



**Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem**

Villamosmérnöki és Informatikai Kar

Hálózati Rendszer és Szolgáltatások Tanszék

# **Felhasználók pozicionálása 4. generációs hálózatokban**

*Készítette*

Barát Dániel, Danyi Ádám Vilmos,  
Lengyel Dániel József

*Konzulens*

Dr. Imre Sándor

2015

# TARTALOMJEGYZÉK

Összefoglaló .....	4
Abstract .....	5
Rövidítésjegyzék.....	6
1. Bevezetés .....	8
1.1. Helymeghatározás a hétköznapiakban .....	8
1.2. Fontos alkalmazási területek.....	8
1.3. A hálózat üzemeltetők előnyére is válhat .....	8
1.4. Hátráltató tényezők.....	9
1.5. Megcélzott terület:.....	9
2. Mobilhálózatokban alkalmazott pozicionálási eljárások.....	10
2.1. Érkezési időn alapuló helymeghatározás (Time of Arrival- ToA):.....	10
2.2. Helymeghatározás az érkezési időkülönbségek mérése alapján (Time Differenc of Arrival - TDOA):.....	12
2.2.1. Helymeghatározás az észlelt érkezési időkülönbségek mérése alapján (Observed Time Differenc of Arrival – OTDOA):.....	12
2.2.2. Helymeghatározás felfelé irányuló időkülönbségek mérése alapján (U-TDOA – Uplink Time Difference Of Arrival): .....	13
2.3. Érkezés szögén alapuló helymeghatározás (Angle Of Arrival - AOA).....	13
2.4. Távolságmérés a vett jel szintje alapján (RSS - Received Signal Strength)...	14
2.5. Timing Advance (TA) mérések.....	14
2.6. Cella azonosítón (Cell ID) alapú helymeghatározás .....	15
2.7. Továbbfejlesztett Cell ID-n alapuló helymeghatározás (E-CID – Enhanced Cell ID):.....	16
2.8. Radio Frequency (RF) fingerprinting .....	16
2.9. Adaptive Enhanced Cell Identity Fingerprinting (AECID).....	17
3. Szimulációk .....	19

3.1.	A szimulációs környezet kiválasztása .....	19
3.2.	A szimulációs környezet rövid bemutatása.....	20
3.3.	A szimulációs környezetbe implementált pozicionálási algoritmusok.....	22
3.4.	Szimulációs eredmények .....	23
3.5.	Fejlesztési és továbblépési lehetőségek .....	28
4.	Összefoglalás .....	30
	Ábrák jegyzéke .....	31
	Irodalomjegyzék .....	32

## Összefoglaló

A TDK dolgozatban bemutatásra kerülnek a különböző mobil hálózatokban alkalmazott pozicionálási eljárások. Sok különböző és érdekes technikát ismertetünk, melyek mind azt a célt szolgálják, hogy valamilyen úton-módon meghatározzák a felhasználó földrajzi helyzetét. A pozicionálási eljárások áttekintése során különös tekintettel voltunk azokra, melyeket a 4. generációs mobil hálózatokban alkalmaznak.

A dolgozat készítésének következő lépcsőfokaként egy olyan szimulációs környezetet választottunk, mely alkalmas a különböző pozicionálási technikák tesztelésére a 4. generációs mobil hálózatokban, valamint könnyen bővíthető új (helymeghatározási) algoritmusokkal. Választásunk a tanszéken az elmúlt évek során készített MATLAB alapú szimulációs környezetre esett (melynek alapjai a WINNER csapat által készített WINNER II-es csatornamodellen nyugszanak). Az elmúlt (fél)években több pozicionálási algoritmus szimulátorban történő implementálásában is részt vettünk, valamint jelenleg is egy új pozicionálási algoritmus implementálásán dolgozunk.

A dolgozat második felében ennek a szimulációs környezetnek a segítségével különböző környezetekben (városi, külvárosi és vidéki környezetben) tanulmányoztuk az egyes implementált algoritmusok viselkedését, működésük helyességét, különböző bemeneti paraméterek függvényében.

## **Abstract**

In this thesis we are going to present some positioning methods, which are used in mobile networks. We would like to expound many different and interesting technique of the topic, which serve the purpose, that in some way define the geographic location of the user. A review of the positioning procedures what we are currently working on is used in LTE systems.

As a next step, we choose a simulation environment which is suitable for a variety of positioning technologies for testing the 4th generation mobile networks, and can be easily expanded with new (positioning) algorithms. We choose a MATLAB-based simulation environment, what the department have developed over the years ((based on the WINNER II channel model - made by the WINNER team). In the last (half) years, we participated in the implementations, and we are currently working on implementing a new positioning algorithm into the simulator.

In the second part of this thesis by of the simulator, we studied the various implemented algorithms behavior and the operation of accuracy depends on different input parameters, such as the following environments: (urban, suburban and rural environments).

## Rövidítésjegyzék

AECID	Adaptive E-CID
A-GPS	Assisted GPS
AOA	Angle Of Arrival
CDB	Correlation Database
CID	Cell ID
E-CID	Enhanced Cell ID
eNodeB	Evolved NodeB
E-OTD	Enhanced Observed Time Difference
E-SMLC	Evolved- Serving Mobile Location Center
FDOA	Frequency Difference Of Arrival
GPS	Global Positioning System
LOS	Line Of Sight
LTE	Long Term Evolution
MIMO	Multiple Input Multiple Output
NLOS	Not Line Of Sight
PRS	Positioning Reference Signal
RF	Radio Frequency
RSRP	Reference Signal Received Power
RSRQ	Reference Signal Received Quality
RSS	Received Signal Strength
RSSI	Received Signal Strength Indicator
RTT	Round Trip Time
TA	Timing Advance
TDD	Time Division Duplexing

TDOA	Time Difference of Arrival
TOA	Time Of Arrival
UE	User Equipment
WINNER	Wireless World Initiative New Radio

# 1. Bevezetés

## 1.1. Helymeghatározás a hétköznapiakban

A helymeghatározás nagy szerepet tölt be életünkben. Hétköznapijainkban már szinte mindennaposnak mondható a GPS (*Global Positioning System*) használata, aminek segítségével könnyedén eljuthatunk nagy magabiztossággal olyan helyekre, ahol még azelőtt nem jártunk, a lehető legrövidebb úton, vagy egy közlekedési dugót elkerülve. De, ha csak egy kirándulásra gondolunk, sok segítséget nyújt egy túra alkalmával, ha tudjuk pontos pozícióinkat, és akár már a legmodernebb fényképezőgépekbe épített GPS segítségével, a megörökített pillanatot, táj pontos helyét is rögzíthetjük.

## 1.2. Fontos alkalmazási területek

A sok hasznos előny mellett nagyon fontos szerepet játszik a vészhelyzetekben a gyors helymeghatározás, segítségkérés alkalmával, épületen belül, alagutakban vagy olyan helyszíneken, ahol a pontos pozíciót nem lehet GPS segítségével meghatározni, mert a műholdakra egyes esetekben nincs jó vagy egyáltalán nincs rálátás. Manapság viszont az emberek nagy hányada mobiltelefonnal rendelkezik, és elmondható, hogy tőlük szinte egész nap karnyújtásnyi távolságban található az eszköz. Az előzőekben említett helyzetekben előnyünkre válhat, ha a mobilhálózatra támaszkodhatunk, melynek segítségével viszonylag pontosan meghatározhatjuk a segítségkérő helyzetét, hollétét.

## 1.3. A hálózat üzemeltetők előnyére is válhat

Vannak olyan időszakok, például koncerteken, nagy rendezvényeken, amikor egy bizonyos kis területen az átlagosnál sokkal többen használják a mobiltelefonjukat. Erre a szolgáltatók előre fel tudnak készülni, de egy spontán kialakuló közlekedési dugóban, vagy nem várt eseménykor a hálózat üzemeltetőknek is előnyére válhat, ha látnák a hozzájuk tartozó eszközök pozícióját, illetve előre tudnák azok számát jelezni, és reagálni rá, így megelőzve az adott helyszínen a túlterheltséget.

Hatalmas, még kiaknázatlan lehetőség rejlik a terminálok által riportolt mérések kiterjesztésében, összegyűjtésében és térképen történő ábrázolásában. Ezzel részben, vagy



akár teljesen kiválthatók lennének a költséges autós mérések, az úgy nevezett *drive test*-ek. Ehhez persze szükség van a terminálok pozíciójára is a mérés pillanatában.

#### 1.4. Hátráltató tényezők

A pontos adatok meghatározásában sok hátráltató tényező is van, amelyeket figyelembe kell venni. Többek között a doppler effektus, a több utas terjedés, csillapítás, interferenciák az időjárás, a páratartalom, a levegő mozgása, az adótoronyok távolsága és a jelerősség mind befolyásolhatják pozicionálásunk pontosságát. A mintafelismerésen alapuló algoritmusok, mint például az RF fingerprinting, vagy az A-ECID esetén pedig a környezet időbeni változása, varianciája okoz problémát. Ilyen változás lehet a növényzet évszaktól függő lombosodása, kopaszodása, vagy akár az építkezések, épületbontások a városokban.

