

KUTATÁSI JELENTÉS

Multilaterációs radarrendszer kutatása

Szüllő Ádám

2012

Bevezetés

A Mikrohullámú Távérzékelés Laboratórium jelenlegi K+F tevékenységei közül ezen jelentés a multilaterációs radarrendszerek elvi működését, megvalósíthatóságának vizsgálatát és az eddig elért eredményeket kívánja bemutatni. A projekt újszerűsége következtében jelentős kutatási és részben fejlesztési tevékenységet igényel.

Multilateráció

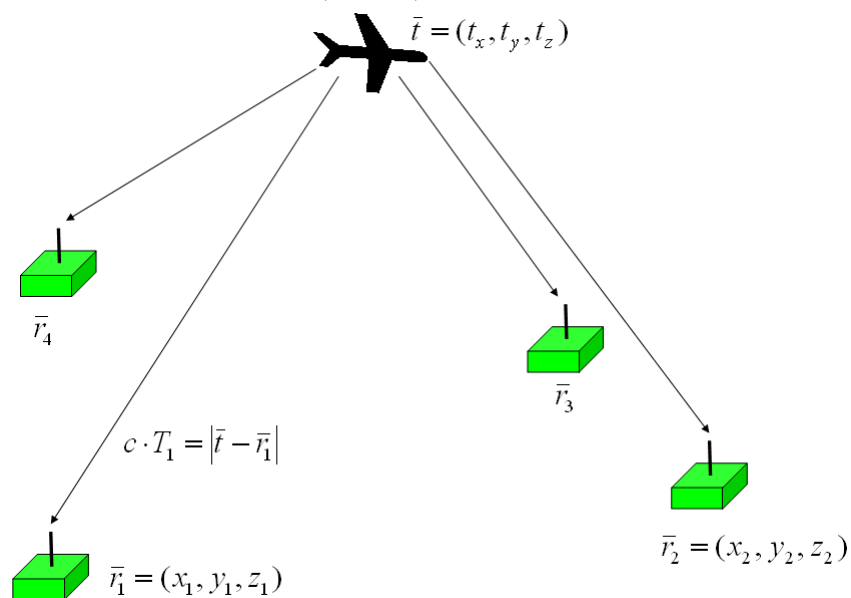
A multilateráció mint mérési módszer során egy jelforrás helyét több, térben elhelyezett vevő berendezés által becsli úgy, hogy az egyes vevők mérik a jelforrás által kibocsátott, specifikus, véges idejű jel vevőkbe történő beérkezési idejét. A mért paraméterek alapján egy egyenletrendszer állítható fel (1), melynek megoldása a jelforrás pozíciójának becslője.

$$c \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ T_{diff,1} \\ T_{diff,2} \\ \dots \\ T_{diff,N} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} |\bar{t} - \bar{r}_0| - |\bar{t} - \bar{r}_0| \\ |\bar{t} - \bar{r}_1| - |\bar{t} - \bar{r}_0| \\ |\bar{t} - \bar{r}_2| - |\bar{t} - \bar{r}_0| \\ \dots \\ |\bar{t} - \bar{r}_N| - |\bar{t} - \bar{r}_0| \end{bmatrix} \quad (1)$$

Az (1) egyenletrendszer alapján megállapítható, hogy az összefüggés nemlineáris, mely tulajdonságát a későbbiekben figyelembe kell venni.

WAMLAT

Egy multilaterációs radarrendszer esetén a jelforrás egy, a mérendő pozíciójú repülőgépen elhelyezett rádió adó berendezés lehet (1. ábra).



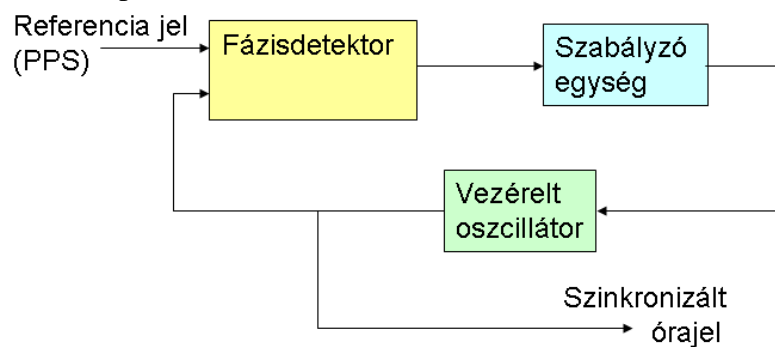
1. ábra - Multilaterációs radarrendszer elvi felépítése

