
Akusztikus távolság meghatározás a vezeték nélküli szenzor hálózatokban

Előadó: Kincses Zoltán

Bevezetés

- A mote-ok földrajzi helymeghatározása fontos
 - helymeghatározó rendszerekben
 - érzékelő és jelző alkalmazásokban
 - helyfüggő route-olási szolgáltatásokban
 - Korlátozottak az erőforrások
 - energia felhasználás
 - hardver méret és gyártási költség
-

Távolságmérési módszerek

- RF jelerősség és szomszédság
 - alacsony pontosság
- RF Time Of Flight (TOF)
 - + pontos helymeghatározás
 - nagy pontosságú mérések
 - szinkronizáció szükséges
- Akusztikus Time Of Flight (TOF)
 - + megfelelő pontosság
 - + nem szükséges szinkronizáció
 - +kisebb számítási igény

Akusztikus TOF technika alapja

- Az akusztikus jel mintavételezése és digitális feldolgozása
 - + kisebb érzékenység a háttér zajokra
 - + nagyobb működési távolság
 - + alkalmazható kis teljesítményű eszközökre (4-8 MHz mikrokontroller, 4 Kbyte RAM)
 - nagyobb a memória és a számításigény mint a „tone detector” alapú módszer esetében
-

Hardver

■ MICA mote

- 4 MHz mikrokontroller
 - 4 kB RAM
- 916 MHz vezeték nélküli adó-vevő
 - 19.2 kbps 60.96 méter
- 2 x AA elemek

■ MICA2 mote

- 7.3 MHz mikrokontroller
- 868/916 MHz vezeték nélküli adó-vevő
 - 38.4 kbps 152.4 méter
- 2x AA elemek

■ Akusztikus szenzorkártya

- mikrofon (18 kHz)
- fix frekvenciájú csipogó (4.4 kHz)

