

Mobilitás-menedzsment algoritmusok numerikus vizsgálata

KOVÁCS BENEDEK, FÜLÖP PÉTER

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Híradástechnikai Tanszék
{bence, fepti}@mcl.hu

Lektorált

Kulcsszavak: mobilitás-menedzsment, modellezés, handover

Az értekezésben különböző mobilitási stratégiákat tanulmányozunk a hálózati jelzésforgalom (signaling), az egyes csomópontokban fellépő feldolgozás (processing) és a rádiós interfész (air) költsége alapján. Bevezetünk egy eljárást a kiszolgáló hálózat és a vezeték nélküli csomópont mobilitásának modellezésére, meghatározunk paramétereket a topológiából hogy a vizsgált hálózatot megfelelően leírhassuk. Különböző csoportokat alakítunk ki létező és elméletileg lehetséges protokollok alapján, amiket összehasonlítunk különböző mobilitási és hálózati környezetekben. A végső cél egy olyan irányelv létrehozása amely segítséget nyújt újgenerációs, mobil hálózati menedzsmentrendszer megtervezésében.

1. Bevezetés

Az információ mobilitása a modern világ egyik legfontosabb szolgáltatása, köszönhetően elsősorban a sokféle, egyre kedvezőbb mobil hozzáférési technológiának, és az olcsó, többféle vezeték nélküli interfésszel rendelkező „okos” telefonok elterjedésének. Mi sem bizonyítja jobban az információs társadalom „minden időben és helyen bármilyen információt” tendenciáját, hogy szakmai fórumokon rendszeresen jelennek meg az új mobilitás menedzsment protokollok, vagy éppen a régiek módosított változatai.

A mobil szolgáltatásoknak sok különböző követelménye van, és általában a kiszolgáló hálózatban az erőforrás véges és drága. Az első vezeték nélküli protokollok legfőbb célja a jól működő mobilitás megvalósítása volt, és nem helyeztek nagy hangsúlyt a vezetékes kiszolgáló hálózat jelzésforgalmának optimalizálására. Ennek jó példája a világszerte működő Global System for Mobile Telecommunications (GSM) rendszer. Idővel az IP protokoll került előtérbe a távközlésben és így a mobil távközlésben is a Mobile IP (MIP) megjelenésével. Ebből, a hierarchikus szemlélet vagy éppen a location tracking bevezetésével, a MIP különböző, bizonyos szempontok szerint optimálisabb kiterjesztései fejlődtek ki. Kialakultak más mobilitás kezelő megoldások is, például hálózati rétegben a Host Identity Protocol (HIP) vagy szállítási rétegben a Multimedia Stream Transmission Control Protocol (mSCTP). Ezek a megoldások más módon támogatják a mobil felhasználó mozgását, de mégis általános szemlélettel tekintve összehasonlíthatóak és vannak közös vonásaik.

A jövő mobilitás protokolljai talán más-más algoritmusokat alkalmaznak majd eltérő hordozó technológiákon. Ezért, és a már most megtalálható protokollok sokfélesége miatt, az összehasonlíthatóság érdekében, a mobilitást egy absztrakt problémaként kezeljük, függetlenül a technológiától. Ennek megfelelően próbáltuk összehasonlítani munkánk során a mobilitás megoldá-

sokat, megmutatni hogy az egyes hálózati paraméterek hogyan hatnak a protokollok teljesítményére.

Célunk, hogy különböző helyzetekre megtaláljuk a legmegfelelőbb mobilitás megoldást, hogy irányelvet adjunk, melyek követésével egy adott protokollhoz megadható a legoptimálisabb hálózat, vagy éppen egy adott hálózathoz megtalálható a legoptimálisabb protokoll.

2. A mobilitás menedzsment, mint absztrakt probléma

A modellezés során a mobilitást általánosan kezeljük, a pontos, alkalmazott technológiára való tekintet nélkül. Megmutatjuk hogy az egyes létező és lehetséges protokollok hogyan illeszthetők az általunk definiált stratégiák közé. A mobilitás legjellemzőbb tulajdonságait próbáljuk megragadni, és ennek tükrében definiálunk egy *Mobilitás Menedzsment Rendszert*. Ennek elemeit egyértelműen meghatározzuk, definiáljuk a rajtuk futó alkalmazást, mely képes lesz meghatározni egy mobil állomás helyzetét tetszőleges időpillanatban.

A hálózati elemeink a következők:

- *Mobil állomás (Mobile Node, MN)*: mozgó csomópont, amely más mobil vagy fix állomással kommunikál.
- *Mobil hozzáférési pont (Mobile Access Point, MAP)*: az egyetlen olyan típusú, fix entitás a hálózatban, amelyhez a mobil állomás képes kapcsolódni, és rajta keresztül kommunikálni. Szükségszerűen fut rajta az adott mobilitás menedzsment algoritmus. (Nem feltétlenül felel meg ez egy hozzáférési pontnak a valós hálózatban, hanem akár hálózatot, vagy hozzáférési pontok halmazát is jelentheti abban az esetben például ha a mobil egyidejűleg képes több bázisállomással is kapcsolatban állni).
- *Mobil ügynök (Mobile Agent, MA)*: fix csomópont, melyen fut az adott mobilitás menedzsment algoritmus, de mobil nem tud csatlakozni hozzá.

- Egyéb csomópont (Node, N): olyan csomópont a hálózatban, amely nem rendelkezik mobilitás menedzsment szemszögéből semmilyen funkcióval. Ide tartoznak a fix kommunikációs partnerek, routerek és egyéb hálózati elemek.

