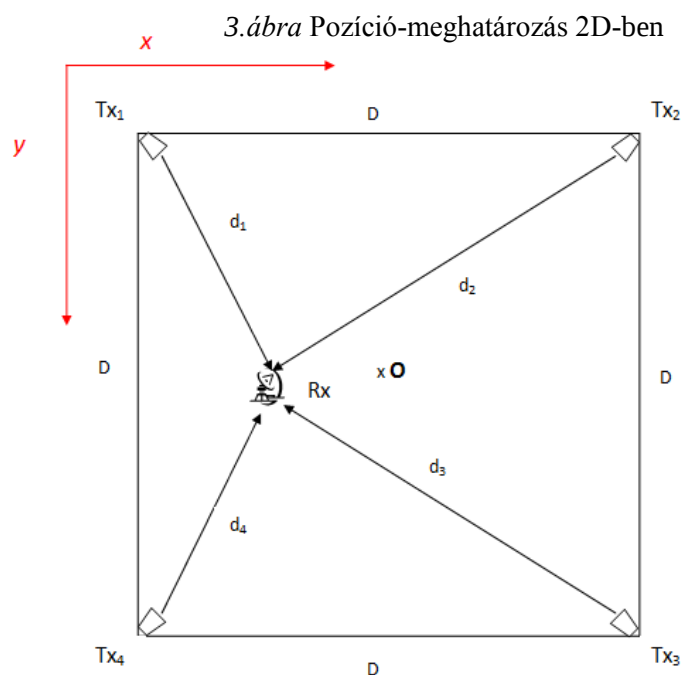
A koncepció szerint aktív adók és passzív vevő(k) alkotják a rendszert. Melyben az adók száma meghatározott, és úgyszintén specifikált a helyzetük is egy négyzet alakú topológiában, valamint a vevők száma tetszőleges; „becsatlakozásuk” pedig zökkenőmentes bármely időpontban.

A jeladás 40 KHz-en működő hangszóróval és ehhez a frekvenciához illő vevő mikrofonból áll. A fent taglalt, helymeghatározásra vonatkozó elvi módszerek közül, a észlelt időkülönbségek (Observed Time Difference - OTD) segítségével történik.

Az egyenlőt távolságokra rögzített ultrahangos adókból álló állomások periódikusan küldenek jelcsomagokat ΔT időrésekben. A számozott adók sorrendben adnak, viszont az 5. időrés adás nélkül marad így azonosítva a szekvencia elejét a vevő részére, aki tetszőleges pillanatban bekapcsolódva a vételbe képes üzembe kerülni. A mozgó objektum egy vevő egységgel rendelkezik, mely képes a küldött jeleket fogadni és az időkülönbségekből, a távolság kikalkulálása által, egyenletmegoldással, a pozíció meghatározására.

A használatához nem kell inicializálás. A folyamatosan működésben lévő adók jeleihez bármikor be lehet csatlakozni. Természetesen tetszőleges számú vevővel. Fontos azonban, hogy a ΔT paramétert, ill. az adók elhelyezkedésének topológiáját, a vevő eszköz is ismerje.

A két fajta eszköz, az adók (Tx_i , $i=1,...,4$) és egy vevő (Rx) egység, mind egy előre programozott PIC mikrokontrollerrel valósítja meg a funkcióját. Az adókat gömb sugárzóknak tekintjük, amely a beltér minden pontjába



képes sugározni. A jeltevő pedig – idealizált esetben - a tér minden pontja felé érzékeny.

Mivel az adók az aktív elemek, a rendszerbe tetszőleges időben bevitt vevő egység (vagy akár több egység), a folyamatos jelvételeből meg tudja határozni a pozícióját a térben (2D vagy 3D), melyet egy előre meghatározott ponthoz (O) viszonyított távolságként ad meg. Ezen viszonyítási pontként én a Tx_1 adót választottam, de lehet a szoba mértani közepe is, ahogy a 2. ábrán jelölve van.

2.1.1 Pozíció-meghatározás 2D-ben

A síkbeli megvalósítás alkalmas lehet földfelszíni mozgások koordinálására, például guruló robotok térkép alapú pozícionálásának segítésére.

Az 4. 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.

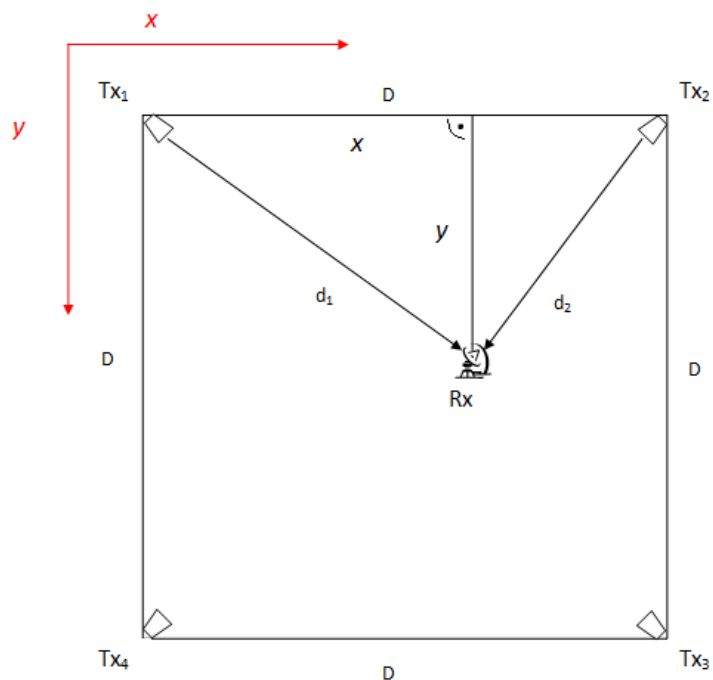
Tehát meg kell keresni azt a pontot a mérési síkon, amelyekre a $d_i - d_{i+1}$ különbség a legnagyobb, így biztosítva, hogy a Tx_i jele megérkezik, mire Tx_{i+1} sugározni kezd.

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

Tehát a következő maximalizálást kell elvégezni:

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

4. ábra Négy adó, egy vevő. 2D pozíció meghatározás.



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, ill. a vevő legnagyobb erősítő fokozatát is erre a távolságra optimalizáltam.

A maximalizálást Wolfram Mathematica™ program segítségével oldottam meg:

5. ábra Mathematica™ kódrészlet

```
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}]

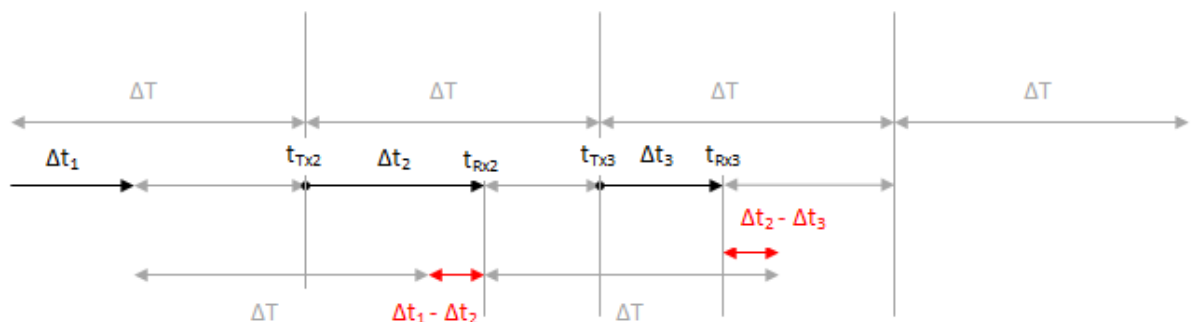
Out[22]= {{D, 0 < D ≤ 10, {x → {D, 0 < D ≤ 10}, y → {0, 0 < D ≤ 10}}}, {-∞, True, Indeterminate, True, Indeterminate, True}}
```

Ebből látszik, hogy az $x = D$, és $y = 0$ -ra teljesül a fent megkívánt feltétel. Persze ez utólag triviális, hiszen a háromszög egyik oldala mindig hosszabb, mint a másik kettő 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:

6. ábra Szekvencia diagram a folyamatról.



ΔT időközönként egy ultrahangos jel bocsájtódik ki. Vételi oldalon nem lehet tudni ennek terjedési idejét (t_{Tx_i}), csak a vétel időpillanatát (t_{Rx_i}). A távolság

meghatározásához Δt_i értékre 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.

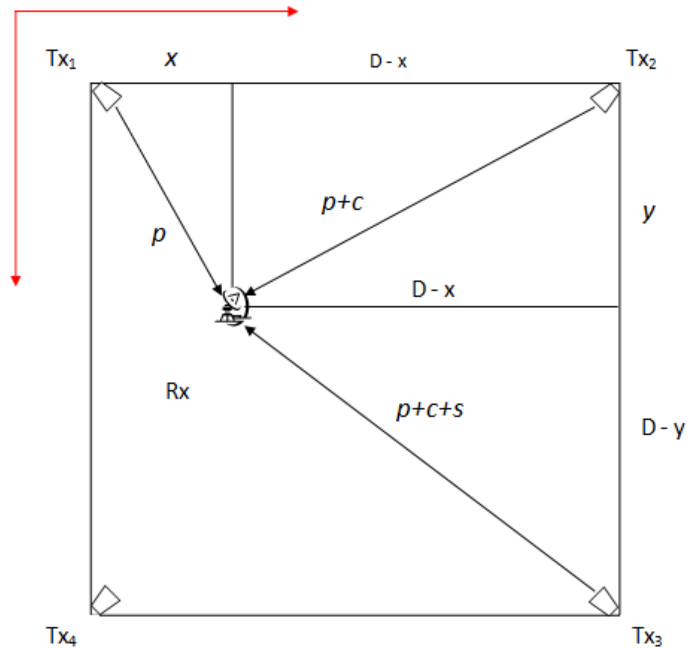
Az ábrán a fekete nyilak hegyei jelölik a vételi időpontokat. Ezen időpillanatokat rögzítjük.

