MŰEGYETEM 1782
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Híradástechnikai Tanszék

Új mobilitás-menedzsment algoritmusok
Novel Mobility Management Algorithms

Ph.D. disszertáció tézisfüzete

Szalay Máté

Konzulens
Dr. Imre Sándor

Budapest, 2007

© Szalay Máté 2007
szalaym@hit.bme.hu

Kivonat

Disszertációmban új tudományos eredményeimet mutatom be: egy mobilitás-menedzsment osztályozási rendszert, és két új, hatékony mobilitás-menedzsment algoritmust.

A rövid bevezetés után, a 2. Fejezetben áttekintem a mobilitást, mobilitás-kezelést, és a disszertációban használt jelöléseket, valamint matematikai modellezési technikákat (például Markov-láncok). Ezután bemutatom a kutatási terület más szerzők által elért eredményeit, segítve a saját eredményeim elhelyezését.

A 3. Fejezetben a saját mobilitás-menedzsment osztályozási rendszeremet mutatom be. Ezzel az osztályozási rendszerrel az irodalomban található algoritmusokat osztályozhatjuk, és ez az osztályozás új algoritmusok kitalálásához vezethet. A disszertációban bemutatott Hierarchikus Paging (Hierarchical Paging) felfedezése ily módon történt.

Az első új mobilitás-menedzsment algoritmusom, az LTRACK, amelyet a 4. Fejezet mutat be. Az LTRACK hálózat és az algoritmus működési elveinek bemutatása után kvalitatív elemzés következik. Ezután egy részletes matematikai modell segítségével kvantitatív analízist végeztem, majd az elvégzett szimulációkat mutatom be. Az LTRACK-et más mobilitás-menedzsment algoritmusokkal hasonlítom össze, majd szimulációk segítségével azt vizsgálom, hogy különböző paraméterek változtatása milyen hatással van az LTRACK teljesítőképességére.

A második mobilitás-menedzsment algoritmusom neve Hierarchikus Paging (Hierarchical Paging). Az 5. Fejezetben bemutatott algoritmus elemzése is kvalitatív megfontolásokkal kezdődik. Ezután a matematikai modell kerül bemutatásra, majd a szimulációs eredmények. A matematikai modell segítségével kapott eredmények és szimulációs eredmények jól fedik egymást. Végül összehasonlító-szimulációk segítségével határoztam meg a paramétereknek azt a tartományát, ahol a Hierarchikus Paging a leghatékonyabb.

Az utolsó, 6. Fejezetben az összefoglalás, az eredmények alkalmazhatósága és a további lehetséges kutatási irányok kerülnek bemutatásra.

1. A kutatás háttere

Az elmúlt években a mobil-kommunikáció erőteljes térhódításának lehettünk tanúi. Bár még mindig a beszéd-átvitel a fő mobil alkalmazás, egyre jobban terjednek a további alkalmazások, mint a mobil web-böngészés, mobil-fizetés és egyéb banki szolgáltatások. Mivel a frekvenciatartomány egy erősen korlátozottan rendelkezésre álló természeti erőforrás, melynek használatáért a szolgáltatók magas díjat fizetnek, az erőforrások hatékony kihasználása nagyon fontos szempont.

A *mobilitás-menedzsment* két különböző feladat megoldását jelenti: *pozíció-menedzsment*

(location management) és *hívásátadás-menedzsment* (session continuity, handover management). A pozíció-menedzsment a mobil hálózatbeli pozíciójának folyamatos nyilvántartását jelenti. Erre nyilván azért van szükség, hogy beérkező hívás (vagy adatcsomag) esetén, azt a mobilhoz tudjuk juttatni. A hívásátadás-menedzsment olyan mechanizmusokat takar, amelyek lehetővé teszik, hogy új hozzáférési ponthoz történő átlépéskor a mobil, a már felépített hívásait "át tudja vinni", vagyis azok ne szakadjanak meg. Disszertációmban főleg az első problémával foglalkozom.

A pozíció-menedzsment tipikusan két különböző fázisból áll, amelyhez különböző mechanizmusok tartoznak: *pozíció-frissítés* vagy *pozíció-követés* (update or tracking) és *keresés* (call delivery vagy searching).

Az irodalomban számos pozíció-menedzsment megoldást találunk [3, 5, 9, 10], ezek tipikusan hierarchikus megoldások.

Rengeteg cikk foglalkozik a *paging*-gel, mint keresési algoritmussal. A cél általában valamilyen költségfüggvény minimalizálása, ám a megoldások mindig egy-rétegű paging algoritmust használnak. Ramjee és munkatársai [6] különböző (egy-rétegű) paging-algoritmusokat hasonlítanak össze. Hajek, Mitzel and Yang [2] a pozíció-frissítés és a paging közös optimalizációjára adnak algoritmust. Soros (serial) és párhuzamos (parallel) paging algoritmusokat vizsgálnak, de egyik megoldás sem vezet be olyan hierarchiát, mint a Hierarchikus Paging.

