



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Cellás IP hálózatok mobilitási költiségelemzése

Szerzők:

Piroska László
Rónai Miklós Aurél

Konzulensek:

Turányi Zoltán Richárd
Valkó András

2000. október

Kivonat

Az elmúlt években a mobiltelefonok széles körű, gyors elterjedése, illetve az internet-felhasználók számának rohamos növekedése arra enged következtetni, hogy a mobil IP alkalmazások iránti igény is az elkövetkező években növekedni fog. Számos mobil IP megvalósítás látott napvilágot, ezek közül az egyik a cellás IP hálózat.

A cellás IP hálózat a mobilitással kapcsolatos problémákat a cellás mobiltelefonrendszerekben alkalmazott megoldások segítségével próbálja megoldani. A cellás IP hálózat egy adott területet bázisállomásokkal rádiósan lefed. Ezeket a bázisállomásokat paging area-kba csoportosítja (hasonlóan a GSM rendszerben ismert location area-khoz). A mobil IP alkalmazást futtató host (későbbiekben mobil host, röviden MH) elérhetőségét a GSM rendszerű mobil telefonoknál alkalmazott algoritmussal biztosítja, vagyis ha aktív a mobil készülék, akkor minden bázisállomás-váltást regisztrál a rendszer, ha inaktív (nem folyik rajta adatátvitel, de készenléti állapotban van), csak a location area (cellás IP esetén paging area) váláskor regisztrálja a rendszer a bázisállomás-váltást.

A cellás IP alkalmazás esetén egy jelentős eltérés van a GSM rendszerhez képest: az átvitelre szánt adat minőségileg más. A beszédátvitel ugyanis a hívástartás ideje alatt folyamatos adatátvitelt igényel, az IP adatfolyam viszont burst-ös, ezért nehéz egyértelműen megállapítani egy MH-ról, hogy az aktív vagy inaktív. A kérdés tehát az, hogy ha az adatfolyamban különböző hosszúságú szünetek vannak, akkor mikor és meddig érdemes a MH-t aktívnek tekinteni annak ellenére, hogy az nem folytat az adott időben kommunikációt, illetve mikor érdemes bizonyos időre inaktívvá nyilvánítani, és így az újabb adatfolyam esetén újra megkeresni a MH-ot.

A mobilitás fenntartása nyilván időbe, sáv szélességbe és villamos energiába kerül. (Ez utóbbi igen jelentős komponens lehet. Ne feledjük, hogy a mobil készülékek akkumulátorról működnek, és a készülék készenléti idejét igyekszünk minél hosszabba nyújtani!) Ezen komponensek súlyozott átlaga adja a mobilitási költséget. Munkánk során összegyűjtöttük és megvizsgáltuk azon eseményeket, amelyek mobilitási költségként jelennek meg a cellás IP hálózatban.

A jelenségek megismerése érdekében számításokat végeztünk, hogy a cellás IP hálózatra jellemző paraméterek különböző értékei mellett a mobilitási költség mennyi, illetve a paraméterváltozásokra hogyan reagál. Az Ericssonban fejlesztett és használatos Plasma szimulátorhoz elkészítettünk egy szimulációt, mely program segítségével olyan

részletességgel vizsgálhatjuk a hálózati jelenségeket, amilyen részletességre számítással már nem vagyunk képesek. (Ezen szimulátorba mellesleg implementálhatóak olyan algoritmusok is, ami adott feltételek mellett a mobilitási költséget csökkentik.) Az így nyert eredményeket összevetve próbálunk arra a kérdésre választ adni, hogy a szabad tervezési paramétereinket hogyan válasszuk meg a minimális mobilitási költség elérése érdekében.

Tartalomjegyzék

1. Bevezető	5
1.1 Globális és lokális mobilitás	5
1.2 Vezeték nélküli IP hozzáférési hálózat	7
1.3 Irodalmi áttekintés és problémafelvetés.....	8
1.4 A dolgozat felépítése.....	11
2. Költségkomponensek	13
2.1 Forgalmi modell.....	13
2.2 Költséget okozó események	14
2.3 Mobilitási költségfüggvény	17
2.4 Költségkomponensek paraméterfüggése (példa).....	20
3. Az vizsgálatokhoz használt szimulációs program	23
3.1 Az általunk írt szimulátor bemutatása	23
3.2 A szimuláció menete.....	24
3.3 A szimulációs összeállítás.....	25
4. Költségelemzés analitikus és szimulációs módszerrel	27
4.1 Paging area méret választás	27
4.2 Szünetbeli aktív állapotok optimális hossza.....	30
4.3 Adaptív algoritmus.....	35
5. Összefoglalás	37
Függelékek	38
F.1 Szimulátorbeli üzenetszekvenciák	38
F.1/a Mobilok megszületésekor és minden mozgás alkalmával	38
F.1/b Adatok küldése, mobil küldi a hálózatnak.....	38
F.1/c Adatok küldése, hálózat küldi a mobilnak, a mobil aktív	39
F.1/d Adatok küldése, hálózat küldi a mobilnak, a mobil inaktív	39
F.2 Paging area-ban eltöltött idő várható értéke	40
Irodalomjegyzék	42

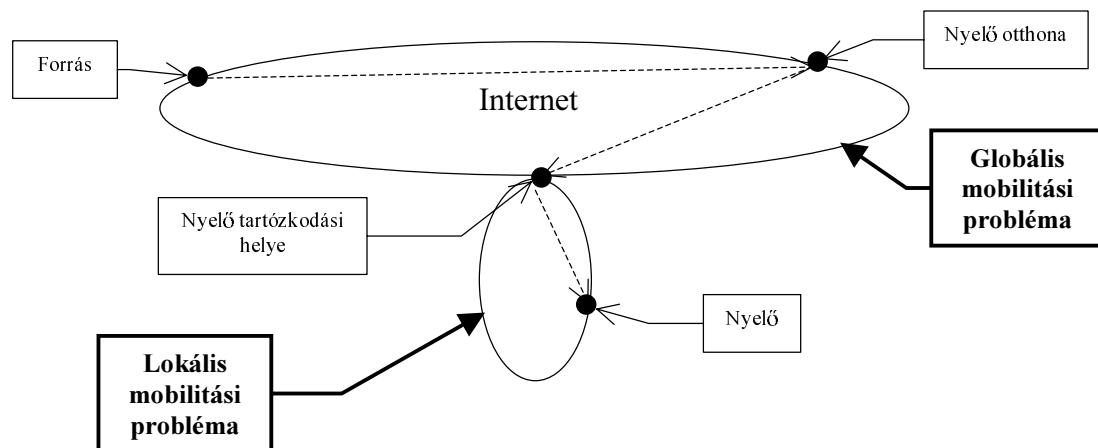
1. Bevezető

Életünkben egyre fontosabbá válik a mobilitás. A kitűzött cél, hogy bárki bárhol elérhető legyen saját készülékén, legyen az akár telefon, akár számítógép. A mobil távközlés világában már nagyon közel járunk a teljes mobilitás megvalósulásához, az Internet területén azonban még számos probléma vár megoldásra.

Dolgozatunkban egy elképzelt vezeték nélküli IP hozzáférési (cellás IP) hálózat mozgáskövetési költségeit elemezzük. Áttekintjük, hogy eddig milyen módszerekkel próbálták ezen költségeket csökkenteni. Átgondoltuk, hogy milyen események okoznak költséget a hálózat számára. A nyomonkövetésből származó költségeket mind analitikus, mind szimulációs módszerekkel megvizsgáltuk. Arra kerestük a választ, hogy lehetséges paraméterbeállítások mellett hogyan tudjuk minimalizálni az összköltséget. Megalkottunk egy algoritmust, amely segítségével a mobilitási költség az optimális paraméterbeállítások mellett még tovább csökkenthető.

1.1 Globális és lokális mobilitás

Szeretnénk, ha számítógépünkkel a világ bármely részén internetezhetnénk, illetve a világon bárhol megtalálhatóak lennénk a számítógépünkhöz rendelt azonosító alapján. Erre a problémára több megoldás is található a szakirodalomban [1]. Az alábbiakban az elmúlt időben általánosan elfogadottá vált hierarchikus megközelítést ismertetjük [2]. Ezen modell alapján, ezt a bonyolult problémát két nagy részre oszthatjuk, globális és lokális mobilitásra (1.1 ábra).



1.1 ábra: Hierarchikus mobilitás modell

A globális mobilitás kifejezés azt takarja, hogy az egész világon keresztül követjük a nyelőt, hogy mely országban, városban, tartózkodik. A globális mobilitás megvalósításának egyik fontos, gyakorlati szempontja, hogy egy esetlegesen az IP protokollra épülő megoldásnak a jelenleg használt fix internethez hozzáadhatónak kell lennie. A mobilitást a régebbi, mobilitást még nem ismerő internet végberendezésekkel és útválasztókkal kell megvalósítanunk, mert lehetetlen és megfizethetetlen lenne a most használatban levő rendszerek helyébe újakat telepíteni. Hasonlóan fontos szempont a skálázhatóság. Nem szabad, hogy a felhasználók számának növekedésével azonos mértékben kelljen az interneten található összes hálózati eszköz feldolgozó kapacitását növelni (pl. a felhasználók számával azonos arányban növekvő útválasztó tábla bejegyzések egyre több memóriát igényelnek az útválasztókban). Nagyon fontos továbbá a biztonság, azaz senki ne tudjon illetéktelenül más csomagjaihoz hozzáférni.

A globális mobilitás problémájára az *Internet Engineering Task Force (IETF)* a *Mobile IP* [3] szabványt fejlesztette ki. A Mobile IP minden mobil terminálhoz egy otthoni IP címet definiál. Ezen cím ismeretében érhető el a terminál. Amíg a mobil terminál otthon tartózkodik, addig semmilyen különleges intézkedésre nincs szükség, az otthoni címére küldött csomagok az otthoni hálózatán megtalálják őt. Ha a terminál a világ másik részére kerül, akkor ott egy ideiglenes IP címet kap. Ezt az ideiglenes címet egy úgynevezett idegen ügynök (*Foreign Agent, FA*) osztja ki a terminálnak és tudatja azt az otthoni hálózaton található otthoni ügynökkel (*Home Agent, HA*) is. Ezentúl a HA az összes otthoni hálózatra érkező csomagot, amit a mobil terminálnak címeztek, becsomagolja és továbbítja a FA-nek, ami a saját területén levő mobil terminálhoz irányítja azokat. Így, ha a forrás adatot szeretne küldeni a nyelőnek, továbbra is elég csak a nyelő otthoni IP címét ismernie, nem kell tudnia arról, hogy közben a nyelő fizikailag a világ mely részén tartózkodik.

Ez a megoldás egyszerűsége és skálázhatósága miatt előnyös, ugyanakkor meglehetősen rossz sávzélesség kihasználtsággal, illetve nagy késleltetéssel jár. Először is a FA-nek azonosítani kell a hozzá került mobil terminált. Ez bonyolult kulcskezelési protokollokat kíván a HA, a FA és a mobil terminál között, amihez időre van szükség, de elég egyszer elvégezni. A nagy sávzélesség-igény abból következik, hogy az összes csomag, amit a mobil terminálnak küldenek nem a legrövidebb (leggyorsabb) útvonalon jut el a küldőtől a terminálig, hanem előtte meglátogatja az otthoni hálózatot és csak utána jut el a címzetthez. (Képzeljünk el egy olyan forrást, ami közel van a FA-hez, de távol a HA-tól. Ekkor a forrás nem a közeli FA-nek küldi a

nyelőnek szánt csomagokat, hanem a távoli HA kapja meg őket, ami továbbküldi a FA-nek.)

A hierarchikus mobilitás modell szerint az eddigiekben ismertett globális mobilitást lokális mobilitással egészítik ki. A lokális mobilitás feladata elrejteni a helyi mozgásokat a Mobile IP elől, hogy globálisan ne kelljen azzal is foglalkozni, hogy a nyelő az adott városban (országban) hogyan mozog. Ha a mobil terminál minden helyváltoztatásáról üzenetet küldene a HA-nek, akkor ezzel feleslegesen sok erőforrást foglalna le, illetve sok időt és energiát pazarolna. A lokális mobilitásnak tehát nem az egész világra kiterjedő elérhetőséget kell megoldania, hanem biztosítani kell a helyi hálózaton belüli nyomkövetést, illetve hívás esetén a mobil terminál minél gyorsabb megtalálását. Fontos szem előtt tartanunk a mobil terminál akkumulátorának véges kapacitását is. Igyekeznünk kell a mobil terminál nyomkövetése miatt keletkező adminisztrációs adatforgalmat minimalizálni, mely forgalom a felhasználó szemszögéből nézve „feleslegesen” pazarolja a készülék energiáját, illetve „feleslegesen” terheli a lokális hálózatot, különösen a rádiós interfészt.

A lokális mobilitás problémakörében megoldandó feladat tehát a mozgó, a lokális hálózathoz rádiós interfészen keresztül csatlakozó felhasználók nyomkövetése, kiszolgálása. Erre ad megoldást például a *Handoff-Aware Wireless Access Internet Infrastructure (HAWAII)* [4] illetve a *Cellular IP* [5]. Mind a HAWAII mind a Cellular IP gyakorlatilag egy vezeték nélküli IP hozzáférési hálózatot ír le.