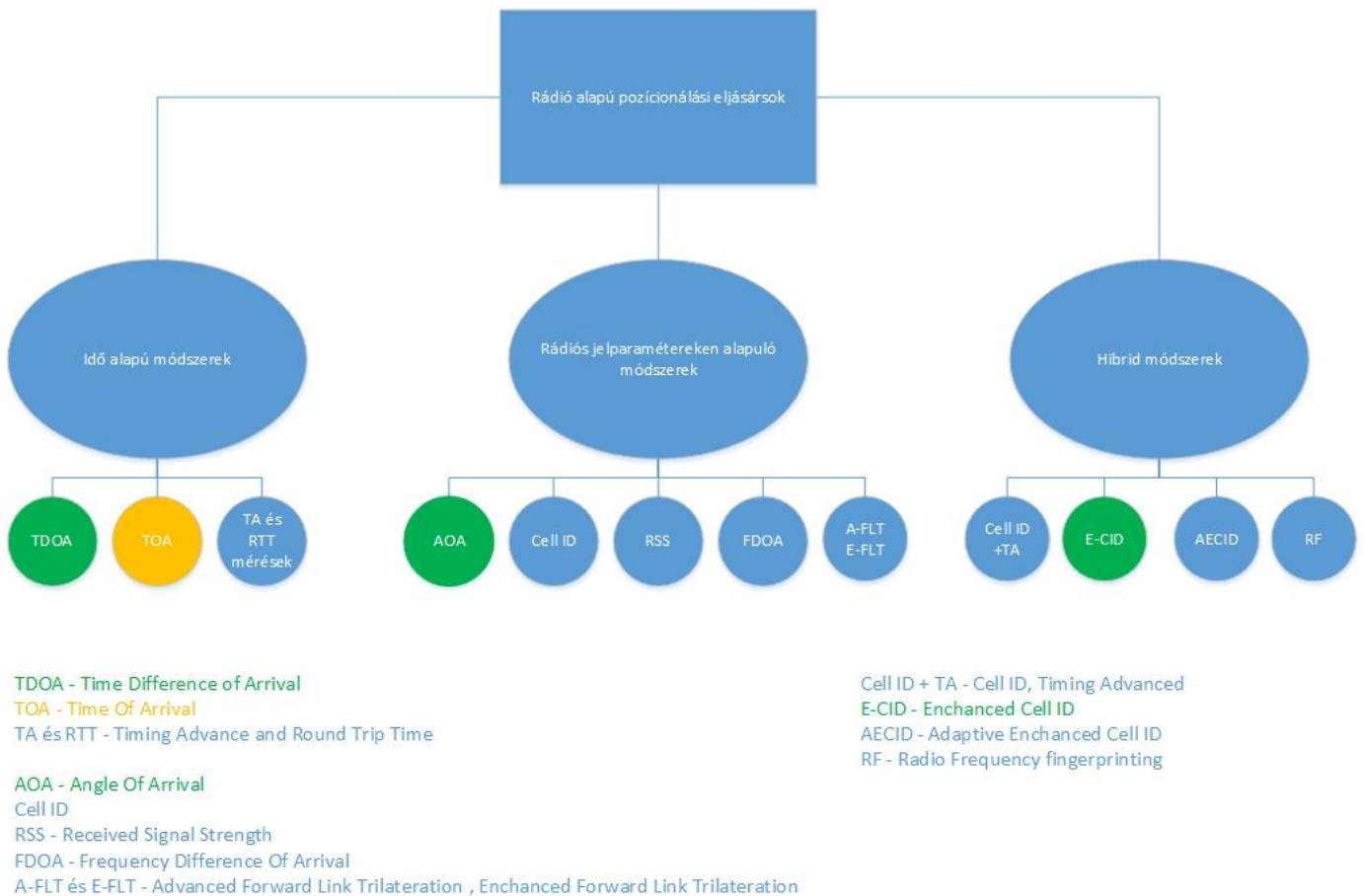
#### 1.5. Megcélzott terület:

A kizárólag mobilhálózat segítségével történő helymeghatározásra sok pozicionálási eljárás már ismert, és alkalmazott. Mi, a TDK dolgozatunkban elsősorban a manapság legmodernebb, negyedik generációs (4G) hálózatokban alkalmazott helymeghatározási módszereket vizsgáltuk, hasonlítottuk össze őket adott helyzetekben.

A továbbiakban bemutatásra kerülnek az LTE-ben (*Long Term Evolution*) használatos főbb rádiófrekvenciás helymeghatározási módszerek. Ezek megismerése után bemutatunk egy szimulációs környezetet, mellyel majd szimuláljuk a rendszer viselkedését. Ezt követően bemutatásra kerül az általunk implementált három, számunkra legmegfelelőbbnek ítélt pozicionálási eljárás, majd a szimulátor segítségével több különböző paraméterrel ellenőrizzük a becslések és az eljárások minőségét.

## 2. Mobilhálózatokban alkalmazott pozicionálási eljárások

A mobilhálózatokban alkalmazott pozicionálási eljárásokat több szempontból is csoportosíthatjuk. Léteznek a legismertebb műholdas helymeghatározó módszerek, ilyen a GPS, A-GPS. Vannak időalapú módszerek, ezekhez tartozik többek között a TDOA, TOA, TA, RTT. Frekvencia alapú módszerek, például az FDOA. Rádiós jelparamétereken alapuló módszerek, például a Cell ID, AOA, RSS, és kidolgoztak már olyan hibrid módszereket is, amelyek alkalmazásakor az előzőekben említett eljárások közül többet is használ egyszerre.



2.1. ábra: Módszerek csoportosítása

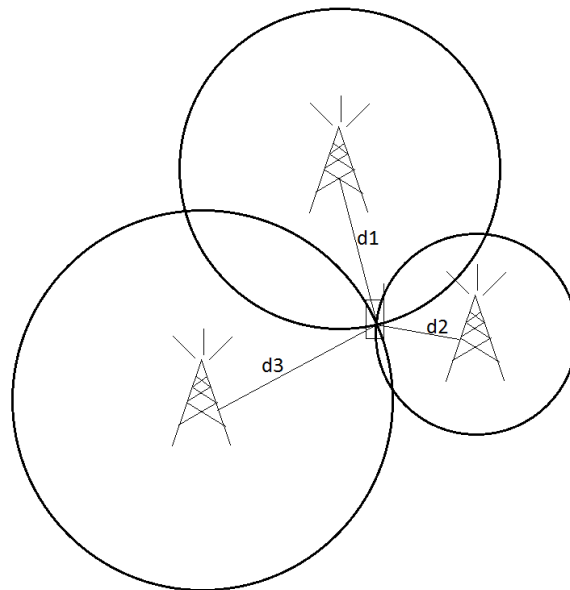
### 2.1. Érkezési időn alapuló helymeghatározás (Time of Arrival- ToA):

Ha egy távolságot le szeretnénk mérni, akkor az a két végpont közötti út megtétele alatt eltelt idő, és a sebesség ismerete alapján könnyen számítható. A ToA módszer is ezen az

elméleten alapszik. Egy mobiltelefon távolságát számunkra ismert helyzetű ponttól, jelen esetben a bázisállomástól, úgy határozhatjuk meg, hogy bázisállomás kérésére a mobiltelefon jelcsomagot küld a bázisállomásnak. A jel terjedési ideje, ha a bázisállomás, és a mobiltelefon szinkronban vannak, könnyedén lemérhető, a terjedési sebesség pedig a fénysebességgel közelíthető.

Ha csak a mobiltelefon és kizárólag egy bázisállomás közötti jelterjedési időt mérjük, abból még nem következtethetünk a pontos pozícióra. Ahhoz, hogy egy jól behatárolható kis területre szűkíthessük az eszköz helyzetét, legalább 3, de inkább több bázisállomástól kell lemérnünk az jelterjedési időt.

A terjedési idő és a terjedési sebesség ismeretében kiszámított távolság minden egyes bázisállomás körül egy kört határoz meg. Az összes kört összevetve megkapjuk azok metszéspontját, amely megmutatja a keresett mobiltelefon pozícióját. [1]



2.2. ábra: TOA módszer

A módszernek van egy elméleti határa, amely alá nem lehet a ToA-val szorítkozni. Ez kiszámítható a jel terjedési sebességéből és a rendszer mintavételi frekvenciájából [2]:

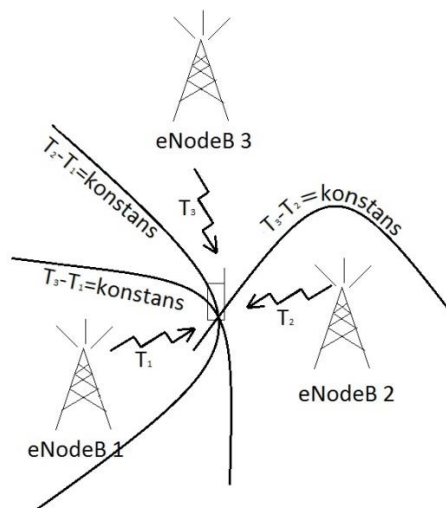
$$d = \frac{c}{F_s} = \frac{3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}}{3,84 \cdot 10^6 \text{ Hz}} = \mathbf{78.125 \text{ m}} \quad (2.1)$$

Ez viszonylag nagy hátránya ennek az eljárásnak, viszont sok előnye közé tartozik az egyszerűség, nincs új hálózati elemre szükség az alkalmazásakor, viszonylag gyorsan eredményhez vezet, ha ezt választjuk.