A paging-et általában a hierarchikus mobilitás-menedzsment legalsó szintjén alkalmazzák. Ilyen megoldás a GSM hálózat mobilitás-menedzsmentje is [4, 8].

Woo és munkatársai [11], speciális hálózatokra (*Two-Way Messaging*) optimalizálják a pozíció-menedzsmentet.

Jó áttekintés napjaink mobilitás-menedzsment algoritmusairól Akyldiz és munkatársainak munkája [1].

Az említett megoldások közül egyik sem mutat be olyan megoldást, amely az LTRACK, vagy a Hierarchikus Paging alapötletét alkalmazná. A RoamIP [10] használ az LTRACK-hez hasonló mechanizmust, de hívásátadás-menedzsmenthez és nem pozíció-menedzsmenthez.

2. Terminológia

Vezeték nélküli hálózatban a szolgálat-elérési pontokat bázisállomásnak (base station) nevezzük. A mobil felhasználói végberendezést mobil eszköznek, vagy egyszerűen csak mobilnak hívjuk. A mobilok a bázisállomásokon keresztül kapcsolódnak a hálózathoz. Egy bázisállomás által lefedett terület a cella.

Ahogy a bázisállomás mozog, időnként megváltoztatja a kapcsolódási pontját a hálózathoz, másik bázisállomáson keresztül kapcsolódik; ezt az eseményt nevezzük hívásátadásnak (handover, handoff).

Disszertációmban a *location* és *position* kifejezéseket egyaránt a kapcsolódási pont megjelölésére használtam, egyik sem földrajzi pozíciót jelent.

3. A mérnöki probléma

Bármilyen mobilitás-menedzsment algoritmust használunk, mind a *pozíció-frissítés*nek, mind a *keresés*nek bizonyos költsége van. A költség nem feltétlenül pénzben kifejezhető árat takar; lehet idő, algoritmikus bonyolultság, erőforrás-pazarlás, felhasználói elégedetlenség, stb.

Vegyük egy konkrét mobilitás-menedzsment algoritmus egy konkrét (skalár) paraméterét. Ha a paraméter értékének növelésével a pozíció-frissítés és a keresés költsége is csökken, nyilvánvalóan nincs konfliktus. Azonban ha a paraméter értékének növelése bizonyos költségtényezőket növel, míg másokat csökkent, akkor optimalizációs problémával állhatunk szemben.

Ilyen értelemben, általános „ellentét" feszül a pozíció-követés és a keresés között. Az előző bekezdésben vett paraméter nagyon leegyszerűsítve a pozíció-frissítés gyakorisága. Ha a mobil gyakran frissíti pozícióját, akkor a frissítés költsége nagyobb, viszont mivel a hálózat pontosabb pozíció-információval rendelkezik, a keresés egyszerűbb, gyorsabb, és így alacsonyabb költségű lesz.

A pozíció-frissítés költségét a nagyobb jelzésforgalom-terhelés, és rövidebb rendelkezésreállási idő (akkumulátor) jelenti, a keresés költségét a (kereséskor tapasztalt) magasabb jelzésforgalom, és a hosszabb keresés jelenti.

Ez természetesen egy nagyon leegyszerűsített modell, de látható, hogy attól függően, hogy milyen költségfüggvényt definiálunk (hogyan hasonlítjuk össze a különböző jellegű költségeket), ez könnyen mérnöki szempontból érdekes optimalizációs problémához vezethet. A „feladat" az optimális pozíció-frissítési gyakoriság (és módszer) megtalálása. Disszertációmban ezzel a problémával foglalkozom.

4. Kutatási célkitűzések

4.1. Általános mobilitás-menedzsment osztályozási rendszer

Az első cél egy olyan általános osztályozási rendszer definiálása volt, amely lefedi az irodalomban fellelhető (és saját) megoldásokat, valamint összehasonlításokat tesz lehetővé.

4.2. Új mobilitás-menedzsment algoritmusok

A mobilitás-menedzsment hatékonyabbá tételére két alapvetően különböző lehetőségünk van. Az egyik egy már létező algoritmus paramétereinek megfelelő hangolása, a másik egy tel-

jesen új algoritmus tervezése. A legfontosabb célom új, hatékony mobilitás-menedzsmentet támogató működési elvek kidolgozása volt, valamint algoritmusok tervezése, amelyek ezekre az elvekre épülnek.

Mivel egy algoritmus hatékonysága nem egy egyszerűen meghatározható skalár, hanem sok tényezőtől függ, sokkféleképpen definiálható, azt szinte soha nem jelenthetjük ki, hogy egy mobilitás-menedzsment algoritmus hatékonyabb egy másiknál minden környezetben, a paraméterek összes lehetséges beállítása mellett. Nem is ez volt a kutatás fő célja, hanem olyan algoritmusok tervezése, amelyek bizonyos normális paraméter értékek mellett, nem túl szélsőséges környezetben hatékonyabbak napjaink ismert algoritmusainál.