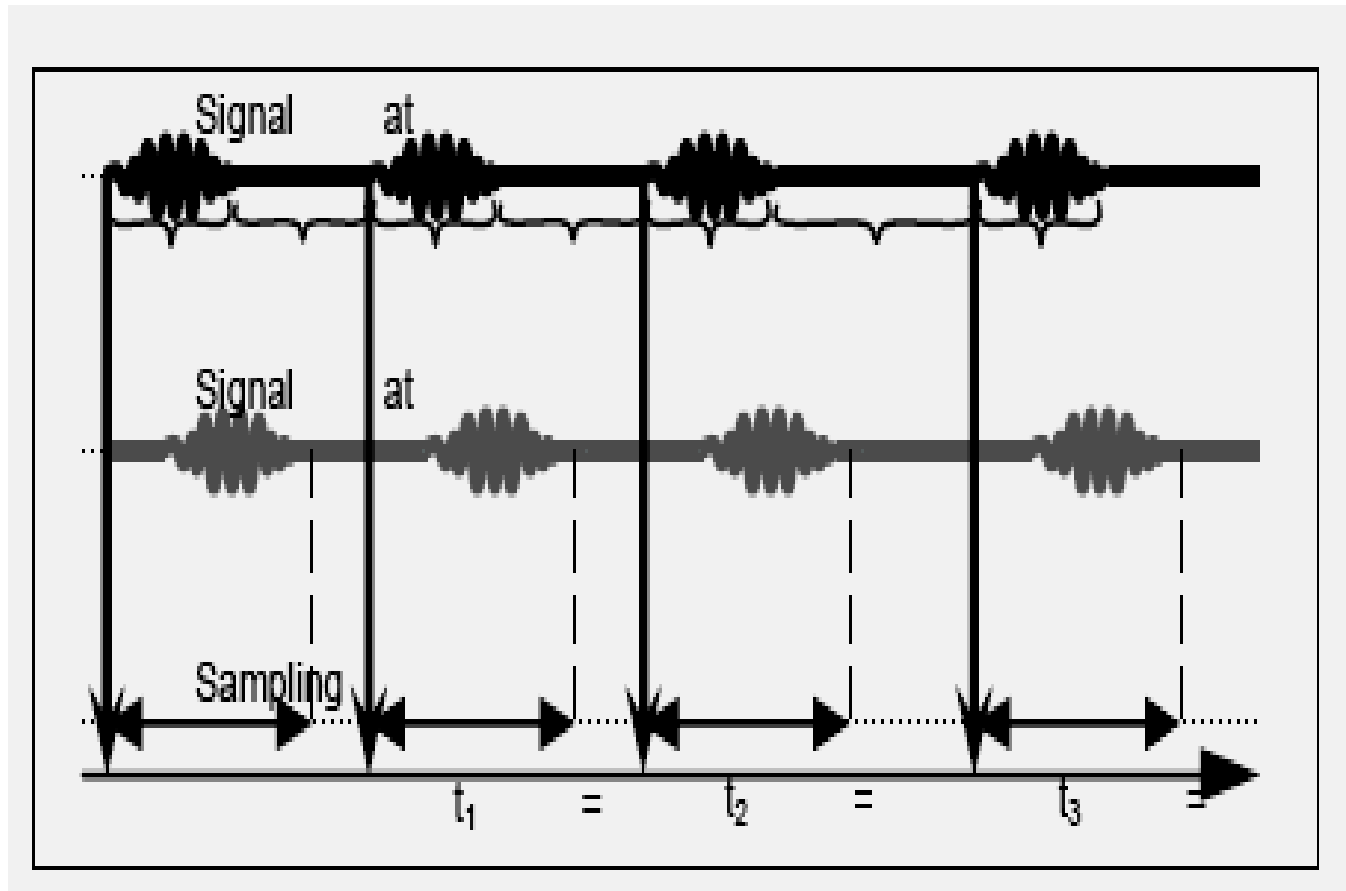
A módszer alapja

- A TOF pontos méréséhez kifinomult szinkronizációs mechanizmus szükséges
 - A leggyakoribb megközelítés, hogy az adó egy időben küld egy rádió és egy akusztikus jelet
 - Mivel a rádió jel terjedése 10^6 -szor gyorsabb a hang terjedésénél az érkezési idők különbsége jól meghatározza a TOF értéket
-

A gyakorlati megoldás problémákba ütközik

- Az akusztikus jel kezdetének meghatározása nehézkes ezért
 - kiszámítjuk a mintánkénti összegét több mintavételezett akusztikus jelnek
 - digitális sáváteresztő szűrőt alkalmazunk
 - végül meghatározzuk az első csúcsot ebben a szűrt mintában

A Signal To Noise (SNR) érték növelése



-
- Minden egyes „chirp” esetén a zaj Gaussi eloszlású, és független egymástól
 - A minták összeadásával $10\log(N)$ dB-el javítható az SNR
 - Az egymást követő „chirp”-ek közötti késleltetés változó, hogy elkerülhető legyen az úgynevezett „multi-path” hatás
 - A mintavételezett akusztikus jel egy akkumulátor buffer-be kerül ahol megtörténik az összeadás
-

A sáváteresztő szűrő tervezése

- A gyártási különbségek miatt a szenzor kártyák által kibocsátott akusztikus jel 4000 és 4500 Hz között van
- Digitális sáváteresztő szűrőt kell alkalmazni
 - az SNR növelése
 - a szűrő koefficiensei a $[-4, 4]$ tartományba essenek és alacsony legyen a tap-ek száma
 - a szűrt minta kiszámításához elegendő négy akkumulátor változó (szorzás nélkül)

-
- 1. akkumulátor változó: koefficiens 1 és -1
 - 2. akkumulátor változó: koefficiens 2 és -2
 - 3. akkumulátor változó: koefficiens 3 és -3
 - 4. akkumulátor változó: koefficiens 4 és -4
 - Minden tap esetén a koefficiens előjelétől függően hozzáadjuk/kivonjuk a mintavételezett értéket az akkumulátor változóhoz/változóból
 - Vesszük az akkumulátor változók súlyozott összegét és bináris eltolással visszaskálázzuk
-

Koefficiensek meghatározása

- Genetikus algoritmus segítségével
- Fittségi függvény meghatározása
 - több mintaablak felvétele („chirp”, csend)
 - a szűrés elvégzése
 - a fittségi függvénynek az SNR lett kiválasztva
- A genetikus keresés eredménye
 - 35 tap-es FIR szűrő
 - koefficiensek a $[-4,4]$ intervallumban
 - 12 dB-es elnyomás a 3800-4500 Hz-en kívüli tartományban