## 2.2. Helymeghatározás az érkezési időkülönbségek mérése alapján (Time Differenc of Arrival - TDOA):

A TDOA módszernél a helymeghatározás a TOA-val ellentétben, nem az egyes bázisállomásokból beérkező időkből számított távolságokat használjuk fel, hanem az egymáshoz viszonyított beérkezési időkülönbségekből hiperbolák segítségével számítunk helyzetet.

[3]



2.3. ábra: TDOA módszer

### 2.2.1. Helymeghatározás az észlelt érkezési időkülönbségek mérése alapján (Observed Time Differenc of Arrival – OTDOA):

Az Observed Time Difference of Arrival (OTDOA) egy időmérésen alapuló downlink pozicionálási módszer. A helymeghatározási eljárásnál a mobiltelefon helymeghatározása úgy történik, hogy a bázisállomások jeleket küldenek a mobilkészülék felé, majd a mobiltelefon ezeket méri és kiszámítja az egyes jelek beérkezése közötti időkülönbséget. Ahhoz, hogy pontosak legyünk, az összes a mérésben részt vevő eszköznek szinkronban

kell, hogy legyenek. Az LTE rendszernél ez már alap követelmény, ezért a szinkronizálással nem kell, hogy foglalkozzunk.

A TOA módszerhez hasonlóan, itt sem elegendő egy-két bázisállomás, ennél a módszernél is szükség van legalább három, de a pontosság érdekében inkább négyre.

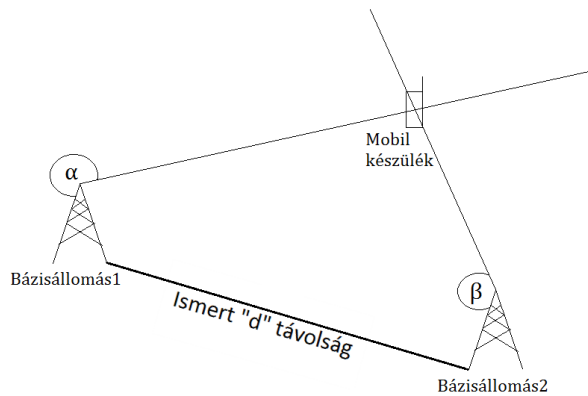
OTDOA helymeghatározásnál a mobil készülék által mért időkülönbségei adatokból felírható egy olyan egyenletrendszer, amely eggyel kevesebb egyenletet tartalmaz, mint ahány bázisállomás vett részt a mérésben. Ezek az egyenletek azt mutatják meg, hogy a mobilkészülék mennyivel van távolabb az egyik adótoronytól, mint a másoktól. Ha ábrázoljuk őket, hiperbolákat kapunk, melynek metszéspontjába megkapjuk keresett mobiltelefon pontos helyzetét.[4],[5]

### **2.2.2. Helymeghatározás felfelé irányuló időkülönbségek mérése alapján (U-TDOA – Uplink Time Difference Of Arrival):**

Az U-TDOA helymeghatározási módszer nagyon hasonlít az előzőekben leírt OTDOA-ra. Lényegi különbség a módszerben, hogy itt a mobiltelefon küld az bázisállomás felé jeleket, és ott történik meg az időkülönbségek kiszámítása. Ez úgynevezett Uplink pozicionálási eljárás.[6]

### **2.3. Érkezés szögén alapuló helymeghatározás (Angle Of Arrival - AOA).**

Az AOA pozicionálási eljárás alkalmazásakor, az adó által küldött jelet nem egy antenna, hanem egy antenna rendszer (legalább két antenna) veszi bázisállomásonként, és ezek az antennák mérik a beérkező jel fázisát. Az egyes antennák által mért ugyanazon beérkezett jelek között fáziskülönbség van. Ebből a fázis különbségből következtethetünk a mobiltelefon helyzeti irányára. Ha ezzel egy időben elvégezzük ugyan ezt a mérést egy másik bázisállomáson, a megkapott irányok meghatároznak egy egyenest, amelyek metszéspontjába van a meghatározni kívánt mobilkészülék.[1]



2.4. ábra: AOA módszer

## 2.4. Távolságmérés a vett jel szintje alapján (RSS - Received Signal Strength)

A RSS pozicionálási módszer alkalmazásakor a mobiltelefonunk által mért jelerősség a legfontosabb mérési adat, amely segítségével kiszámíthatjuk a készülék helyzetét. Ez úgy történik, hogy az adóteljesítményből, és a vett teljesítményből számítunk távolságot. Ez a távolság a bázisállomás körül egy kört határoz meg. Ezen a körön helyezkedik el valahol a mobiltelefon. Ha legalább három adótorony rendelkezésünkre áll, mindháromnál elvégezve a számításokat, ívmetszéssel könnyen megkaphatjuk a mobilkészülék helyzetét. Előnye, hogy viszonylag egyszerűen mérhető, a jelerősséget már régebbi generációjú hálózatokban is szabvány, de nagyon nagy hátránya, hogy figyelembe kell venni a környezetből származó hátráltató tényezőket, többek között a reflexiót, több utas terjedést, szakszcillapítást.[1]

## 2.5. Timing Advance (TA) mérések

A Timing Advance (röviden TA) egy időzítési információ az eNB-tól a UE számára. Azt mondja meg, hogy egy beérkezett downlink subframe kezdetéhez képest mennyivel korábban kell megkezdeni egy uplink subframe küldését.

Ez azért szükséges, mert egy eNB-val egyszerre több UE kommunikál a cella különböző pontjairól. Mivel az elektromágneses hullámok véges sebességgel (fénysebesség) terjednek, így ha minden UE egyszerre kezdené meg egy subframe elküldését, azok különböző időpontokban érkeznének meg az eNB-hoz: A közelebbi UE-ké előbb, a távolabbiaké

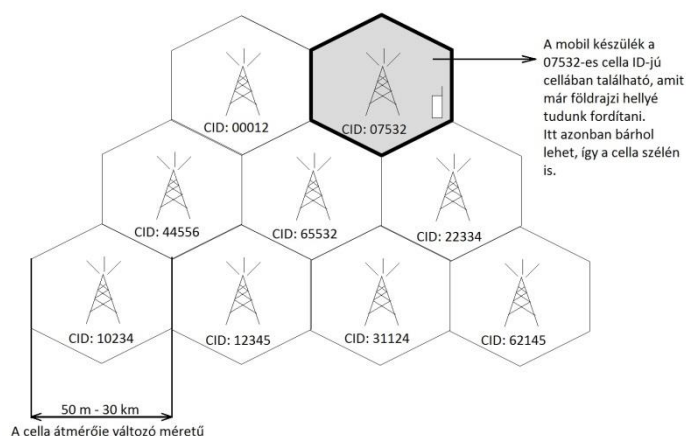
később. Mivel az LTE szabványban az egyes UE-khoz tartozó üzenetek elkülönítését megvalósító eljárás az OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access), így az uplink subframe-ek megfelelő dekódolásához azoknak az eNB-hoz szinkronizálva kell megérkezniük, ekkor biztosított a kódok ortogonalitása.

A TA bizonyos korlátokkal használható idő alapú távolságmérésre, hiszen értéke közvetlenül összefügg a UE eNB-tól mért kvantált távolságával. Távolságmérés szempontjából nagy előnye, hogy a TA felhasználásához nem kell külön mérést végezni, nem kell megszólítani a hálózatot.

## 2.6. Cella azonosítón (Cell ID) alapú helymeghatározás

A Cell ID, rövidítve CID helymeghatározás, az egyik legegyszerűbb helymeghatározási módszer. A hálózat üzemeltetők ismerik a saját bázisállomásaik fix koordinátáit, és a hozzá tartozó cellaméreteket. Minden cellának van egy egyedi saját azonosítója, amelyet Cell ID-nek neveznek.

Ha egy mobiltelefon belép egy cellába, az megkapja többek között a Cell ID adatot is. A Cell ID-ből következtethetünk a helyzetünkre. Ez egy nagyon egyszerű helymeghatározási eljárás, viszont elég pontatlan, mivel a cellaméretek igen változóak. Nagyvárosi környezetben sűrűn helyezkednek el igen kicsi méretű cellák, viszont egy vidéki lakatlan környezetben ezzel ellentétben több négyzetkilométer nagyságú cellák is előfordulnak.