5. Kutatási módszertan

Mobilitás-menedzsment algoritmusok hatékonyságának vizsgálatára három lehetőség kínálkozik: analitikus módszerek, szimulációs módszerek, mérések. Új algoritmusok kifejlesztésekor, eleinte tipikusan szimulációs és analitikus módszerek használata a hatékony. Én is ezeket a módszereket alkalmaztam munkámban.

Az analitikus módszerek használatához először az algoritmusok matematikai modelljének megalkotása szükséges. A hálózat modellezéséhez egyszerű gráf-modellt használtam, az algoritmusok és a mobilitás modellezéséhez főként Markov-láncokat használtam. A mobilitás-modellt az irodalomból vettem, apró változtatásokkal, melyek a saját algoritmusaim modellezéséhez voltak szükségesek.

Több szimulációt is készítettem, ezekhez nem már meglévő szimulációs keretrendszert használtam. Mivel én saját új algoritmusaim szimulációját készítettem el, ezek úgyse lettek volna megtalálhatóak semmilyen szimulátor könyvtárában. Szimulációim egy része MATLAB-ban [7] készült, más szimulációkat a saját C++ nyelven készített szimulációs keretrendszeremben készítettem el.

Mobilitás-menedzsment osztályozási rendszer

Általános, strukturált osztályozási rendszert készítettem mobilitás-menedzsment algoritmusokhoz. [C14, C15]

Az osztályozási rendszert a disszertáció 3. Fejezete mutatja be. Az osztályozási rendszer, bár tartalmaz újdonságokat, önmagában nem tézis.

Osztályozási rendszerem általános, és technológia-független, abban az értelemben, hogy lefedi az irodalomban jelenleg (és várhatóan a jövőben) fellelhető algoritmusokat.

Először az egyszintű mobilitás-menedzsment algoritmusok osztályozását mutatom be, utána a többszintű megoldásokat vizsgálom.

Az irodalomban megtalálható algoritmusok osztályokba sorolása után azt találhatjuk, hogy némelyik osztály üres. Ennek két oka lehet:

- Lehetetlen, vagy értelmetlen ahhoz az osztályhoz tartozó algoritmust tervezni. Például egy másik osztály algoritmusai nyilvánvalóan minden szempontból hatékonyabbak az adott osztályhoz tartozó algoritmusoknál.
- Még nem találtak ki algoritmust, amely az adott osztályhoz tartozik.

Nyilván a második eset az izgalmasabb. Ebben az esetben az általános osztályozási rendszer közvetlenül vezethetett egy konkrét algoritmus kitalálásához. Ez meg is történt a Hierarchikus Paging esetében, az algoritmus kitalálása az osztályozási rendszer megalkotása közben történt.

6. Új tudományos eredmények

1. téziscsoport: LTRACK

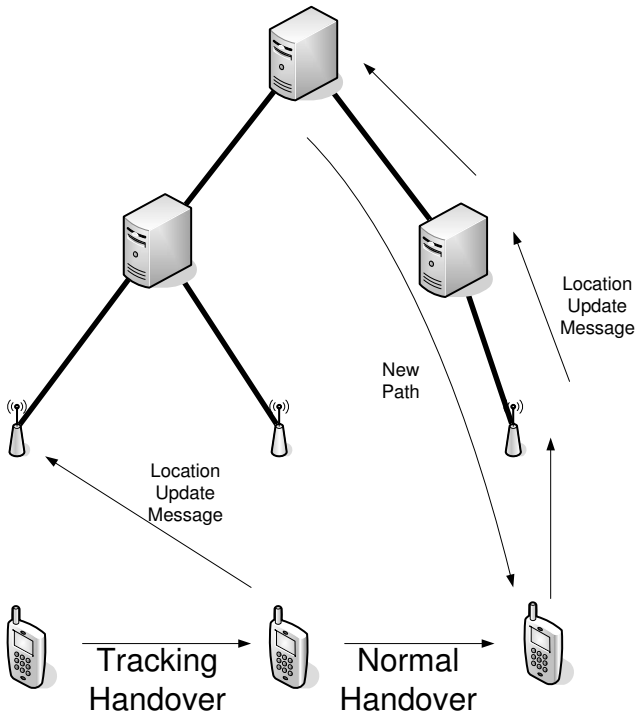
LTRACK az első saját mobilitás-menedzsment algoritmusom neve. Részletes ismertetése a disszertáció 4. Fejezetében történik.