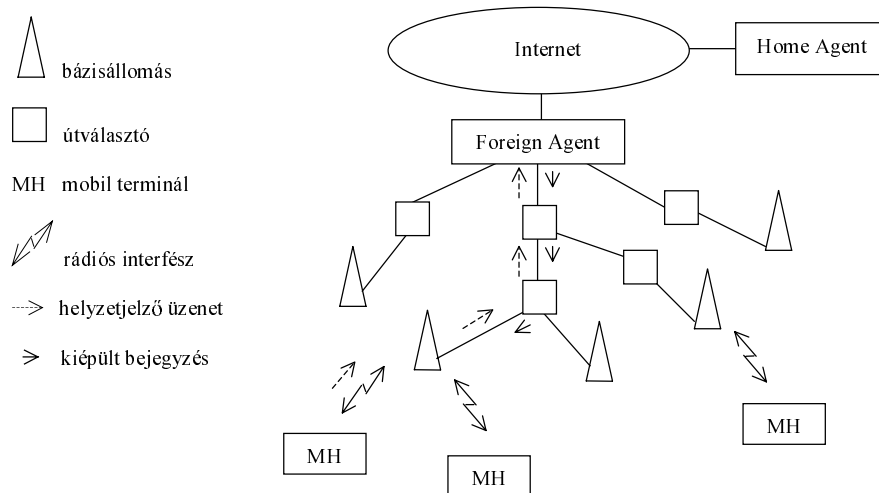
1.2 Vezeték nélküli IP hozzáférési hálózat

Egy gondolatban felépített vezeték nélküli IP hozzáférési hálózattal földrajzilag korlátos méretű (pl. egyetem, vállalat, város, ország) területet szeretnénk ellátni (1.2 ábra). Mivel a felhasználók hálózatok közötti (globális) mobilitását a Mobile IP-vel szeretnénk megoldani, ezért ezt a hozzáférési hálózatot egy FA-en keresztül csatlakoztatjuk az Internetre.

Hálózatunkban a mobil terminállal bázisállomások tartják a rádiós kapcsolatot. A bázisállomásokat egy vezetékes hálózaton keresztül kötjük össze a FA-tel. A vezetékes hálózaton útválasztók gondoskodnak a csomagok továbbításáról.

Egy bázisállomás egy adott nagyságú területet fed le, amit cellának hívunk. Mivel a felhasználók általában nagy sáv szélességet szeretnének, ezért a cellákat tipikusan kis méretűre kell terveznünk (mikrocellák, akár néhány méteres átmérőjűek is

lehetnek). Egy cella csak kevés mobil terminált képes nagy sávszélességgel kiszolgálni. A rádiósan lefedett területen a mobil terminálok szabadon mozoghatnak, miközben az Internettel való kapcsolatuk nem szakad meg.



1.2 ábra: Vezetéknélküli hozzáférési hálózat, és a bejegyzések kiépülése

Az útválasztás és a mobil terminálok nyilvántartása a következőképpen zajlik (1.2 ábra). Ha egy terminál helyet (bázisállomást) változtat, helyváltoztatási üzenetet küld a bázisállomásán keresztül a FA-nek. Az üzenet hatására az útba eső útválasztókban (*router*) keletkezik egy az adott mobilra vonatkozó útválasztó bejegyzés, így a továbbiakban ezek a csomópontok tudni fogják, hogy milyen irányba kell továbbküldeni az adott mobilnak címzett, FA felől érkező csomagokat (*per-host routing*).

Ez a megoldás nem skálázható, hiszen minden útválasztóban akkorának kell lenni az útválasztó táblának, hogy az összes kiszorgálandó mobil bejegyzése elférjen. Ez esetben viszont nem is akkora probléma a skálázhatóság, mert egy földrajzilag korlátos területen a mobil terminálok száma fizikailag már nem nőhet egy bizonyos érték fölé. Így a terminálok számának növekedésével járó bővítések előre látható keretek között maradnak.

1.3 Irodalmi áttekintés és problémafelvetés

Munkánk során arra kerestük a választ, hogy hogyan lehetne a mobil kommunikáció lehetőségének fenntartásából származó költségeket minimalizálni. A

költségek magukban foglalják azt az időt, sávszélességet és energiát, ami a mobil terminálok helyzetének nyomonkövetéséhez szükséges.

Szélsőséges eseteket vizsgálva a terminálok helyzetét kétféleképpen követhetjük. A egyik megoldás az, hogy a mobil terminál minden egyes bázisállomás-váltáskor küld egy helyváltoztatást jelző (*location update*) üzenetet a FA-nak. Ezen üzenet hatására az összes útbaeső csomópont módosítja az adott terminálhoz tartozó útválasztó tábla bejegyzését. Így a későbbiekben a csomagok mindig azon az úton haladhatnak a FA-tól a mobil terminálig, amely útvonalon a mobil utoljára helyzetjelző üzenetet küldött.

Egy másik megoldás szerint a mobil terminálok nem küldenek frissítő üzeneteket hollétükről, hanem mindig a FA keresi meg azt a terminált, amelynek csomagja érkezett. A keresést úgy lehet megoldani, hogy a FA a keresett terminál címével lokalizáló (*paging*) üzeneteket küld az összes bázisállomásnak. A bázisállomások rádiós interfészeiken továbbküldik ezt az üzenet a náluk tartózkodó mobil termináloknak. Ha a keresett terminál veszi az üzenetet, küld egy választ az FA-nek. Ez a válasz üzenet gyakorlatilag egy helyzetjelző (*location update*) üzenet, aminek hatására kiépült úton a FA annak a bázisállomásnak küldheti a csomagokat, amelynél a címzett terminál van.

Mindkét megoldásnak vannak előnyei és hátrányai. A paging megoldás hátránya, hogy lassú és rossz sávszélesség kihasználtságot eredményez, mert a címzettet sokszor kell keresni, a keresés pedig sok bázisállomást érint. Nagy előnye viszont, hogy a mobil terminál akkumulátorát kíméli, mert a terminál csak akkor küld üzenetet, amikor azért keresik, mert csomagok érkeztek neki. A helyváltoztatás jelzés (*location update*) hátránya, hogy a mobil terminál akkumulátorát meglehetősen igénybe veszi. A mobilnak minden cellaváltáskor egy üzenetet kell küldenie, még akkor is, ha hosszú ideig se nem küld, se nem kap hasznos információt. Munkánk során a keresés és a helyzet frissítés költségeket együtt szeretnénk minimalizálni.

Az optimális megoldást a *location update* és a *paging* együttes alkalmazásával kerestük. Bizonyos esetekben a mobil helyzetjelző üzenetet küld a FA-nek, bizonyos esetekben pedig a hálózat keresi meg a terminált. Azt kellene tehát meghatároznunk, hogy mikor küldjön a mobil terminál helyváltoztatásáról üzenetet (*location update*) a hálózatnak, hogy az szükség esetén keresés nélkül megtalálhassa őt. Merítsünk ötletet a GSM megoldásból. A GSM rendszerben [6] egy mobil telefonnak két állapota lehetséges: a telefon aktív, ha a felhasználó éppen beszélgetést folytat rajta, illetve inaktív, ha nem. Amikor a telefon aktív állapotban van, akkor minden egyes helyváltoztatását jelenti a hálózatnak (*location update*). Inaktív állapotban csak két

esemény bekövetkeztekor küld információt aktuális helyzetéről. Az egyik ilyen esemény, amikor a telefonban lévő időzítő lejár. A másik (túlnyomó részben ez vált ki helyzetfrissítést), amikor a készülék lokalizációs területet (*location area*-t) vált. A lokalizációs terület (a mi terminológiánk szerint *paging area*, *PA*) nem más mint néhány bázisállomásból álló csoport. Az első eseménynél az időzítő beállítása szolgáltatófüggő, akár végtelenre is állítható. Általában olyan nagy értékre állítják, hogy rövidebb időt tölt a mobil terminál az adott PA-ban, minthogy ez az időzítő lejárna. Ezért ez a lehetőség nem mérvadó a helyzetfrissítésben.

Inaktív állapotban a hálózat csak azt tudja a mobiltelefonról, hogy mely bázisállomás csoportban, azaz mely PA-ban lelhető fel. Amikor a hálózat hívást kezdeményez a mobil felé, akkor csak a PA-ban levő bázisállomásoknak küldi el az adott telefonszám kereső (*paging*) üzenetet. Ezzel a hálózat többi része megkímélhető a felesleges üzenettovábbítástól. Ha a keresett telefon vette az üzenetet, akkor egy helyzetjelző üzenettel tudatja a hálózattal, hogy melyik bázisállomásnál található. Így már felépülhet a kapcsolat.

Hogyan döntsük el a mobil terminálunkról, hogy aktív vagy inaktív állapotban van? A GSM megoldást IP esetében nem lehet módosítás nélkül alkalmazni, ugyanis a GSM vonalkapcsolt, az IP pedig csomagkapcsolt. Vonalkapcsolt esetben pontosan tudjuk, hogy mikor aktív a készülék, és így tudjuk, hogy mikor kell állandó jelleggel tájékoztatni a hálózatot a készülék mozgásáról. Csomagkapcsolt esetben más a helyzet. Itt nem lehet éles határt húzni aktív és inaktív állapot között. Az IP csomagok ugyanis nem folyamatosan érkeznek, hanem szünetekkel, és nem tudjuk meghatározni, hogy mekkora szünet jelenti a kommunikáció befejeződését és mekkora tekinthető pusztán két csomag közötti természetes szünetnek. A kérdés tehát az, hogy mikor jelentse a hálózatnak a készülék a bázisállomás-, illetve mikor csak a PA váltást. Felmerül az a kérdés is, hogy hány bázisállomás tartozzon egy PA-ba, és hogy milyen legyen a PA alakja.

Ezekkel a problémákkal számos, az irodalomban fellelhető cikk foglalkozott már. A bázisállomások PA-kra való felosztása egy NP-nehéz gráf felosztásos problémára vezethető vissza [7]. Így valós helyzetben, sok bázisállomás esetén heurisztikus módszereket kell alkalmazni, amik nem biztos, hogy optimális PA felosztást adnak. Az is felmerülhet, hogy ne minden PA-ba belépve (PA váltásnál) küldjön a mobil helyváltoztatási üzenetet [8]. Egy alacsony hívásintenzitású, ritkán lakott területen, magas frissítési költségek esetén a helyzetfrissítés hanyagolásával alacsonyabb

összköltséget kaphatunk. Mindenképpen előnyös, ha a PA megválasztásánál figyelembe vesszük a felhasználók lehetséges mozgásirányait (pl. utca mentén) és az általuk generált forgalom jellemzőit [9]. Azzal a problémával is foglalkozni kell, hogy mi van, ha a felhasználó a paging folyamat alatt vált bázisállomást [10]. Ha minden felhasználónak külön PA-t határoznánk meg (személyre szabott PA), amelynek mérete az idővel együtt növekszik, az tovább csökkentheti a mobilitással járó költséget [11,12]. Fontos az is, hogy mennyi idő alatt tudja a hálózat megtalálni a mobil terminált [13].

Cellás IP hálózatokban a GSM rendszerekkel ellentétben nem csak a kommunikáció kezdeményezésekor lehet szükség *paging*-re, hanem a kommunikáció közben is. Az IP csomagkapcsolt, így két egymás után következő csomag között elképzelhető olyan hosszú szünet, amely alatt a mobil terminál inaktívvá válik, holott rövid időn belül további csomagok érkezése lenne várható. Ennek elkerülése érdekében ezt az inaktívvá válást érdemes késleltetni. Ez azonban újabb mobilitással járó költségeket eredményez.

Igazán jó és kézzelfogható eredményeket csak az egyes megoldások fizikai realizációjának elemzésekor kaphatunk, de a szimulációs eredmények utat mutathatnak, hogy merre keressük az optimumot, és hogy milyen realizációval próbálkozzunk először.

1.4 A dolgozat felépítése

A következő (2.) fejezetben rövid áttekintést adunk arról, hogy egy lokális mobilitást biztosító hálózatban mit tekintünk mobilitási költségnek. Ismertetünk egy adatmodellt, amit a későbbiekben mind az analitikus, mind a szimulációs költségelemzésnél felhasználtunk. Ezután részletesen ismertetjük, hogy mely események, és hogyan okoznak mobilitási költséget. Ismertetjük az analitikus költségelemzéshez használt képletet, rámutatunk, hogy az egyes költségkomponensek a költségfüggvény mely részeinek felelnek meg. Hogy mindez szemléletesebb legyen, a paraméterösszefüggések egy részét egy egyszerű példán keresztül illusztráljuk.

A 3. fejezetben a költségelemzéshez használt szimulációs program lényegi felépítését ismertetjük. A valóságos hálózati elemeknek szimulátorbeli objektumokat feleltetünk meg, és röviden bemutatjuk ezen objektumok működését. Ezután ismertetjük az objektumok azon elrendezését, amellyel a szimulációt végeztük.

A 4. fejezetben megvizsgáljuk azoknak a paramétereknek a mobilitási költségre gyakorolt hatásait, amelyek értékét a hálózat tervezésekor a tervező befolyásolni tud. Megvizsgáljuk, hogy hány bázisállomást érdemes egy paging area-ba sorolni, és milyen alakzatban érdemes ezeket csoportosítani. Ezután megvizsgáljuk, hogy a forgalmi modellünk szerint a kommunikációba beékelődött szünetek által okozott költségnövekedés milyen hatással van a mobilitási költségre. Ismertetünk egy algoritmust, amely segítségével ez a költség csökkenthető.

2. Költségkomponensek

Jelentősen befolyásolja a rendszer hatékonyságát az, hogy az adatforgalomtól mentes időszakokban mikor tartjuk aktív állapotban a mobil terminált (*mobile host*, *MH*), és mikor hagyjuk inaktívvá válni. Ahhoz, hogy ennek hatásait részletesebben meg tudjuk vizsgálni, sorra kell venni azon – egy kommunikáció során lezajló – eseményeket, amelyek költséget jelentenek a rendszer számára.

A *mobilitási költség* egy olyan elvont, származtatott mennyiség, amelyet a mobil kommunikáció lehetőségének fenntartására fordított idő, villamos energia és sávszélesség alapján definiálunk. Az így meghatározott költség egy olyan viszonyszám, ami alkalmas lesz arra, hogy különböző szempontok figyelembevételével tudjunk összehasonlítani más-más paraméterbeállításokat, illetve meg tudjuk keresni ezek optimális értékeit.