2.5. ábra: Cell ID módszer

## 2.7. Továbbfejlesztett Cell ID-n alapuló helymeghatározás (E-CID – Enhanced Cell ID):

Az E-CID módszer sok alpmódszer együttes alkalmazása. Ha ezt az eljárást alkalmazzuk pozicionálásra, a nevében is szereplő Cell ID módszerrel kezdődik a helymeghatározás. Meghatározzuk, hogy a mobilkészülék melyik cellába tartózkodik a cellaazonosító alapján. Ezzel már jól leszűkítettük azt a tartományt ahol a mobiltelefon lehet. Itt nem állunk meg, további méréseket végzünk, hogy még pontosabbak legyünk. Ha rendelkezésünkre áll megfelelő számú bázisállomás, távolságméréseket végezhetünk, az előző pontokban kifejtett módszerek alkalmazásával: pl. TOA, TDOA. Ha nincs elegendő számú adótorony, akkor még mindig alkalmazható az AOA módszer, amelynek elegendő 2 bázisállomás is ahhoz, hogy jó közelítéssel meg tudja mondani a meghatározni kívánt mobiltelefon pozícióját. Viszont, ha a távolságméréseket el tudtuk végezni, a pontosság érdekében még elvégezhető az AOA eljárás, így kapjuk a lehető legpontosabb eredményeket.

Ezek a mérések mellett több rádiós paraméter segítségével közelebb kerülhetünk a pontos eredményhez: pl. vett jelteljesítményekből (RSRP (*Reference Signal Received Power*), RSRQ (*Reference Signal Received Quality*) jelek), TA (*Timing Advance*) és RTT (*Round Trip Time*) mérések. Nagy előnye a módszernek, hogy szinte bármilyen környezetben használható, és az összes mérési eljárás a módszerben az LTE-ben szabványosítva van. [5]

## 2.8. Radio Frequency (RF) fingerprinting

Ebben a módszerben a helymeghatározás fő hangsúlyát az előzetes, részletes feltérképezés adja. Az eljárás előkészítéseként az egyes területeket részletesen feltérképezik, és az egyes valós helyadatokhoz rendelnek több különböző, rádiós jelparamétert [12].

Ezek a paraméterek a következők:

- Cella ID
- Jelerősség
- Szakaszcsillapítás (path loss) a saját, illetve a környező bázisállomásokra
- RTT-ből származtatott távolságok
- Cellákon belüli soft-handoverek



Ezeket a paramétereket, összerendelve a hozzájuk tartozó pontos helykoordinátával, egy adatbázisba szervezik és tárolják. A mobil készülék méri ezeket a paramétereket, majd ahol a legnagyobb egyezés található a paraméterek alapján az adatbázissal, onnan lekéri a helyadatokat.

A módszer előnye, hogy a mobil készüléktől mindössze néhány mérés és egy adatbázis lekérdezése az elvárt funkció, ami egyszerűen végrehajtható.

A módszer hátránya viszont, hogy az előzetes feltérképezés nagyon sok erőforrást igényel, mivel ahhoz, hogy minél pontosabb térképet kapjunk a rádiós paraméterek alapján, annál több és precízebb mérést kell elvégeznünk. Továbbá az sem elhanyagolható szempont, hogy ezeket az értékeket nem elég egyszer megmérni és a továbbiakban úgy hagyni, mivel a paraméterek napról napra változhatnak, például egy eszköz cseréjekor, vagy új-rakonfigurálásakor. Ilyenkor az adott térkép újvizsgálása lenne szükséges, de ez a sok mérési igény miatt nehezen kivitelezhető.

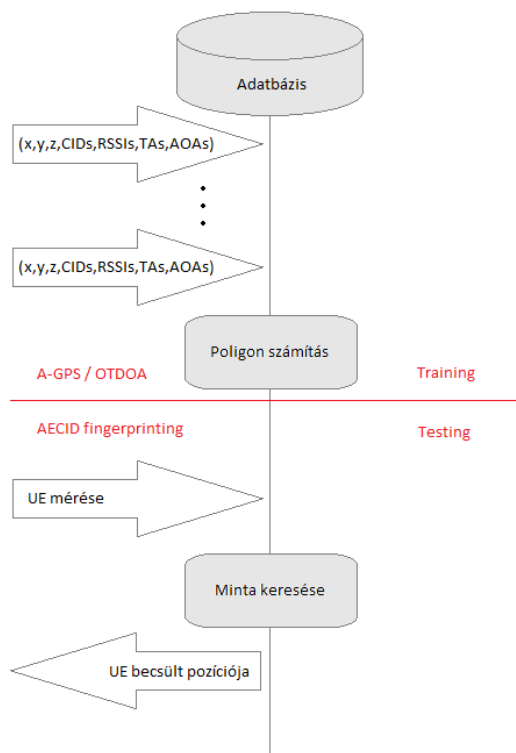
## **2.9. Adaptive Enhanced Cell Identity Fingerprinting (AECID)**

Az Adaptive Enhanced Cell-Identity Fingerprinting ötvözi az RF (*Radio Frequency*) fingerprinting és az ECID előnyeit, ugyanakkor kiküszöböli az RF fingerprinting egyik nagy hátrányát, a training nagy erőforrásigényét. Az RF fingerprintinghez hasonlóan az AECID is a UE (*User Equipment*) által tapasztalt és az adatbázisban tárolt rádiós körülmények összehasonlításával nyújt szuboptimális megoldást a UE pozíciójának meghatározására. A CID és RSSI (*Received Signal Strength Indicator*) értékek mellett itt TA, esetleg AOA méréseket is végez a UE, illetve az adatbázisban is megtalálhatóak ilyen mérési eredmények a hozzájuk tartozó koordinátákkal együtt.

Az AECID az adatbázis felépítésére (training) az RF fingerprintinggel ellentétben nem előzetes bejárást, vagy predikciót alkalmaz, hanem egyfajta tanulási folyamatot, melyben a UE-k szolgáltatnak minden szükséges adatot. Ez úgy valósul meg, hogy amikor a UE user plane, vagy control plane nagy pontosságú helymeghatározást végez, akkor az E-SMLC (*Evolved- Serving Mobile Location Center*) utasítja azt további mérések elvégzésére - melyek a CID, RSSI, TA, AOA mérések - valamint az eredmények, és a nagy pontosságú módszerrel meghatározott koordináták riportolására. Minden ilyen mérés bekerül egy adatbázisba, ami így dinamikusan épül, egyúttal alkalmazkodik a környezet lassú időbeli változásához.

Innen a pozíció meghatározása akár működhetne ugyan úgy is, mint az RF fingerprinting esetén – egyszerű mintakereséssel, azonban a szolgáltatás minőségének javítása érdekében a mérési pontokból egy eljárással sokszögek készülnek. Egy-egy ilyen sokszög csúcsai, vagy pontjai a következőképp kerülnek meghatározásra:

Az RSS, TA, és AOA értékek eleve kvantálva kerülnek be az adatbázisba, így több olyan mérési pont is lesz, melynek a koordinátái eltérnek, de a tárolt RSS, TA, AOA értékek megegyeznek. Az ilyen pontok összessége egy területet jelöl, ahol a UE azokat a bizonyos értékeket érzékeli. Ezeket a pontokat körül lehet venni egy sokszöggel, mely az összes pontot tartalmazza. Ha a sokszögre jellemző rádiós körülményeket észlel egy UE, akkor „biztosan” a sokszög területén belül van. Ha a sokszögben nagyon sok pont van, csökkenteni lehet annak méretét, akkorára, hogy csak egy meghatározott számú pontot tartalmazzon. Egy megoldás a sok közül, ha a sokszög minden csúcsára megnézzük, hogy ha azt a tömegközéppont felé addig mozgatjuk, amíg egy pont a poligonon kívülre kerül, akkor az mekkora területcsökkenést okozna, de csak a legnagyobb területcsökkenéssel járó mozgást hajtjuk végre. Ezt addig ismételjük, míg csak annyi pont marad a sokszögön belül, amennyit szeretnénk. Így tetszőlegesen kis területet meghatározhatunk, mint a pozicionálás eredményét, mindezt ismert konfidenciával.



2.6. ábra: AECID módszer

### 3. Szimulációk

Ebben a fejezetben bemutatásra kerül az egyes eljárások alapjául szolgáló szimulációs keretrendszer, valamint röviden ismertetjük a már implementált pozicionálási eljárásokat, azok eredményeit összefoglaljuk, és értékeljük.

#### 3.1. A szimulációs környezet kiválasztása

A szimulációs környezet kiválasztása során jelentős szerepet játszott az, hogy már több félév óta foglalkozunk a témával, több szakdolgozat, illetve önálló laboratórium témájában végeztünk projekt jellegűen pozicionálási eljárásokra vonatkozó vizsgálatokat, segítettünk egymásnak az algoritmusok kialakításában. Az első ilyen projekt készítése során szimulátor kiválasztásához több szempontot is figyelembe vettünk. Ezek a következők voltak:

- Minél jobban modellezze a valóságot
- A (későbbi) könnyű bővíthetőség
- A moduláris felépítés
- A jó paramétereizhetőség,

valamint azt is figyelembe vettük, hogy az egyes, LTE-ről szóló tudományos cikkek milyen szimulációs környezetet alkalmaznak.