A célra a legalkalmasabb a szekunder radarrendszer (SSR) transzponderjei, mely (a-priori) ismert struktúrájú jelcsomagokat bocsátanak ki. Ezen jeleket "lehallgatva" kellően nagy felbontással mérhető az egyes vevőkben a beérkezési idő. A nagy felbontású időmérés önmagában nem elegendő, felbontás mellett szükséges a nagy pontosság is. Emiatt szükséges egy, a multilaterációs radarrendszerre vonatkoztatott abszolút időalap létrehozása minden egyes vevőkészülékénél. A vizsgált radarrendszer esetén a cél egy földrajzilag nagy kiterjedésű struktúra kialakítása (WAMLAT - Wide Area Multilateration), mely esetén a vevők közötti

távolságok közel a vevők hatótávolságának megfelelő nagyságrendűek (>50 km). A rendszer abszolút időalapja az egyes helyeken lévő órák együttfutását jelenti. Ezen szinkronizmus biztosítása a rendszer legkritikusabb pontját jelenti. A triviális megoldás (órajel szétosztó hálózat kiépítése) gazdaságossági, üzemeltetési és megbízhatósági szempontok alapján sem célszerű.

GPSDO

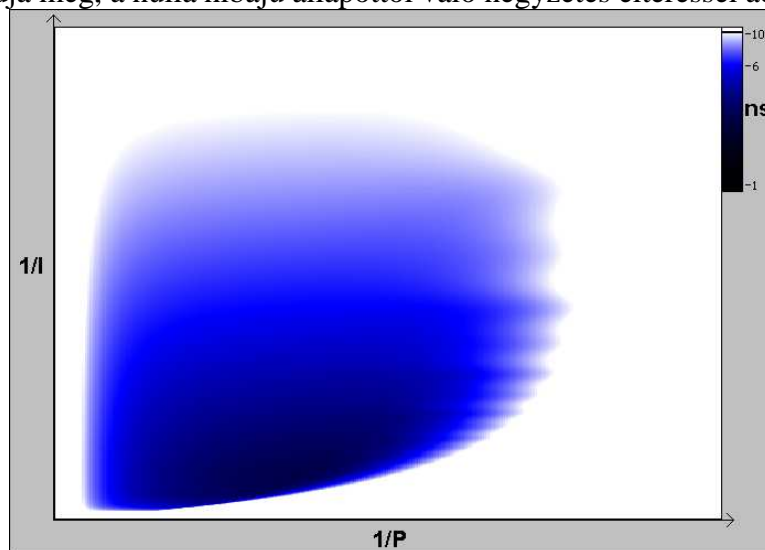
A laboratóriumban kialakításra került egy GPS alapú szinkronizációs megoldás, mely a GPS rendszer műholdjainak vétele alapján állítja elő a nagy pontosságú és stabilitású órajelet az eszköz pozíciójától függetlenül (GPSDO - GPS Disciplined Oscillator). Egy GPS vevő egység által létrehozott PPS (Pulse Per Second) jel átlagosan nagy pontosságúnak tekinthető. Ezen jel csupán hosszabb távon tekinthető pontosnak, rövid távon időbeli zajjal terhelt. A PPS jel segítségével szabályozható a WAMLAT rendszer egyes vevő berendezéseinek órái (2. ábra), azonban ez két problémát vet fel.



2. ábra - Óra szabályzási kör

A PPS jel zajossága miatt a szabályozási kör nem lehet túl "szoros", mivel ekkor a zaj nagymértékben megjelenne az előállított órajelben. Ugyanakkor a szabályozási kör nem lehet túl "laza" sem (mely eset kedvezne a kiszajú órajel előállításának), mivel a lokális óra véges stabilitással rendelkezik, így jelentősen csökkenne az órajel pontossága.

A kutatási folyamat egyik fontos részfeladata volt egy szimulációs rendszer kialakítása, mely lehetővé teszi a szabályzási kör paramétereinek optimális beállítását. Egy szimulációs eredmény a (3. ábrán) látható; a szimuláció a lokális oszcillátor frekvenciahibáját 200 ppb amplitúdójú szinuszos változással modellezi, az eredmény, mely a szabályozási kör hatékonyságát adja meg, a nulla hibájú állapottól való négyzetes eltéréssel adja meg.