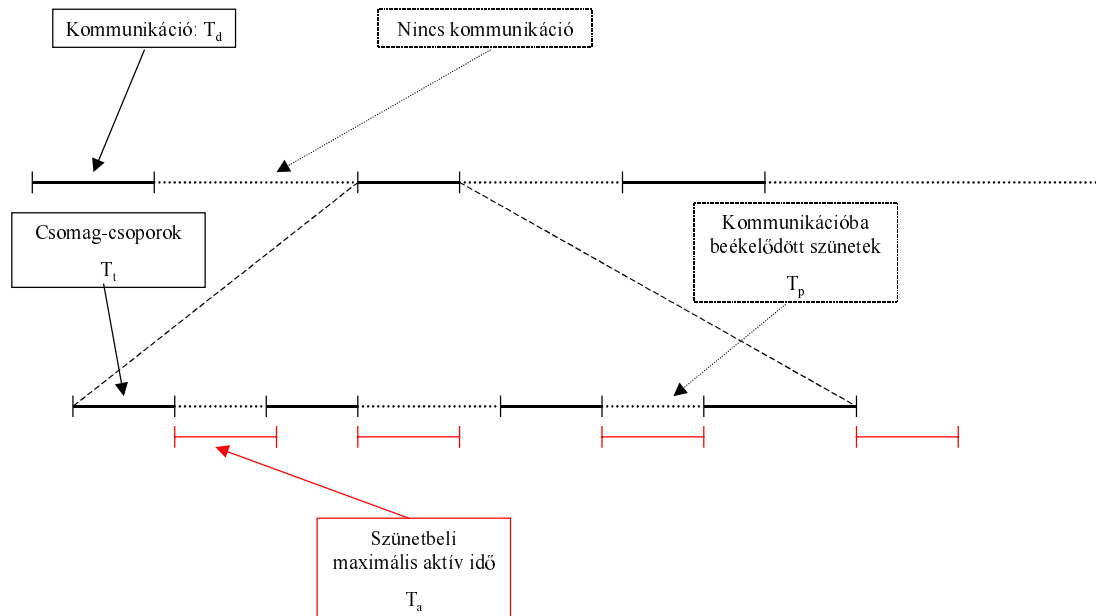
2.1 Forgalmi modell

Mielőtt rátérnénk arra, hogy milyen események során keletkezhet mobilitási költség, vizsgáljuk meg, hogy milyen típusú és milyen eloszlású adatfolyamra számíthatunk. Mint ismeretes, az adatok IP alapú kommunikáció esetén csomagokban továbbítódnak. Ennek hatására a forgalom nem egyenletes, hanem “csomósodott” lesz, vagyis adat-löketek és szünetek váltogatják egymást. Hogy a vizsgálatainkat megkönnyítsük és forgalom-modellünket szemléletesebbé tegyük, néhány feltételezéssel élünk a csomagok érkezésének eloszlásával kapcsolatban.

- Általában az IP csomagok nem magányosan érkeznek, hanem rövid időn belül több csomag érkezése várható. (Gondoljunk arra, ha egy file-t hálózaton keresztül töltünk le, annak a tartalma sokszor nem fér el egyetlen IP csomagban!) Vagyis a csomagok csoportosan érkeznek.
- Egy ilyen csomag-csoportban két szomszédos csomag közt eltelt idő vizsgálatunk szempontjából elhanyagolhatóan rövid.
- A csomag-csoport végének és a következő csoport elejének érkezése közt eltelt idő pár másodperctől pár percig terjedhet. (Ezzel a szünettel próbáljuk figyelembe venni azt az időt, amíg a felhasználó kiválasztja, hogy mely információra kíváncsi, vagyis mit akar letölteni.)

- Az idő jelentős részében semmilyen adatforgalom nincs. Ekkor gyakorlatilag a MH-ot nem használják.

Ezekre a feltételezésekre alapozva állítottuk fel az adatmodellünket, amit mind az analitikus, mind a szimulációs elemzéshez használtunk (2.1 ábra).



2.1 ábra: Adatmodell felépítése

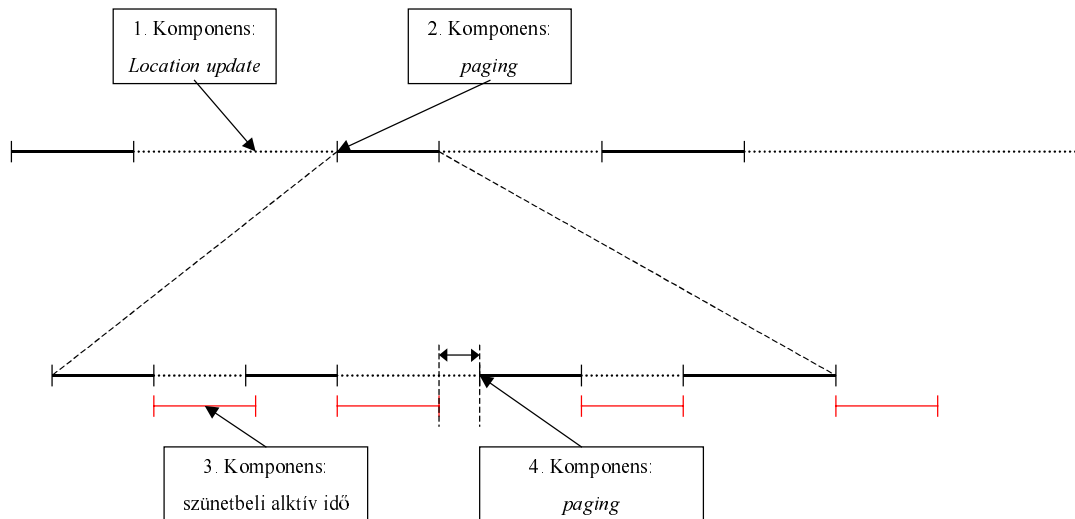
A modellben felosztottuk az időt kommunikációs és kommunikációmentes időszakokra. A kommunikációs időszak hosszát egy T_d valószínűségi változóval írhatjuk le. A kommunikációs időszakot további két időszakra osztottuk fel. Az egyikben a csomag-csoportok küldése – fogadása folyik, a másik a csomag-csoportok közt eltelt szünetnek felel meg. A csomag-csoportok hosszát egy T_t , a köztük lévő szünet hosszát T_p valószínűségi változóval jellemezhetjük. T_a -val jelöljük azt a maximális időt, ameddig a MH aktív állapotban marad az utolsó csomag-csoport utolsó csomagja után. Ez a változó a többivel ellentétben nem valószínűségi változó, hanem egy előre beállítható konstans érték, és nem a forgalom jellemzője, hanem egy felhasználótól független hálózati paraméter.

2.2 Költséget okozó események

Vegyük sorra, hogy milyen – a mobil adatkommunikáció során lezajló – események okozhatnak a rendszernek mobilitási költséget!

1. Egy inaktív állapotú MH időnként helyzetfrissítő üzeneteket küld a hálózatnak. Mint azt az előző fejezetben ismertettük, inaktív állapotban nincs szükség a pontos nyomonkövetésre, többnyire elég azt tudni, hogy a MH mely bázisállomások körében található meg. Mivel a hálózat meglehetősen kiterjedt is lehet, nem célravezető, ha szükség esetén az összes bázisállomásnál keresni kellene a MH-ot. Ennek elkerülése érdekében bizonyos időközönként vagy eseményekkor a MH frissítő információt (location update) küld a hálózatnak arról, hogy melyik bázisállomás körzetében tartózkodik. Az általunk vizsgált hálózatban ez a frissítés a GSM rendszer analógiájára történik, vagyis a bázisállomásokat paging area-kba csoportosítjuk, és az inaktív MH csak ezen paging area-váltásokat jelzi a hálózat felé. Az ilyen üzenetek küldése mobilitási költséggel jár. Egy ilyen üzenet költségét jelöljük a továbbiakban C_m -mel.
2. Az is költséget jelent a rendszernek, ha egy másik állomás kommunikációt kezdeményez egy inaktív MH-tal. Mint azt az előző pontban is ismertettük, az inaktív MH mozgását nem követjük pontosan nyomon, tehát kommunikáció előtt a hálózatnak az inaktív MH-ot meg kell keresnie (paging), ez szintén mobilitási költséget eredményez. Az egy bázisállomásra vonatkoztatott keresésből eredő mobilitási költséget a továbbiakban C_p -vel fogjuk jelölni.
3. Ha egy csomag-csoport fogadása, vagy küldése befejeződik, a MH egy adott ideig (maximálisan T_a ideig) még aktív marad arra számítva, hogy rövidesen újabb csomag érkezik. Ekkor a MH mozgását folyamatosan nyomon követi a hálózat, a MH pedig folyamatosan készen áll arra, hogy csomagokat fogadjon, illetve küldjön. Ezek alapján ehhez a szünetbeli aktív időhöz egy – az időtartamával arányos nagyságú – mobilitási költséget rendelhetünk, ami a pontos nyomonkövetésre fordított kommunikáció költségét, illetve a csomag-fogadásra való készenlét költségét tartalmazza. Jelöljük a továbbiakban C_a -val ezen költség egy másodperces értékét!
4. Ha a csomag-csoportok közt eltelt idő hosszabb, mint a maximális szünetbeli aktív idő (T_a), akkor a MH inaktívvá válik. Azaz a MH csak a paging area váltásokat jelzi a hálózat felé. Ha ezután a kommunikáció folytatódik, a forgalom irányától függően a MH-ot újra meg kell keresni. Ha a következő csomag-csoportot a MH küldi, nyilvánvalóan nincs szükség

keresésre, hiszen ebben az esetben a MH egyúttal frissítő információt is küld a hálózat felé. Ha a csomag-csoportnak a MH a címzettje, akkor viszont keresni kell a MH-ot (vagyis paging-re van szükség), ugyanis annak helye inaktív állapotban nem ismert az adattovábbításhoz szükséges pontossággal. Ez a paging szintén mobilitási költségként jelenik meg a hálózatban, ugyanannyit, amennyit a 2. pontbeli paging. (C_p).



2.2 ábra: Költségkomponensek megjelenése az adatmodellben

Ezeket a mobilitási költséget okozó eseményeket két csoportra lehet osztani. Az egyik csoport tagjai függetlenek a csomag-csoportok közti szünet (T_p) és az ezen az időszakon megengedett maximális aktív idő (T_a) hosszától, a másik csoport tagjainak a fellépési gyakorisága valamilyen összefüggésben van T_p -vel és T_a -val. Az első csoportba az első két költséget eredményező eseményt lehet sorolni (inaktív állapotú MH location update üzeneteiből, illetve a kommunikáció kezdeményezésekor lezajló paging-ből eredő költségek). Ezek a kommunikáció lehetőségének fenntartásával, és annak kezdeményezésével vannak összefüggésben. A kommunikáció során lezajló forgalomtól függetlenek. A másik csoport tagjai a harmadik és a negyedik költséget okozó események (T_p alatti aktív állapotból, illetve T_a -nál hosszabb ideig tartó T_p esetén az újra keresésből adódó költségek). Ezek szoros összefüggésben vannak azzal, hogy a kommunikáció során a viszonylag folyamatos adatfolyamot biztosító csomag-csoportok közé milyen gyakran ékelődik be szünet, ez a szünet milyen hosszú, illetve a negyedik költségkomponens esetén lényeges az is, hogy T_a vagy T_p a hosszabb.

Ahhoz, hogy a mobilitási költséget minimalizálni tudjuk, ezen két csoport elemeit kell minimalizálnunk. Mindkét csoport függ olyan paramétereiktől, amelyek

nagyságát nem tudjuk befolyásolni, ugyanis azok objektíven adottak (pl.: egy bázisállomás területén eltöltött átlagos idő). Az első csoport komponenseit csupán a hálózati architektúra kiépítésével tudjuk minimalizálni (optimális paging area választás), míg a másik csoport komponenseit egy jól megválasztott T_a érték segítségével is csökkenthetjük. Összességében tehát csak két paraméter áll a rendelkezésünkre, amelyek értékeit mi választhatjuk meg, a többi a felhasználók szokásaitól függ (milyen sebességgel és hogy mozognak, milyen gyakran és milyen hosszú ideig használják a MH-ot, milyen jellegű adatfolyamra számíthatunk).

2.3 Mobilitási költségfüggvény

Vegyük sorra a mobilitási költség komponenseit! Vizsgáljuk meg, hogy melyik komponensre milyen paraméterek jellemzők.

