

# Önálló laboratórium beszámoló

**Dolgozat címe:** Beltéri ultrahangos távolságmérésen alapuló helymeg- ...

határozás pontosságának javítása .....

Konzulens(ek) 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: Bácskai Gergely Mór

Képzés: Mérnök Informatikus BSC

Leadás dátuma: .....

# TARTALOMJEGYZÉK

|                                                   |    |
|---------------------------------------------------|----|
| Tartalomjegyzék.....                              | 2  |
| A feladat rövid ismertetése .....                 | 3  |
| Az alapötlet.....                                 | 3  |
| Mi is az az ultrahang? .....                      | 3  |
| A távolságmérés.....                              | 4  |
| A háromszögeléses módszer .....                   | 5  |
| A helymeghatározás lehetséges hibája .....        | 6  |
| A hullámterjedéssel kapcsolatos szimulációk ..... | 6  |
| 1, Pont és környezete .....                       | 6  |
| 2, A folyosó .....                                | 7  |
| 3, A szoba.....                                   | 8  |
| A számítások gyorsítása .....                     | 9  |
| Mérési eredmények pontosítása, konklúzió .....    | 12 |
| Köszönetnyilvánítás.....                          | 13 |
| Irodalomjegyzék.....                              | 13 |

## **A feladat rövid ismertetése**

Feladatom a beltéri ultrahangos távolságmérésen alapuló helymeghatározás pontosítása volt, melynek során ismert pozíciójú ultrahang-jeladók által kisugárzott jelek segítségével kellett meghatározni egy objektum pontos helyzetét.

A feladat teljesítése során vizsgáltam különböző hullám-szimulációs programokat (Ripple Tank Simulator, Lambda), melyek megfelelő vizualizációs alapot adnak a hullámok terjedésének, visszaverődésének és interferenciájának a szimulálására. A hullámterjedéssel kapcsolatos szimulációkat később LabView és Ripple Tank Simulator programok segítségével végeztem el.

## **Az alapötlet**

A helymeghatározás segítségével nyomon követhetjük különböző objektumok útvonalát, és ezáltal az adott környezethez alkalmazkodva hozhat a rendszer döntéseket, illetve akár be is avatkozhat, például, figyelmezteti a felhasználót, hogy egy nem megengedett útvonalat használ stb.

Talán a legismertebb helymeghatározó rendszer napjainkban a GPS. A GPS kültéri helymeghatározó rendszer, éppen ezért műszaki adottságai miatt beltéri helyeken nem használható. Maga a helymeghatározás elve viszont hasonló: fixen elhelyezett adóállomások vannak elhelyezve a terem különböző sarkaiban, melyek bizonyos időközönként jeleket sugároznak.

A vevőegység egy mozgó objektumra lenne felszerelve, mely képes fogni a jeladók jeleit, és azok segítségével képes az időkülönbségből, a beérkezett jel erősségéből és fázisából meghatározni a pontos pozícióját.

## **Mi is az az ultrahang?**

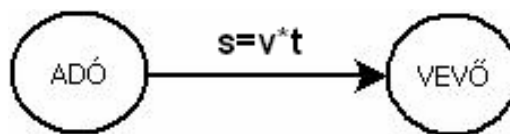
Az ultrahang longitudinális nyomáshullám, tehát a terjedési iránya megegyezik a rezgésiránnyal, sűrűsödési és ritkulási helyek követik egymást. Az emberi fül számára már nem érzékelhető, 20kHz-nél magasabb frekvenciájú hangokat soroljuk ebbe a kategóriába. Levegőben szobahőmérsékleten ~340 m/s, vízben, szilárd anyagokban anyagtól függően akár 1500 m/s körüli sebességgel terjed. Aszerint, hogy az anyagi közegben, amelyben az ultrahang terjed, létrejönnek-e vagy sem

fizikai, illetve kémiai változások, megkülönböztetnek aktív és passzív ultrahangot. Amikor az ultrahang intenzitása elég kicsi, a közegben nem idéz elő szerkezeti változást, vagyis passzív. A passzív ultrahang által megtett út, valamint a terjedési sebesség mérése felhasználható a közeg szerkezeti tulajdonságainak, továbbá az ultrahangtérnek a tanulmányozására.

