

Acoustic Ranging in Resource-Constrained Sensor Networks

Sallai János, Balogh György, Maróti Miklós, Lédeczi Ákos, Branislav Kusy

Előadó: Kincses Zoltán

Bevezetés

- A node-ok földrajzi helymeghatározása számos alkalmazásban fontos követelmény
 - helymeghatározó rendszerek
 - együttműködő érzékelő és jelző alkalmazások
 - helyalapú routolási szolgáltatások
 - A vezeték nélküli szenzorhálózatok esetében korlátozottak az erőforrások
 - energia felhasználás (korlátozott élettartam)
 - hardware méret
 - gyártási költség (alacsony, nagy számú node)
-

-
- A lokalizáció alapja a node-ok közötti távolság mérése
 - Három fő módszer
 - fogadott RF jelerősség és RF szomszédság alapú technikák
 - ha a pontosság a cél
 - nagy pontosságú mérés és szinkronizáció szükséges
 - TOF alapú technikák
 - finom szemcsézettségű lokalizáció a cél
 - az RF jel és a hang közötti TDOA pontosan számítható
 - nem kell a node-ok óráját explicit módon szinkronizálni
 - ultrahang alapú technikák
 - nagyobb pontosság
 - kisebb működési távolság
 - drágább hardware
-

-
- Az itt bemutatott TOF technika az akusztikus jelet mintavételezésén, és digitális feldolgozásán alapul
 - A digitális feldolgozás három részből áll
 - Gaussi eloszlást mutató zaj csökkenése
 - digitális szűrés
 - a maximum energia offset-jének meghatározása
 - Előnye
 - kisebb érzékenység a háttér zajokra
 - nagyobb működési távolság
 - alkalmazható kis teljesítményű eszközökre (4-8 MHz mikrokontroller, 4 kb RAM)
 - Hátránya
 - nagyobb memória és számításigény mint a „tone detector” alapú módszer esetében
-

Hardware

■ MICA

- ❑ 4 MHz RISC processzor
- ❑ 4 kb RAM
- ❑ 916 MHz vezeték nélküli adó-vevő (19.2 kbps 60.96 méter)
- ❑ AA elemek
- ❑ nincs lebegő és fix-pontos aritmetika és szorzás támogatás

■ MICA2

- ❑ 7.3 MHz RISC processzor
- ❑ 868/916 MHz vezeték nélküli adó-vevő (38.4 kbps 152.4 méter)

■ Szenzor kártya

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

Megközelítés

- 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 megvalósítás problémákba ütközik
 - az akusztikus jel kezdetének meghatározása nehézkes
 - a rendelkezésre álló hardware-el nem lehet élesen felfutó hangjelet generálni
 - egy zajos hangjel kezdetének pontos detektálása bonyolult
 - Megoldás
 - 1 lépés: kiszámítjuk a mintánkénti összegét több mintavételezett hangjelnek
 - Gaussi zaj eltávolítása
 - jobb SNR elérése
 - 2. lépés: digitális sáváteresztő szűrőt alkalmazunk
 - 3. lépés: végül meghatározzuk az első csúcsot ebben a szűrt mintában
 - ezzel meghatározhatjuk az eredeti hangjel kezdetét
-

Az SNR növelése

- Az akusztikus jel azonos hosszúságú „chirp”-ek sorozatából áll, melyek között különböző hosszúságú szünetek vannak
 - A szenzor ismeri az egymást követő „chirp”-ek közötti késleltetéseket
 - Mivel a szenzor ismeri a jelsorozatok elküldésének idejét, valamint a pontos mintázatot, ki tudja számolni minden egyes „chirp” elküldési idejét
-