1.1. tézis. *Új mobilitás-menedzsment algoritmust terveztem LTRACK néven. A név a „Location Tracking" rövidítése. Az alapvető működési elv, hogy a pozíció-információt nem központosítva tárolja a hálózat, hanem elosztva azok között a hálózati csomópontok között, amelyeket mozgása során a mobil a közelmúltban meglátogatott. A keresés „végigfut" ezeken a csomópontokon. [J1, J3, C9]*

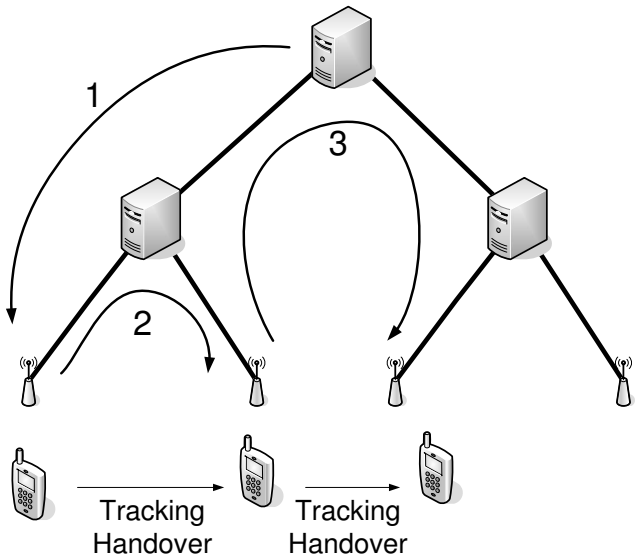
Az LTRACK hálózat LTRACK csomópontokból áll. Az egyik ilyen csomópont kitüntetett: a home LTRACK register (HLR). A HLR „központnak" vagy átjárónak tekinthető más hálózatok felé.

Az LTRACK két különböző hívásátadási mechanizmussal dologzik: *tracking* és *normál* hívásátadás. Mikor egy mobil átlép az egyik LTRACK csomóponttól a másikhoz, normál hívásátadás esetén a HLR-t értesíti arról, hogy melyik LTRACK csomóponthoz lépett; tracking hívásátadás esetén a régi LTRACK csomópontot. A két hívásátadási mechanizmust az 1. ábra mutatja be.

A HLR minden mobilról eltárolja, hogy melyik csomóponttól kapott utoljára frissítést. A mobil vagy még mindig ahhoz a csomóponthoz kapcsolódik, vagy ismer egy következő csomópontot, amely közelebb van a mobilhoz.



1. ábra. LTRACK hívásátadás típusok



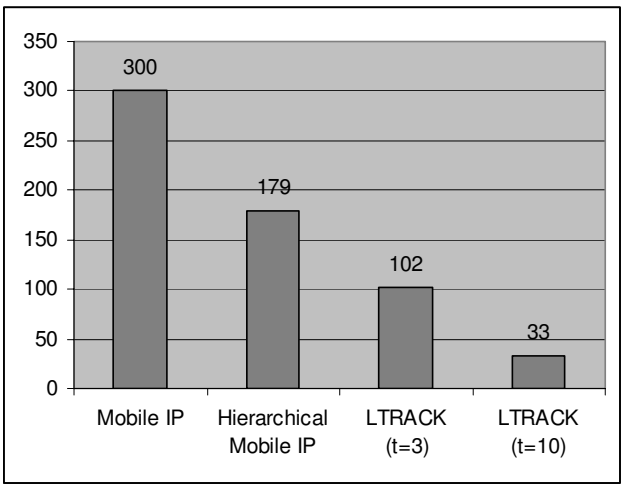
2. ábra. LTRACK keresés

Ilymódon, beérkező hívás vagy adatcsomag érkezése esetén, vagyis kereséskor, a HLR-től induló LTRACK csomópontok egy láncának végén találjuk meg a mobilt. Ezt mutatja be a 2. ábra.

Az értekezés 4.1.-4.4. Fejezetei mutatják be az LTRACK működését.

1.2. tézis. *Elkészítettem az LTRACK szimulációját. A szimulációk segítségével bemutattam az LTRACK algoritmus hatékonyságát más mobilitás-menedzsment algoritmusokhoz képest, valamit megvizsgáltam, hogy bizonyos paraméterek értékének változtatása hogyan hat az algoritmus teljesítőképességére. [C9, C11]*

A szimulációkat MATLAB-ban készíettem. Először a MobileIP-vel és a Hierarhikus MobileIP-vel (HMIP) végeztem összehasonlító szimulációkat, melyek azt az eredményt hozták, hogy jelzésforgalmat tekintve az LTRACK jóval hatékonyabb a többi algoritmusnál. A szimulációs eredményeket a 3. ábra mutatja. Ezutána paraméterek változtatásának hatását vizsgáltam az LTRACK teljesítőképességére.



3. ábra. Különböző megoldások jelzésigénye

Az értekezés 4.5. Fejezete mutatja be az LTRACK-kel kapcsolatos szimulációs eredményeimet.