Az első költségkomponenst az inaktív állapotban a location update üzenet adja. Inaktív állapotban a MH csak akkor jelzi a bázisállomás-váltást, ha az egyúttal paging area váltást is jelent. Jelölje T azt az időt, amennyit egy MH egy bázisállomás területén átlagosan eltölt! Legyen egy PA-ban m db. bázisállomás, illetve jelölje C_m a location update üzenet költségét. A MH által a paging area-ban eltöltött átlagos idő ekkor $f(m)T$, ahol f egy a paging area méretétől és alakját figyelembe vevő függvény. T_d a kommunikációs idő hosszát, T_{off} pedig a kommunikációmentes idő hosszát leíró

valószínűségi változó. Vezessük be a $\frac{1}{E(T_d) + E(T_{off})} = \gamma_d$ jelölést! Ekkor γ_d a

kommunikációs időszakok érkezésének intenzitását jelenti. Az időnek a $\gamma_d E(T_d)$ hányadát tölti ki a kommunikációs időszak. Közelítőleg ekkor aktív a MH, ha a kommunikációs időn belüli inaktív időszakokat, és a kommunikációs idő végén lévő additív aktív időt elhanyagoljuk. Vagyis közelítőleg az idő $(1 - \gamma_d \tau_d)$ -ad részében

inaktív a MH, ha $\tau_d = E(T_d)$. Ekkor $\frac{1}{f(m)T}$ intenzitással vált paging area-t. Ezek

alapján az ehhez tartozó költség:

$$(1 - \gamma_d \tau_d) \frac{C_m}{f(m)T}$$

Ha egy inaktív MH kommunikációs időszakba lép, azt a kommunikációt kezdeményezheti egy más állomás, de kezdeményezheti maga a MH is. Előbbi esetben a MH-ot meg kell keresni, ami költségként jelentkezik a hálózatban. Jelöljük β_d -vel azt a valószínűséget, amellyel a kommunikációt egy másik állomás kezdeményezi! Jelölje továbbá C_p az egy bázisállomásra vonatkoztatott paging-költséget! A második költségkomponenshez tartozó becslő képlet:

$$(1 - \gamma_d \tau_d) m C_p \gamma_d \beta_d$$

A harmadik költségkomponenst az analitikus elemzéshez célszerű két részre bontani: a kommunikációs időszakba beékelődött szünetekben lévő aktív idő és a kommunikáció utáni aktív idő okozta költségekre. Vizsgáljuk először a kommunikációs időszakba beékelődött szünetekben fellépő költséget! T_p a kommunikációs időszakba beékelődött szünetek hosszát jellemző valószínűségi változó (két csomag-csoport közt eltelt idő), T_a pedig a csomag-csoport utáni szünetbeli aktív idő maximuma (ami egy konstans érték). Költség szempontjából számunkra az az érdekes, hogy mennyi ideig marad a MH aktív állapotban. Jelölje $T_p^{(i)}$ egy realizációját T_p valószínűségi változónak! Ha a szünet hossza kisebb, mint a szünetbeli aktív idő maximuma ($T_p^{(i)} < T_a$), a költségben csak egy $T_p^{(i)}$ hosszúságú aktív időszak jelenik meg, ellenkező esetben ($T_p^{(i)} > T_a$) ez az időszak T_a . Hogy ennek az aktív időszaknak a hosszát könnyen vizsgálhassuk, feltételezzük, hogy a beékelődött szünetek hosszának eloszlása exponenciális. Ha ezt az exponenciális eloszlást $[0; T_a]$ időintervallumban vizsgáljuk, a szünetekben megjelenő aktív időszakok időeloszlást kapjuk. A beékelődött szünetek hossza (T_p) tehát exponenciális eloszlású, τ_p várható értékű, súlyfüggvénye:

$$\frac{1}{\tau_p} e^{-\frac{t}{\tau_p}}$$

Ezt a súlyfüggvényt integrálva a $[0; T_a]$ intervallumon kapjuk meg annak a valószínűségét, hogy az additív aktív idő maximuma hosszabb, mint a beékelődött szünet.:

$$P_{(T_a > T_p)} = \int_0^{T_a} \frac{1}{\tau_p} e^{-\frac{t}{\tau_p}} dt = 1 - e^{-\frac{T_a}{\tau_p}}$$

Ezek alapján annak az eloszlása, hogy meddig marad a beékelődött szünetben a MH aktív állapotban ($\min(T_a, T_p)$) az alábbi súlyfüggvényből számítható:

$$f(t)_{t \in [0; T_a]} = \frac{1}{\tau} \frac{e^{-\frac{t}{\tau_p}}}{1 - e^{-\frac{T_a}{\tau_p}}}$$

$$f(t)_{t \in (T_a; \infty)} = 0$$

Ennek a várható értéke:

$$\int_0^{\infty} t \cdot f(t) dt = \int_0^{T_a} t \frac{1}{\tau_p} \frac{e^{-\frac{t}{\tau_p}}}{1 - e^{-\frac{T_a}{\tau_p}}} dt = \frac{\tau_p - (\tau_p + T_a) e^{-\frac{T_a}{\tau_p}}}{1 - e^{-\frac{T_a}{\tau_p}}}$$

Mindezek alapján kaphatjuk a kommunikáció alatti szünetekben a MH additív aktív idejéből eredő költségkomponenst:

$$\gamma_d T_d \gamma_p C_a \frac{\tau_p - (\tau_p + T_a) e^{-\frac{T_a}{\tau_p}}}{1 - e^{-\frac{T_a}{\tau_p}}}$$

A kommunikáció végeztével a MH még T_a ideig aktív marad. Ez abból ered, hogy IP szinten ha egy csomag megérkezik, arról nem tudjuk megállapítani, hogy utolsó csomag volt, és azt hosszú ideig nem fogja követni újabb csomag. Vagyis a MH csak T_a idő elteltével lesz ismét inaktív. Ez képletben kifejezve:

$$\gamma_d T_d C_a$$

Ha a kommunikációba beékelődött szünet hosszabb, mint a szünetbeli maximális aktív idő ($T_a < T$), akkor a MH inaktívvá válik. A kommunikáció folytatásakor – amennyiben a következő csomag-csoport a MH felé halad – a MH-ot a hálózatban paging segítségével meg kell keresni. Jelölje β_s annak a valószínűségét, hogy az inaktív állapot után érkező csomag-csoport a MH felé tart!

$$\gamma_d T_d \gamma_p e^{-\frac{T_a}{T_p}} \beta_s m C_p$$

Ezeket a komponenseket összegezve kaphatjuk meg azt a függvényt, amely a mobilitási költséget adja adott paraméterbeállítás mellett.

$$C_{teljes} = (1 - \gamma_d \tau_d) \frac{C_m}{f(m)T} + (1 - \gamma_d \tau_d) m C_p \gamma_d \beta_d + \gamma_d T_d \gamma_p C_a \frac{\tau_p - (\tau_p + T_a) e^{-\frac{T_a}{\tau_p}}}{1 - e^{-\frac{T_a}{\tau_p}}} + \\ + \gamma_d T_a C_a + \gamma_d T_d \gamma_p e^{-\frac{T_a}{\tau_p}} \beta_s m C_p$$

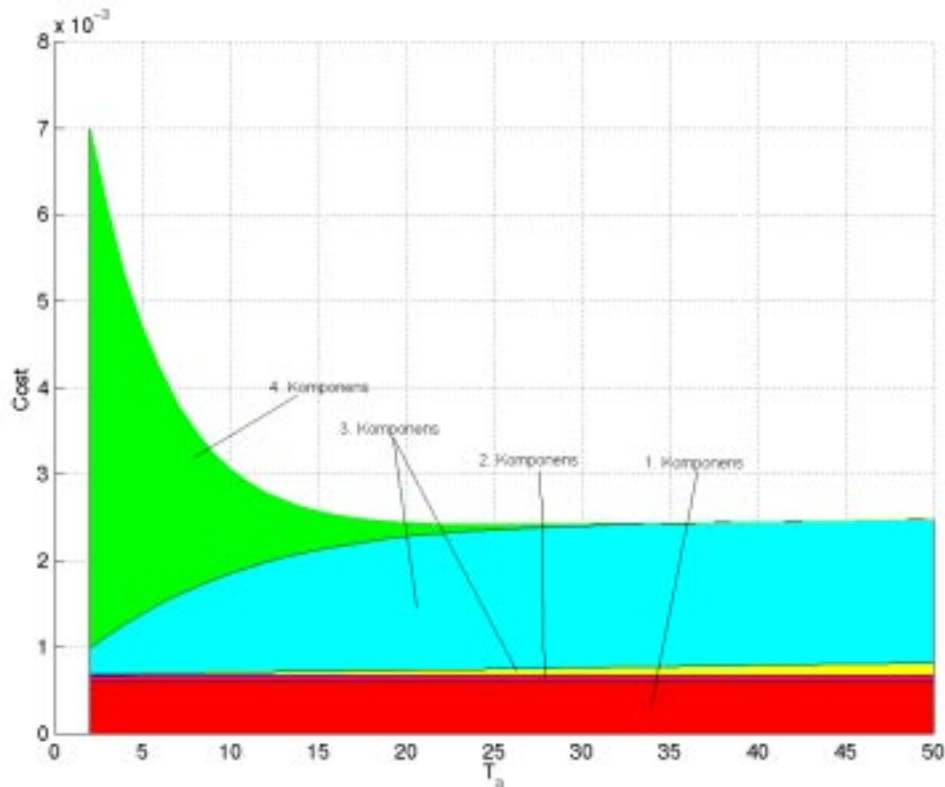
A továbbiakban az analitikus költségbecslésekhez ezt a képletet használjuk.

2.4 Költségkomponensek paraméterfüggése (példa)

Mielőtt belekezdenénk a konkrét költségelemzésbe, egy viszonylag egyszerű példán keresztül szeretnénk illusztrálni a komponensek paraméterfüggéseit, hogy a költségkomponenseink érthetőbbek és áttekinthetőbbek legyenek,.

Példánkban a cellás IP hálózatra jellemző paramétereket egy kivétellel rögzítettük. Ha a rögzítetlen paraméter értékét egy reálisnak vélt intervallumon belül változtatjuk, a költségkomponensek értékeinek változását vizsgálva megfigyelhetjük, hogy hogyan függenek a költségkomponensek az adott paramétertől.

A 2.3 ábrán a cellás IP hálózatokra jellemző paraméterek értékeit – T_a kivételével – rögzítettük. Öt tartomány látható, amely a költségkomponensek alakulását mutatja. A legalsó (piros) tartomány a kommunikációmentes időszakban lévő location update üzenetkből keletkező költségkomponens értékének alakulását mutatja (1. költségkomponens). A lila tartomány kapcsolatkezdeményezéskor előforduló paging-ből eredő költségnek felel meg (2. költségkomponens). Amint azt láthatjuk, ez a két komponens független T_a -tól, értékük végig konstans.



2.3 ábra: Költségkomponensek T_a függvényében
 $m=9$; $T=180$; $f_{3 \times 3}(m=9) \cdot T=405$; $\tau_d=1200$; $\gamma_d=1/72000$; $\tau_p=5$; $\gamma_d=0.1$; $C_p=1$; $C_m=1$; $C_a=0.2$; $\beta_s=\beta_d=0.6$
 Futó paraméter: T_a
 Egy MH-ra vonatkoztatott költséggörbe
 Számított értékek

A T_a -ból eredő költségkomponenst (3. komponens) a szemléletesség kedvéért két részre osztottuk. A sárga tartomány jelöli azon költségrészt, mely a kommunikációs idő (T_d) utolsó csomag-csoport érkezése utáni aktív időszakaszából ered, a kék tartomány a kommunikáció közben előforduló szünetekben lévő aktív időszakokból eredő költséget jelölik. Ezen a két tartományon jól látható a T_a -tól való függés. Amíg T_a kisebb, mint a csomag-csoportok közti szünet várható értéke, addig ezen költségkomponens mindkét tartományának értéke alacsony. Ahogy T_a hosszát növeljük, ez a komponens is elkezd növekedni. A kék tartomány növekedése korlátos, hisz a költséget a szünet hosszának és T_a értékének a minimumából származtatjuk, a szünetek hosszának a várható értéke pedig az ábrázolt esetben rögzített érték. A sárga tartomány növekedése viszont egyenesen arányos T_a -val, hisz annak csak a kommunikációmentes időszak hossza szabna határt, ami nagyságrenddel nagyobb T_a értékénél. Ha T_a értékét olyan nagyra választjuk, hogy az a csomag-csoportok közti szünetet szinte biztosan kitölti, csupán a sárga tartománnyal jelölt komponens-rész fog növekedni, a kékkel

rajzolt tartományrész szélessége közelítőleg konstans marad. Összességében megállapíthatjuk: ezen komponens értéke annál kisebb, minél kisebb a T_a érték.

A legutolsó komponensből eredő mobilitási költséget zölddel jelöltük. Ha a csomag-csoportok közti szünet hosszabb, mint a megválasztott T_a , akkor a MH inaktívvá válik, ami a következő csomag-csoport érkezésénél újabb *paging*-et eredményez. Ezért minél nagyobb annak az esélye, hogy két szomszédos csomag-csoport közti szünet hosszabb, mint T_a , annál jelentősebb ez a komponens.

Amint azt láthattuk, a második csoporton belüli költségkomponensek egymásnak ellentmondó igényeket támasztanak T_a -val szemben, vagyis a 3. komponens értéke kis T_a esetén lesz alacsony, míg a negyedik komponens értéke nagy T_a esetén lesz optimális. Hogy ezen érték beállításáról többet tudjunk elmondani, további vizsgálatra van szükség.

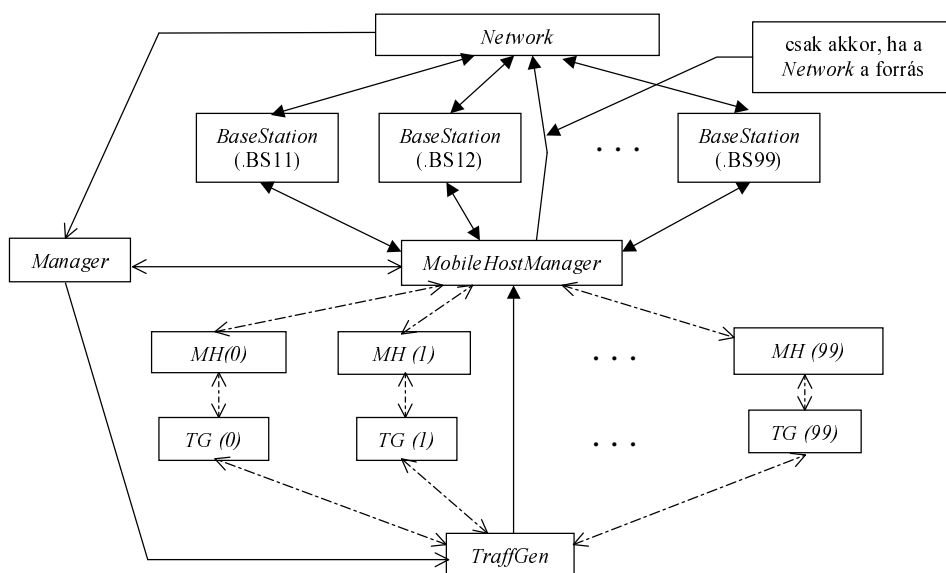
3. Az vizsgálatokhoz használt szimulációs program

Munkánk során egy eseményvezérelt hálózati szimulációs programot, a *Plasmát* [15,16] használtuk. A Plasma egy objektum orientált szimulátor, ahol a szimulált eszközöket olyan objektumokkal modellezzük, melyek a valós hálózati elemek számunkra lényeges viselkedését szimulálják. Az objektumok eseményeket időzíthetnek egy ütemezőbe, mely gondoskodik arról, hogy ezen események az időzítésüknek megfelelő időrendben következzenek be.