Ezzel az egyszerű leírással az alapvető funkciók leírhatók, azonban néhány praktikus megkötést még bevezetünk:

- A mobil hozzáférési pont (MAP) minden esetben mobil ügynök (MA) is. (Ahogy már említettük a MAP jelenthet egy alhálózatot is magában foglalva több hozzáférési pontot, és kommunikációs partnereket. Ez teszi lehetővé hogy szükség szerint mikromobilitást vagy éppen magasabb szintű mobilitás modellezésre alkalmazzuk a módszerünket).
- A mobil entitás (MN) legalább eggyel, de akár több MAP-al is kapcsolatba kerülhet. Helyzetéről releváns információt mindig egy ügynök tárol, ezért a feladat hogy megtaláljuk a mobilt, ekvivalens azzal hogy megtaláljuk a hozzátartozó MAP-ot.
- Feltételezzük hogy a csomópontok a hálózatban mindig használnak egy adott metódust, vagy protokollt (például Internet protokoll), amin keresztül kommunikálnak és megtalálják egymást címzés segítségével, ezért ezzel nem foglalkozunk.

Ezzel a mobilitás kezelést MAP (hozzáférési pont) megtalálásának feladatává egyszerűsítettük. Ezen megvizsgálva a különböző menedzsment stratégiákat a jelzés és feldolgozási költségek szamszerűsíthetőek, és egymással összehasonlíthatóak.

A stratégiákat, a *Centralizált*, *Hierarchikus*, *Cellás* és *Tracking* csoportokba osztjuk be. Ennek részletezése az 4. részben olvasható.

Az egyedi vagy más konkrét protokollok modellünkbe történő integrálását az olvasóra bizzuk.

3. A hálózat és a mobil entitás paraméterei

Ebben a fejezetben a mobilitási stratégiákat megvalósító alaphálózat modelljét mutatjuk be. Ahhoz, hogy levezessük a fő paramétereket, a mobil viselkedését kell megfelelően modellezni. Meghatározunk általános és algoritmus specifikus tényezőket, melyeket hálózati struktúrából és a mozgási tulajdonságokból vezetünk. Bevezetjük a három, különböző költség-dimenziót, amit kiszámítunk az egyes stratégia csoportokra, a „jelzés-költséget” (C^{signal}), „processzási költséget” ($C^{process}$) és a „rádiós interfész költséget” (C^{air}).

3.1. Hálózat modellezése

A hálózat modellezés egyik lehetséges megvalósítása, amikor egy protokoll jellemzéséhez egy konkrét, specifikus hálózat reprezentációt használnak fel. Ennek nyilvánvaló hátránya, hogy más protokollnál, más kontextusban nem használható fel. Emiatt sok értekezésben a hálózatot egy egyszerű, általános paraméter-

rel írják le, mint például a csomópontok között átlagos távolság. Ezzel bármilyen hálózat leírható, azonban a modell ereje gyenge, ha különböző protokollok viselkedését szeretnénk összehasonlítani az egyes hálózati struktúrákon.

Összegezve a tapasztalatokat, megpróbáljuk ötvözni a két megoldást, megadunk általános jellemzőket, illetve bevezetünk speciális, adott protokoll korrek leírásához szükséges hálózati paramétereket is.

3.2. Hálózat paramétereinek meghatározása

A mobil entitás két MAP közötti handover frekvenciáját Poisson-folyamat modellezi. Jelölje $B_Q=[b_{ij}]$ a mobil tulajdonságát leíró folytonos Markov lánc $n \times n$ -es ráta mátrixát (más munkákban is jellemző ez a modellezés, például [5]), ahol b_{ij} jelöli a MAP_i és MAP_j közötti átlépési frekvenciát. A Markov lánc n darab csomópontja mutatja a lehetséges MA-kat és MAP-eket. Ahogy már korábban is említettük, a MA általában egy hozzáférési pontot jelöl, de jelölhet egy otthoni ügynököt, vagy akár egy alhálózatot is. A ráta mátrixból levezethető az átlépési B_{Π} matrix, ami MA-hoz tartozó null sorok és oszlopok nélkül irreducibilis és aperiodikus, tehát a mátrix stabil és létezik a határeloszlása, amit jelöljön \underline{b} . Ennek elemei határozzák meg azt, hogy a mobil milyen valószínűséggel található meg az egyes MAP-oknál.

A hálózat topológiai felépítését, MA-k közötti kapcsolatokat $n \times n$ A mátrix reprezentálja. Floyd algoritmus felhasználásával a node-ok közötti optimális távolságok kiszámíthatóak, aminek eredményét tároljuk az A_d mátrixban. Ennek a mátrixnak az i . sora jelöli csomópontok távolságát az i . mobilitás ügynöktől (MA). A hazai ügynöktől, mint egy speciális MA-tól számított távolságokat az A_d mátrixból kiemelve az \underline{a} vektor tartalmazza.

Végül vezessük be a w paramétert a hálózat átlagos súlyának jelölésére, amit az A_d mátrix elemeinek összegét elosztva n^2 -tel kapunk meg.

3.2.1. Az m paraméter

Az m paraméter jelöli a mobil átlagos távolságát, az otthoni ügynöktől, azaz a hálózati topológia gráfban az élék átlagos számát az MN és a HA között. Nyilvánvaló hogy a csomópontok átlagos száma ezen az úton $m+1$. Ennek kiszámításához A_d mátrixot, illetve a HA-ra vonatkozó speciális sorát az \underline{a} vektort használjuk fel, majd normalizálunk a korábban bevezetett w értékkel. A súlyozást a Markov-lánc határeloszlásával végezzük el. Így az m a következőképpen alakul:

$$m = \frac{\underline{a} * \underline{b}}{w} \quad (1)$$

A * skaláris szorzatot jelöl. Azok a csomópontok akik nem MAP-ok, a határeloszlásban 0 értékkel szerepelnek, azaz az átlagos távolság kiszámítása során nem kapnak szerepet.

