

---

# Szenzorhálózat alapú mesterlövész detektáló rendszer

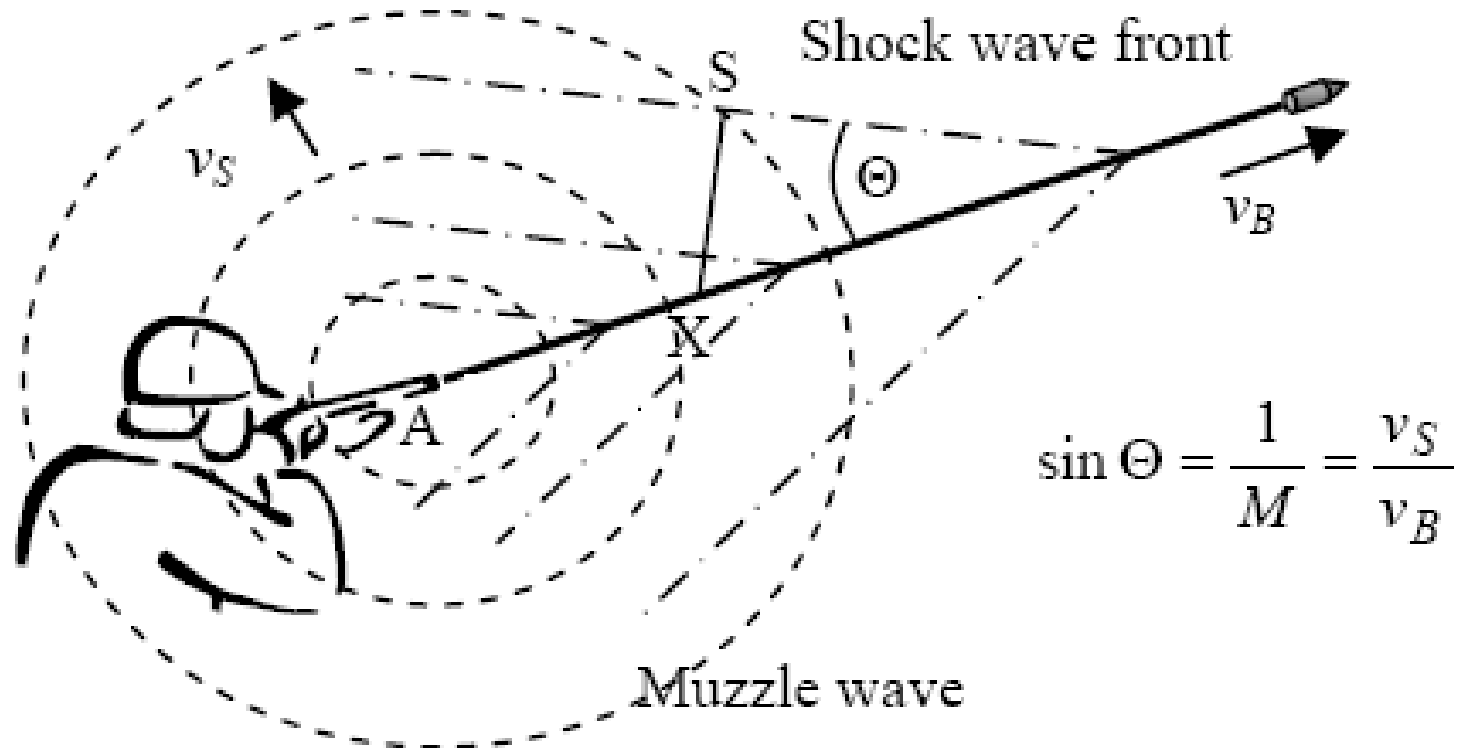
---

*Előadó: Kincses Zoltán*

---

# Mesterlövész detektáló rendszerek

- Csak néhány használható városi környezetben
    - szegényes lefedettség, épületek árnyékoló hatása
    - multi-path hatás
  - Viper rendszer
    - infravörös kamera a torkolattűz detektálására
    - mikrofon a torkolati légnyomás alapú távolság becslésre
  - Más megközelítések
    - a repülő golyó hő-képének mérése
    - az örvlövész megvilágítása lézerrel és a visszaverődések mérése alapján iránybecslés
    - azonban egyik megoldás sem biztosít átfogó megoldást a problémára
-



---

# Kereskedelmi akusztikus rendszerek

- Mérik a lökéshullám és/vagy a torkolati légnyomás TOA értékét és néhány jellemzőjét
  - A BBN's Bullet Ears rendszere egy vagy két mikrofon tömböt alkalmaz
    - kaliber, sebesség, röppálya, lövész távolsága
    - irány és távolság pontossága:  $1.2^\circ$ - $3^\circ$  és 1,6%
  - A francia Pilar rendszer két mikrofon tömböt alkalmaz
    - irány és távolság pontosság:  $\pm 2^\circ$  és  $\pm 10\%$
  - Hátrány
    - centralizált, fontos a látószög
    - a lövedék röppályája ne legyen takarásban
    - visszhang
-