1.3. tézis. *Részletes matematikai modellt alkottam az LTRACK-hez. A modell lehetővé teszi az LTRACK működési paramétereinek optimális meghatározását, valamint konkrét paraméter beállítások és környezet mellett meghatározható, hogy mennyi az LTRACK nyeresége egy Hierarchikus MobileIP-hez hasonló megoldáshoz képest. [J1, C13, C11]*

Részletes hálózati modellt alkottam különböző hálózati topológiákra. Az LTRACK hívásátadási mechanizmusokra Markov-modellt adtam, melynek segítségével meghatározhatóak az optimális paraméter értékek. Egy érdekes, LTRACK-specifikus jelenséget, a hurok levágást (loop removal), külön vizsgáltam a matematikai modell segítségével.

Ezután hasonló modellt adtam a MobileIP-re és a Hierarchikus MobileIP-re, majd módszert adtam az algoritmusok hatékonyságának összehasonlítására. Módszeremmel eldönthető adott konkrét feltételek mellett melyik algoritmus a hatékonyabb.

Az LTRACK analitikus modellezését az értekezés 4.6. Fejezete mutatja be.

2. téziscsoport: Hierarchikus Paging

Második, Hierarchikus Paging nevű mobilitás menedzsment algoritmusomat az értekezésem 5. Fejezete mutatja be részletesen.

2.1. tézis. *Új mobilitás-menedzsment algoritmust terveztem Hierarchikus Paging néven. Az alapötlet az, hogy a* paging*et egy hierarchikus megoldásnak ne csak a legalsó szintjén használjuk. A Hierarchikus Paging felfogható egyrészt a paging hierarchikus változataként is, vagy úgy, mintha két (vagy akár több) szomszédos szinten használnánk paging-et a hierarchikus megoldásban. [C14, C15]*

A hálózatot, ahol Hierarchikus Paging működik részhálózatokra (vagy alhálózatokra) osztjuk. Minden részhálózatban kijelölünk egy részhálózat-felelős (gyökér, root) csomópontot. A részhálózatban tartózkozó mobilokról a gyökér csomópont vagy pontos helyzet-információval rendelkezik, vagy paging segítségével meg tudja találni őket.

Amíg a mobil az alhálózaton belül mozog, egyáltalán nem küld pozíció-frissítést. A felső szinten nem történik hívásátadás, tehát a felső szinten ismert, hogy a mobil melyik alhálózatban tartózkodik, az alhálózaton belül pedig paging segítségével találhatjuk meg.

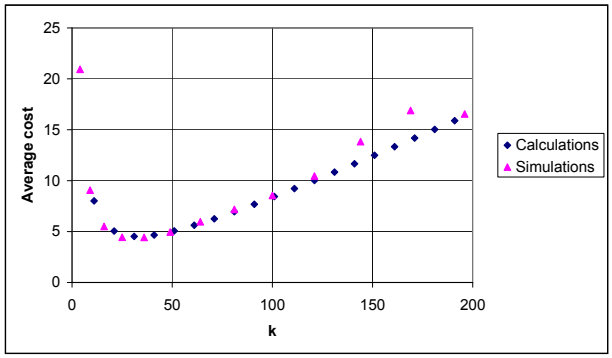
Amikor a mobil másik alhálózatba lép át, értesíti a régi és az új gyökér-csomópontot. Ezzel az alhálózatok közötti mobilitást még mindig lokálisan kezeltük, nem értesítettünk az LTRACK HLR-jéhez hasonló, az egész hálózatra nézve központi csomópontot.

Ezután, beérkező hívás vagy adatcsomag esetén, mivel a felső szintű mobilitás-menedzsment információi szerint a mobil még a régi alhálózatban tartózkodik, az alhálózat gyökér csomópontjához fordul. A negatív válasz után egy felső szintű paging segítségével határozzuk meg, hogy a mobil ténylegesen melyik alhálóztaban tartózkodik, majd egy esetleges alsó szintű paging segítségével a konkrét pozícióját.

A Hierarchikus Paging algoritmus működését, a különböző mechanizmusokat az értekezésem 5.1. és 5.2. Fejezetében mutatom be részletesen.

2.2. tézis. *Kifinomult analitikus modellt adtam a Hierarchikus Paging algoritmusra. A modell figyelemben veszi, hogy a mobil pontos helyzete ismert-e a hálózat számára a felső valamint az alsó szinteken. A modell segítségével lehetővé válik az optimális paraméter-értékek (pl. alhálózat méret) meghatározása, valamint a Hierarchikus Paging egyszerű (nem hierarchikus) paginggel történő összehasonlítása. [C15]*

A hálózati modell bemutatása után a használt mobilitás-modellt mutatom be. Az irodalomban széles körben elterjedt mobilitás-modell független a hálózat felépítésétől és az alkalmazott algoritmustól. Ezt a modellt terjesztettem ki alhálózaton belüli és alhálózatok közötti hívásátadással.