3.2.2. A g_{Γ} paraméter

Az m -hez hasonló érték meghatározásának szükségessége is felmerül bizonyos stratégiák esetében, ami azon két MA vagy MAP csomópont átlagos távolsága,

amelyek egy adott mobil handover folyamata során szerepet játszanak. Ezek lehetnek közvetlenül kapcsolatban, de akár nagyon messze is eshetnek egymástól logikailag, mint például vertikális handover esetében. Tehát két tetszőleges MA, vagy MAP átlagos távolságát, amit g_T -vel jelölünk a *Tracking* típusú mobilitáskezelésben betöltött fontossága miatt, a következőképpen számíthatjuk:

$$g_T = \frac{b * tr(A_d \cdot B_{11})}{w} \quad (2)$$

A képletben a $tr()$ függvény egy mátrix átlóelemeiből képzett vektort adja eredményül.

3.2.3. A g_H paraméter

Hierarchikus mobilitáskezelés esetében fontos szerepet játszik, hogy a mobil csomópont átlagosan milyen messze esik a legközelebbi hierarchikus „keresztződéstől”, ahol beregisztrálhatja elérhetőségét. Természetesen erről csak akkor beszélhetünk, ha a hálózati gráfot lehetséges lefedni egy olyan fával aminek csúcspanában az otthoni ügynök helyezkedik el. A keresett csomópontot az otthoni ügynöktől a mobil régi és új csatlakozási helyéhez vezető út keresztződése determinálja. A g_H paraméter meghatározásának részletes levezetése a [6]-ban olvasható.

3.2.4. A g_C paraméter

A g_C érték speciálisan a *Cellás* típusú megoldásokban jelenik meg. Jelentése egy jól definiált, úgynevezett „paging” területen megtalálható MAP-ok és a terület felett elhelyezkedő gateway MA közötti átlagos távolság. Az optimális paging lefedettség megtalálása NP teljes probléma, azonban az irodalomban megtalálható jónéhány hatékony közelítést nyújtó algoritmus, melyek közül a [12]-t használtuk fel a g_C meghatározására.

3.3. Mobil csomópont modellezése

A mobil viselkedésének egyszerű modellezésére használjuk a ρ -t, ahogyan a [6]-ban, ami az úgynevezett mobilitási viszony, azaz annak a valószínűsége hogy a mobil handover-t hajt végre mielőtt egy „hívás” érkezne hozzá. Az érték determinálható a B_Q matrix alapján, amiben a legkülönbözőbb mozgási viselkedések is leírhatók. Ha ennek a mátrixnak az i . sorát összegezzük, megkapjuk hogy a mobil milyen frekvenciával lép el az i . MAP-tól. Ha minden sorra elvégezzük ezt, és elosztjuk n -nel, akkor megkapjuk az átlagos frekvenciát, amit jelöljünk λ -val.

A hívás frekvenciáját determinálja μ , ami erősen függ az adott időszaktól, ezért optimálisan, a λ -hoz hasonlóan, az átlagos értéket számoljuk belőle is. Ezek után a ρ meghatározása:

$$\rho = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \quad (3)$$

3.4. Konstans költségek determinálása

Ebben a fejezetben a konstans költségek három nagy csoportját és tagjait vezetjük be. Egyes költségfajták számszerűsítését, változtatását körültekintően kell végrehajtani, mivel ahogyan az a 4. részben látható

lesz, erősen befolyásolhatja a protokollok költségeinek meghatározását és ezzel az összehasonlítás végeredményét is. Ezek meghatározására létező protokollok szimulációs változatait készítettük el amelynek részleteit az [1] tartalmazza.

3.4.1. Vezetékes átviteli közeghez kötődő költségek

- c_U : a helyzetinformáció frissítésének egy linkre eső költsége (update).
- c_d : hívás esetén a mobil felé történő adatforgalmazás egy linkre eső költsége (delivery).

3.4.2. Csomóponthoz kötődő költségek

- c_r : regisztráció során felmerülő processzási költség az adott MAP-nál, amikor egy MN csatlakozik hozzá (adatbázis írása, IP cím kiosztása stb.)
- c_f : csomag továbbításának költsége egy tetszőleges csomópontnál a hálózatban.
- c_m : MN-hez tartozó bejegyzés módosításának költsége egy MA/MAP-nál.
- c_{ec} : Tunneling esetén az IP becsomagolás processzási költsége MA/MAP-nál (általánosságban jelentheti egy szabványos IP csomag eljuttatásának processzási költségét a mobil állomás felé, ha a csomag célcíme nem egyezik a mobil aktuális elérhetőségével).
- c_{rc} : Tunneling esetén az IP újracsomagolás processzási költsége MA/MAP-nál.
- c_{dc} : Tunneling esetén az IP kicsomagolás processzási költsége MA/MAP-nál.

3.4.3. Rádiós interfészhez kötődő költségek

- c_{au} : Az uplink irányú üzenet egységnyi költsége az MN és a MAP között.
- c_{ad} : A downlink irányú üzenet egységnyi költsége az MN és a MAP között.