A pozíció meghatározásához ezekből kell kikalkulálni a koordinátákat.

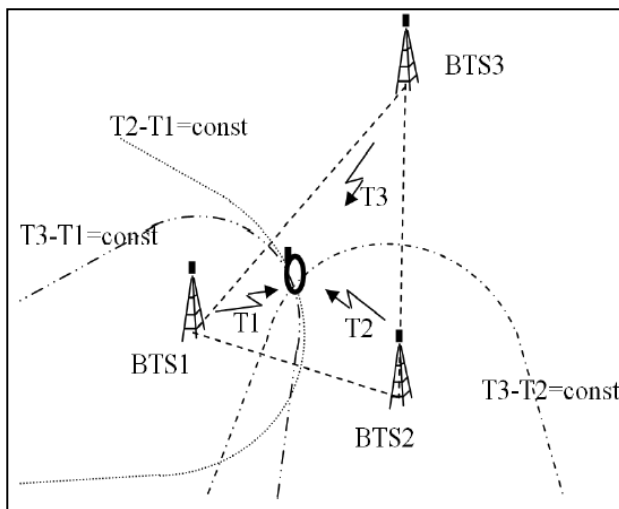
Az 6. ábra mutatja az időbeni lefolyását az adás-vételnek.

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

$\Delta t_{i+1} = \Delta t_i + t_c$, ahol a t_c pozitív, vagy negatív; méréssel megállapítható. (vételi jelek időbeli különbsége).



7. ábra A képletben szereplő jelölések.



8. ábra [6] OTD - Helymeghatározás elve a adóállomásokról küldött jelsorozat, észlelt vételi időkülönbsége alapján.

A számolásnál így írjuk fel Δt_{i+1} -hez tartozó távolságot: $p + c$, ahol c előjeles paraméter, melyet a mért időkülönbségből számolunk.

Tudjuk, hogy azok a pontok, amelyeknek egy bázisállomás-pártól mért távolságkülönbsége állandó, egy hiperbola mentén helyezkednek el. [6] Két hiperbola metszéspontja pedig az objektum síkbeli pozícióját adja.

A 7. ábra mutatja az objektum elhelyezkedését a síkban. Két adó

által sugárzott jelből felírhatjuk az alábbi egyenleteket:

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

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

ahol c és D ismert.

Fejezzük ki x-et a fenti két egyenletből:

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

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

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

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 – mellyel együtt 2 adópárt tudunk felmutatni, ahogy az OTD esetében szükséges.

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

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

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

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

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:

```
In[10]:= Reduce[ $\frac{d^2 - 2 \sqrt{x^2 + y^2} c - c^2}{2 d} == x \ \&\& \ \frac{d^2 - s^2 - 2 \sqrt{x^2 + y^2} s - 2 c s}{2 d} == y \ \&\&$   

 $0 < x < 10 \ \&\& \ 0 < y < 10 \ \&\& \ 0 \leq c < d \ \&\& \ 0 < d \leq 10, y, \text{Reals}] // N$ 
```

9. ábra Függvények közös pontjának keresése

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 formula – tetszőleges értékekkel – példányosított eredménye megadja az x és y – Tx₁ adótól való viszonyítás – 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, \text{Reals}] // N

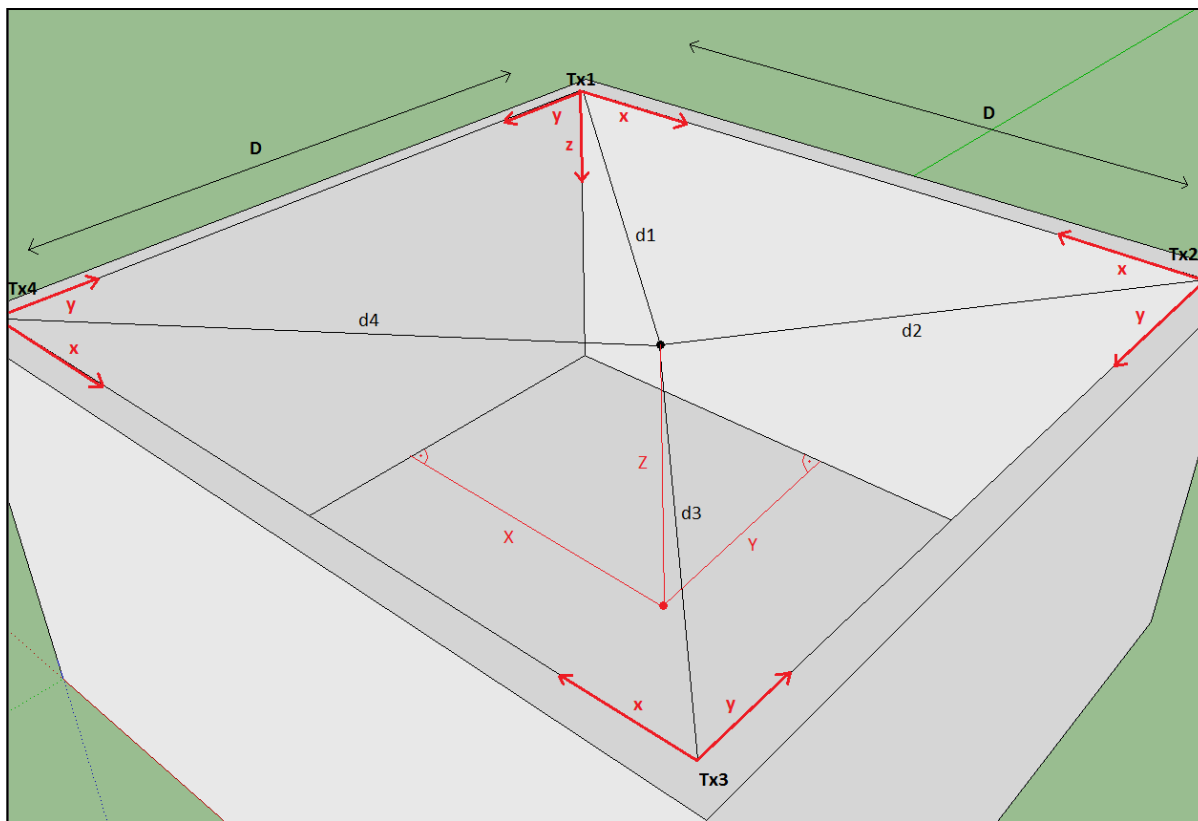
Out[20]= x == 4.43139 \ \&\& \ y == 2.69417$ 
```

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

A szükséges időkülönbségek száma tehát 2, amit 3 adó jeléből meg lehet állapítani. Ezért nem kell a szoba 4 sarkába adóállomás, elég csak háromba, ott viszont figyelni kell arra, hogy ne legyen magasságbeli eltérés, különben azzal is számolni kellene. Tehát az adók és a vevő (adott esetben több vevő) egy síkban kell, hogy legyen.

A következő fejezetben a 3D térbeli pozíció-meghatározást tárgyalom, azonban az egyszerűség kedvéért fontosnak tartottam eme síkbeli esetet is tárgyalni, melyet megvalósításra nem terveztem.

2.1.2 Pozíció-meghatározás 3D-ben



11. ábra A rendszer topológiája a térben.

A számítási módszer hasonló a fentihez. Ez esetben egyel több egyenlettel kell számolni, hogy megkapjunk még egy dimenziót.

A 11. ábra egy belteret ábrázol, melyben az oldalfalak azonos D szélességűek.

Tehát 3 ismeretlen értéket szeretnénk megtudni: $(x \ y \ z)$

Ezek a koordináták, melyeket ez esetben is a Tx_1 adó pontjából kiinduló bázisvektorokhoz tartoznak, az alábbi távolságokat határozzák meg:

$$d_1 = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \quad (3)$$

$$d_2 = \sqrt{(D - x)^2 + y^2 + z^2} \quad (4)$$

$$d_3 = \sqrt{(D - x)^2 + (D - y)^2 + z^2} \quad (5)$$

$$d_4 = \sqrt{x^2 + (D - y)^2 + z^2} \quad (6)$$

Ahol d_i a Tx_1 -től az objektumhoz való távolság. $i = \{1, \dots, 4\}$. A képletekben kék színnel szerepelnek az ismeretlen értékek.

A fentebbi szekvencia-diagramon szemléltettem, hogy $\Delta t_i - \Delta t_{i+1}$ időkülönbségeket tudjuk észlelni, ami a hangsebesség ismeretében könnyen átváltható $d_i - d_{i+1}$ -re is.

Ezekből a mért eredményekből (időkülönbségek) háromra van szükség, hogy a három ismeretlenhez három egyenletet írassunk fel:

$$d_i - d_{i+1} = d_{12} \quad (7)$$

$$d_{i+1} - d_{i+2} = d_{23} \quad (8)$$

$$d_{i+2} - d_{i+3} = d_{34} \quad (9)$$

Ebből látszik tehát, hogy 4 bázisállomás jelére van szükség. Az időkülönbségekből számított távolságkülönbségek egy-egy hiperboloidot határoznak meg, mivel tudjuk, hogy azok a térbeli pontok, amelyeknek egy bázisállomás-pártól mért távolságkülönbsége állandó, egy hiperboloid mentén helyezkednek el.

A (3), (4) és (5) összefüggésekből kifejezhető x , y és z .

A sok elemi számításból való hiba elkerülése érdekében Wolfram Mathematica™ programot használtam (12. ábra).

A program bemenetének megadtam a (3), (4), (5) és (6) összefüggéseket, majd meghívtam a beépített egyenletmegoldó függvényt (Solve) a (7), (8) és (9) egyenletekre. Argumentumként megadtam, hogy az $\{x, y, z\}$ változók értékét szeretném megtudni, valamint, hogy a két gyök közül csak a másodikat szeretném látni. Mivel kezdeti feltétel, hogy csak pozitív x , y és z jöhet ki (nem futhatunk át a falon), ezért azt a megoldást nem jelenítette meg, ahol bármelyik koordinátára negatív érték jött ki. (Ezt persze az első lefutás után állítottam csak be). A számítás nagyon gyorsan lefutott és a kívánt x , y és z értékek paraméteres megoldásával szolgált, mely paraméterek azonban a mért konstansok.

12. ábra Egyenletrendszer megoldása Wolfram Mathematica™ segítségével.

$$d1 = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \quad (* \text{ Tx1-től mért távolság } *)$$

$$\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

$$d2 = \sqrt{(D-x)^2 + y^2 + z^2} \quad (* \text{ Tx2-től mért távolság } *)$$

$$\sqrt{(D-x)^2 + y^2 + z^2}$$

$$d3 = \sqrt{(D-x)^2 + (D-y)^2 + z^2} \quad (* \text{ Tx1-től mért távolság } *)$$

$$\sqrt{(D-x)^2 + (D-y)^2 + z^2}$$

$$d4 = \sqrt{x^2 + (D-y)^2 + z^2}$$

$$\sqrt{x^2 + (D-y)^2 + z^2}$$

$$\text{Solve}[\{d1 - d2 == d12, d2 - d3 == d23, d3 - d4 == d34\}, \{x, y, z\}][[2]]$$

$$\left\{ z \rightarrow \frac{1}{2 d34} \left(\sqrt{D^4 - 6 D^2 d34^2 + d34^4 - \frac{2 D^2 (D^2 d12 + D^2 d34 + d12^2 d34 + 2 d12 d23 d34 + d12 d34^2)}{d12 + d34} + \frac{2 d34^2 (D^2 d12 + D^2 d34 + d12^2 d34 + 2 d12 d23 d34 + d12 d34^2)}{d12 + d34} + \frac{(D^2 d12 + D^2 d34 + d12^2 d34 + 2 d12 d23 d34 + d12 d34^2)^2}{(d12 + d34)^2} - \frac{d34^2 (D^2 d12 + D^2 d34 + d12^2 d34 + 2 d12 d23 d34 + d12 d34^2)^2}{D^2 (d12 + d34)^2} + \frac{4 d34^2 (D^2 d12 - d12^2 d23 - d12 d23^2 + D^2 d34 + d23^2 d34 + d23 d34^2)}{d12 + d34} - \frac{d34^2 (D^2 d12 - d12^2 d23 - d12 d23^2 + D^2 d34 + d23^2 d34 + d23 d34^2)^2}{D^2 (d12 + d34)^2}} \right\}, \\ x \rightarrow \frac{D^2 d12 + D^2 d34 + d12^2 d34 + 2 d12 d23 d34 + d12 d34^2}{2 D (d12 + d34)}, \\ y \rightarrow \frac{D^2 d12 - d12^2 d23 - d12 d23^2 + D^2 d34 + d23^2 d34 + d23 d34^2}{2 D (d12 + d34)} \}$$

Némileg egyszerűsítve az összefüggéseket a
Simplify függvénnyel:

13. ábra Egyszerűsített alakok.