4. ábra. Hierarchikus Paging analitikus és szimulációs eredmények összehasonlítása

A mobilitás-menedzsment algoritmusok különböző állapotaira Markov-lánc modellt használtam. Felírtam a kétszintű Hierarchikus Paging-et modellező Markov-láncot.

A Markov-lánc állapotátmeneteihez különböző költséget rendeltem, majd meghatároztam egy állapotátmenet (esemény) átlagos költségét. Ezzel a módszerrel vizsgáltam, hogy a különböző paraméterek változása hogyan befolyásolja az algoritmus hatékonyságát (költségét).

Utána felírtam ugyanezt a Markov-láncot egyszerű (nem hierarchikus) paging algoritmusra. A két Markov-lánc segítségével össze lehet hasonlítani a két algoritmus viselkedését.

A Hierarchikus Paging algoritmussal kapcsolatos analitikus megfontolásokat, modelleket az értekezés 5.3. és 5.4. Fejezete mutatja be.

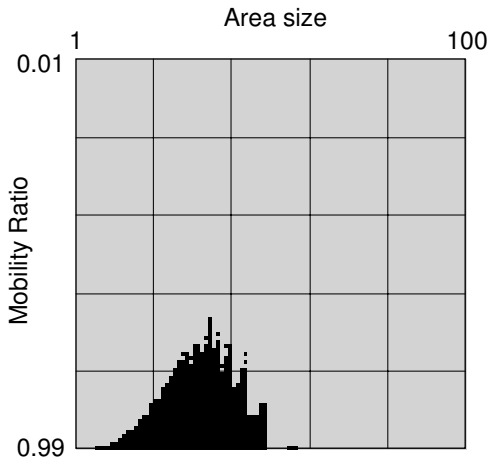
2.3. tézis. *Elkészítettem a Hierarchikus Paging és másik két mobilitás-menedzsment algoritmus szimulációját. A szimuláció segítségével ellenőriztem az analitikus módszerekkel kapott eredményeket, megvizsgáltam a paraméterek változtatásának hatását a Hierarchikus Paging algoritmusra, valamint összehasonlítottam algoritmusomat a másik két algoritmussal. [C14]*

A szimulációk C++ nyelven készültek. Saját, rugalmasan bővíthető, moduláris szimulációs keretrendszert készítettem, melynek segítségével különböző mobilitás menedzsment algoritmusok hasonlíthatók össze.

A Hierarchikus Paging szimulációs eredményei jól fedik az analitikus úton kapott eredményeket, lásd 4. ábra.

Ezután összehasonlító szimulációkat végeztem. A két algoritmus, amellyel a Hierarchikus Paginget összehasonlítottam az egyszerű paging és az a klasszikus kétszintű megoldás voltak, ahol a felső szinten centralizált megoldást alkalmazunk, az alsó szinten paging-et. (Ilyen megoldást használ többek között a GSM is.)

A szimulációs összehasonlítások eredménye a 5. ábrán látható. Az alhálózat mérete 1-től 100-ig fut az x tengelyen, a mobilitás mértéke (mobiliy ratio) 0-tól 0.99-ig az y tengelyen.



5. ábra. Különböző mobilitás-menedzsment algoritmusok összehasonlítása

A fekete terület jelöli azokat a paraméter értékeket, ahol a Hierarchikus Paging bizonyult a leghatékonyabbnak.

Fontos eredmény, hogy a Hierarchikus Paging algoritmus közepes méretű alhálózatok esetén és nagy mobil mozgás-intenzitás (high mobility ratio) esetén a leghatékonyabb. Nagyon kicsi vagy nagyon nagy alhálózatok esetén egyik algoritmus sem hatékony, a Hierarchikus Paging épp közepes értékeknél bizonyult a leghatékonyabbnak.

Az értekezés 5.5. és 5.6. Fejezete mutatja be a Hierarchikus Paging-gel kapcsolatos szimulációs eredményeket.

7. Az eredmények alkalmazása

A 3. Fejezetben bemutatott osztályozási rendszer új mobilitás-menedzsment algoritmusok kitalálásához vezethet, mint ahogy vezetett is a Hierarchikus Paging esetében.

A két új mobilitás-menedzsment algoritmusom, az LTRACK és a Hierarchikus Paging más algoritmusoknál hatékonyabb mobilitás-kezelés megvalósításához használható. Egyik megoldás sem a tökéletes megoldás önmagában, de a megfelelő környezetben alkalmazva a megfelelő ötleteket, esetleg más algoritmusokkal, ötletekkel kombinálva jelentősen növelhetik a hatékonyságot, az erőforrások kihasználtságát, csökkentve ezzel a költségeket.