4. Mobilitás kezelési stratégiák

Ebben a fejezetben a négy nagy mobilitás menedzsment stratégiát mutatjuk be, leírjuk alapvető jellemzőiket és bevezetjük a különböző költségfüggvényeiket. Részletesebben a csoportok leírása és költségfüggvények az [1] cikkben találhatóak meg.

4.1. Centralizált

E technológia esetében a mobil állomás minden handover-t követően a helyzetinformációját elküldi egy központi management node-nak vagy node csoportnak, aki egy adatbázist tart fenn, amiben tárolja a mobil pontos elérhetőségét. Mivel ez a központi node mindig tudja a mobil állomás helyét, ezért képes továbbítani a mobilnak szóló csomagokat (Mobile IP [10]), vagy éppen meg tudja mondani a mobil állomás elérhetőségét (SIP). (4)

$$C_{CENT}^{signal} = \rho mc_u + (1 - \rho) mc_d$$

$$C_{CENT}^{process} = \rho(c_r + (m - 1)c_f + c_m) + (1 - \rho)(c_{ec} + (m - 2)c_f + c_{dc})$$

$$C_{CENT}^{air} = \rho c_{au} + (1 - \rho) c_{ad}$$

A költségfüggvényei ennek a csoportnak (4. egyenletek) nagyon egyszerűek, emellett a másik előnye a megoldásnak, hogy a hálózatban egy központi ügynök felállításával gyakorlatilag működőképes lehet. Ezek a rendszerek ilyen szempontból egyszerűek, de nagy és felesleges hálózati jelzés overhead-et eredményeznek. Ennek ellenére a legtöbb, létező mobilitási protokoll ebbe a csoportba sorolható.

4.2. Hierarchikus

A központi, globális menedzsmenttel ellentétben itt lokális management node-okat alkalmazunk, amik egy jól definiált területen belül kezelik a mobil mozgását (Hierarchical Mobile IP). Ugyanúgy jelen van egy központi management node is, azonban az ötlet ott rejlik, hogy a helyzetfrissítő információkat csak a központi node felé vezető régi út, és az új út metszésében elhelyezkedő MA/MAP-ig küldi el a mobil (g_C távolságra a mobil állomástól), ennek megfelelően változnak a költségfüggvények is (5. egyenletek):

$$C_{HIERARCH}^{signal} = \rho g_H c_u + (1 - \rho) m c_d$$

$$C_{HIERARCH}^{process} = \rho (c_r + (g_H - 1) c_f + c_m) + (1 - \rho) (c_{ec} + (m - g_H - 1) c_f + c_{rc} + (g_H - 1) c_f) \quad (5)$$

$$C_{HIERARCH}^{air} = \rho c_{au} + (1 - \rho) c_{ad}$$

A megoldás előnye, hogy nem terheljük az egész hálózatot, azonban bonyolultabb struktúrát eredményez, mint az előző. Legjellemzőbb példája ennek a csoportnak a Hierarchikus Mobil IP (HMIP) [4].

4.3. Cellás

A mobilitáskezelés egyik legrégebbi stratégiái a GSM-ből is jól ismert cellás megoldások. Általában mikromobilitás szintjén alkalmazzák ezt a lehetőséget, de bevezethető magasabb mobilitási hierarchiákban is.

Előnye a gyors handover mechanizmus, hátránya viszont a cellás és cellákat összefogó paging felosztás körültekintő megtervezése, ugyanis suboptimális eset-

ben a handover jelzések különösen nagy, felesleges jelzésforgalmat okozhatnak. Ezek a megoldások hatékonyság szempontjából arra a tényre építenek, hogy a mobilok csak nagyon kis százaléka az aki éppen aktív és csomagot fogad, vagy éppen küld.

Költségfüggvények meghatározásához szükségünk van még a következő hálózati paraméterekre:

- n_d : a teljes hálózatban lévő page területek száma.
- n_c : egy page területen belül található MAP-ok átlagos száma.

Három altípusát és hozzájuk tartozó költségfüggvényeket mutatjuk be a következő alfejezetekben.

4.3.1. Standard cellás megoldás

A *Standard cellás megoldás* alap gondolata jól ismert Cellular IP (CIP)-t [3] követi. Azaz pontosan definiált page területeket vezetünk be, melyen belül a mobil jelzés nélkül végezhet handover-t, viszont page terület átlépésénél minden esetben frissíti a helyzetinformációját. Ennek következményeként a hálózat a mobilnak szóló csomagot teljes biztonsággal csak a page terület gateway MA-jáig tudja eljuttatni, innen vagy ismert a pontos helyzete a mobilnak, vagy elárasztást kell alkalmazni. A költségfüggvények ezek tekintetében a következők (6):

$$C_{CELLULAR}^{signal} = \rho (1 - P_c) g_H c_u + (1 - \rho) ((m - g_C) + (n_c g_C c_d) + g_C c_u)$$

$$C_{CELLULAR}^{process} = \rho ((1 - P_c) c_r + g_H c_f + c_m) + (1 - \rho) (c_{ec} + (m - g_C - 1) c_f + c_{rc} + (g_C - 1) n_c c_f + c_{dc} c_r)$$