3.1 Az általunk írt szimulátor bemutatása

Az általunk elképzelt hálózat felépítését az 1.2 ábrán láthatjuk. A MH-ok a bázisállomásokkal rádiós interfészen kommunikálnak. A bázisállomások csomópontokon keresztül kapcsolódnak a FA-hez.

Ezt az elképzelt cellás IP hálózatot az alábbi objektumstruktúrával modelleztük (3.1 ábra). Az ábrán a tömör fejű nyilak az üzenetek áramlását, a sima nyilak a szimuláció vezérlést és az eredmények továbbítását, a szaggatott nyilak pedig a logikai kapcsolódásokat jelzik.

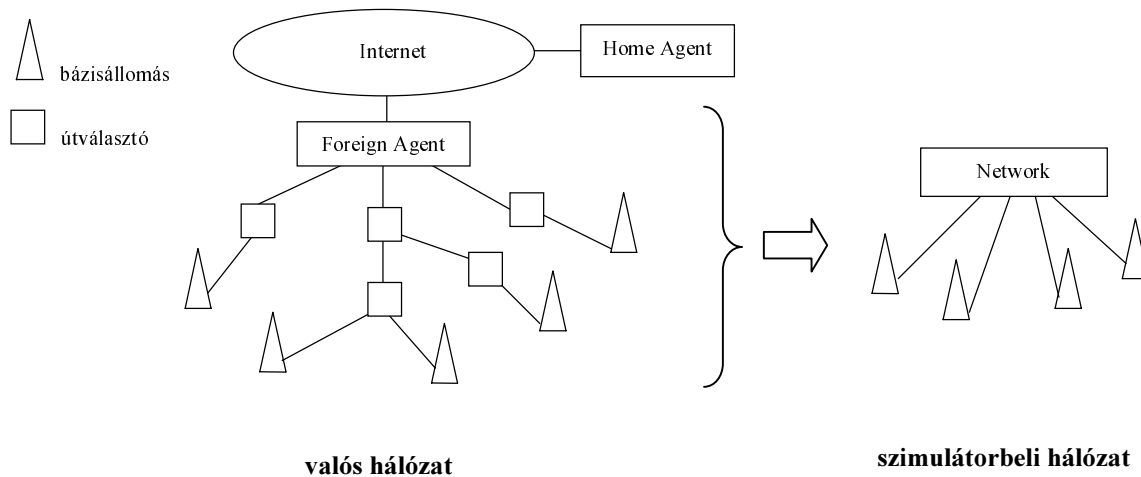


3.1 ábra: Az objektumok kapcsolódása

Mivel a szimuláció során egyes paraméterek értékét sokszor és sok helyen kellett változtatnunk, ezért szükségünk volt egy olyan objektumra, ami a szimulációt

vezérli, a változtatni kívánt paramétereket átállítja. Erre a feladatra hoztuk létre a *Manager* objektumot. Ez felel továbbá a szimulációs eredmények nyilvántartásáért és tárolásáért is.

A *Network* objektummal modelleztük a bázisállomások fölött elhelyezkedő hálózatot (3.2 ábra). Ez az objektum felelős a mobil készülékek kereséséért (paging), a MH-ok mozgásának nyomonkövetéséért, az MH-nak címzett üzenetek megfelelő bázisállomáshoz történő küldéséért, a hálózat egészének szimulációjáért.



3.2 ábra: Az elképzelt hálózat szimulátorbeli megvalósítása

A *BaseStation* objektum modellezi a bázisállomások viselkedését. Gyakorlatilag nem tesznek mást, mint a hálózat késleltetését szimulálva továbbítják a kapott üzeneteket.

A *MobileHostManager* objektum kezeli a mobil terminálokat (MH-ok). Technikai okból, a szimuláció gyorsítása érdekében csak egy van belőle, ez kezeli az összes mobil adatati. Ez hozza létre őket, valamint a mozgásukért is ez felel.

A *TraffGen* objektumban valósítottuk meg a forgalom generálását. Ez az objektum kezeli az elemi forgalomgenerátorokat (*TG*), melyek üzeneteket generálnak a MobileHostManager MH-jainak. Ebből is csak egyet használtunk, mely képes az összes MH forgalmát generálni.

3.2 A szimuláció menete

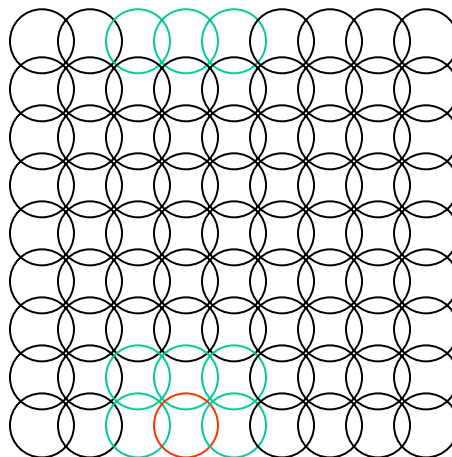
A szimuláció során azt vizsgáljuk, hogy egy adott paraméter különböző értékei esetén hogyan változnak a költségek, úgy hogy közben a többi paraméter beállítását

illetve a hálózati struktúrát nem változtatjuk. A szimuláció úgy történik, hogy a Manager alapállapotba hozza a hálózatot és beállítja a változó paraméter kezdeti értékét. Ezt követően elindítja a szimulációt. A beállított paraméterek alapján kiszámol egy szimulációs időt (*measuringTime*). A szimulációs idő lejártáig figyeli a hálózatban fellépő költségeket. Majd megállítja a szimulációt és a kapott eredményeket eltárolja. Ezután a hálózatot ismét alapállapotba hozza és beállítja a változó paramétereket a soron következő értékekre. Végül újraindítja a szimulációt. Ezt a műveletsort addig ismétli, amíg a változó paraméter összes értékével meg nem vizsgálta a hálózat viselkedését.

Szimulációnkban gyakorlatilag csak a MobileHostManager és a TraffGen objektumokban változtatjuk a paraméterek beállításait. A szimuláció megfigyelését a hálózat két pontján végezzük, a MobileHostManager és a Network objektumoknál. Ezek az objektumok az egyes mérendő események bekövetkezésekor a Manager objektum mérőfüggvényeit hívják meg.

3.3 A szimulációs összeállítás

A szimulációhoz egy 9x9-es bázisállomás- (cella-) struktúrát hoztunk létre (3.3 ábra). Minden bázisállomás 8 szomszédossal rendelkezik.



3.3 ábra: Cellák és szomszédossági viszonyaik

A négyzetes struktúra átellenes szélein elhelyezkedő bázisállomások is szomszédai egymásnak. Így egy végtelen síkon egy végtelenített bázisállomásrendszert hoztunk létre. Ebbe a rendszerbe 100 mobil terminált helyeztünk. Az elhelyezési

algoritmus roppant egyszerű. Az első mobil az első, a második a második bázisállomáshoz került, és így tovább. Ha mind a 81 bázisállomásnál volt már mobil, akkor a 82. mobilt az első, a 83.-at a második stb. bázisállomáshoz rendeltük. A mobil terminálok mozgását Brown-mozgással modelleztük. A mozgási algoritmus az aktuális bázisállomás szomszédai közül választotta ki egyenletes eloszlás alapján, hogy merre mozogjon a terminál.

4. Költségelemzés analitikus és szimulációs módszerrel

A lokális mobilitást támogató hálózatok leírásához sok paramétert használtunk. Ezek közül csupán kettő olyan van, melyek értékét a hálózat-tervezéskor befolyásolni tudunk. Meg tudjuk határozni, hogy a bázisállomásokat hogy csoportosítsuk paging area-kba, illetve be tudjuk állítani T_a optimális értékét. A többi paraméter értéke nem befolyásolható, sőt, gyakran még nem is ismert. Az adott lehetőségekkel élve, és azon korlátainkat ismerve, hogy bizonyos paraméterek ismeretlenek, a továbbiakban a mobilitási költség csökkentésére próbálunk útmutatást adni.

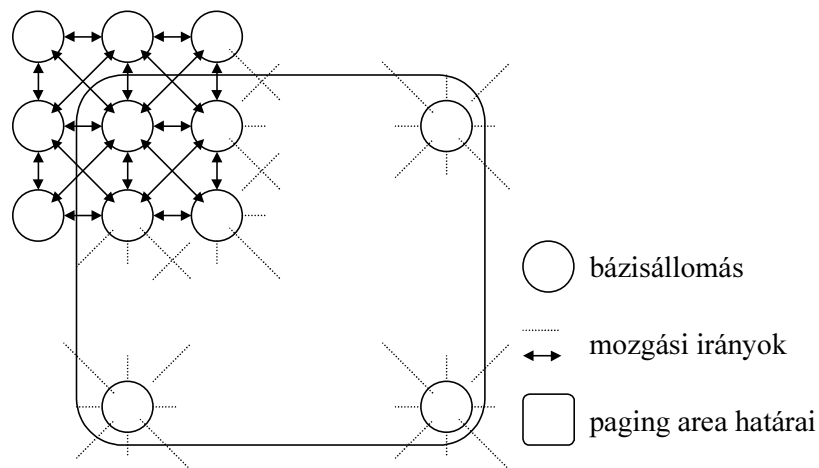
4.1 Paging area méret választás

Felmerülhet a kérdés, hogy ha egy cellás rendszerben – a GSM rendszerhez hasonlóan – a bázisállomásokat paging area-kba csoportosítjuk, és szükség esetén ezeken a területeken belül keressük az inaktív MH-okat, akkor egy paging area-ba hány bázisállomás tartozzon. Erre a kérdésre a válasz első közelítésben kézenfekvőnek tűnik: annyi bázisállomás tartozzon egy paging area-hoz, amennyi a GSM rendszerben egy location area-hoz. Ha a 2.1 részben ismertetett költségkomponenseket kissé részletesebben megvizsgáljuk, arra a következtetésre juthatunk, hogy a kérdés nem ilyen egyszerű. A cellás IP hálózatnak sok olyan – a GSM rendszertől eltérő – tulajdonsága van, ami miatt ezzel a kérdéssel részletesebben is foglalkozni kell.

A paging area méretét úgy kell megválasztani, hogy a lehetőségekhez képest a hálózatban keletkező mobilitási költség minimális legyen. Ha egy paging area-ba kevés bázisállomás tartozik, akkor paging közben kevés bázisállomásnál kell keresni a MH-ot, így az ebből eredő mobilitási költség kisebb lesz. Van viszont egy hátránya is a kis méretű paging area-knak: az inaktív állapotú MH-nak a mozgása során nagyon sok location update üzenetet kell küldenie a gyakori paging area váltás miatt. Tekintettel arra, hogy a cellás IP hálózatokban a cellák mérete meglehetősen kicsi lehet, továbbá gyakori cellaváltásra számíthatunk, az ezen hatásból eredő költségnövekedés nem elhanyagolható. Nyilvánvaló, hogy ha egy paging area-ba túlzottan sok bázisállomást csoportosítunk, a mobilitási költség szintén nem lesz optimális. Ebben az esetben ugyanis a location update-ekből eredő mobilitási költség kicsi lesz, de a paging költsége a bázisállomások számával egyenes arányban megnő. A megoldást tehát valahol a két szélsőség között kell keresnünk.

A location update üzenetekből eredő költség nem csupán a paging area-ban lévő bázisállomások számának a függvénye, hanem függ attól is, hogy a bázisállomások milyen alakzatban helyezkednek el, illetve egy adott cellából mely másik cellába és milyen valószínűséggel tud átmenni a MH. A valóságban a MH-ok mozgása ugyanis nem írható le egyszerű Brown-mozgással. Vannak irányok, amelyek mentén a MH-ok nagyobb valószínűséggel haladnak, más irányokba meg szinte soha sem közlekednek. (Pl.: egy hosszú egyirányú utcában a MH-ok jobbra a fogalmi iránynak megfelelően haladnak, azzal szemben kevesebb MH halad (gyalogosok), oldalirányban meg még kisebb a valószínűsége, hogy valaki elhagyná a cellát.) Mindezen tényezőket figyelembe véve a probléma meglehetősen összetetté válik.

A vizsgálat egyszerűsítése érdekében tételezzük fel, hogy a MH-ok mozgása emlékeztetemes, vagyis a mozgás során az, hogy a MH egy adott cellából mely cellába megy tovább, független attól, hogy előzőleg hol tartózkodott. Ekkor a MH cellaváltásait egy folytonos idejű két dimenziós Markov láncsal írhatjuk le.



4.1 ábra: Folytonos idejű Markov-lánccal leírt mozgás

A Markov láncsal leírt cellaváltás esetén meghatározható a várható értéke egy MH egy adott paging area-ban eltöltött idejének. Ez a várható érték – az analitikus módszernél egyszerűbben – kísérleti úton is meghatározható egy egyszerű szimuláció segítségével, melynek menetét a F.2 függelékben ismertetünk.

Hogy a különböző alakú és méretű paging area-kat mobilitási költség szempontjából össze tudjuk hasonlítani, meg kell határoznunk az analitikus költségelemzéshez használt képletben található paraméterek értékeit. A költségkomponensek paraméterezésénél az egy bázisállomásra vonatkoztatott paging (C_p) és a location update üzenet küldéséből (C_m) eredő költségek költségparamétereit

egyenlőnek választottuk ($C_p = C_m = 1$) arra gondolva, hogy a rádiós interface-t közelítőleg azonos módon veszik igénybe. A kommunikációs időszakba beékelődött szünetekben egy MH egy másodperces aktív idejének a költségét $C_a=0,2$ -re választottuk. A többi paramétert konstans értékekben rögzítettük. A bázisállomásokat négyzetrácsos alakzatban helyeztük el, és egy bázisállomásnak nyolc szomszédot feltételeztünk. A MH mozgását egyszerű Brown-mozgásnak feltételeztük.