A szimulációs keretrendszer, amellyel a Hierarchikus Paginget a többi mobilitás-menedzsment algoritmussal összehasonlítottam, rendkívül általános, és modulárisan bővíthető. Ez a keretrendszer tehát további algoritmusok kifejlesztésekor összehasonlító szimulációkhoz és további paraméter-optimalizációhoz használható.

Hivatkozások

[1] I. Akyildiz, J. McNair, J. Ho, H. Uzunalioglu, and W. Wang. Mobility Management in Next-Generation Wireless Systems. In *Proceedings of the IEEE*, volume 87, pages 1347–1384, August, 1999.

[2] S. Yang B. Hajek, K. Mitzel. Paging and Registration in Cellular Networks: Jointly Optimal Policies and an Iterative Algorithm. In *Proceedings of IEEE INFOCOM*, 2003.

[3] Claude Castelluccia. HMIPv6: A Hierarchical Mobile IPv6 Proposal. In *ACM Mobile Computing and Communication Review (MC2R)*, April 2000.

[4] Jerry D. Gibson (editor). *The Mobile Communications Handbook*. CRC Press LLC and Springer-Verlag GmbH & Co. KG, 1999.

[5] B. Gloss and C. Hauser. The IP Micro Mobility Approach. In *Proceedings of EUNICE 2000*, pages 195–202, September 2000.

[6] R. Ramjee; L. Li; and T. La Porta. IP Paging Service for Mobile Hosts. In *Proceedings of MOBICOM 2001*, pages 332–345, 2001.

[7] Mathworks. MATLAB, http://www.mathworks.com/.

[8] R. Jain S. Mohan. Two user location strategies for personal communications services. *IEEE Personal Communications*, Vol. 1:42–50, 1994.

[9] H. Schulzrinne and J. Rosenberg. The Session Initiation Protocol: Internet-Centric Signaling. *IEEE Communications Magazine*, pages 134–141, October 2000.

[10] Z. Turányi, Cs. Szabó, E. Kail, and A.G.Valkó. Global Internet Roaming with ROAMIP. *ACM SIGMOBILE Mobile Computer and Communication Review (MC2R)*, 4(3), July 2000.

[11] J. Golestani T.Y.C. Woo, T.F.L. Porta and N. Agarwal. Update and Search Algorithms for Wireless Two-Way Messaging: Design and Performance. In *INFOCOM 1998*, pages 737–747, 1998.

Publikációk

Külföldön megjelent idegen nyelvű folyóiratcikkek

[J1] B. Kovács, M. Szalay, S. Imre. „Modelling and Quantitative Analysis of LTRACK - A Novel Mobility Management Algorithm". *Journal of Mobile Information Systems*, Vol.2, Number 1, 2006, pp. 21-50.

Magyarországon megjelent idegennyelvű folyóiratcikkek

[J2] S. Imre, M. Szalay. „Ring Hierarchy - an Alternative Reliable Topology for IP Micro Mobility Networks". *Telecommunications*, Vol. LVI, No. 9., Selected Papers, 2001. pp. 31–36.

[J3] S. Imre, M. Szalay. „LTRACK - A Novel Location Management Method". *Telecommunications*, Vol. LIX, No. 12., Selected Papers, 2004, pp. 29–33.

Magyarországon megjelent magyar nyelvű folyóiratcikkek

[J4] S. Imre, M. Szalay. „Ring Hierarchy - Reliable IP Micromobility Network Topology". *Telecommunications*, Vol. LVI, No. 10., 2001, pp. 19–24.

[J5] S. Imre, M. Szalay. „LTRACK – New Mobility Management Scheme". *Telecommunications*, Vol. LVIII., No. 11., November 2003, pp. 49–52, **L**.

[J6] Gy. Gódor, M. Szalay, S. Imre. „Az IEEE 802.16 szabvány áttekintése". *Telecommunications*, Vol. LX, No. 8., August 2005, pp. 8–11.

[J7] Gy. Gódor, M. Szalay, S. Imre. „Az IEEE 802.16 szabvány közeghozzáférési (MAC) rétege". *Telecommunications*, Vol. LX, No. 8., August 2005, pp. 23–29.

[J8] Z. Faigl, Gy. Gódor, S. Imre, M. Szalay. „Mobil fizetési rendszerek áttekintése". *Hungarian Telecommunication*, Vol. XVI., No. 3., 2005, pp. 28–35.

[J9] S. Imre, M. Szalay. „Az UMTS-rendszer áttekintése". *Hungarian Telecommunication*, Vol. XVI., No. 4., 2005, pp. 20–30.

Szerkesztett könyvben megjelent cikk

[C1] Gy. Gódor, Z. Faigl, M. Szalay, S. Imre. „Mobile Payment Systems". Idea Group Inc. encyclopedia, *Encyclopedia of Information Science and Technology*, 2nd Edition, edited by Dr. Mehdi Khosrow-Pour, to be published in 2007, *Accepted* .