A kísérleteinkben használt ultrahang frekvenciája 40kHz, a hullámhossza 8.5 mm.

## **A távolságmérés**

A hanghoz hasonlóan az ultrahang is visszaverődik két különböző anyagi minőségű közeg határfelületéről. Megmérve a kibocsátás és visszavert ultrahang észlelése közötti időt, meghatározható az ultrahang által megtett út. A mérni kívánt távolságot tehát időmérésre vezetjük vissza:



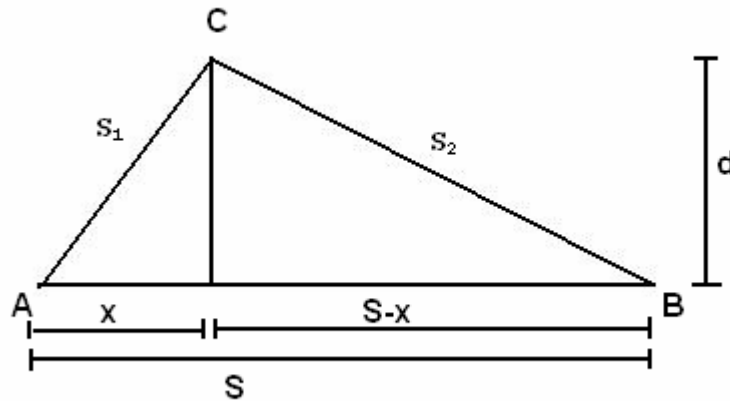
1. ábra: az ultrahangos távolságmérés alapötlete

Állandó hőmérsékleten indítunk egy ultrahang-hullámot az adóval jelzett ponttól, ami  $t$  idő elteltével megérkezik a vevőhöz. Mivel az ultrahang sebessége állandó hőmérsékleten állandó, az adó és a vevő közti távolságot az:  $s=v*t$  képlet alapján határozhatjuk meg.

Ezen a téren már számos kutatási és alkalmazási kivitelezett technika létezik, az eddigi kutatási eredményeket használják fel például a robotikában is. Emellett az ultrahang visszaverődését felhasználják víz alatti mélységmérésre, jéghegyek, halrajok helyzetének meghatározására, kis távolságú távközlésre, távkapcsolók működtetésére és nem utolsósorban katonai célokra.

## A háromszögeléses módszer

Szeretnénk meghatározni  $d$  távolságot. Ennek kiszámolásához szükségünk van A és B pontra, és azok távolságára.



2. ábra: a háromszögeléses módszer

Az ábra alapján két Pitagorasz-egyenletet írhatunk fel:

$$S_1^2 = d^2 + x^2$$

$$S_2^2 = d^2 + (S-x)^2$$

A második egyenletet kifejtve:

$$S_2^2 = d^2 + S^2 - 2Sx + x^2$$

Ezen egyenlet első és utolsó tagjában pedig megfigyelhető az első egyenletünk:

$$S_2^2 = S_1^2 + S^2 - 2Sx$$

ezt x-re rendezve a következőt kapjuk:

$$x = \frac{S^2 + S_1^2 - S_2^2}{2S}$$

Végül ebből és az első egyenletből megkapjuk d-t:

$$d = \sqrt{S_1^2 - \frac{S^2 + S_1^2 - S_2^2}{2S}}$$

Ezzel tehát két, ultrahang-jeladó segítségével meghatározható a vevőnek a két jeladóhoz viszonyított helyzete a teremben. Természetesen ha például egy egység

rendelkezik egyszerre adó és vevő berendezéssel is, akkor a környezetükben lévő tárgyaknak a hozzájuk viszonyított helyzete is meghatározható.

Ha tehát egy belső tér négy sarkába helyezünk el adóvevőket, a teremben egy tetszőlegesen elhelyezett tárgy helyzetét ezen készülékek segítségével viszonylag pontosan meg lehet határozni háromszögeléses módszer segítségével: a termet felosztjuk négy háromszögre, melyeknek alapjai a terem oldalfalai, az alappal szemkötti csúcsban pedig a meghatározni kívánt tárgy helyezkedik el. A háromszögelési technikával meghatározhatjuk a tárgy távolságait a négy faltól, amivel együtt a pontos helyzetére is fény derül.