A lehetőségek között több különböző opció merült fel: egy C++ és egy MATLAB alapú szimulátor használata, azonban a C++ alapú szimulátorról kiderült, hogy számunkra nem a megfelelő aspektusból vizsgálja a 4. generációs hálózatokat.

Ezzel szemben a MATLAB alapú szimulátort több LTE-ről szóló tudományos cikkben is használták a különböző paraméterek vizsgálatára, valamint egy másik nem elhanyagolható érv volt mellette, hogy tanszékünkön egy korábbi projekt keretében már készült egy saját szimulációs környezet, aminek alapja a már említett MATLAB alapú szimulátor volt.

A tanszéken fejlesztett „saját környezet” megvizsgálása után arra jutottunk, hogy teljes mértékben rendelkezik az általunk elvárt funkciókkal és a jövőben könnyen tudjuk bővíteni új pozicionálási algoritmusokkal, valamint a meglévőket könnyen tudjuk fejleszteni.

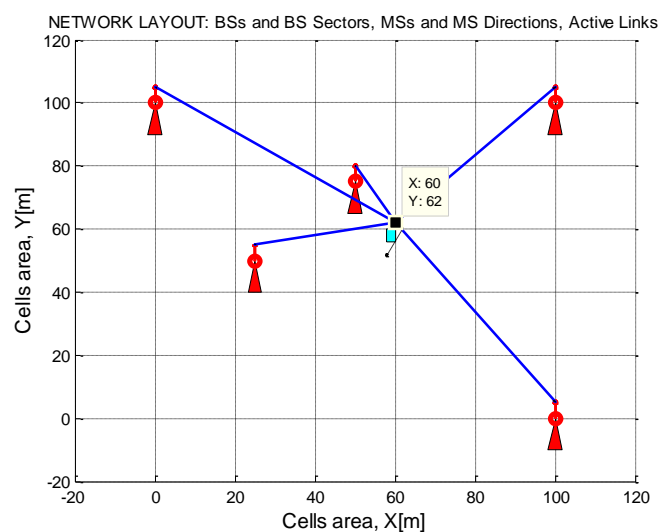
Ezért választásunk a tanszéken fejlesztett szimulációs környezetre esett, ami a WINNER II nevű csatornamodellen alapul, melyet a WINNER (*Wireless World Initiative New Radio*) csapata készített el, és publikált 2006-ban. A csatornamodell az alábbi linken érhető el: [http://www.ist-winner.org/phase\\_2\\_model.html](http://www.ist-winner.org/phase_2_model.html)

Utólag visszagondolva választásunk megfelelőnek tűnt, hiszen a félévek során többet ebbe a környezetbe implementáltuk szakdolgozatunk/önálló laboratóriumunk algoritmusát.

### 3.2. A szimulációs környezet rövid bemutatása

A szimulációs környezet alapjait a WINNER II-es csatornamodell adja, ezért ebben a fejezetben - a környezet bemutatása során - javarészt a csatornamodell dokumentációira [7], [8] fogunk támaszkodni.

A szimulátor fő funkciója az átviteli csatorna modellezése: mérhetünk vele különböző terjedési időket, teljesítmény értékeket, csillapításokat a beállításoktól függően. Az egyes adatok és paraméterek tárolása vektorok, vektorstruktúrák, valamint mátrixok segítségével történik. Köszönhetően annak, hogy ez egy Matlab-ban implementált modell, ezekkel egyszerűen lehet matematikai műveleteket végezni. A szimulátor alkalmas az egyes mérési elrendezések grafikus bemutatására, ami igazán látványos tud lenni. Az LTE szimulációkhoz azért is megfelelő, mivel MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) antennákat alkalmaz, melyek állítható paraméterekkel rendelkeznek.



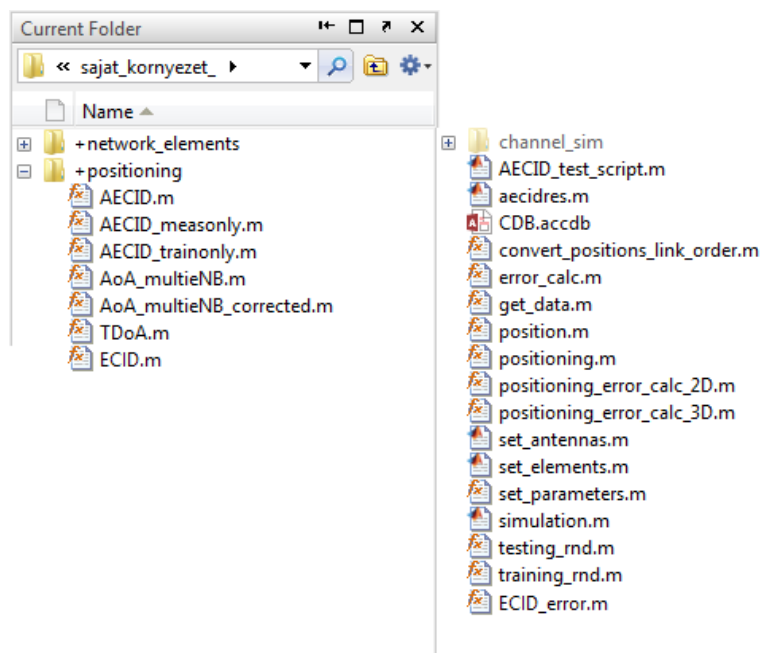
3.1. ábra A mérési elrendezés grafikus reprezentálása a szimulátorban

A szimulátorban mi definiálhatjuk a bázisállomások és a mobil eszközök számát, valamint helyét is, azonban választhatunk véletlenszerű elrendezést is. A véletlenszerű elrendezés választása akkor célszerű, amikor sok eltérő paraméterű mérést szeretnénk végezni, így az implementált algoritmus vizsgálatához remek opciónak bizonyul. Az alapértelmezett mérési terület 500x500 m-es, azonban ez átállítható. A szimulációs környezetben a felhasználóknak lehet sebessége és mozoghatnak is, azonban a mérések során ezzel az opcióval nem éltem, álló pontokat vizsgáltam.

A modellben megjelenik a többutas terjedés is, mivel egy adott összeköttetésen („linken”) a modell 20 darab allinket („subpath”) alakít ki, melyek a környezet beállításától függően különböző utakon és modell szerint érnek el a mobil készülékhez. Ezek mindegyikén mérhetjük a UE által tapasztalt rádiós körülményeket, például a jelerősséget, késleltetést, beesési szöveget.

Többfajta környezet beállítható a szimulátorban (például városi, vidéki, kültéri, beltéri stb.), mely beállításokhoz különböző terjedési paraméterek és csillapítási modellek tartoznak. Ezeket a különböző környezeteket a szimulátor „Scenario”-nak nevezi. Ezen Scenario-k részletes leírása megtalálható a [7]-es forrásban.

A szimulátorban akár 100 MHz-es sávszélességű jelet is beállíthatunk, míg a működési frekvencia 2 GHz és 6 GHz között változhat. Ez számunkra azért megfelelő, mivel a Magyarországon használják a 2600 MHz-es frekvenciát LTE-re [9].



3.2. ábra A szimulátor felépítése

A 3.2-es ábrán látható a szimulációs környezet felépítése: A +network\_elements mappában (osztályban) találhatóak a hálózati eszközöket (eNodeB és Mobilkészülék) definiáló függvények, míg a +positioning mappában találhatóak az egyes pozicionálási algoritmusok. A channel\_sim mappa tartalmazza környezet lelkét, a WINNER II-es csatornamodellt. A mappákon kívüli függvények felelősek a környezet működéséért: ezek a függvények végzik a pozicionálási algoritmusok meghívását, a szimuláció paramétereinek beállítását, valamint a mért eredmények kimenetre vezetését a megfelelő formában.

A szimulátor a szimuláció eredményeit egy külön, erre a célra létrehozott változóban tárolja, valamint magától kiszámolja a helymeghatározás hibáját, majd ezeket az adatokat megjeleníti a kimeneten.

A szimulátor talán egyetlen hátránya a támogatott frekvenciasáv szűkössége. Hazánkban ugyanis a vidéki területek ellátása a szolgáltatók a 800 MHz-es LTE sávot használják jó terjedési tulajdonságai miatt, nagyvárosok ellátására pedig jellemzően az 1800 MHz-es sávot. 2600 MHz-en is működik LTE szolgáltatás, de a jel gyenge terjedése miatt csak vidéki városokban, a 800 MHz-es réteg fölött kapacitáscelláknál használatos, illetve nagyvárosokban is előfordul néhány ilyen cella, főleg az LTE-Advanced szabványban implementált Carrier Aggregation megvalósítására. Fontos megjegyezni azonban, hogy ez nem minden esetben hátrány, mivel a környezetben rendelkezésre álló frekvenciatartomány lehetővé tenné akár a WiFi alapú hálózatok vizsgálatát is, azonban jelen dolgozat témájául azért választottuk az LTE alapú hálózatokat, mert azok korszerű, és egyre szélesebb körben elterjedő, dinamikusan fejlődő hálózatok.