---

# Megoldás

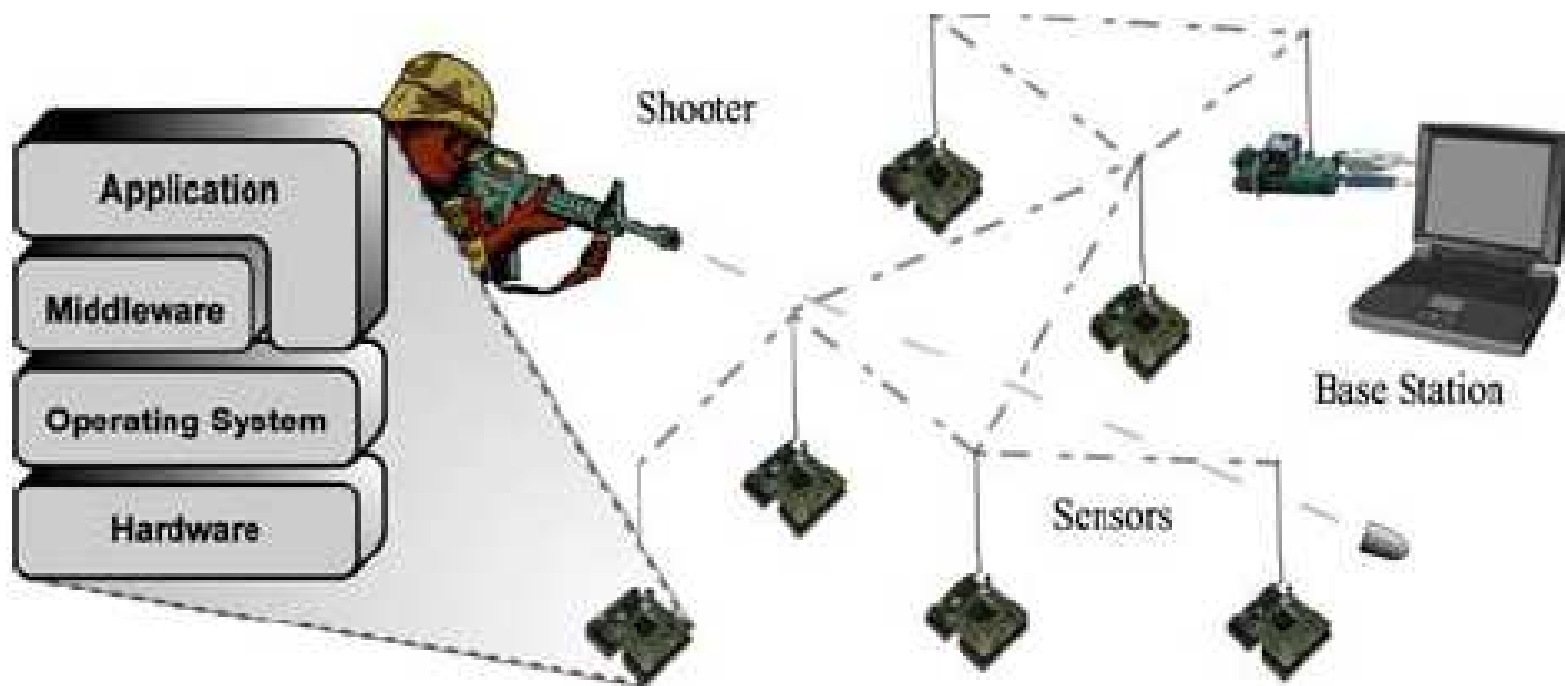
- Sok szenzor együttes használata
    - + jó lefedettség
    - + nagy valószínűségű jeldetektálás
    - + az egyes szenzorok mérései lehetnek pontatlanabbak
    - + ezek a kevésbé kifinomult szenzorok kisebbek lehetnek
    - + a pontosság mellett a rendszer robosztussága is növelhető
-

---

## PinPtr rendszer

- Ad-hoc szenzorhálózat, olcsó szenzorokból
  - A szenzorok szinkronizálják az óráikat, ön-lokalizációt hajtanak végre, majd várják az akusztikus lökéshullámokat
  - detektálják a torkolati légnyomást, akusztikus lökéshullámot, és mérik a TOA-t
  - TOA továbbítása a base station felé, szenzor fúziós algoritmussal lövész lokalizáció
  - a rendszer a valóságban is többször tesztelve lett (US Army McKenna MOUT)
-

# A mote alapú orvlövész detektáló rendszer



---

# Hardver réteg

- Mica2 mote

- 7.3 MHz 8-bit Atmel ATmega 128L
  - 433 MHz, 38.4 kbps Chipcon CC1000 rádió adóvevő
  - 4 kB RAM 128 kB flash
  - kiegészítő interface (szenzorkártya)
    - fotószenzor
    - hőmérséklet és páratartalom szenzor
    - nyomás-, gyorsulásmérő, magnetométer
    - mikrofon
-



---

# Operációs rendszer réteg (TinyOS)

- Speciálisan erőforrás korlátozott eszközökre lett kifejlesztve
  - Eseményvezérelt operációs rendszer
  - Feladat ütemezés
  - Rádió kommunikáció
  - Óra és időzítés kezelés
  - ADC, I/O és EEPROM absztrakciók
  - Energia menedzsment
-