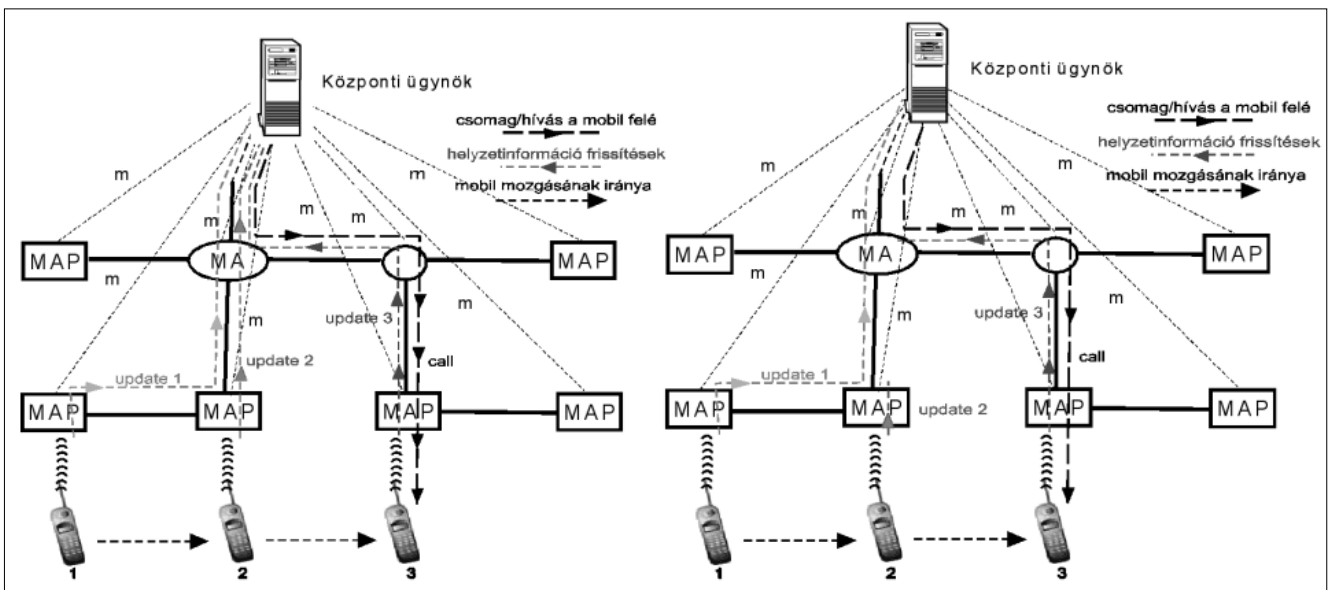
$$C_{CELLULAR}^{air} = \rho ((1 - P_c) c_{au}) + (1 - \rho) (n_c c_{ad} + c_{au})$$

ahol a P_C annak a valószínűsége hogy a mobil átlép egy másik page-területre.

4.3.2. Hierarchikus paging

A hierarchikus paging [8] csak annyiban különbözik az előzőekben ismertetett standard cellás megoldástól, hogy az alsó szinten használt elárasztást a felső hierarchia szinten is alkalmazza a page gateway MA meg-

1. ábra Centrális és Hierarchikus stratégia



találására. Ezzel jelzéseköltséget spórolhatunk, mivel a helyzetinformációt nem küldjük el egészen a HA-ig, hanem csak a gateway MA-ig, azonban a multilevel elárasztás nagy hálózati terhelést okozhat. Az előzőhöz nagyon hasonló költségfüggvényt a 7. egyenletek mutatják:

$$C_{HP}^{signal} = \rho(1 - P_c)g_C c_u + (1 - \rho)((m - g_C) + (n_C g_C c_d) + g_C c_u)$$

$$C_{HP}^{process} = \rho((1 - P_c)c_r + g_C c_f + c_m) + (1 - \rho)(c_{ec} + (m - g_C - 1)n_d c_f + c_{rc} + (g_C - 1)n_C c_f + c_{dc} c_r)$$

$$C_{HP}^{air} = \rho((1 - P_c)c_{au}) + (1 - \rho)(n_C c_{ad} + c_{au})$$

4.3.3. MANET jellegű

Abban az esetben ha az infrastruktúra kiépítése nehéz, drága vagy éppen felesleges lenne, és a rádiós interfész nagyobb terhelése nem okoz problémát, akkor a MANET (Mobile Ad-hoc Network) [9] mobilitás page-en belüli használata a legjobb megoldás. Alkalmazásánál alapvető feltevés, hogy minden mobil állomás elérhető más mobil állomásokon keresztül, ad-hoc hálózat használatával.

Ebben a menedzsment rendszerben ugyanúgy paging területeket definiálunk, azonban ezekben csak egy MAP található amin keresztül egy optimális MANET [9] algoritmus használatával elérhetőek a mobil állomások, és jelzéseköltségek is csökkenthetők (2. ábra).

A költségfüggvények a következők (8):

$$C_{MANET}^{signal} = \rho(1 - P_c)g_C c_u + (1 - \rho)((m - g_C + 1) + (P_M n_C g_C c_d) + g_C c_u)$$

$$C_{MANET}^{process} = \rho((1 - P_c)c_r + g_H c_f + c_m) + (1 - \rho)(c_{ec} + (m - g_C - 1)c_f + c_{rc} + P_M n_C g_C c_f + c_{dc} c_r)$$

$$C_{MANET}^{air} = \rho((1 - P_c)(g_C - 1)c_{au}) + (1 - \rho)(P_M n_C g_C c_{ad} + c_{au})$$

ahol P_M annak a valószínűsége hogy a page-en belül minden mobilt érint a csomag továbbítása.

4.4. Tracking típusú

A tracking megoldásokban minden mobilnak ugyanúgy van egy bejegyzése a központi ügynöknél, mint a

korábbi megoldásoknál. A központi állomás annak a MAP-nak a címét tárolja, ahonnan legutóbb kapott helyzetinformáció frissítést a mobiltól. Amikor kérés érkezik a mobilhoz, akkor a központi ügynök az eltárolt MAP-felé továbbítja azt. A mobil állomás vagy még mindig ott tartózkodik, vagy a MAP ismer egy másik MAP-ot, ahol megtalálható lehet a mobil. Így a csomagokat az egyes MAP-ok igyekeznek a mobil állomás után küldeni, míg végül a lánc végén eléri a mobilt.