### **A helymeghatározás lehetséges hibája**

A háromszögelés segítségével történő helymeghatározás hibája az ultrahang sebességének a hőmérséklettől való függésen alapul. Tudományos tény, hogy az

ultrahang sebessége 0°C-os levegőben  $332 \frac{m}{s}$ , míg a 15 °C-os levegőben  $340 \frac{m}{s}$ .

Ezen probléma kiküszöbölésére alkalmazható egy, az adó-vevő egységen elhelyezett thermo-szenzor, mely digitális formában adja meg a hőmérsékletet. Ha tehát a berendezésen az adatokat számoló egység számára egy eszköz a hőmérséklet-adatokat folyamatosan frissíti, az a megfelelő hullámterjedés-sebességgel számolva nagyobb pontossággal képes a távolság mérésére, ezáltal pontosabb helymeghatározás idézhető elő.

### **A hullámterjedéssel végzett szimulációk**

#### **1, Pont és környezete**

Kísérleteim során először azt kellett megvizsgáljam, hogy egy, a terem egyik sarkában elhelyezett ultrahangos jeladó készülék folyamatos sugárzása esetén a terem különböző pontjain mekkora lesz a jelerősség.

A szimulációt LabView-keretrendszerben megalkotott programmal vittem véghez.

Eleinte egy visszaverődési ponttal folyt a kísérlet: a szimulációs tér a terem volt, a kibocsájtott ultrahang jelerősségét a jeladótól pár méterre kijelölt pontban és környezetén végeztem. A számítások egyszerűsítése végett a távolságot lambdában, azaz 8,5mm-es hullámhossz-egységekben mértem. A mérendő területet felosztottam

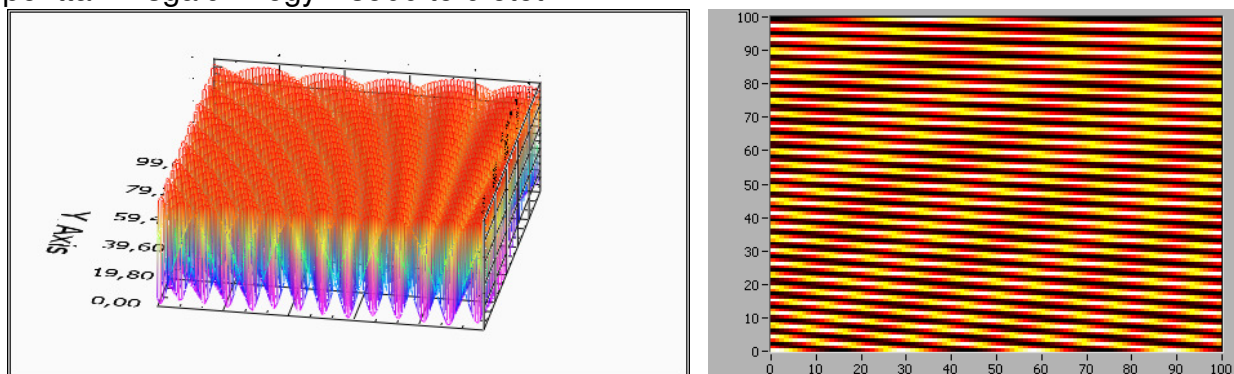
egy 100x100-as mátrixra, ahol a mátrix oszlopában és sorában az egyes koordináták távolsága egy  $\lambda$  volt. A direkt hullám terjedési útvonalát S-el, a reflektált hullámban a jeladótól a reflektáló felületig a hullám által megtett utat  $S_1$ -el, a felülettől a mátrix egyes koordinátáig megtett útját  $S_2$ -vel jelöltem. Mivel  $\lambda$ -ban mértem a távolságot, ezért ha a két hullámterjedési útvonalat, az  $S_1 + S_2$ -vel, és az S-el jelölt útvonalhossz tizedestört után eső részét tekintjük, megkapjuk a vizsgálandó pontba beeső hullám fázisát.

A mátrix egyes pontjaiban a beérkező 2 hullám összegét a következőképp kaphatjuk meg:

$$E = \sin[2\pi(f + A_1)] + \left( \frac{S}{S_1 + S_2} \right) \sin[2\pi(f + A_2)]$$

ahol  $A_1$  a direkt hullám hullámhosszban mért megtett úthosszának a tizedestört után eső értéke,  $A_2$  pedig a visszavert hullám hullámhosszban mért megtett úthosszának a tizedestört után eső része.