---

# Middleware réteg

- Idő szinkronizáció
    - FTSP (Flooding Time Synchronization Protocol)
  - Üzenet route-olás és adat aggregáció
    - a kis multi-hop késleltetés elérésére
    - az ütközések kiküszöbölésére (a lövéskor minden szenzor egyszerre adna)
  - Ön-lokalizáció
    - szenzor pozíció biztosítása az adat fúziós algoritmusnak (2 órával ezelőtt)
-



---

# Idő szinkronizáció I.

- RBS (Reference Broadcast Synchronisation)
    - a vevő oldalon végez időbélyegzést
    - a küldő oldali késleltetések kiküszöbölése
    - pontosság 29.1 us single-hop esetben
  - TPSN (Timing-sync Protocol for Sensor Networks )
    - hozzáférési és terjedési késleltetés kiküszöbölése
    - két irányú kommunikáció miatt overhead
    - pontosság 16.9 us
  - Kódolási, dekódolási, interrupt késleltetés
-

---

## Idő szinkronizáció II.

- FTSP (Flooding Time Synchronisation Protocol)
    - elküldött/fogadott byte-onkénti időbélyegzés
      - a kódolási/dekódolási és interrupt késleltetés kiküszöbölése
    - kevesebb kommunikációs overhead
      - a szinkronizációhoz egy broadcast üzenet
    - single-hop pontosság 1,4 us
    - multi-hop esetben a mote-ok egy kiválasztott mote-hoz szinkronizálnak
      - broadcast hierarchia fenntartása hiba/pozícióváltás esetén is
    - multi-hop pontosság 1,6 us hop-onként
-

---

# Üzenet route-olás

- A pontosság érdekében a TOA üzeneteket maximális kézbesítési aránnyal kell továbbítani
  - A mérések a lövész és a golyó pályagörbéje körüli területről származnak és azonos időben továbbítódnak
  - Gyors gradiens alapú „best effort” converge-cast protokoll alkalmazása beépített adat aggregációval
    - adatcsomagok route-olása egy root mote-ig
    - a közbülső mote-ok 0, 1, vagy többször küldenek újra egy csomagot amíg vissza nem kapja egy a root-hoz közelebbi mote-tól
    - a mote-ok legfeljebb 3-szor küldik el a csomagot
    - a protokoll emlékszik egy darabig a csomagokra
-

---

# Jel detektálás I.

- Az akusztikus jel detektáláshoz egy akusztikus kártyát használtak 3 független csatornával
  - A kezdeti terv detektálni az AOA-t a lökéshullám, a toroklati légnyomás TDOA-ja alapján
  - A szög detektáláshoz tudni kell a mote irányát, melyhez precíziós magnetométer kell
  - Ezért az egy csatornás TOA mérés és számítógépen történő szenzor adatfúziót használták
-

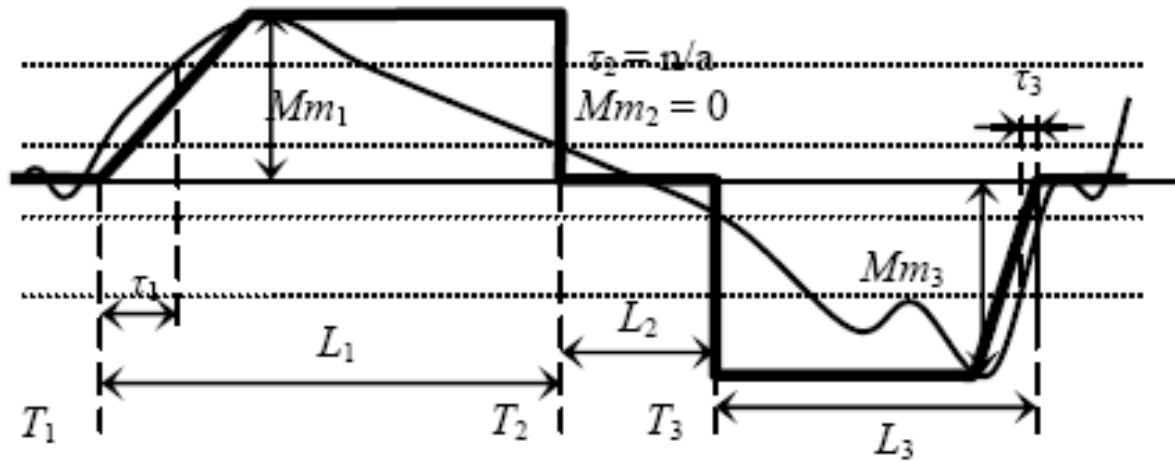
---

## Jel detektálás II.

- A jelfeldolgozást egy Xilinx Spartan-II FPGA végezte
  - Az akusztikus jel tömörítése ZC kódolással
  - Az akusztikus esemény TOA-jét az FPGA belső órája alapján határozták meg és tárolták el
  - A Mica2 mote kiolvasta ezeket az adatokat, és időszinkronizációt végzett az akusztikus kártyával
  - A jeldetektáló algoritmus robosztus
    - a training események 100%-át felismerte
    - több mint 90%-át az egyéb felvett lövéseknek
    - nehéz hibás jelzést kicsikarni, a mikrofon megütése nélkül
    - néhány kártya érzékeny volt a szélre, de ez kiküszöbölhető volt a mikrofonok érzékenységének állításával
-