```
In[27]:= Simplify[x] (* Az x szerinti pozíció egyszerűsített alakja. *)
```

$$\text{Out[27]} = \frac{D^2 (d_{12} + d_{34}) + d_{12} d_{34} (d_{12} + 2 d_{23} + d_{34})}{2 D (d_{12} + d_{34})}$$

```
In[28]:= Simplify[y] (* Az y szerinti pozíció egyszerűsített alakja. *)
```

$$\text{Out[28]} = \frac{D^2 (d_{12} + d_{34}) - d_{23} (d_{12} - d_{34}) (d_{12} + d_{23} + d_{34})}{2 D (d_{12} + d_{34})}$$

```
In[30]:= Simplify[z] (* A z szerinti pozíció egyszerűsített alakja. *)
```

$$\text{Out[30]} = \frac{1}{2 d_{34}} \left(\sqrt{\left(-\frac{1}{D^2 (d_{12} + d_{34})^2} d_{34}^2 \left(2 D^4 (d_{12} + d_{34})^2 - 2 d_{12} d_{23}^3 d_{34} (d_{23} + d_{34}) + \right. \right. \right. \\ \left. \left. \left. d_{23}^2 d_{34}^2 (d_{23} + d_{34})^2 + d_{12}^4 (d_{23}^2 + d_{34}^2) + 2 d_{12}^3 (d_{23}^3 + 2 d_{23} d_{34}^2 + d_{34}^3) + \right. \right. \right. \\ \left. \left. \left. d_{12}^2 (d_{23}^4 - 2 d_{23}^3 d_{34} + 2 d_{23}^2 d_{34}^2 + 4 d_{23} d_{34}^3 + d_{34}^4) - \right. \right. \right. \\ \left. \left. \left. D^2 (d_{12}^2 + d_{34}^2) (d_{12}^2 + 2 d_{23}^2 + 2 d_{23} d_{34} + d_{34}^2 + 2 d_{12} (d_{23} + d_{34})) \right) \right) \right)$$

A fenti összefüggésekben (13. ábra) minden paraméter ismert a 4. vett jel után.

Ahogy említettem a D a szoba oldalhosszát jelöli, a többi érték mérhető. Tehát x, y és z már egyértelműen meghatározható.

Habár a koordináták kiszámításához főleg elemi műveletekre van szükség, láthatóan ez elég nagyszámú művelet egy mikrovezérlőnek, melyen csupán egy központi vezérlő egység van; ugyanis ez az egyéb funkciók késedelméhez is vezethet.

Mivel a mobil eszköz - a vevő - össze van kapcsolva egy nagyobb számítási kapacitással rendelkező egységgel. Esetemben egy PC-vel, így ez a kalkuláció átruházható - d_{12} , d_{23} , d_{34} átküldésével - egy soros vonali kommunikáció segítségével.

3. Hardver és szoftverfejlesztés

Elkészített vezeték nélküli hardver, valós idejű szoftver, kommunikációs port, felhasználói szoftver bemutatása.

3.1 Mikrokontroller – PIC24FJ256GB108

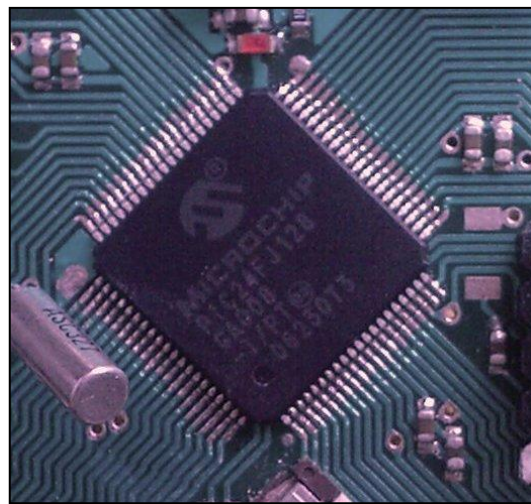
Az adó és a vevő egységek funkcióit a Microchip™ PIC24FJ256GB108 típusú mikrovezérlőjével valósítottam meg, mely - az alábbi tulajdonságaiból eredően - alkalmas volt a feladatra.

3.1.1 Hardverjellemzők [18]

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

Egyéb fontosabb jellemzők:

- 128 KB programmemória
- 8 KB RAM
- 69 I/O láb
- 16 bites PWM felbontás
- 16 csatornás 10 bites ADC
- 5 db 16 bites timer



14. ábra Microchip™ PIC24FJ256GB108

3.1.2 Programozás – MPLAB IDE

A mikrokontrollert a Microchip™ MPLAB™ fejlesztőkörnyezet segítségével programoztam, C nyelven. A fejlesztőkörnyezet rendelkezett debug funkcióval, ami nagy segítség volt a regiszterek menet közbeni kiolvasásánál. A memóriatelítettség kijelzésére is lehetőség volt, így tudni lehetett, hogy a program-, ill. adatmemória mennyire van kihasználva.

A számítógéppel való programozásra pedig egy MPLAB™ REAL ICE állt rendelkezésre; a fordítást egy GCC compiler végezte.

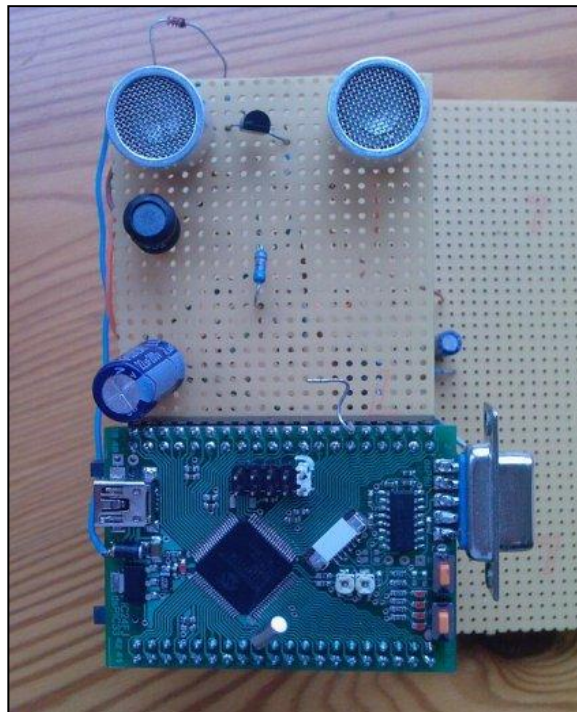
3.1.3 Konfiguráció, beállítások

Az vezérlő órajelet 8 MHz-es belső gyors oszcillátor szolgáltatja, melyet fázis zárt hurokkal (PLL) meg lehetett négyesíteni így elértem a maximális 32 MHz-es órajelet. Az oszcillátorra vonatkozó beállításokat külön konfigurációs fájlban tároltam.

3.2 Távolságmérő prototípus – Transceiver

A 13. ábrán látható az erre a célra készített eszköz, mely ultrahangos adóval és vevővel rendelkezik.

A lapka lelke az PIC mikrokontroller és a (zöld) panel, melyre forrasztva van. A kivezetéseknek köszönhetően programozó kábel segítségével feltölthető rá a programkód, valamint debug funkcióra is képes. A rá szerelt perifériákkal képes kommunikálni, ill. tápfeszültséget is kapni. Tesztcellal, néhány potenciométer, nyomógomb és LED is felkerült.

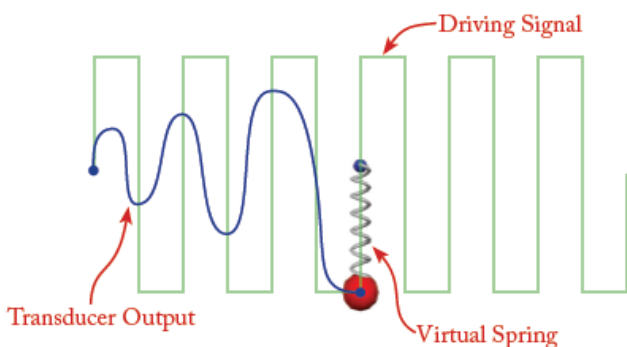


15. ábra Adóvevő prototípus.

Az alatta lévő lapkát két, hasonló témában dolgozó, társammal együtt – Márton Balázssal és Lutz Ádámval - készítettük.

Az elemek a szükséges feszültséget PIC paneljéről kapják, ami viszont USB portról van ellátva. A fejlesztett eszköz kapcsolási rajza a 14. ábrán látható.

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



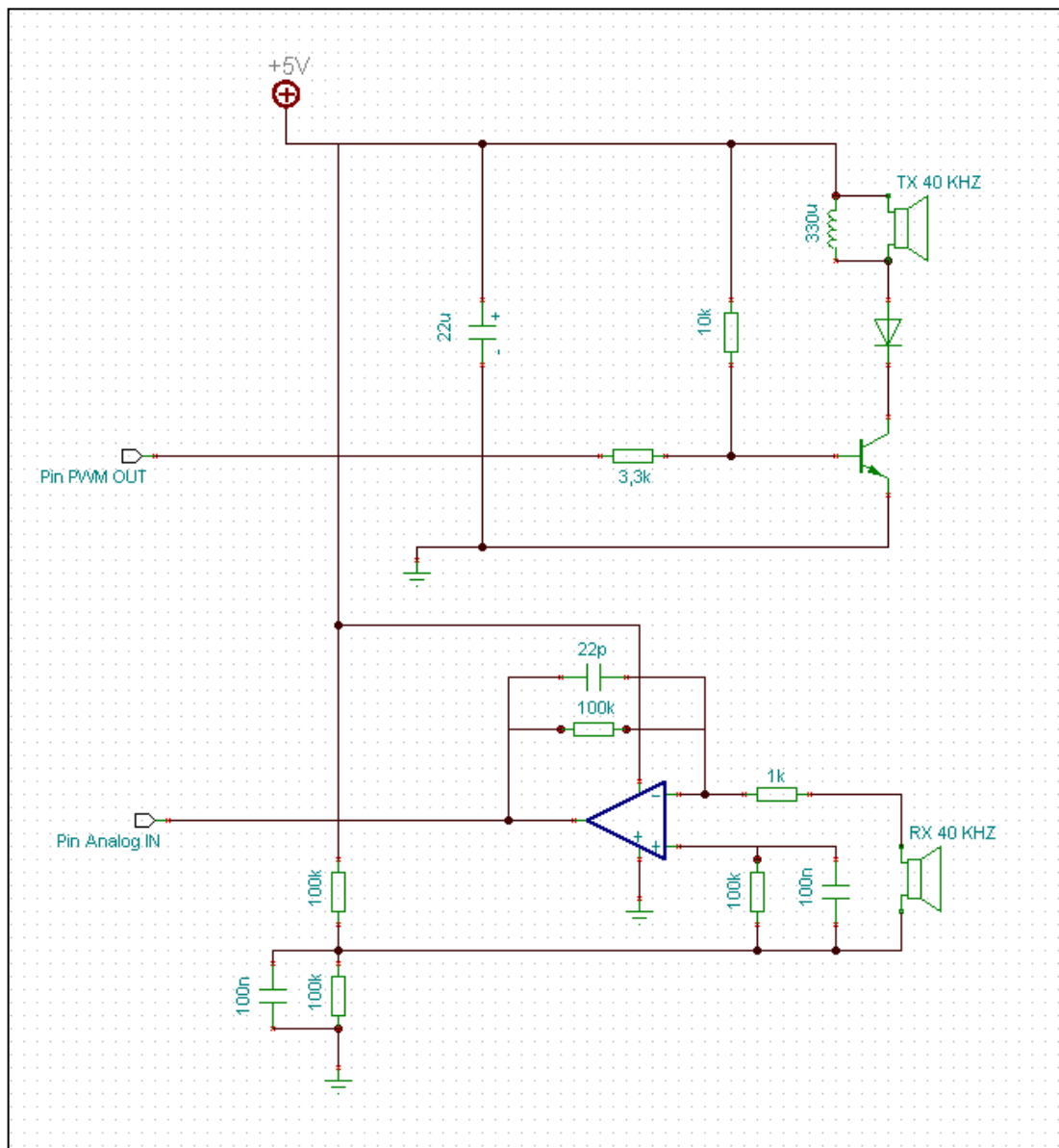
16. ábra [17]

A meghajtó négyzetjelének hatására a mechanikusan működő adó membránja felveszi a gerjesztő rezgés frekvenciáját.

A hangszóró mechanika rugózott tömegének sajátosságát mutatja az ábra.

A felépítését tekintve az eszköz lényegében egy PIC mikrokontrollerből, egy ultrahangos adóból (hangszóró), egy ultrahangos vevőből (mikrofon) és erősítésből áll.

PWM (Pulse With Modulation) módban használt Ouput compare moduljának segítségével egy kimeneti lábon feszültség-impulzusokat küld a tranzisztor bázisára, s így az hangszóró tápfeszültségét változtatja, megszólalásra gerjesztve azt.



17. ábra Adóvevő prototípus áramköri rajza.