### **3.3. A szimulációs környezetbe implementált pozicionálási algoritmusok**

Az első a környezetbe implementált pozicionálási algoritmust (AOA), és magát a szimulációs környezetet is Paudics Péter alkotta meg még 2013-ban [10]. Az akkori projekt folytatásaként egy 2014 májusában egy újabb algoritmus implementáltunk a környezetbe, melynek kialakításában már jelen dolgozat szerzői is aktívan részt vettek. Maga az algoritmus egy TDOA algoritmus volt, és az implementációt Greff Balázs végezte [11]. Ezt követően, 2014 őszén egy újabb lépcsőfok következett, az E-CID algoritmus vizsgálata és implementálása immár teljes mértékben jelen dolgozat szerzői által. Ezt követően az E-CID algoritmus továbbfejlesztése következett 2015. májusában, ami nem más volt, mint az A-ECID algoritmus. Jelen pillanatban egy TOA alapú pozicionálási algoritmust

készítünk, illetve párhuzamosan dolgozunk annak a megvalósításán, hogy az eddig vizsgált algoritmusokat a gyakorlatban is vizsgálhassuk, különböző eszközök (például egy saját mobil alkalmazás) segítségével.

Összegzésképp az eddig a szimulációs környezetbe implementált algoritmusok kronológiai sorrendben:

- Angle of Arrival (AOA) algoritmus – Paudics Péter, 2013. május [10]
- Time Difference of Arrival (TDOA) algoritmus – Greff Balázs, 2014. május [11]
- *Enhanced Cell ID (E-CID) algoritmus* – Danyi Ádám Vilmos, 2014. december
- *Adaptive – E-CID (A-ECID) algoritmus* – Lengyel Dániel József, 2015. május
- *Time of Arrival (TOA) algoritmus (fejlesztése folyamatban)* – Barát Dániel, 2015. október

### 3.4. Szimulációs eredmények

Az egyes algoritmusokat a szimulációs környezetben történő szimulációkkal teszteltük. A mérések a pozicionálás hibájára vonatkoztak, vagyis azt vizsgáltuk, hogy az általunk becsült pozíció mennyiben tér el a valódi pozíciótól:

$$h = \sqrt{(x_{\text{valóságos}} - x_{\text{becsült}})^2 + (y_{\text{valóságos}} - y_{\text{becsült}})^2} \quad (3.1)$$

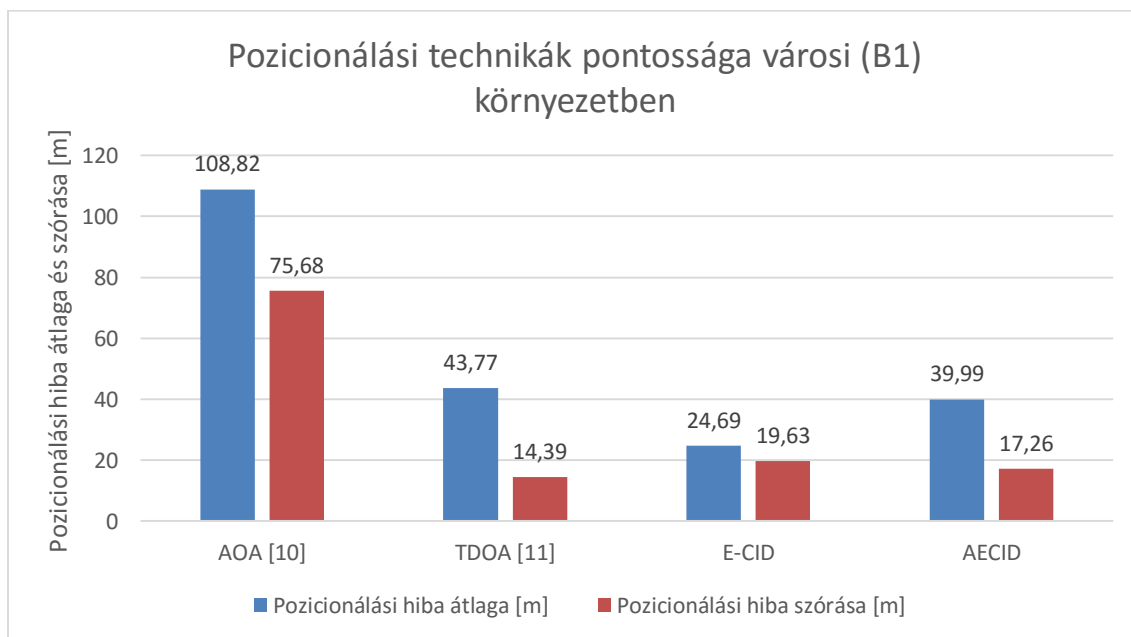
Az egyes méréseket mindannyian hasonló paraméterű beállításokkal végeztük: A használt frekvencia általánosan az egyes implementációk szimulációja során 2600 MHz volt. A szimulációkat több különböző környezetben (városi, külvárosi, vidéki, beltéri, stb. környezetek), több különböző hálózati paraméterrel elvégeztük. Az E-CID algoritmusnál a rendelkezésre álló bázisállomások száma volt a változó paraméter, míg az A-ECID algoritmusnál pedig az adatbázisban előre tárolt „azonosító pontok” száma volt a változó paraméter. Jelen dolgozatban csak az olyan paraméterű szimulációs eredményeket emeljük ki, amelyek a legjobban fedik a valóságot, és lehetővé teszik az egyes pozicionálási algoritmusok összehasonlítását.

Ezek alapján a mérések során azokat az eseteket vesszük figyelembe ahol legalább 4 bázisállomás állt rendelkezésünkre, továbbá ahol a mérés vidéki, külvárosi, illetve városi környezetben történt. Algoritmusonként 10-10 mérést végeztünk minden környezetben, ezekből most következtetéseket vonunk le, a különböző módszerek hatékonyságáról. Eredményeink a következők voltak:

## Mérések városi (B1) környezetben:

A mérés paramétereit:

- Bázisállomások száma: 4
- Scenario: B1 (Városi környezet)
- Frekvencia: 2600 MHz



3.3. ábra: Mérési eredmények városi környezetben

Városi környezetben az AOA algoritmus produkálja a legnagyobb átlagos hibát, ami nem meglepő, hiszen az AOA alapú pozícióbecslés akkor tud a legpontosabban működni, ha kevés a reflexió, valamint ha biztosított a rálátás (LoS – *Line of Sight*) az egyes bázisállomásokra. Ez a városi környezetben egyáltalán nem jellemző, ezért produkál nagy (több mint 100 méteres) hibát az AOA algoritmus. Az AOA szórása is eléggé nagy, ami annak köszönhető, hogy egy-egy kirívóan jó esetben (ha teljesülnek a fent leírt feltételek) nagyon pontos eredményt tud adni, míg egy kevésbé szerencsés esetben sokat romlik a pontosság.

A TDOA algoritmus már egy sokkal jobb eredményt ad városban. Ez javarészt annak köszönhető, hogy sok bázisállomás áll rendelkezésre egy kis területen belül, így az időmérésen alapuló módszer jó hatékonysággal működik, valamint a TDOA algoritmusnál a 4. generációs hálózatokban szerepet játszanak a PRS (*Positioning Reference Signal*) jelek, melyek jó hatásfokkal védik ki a reflexiók okozta hibákat. A TDOA szórása kicsi,



ami annak köszönhető, hogy az algoritmus szempontjából nézve maximum egy kedvezőtlen bázisállomás elrendezés ronthat a pozicionálás pontosságán.