## Zero-Crossing (ZC) kódolás



- T az intervallum kezdete
- L az intervallum hossza
- $M_m$  a minimum vagy maximum jelérték
- $\tau$  a jelfelfutási idő

---

# Szenzor fúzió I.

- Kétlépes technika alkalmazása
    - TDOA , majd hely meghatározás
  - Négy mérés elegendő a 3D-s pozíció meghatározásához
    - hiba a detektálásban, a lokalizációban, és az idő szinkronizációban
    - több mérés alkalmazásával kijavíthatóak ezek a hibák
  - A konvencionális eljárások jól működnek a zajos helyeken, de rosszul ha nincs direkt rálátása a szenzoroknak
  - A városi területeken a szenzor adatok 10-50%-a hibás
  - Az analitikus megoldás nem megfelelő pontosságú
-

---

## Szenzor fúzió II.

- Ennek megoldása érdekében fel kell használni a lökéshullámok és a torkolati légnyomás TOA méréseit
  - Ezek alapján a szenzorok pozíciója egy 4 dimenziós konzisztencia függvényel definiálható
  - Gyors kereső eljárással a maximum meghatározható
    - intervallum aritmetikán alapuló általánosított Bisection eljárás
  - A maximum lesz a lövész becsült pozíciója
  - A konzisztencia függvény automatikusan osztályozza és kiküszöböli a hibás méréseket és a multi-path hatást
  - A konzisztencia függvényben a többszörös lövés többszörös lokális maximumként jelentkezik
-

---

# Konzisztencia függvény

$$C_{\tau}(x, y, z, t) = \text{count}_{i=1, K, N} (|t_i(x, y, z, t) - t_i| \leq \tau)$$

ahol

$$t_i(x, y, z, t) = t + \frac{\sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2}}{v}$$

---

---

# Tesztelés

- A rendszer a McKenna MOUT tréning központban lett tesztelve
  - A tesztben 56 mote-ot használtak
  - A hiba meghatározására 20 különböző előre meghatározott lövész pozíciót használtak
  - 171-szer lőttek a kísérlet alatt
    - 101 vak tölténnyel
    - 70 SRТА-val
    - nem volt a két eset között különbség
-

Shooter Localization

2D view 3D view



Messages

- Shot ID: 3  
 Position: (24,344,957, 13) Time: 19.00  
 View of shot: 17929487  
 Active notes: 34 (00%)
- # 118 (10,500, 813) - not used
  - # 119 (10,951)
  - # 120 (10,560, 813) - not used
  - # 121 (10,004, 813) - not used
  - # 122 (10,099, 813) - not used
  - # 123 (10,004, 813) - not used
  - # 124 (10,051)
  - # 125 (11,950)
  - # 126 (10,050)
  - # 127 (10,007, 813) - not used
  - # 128 (10,050)
  - # 129 (11,950)
  - # 130 (10,000, 813) - not used
  - # 131 (10,050)
  - # 132 (10,951) - not used
  - # 133 (10,050)
  - # 134 (10,157, 813) - not used
  - # 135 (10,951)
  - # 136 (10,050)
  - # 137 (10,050)

Use shortcuts (ctrl)