Tehát handover végrehajtását követően a mobil az új helyzetét a régi hozzáférési csomóponttal közli és nem minden esetben szól feljebb a hierachiában (tracking handover). Bővebb leírás található a [2,6,11] cikkekben.

4.4.1. Vezetéknélküli tracking

Vezetéknélküli tracking esetében a tracking handover során a visszajelzést a régi hozzáférési pontnak az új MAP-ról a rádiós interfészen végzi a mobil állomás. Ennek megfelelően a költségfüggvény (9):

$$C_{WLESSTR}^{signal} = \rho P_H g_H c_u + (1 - \rho)(g_H c_d + M[h_r] g_T c_d + (1 - P_0) g_H c_u)$$

$$C_{WLESSTR}^{process} = \rho((1 - P_H)(c_r + c_m) + P_H(c_r + (g_H - 1)c_f + c_m) + (1 - \rho)(c_{ec} + (m - 1)c_f + P_0 c_{dc} + (1 - P_0)M[h_r]((g_T - 1)c_f + c_{rc}) + c_{dc} + (g_H - 1)c_f + c_m))$$

$$C_{WLESSTR}^{air} = \rho c_{au} + (1 - \rho)c_{ad}$$

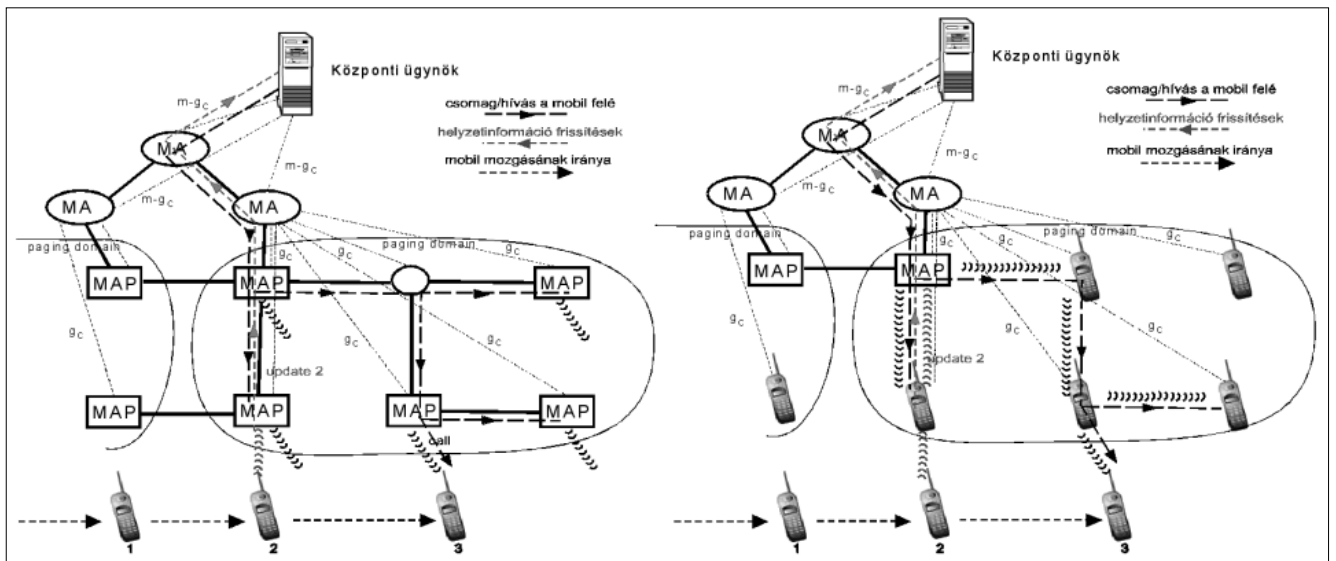
ahol a $M[h_r]$ normál handover követően mobil által végrehajtott tracking handoverek száma, P_H annak valószínűsége hogy éppen az H. állapotban vagyunk a LTRACK Markov modell szerint [6] azaz normál handovernek kell következnie.

4.4.2. Vezetékes tracking

A rádiós interfész kímélése érdekében a tracking handover követő visszajelzéshez a vezetékes hálózatot is igénybeveheti a mobil csomópont, ennek példája a Vezetékes tracking (10):

$$C_{WTRACK}^{signal} = \rho(g_T(1 - P_H) + g_H P_H) c_u + (1 - \rho)(m c_d + M[h_r] g_T c_d + (1 - P_0) g_H c_u)$$

2. ábra Standard cellás és MANET megoldás



$$C_{WTRACK}^{process} = \rho(c_r + (g_T - 1)c_f + c_m) + (1 - \rho)(c_{cc} + (m - 1)c_f + P_0 c_{dk} + (1 - P_0)M[h_r]((g_T - 1)c_f + c_{rc}) + c_{dk} + (g_H - 1)c_f + c_m))$$

$$C_{WTRACK}^{dir} = \rho c_{an} + (1 - \rho)c_{ad}$$

5. Numerikus eredmények

A fent bemutatott modellezési környezetben implementált protokollok költségeit többféle konkrét hálózaton és hálózati valamint mobilitási paraméterekkel vizsgálhatjuk meg. Ízelítőnek szeretnénk bemutatni néhányat.