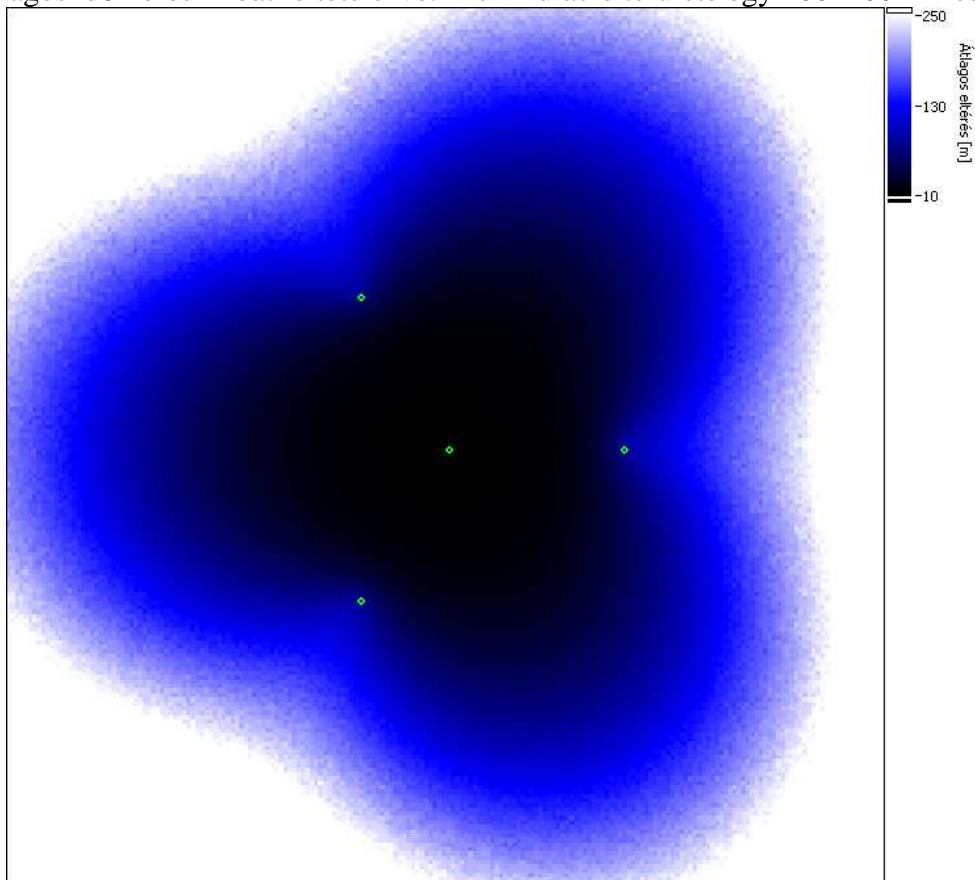
3. ábra Szabályzási kör hatékonysága

Hibaterjedés multilaterációs mérés során

Az egyes vételi helyeken előállított lokális órajelek átlagosan szinkronban vannak, azonban ezeket időbeli zaj terheli. Az időmérés zaja a multilateráció során pozíciómérési hibaként jelenik meg, mely a mért paraméterek-becsült pozíció közötti nemlineáris összefüggések miatt nem csak az időmérés pontatlanságától, hanem a jelforrás pozíciójától is függ.

A kutatás során megállapításra került, hogy a vevők optimális geometriai elrendezése centralizált struktúrák esetén az egyes vevőállomások egy kör mentén ekvidisztánsan helyezkednek el, az ezen vevőknek megfeleltetett pontok centroidjánál még egy vevő található. A 2 dimenziós megoldást figyelembe véve a vevők minimális száma 4, ez geometriai elrendezésben egy szabályos háromszög csúcsai és annak centroidja.

A 4. ábrán látható szimuláció a pozíciófüggő átlagos mérési hibát adja meg az egyes vevőknél 30 ns átlagos időmérési hibát feltételezve. A szimuláció területe egy 100x100 km-es négyzet.