Foot shot profile: Unknown

Relative elevation: 1.0m

Foot target profile: Unknown

3D error: unknown

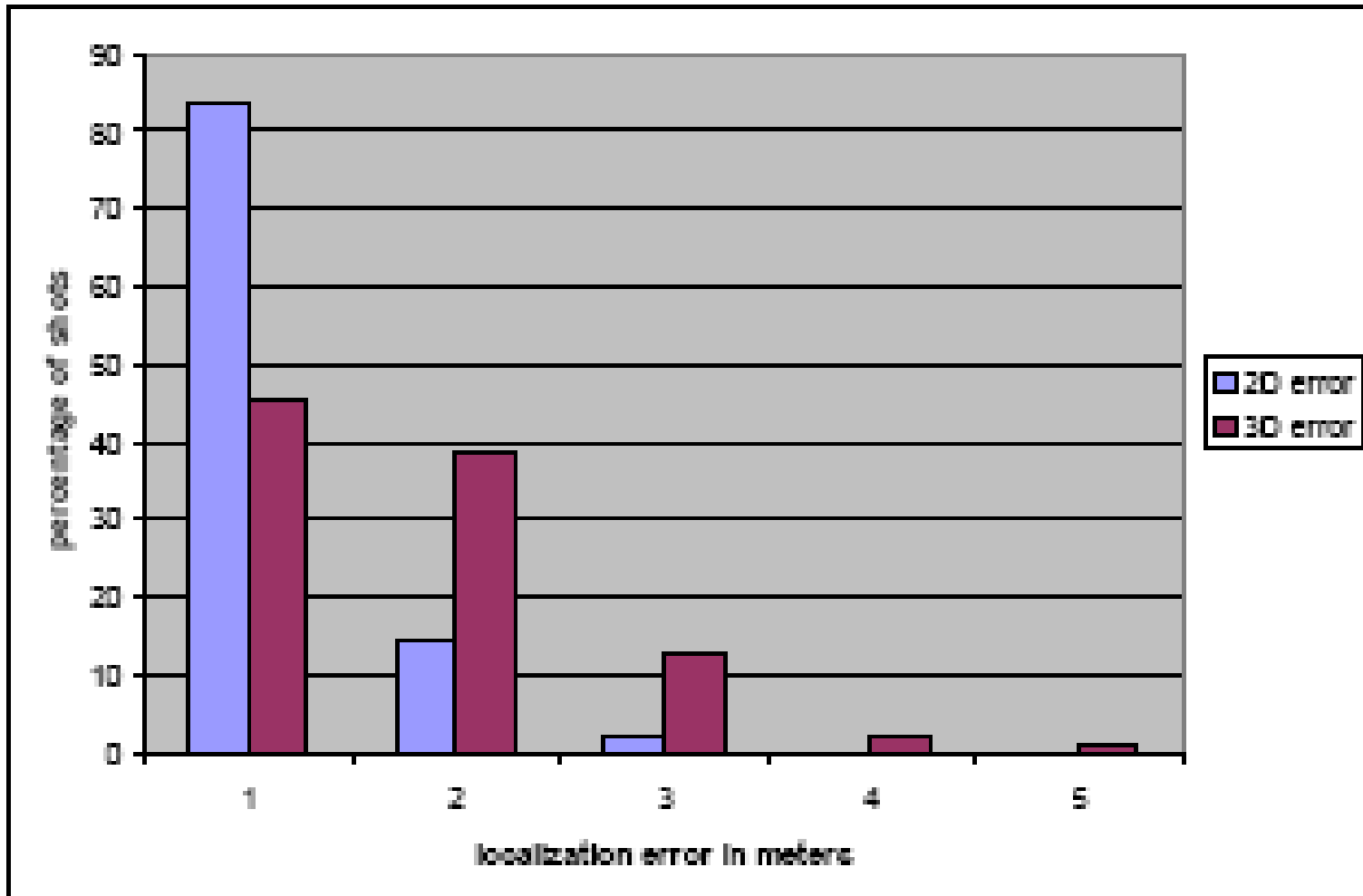
3D error: unknown

Load... Save...  
 Log

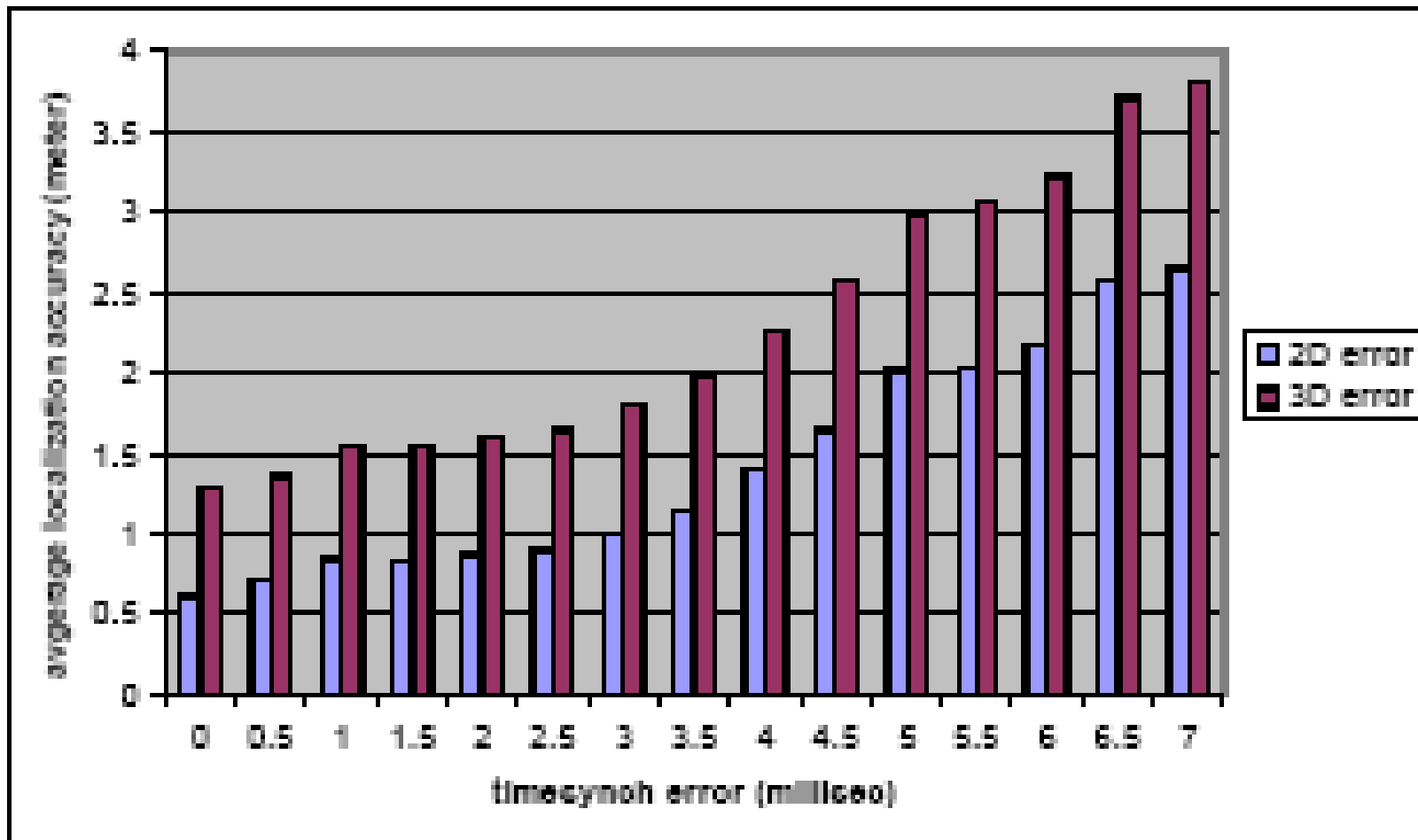
Show notes  Show notes on floor  
 Show notes on floor  Show notes on floor