PA-méret	Átlagidő	Költség ($\times 10^{-3}$)	PA-méret	Átlagidő	Költség ($\times 10^{-3}$)
5x5	643,9	70	5x1	224,9	60
4x4	524,5	56	4x3	455	52
3x3	405,1	49	4x2	360,6	50
2x2	288	49	4x1	221,8	59
1x1	180,1	64	3x2	331,2	49
5x4	547,5	63	3x1	215,8	58
5x3	491,4	56	2x1	205,8	59
5x2	378,8	52			

Paging area méret táblázat

$T=180$; $m=9$; 3x3-as paging area; $\tau_d=1500$; $\gamma_d=1/90000$; $\tau_p=5$; $\gamma_p=0.1$; $\beta_s=\beta_d=0.6$; $C_m=1$; $C_p=1$; $C_a=0.2$

A fenti táblázatban a “PA-méret” nevű oszlop mutatja, hogy egy paging area-ba hány bázisállomás tartozik, és ezek milyen geometriai elrendezésben vannak. Az “Átlagidő” oszlopban található annak a várható értéke, hogy egy MH egy paging area-ban adott mobilitási paraméterekkel átlagosan mennyi ideig tartózkodik. A “Költség” oszlopban található az ehhez rendelhető mobilitási költség.

A táblázat adatai jól mutatják, hogy mind a túl nagy, mind a túl kicsi méretű paging area magas költséget eredményez. Az optimális méretű paging area-ba ezen számítások szerint 4-9 bázisállomás tartozik. Ahhoz viszont, hogy ez a szám ténylegesen egy optimumot jelöljön, fontos, hogy a bázisállomások geometriai elrendezése közelítőleg négyzetes legyen. Ha összehasonlítjuk a 2x2-es és a 4x1-es méretű paging area-kat, láthatjuk, hogy a 2x2-eshez tartozó költség alacsonyabb, mint a 4x1-eshez tartozó költség, holott mindkét esetben 4 – 4 bázisállomásból áll a paging area. Részletesebben megvizsgálva a paging area-kat láthatjuk, hogy az átlagos tartózkodási idő a 2x2-es elrendezésben nagyobb, mint a 4x1-esben. A rövid átlagos tartózkodási idő gyakoribb location update üzenetet eredményez, ami költségnövelő, a paging-ból eredő költségek viszont csupán a paging area-ba tartozó bázisállomások számától függenek, azok elhelyezkedésétől nem.

A valóságban egy területet nem lehet lefedni ilyen egyszerű négyzetrácsos elhelyezkedésű bázisállomásokkal, hanem sokkal bonyolultabb, változó méretű és alakzatú cellákra van szükség, mint ahogy azt a GSM rendszereknél is tapasztalhattuk. A valóságos mozgásmodell sem ilyen egyszerű, egyes irányokba gyakrabban mozognak a MH-ok, míg más irányokba szinte soha. Ráadásul a bázisállomások számának növekedésével a lehetséges paging area-felosztások száma exponenciálisan nő, vagyis a legoptimálisabb felosztás meghatározása egy NP-nehéz problémát eredményez [7]. Mindezeket a tényezőket figyelembe véve ezen kérdés részletesebb elemzése, illetve valamely valós terület optimális lefedésének problémája [14] túlmutat ezen dolgozat keretein.

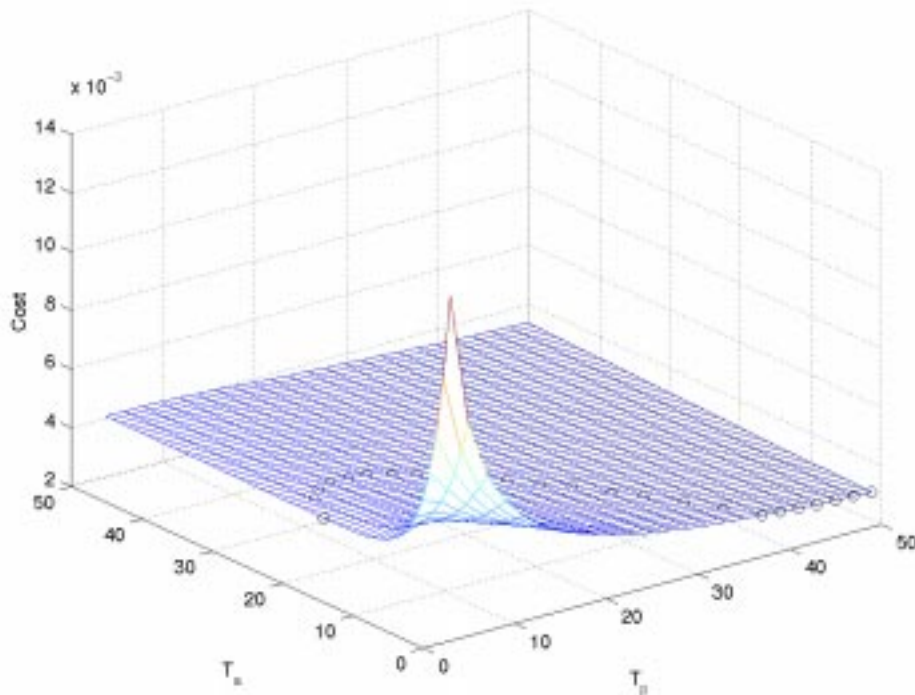
Röviden összefoglalva a fentieket megállapíthatjuk, hogy egy paging area-ba meglehetősen kevés számú bázisállomást célszerű sorolni, mivel a GSM rendszerekkel ellentétben a mobil készülék megkeresésére itt nem csak a kommunikáció kezdetekor lehet szükség, hanem a kommunikáció közben akár többször is.

4.2 Szünetbeli aktív állapotok optimális hossza

Mint azt már az előző fejezetekben is részleteztük, a kommunikációba (T_d) – az adatmodellünk szerint – időről időre szünetek (T_p) ékelődnek be. A kérdés az, hogy a beékelődött szünetekben mennyi ideig érdemes még a MH-ot aktív állapotban tartani, és mennyi idő múlva (T_a) érdemes inaktív állapotba engedni.

Ahhoz, hogy T_a értékét meg tudjuk határozni úgy, hogy az optimális mobilitási költséget eredményezzen, T_p várható hosszát előre ismernünk kellene. Sajnos T_p -nek nem csak a várható hossza ismeretlen, hanem az eloszlása is, ami nem csak T_a meghatározását, de a költségelemzést is nehezíti. A kérdésre tehát úgy kell keresni a választ, hogy T_p -re a lehetőségekhez mérten minimális számú megkötést tegyünk.

Első lépésben vizsgáljuk meg analitikus módszerrel, hogy egy hálózatban különböző hosszúságú T_p -ket és T_a -kat feltételezve hogyan alakul a mobilitási költség! A T_p várható értékét egy vizsgálat alatt úgy változtatjuk, hogy egy adott kommunikációs időn (T_d) belül a szünetek hosszainak az összege állandó maradjon, vagyis vagy rövid, de sűrűn érkező, vagy hosszú, de ritkán érkező szüneteket feltételezünk. Ezen vizsgálat során szem előtt kell tartanunk azt, hogy az analitikus módszerrel való költségbecsléskor a képletek könnyebb kezelhetősége érdekében a T_p valószínűségi változó eloszlását exponenciálisnak feltételeztük. (Bővebben lásd 2.3 rész.)



4.2 ábra: Analitikus úton becsült mobilitási költség

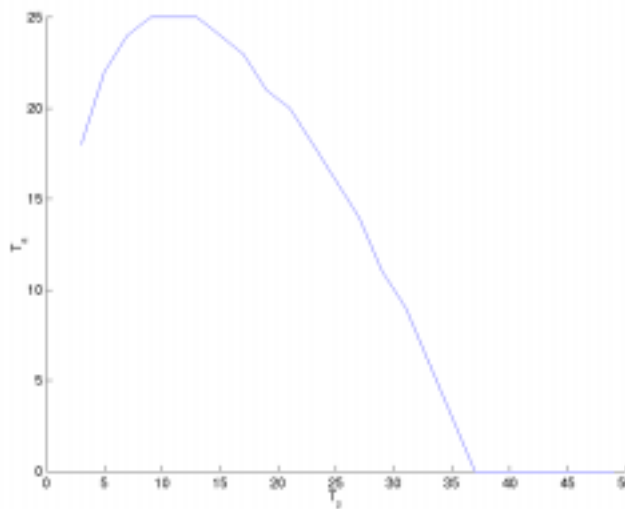
$T=180$; $m=9$; 3×3 -as paging area; $\tau_d=1500$; $\gamma_d=1/90000$; $\tau_p \gamma_p=0.5$; $\beta_s=\beta_d=0.6$; $C_m=1$; $C_p=1$; $C_a=0.2$
A cellában eltöltött idő, a csomag-csoport hossza és a köztes szünetek hossza exponenciális eloszlású
Számított értékek

A 4.2 ábrán az egy MH-ra vonatkoztatott költségfüggvény alakulását láthatjuk T_a és T_p függvényében. Láthatjuk, hogy minél hosszabbak (és egyúttal ritkábbak) a szünetek, annál alacsonyabb a mobilitási költség. Az is látható, hogy amennyiben hosszú szünetekre számíthatunk ($E(T_p)=49$), érdekesebb a MH-ot hagyni inaktívvá válni, majd szükség esetén újra megkeresni. Amennyiben a szünetek rövidek ($E(T_p)=3$), érdekesebb aktív állapotban tartani a MH-ot, ugyanis egy rövid aktív állapot a szünetben a költség szempontjából sokkal kedvezőbb, mint egy paging. Rövid T_a érték tehát csak akkor eredményez optimális mobilitási költséget, ha a beékelődött szünetek hossza megfelelően nagy. Az adott várható értékű szünetekhez tartozó optimális T_a értékből adódó minimális költségpontokat körökkel jelöltük az ábrán.

A fenti becslés alapján igaznak tűnik azon előzetes sejtésünk, miszerint a T_a értékét úgy tudjuk optimálisan beállítani, ha T_p hossza ismert. Megoldást jelenthet az, ha a MH méri a csomag-csoportok közt eltelt időt, és annak függvényében állítja magának automatikusan a T_a paramétert. Ennek a kivitelezése sajnos nem olyan egyszerű, mint első ránézésre tűnik. A mi forgalmi modellünkre jellemző csomagok csoportok ugyanis

a valóságban nem jelennek meg. A MH nem tudja eldönteni, hogy két szomszédos csomag közti szünet az csomag-csoporton belüli két csomag közti szünetnek, csomagcsoportok közti szünetnek (T_p), vagy épp kommunikációmentes időszaknak felel meg a mi modellünkben. Ez a probléma áthidalható úgy, hogy csak egy adott intarvallumon belül eső szüneteket számít bele a T_p -mérésbe a MH. Ez nem okoz gondot, hisz a nagyon rövid szünetek alatt mindenféleképpen aktívnak kell maradnia a MH-nak, illetve egy bizonyos időkorlát felett is biztosan nem éri meg aktív állapotban tartani a MH-ot. Ha ezek a szünetek kimaradnak a vizsgálat szempontjából, az T_a értékének megválasztása szemszögéből közömbös.

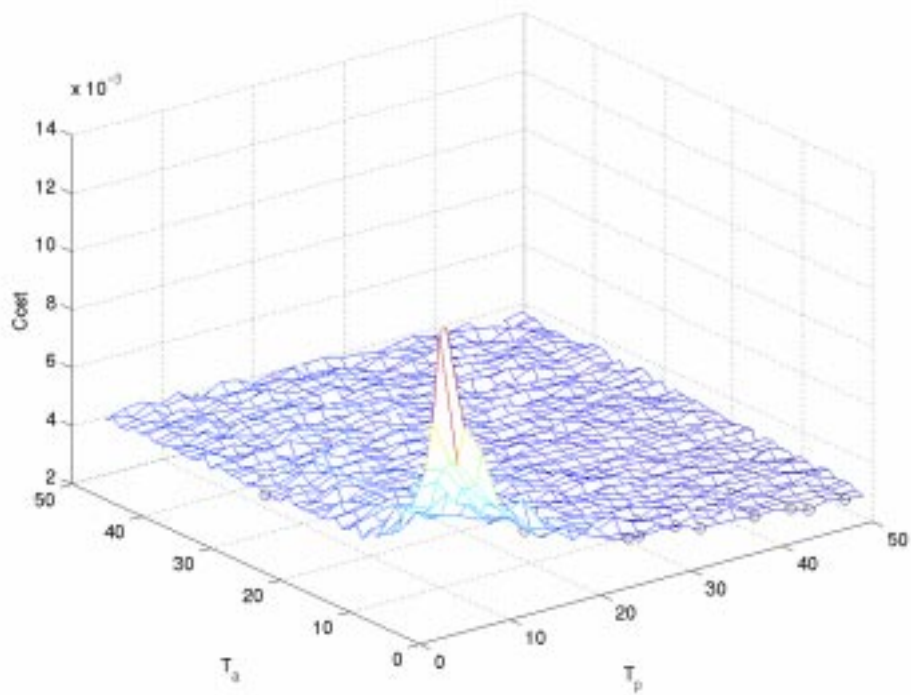
Az analitikus becslés alapján a T_a értékek optimális beállítását az 4.3 ábra mutatja. (4.2 ábrában a fekete körökhöz tartozó T_a - $E(T_p)$ párok.)