Ezzel kaptam egy kétdimenziós modellt arra, hogy egy jeladó és egy visszaverődési pont esetén a jeladótól egy adott távolságra lévő négyzet alakú terület egyes pontjain milyen lesz a kisugárzott hullámok helyzete. A viszonylag nagy mátrixméretre azért volt szükség, mert noha pontot vizsgáltam, így jobban látszott az ábrán az eredmény, és egy bizonyos határig a szimuláció eredményében sem ront, ha egy visszaverődési ponttal vizsgálunk egy kisebb területet.



3 és 4. ábra: a 100x100-as mátrixon mért hullámerősség 2 és 3 dimenziós modellje

## 2, A folyosó

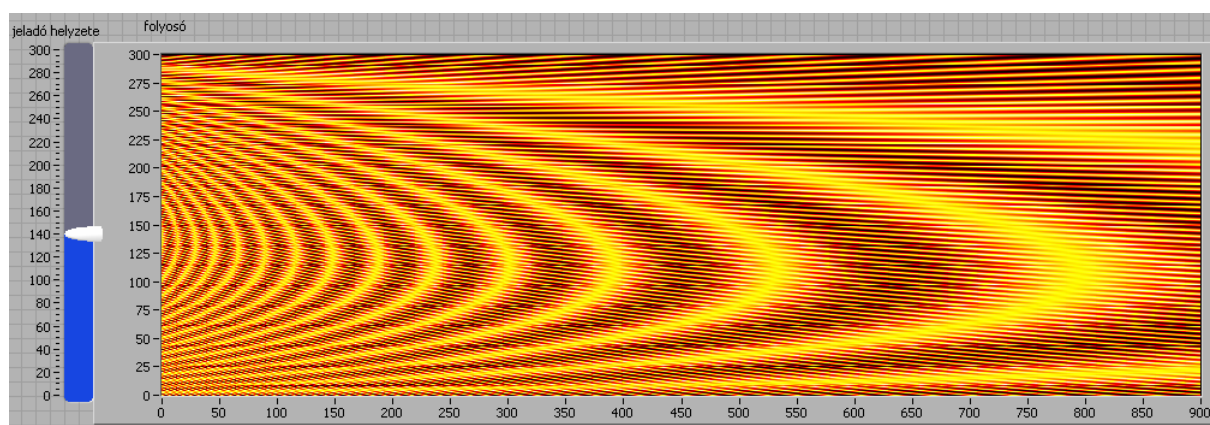
A főbb különbség a terem és a folyosó között, hogy míg egy teremnél a kétdimenziós modellel nézve a négy falról történik a visszaverődés, egy folyosóban a két oldalsó falról verődnek vissza hullámok, szemközti és hátsó falokról nem beszélünk, így a szimulációt tekintve egy végtelen hosszú csőnek is felfogható.

Az eddigi modellt átalakítottam oly módon, hogy a távolsággal arányosan nőjön a visszaverődési pont távolsága a jeladótól. A változtathatóság érdekében a jeladó berendezést a folyosó szélességének arányában változtatható helyzetűre készítettem el.

A környezet adatai a következők voltak: a folyosót  $300\lambda$  szélesre terveztem, az adó eszköz ezen belül egy függőleges csúszka segítségével akárhol elhelyezhető.

Maga a mérési terület egy, a vevőtől a folyosó falaival párhuzamos irányban  $300\lambda$  távolságra elhelyezkedő  $900 \times 300\lambda$  alapterületű téglalap volt, amit egy  $900 \times 300$ -as mátrix reprezentált.

Eredményként jól látható, hogy a vizsgált terület melyik részén hogyan változik a jelerősség, a hullámok hol felerősítik, hol kioltják egymást.