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:

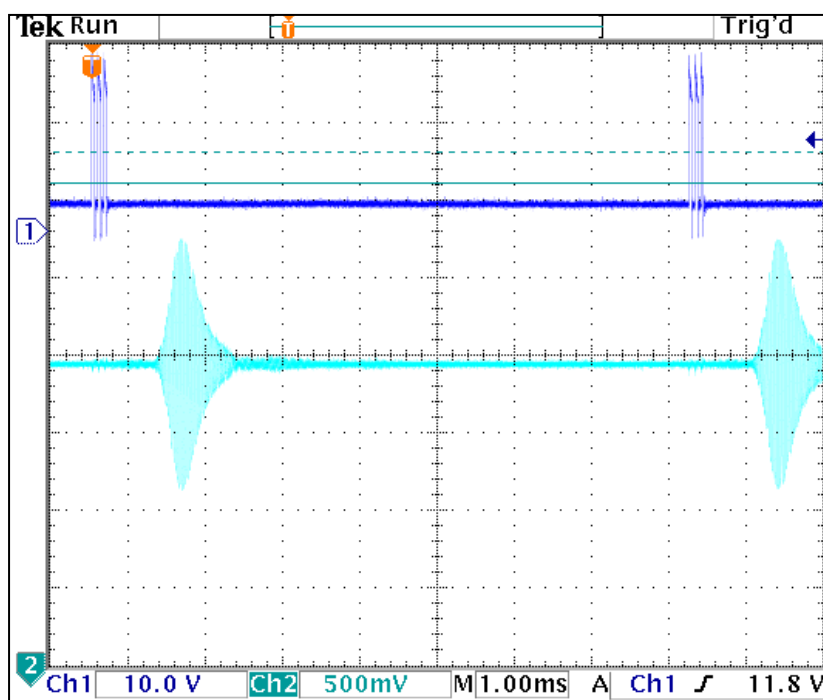
$$z(t) = \sum_{k=1}^n A_k s(t - \Delta t_k),$$

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.

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 már a következő periódus 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 felületi elnyelődések okoznak. Ezt a határt a későbbi fejlesztés során kitöltöm. A detekció és a feldolgozás az alábbiak szerint valósult meg:

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



18. ábra Oszcilloszkópos felvétel detekcióról.

Tudjuk a kiadott hangjelek közti időt. Ebben az időben veszünk 1000 mintát és eltároljuk egy tömbben, majd ezek közül a minták közül kiválasztjuk a legnagyobbat (csúcs detekció). A minta sorszámaival (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, az erősítéssel azonban kb. 120 cm-nél távolabb nem lehetett mérni.

3.3 Adó egység – Transmitter

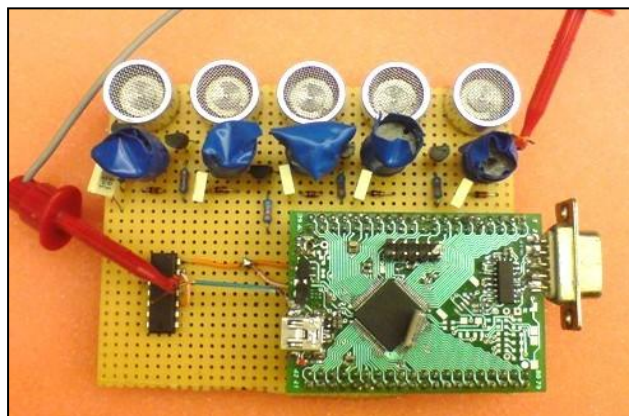
A 17. ábrán egy 5 hangszóróval felszerelt adó látható.

A 13. ábrán szemléltetett adó-vevőhöz képest ez csupán a jelek adására képes, viszont azt egy továbbfejlesztett módon. Ez az eszköz már a fent részletezett specifikáció szerint készült, tehát itt már el lett választva a vevőtől.

A tér három irányában is pozíciót meghatározni képes rendszer 4 adóból áll, melyek 5 voltos tápfeszültségről működnek. A lenti példányból csak egy készült (19. ábra).

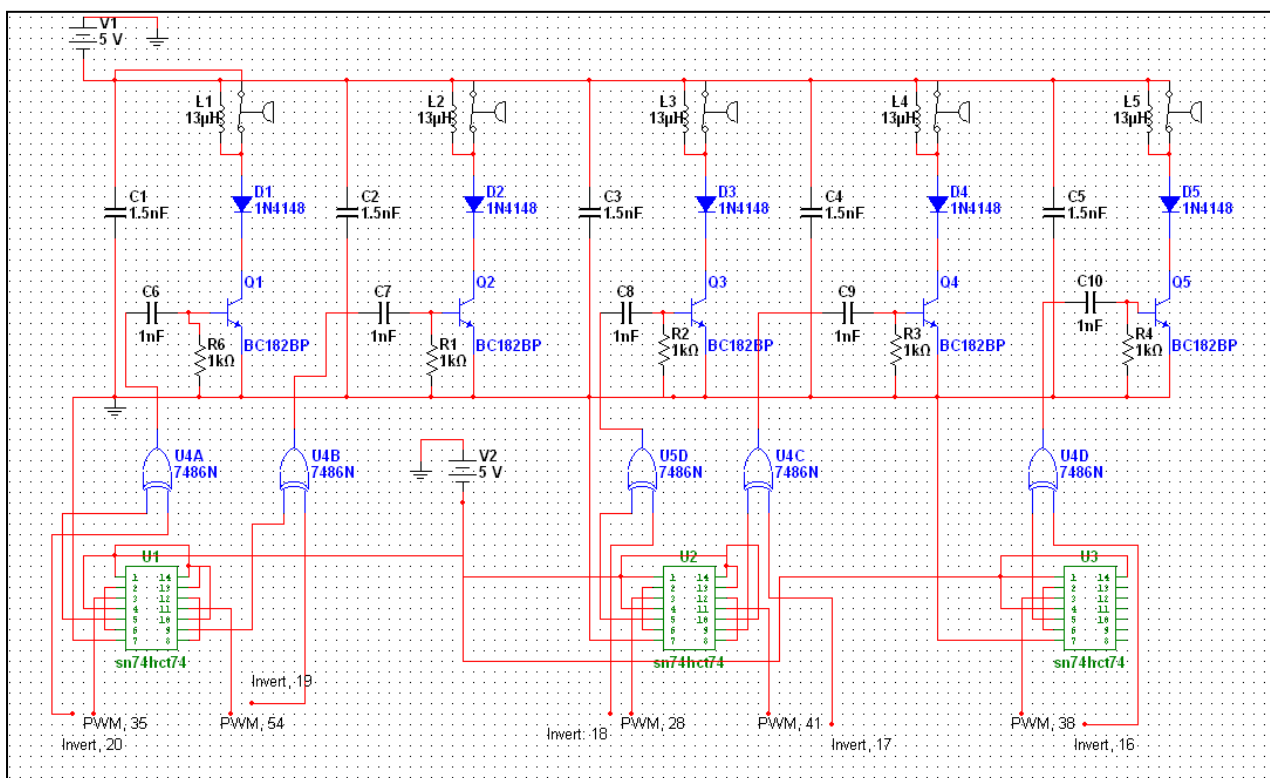
Az eszközt, egy hasonló témán dolgozó, hallgatótársam, Márton Balázs készítette. Én csupán az rendszerparamétereknek a hangszóró frekvenciaválaszához való illesztésében segítettem.

Azzal a céllal készült több hangszóróval, hogy a fáziseltoláson alapuló irányított antennát hozzunk létre. Ezzel pedig úgyszólván pásztázó üzemmódban egy sokkal jobban térlefedő adó legyen használható, ráadásul teljesen elektronikus vezérléssel.



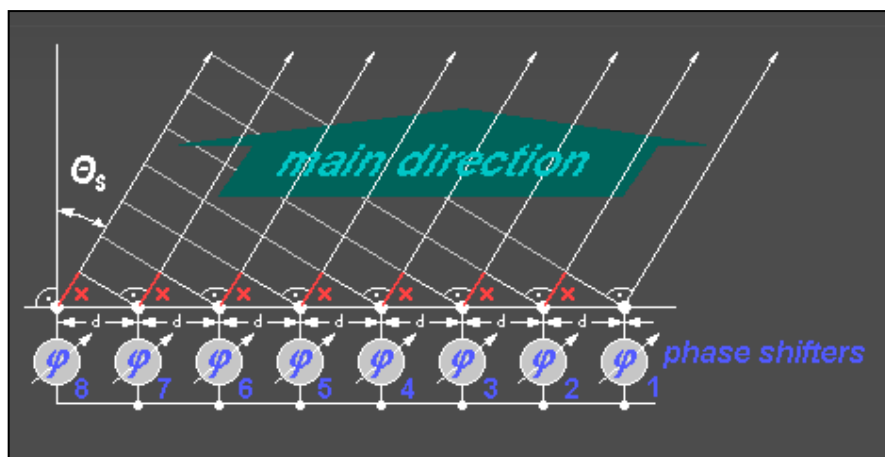
19. ábra 5 hangforrással rendelkező adó.

20. ábra 5 hangszórós adó kapcsolási rajza.



A fáziseltolós irányított antenna elve a hullámok interferáló tulajdonságából ered, melynek során a hullámfrontot a konstruktív interferencia jelensége képi. Ugyanis a nyomáshullám terjedése során, ahol kompressziós zónák egymást keresztezik, konstruktív interferencia jön létre. A konstruktív interferencia miatt az egyedi kis hullámok erősítik egymást és a teljes nyomáshullám több kis hullám eredőjeként jön létre. Azokon a területeken, ahol az egyedi hullámok kompressziós zónái egy másik hullám ritkulási zónáival találkoznak, destruktív interferencia alakul ki.[4]

Így a hullámfront a hangforrások fáziseltolásával állítható (21. ábra).



21. ábra
Hullámfront
irányultsága a
jelforrások
fázisainak
eltolásával. [4]

A fáziseltolások az egyes forrásokra nézve mindig $\Delta\varphi$ az egymás mellettiekhez képest.

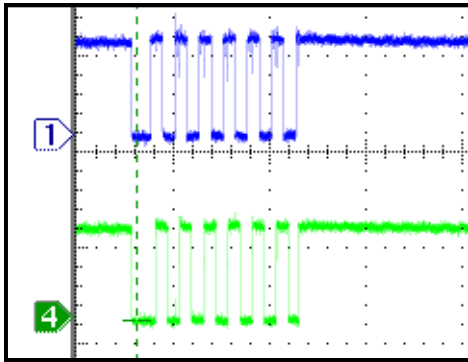
$$\Delta\varphi = \frac{d \cdot 360^\circ \cdot \sin \theta}{\lambda}$$

[5]

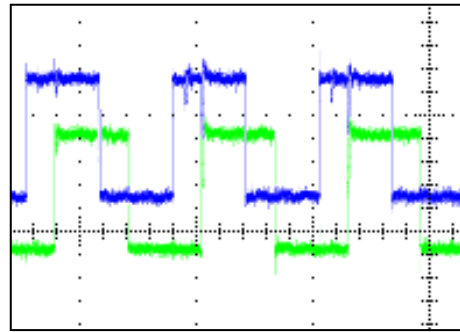
d = a jelforrások közötti távolság

θ = hullámfront kitérése az egyenestől

λ = hullámhossz



22. ábra Fáziseltolás nélküli meghajtó kimenet.



23. ábra Fáziseltolt meghajtó kimenet (eltérő oszcilloszkóp beállításokkal, mint a 22. ábra).

Későbbi mérések bizonyították, hogy az 5 ultrahangos hangszóró önmagába is sokkal jobb, sőt kielégítő lefedést biztosít, így a pásztázásra nincs szükség, habár a hozzá tartozó szoftveres meghajtás is elkészült; a mérésre azonban nem került sor.

A vevő erősítő fokozatainak beállítására tehát az egyszerű, azonos fázisú impulzusokat sugárzó, 5 hangszórós eszközt vettem alapul.

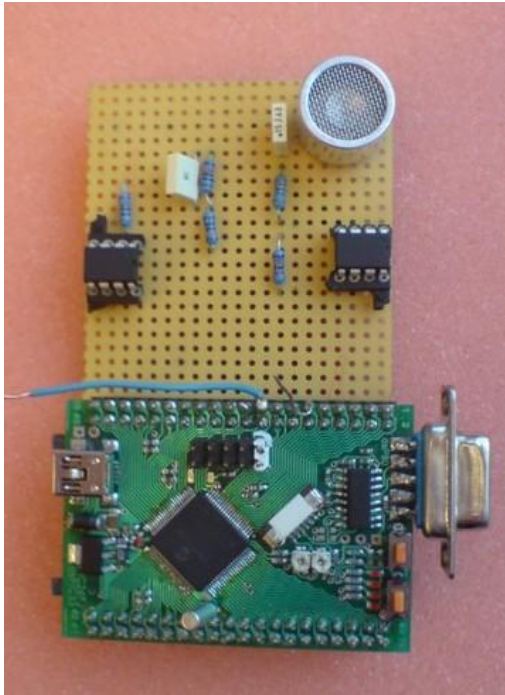
Az eszköz a beállítások átküldésére, mint a fázisszögek beállítására, debug-olásra , vagy egyéb vezérlőfunkciók közlésére, soros vonali porttal rendelkezik, ám ezekre nincs feltétlenül szükség a működéséhez. Az adóállomások kábeles összeköttetéstől mentesek.

3.4 Vevő egység – Receiver

A vevő, mely a korábbi adóvevő prototípusból lett átalakítva.

5 voltos tápfeszültségről, saját szoftvere által képes üzemelni a mikrofonjának köszönhetően az ultrahangos tartományban, egészen pontosan a 40 KHz-en, a legérzékenyebben.

24. ábra Vevő egység.



A legnagyobb elérhető erősítés 29 dB, a legkisebb 1,8 dB. Ezekkel az értékekkel a legnagyobb mérhető távolságtartomány ideális esetben 10 méter, a legkisebb pedig 1 méter.

A túlzottan közeli vétel a műveleti erősítőben, a tápfeszültségének megközelítése miatt, a nemlineáris tartományba való kerülés eredményez, ami nem kívánatos a mintavételezésnél.

A felerősített jelet az áramkör a mikrokontroller analóg bemeneti lábára vezeti, ahol a nagy sebességű analóg-digitális átalakító az előre beállított referenciaértékeknek (3,3 V és GND) megfelelően 500 kps sebességgel konverziót végez, majd azt egy 10 bites eredmény pufferben tárolja.

A mikrokontroller V_{DD} feszültsége 3.2 V, így ez az, ami miatt be kell tartani a felső korlátot; az alsót pedig a minél pontosabb mintavételezés érdekében.