4.3 ábra: Optimális T_a beállítás adott várható értékű T_p -re
Számított értékek

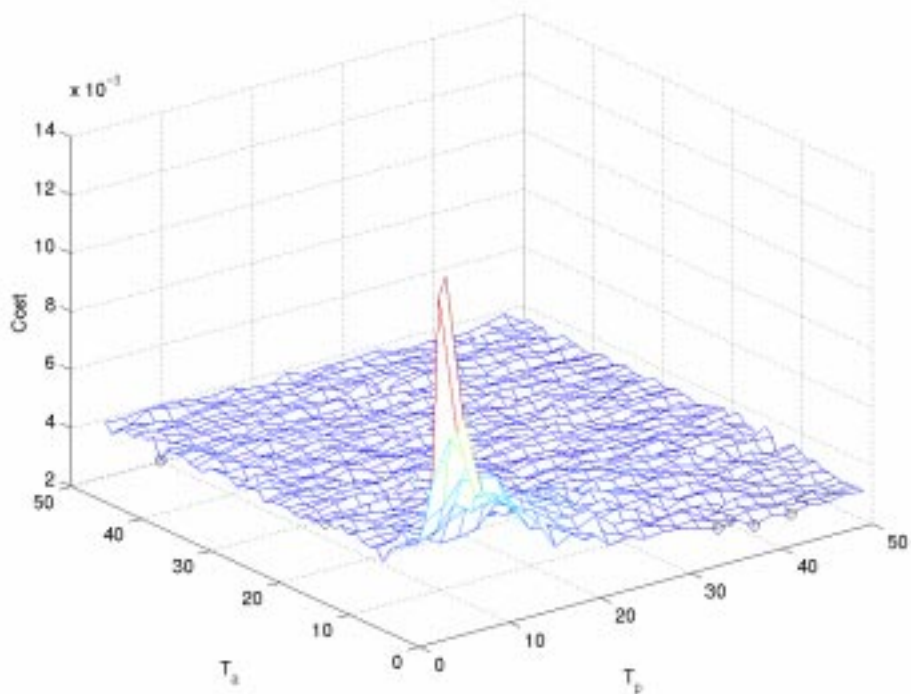
A kapott eredmény T_a értékének megválasztására viszonylag egyszerű megoldást kínál, de ennek használhatósága egyelőre nem egyértelmű. A T_p eloszlását ugyanis a valóságban nem jól közelíti az exponenciális eloszlás. Mielőtt T_a értékének beállítására javaslatot tennénk, érdemes szimuláció segítségével is megvizsgálni a költségfüggvény viselkedését.

Mint említettük, a becslés annál jobb, minél kevesebb megkötést teszünk T_p -re vonatkozóan. Vizsgáljuk tehát meg, hogy hogyan befolyásolja az eredményt az, hogy milyen eloszlásokat használunk a valószínűségi változók realizálásakor.



4.4 ábra: Költségfüggvény exponenciális eloszlásokkal

$T=180$; $m=9$; 3×3 -as *paging area*; $\tau_d=1500$; $\gamma_d=1/90000$; $\tau_p \gamma_p=0.5$; $\beta_s=\beta_d=0.6$; $C_m=1$; $C_p=1$; $C_a=0.2$
A cellában eltöltött idő, a csomag-csoport hossza és a köztes szünetek hossza exponenciális eloszlású
Szimulációs eredmény



4.5 ábra: Költségfüggvény Pareto eloszlásokkal

$T=180$; $m=9$; 3×3 -as *paging area*; $\tau_d=1500$; $\gamma_d=1/90000$; $\tau_p \gamma_p=0.5$; $\beta_s=\beta_d=0.6$; $C_m=1$; $C_p=1$; $C_a=0.2$
A cellában eltöltött idő hossza $\gamma=3$ paraméterű véges szórású, a csomag-csoport hossza és a köztes szünetek hossza $\gamma=1,6$ paraméterű végtelen szórású Pareto eloszlást követnek.
Szimulációs eredmény

Az 4.4 és az 4.5 ábrákon szimulációval meghatározott költségértékeket láthatunk különböző T_a és $E(T_p)$ értékek beállítása mellett. Láthatjuk, hogy a kapott felület jellegre megegyezik az analitikus becslés segítségével nyert felülettel (4.3 ábra). A legszámottevőbb eltérés a felület egyenletlenségében van. A szimulációs eredményeket összehasonlítva azt vehetjük észre, hogy a mobilitási költség szempontjából minimális jelentősége van, hogy exponenciális vagy Pareto eloszlásokkal modellezünk, holott a két eloszlás meglehetősen különböző. Első ránézésre ez különösnek tűnhet, ugyanis arra számíthatunk, hogy egy végtelen szórású eloszlást alkalmazva a szimulációs eredmény szórása is végtelen lesz. Ezzel szemben a két eredmény szórása közel azonos. Jobban megvizsgálva azt, hogy hogyan függenek a költségkomponensek az egyes valószínűségi változóktól láthatjuk, hogy a kapott szimulációs eredmények reálisak.

Az 1. és a 2. költségkomponensek elsősorban az egy bázisállomás területén eltöltött időt leíró eloszlástól függenek. Ezen eloszlás szórása mind a Pareto eloszlással, mind az exponenciális eloszlással való szimulációkor véges volt.

A 3. és a 4. költségkomponensek számára a csomag-csoportok közti szünetek eloszlása a jelentős. A Pareto eloszlást alkalmazva a szimulációban ennek a valószínűségi változónak a szórása már végtelen nagy. A 3. komponens esetén a mért értékbe csupán a $[0; T_a]$ intervallumra csonkolt exponenciális, illetve Pareto eloszlások várható értéke számít bele, amiknek a szórása már véges. A 4. komponens csupán attól függ, hogy az eloszlásból nyert véletlen szám értéke nagyobb, vagy kisebb mint T_a . Az így nyert eloszlás szórása szintén nem végtelen.

A két eloszlás közti igazán lényeges különbség, vagyis a második momentumok eltérései tehát nem jutnak érvényre, csak a várható értékük – illetve a belőlük származtatott eloszlás várható értéke – lesz számottevő.

Térjünk vissza arra a kérdésre, ami a költség szempontjából a legfontosabb volt: mekkorára válasszuk T_a értékét. A szimulációs ábrákat vizsgálva észrevehetjük, hogy a minimumhelyek – jóllehet meglehetősen nagy szórással – de azon érték körül helyezkednek el, mint ahol azt az analitikus becslésnél láttuk. Láthattuk azt is, hogy a mobilitási költség szempontjából nincs nagy jelentősége annak, hogy az adatmodellünkben a T_p valószínűségi változót egy viszonylag kis szórású exponenciális, vagy egy végtelen szórású (és ezáltal a valósághoz jobban konvergáló) Pareto eloszlással modellezzük.

Miután megállapítottuk, hogy a T_p eloszlása típusának nincs nagy jelentősége a mobilitási költség szempontjából, vizsgáljuk meg azon sejtésünk helyességét, hogy az adaptívan állított T_a érték segítségével valóban sikerül-e költségcsökkenést elérnünk! Az 4.3 ábrán láthatjuk, hogy adott várható értékű T_p esetén milyen T_a választás az optimális. Ezek alapján a szimulátorban egy algoritmus segítségével állítottuk T_p értékének megfelelően T_a -t, és vizsgáltuk, hogy ez valóban költség-csökkenést eredményez-e.

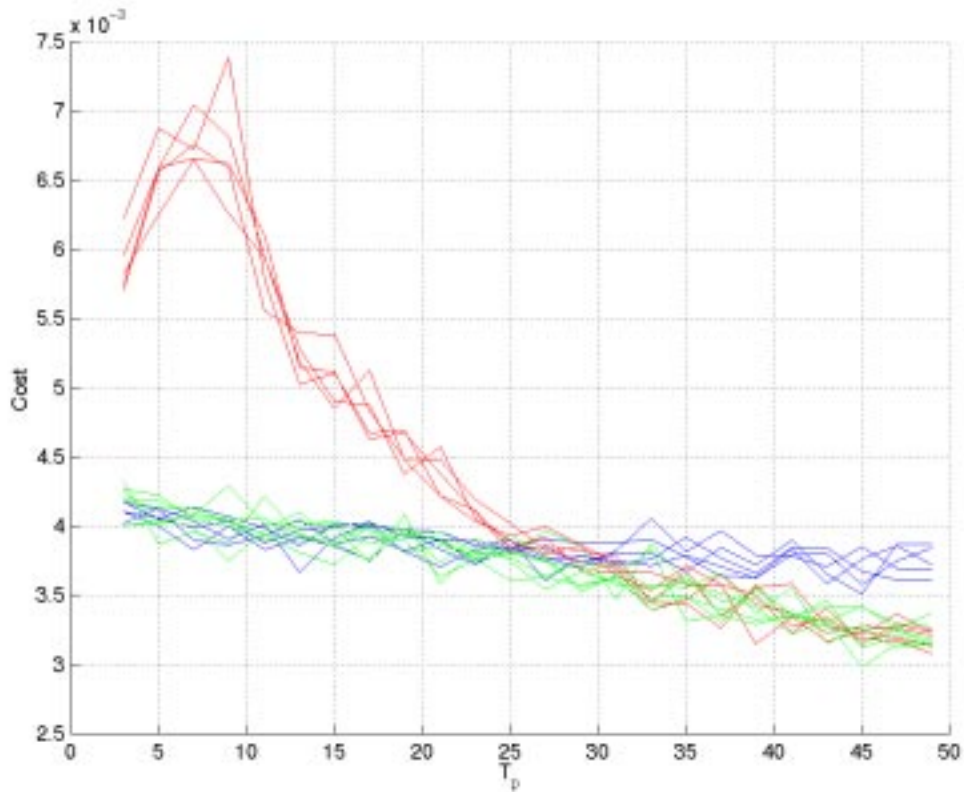
4.3 Adaptív algoritmus

A fenti eredmények tükrében érdemes megvizsgálni, hogy lehet-e csökkenteni a mobilitási költséget T_p átlagos hosszának megfelelően állított T_a érték segítségével. Ennek érdekében leírunk egy egyszerű algoritmust, és megvizsgáljuk, hogy alkalmazása tényleg költségcsökkenéssel jár-e.

Az adaptív algoritmus, amely segítségével T_a értékét adaptívan állítottuk:

- Minden csomag-csoport közt eltelt szünet hosszát lemérünk ($T_p^{(n)}$), amennyiben az egy adott időintervallumon belül van.
- Ezek a mért értékek alapján állítottunk egy aktuális vélt $T_p^{adaptív}$ hosszt $T_p^{adaptív(n)} = \alpha T_p^{adaptív(n-1)} + (1 - \alpha) T_p^{(n)}$ képlet alapján, ahol α a T_p változási sebességének követési gyorsaságára jellemző konstans.
- Meghatároztunk egy T_a^{low} és egy T_a^{high} értéket, illetve egy T_p^{limit} értéket. $T_p^{adaptív(n)} < T_p^{limit}$ esetén az aktuális T_a értékét T_a^{high} -nak, ellenkező esetben T_a^{low} -nak választottuk.

A 4.6 ábrán három különböző színnel feltüntetett mérési eredményt láthatunk. A piros színnel jelölt görbéknél T_a értékét T_a^{low} -ra, a kék színnel jelölt görbék esetén T_a^{high} -ra választottuk. A zöld görbesereg az adaptív algoritmus segítségével állított T_a értékhez tartozó mobilitási költséget mutatja. Amint láthatjuk, az alkalmazott algoritmus a költségeket jól minimalizálja.



4.6 ábra: Adaptívan állított T_a

$T=180$; $m=9$; 3×3 -as *paging area*; $\tau_d=1500$; $\gamma_d=1/90000$; $\tau_p \gamma_p=0.5$; $\beta_s=\beta_d=0.6$; $C_m=1$; $C_p=1$; $C_a=0.2$
 $T_a^{high}=20$; $T_a^{low}=3$; $T_d^{limit}=23$;

A cellában eltöltött idő hossza $\gamma=3$ paraméterű véges szórású, a csomag-csoport hossza és a köztes szünetek hossza $\gamma=1,6$ paraméterű végtelen szórású Pareto eloszlást követnek.

Szimulációs eredmény

5. Összefoglalás

A GSM rendszerekben a mobil készülékek ahhoz, hogy mindig elérhetőek legyenek, inaktív állapotban minden location area váltáskor location update üzenetet küldenek a hálózatnak. Ha a készülékre szükség van (vagyis beérkező híváskezdeményezéskor), akkor azt a hálózat paging segítségével megkeresi.

A cellás IP hálózatoknál nem csak a kommunikáció kezdeményezésekor lehet szükség paging-re, hanem annak folyamán is. Kimutattuk, hogy ennek hatására az optimális paging area-méret csökken. Megvizsgáltuk továbbá, hogy a paging area alakja hogyan befolyásolja a mobilitási költséget. Mint azt a megelőző szakirodalmak tanulmányozása alapján is láthattuk, fontos, hogy figyelembe vegyünk, hogy a MH-ok milyen irányba és milyen sebességgel haladnak. Az általunk alkalmazott mozgásmodell, illetve cellaelhelyezések alapján is láthattuk, hogy nem elég megtalálni az optimális cellaszámot, hanem fontos az is, hogy olyan határt keressünk a paging area-knak, hogy az ott eltöltött idő várható értéke maximális legyen.

Megvizsgáltuk, hogy milyen hatással van a kommunikációs időszakba beékelődött szüneteknek, és ennek a költségnövelő hatása hogyan csökkenthető. Kétféle módszerrel megvizsgáltuk, hogy különböző $E(T_p)$ -ket és T_a -kat megadva hogy változik a mobilitási költség. Megvizsgáltuk, hogy adott paraméterbeállítások mellett különböző $E(T_p)$ -ket feltételezve milyen T_a érték mellett kapunk minimális mobilitási költséget. Megadtunk egy algoritmust is, amely segítségével T_a értékét a MH automatikusan beállítja úgy, hogy az közelítse az optimális T_a -beállítást, miközben $E(T_p)$ értéke ismeretlen.

A további munkánk során szeretnénk a költségeket szimuláció segítségével úgy vizsgálni, hogy a cellákat egy valós környezetnek megfelelően helyezzük el. Érdemes lenne többféle mozgásmodellt alkalmazva figyelni a költségek alakulását. Számos cikk foglalkozott alternatív paging, illetve location updating stratégiák alkalmazásával. Ezek alkalmazása és értékelése érdekes feladatot jelenthet számunkra a továbbiakban.