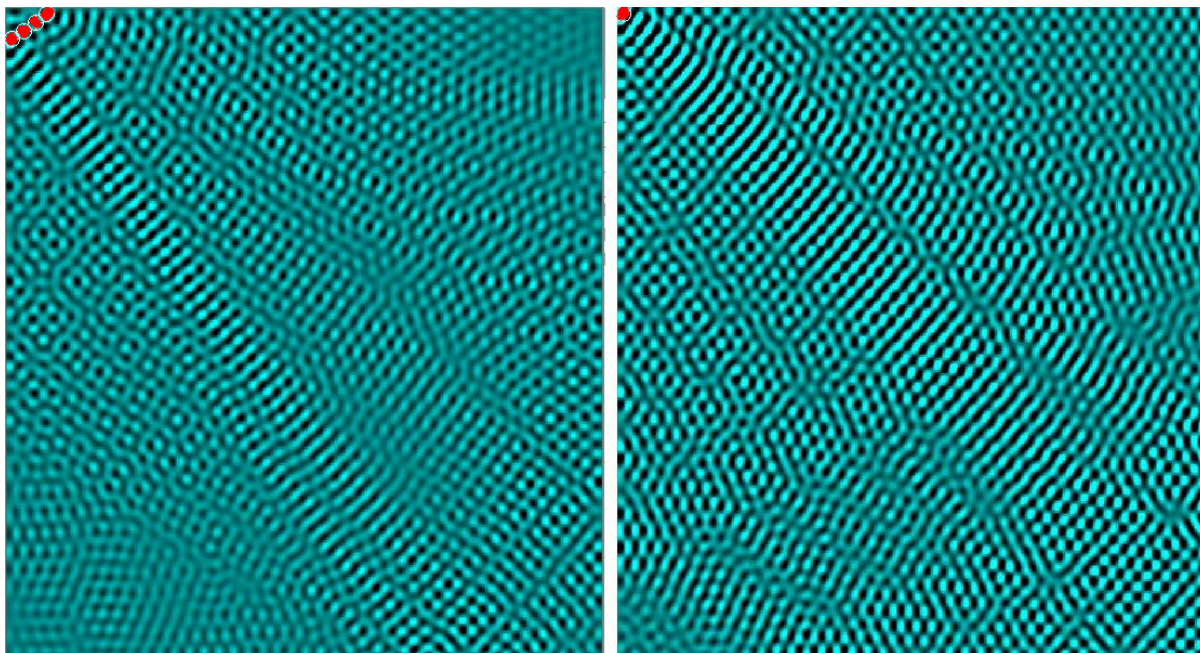


5.ábra: a folyosóban terjedő hullámok

### 3, A szoba

A következő szimulált helyszín a szoba volt. Ezt a szimulációt a Ripple Tank Simulator nevű nyílt forráskódú, java programozási nyelven írt hullámterjedés-szimulációs programban készítettem el. A program előnye a gyors megérthetőség és átláthatóság: az oldalsó menüből kiválasztva a szimulálási és környezet-beállítási lehetőségekkel élve viszonylag könnyedén összeállítható szinte akármilyen helyszín. Jelen esetben kétféle környezetet teremtettem elő: a szoba bal felső sarkába először egy, majd négy különböző fázisú jeladó lett elhelyezve. Az alábbi ábrán látható a végeredmény, melynél jól kivehető, hogy egy idő után a terem melyik részében hogyan ingadozik a hullámerősség. A piros pontok mutatják a jelsugárzók helyét, sötétebb színnel pedig a felerősített hullámok lettek jelölve.





6. ábra: a szoba 4 különböző fázisú jeladóval és 1 jeladóval vizsgálva

### **A számítások gyorsítása**

Egy nagyobb belső térben, teremben terjedő hullámok lemodellezése igen időigényes folyamat. Az alapmodell felépítésénél egy kisebb méretű területen, egy 100x100-as mátrixban a direkt és a visszavert hullámok számítása egyszerűbb feladat. Ám a valóságban ez a rész csak nagyon kis részét képezi a vizsgált területnek, amelynek valódi méretei a teremhez képest igencsak arányfüggőek: a jelen szimulációk szerint a mátrix egy oldalhossza egy hullámhossznak, azaz egy 0.0085m hosszú szakasznak feleltethető meg. Tehát az általam eleinte vizsgált térrész  $0.85\text{m} \times 0.85\text{m} = 0.7225$  négyzetméter alapterületű, ami elég csekély a terem valódi alapterületéhez, ami körülbelül 24 négyzetméter. (Természetesen egy ultrahangos helymeghatározó rendszer ennél nagyobb alapterületű beltéri helyszínen is használható.) Ebből tehát következik, hogy az egész terem lemodellezéséhez egy sokkal nagyobb méretű mátrixra van szükség, de a mérési területtel együtt a szimuláció futási ideje is alaposan megnőne.