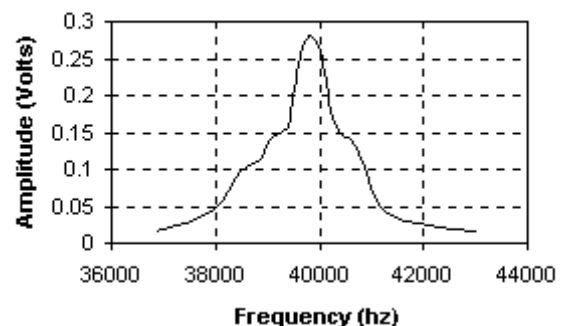
A tesztelhetőség kedvéért a mintavett értékeket, melyek 0 és 1023-közé estek megvalósított soros vonali adatcserével átküldtem számítógépre, ahol egyéb módon feldolgoztam.

A 21. ábrán látható vevő kétfokozatú műveleti erősítéssel van ellátva.

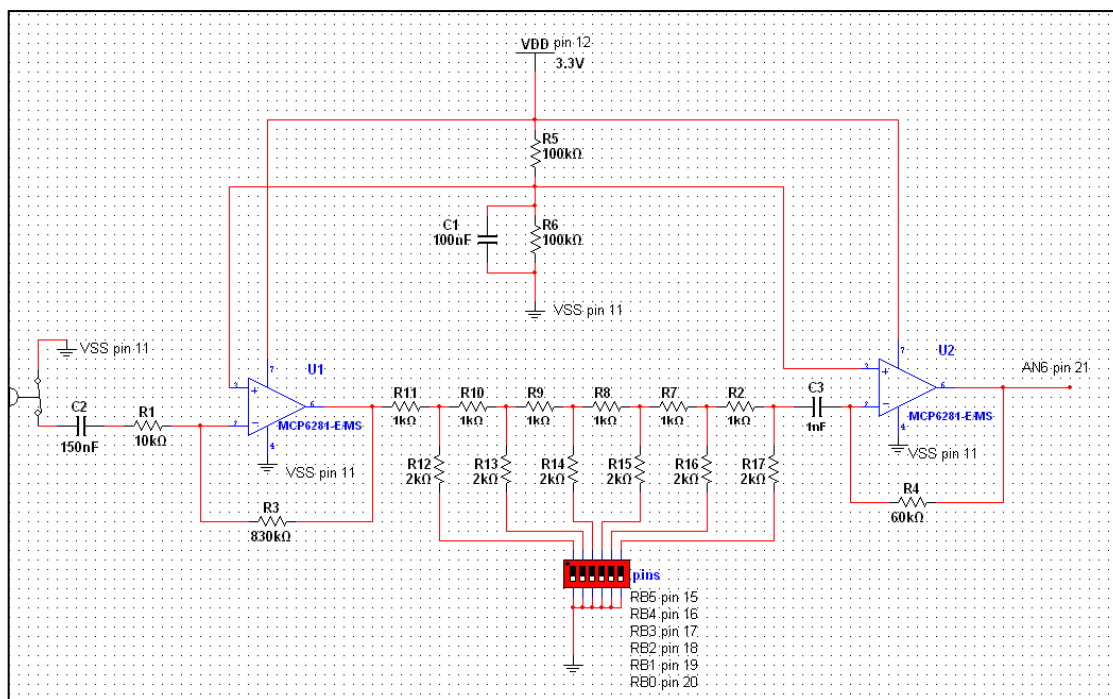
Melyek közül az egyik tovább van osztva további 6 fokozatra, melyek között a mikrovezérlő a jelerősség függvényében a működés során folyamatosan kapcsolgat, biztosítva ezzel a lineáris működést.

Kívánt bejövő jelszint maximum 3 V, min. 2V. Bármely határt meghaladóan a szoftver egyel magasabb, vagy éppen egyel alacsonyabb fokozatra kapcsol, így biztosítva a 2-3 voltos amplitúdójú jelet, melyet a szoftver folyamatosan mintavételez.

25. ábra A mikrofon frekvenciaválasza



26. ábra A vevő kapcsolási rajza.



3.5 Soros vonali kommunikáció

A számítógéppel való összeköttetésre ezt – a hasonló rendszerekben is használt - kapcsolatot használtam.

A szemléltető ábrákon, látszik, hogy mind az adón, mind a vevőn megtalálhatók az RS232 típusú interfészek. A 32 MHz-en működő PIC mikrokontroller UART modulja a lehető legjobban támogatja a végberendezés és a számítógép közötti kapcsolatot.

UART által használt logikai szinteket egy MX232 nevű IC átkonvertálja RS-232 átviteli jelszintekre.

PC-re írt számos program rendelkezésre áll a kommunikáció szabványos lebonyolítására, mint például a Microsoft™ HyperTerminal, vagy a Bray++ Terminal, nem utolsó sorban pedig az NI Labview™ szoftver, mellyel a felhasználói programot is készítettem. A mikrovezérlőre viszont meg kellett írni a kommunikációt kezelő utasításokat.

Hardver megszakítást használtam a bejövő adat detektálására, mely egy regiszter telítettségét jelezte vissza. Majd az interrupt szervíz rutinban (ISR) megvalósítottam a bejövő bájtok tárolását egy ring buffer használatával. Ezzel az adatstruktúrával az behelyezett és a kivett adatok cirkulárisan követik egymást, így biztosítva, hogy a bejövő adatok ne torlódjanak össze és ne okozzanak adatvesztést.

A főprogram a nem üres buffer esetén meghív egy feldolgozó eljárást, ami a bufferben tárolt bájt sorok - karakterek – értelmezését hivatott elvégezni. Egészen

pontosan az előre definiált utasítás sztringekkel való egyezést keres, és ha talál, akkor a hozzá tartozó utasításokat, vagy függvényhívásokat végrehajtja.

Ilyen például az adó eszköznél a fáziseltolás regiszterek állítása. A=060 jelenti az első hangszóró PWM fázisának beállítását 60-ra. De tesztjelleggel való LEDON és LEDOFF, LED kapcsolgatására szolgáló parancsszavak is definiálva vannak.

3.6 Megjelenítő és vezérlő szoftver

Két PC-n futó szoftverre volt szükség, hogy az adó- és vevőegységeknek működés közben parancsokat lehessen adni, ill. kapott információkat lehessen megjeleníteni. Mindkét eszközön az átadott információk egy nyugtázó üzenettel jelezték a parancs értelmezését. Ezért a visszakapott szöveges üzenetek egy szövegdobozban kerültek megjelenítésre, nem mellékesen pedig a kiadott parancsok is.

3.6.1 Adó oldali beállító program

A tervezett fáziseltolásos pásztázáshoz szükséges szögértékek számítására, valamint azok - soros vonalon történő – átvitelére egy Labview™ program lett fejlesztve, melyet Lutz Ádám hallgatótársam készített. A program tudja továbbá a kiadott és vett szöveges üzenetek megjelenítését, valamint a kommunikációs port kiválasztását és a beépített VISA - standard I/O API - hibamegjelenítését.

3.6.2 Vevő oldali megjelenítő program

A vevőhöz tartozó PC-s Labview™ programot úgy alakítottam ki, hogy a kiadott és vett üzenetek megjelenítése mellett képes legyen a mikrokontrollertől kapott - AD konverzióval előállított – vételi jelszintet megjeleníteni egy grafikonon (chart). A mikrokontroller az adott időegységben folyamatosan mintavételez és maximumot keres (csúcs detekció), majd azt konvertálja egy 10 bites értékké, ezt pedig soros vonalon átküldi, a program pedig szemléltetés céljából kirajzolja.

3.7 A rendszer pontossága

A specifikációban megfogalmazott működési elv szerint a térbeli pozíció meghatározásához 4 adó vett jele szükségeltetik. A küldött jelek között meghatározott ΔT adási időkből tehát 4-et kell kivárni, hogy a helyzet számítható lehessen. Egy ötödik időrés pedig jelzi a vevő számára az adási szekvencia elejét, vagyis az első adó azonosítását, amiből aztán a többi adó sorrendjét is tudni lehet. Így tehát $5 \cdot \Delta T$ időközönként lehet nyomon követni a pozíciót; ez 34 Hz-es frissítési frekvenciát jelent

egy 10 x 10-es szoba esetén, amelyre eredetileg is fel lettek készítve az ultrahangos eszközök erősítései.

Álló helyzetben a vevő elvi pontatlansággal nem rendelkezik. Mozgás közben azonban – a jelek közti várakozások alatt – a mért értékek hibával terheltek. A folyamatos elmozdulás által minden időkülönbségben - amit mérünk – hiba adódik az elmozdulási irány szerinti koordinátához. A feltételezett távolságok tehát az alábbiak szerint módosulnak:

$$d_1 = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

$$d_2 = \sqrt{(D - x + e_{x2})^2 + (y + e_{y2})^2 + (z + e_{z2})^2}$$

$$d_3 = \sqrt{(D - x + e_{x3})^2 + (D - y + e_{y3})^2 + (z + e_{z3})^2}$$

$$d_4 = \sqrt{(x + e_{x4})^2 + (D - y + e_{y4})^2 + (z + e_{z4})^2}$$

Ebből adódóan pedig a mért időkülönbségekhez tartozó távolságok:

$$d_i - d_{i+1} = d_{12} + e_{12}$$

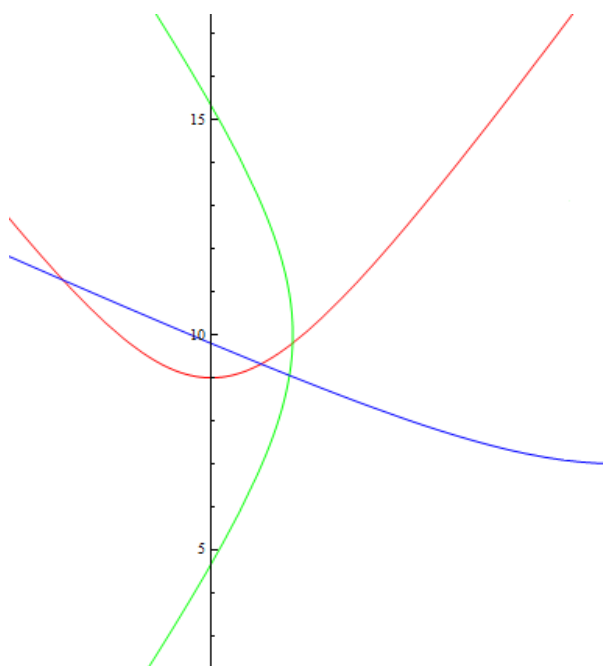
$$d_{i+1} - d_{i+2} = d_{23} + e_{23}$$

$$d_{i+2} - d_{i+3} = d_{34} + e_{34}$$

Mivel ezek az időkülönbségek határozzák meg - a 3D térben - az egymást metsző hiperboloidokat, ezért szemléletesen is megmutatható, hogy a három egyenletnek nem lesz közös pontja, tehát megoldásuk sem (27. ábra). $3 \frac{m}{s}$ sebességgel – futó ember sebessége – távolodva az első vevőtől (T_{x1}), a legrosszabb esetben több mint 3 cm-el tér el a számított a kezdeti pozíciótól.

Ezen elvi hiba mellett a megvalósítás módjának is vannak korlátai:

A vételi oldalon az érkező jelek



27. ábra Bázisállomásokhoz tartozó hiperboloidok [x, y] síkkal párhuzamos síkmetszete.

mintavételi frekvenciája 200 KHz; ezt az A/D modul mintavétel és konverziós ideje adja, mely folyamatosan működik a főprogramban. Ezt mintavételi és konverziós ciklusidőt oszcilloszkóp segítségével mértem ki. Ez az $5\mu\text{s}$ -os mintavételi időköz pedig kisebb mérési hibát okozhat, ha a bejövő jelcsomagnak nem tudjuk detektálni pontosan az elejét. Legrosszabb esetben, a mért időkülönbségből számolt távolságkülönbség hibája 1,7 mm, ami egy pozíciómérési ciklus minden vételénél előfordulhat, de mivel az azonos mértékű detektálási hibák - annak okán, hogy időkülönbségeket mérünk - kivonódnak egymásból, ezért nem okoznak olyan nagy problémát.

Az adások számára időosztásos módszerrel (TDMA) van megoldva, így minden jelcsomag (burst) számára biztosítva van a 40 KHz-es csatorna az adásának idejére. Ha egyéb zavaró jelenség nincs, például többutas terjedés, nem linearitás, stb. - vagy elhanyagolható -, akkor a biztos lehet az jeladó, hogy sikeresen sugárzott, a vevő pedig biztonsággal hiheti azt, hogy az adott szignál attól jött, akitől hiszi. Ez egy jól működő koncepció, elvben. Ugyanakkor gondot okozhat, hogy a szekvencia éppen a megfelelő időbeosztásban elinduljon.

Kezdetben tehát be kell ütemezni, hogy az első adó indulása után a második ΔT idő után induljon el, a harmadik $2 \cdot \Delta T$ után, majd hasonlóképpen a negyedik is. Ez megoldható egy indító (starter) eszközzel – helységbe való installálás előtt-, mely adott esetben csak annyit tesz, hogy egyszerre mind az négy adóra ad egy külső megszakítást (external interrupt) ami inicializálja az órákat és mindegyik felveszi az adási ciklusát a megfelelő időeltolással. Egy újraindításnál azonban meg kell ismételni a folyamatot, mely a rendelkezésre állást némiképp csorbítja.

Másik komoly probléma, hogy az elindított órák (timerek), melyek az oszcillátor frekvenciája szerint futnak, nem maradnak szinkronban. A mikrovezérlőn megtalálható oszcillátor frekvenciája hőmérsékletfüggő, valamint az idő előrehaladtával további pontatlanságra is szert tesz; frekvenciastabilitása ± 50 ppm. 30 milliszekundumos adási idők mellett ez nem elfogadható érték.

4. Eredmények értékelése

A beltéri ultrahangos távolságmérésben és helymeghatározásban való ismeretek elmélyítés után kiderült, hogy a magas frekvenciás hanghullámok alkalmasak alacsony költségű és jó minőségű helymeghatározás végzésére. Ugyanakkor ez is, mint számos rádiófrekvenciás rendszer, melyekkel sok esetben analóg az elv, jónéhány veleszületett problémával rendelkezik. A hang terjedési zavarai a lefedettségi hiányosságok, feldolgozási sebesség, detekció, szinkronizálás, rendelkezésre állás, fogyasztás, hiba- és kivételkezelés, megbízhatóság, mind olyan kihívások - a teljesség igénye nélkül -, melyekkel a vezeték nélküli kommunikációs rendszereknek szembe kell nézniük; így ezek számomra is sok gondot jelentettek a tervezés és a kivitelezés során egyaránt.

Több, számomra szimpatikus rendszert sikerült megismernem az irodalomkutatás során, mely mindegyik a saját céljához és lehetőségéhez mérten volt megkonstruálva. A használni kívánt módszerek és eszközök kiválasztásánál meg kellett vizsgálnom a létező megoldások tulajdonságait, hogy azoknál jobbat, vagy éppen ugyanolyan jól tudjak megvalósítani.

A korábban ismeretlen mikrokontroller kitanulása is a megismerési folyamat része volt, főleg az oszcillátorral kapcsolatos beállítások, valamint OC, ADC, UART modulok konfigurálása. Ezekben sokat segített két, a Microchip™ PIC mikrovezérlő programozásról szóló könyv [1] [2]. A hardversajátosságok miatt a C nyelven történő programozás is a kihívással teli feladat volt.