Nemzetközi konferencia-kiadványban megjelent idegen nyelvű cikkek

[C2] S. Imre, M. Szalay. „Ring Based Reliable IP Micro Mobility Network". *6th International Conference on Telecommunications, CONTEL2001*, June 13-15, 2001, Zagreb, Croatia, pp. 113–120, (supported by IEEE), **L**.

[C3] M. Szalay, S. Imre. „Handover Support in Ring Based IP Micro Mobility Networks". *SoftCOM2001*, October 09-12, 2001, Split, Dubrovnik (Croatia), Ancona, Bari (Italy), Published at FESB-Split, ISBN 953-6114-44-5, pp. 479–486, (supported by IEEE COMSOC), **L**.

[C4] S. Imre, M. Szalay. „Reliability Considerations of IP Micro Mobility Networks". *Design of Reliable Communication Networks, DRCN 2001*, 7-10 October 2001, Budapest, Hungary, pp. 72–77, (supported by IEEE, EURESCOM), **L**.

[C5] S. Imre, M. Szalay, I. Bagdi, M. Székely. „Reliability Simulation of IP Micro Mobility Protocols Over Different Network Topologies". *3rd Conference on Communication Systems, Networks and Digital Signal Processing, CSNDSP2002*, 15-17th July 2002, Staffordshire UK, Published by Staffordshire University Press, ISBN 1-90413-305-3, pp. 276–279, **E**.

[C6] M. Szalay, S. Imre. „Reliability Modelling of Tree Topology IP Micro Mobility Networks". *EUNICE 2002 (European Network of Universities and Companies in Information and Communication Engineering)* 7th Open European Summer School on Adaptable Networks and Teleservices, September 2-4, 2002, Trondheim, Norway, Published by Tapir Uttrykk, ISBN 82-993980-5-3, pp. 63–69., **L**.

[C7] S. Imre, M. Szalay. „Modelling the Reliability of Ring Topology IP Micro Mobility Networks". *12th International World Wide Web Conference, WWW2003*, WF7, May 20-24, 2003, Budapest, Hungary, **E**.

[C8] Gy. Gódor, J. Novák, M. Szalay, S. Imre. „Reliability Evaluation Software for Tree Topology Micro Mobility Networks". *7th International Conference on Telecommunications, CONTEL2003*, June 13-15, 2003, Zagreb, Croatia, Vol. 1., Published by CIP Zagreb, ISBN 953-184-055-5, pp. 221–228.

[C9] M. Szalay, S. Imre. „LTRACK – A novel location management method". *EUNICE 2003 (European Network of Universities and Companies in Information and Communication Engineering)* 9th Open European Summer School on Next Generation Networks, September 8-10, 2003, Balatonfüred, Hungary, ISBN 963-421-576-9, pp. 140–144., **L**.

[C10] Gy. Gódor, M. Szalay, T. Kőszegi, Z. Faigl, S. Imre. „Security of Mobile and Wireless Systems". *Digital Communications, DC2003*, November 25, 2003, Zilina, Slovak Republic, Published by EDIS Zilina University Publishers, ISBN 80-8070-165-2, pp. 13–18., **L**.

[C11] S. Imre, M. Szalay. „Parameter Considerations of LTRACK". *EUNICE 2004 (European Network of Universities and Companies in Information and Communication Engineering)* 10th Open European Summer School on Advances in Fixed and Mobile Networks, June 14-16, 2004, Tampere, Finland, ISBN 952-15-1187-7, pp. 88–91, **L**.

[C12] Gy. Gódor, M. Szalay, S. Imre. „Handling Link Failure Dependencies in Micro Mobility Network Reliability Modeling". *SoftCOM2004*, October 10-13, 2004, Split, Dubrovnik (Croatia), Ancona, Bari (Italy), Published at FESB-Split, ISBN 953-6114-69-0, pp. 240-.244., **L**.

[C13] B. Kovács, M. Szalay and S. Imre. „Modelling and Quantitative Analysis of LTRACK – Novel Mobility Managemt Algorithm". *3rd Inter. Conf. On Advances in Mobile Multimedia, MOMMS2005*, 19-21 September, 2005, Kuala Lumpur, Malaysia, ISBN 3-85403-195-5, in the book serie books@ocg.at band 195 Oesterreichische Computer Gesellschaft, pp. 343–357., **L**, *BEST PAPER AWARD*.

[C14] M. Szalay, S. Imre. „Hierarchical Paging – Efficient Location Management". **Accepted** *4th European Conference on Universal Multiservice Networks ECUMN'2007*, 14-16 February 2007, Toulouse, France, **L**.

[C15] M. Szalay, S. Imre. „Analysis of Hierarchical Paging". **Accepted** *ICOIN2007, The International Conference on Information Networking*, 23-25 January 2007, Estoril, Portugal, **L**.