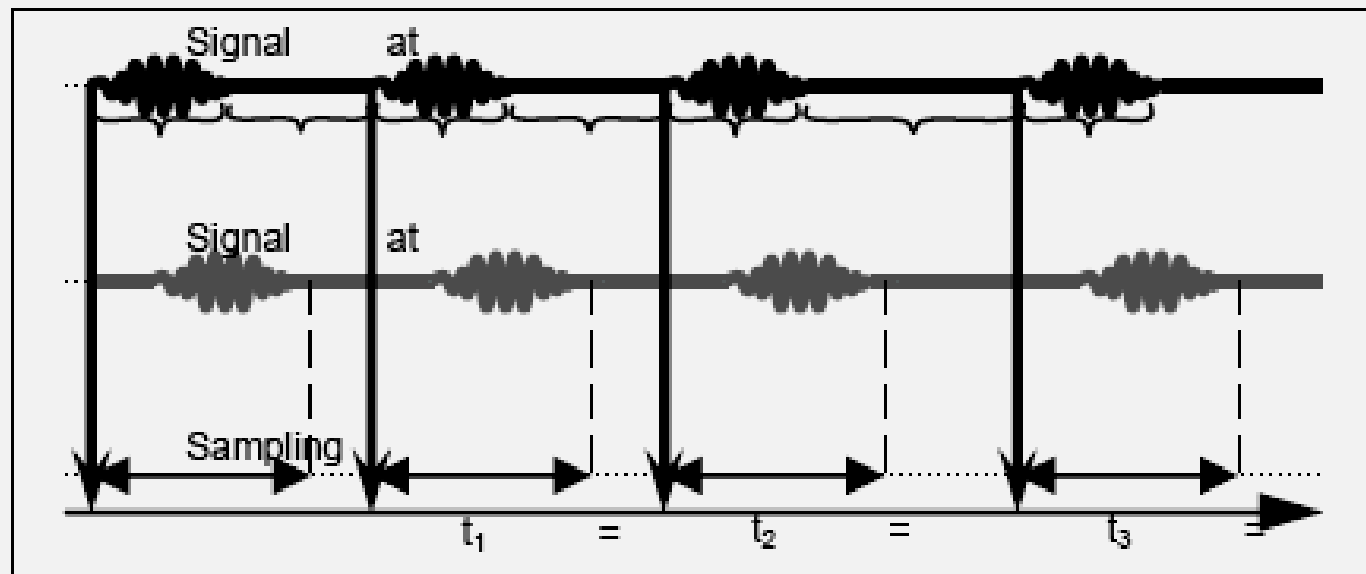


Figure 1. Sampling of multiple signals. The length of the signals (l_s) and the delays between the consecutive chirps ($d_1, d_2, \dots, d_N$) are known to the sensor, this way the start times of the sampling intervals can easily be computed.

-
- Minden egyes „chirp” esetén a zaj Gaussi eloszlású, és független egymástól
 - a minták sorozatának összeadása javítja az SNR-t $10\log(N)$ dB-el, ahol az N a „chirp”-ek száma
 - ebben a rendszerben $N=16$, így az SNR 12dB-el javult
 - Az egymást követő „chirp”-ek közötti késleltetés változó, hogy elkerülhető legyen az úgynevezett „multi-path” hatás
 - A memória szükséglet csökkentése érdekében a mintavételezett hangjelek egy akkumulátor buffer-be kerülnek ahol megtörténik az összeadás is
-

A szűrő tervezése

- A gyártási különbségek miatt a szenzor kártyák által kibocsátott akusztikus jel 4000 és 4500 Hz között van
 - Az SNR további növelése érdekében digitális sáváteresztő szűrőt kell alkalmazni
 - alacsonyan tartva az integer szűrő koefficienseinek számát (a $[-4,4]$ intervallumban), és a minták (tap) számát
 - így egy 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 minta esetén
 - ha a koefficiens pozitív, a mintavételezett értéket hozzáadjuk az akkumulátor változóhoz
 - ha a koefficiens negatív, a mintavételezett értéket kivonjuk az akkumulátor változóból
 - végül vesszük ezek súlyozott összegét
 - $weighted_sum = (a_1 + a_3) + ((a_2 + a_3 + a_4 + a_4)) \square 1$
-

Genetikus integer koefficiens keresés

- A sáváteresztő szűrő integer koefficienseit a genetikus algoritmussal határozták meg
 - Fittségi függvény generálása
 - több mintaablak felvétele („chirp”-et és csöndet is tartalmaz)
 - a hangjel szűrésének elvégzése
 - a fittségi függvénynek az SNR lett kiválasztva
 - A genetikus keresés eredménye
 - 35-tap FIR szűrő
 - $[-4,4]$ intervallumban lévő koefficiensek
 - 12 dB-es elnyomás a 3800 Hz alatti és 4500 Hz feletti tartományban
-

Távolság meghatározás

- A hangjel csúcs erősségének meghatározásával meghatározható a hangjel 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 körben megy végbe, hogy minimalizálni lehessen a memória és idő szükségletet
-