Távolság meghatározás

- Az akusztikus jel csúcs erősségének meghatározásával meghatározható az akusztikus jel kezdete
 - 1. lépés: meghatározzuk a mozgó átlag függvényt a minták abszolút értékére
 - 2. lépés: az amplitúdó abszolút értékének globális átlagának meghatározása
 - ezen lépések használatával nem kell a minták négyzetét kiszámolni a hangjel csúcs erősségének meghatározásához
- A szűrés, az átlagolás, az abszolút érték képzés egy ciklusban megy végbe, hogy minimalizálni lehessen a memória és idő szükségletet

Kalibráció

- A megtalált csúcs nem pontosan tükrözi a Time of Flight-ot
 - A csúcs és az akusztikus jel kezdete között különbség van, melynek okai
 - az ismeretlen akusztikus jel felfutási idő
 - a szűrő késleltetése
 - Kompenzálni kell a késleltetést
 - ezt több mérés segítségével, majd statisztika alkalmazásával oldható meg
-

Eredmények

- Az akusztikus távolságmérő rendszer tesztelése
 - 50 MICA2 mote, 3332 byte RAM a teljes program
 - a tesztet egy PC-n futó Java alkalmazás vezérelte
 - basic linear spring modell alapú lokalizáció
 - parkoló ház, a föld közelében 35°C és 60% páratartalom
 - 15x30 méteres terület, nincs akadály
 - az aktuális távolág ultrahangos mérőrendszerrel lett meghatározva

Acoustic Ranging Measurements vs. Actual Distances

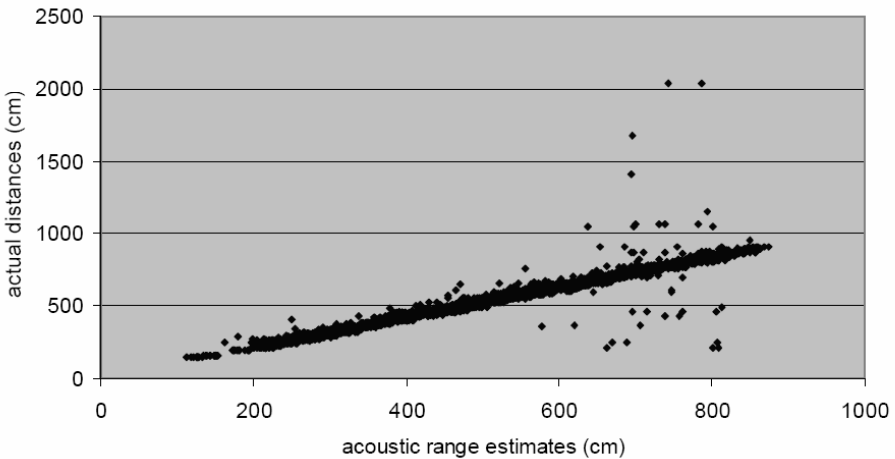


Figure 2. Acoustic range estimates vs. the actual distances. Outliers present due to a hardware problem of a single node.

Acoustic Ranging Measurements vs. Actual Distances

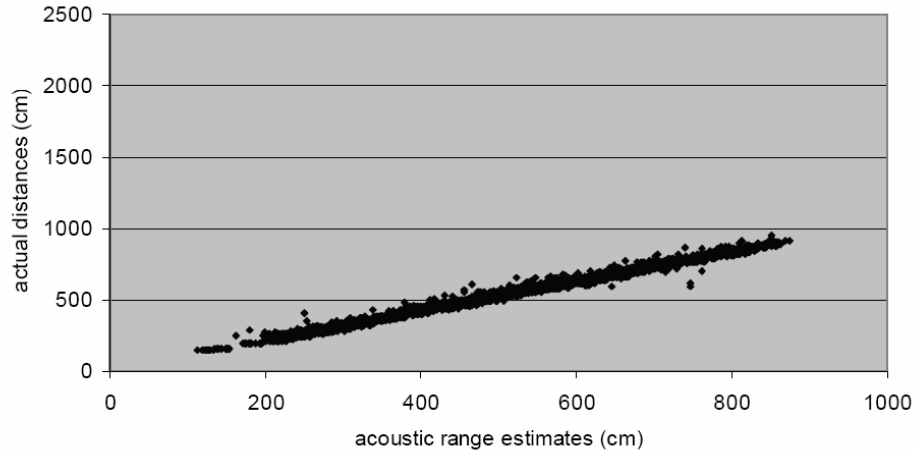


Figure 3. Acoustic range estimates vs. the actual distances after removing outliers.