Manapság egy átlagos személyi számítógépben 1, 2, illetve 4 magos processzor található. Azonban egy GPU akár 200 processzormagot is tartalmazhat, teljesítménye akár több száz gigaflop is lehet. Felépítéséből adódóan tehát egy GPU

a masszívan párhuzamosítható feladatokban képes hihetetlenül jó teljesítményre. Ilyen például a video- és hangfeldolgozás, a tudományos számítások, a fizikai modellezés vagy például a képszerkesztés.

A számolások röviden a következőképpen történnek: A videokártyák egy-egy stream processzora a feldolgozó egység, az ezeken futó függvények a kernelfüggvények. Az egyes feldolgozóegységek ezeknek a kernelfüggvényeknek egy példányát futtatják, mindegyikük más és más adaton. Tehát a processzor bizonyos függvényeket meglévő paraméterrel meghív a videokártyán, a számításokat a kártya elvégzi, majd az adatokat visszaadja a CPU-nak.

A mérések szempontjából a cél az volna, hogy a LabView környezetben felállított szimulációnak a számításait a GPU végezze el, ez által gyorsítva a jeladó által keltett hullámok erősségének és helyzeteinek a számítását, végeredményképp az egész terem alapterületére kiterjesztett mátrixszal történő számolások ideje a töredékére csökkenne.

A manapság a piacon 3 jellemző videokártya gyártók közül az nVidia és az ATI saját rendszerfejlesztői készletet fejlesztettek ki a programozók számára, melyeknek alapja az OpenCL (Open Computing Language) volt, ami egy nyílt szabvány, melyet bárki implementálhat saját eszközére.

Ezek közül az nVidia volt az, aki külön figyelmet fordított arra, hogy a már meglévő programok (MATLAB, Mathematica, LabView) számára olyan plugint készítsen, amely viszonylag könnyedén elősegíti a GPU-n történő számításokat. Az ő műveik a CUDA különböző környezetei ezen programokhoz, melynek egyikével, a LabView moduljával (LVCUDA) viszonylag átláthatóan levezérelhetőek a videokártyán végzett számítások, mindez a grafikus programozási nyelvbe illesztve.

Mivel ez a plugin nemrégiben lett kifejlesztve, főleg saját tapasztalat alapján sikerült a működését megértenem.

Az LVCUDA működése a következő: a már meglévő (esetleg éppen készülő) programunk számításainak (pl. mátrix-szorzás) futási idejét rövidíthetjük le ezen keretrendszer subVI-készletének (alprogramjainak) segítségével. Az általam készített szimulációhoz felhasznált subVI-ok működése a következő:

- .. Az első subVI segítségével inicializáljuk a keretet a GPU-n történő számítások végrehajtására.

- .. Ezek után hozzárendeljük a videokártyát a keretrendszerhez, és futási időben betöltjük a CUDA segédeszközöket.
- .. Lefoglalunk egy memóriablokkot a kerethez hozzárendelt GPU-eszközön.
- .. Itt következnek a számolások: az összeállított számítandó adatokat (1 vagy 2 dimenziós tömböt) bemásoltatjuk a CUDA memóriába. Ha képlettel dolgozunk, azt a LabView felületen állítjuk össze, majd annak eredményét vezetjük be a CUDA memóriába, így a keretprogram gondoskodni fog róla, hogy az időigényes számításokat a GPU végezze el.
- .. A számítások elvégzése után a megfelelő subVI segítségével kinyerjük az adatokat egy (1 vagy 2 dimenziós) tömbbe. Ehhez először inicializálnunk kell egy üres tömböt, amibe belekerül a GPU-ról kimásolt adat.
- .. Felszabadítjuk a lefoglalt CUDA memóriablokkot.
- .. Feloldjuk a kerethez hozzárendelt GPU-adat referenciákat.