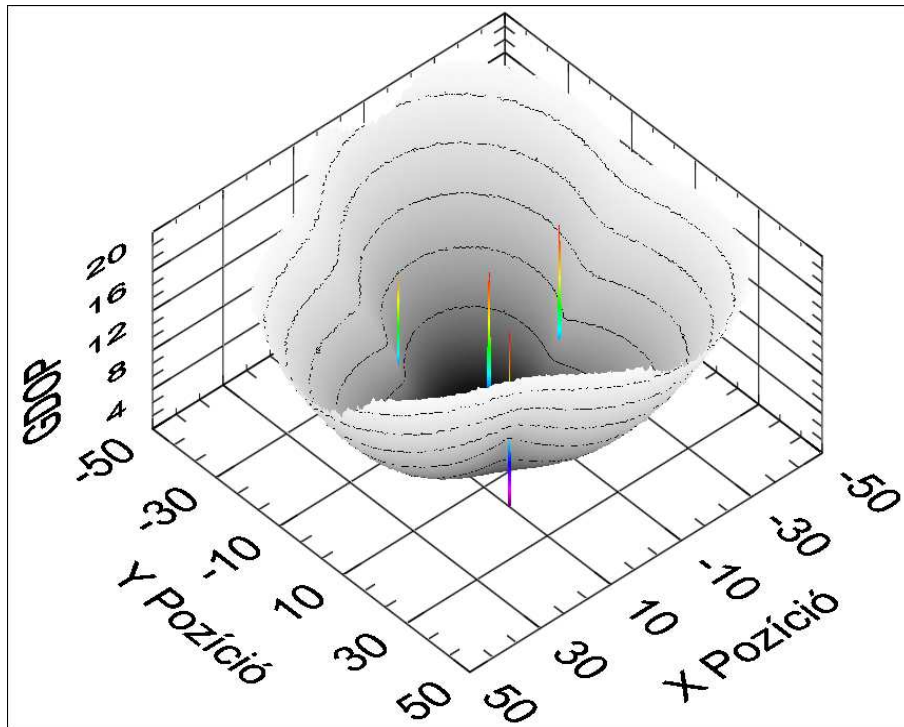


4. ábra Minimális számú vevő optimális elrendezése esetén szimulált pozíciómérési hiba

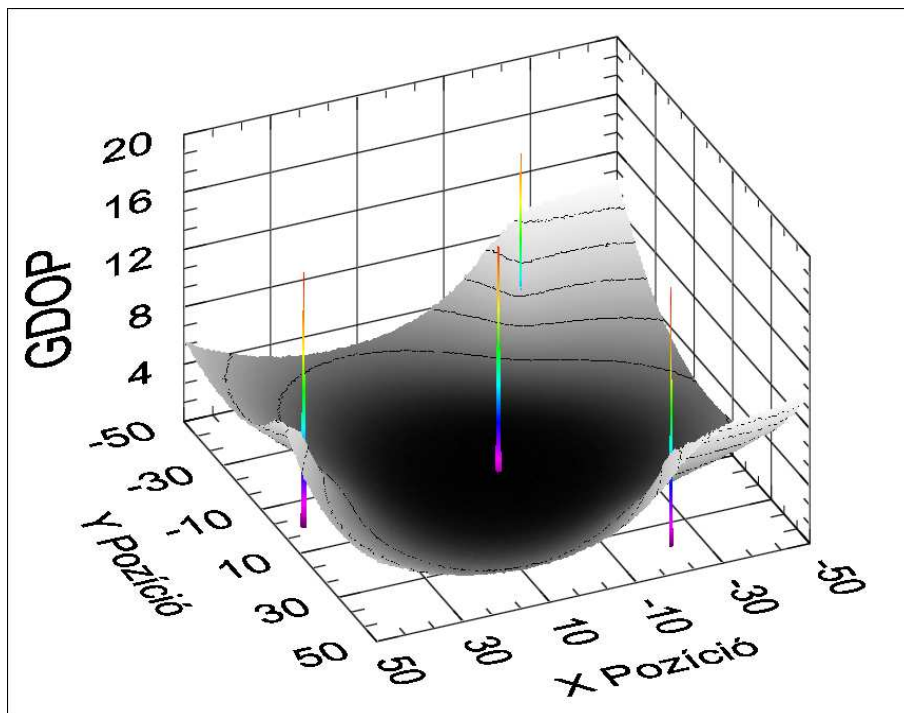
A szimulációs eredmény alapján megállapítható, hogy a vevők által határolt zónán belül érhető el a legkisebb hibájú pozíció mérés, a zónától távolodva az átlagos pontosság romlik.

A 4. ábrán látható szimulációs eredmény abból a szempontból mindenféleképpen korlátolt, hogy csupán egy konkrét időmérési bizonytalanság mellett ad meg egy ehhez tartozó pozíció mérési hibát. Egy adott geometriai elrendezést ezen paramétertől függetlenül jellemezni képes eredmény úgy kaphatunk meg, ha az eredményt normalizáljuk a szimulációban alkalmazott időmérési hibával. Az időmérési hiba a fénysebesség ismeretében átváltható pozíció mérési hibává, mellyel normalizálható a kapott eredmény. Az így kapott eredmény a GDOP (Geometric Dilution of Precision) elnevezésű dimenzió nélküli arányszám.

Az 5. és 6. ábrán látható két szimulációs eredmény, melyből megállapítható, hogy a vevők által meghatározott zóna növelésével a kisebb pozíciómérési hibájú zóna kiterjeszhető, méretének csupán a vevők hatótávolsága szab határt.



5. ábra Szimulált GDOP diagram



6. ábra Szimulált GDOP diagram távolabb elhelyezett vevőkkel

Összegzés

Megállapítható tehát, hogy érdemes a vevőket a lehetőségekhez képest egymástól a legtávolabbra helyezni (az egyes vételi területek átlapolódását megtartva), így megfigyelhető terület és az alkalmazott vevők számának aránya optimális lesz. Az egyes vevők között mérhető relatíve nagy távolság (50-100 km) miatt a multilaterációs technikához szükséges szinkronizáció biztosítása a telepítési és üzemeltetési körülményeket figyelembe véve a GPS rendszer alapján az egyik legjobb módszernek tekinthető.