0 0 0

# Lokalizációs hiba

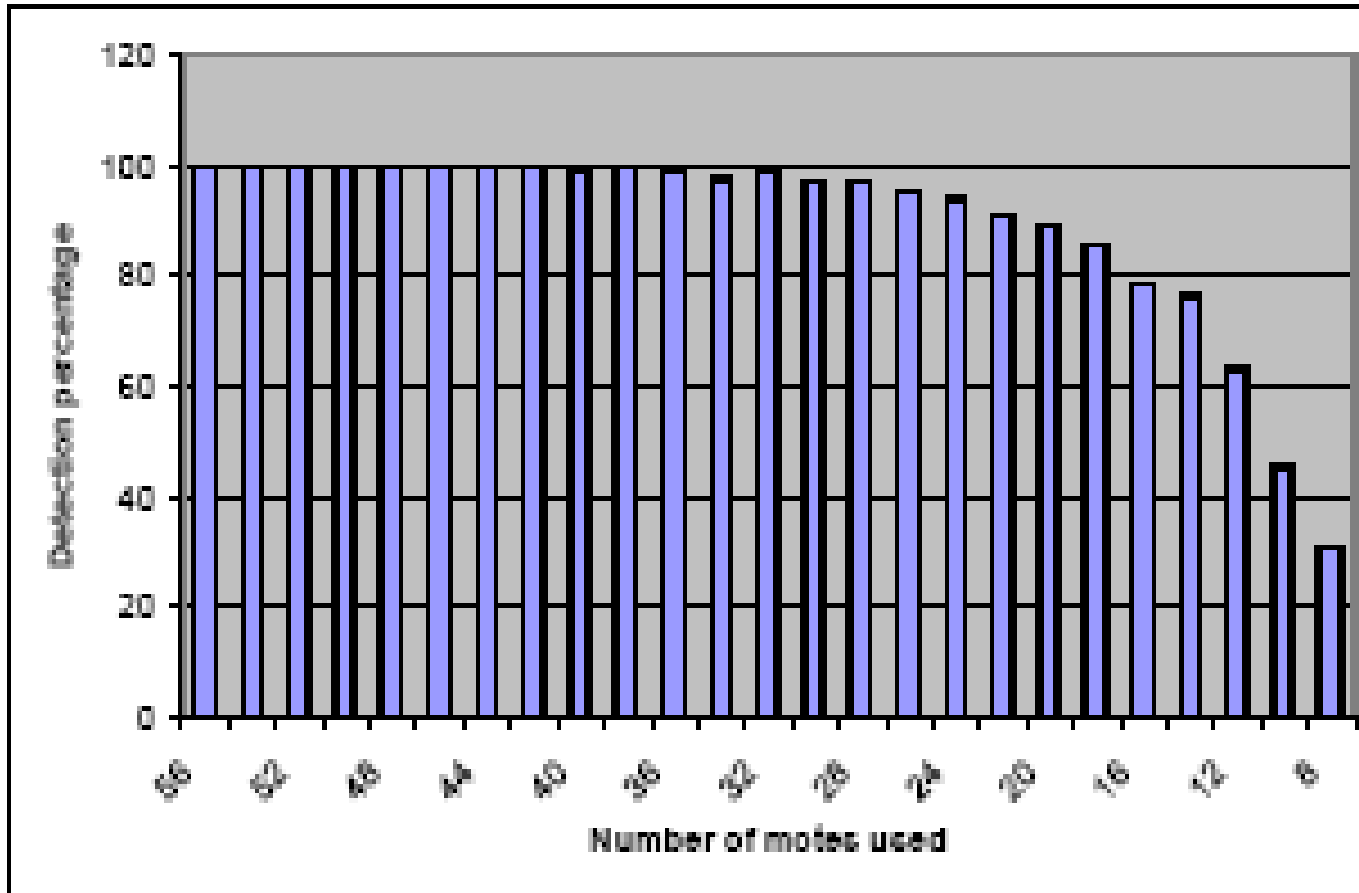


# Hibaforrások (szinkronizációs hiba)