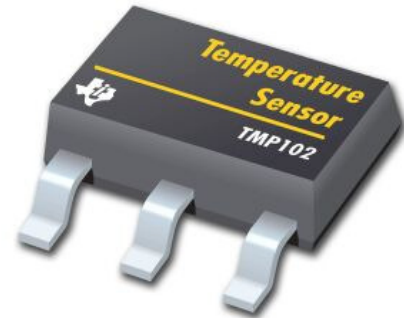
7.ábra: A felhasznált subVI-ok

Az ezen módszerrel történő GPU-számolást először egyéb műveletekkel (pl. vektorok összeadása) teszteltem, majd összeállítottam először a legelső (pont és környezetének vizsgálata) szimulációt.

A szimuláció elindítása után viszont 11-es CUDA-hibakódot kaptam, ami `invalidValueError`-t, azaz érvénytelen érték használatát jelenti. A hiba az adatok videokártyára történő másolásakor adódott, aminek az okára semmilyen hibakereső megoldással sem sikerült rájönnöm, a GPU ugyanazokkal az adatokkal dolgozott, mint az eredeti szimuláció során a processzor.

## **Mérési eredmények pontosítása, konklúzió**

Az eddigi ismereteink alapján elmondható, hogy az ultrahangos távolságmérés abszolút hibája egyenesen arányos a távolság, hőmérséklet és nyomásváltozással. A hőmérsékletváltozás érzékelésére egy, az ultrahangos berendezésre felszerelt thermo-szenzor segítségével van lehetőség a korrigálásra. Ilyen például a Texas Instruments által gyártott TMP102 típusú digitális szenzor, amely  $0.5^{\circ}\text{C}$  pontossággal képes a hőmérséklet meghatározására  $-25^{\circ}\text{C}$  -tól  $85^{\circ}\text{C}$  -ig.



8. ábra: a TMP102 thermo-szenzor

Szintén pontosabb helymeghatározás végezhető a jeladó (esetleg vevő) eszközök számának a növelésével. Ugyanis ha több adóegység jeleit tudja fogni a vevő, és ezen jeleket természetesen el is tudja különíteni egymástól, több támpontot jelent a méréskor a minél több, esetleg már ismert pozíciójú egységekhez képesti viszonyítás.

Beszélhetünk olyan ultrahangos berendezésről, ami irányított sugárban adja ki a hullámokat, ám léteznek olyan egységek is, amelyek nem rendelkeznek iránykarakterisztikával, úgynevezett gömbsugárzók, amelyek a tér minden irányába bocsájtanak ki ultrahangot. Ezen berendezés is alkalmas helymeghatározásra, ám leginkább saját pozícióját tudja a környezet tárgyaihoz viszonyítva bemérni. Ezeket az eszközöket főleg a robotikában, mobil robotok helymeghatározó rendszerénél használják. Ilyenkor egy egységen található a jeladó és a vevő is, mely a különböző tereptárgyakról visszavert hullámokat képes érzékelni. Ezen felhasználás során azonban olyan probléma adódhat, hogy a kibocsájtott direkt hullámokat is érzékeli a vevő, amely nem kevésbé zavarhatja meg a pozícionálást.

Ezt az áthallást korrigálhatjuk úgy, hogy egyszerre csak az egyik egységet tartjuk aktív állapotban: a jel kiadása előtt letiltjuk a figyelő szenzort 1-2 ms-ra, ez idő alatt megtörténik a jelkibocsájtás, majd újra aktiváljuk az ultrahang-érzékelő szenzort.

## **Köszönetnyilvánítás**

Köszönet illeti konzulensemét, Tihanyi Attila tanár urat, aki szakértelmével és háttértudásával hozzásegített a szimulációk elvégzéséhez, és Tholt Pétert, aki rendelkezésemre bocsájtott egy GPU-programozásra alkalmas videokártyát tartalmazó számítógépet.

## **Irodalomjegyzék**

[1] Az ultrahangok [http://iar.bmfnik.hu/2002\\_2003/ultrahang/ultrahang.htm](http://iar.bmfnik.hu/2002_2003/ultrahang/ultrahang.htm)

<http://hu.wikipedia.org/wiki/Ultrahang>

<http://decibel.ni.com/content/docs/DOC-6064>

<http://solymail.lesenceinfo.co.cc>

<http://www.falstad.com/ripple/>

<http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/tmp102.pdf>