Kalibráció

- A megtalált csúcs nem pontosan tükrözi a TOF-ot
 - A csúcs és a hangjel kezdete között különbség van, melynek okai
 - az ismeretlen hangjel felfutási idő
 - a szűrő késleltetése
 - Mielőtt meghatározzuk a csúcs érték offset-jét kompenzálni kell ezt a késleltetést
 - statisztika alkalmazása
-

Eredmények

- Az akusztikus távolságmérő rendszer tesztelése
 - 50 MICA2 mote
 - teszt alkalmazás
 - akusztikus távolságmérő komponens
 - time-slot meghatározó komponens
 - routing-ot, távoli vezérlést lehetővé tévő komponensek
 - 3332 byte RAM
 - a tesztet egy PC-n futó Java alkalmazás vezérelte
 - a teszt egy parkoló házban volt
 - 35°C, 60% páratartalom
 - 15x30 méteres területen, nincs akadály a mote-ok között
 - az aktuális távolág ultrahangos mérőrendszerrel lett meghatározva
-

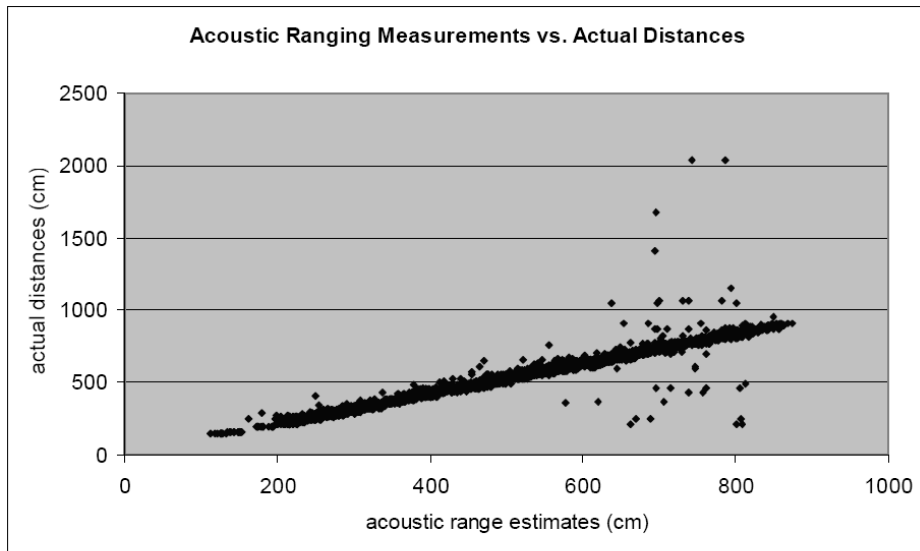


Figure 2. Acoustic range estimates vs. the actual distances. Outliers present due to a hardware problem of a single node.

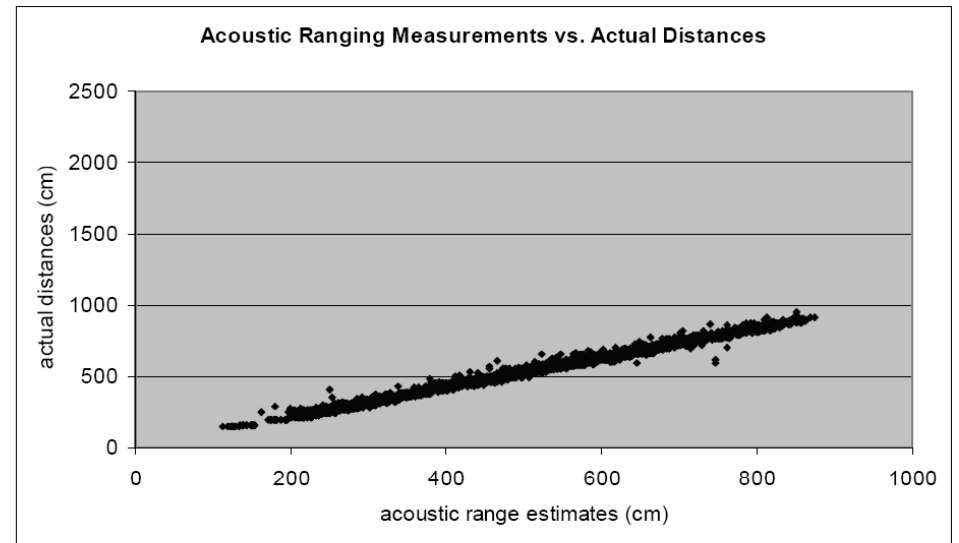


Figure 3. Acoustic range estimates vs. the actual distances after removing outliers.