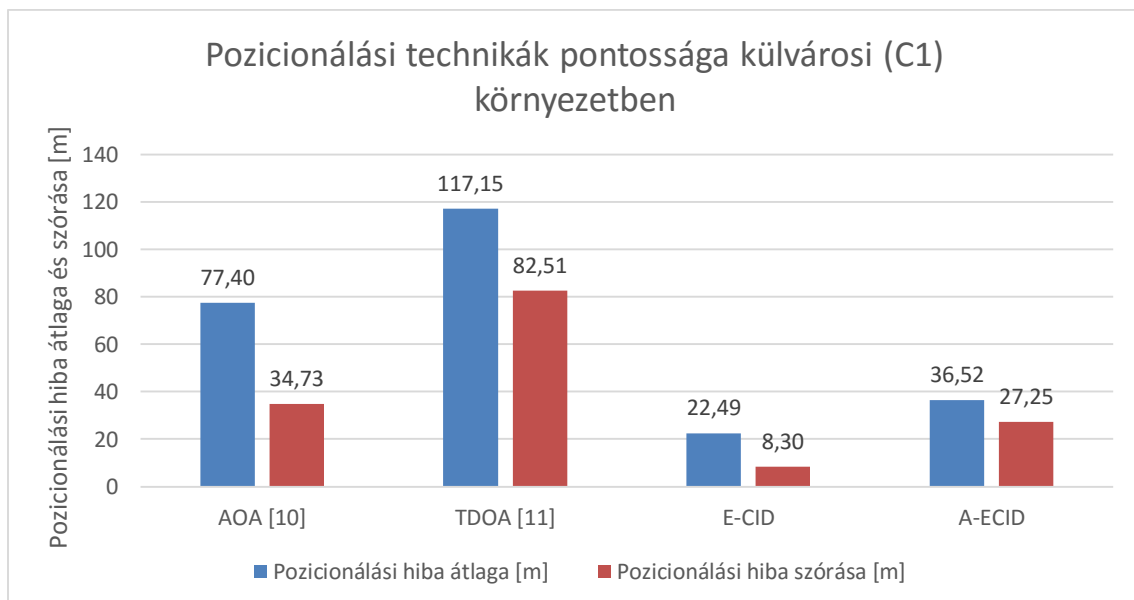
Az E-CID algoritmus tovább pontosít a TDOA algoritmuson azáltal, hogy kijelöli azt a határt, amelyen belül kell lennie a TDOA eredményének – ezt ugyebár a teljesítmények mérésének és a cellahatár ismeretének segítségével teszi. Mivel a városi környezetben sok kisebb cella van, ezért a mérés is pontosabb lesz. Az egyes mérések szórása ennél az algoritmusnál sem nagy

Az A-ECID módszer esetén ebben a környezetben (Tipikus városi mikrocella) jó eredményre számítottunk, mivel a városokban erősen érvényesül a többutas terjedés hatása, ami kedvező ennek a módszernek, emellett a mikrocellák miatt markánsan heterogén térerősség-eloszlásra lehetett számítani, ami szintén kedvez. Így is lett: Viszonylag kis szórással mellett nagyjából 40 méteres hibát produkált a módszer.

#### Mérések külvárosi (C1) környezetben:

A mérés paramétereit:

- Bázisállomások száma: 4
- Scenario: C1 (Külvárosi környezet)
- Frekvencia: 2600 MHz



3.4. ábra: Mérési eredmények külvárosi környezetben

Hazánkban talán az ehhez hasonló környezetben fordul elő leggyakrabban a 2600 MHz-es LTE. A 800 MHz-es vidéki lefedettségi réteg fölött biztosítanak kapacitásrétegeket 2600 MHz-es cellák.

Külvárosi környezetben jól láthatóan sokat javult az AOA algoritmus a városhoz mérten. Ez azonban nem meglepő, hiszen itt már ideálisabbak a feltételek az AOA pozicionálás működéséhez: Kevesebb magas épület van, nincs annyi reflexió és több utas terjedés, így az irányszögek érzékelése – és ez által a pozicionálás is – pontosabban tud működni, mint a városi környezetben, ahol ezek a feltételek nem voltak adottak.

Ugyanakkor ez sajnos nem mondható el a TDOA algoritmusról, ahol a cellahatárok méretének – és a távolság növekedésével az algoritmus pontossága jelentősen csökken. Hasonlóképpen, mint a városi környezetben való AOA algoritmusnál a hiba szórása itt is jelentős mértékű, ami itt is egy véletlen faktornak köszönhető: Mivel a cellaméretük megnövekedtek a városi környezethez mérve, ezért az egyes jeleknek nagyobb utakat kell megtenniük, ahol nagyobb csillapítást is szenvednek el, így az alkalmazott korrelációs vevő is nagyobb eséllyel téveszt, ami az algoritmus számításának pontatlanságát eredményezi. Azonban kedvező, és ideális esetekben a pozicionálás hatékonysága itt is kiváló tud lenni, sajnos azonban a valóságban kevés az ideális eset – ezt jól mutatja a TDOA algoritmus esetén a mérési eredmények szórása.

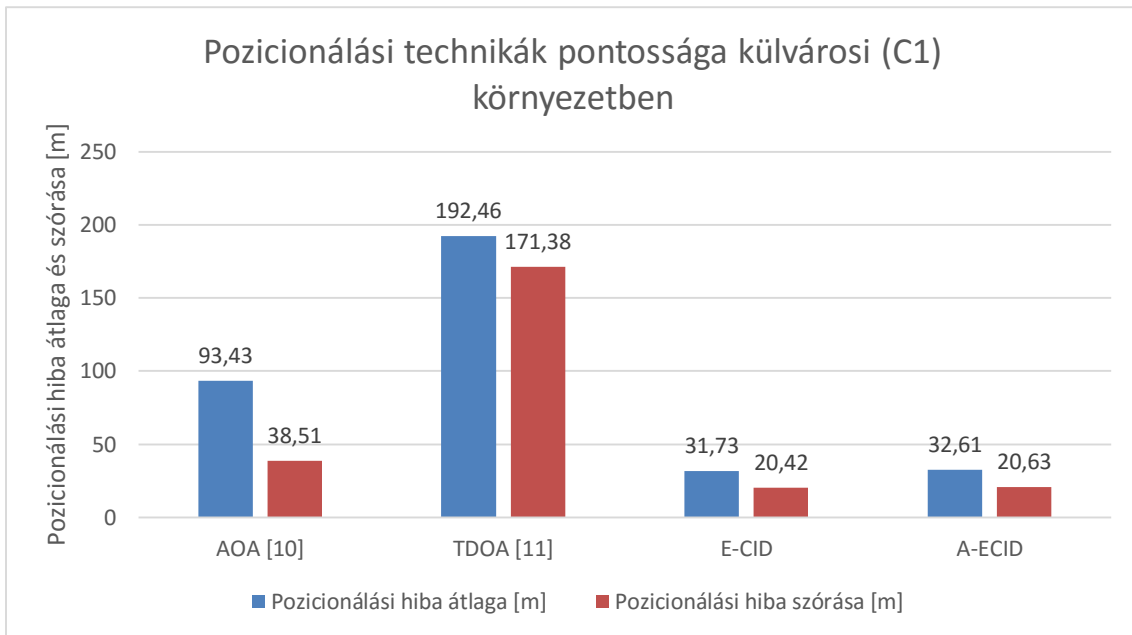
Az E-CID algoritmus a külvárosi környezetben is jól teljesített mind az átlagos hiba nagyságában, mind a mérési eredmények szórásában. Ez annak köszönhető, hogy bár nagyobbak a távolságok, mint a városban az algoritmus kiegészítő méréseinek köszönhetően a megfelelő határok közé tudja szorítani a pozicionálási eredményeket.

Az A-ECID algoritmustól a B1 környezetben produkálnál valamivel rosszabb eredményt vártunk, hiszen a C1 és B1 környezetek nagyon hasonlóak, viszont itt kevésbé érvényesül a többutas terjedés hatása, valamint nincsenek olyan éles cellahatárok, mint egy mikrocellás városi környezetben. A kapott eredmény azonban ellentétes a várakozásokkal. Ennek okát a következő (D1) környezetben végzett szimuláció eredményei segíthetnek megérteni.

## Mérések vidéki (D1) környezetben:

A mérés paraméterei:

- Bázisállomások száma: 4
- Scenario: D1 (Vidéki környezet)
- Frekvencia: 2600 MHz



3.5. ábra: Mérési eredmények vidéki környezetben

A vidéki környezetben történő mérésekről általánosságban elmondható, hogy az eredmények sajnos romlottak a városi, és a külvárosi környezethez képest is. Az eredmények negatív változásának oka azonos a külvárosban tapasztalt pontatlanságot kiváltó okokkal, különösen a TDOA eljárás esetén.

Kicsit meglepő módon az AOA algoritmus által adott eredmény rosszabb volt, mint a külvárosi környezetben, pedig előzetesen azt vártuk, hogy az épületek további ritkulásával erősödik a LoS hatás és a kevés reflexió miatt. Itt a hiba okának azt sejtjük, hogy több bázis állomás is kedvező pozícióba került a környezetnek köszönhetően, és az algoritmus valamiért nem a két legoptimálisabb bázisállomást veszi alapul a számoláshoz.

Az E-CID eljárás vidéki környezetben is hasonlóan jó eredményeket produkál, mint a városi és a külvárosi környezetben.

Az A-ECID módszer meglepő módon a vidéki környezetben volt a legpontosabb, ráadásul a nagy pontosság kis szórással párosul, tehát stabilan hozza az eredményt. Ennek

egyik oka az lehet, hogy az esetek nagy részében tapasztalható közvetlen rálátás miatt a késleltetés és Timing Advance minták nagyon pontosak tudnak lenni, míg az RSSI értékek pontossága (és időinvarianciája) nem sokkal rosszabb, mint például egy városi környezetben. Egy másik lehetséges magyarázat szerint a szimulátor viselkedése lehet az ok. Nem biztos, hogy a szimulátor alkalmas egy időben nagyon lassan, vagy egyáltalán nem változó környezet modellezésére, ez pedig az A-ECID algoritmus használhatóságának kulcsa.