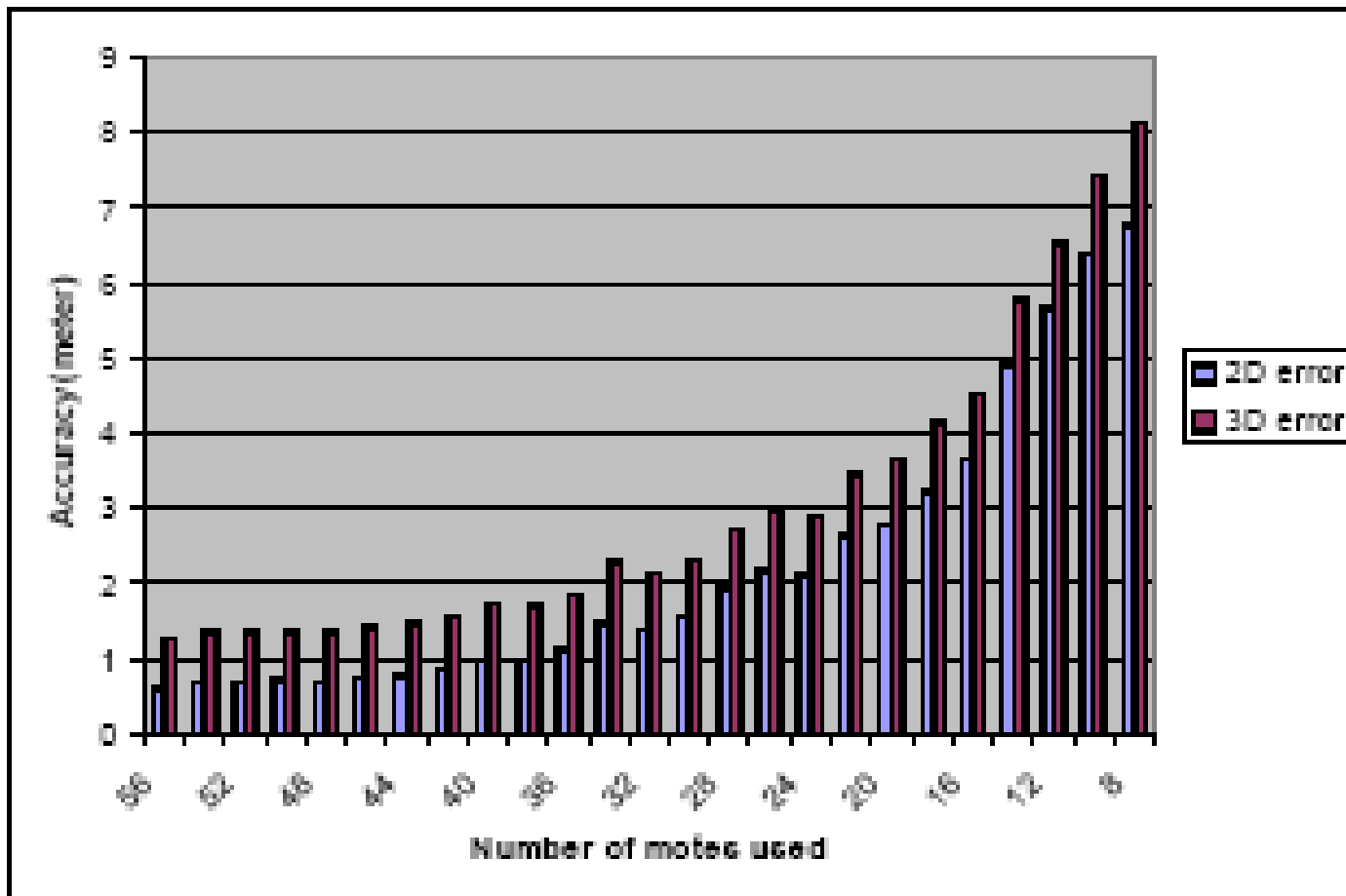




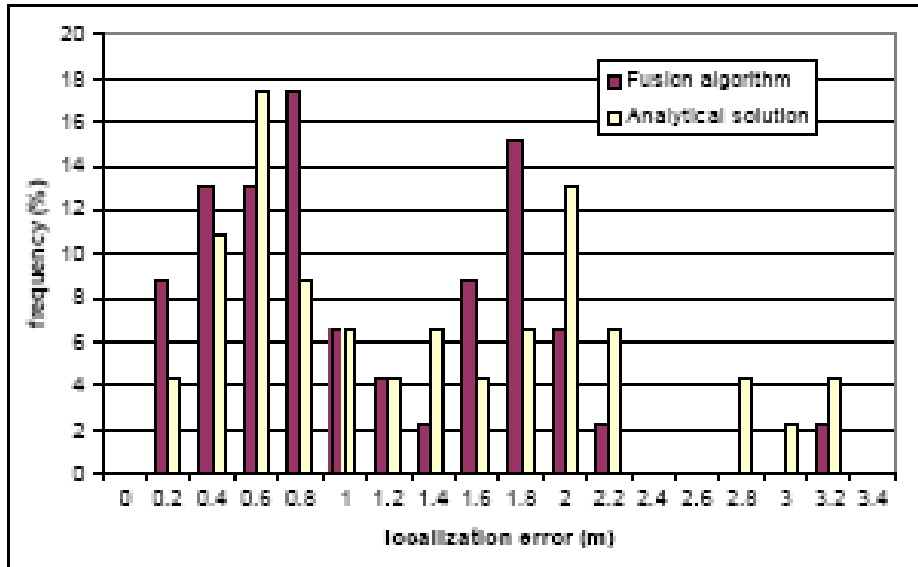
# Szenzor sűrűség (detekciós arány)