Az első két ábra (3. ábra) a mobilitási paraméter függvényében mutatja be az egyes protokollok költségfüggvényeit. Látható, ahogyan hagyományos MIPv4 megoldás költsége lineárisan növekszik, és magas mobilitási érték esetén meghaladja minden más megközelítését.

Külön kiemelnénk a hierarchikus mobil IP megoldást mely költsége ebben az esetben mindig a MIPv4 görbéje alatt marad. Modellünkben ez mindig igaz lesz, amennyiben az utóbbi megoldás tunelling-jellegű költségei nem lesznek túl nagyok. Érdekes megfigyelni, hogy a Tracking típusú megoldások kis mobilitásra hasonló költségűek, mint a hierarchikus (ez azzal magya-

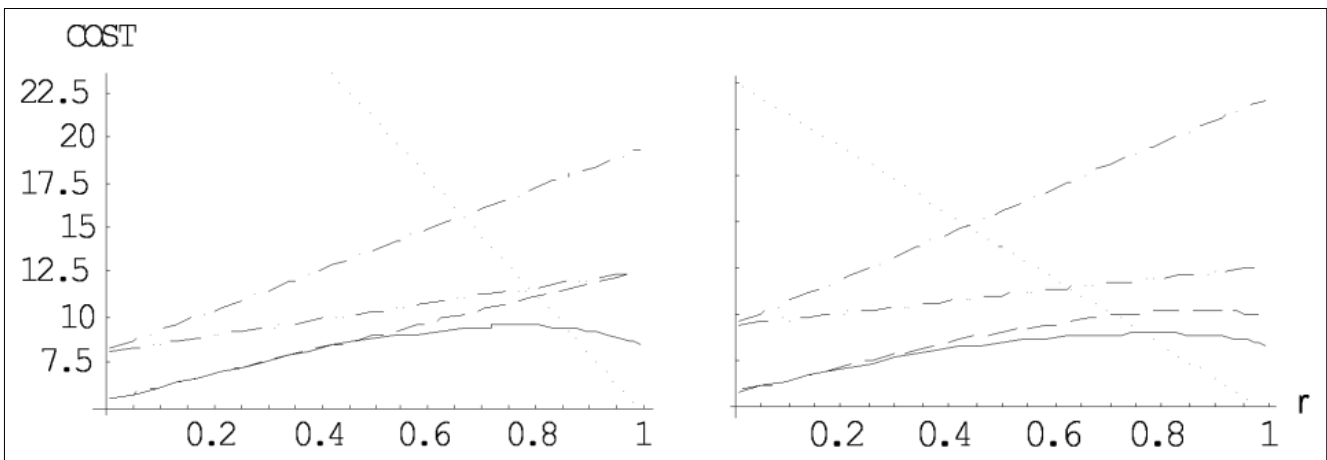
rázható, hogy azonos költségállandók esetén, ha az optimális tracking handoverok száma 0, ezek a protokollok identikusak), nagy mobilitás esetén azonban a tracking handoverok optimális számának növekedésével egyre több a megtakarítás a felesleges update-ek elhagyásával.

Egyértelmű, hogy egy mobilitástól független cellamérettel dolgozó cella alapú megoldás esetén a nagy mobilitási tartományban várunk jó teljesítményt. A két ábra közti különbséget a költség-állandók változtatásával kapjuk. A második esetben ugyanis csökkentettük a delivery költséget az update-tel szemben, így a vezetékes tracking megoldás esetén is hamarabb érzékelhető a tracking handoverok jótékony hatása, a cellás megoldás, a paging költség növekedésével pedig egyértelműen magasabb.

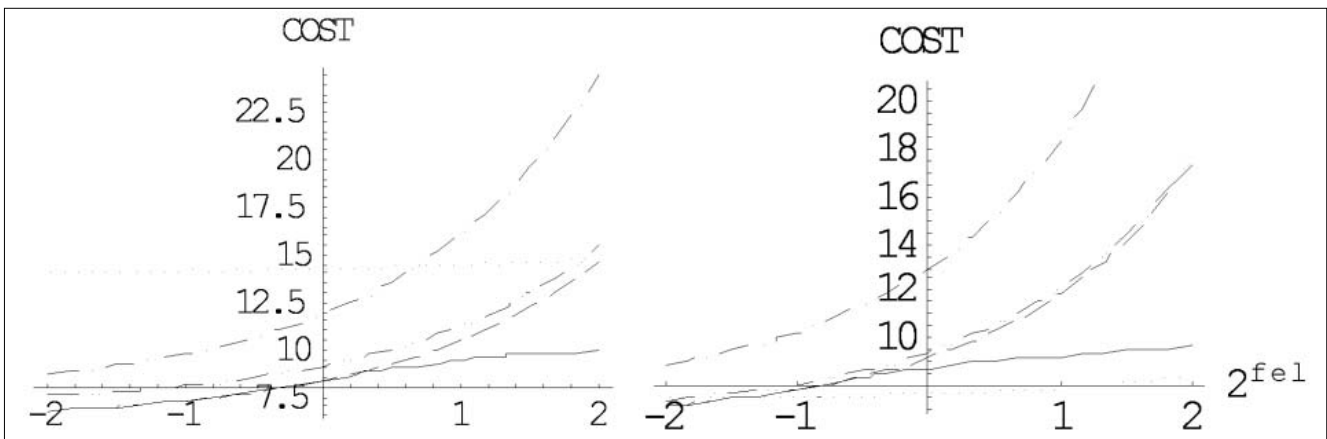
A második két ábrán (4. ábra) az utóbb említett delivery és update költségek arányában ábrázoljuk a protokollok költségeit, logaritmus skálán a 0.7 és 0.9-es mobilitási szelvényben (az előzőektől különböző hálózati paraméterekkel). Látható az egyértelmű különbség, hogy különböző mértékű mobilitás esetén nem csak az egyes protokollok költségfüggvényei, hanem egymáshoz képesti helyzetük is módosul.