#### Mérési eredmények összefoglalása:

Összességében elmondható, hogy minden környezethez találtunk olyan pozicionálási algoritmust, amely megállta a helyét, és megfelelő pontossággal határozta meg a helyeztünket. Mindegyik eljárásnak megvannak a környezettől függő, illetve konstrukciós előnyei és hátrányai. A továbbiakban ezeket a hátrányokat szeretnénk majd kiküszöbölni.

Az A-ECID algoritmus kapcsán fontos megemlíteni, hogy a pontosságot a bázisállomások számának növelésén túl a CDB adatbázisban rendelkezésre álló minták számának, azaz egy adott terület rádiós térképének felbontása növelésével tovább lehet javítani. A dolgozatban bemutatott szimulációhoz 500 pont adatait tartalmazó CDB-t használtunk, valóságos körülmények között ennek akár többszöröse is rendelkezésre állhat egy ugyanekkora területhez.

### **3.5. Fejlesztési és továbblépési lehetőségek**

Az alábbi néhány bekezdésben összefoglaljuk az algoritmusokkal és a szimulátorral kapcsolatos jövőbeni terveinket és a lehetséges fejlesztéseket.

A szükséges fejlesztések és a lehetséges továbblépési lehetőségek pedig a következők:

- **Teljesítménymérés határfokának javítása:**

A teljesítmény mérése a szimulátorban (vagyis az alap WINNER II-es csatorna-modellben) sajnos nem eléggé precíz. Ez mindenképp egy olyan pont, amit a jövőben pontosabbá kell tenni, hogy végeredményül egy minél pontosabb eredményt kaphassunk.

- **További frekvenciák implementálása a szimulátorba**

A szimulátor jelenleg a 2 GHz-től 6 GHz-ig terjedő tartományban működik. Egy ideig hazánkban jelentős részben a 2600 MHz-es frekvencián volt az LTE használva, azonban időközben Magyarországon engedélyezett lett az LTE 800 és 1800 MHz-en történő használata is. A stratégia szerint a vidéki területeket 800 MHz-es LTE-vel szeretnék lefedni, így külön érdekes kérdés lenne megvizsgálni úgy az algoritmusokat, hogy miképpen reagálnának arra, ha például vidéki környezet esetén a 800 MHz-es frekvenciát alkalmaznánk.

- **Grafikus kezelői felület kialakítása**

Fontosnak tartjuk, hogy a szimulátort egyszerűen lehessen kezelni. Ehhez véleményünk szerint elengedhetetlen egy grafikus kezelői felület implementálása a meglévő szimulációs környezetbe, aminek segítségével egyszerűen állíthatóak a mérés és a mérésben résztvevő eszközök paraméterei. Sajnos jelen pillanatban több dolgot is kézzel kell átírnunk az egyes vezérlőfájlokban, ha valamit módosítani szeretnénk a rendszeren, vagy a mérésen, ami több szempontból sem kényelmes.

- **Algoritmusok tesztelése a gyakorlatban**

A projekt közeljövőjében szeretnénk a szimulátorban megvalósított algoritmusok közül legalább néhányat kipróbálni a gyakorlatban is. Jelen pillanatban is dolgozunk azon, hogy különböző módszerekkel vizsgálhassuk a szimulációs környezetben már kipróbált algoritmusokat a gyakorlatban. Terveink között szerepel egy mobil alkalmazás írása, ami elősegíti a munkánkat.

- **Jelzésüzenetek használata**

Bármennyire is sok időnk és munkánk fekszik a szimulátor fejlesztésében, sajnos egyre közelebb kerülünk annak határaihoz. Néhány, nem közvetlenül a UE által mért mennyiség (például Timing Advance) használatához szükség van a hálózattól kapott jelzések értelmezésére. Ez a funkció sajnos jócskán túlmutat a jelenlegi szimulátorunkon, ezért érdemes lenne újra megvizsgálni az egyéb szimulációs környezetek használatának lehetőségét.

## 4. Összefoglalás

TDK dolgozatunkban az első fejezetekben bemutattuk korunk legrelevánsabb mobilhálózatokon alapuló pozicionálási technológiáit, melyek segítségével lehetséges a gyors és jó hatásfokú pozíció meghatározás anélkül, hogy a műholdak segítségét hívnánk. Ez több szempontból is előnyös, elég csak a segélyhívásokra gondolni.

A következő nagyobb logikai részben bemutattuk az általunk használt szimulációs környezetet és összehasonlítottuk, majd értékeltük a már implementált pozicionálási eljárásokat. Az eredményekből látható, hogy az implementált pozicionálási technikák időről időre javultak, továbbá algoritmusaink szép eredményeket értek el a szimulációk során, így érezzük a fejlesztésükben rejlő potenciált.

Ötleteink azonban nem fogytak ki, komoly terveink vannak, hogy az egyes implementált algoritmusokat a jövőben is fejlesszük, valamint a gyakorlatban is alkalmazzuk. Ezek projektünk hosszú távú céljai.

## Ábrák jegyzéke

2.1. ábra: Módszerek csoportosítása .....	10
2.2. ábra: TOA módszer.....	11
2.3. ábra: TDOA módszer .....	12
2.4. ábra: AOA módszer.....	14
2.5. ábra: Cell ID módszer.....	15
2.6. ábra: AECID módszer .....	18
3.1. ábra A mérési elrendezés grafikus reprezentálása a szimulátorban .....	20
3.2. ábra A szimulátor felépítése .....	21
3.3. ábra: Mérési eredmények városi környezetben .....	24
3.4. ábra: Mérési eredmények külvárosi környezetben.....	25
3.5. ábra: Mérési eredmények vidéki környezetben .....	27

## Irodalomjegyzék

- [1] *LOKALIZÁCIÓS MÓDSZEREK, PROTOKOLLOK ÉS ALKALMAZHATÓSÁGUK VIZSGÁLATA R14A - PROTOKOLLOK KUTATÁSA R14B – ALKALMAZHATÓSÁG AZONOSÍTÁS ÉS LOKALIZÁCIÓ. R1 - A TÉRBELI RÁDIÓFREKVENCIÁS AZONOSÍTÁS LEHETŐSÉGEINEK KUTATÁSA BUDAPEST, 2013*  
[http://www.corvex.hu/files/3214/2668/9380/R14AB\\_Lokalizacios\\_modszerek\\_protokollok\\_es\\_alkalmazhatosaguk.pdf](http://www.corvex.hu/files/3214/2668/9380/R14AB_Lokalizacios_modszerek_protokollok_es_alkalmazhatosaguk.pdf)
- [2] L. Jarvis, J. McEachen, H. Loomis: *Geolocation of LTE Subscriber Stations Based on the Timing Advance Ranging Parameter – The 2011 Military Communications Conference*, IEEE
- [3] *Time Difference of Arrival System for Cell Phone Localization in Correctional Facilities*  
Author(s): Eric van Doorn, Ph.D., Arvind Bhat, Benjamin Lonske, Zhitong Guo, Pedram Hovareshti, Ph. D., Siddarth Gaddam  
<https://www.ncjrs.gov/pdffiles1/nij/grants/248828.pdf>
- [4] *Observed Time Difference Of Arrival (OTDOA) Positioning in 3GPP LTE* by Seven Fischer, June 6, 2014  
<https://www.qualcomm.com/media/documents/files/otdoa-positioning-in-3gpp-lte.pdf>
- [5] *LTE Location Based Services Technology Introduction White paper, 2013, april*  
[http://www.rohde-schwarz-wireless.com/documents/LTELBSWhitePaper\\_RohdeSchwarz.pdf](http://www.rohde-schwarz-wireless.com/documents/LTELBSWhitePaper_RohdeSchwarz.pdf)
- [6] 3GPP TS 36.214 V 11.1.0; *Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical layer; Measurements*, Release 11, 2012-12
- [7] IST-4-027756 WINNER II, WINNER II Channel Models Part I, Channel Models , D1.1.2 V1.0
- [8] IST-4-027756 WINNER II, WINNER II Channel Models Part II, Radio Channel Measurement and Analysis Results, D1.1.2 V1.0



- [9] Nemzeti Média- és Hírközlési Hatóság: A Nemzeti Média- és Hírközlési Hatóság rádióspektrum-stratégiája 2012–2015.  
[http://nmhh.hu/dokumentum/155107/nmhh\\_spektrumstrat\\_final201210vegleges.pdf](http://nmhh.hu/dokumentum/155107/nmhh_spektrumstrat_final201210vegleges.pdf) (2015. 10. 01.)
- [10] Paudics Péter: *Helymeghatározás LTE alapú mobil rendszerekben*,  
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem,  
Villamosmérnöki és Informatikai Kar,  
Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék (2013) p. 42
- [11] Greff Balázs: *Felhasználói pozicionálás LTE rendszerekben*,  
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem,  
Villamosmérnöki és Informatikai Kar,  
Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék (2014) p. 68
- [12] A. Kangas, Y. Jading, I. Siomina, C. Tidestav: *Enhanced WCDMA Fingerprinting Localization Using OTDOA Positioning Measurements from LTE*, *Vehicular Technology Conference (VTC Fall)*, 2012 IEEE