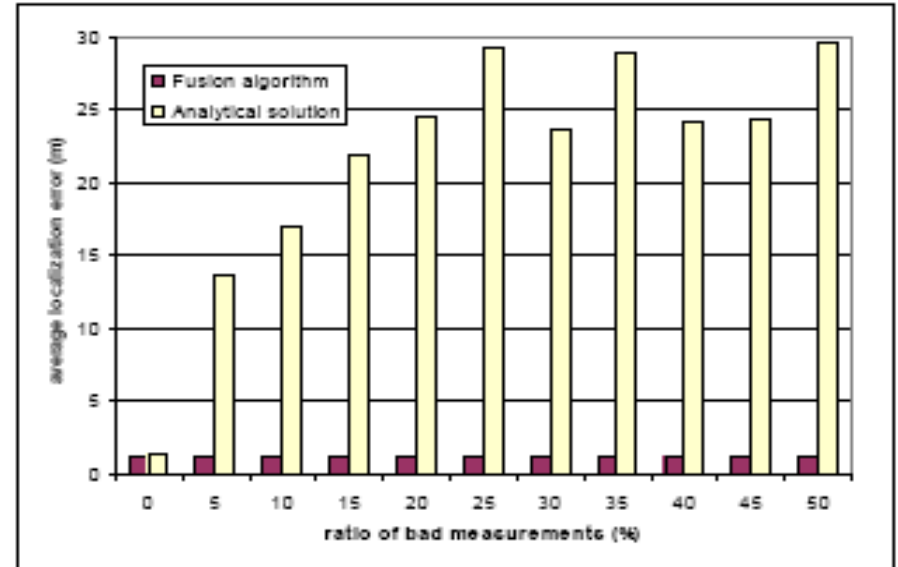
# Szenzor sűrűség (lokalizációs pontosság)



# Szenzor fúzió

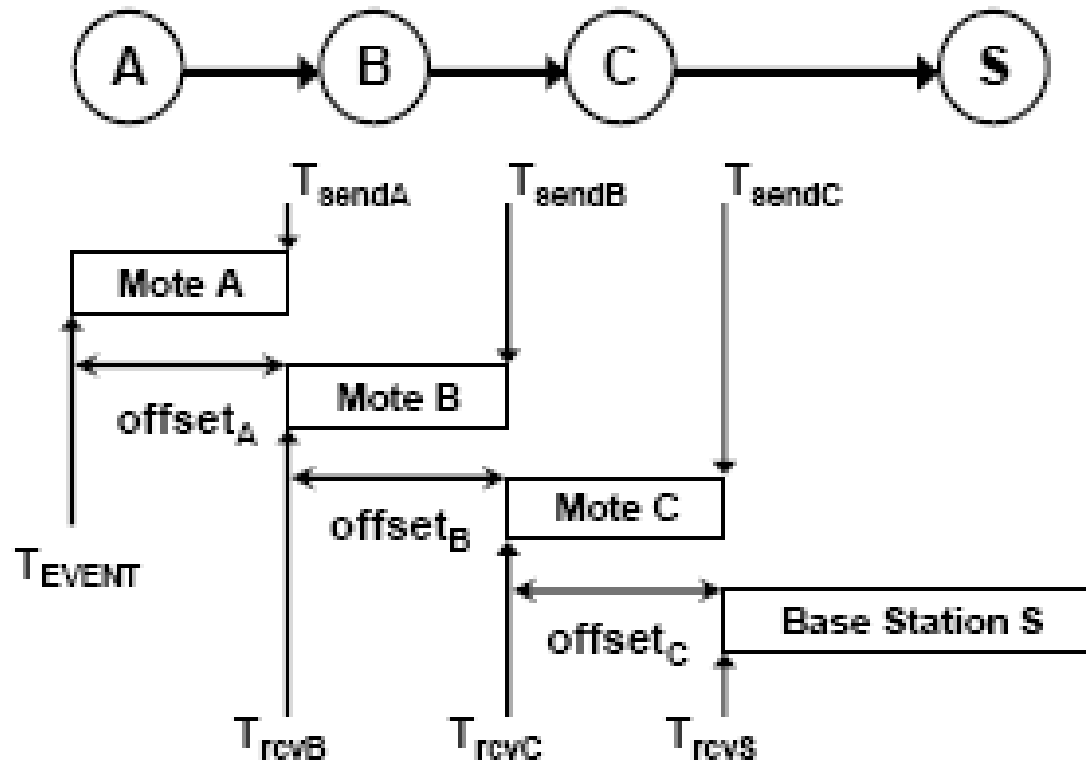


A lokalizációs hiba hisztogramja a fúziós és az analitikus megoldások esetén



Az átlagos lokalizációs hiba szemben a rossz és a jó mérésekkel

# Idő szinkronizáció



---

# Jövőbeli tervek

- Energia menedzsment
  - Többszörös lövések kezelése
  - Folyamatos szinkronizáció helyett post-facto szinkronizáció
  - Dinamikus passzív re-lokalizáció
  - CONOPS
    - konvoj útvonalának védelme
    - felderítő egységek védelme
-