3. ábra

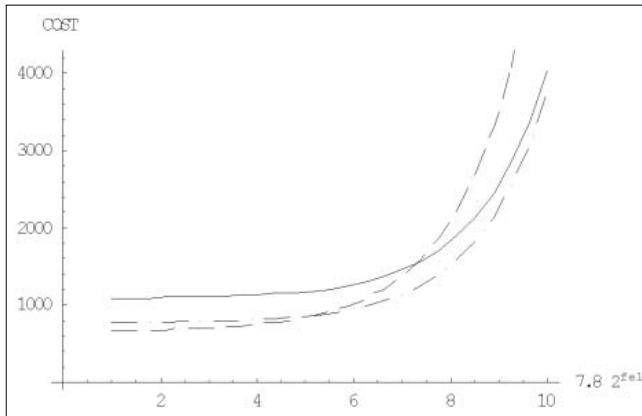
Költségek alakulása mobilitási paraméter függvényében, két különböző hálózaton (szaggatott egy ponttal – Centralizált; szaggatott két ponttal – Hierarchikus; szaggatott – Vezetéknélküli Tracking; folytonos – Vezetékes Tracking; pontozott – Cellás)



4. ábra Költségek alakulása delivery és update paraméterek függvényében



Az 5. ábra a különböző cellás megoldások költségeinek alakulását mutatja a rádiós interfész költségeinek arányában logaritmikuskálán. A kiindulási érték azért 7.8, mert a szimuláció eredményeképpen a rádiós interfészen a feltöltési költségére ezt az értéket kaptuk. Jól megfigyelhető a függvényeken hogy alacsony költség aránynál a MANET a legoptimálisabb. A Hierarchikus Paging görbéjéhez a Standard Cellás a költségek növekedésével hozzásimul, de soha nem kerül fölé.



5. ábra
Cellás stratégiák költségei a rádiós interfész arányában
(szaggatott vonal – MANET;
szaggatott két ponttal – Standard Cellás;
folytonos – Hierarchikus Paging)

További érdekes számításokat lehetne végezni sokféleképpen, sokféle protokollra. Erre mi egy általunk fejlesztett Mathematica-programcsomagot használtunk, mely tetszés szerint bővíthető.

6. Összefoglalás

A munkákkal rávilágítottunk arra, hogy az IP mobilitás protokollok összehasonlítása sokrétű lehet. Teljesítményük implementáció és hálózattfüggő, így igazi összehasonlító-elemzést csak speciális esetben végezhetünk. Az általunk bemutatott mobilitás értékelő modell azonban alkalmas arra, hogy megmutassuk, hogy milyen hálózati paraméterek esetén mely megközelítések adhatnak jobb megoldást, ezáltal irányvonalat találhatunk egy környezet és alkalmazás függvényében optimális protokoll megtervezéséhez.

A Mathematica programnyelven, a programcsomaghoz implementált szoftverünk tartalmazza az irodalomban fellelhető legtöbb IP mobilitási megközelítést, de bármikor bővíthető, és új ötletek megvizsgálására alkalmas. Ennek használatával célunk az IP mobilitás további vizsgálata, új megközelítések javaslata.

Irodalom

- [1] Kovács B., Fülöp P., Imre S.: „Study on mobility management modelling methods”, MoMM 2006, Yogyakarta, Indonesia, 2006.
- [2] Abondo, C., Pierre, S.: „Dynamic Location And Forwarding Pointers for Mobility Management”, Mobile Information Systems, IOS Press, 2005. pp.3–24.
- [3] A. T. Campbell, J. Gomez, A. G. Valkó: „An Overview of Cellular IP”, IEEE, 1999. pp.29–34.
- [4] C. Castelluccia, „A Hierarchical Mobile IP Proposal”, Inria Technical Report, 1998.
- [5] Y. Fang and Y. Lin, „Portable Movement Modelling for PCS Networks”, IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2000. pp.1356–1362.
- [6] Kovács B., Szalay M., Imre S.: „Modelling and Quantitative Analysis of LTRACK – a Novel Mobility Management Algorithm”, Mobile Information Systems, Vol. 2, Nr.1, 2006. pp.21–50.
- [7] W. Ma, Y. Fang: „Dynamic Hierarchical Mobility Management Strategy for Mobile IP Networks”, IEEE Journal of Selected Areas In Com., 2004.
- [8] Szalay M., Imre S.: „Hierarchical Paging – A novel location management algorithm”, ICLAN'2006 International Conference on Late Advances in Networks, 6-8 December 2006. Paris, France.
- [9] Ashwini K. Pandey, Hiroshi Fujinoki: „Study of MANET routing protocols by GloMoSim simulator”, International Journal of Network Management, 2005.
- [10] C.E. Perkins, „Mobile IP”, IEEE Communications Magazine, 1997.
- [11] R. Ramjee, T.La Porta, S. Thuel, K. Varadhan, L. Salgarelli, „A Hierarchical Mobile IP Proposal”, Inria Technical Report, 1998.
- [12] Simon V., Imre S.: Location Area Design Algorithms for Minimizing Signalling Costs in Mobile Networks, Int. Journal of Business Data Communications and Networking (IJBDCN), 2007.
- [13] Wolfram Research Inc.: „Mathematica”, <http://www.wolfram.com/>