Histogram - Acoustic Ranging Measurement Errors

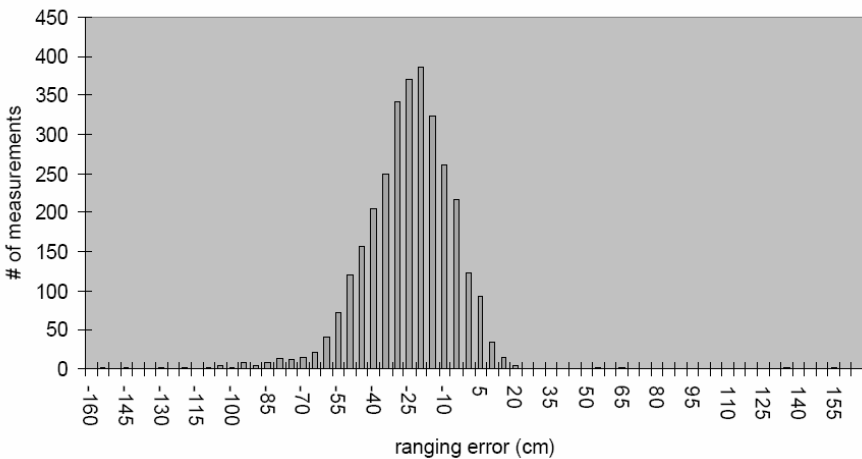


Figure 4. Histogram of acoustic measurement errors. Due to higher air temperature than the reference value the nodes underestimated the distances by 27.68 cm.

Histogram - Acoustic Ranging Measurement Errors after Speed of Sound Compensation

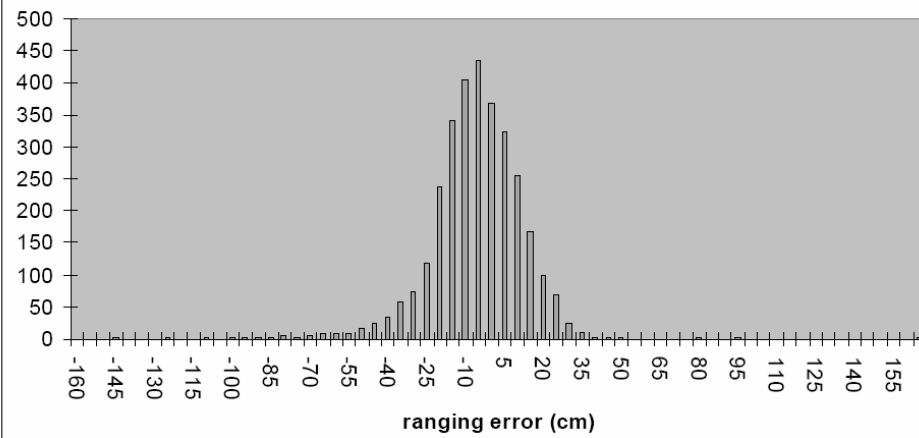


Figure 5. Histogram of acoustic measurement errors after compensating the difference between the calibrated and the actual speed of sound. Average error is -8.18 cm.

Akusztikus távolságmérési hibák

- Az akusztikus távolságmérés hibája a Gaussi és a nem Gaussi komponensek összegéből tevődik össze
 - a Gauss eloszlású mérési hibák átlagolással kiküszöbölhetőek
 - a nem Gauss eloszlású hibák (visszhang, akadályok) viszont nem
- Ha akadály van a két eszköz között, akkor általában a nagyobb távolságot határoznak meg az eszközök
- Ezen hibák javítása érdekében több különböző módszeren alapuló távolságmérés kombinációját lehet alkalmazni

Összehasonlítás

- PC-osztályú mote-ok (hangkártya)
 - BPSK moduláció, 12 kHz-es „chirp” sűrűséggel
 - + robosztus
 - + szub-centiméteres hiba
 - nagy számítási igény
- Jelen megoldás
 - fix frekvenciájú csipogó
 - mintavételezés a hangkártya teljesítményének harmadán
 - 4 kilobyte RAM, 10 cm-es pontosság

■ A Calamari rendszer

- ❑ TOF alapú távolság mérés, tone detector használata
- ❑ 3 méteres maximális távolság, a hiba távolságfüggő
- ❑ átlagos hiba 74.4%, kalibrációval 10.1%

■ Jelen megoldás

- ❑ több RAM használata, nagyobb pontosság
 - ❑ egységes hiba, nagyobb távolság
-