A követelményekben megfogalmazottak szerint létrejött egy adó és egy vevő egység, melyeket egy próba célú adó-vevő eszköz előzött meg. Ez utóbbi sokat segített, hogy a másik két egység sikeresen megvalósuljon. Az adó oldalon létrejött egy eszköz, mely képes a lefedettség kívánalmainak teljesítésére – mind hardveres, mind szoftveres szinten - és ezáltal az elvárt cél megvalósítására.

A vevő oldali eszköz kialakítása sok megfontolást igényelt hardveres szinten, főleg az erősítés meghatározásánál. Az adaptív működésű erősítés, melyet automatikusan átkapcsol (Automatic Gain Control - AGC) egy másik fokozatba, nem megfelelő jelszint esetén, elengedhetetlen feltétel volt, hogy dinamikus távolságtartományokban is használni lehessen a vevőt. A megírt szoftver, mely a mikrovezérlő gyors feldolgozási sebességének köszönhetően, valós idejű működést biztosít képes a bejövő jeleket mintavételezni, majd azokat továbbítani soros vonalon keresztül további feldolgozásra, közben pedig szöveges parancsok fogadására és szöveges üzenetek továbbítására is képes. Tehát az eszköz, mind hardveres, mind szoftveres

szinten az elvártak szerint - megfelelően beállított paraméterek esetén – képes működni.

Mivel az eszközök hardveresen véglegesen ki lettek alakítva – szoftveresen pedig szükség szerint változtatható -, ezért nyomtatott áramkörön sokszorosíthatóvá váltak.



28. ábra Nyomtatott áramkörön megvalósított adó-vevő.

A 23. ábrán látható példány egy, még nem teljesen összeszerelt, adó-vevő eszköz. Adó-vevő, mert mindkét oldali hardveres tulajdonsággal rendelkezik; integrálva vannak rajta az adó és a vevő áramkörök is. Ez az univerzális megközelítés teszi lehetővé, hogy a szoftver cseréjével a tetszőleges működést produkálja az eszköz. A felső hangszórósor biztosítja a forrásokat, az alattuk lévő pedig a vételt (mikrofon). Ezzel olyan rendszer is megvalósítható, melyben az adó tölti be a mozgó objektum szerepét (aktív), aminek a pozíciója kérdéses, a többi pedig a vételi feladatot látja el (passzív) és egy másik - az általam bemutatottól eltérő – helymeghatározási elv szerint működik.

Az elkészült adó oldali Labview™ program soros vonali kapcsolaton keresztül képes konfigurálni a mikrokontroller által megszólaltatott források fázisbeállításait. Ez azonban egy nem használt funkció. Egyébként a számítógéppel való kapcsolat, debugolás szempontjából lehet fontos, különben pedig nincs rá szükség. Nem úgy, mint a vevő oldalon, ahol bejövő értékek feldolgozását, majd a megjelenítést is meg kell oldani. Ahogy említettem, a kapott értékeknek csak közvetlen megjelenítése van megoldva; az értékek feldolgozása, tehát a helymeghatározási számítások elvégzése még hátra van.

5. Továbblépési lehetőségek

A specifikált rendszer pontosságát illető elvi - tehát a megvalósítás minőségétől független – hiányosság, ami az adások között eltelt idő miatt lép fel csökkenteni lehet az adóállomások topológiájának átrendezésével, azáltal, hogy közelebb tesszük őket. Így a ΔT -t lerövidíthetjük. Persze csak, ha megengedhető az alkalmazás céljának szempontjából.

Ami a megvalósítás pontosságának hibáját illeti, a szinkronizáció nem valósítható meg csupán kezdeti inicializálással. Nem hiába vannak a műholdas helymeghatározó rendszerek atomórával felszerelve. A szinkront fenn kell tartani, azáltal, hogy periodikus időközönként inicializálni kell. Ez megoldható RF adóvevőkkel, melyekkel azonban a hardverkiépítés bonyolódik, s a hibát se lehet teljesen megszüntetni, viszont egy érték alá lehet redukálni.

A pozíció koordinátáit meghatározó egyenletek közös megoldásait a különböző metszéspontok mértani közepével lehetne helyettesíteni. Ez jó közelítés lenne, lévén, hogy a pozíció várható értéke - a nagy számok törvénye szerint – a helyes értékhez tart.

Az időosztásos elv lecserélésével, ezáltal pedig a specifikáció megváltoztatásával, létre lehetne hozni egy olyan rendszert, ahol az adók úgy oszthatnak a csatornán, hogy nem kell időben várakozniuk. Ezt kódosztásos hozzáféréssel lehetne megoldani, pszeudorandom jelsorozat hozzáadásával és korrelátoros vevővel. A spektrumkiterjesztéssel pedig nem csak az ütközések okozta hibákat lehetne kiküszöbölni, hanem többutas terjedésből és fadingből adódó anomáliákat is [19].

Összefoglalás

A dolgozatomban bemutatott néhány létező megvalósítás említésével szerettem volna bizonyítani, hogy az általam megkezdett törekvések nem hiábavalóak, már csak azért sem mert számos tapasztalatot szereztem az elektrotechnika, kommunikációs rendszerek, hardver közeli programozás és helymeghatározó rendszerek témakörében.

A feladatkiírás szerint megfogalmazottaknak eleget tettem a következők szerint:

Áttekintettem az ultrahang, terjedéssel kapcsolatos fizikai ismereteket, vizsgáltam a beltéri helymeghatározásban elfoglalt szerepéről, alkalmazásainak sokféleségéről, szűkebben pedig egyéb felhasználási területeiről is.

A rendelkezésre álló lehetőségek mellett és az elképzeléseim által, valamint az irányadó konzultációk során kialakult specifikációt megfogalmaztam.