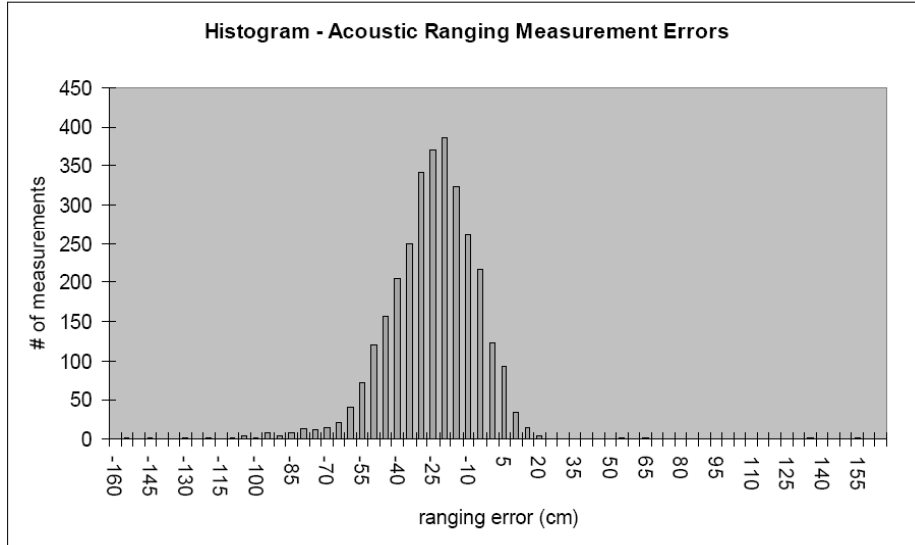


Figure 4. Histogram of acoustic measurement errors. Due to higher air temperature than the reference value the nodes underestimated the distances by 27.68 cm.

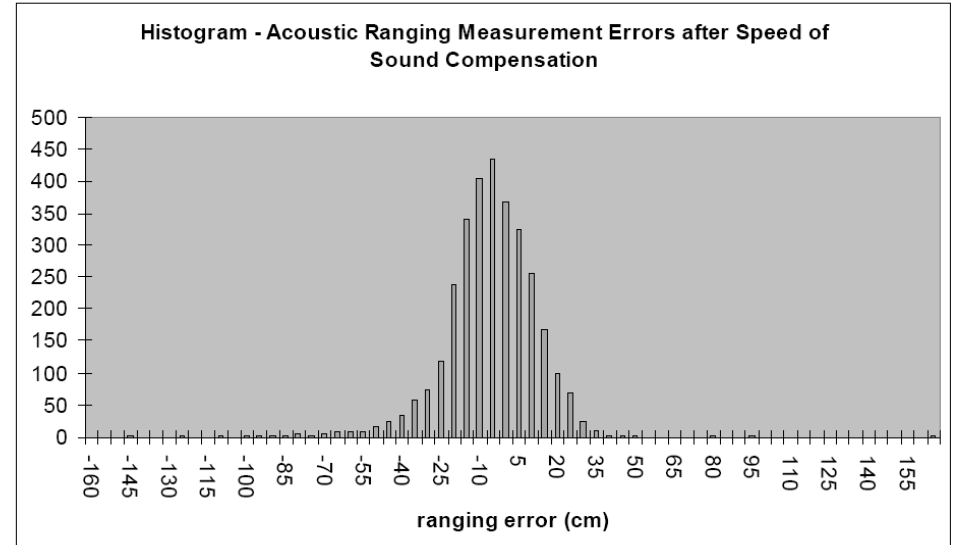


Figure 5. Histogram of acoustic measurement errors after compensating the difference between the calibrated and the actual speed of sound. Average error is -8.18 cm.

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 (rendelkezik hangkártyával) esetén a hangjelet BPSK-val modulálják, 12 kHz-es „chirp” sűrűséggel
 - robosztus
 - szub-centiméteres hiba
 - nagy számítási igény
 - A most bemutatott megoldás esetén
 - fix frekvenciájú csipogó
 - maximális mintavételezés a hangkártya teljesítményének a harmada
 - kilobyte nagyságrendű rendelkezésre álló RAM
 - 10 cm-es pontosság
-

■ A Calamari rendszer

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

■ A most bemutatott megoldás esetén

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

Köszönöm a figyelmet