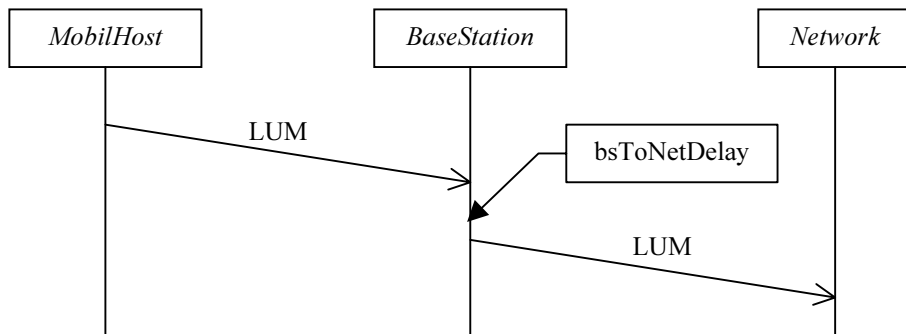
Függelék

F.1 Szimulátorbeli üzenetszekvenciák

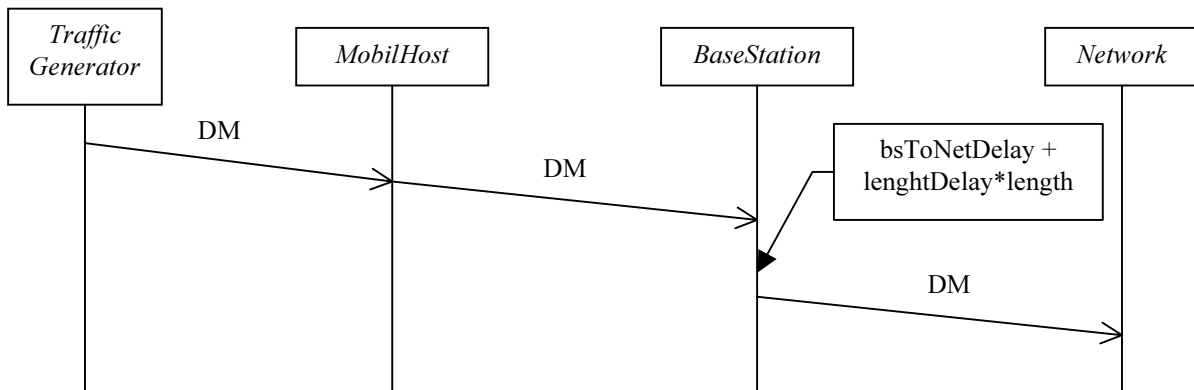
A szimulátorunkban három fajta üzenettípust definiáltunk. Az egyik ilyen az adat továbbító üzenet (*DataMess*, *DM*). Ilyen üzeneteket generált a forgalom generátorunk, ezek az üzenetek reprezentálták az adatforgalmat. A másik üzenettípus a helyzetváltoztatást jelző üzenet (*LocationUpdateMess*, *LUM*), a MH ilyen üzenetet küldött, amikor bázisállomást váltott. A harmadik típus a kereső üzenet (*SearchMess*, *SM*), amit a hálózat küldött a bázisállomások felé, amikor egy MH-ot keresett. Ez az üzenet feleltethető gyakorlatilag paging üzenetnek feleltethető meg.

Az alábbiakban a szimulátorban előforduló lehetséges üzenetszekvenciákat mutatjuk be.

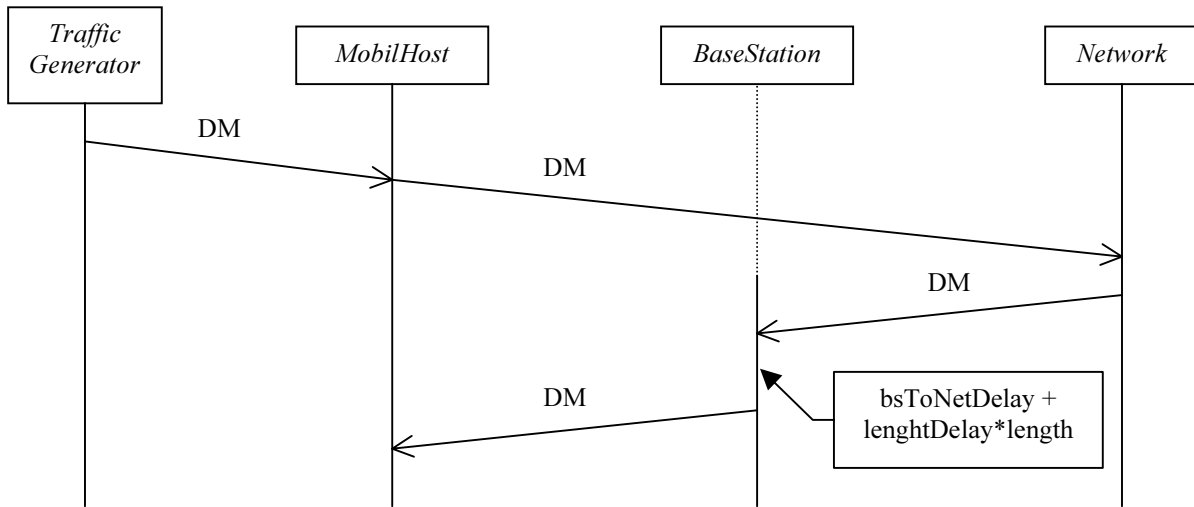
F.1/a Mobilok megszületésekor és minden mozgás alkalmával



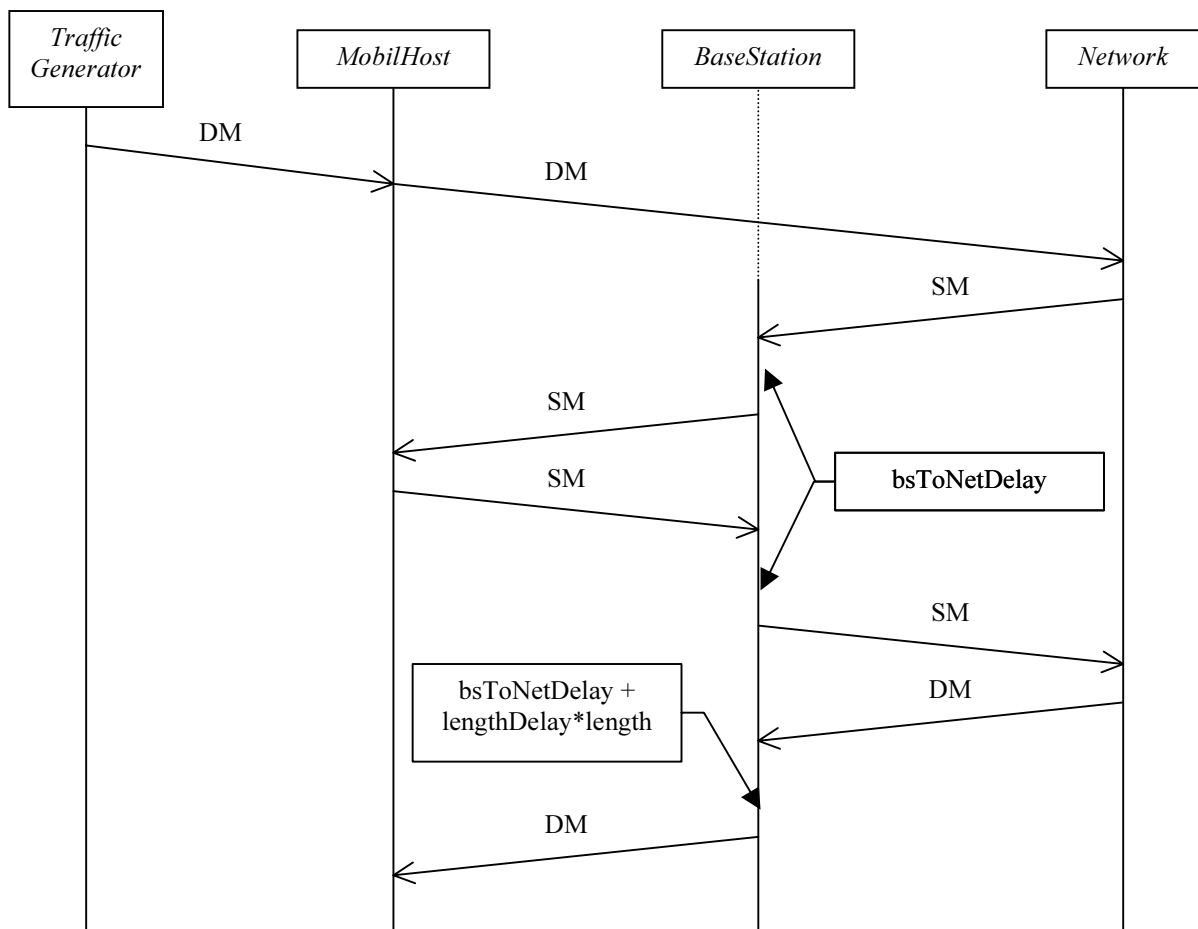
F.1/b Adatok küldése, mobil küldi a hálózatnak



F.1/c Adatok küldése, hálózat küldi a mobilnak, a mobil aktív



F.1/d Adatok küldése, hálózat küldi a mobilnak, a mobil inaktív



F.2 Paging area-ban eltöltött idő várható értéke

A szimuláció az alábbi egyszerű Matlab-program segítségével történik: (A '%'-jel megjegyzést jelöl.) Ez a program egy négyzetrácsos alakzatban elhelyezett bázisállomások közt egy MH Brown-mozgását szimulálja. A program számolja, hogy százezer lépés után mennyi idő telt el, és ezalatt a MH hányszor lépte át a paging area határát. Ezt a szimulációt tízszer végzi el a program.

```
echo off;
MAXX=3;
MAXY=3;
% Paging area x és y irányú méreteinek beállítása: 3x3 bázisállomást
tartalmaz.
x=2;
y=2;
% MH elhelyezése a paging area-ban.
a=[];
for i=1:10
% 10 mérést végzünk el
count=0;
t=0;

for j=1:100000
c=rand;
t=t+180*2*rand;
% Irányt és tartózkodási időt sorsolunk a MH-nak: c értéke 0-1
% egyenletes eloszlásból származik.
% 8 egyenlő részre osztva ezt az intervallumot dönti el a program,
% hogy merre megy a MH.
if c<0.125
x=x-1; y=y+1;
elseif c<0.25
y=y+1;
elseif c<0.375
x=x+1; y=y+1;
elseif c<0.5
x=x+1;
elseif c<0.625
x=x+1; y=y-1;
elseif c<0.75
y=y-1;
elseif c<0.875
x=x-1; y=y-1;
else
x=x-1;
end;
if (x<1)|(x>MAXX)|(y<1)|(y>MAXY)
% Ha a MH kilépett a paging area területéről...
count=count+1;
if x<1 x=MAXX; end;
if x>MAXX x=1; end;
if y<1 y=MAXY; end;
if y>MAXY y=1; end;
% Az átellenes oldalon megjelenítjük, és folytatjuk a szimulációt...
end;
end;
```



```
a(i)=t/count;  
% 100000 cellaváltásnyi idő (t) alatti cellaváltások száma (count)  
% lesz az eredmény.  
end;
```

Irodalomjegyzék

- [1] E. Gustaffson, A. Jonsson, C. Perkins, “*Mobile IP Regional Registration*”, Internet Draft, draft-ietf-mobileip-reg-tunnel-02, March 2000.
- [2] R. Caceres, V. N. Padmanabhan, “*Fast and Scalable Handoffs for Wireless Internetworks*”, ACM Mobicom, 1993.
- [3] C. Perkins, “*IP mobility support*”, Internet RFC 2002, IBM, October 1996.
<http://vega.icu.ac.kr/~iyhwang/mobile/mobileip-main.htm>
- [4] R. Ramjee, T. La Porta, S. Thuel, K. Varadhan, Shie-Yuan Wang, “*HAWAII: A Domain-based Approach for Supporting Mobility in Wide-area Wireless Networks*”, International Conference on Network Protocols, ICNP'99
<http://www.bell-labs.com/user/ramjee/>
- [5] A. G. Valko, “*Cellular IP - A New Approach to Internet Host Mobility*” ACM Computer Communication Review, January 1999.
<http://comet.ctr.columbia.edu/cellularip/overview.htm>
- [6] Michael Mouly, Marie-Bernadette Pautet, “*The GSM System for Mobile Communications*”, Cell & Sys, 1993.
- [7] Cem U. Saraydar, Owen Kelly, Christopher Rose, “*One-Dimensional Location Area Design*”, Wireless Information Network Laboratory (WINLAB), June 1999.
<http://www.winlab.rutgers.edu/pub/publications/>
- [8] Sajal K. Das, Sanjoy K. Sen, “*A New Location Update Strategy for Cellular Networks and its Implementation using a Genetic Algorithm*”, ACM/IEEE international conference on Mobile computing and networking, September 1997.

Az alábbi publikációk a következő web címen tekinthetők meg:

<http://www.winlab.rutgers.edu/pub/publications/>

- [9] C. U. Saraydar, C. Rose, “*Location Area Design Using Population and Traffic Data*”, CISS 1998, March 1998.
- [10] Aylin Yener, Christopher Rose, “*Paging Strategies for Highly Mobile Users*”, IEEE VTC 96', April 1996.

- [11] Zhuyu Lei, Cem U. Saraydar, Narayan B. Manadayam, “*Paging Area Optimization based on Interval Estimation in Wireless Personal Communication Networks*”, IEEE Signal Processing Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications (SPAWC’99), May 1999.
- [12] Zhuyu Lei, C. Rose, “*Probability Criterion Based Location Tracking Approach for Mobility Management of Personal Communications Systems*”, IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM) 1997, November 1997.
- [13] C. Rose, R. Yates, “*Minimizing the Average Cost of Paging Under Delay Constraints*”, ACM Wireless Networks, October 1995.
- [14] Ivan Seskar, Svetislav V. Marić, Jack Holtzman, Jack Wasserman, “*Rate of Location Area Updates in Cellular Systems*”, IEEE VTC, May 1992.

Plasma szimulációs környezet dokumentációja:

- [15] “*Plasma CORE Tutorial*”
- [16] “*Plasma CORE Programmer’s Guide*”