A hozzá szükséges hardveregységeket (olykor kooperatíván) megterveztem az alkatrészek paramétereit illesztettem, az optimális működési jellemzőket pedig törekedtem megvalósítani. Szimulációt is végeztem egyes részegységek működését illetően, majd kiviteleztem a vevő eszközt (az adót nem én kiviteleztem) – a forrasztási munkával együtt -, valamint dokumentáltam a fontosabb lépéseket. Ez elkészülés után és alatt is folyamatosan teszteltem - általában oszcilloszkóp segítségével. Igyekeztem szem előtt tartani a későbbi felhasználás meg nem fogalmazott követelményeit is.

A mikrokontrollerre való programírás érdekében tájékozódtam a szakirodalomban, elsajátítottam a szükséges programozási ismereteket: ISR írását, I/O pin map-pelést, regiszterek kezelését, etc. Ennek segítségével C nyelvű programkódot fejlesztettem a fent említett architektúrára (adó meghajtó szoftverét nem), mely jelfeldolgozási feladatokat lát el, ill. soros vonali kapcsolatot kezel.

Megjelenítésre alkalmas, felhasználóbarát Labview™ programot készítettem (vevőhöz tartozót), mely képes soros vonali kommunikációt kezelni.

Tehát előkészítettem a szükséges programkódokat - melyek persze a rendszerbe integrálás után még kiegészíteni, vagy módosítani kell -, felhasználói programot írtam a vételi eszközhöz. Azonban a hardveregységeket nem sikerült a megfelelő példányszámban elkészíteni, hogy az egységteszt megvalósuljon. A nyomtatott áramkörök elkészültek, de nincsenek összeszerelve; ezeknek az összeforrasztásuk és tesztelésük is precíz és időigényes folyamat. Egy teljes rendszerhez 6 működő

adó-vevőre van szükség. Csak ennek teljesülése esetén lett volna lehetőség az elvi és mért eredmények összehasonlítására.

Úgy gondolom azonban, hogy ilyen sokrétű feladat elvégzése mellett eleve kevés esély volt a teljes megvalósításra, hiszen mind hardveres mind szoftveres szinten majdnem teljesen a semmiből kellett létrehozni a jelenlegi technikát.

Köszönetnyilvánítás

Köszönet illeti konzulensemét Tihanyi Attila Tanár Urat, aki szakértelmével elősegítette a tanulási folyamatomat, valamint készséges rendelkezésre állással hozzájárult a dolgozatom megírásához. A laboreszközöket rendelkezésre bocsájtotta, a nyomtatott áramköröket megtervezte és legyártatta, a terem- és géphasználatot mindig biztosította.

Irodalomjegyzék

- [1] L. D. Jasio , *Programming 16-Bit PIC Microcontrollers in C - Learning to Fly the PIC24*, Burlington, 2007
- [2] L. D. Jasio , *Programming 32-Bit PIC Microcontrollers in C – Exploring the PIC32*, Burlington, 2008
- [3] *Calculation of the Speed of Sound in Air and the effective Temperature* [Online]. Elérhető: <http://www.sengpielaudio.com/calculator-speedsound.htm>
- [4] *Ultrahang nyaláb* [Online]. Elérhető: http://www.radiologia.hu/radiwiki/index.php/Ultrahang_nyaláb
- [5] C. Wolff. (2008). *Phased array antenna* [Online]. Elérhető: <http://www.radartutorial.eu/06.antennas/an14.en.html>
- [6] Takács György, „*Helymeghatározás mobiltelefonnal és mobil hálózattal*”. Híradástechnika, 2008/08
- [7] *Celestial navigation* [Online]. Elérhető: http://en.wikipedia.org/wiki/Celestial_Navigation
- [8] G. Hein, M. Paonni, V. Kropp, A. Teuber, „*GNSS indoors - Fighting the fading*”, Working papers, 2008/03-04
- [9] Sonitor.com. (2009). [Online]. Elérhető: <http://www.sonitor.com/>
- [10] Z. Xiang, S. Song, J. Chen, H. Wang, J. Huang, X. Gao. „*A wireless LAN-based indoor positioning technology*”, IBM Research Division, IBM China Research Laboratory, IBM Journal of Research and Development, vol. 48, pp. 617 – 626, 2010/04
- [11] Wikipedia.org. (2010). *Inertial navigation system* [Online]. Elérhető: http://en.wikipedia.org/wiki/Inertial_navigation_system
- [12] Wikipedia.org. (2010). *Ultrasound Identification* [Online]. Elérhető: http://en.wikipedia.org/wiki/Ultrasound_Identification
- [13] Wikipedia.org. (2010). *Real-time locating* [Online]. http://en.wikipedia.org/wiki/Real-time_locating
- [14] International Standardization for Organization. (2006). *ISO/IEC 24730-2:2006* [Online]. Elérhető: http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=40508
- [15] Iowa State University. (n.d.). *Attenuation of Sound Waves* [Online]. Elérhető: <http://www.ndt-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Ultrasonics/Physics/attenuation.htm>
- [16] *Indoor positioning system (IPS), goes where GPS can't*. (n.d.). [Online]. Elérhető: <http://aurmoth.blogspot.com/2008/01/indoor-positioning-system-ips-goes.html>
- [17] A. Bry, M. Cavolowsky, M. Donahoe, A. Roldan - Olin College of Engineering. (2006). *Ultrasonic Positioning System* [Online]. Elérhető: <http://embedded.olin.edu/ultrasonic/files/handouts.pdf>

[18] Microchip Technology Inc.(2009), "*PIC24FJ256GB108 Family Data Sheet*"

[19] 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

[20] M. I. T. Computer Science and Artificial Intelligence Laboratory. *The Cricket Indoor Location System* [Online]. Elérhető: <http://cricket.csail.mit.edu/>

[20] (2010). *HX17TK Ultrasonic Positioning System* [Online]. Elérhető:
<http://www.hexamite.com/hx17.htm>