

M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Villamosmérnöki és Informatikai Kar
Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék
Mobil Kommunikáció és Kvantumtechnológiák Laboratórium

Mobilitás támogatás az Internet Protokollban

Mérési útmutató

A mérést összeállította:

Schulcz Róbert

Csege Viktor

Heim István

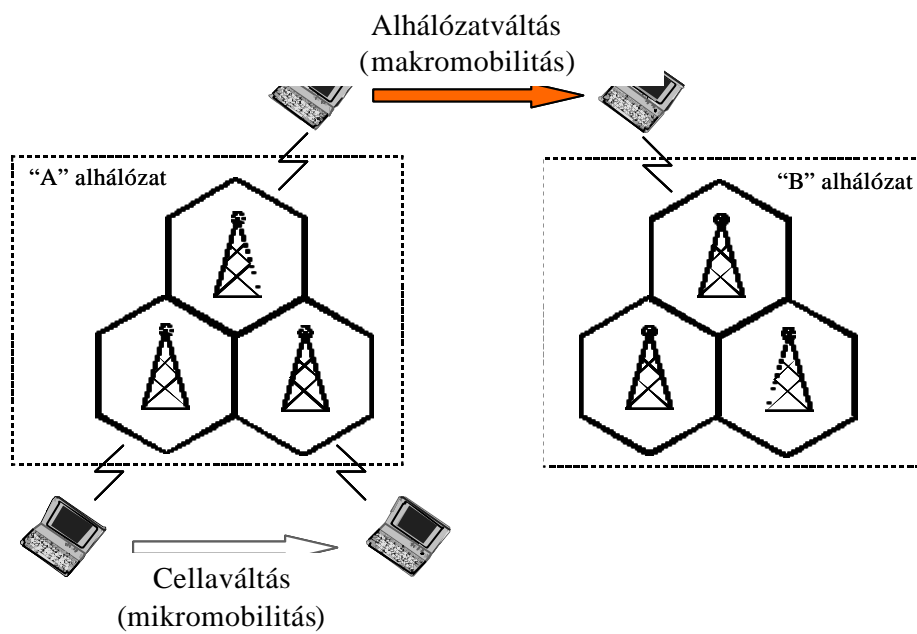
Utolsó módosítás:

2015. szeptember

1. Bevezetés

Napjainkban már nem fér kétség a mobil kommunikáció szükségességéhez. Az informatikában manapság az a trend, hogy a legnépszerűbb szolgáltatásokat IP alapon szeretnék megvalósítani. Ezt a technológiát nevezik *All-IP*-nek. A jelenleg működő *IPv4* (IP version 4) rendszerek már nem tudják kielégíteni a megnövekedett igényeket, biztosítani a megfelelő *QoS* (Quality of Service) paramétereket, ezért új rendszereket kell kifejleszteni. Az egyik ilyen lehetséges rendszer az *IPv6*, melynek szabványosítása már befejeződött, széleskörű elterjedése azonban várhatóan nagyon sok időt vesz még igénybe. Az *IPv6*-ot a most működő *IPv4* protokollal ellentétben már nagyobb körültekintéssel fejlesztették ki, figyelembe véve az új kor igényeit. A sok újdonság közül számunkra a mobilitás támogatása a legfontosabb.

Mobil eszközünkkel általában mozgunk is, vagyis előfordul, hogy egy másik cellába jutunk. Ilyen esetben elvárjuk a rendszertől, hogy ezt a váltást lebonyolítsa, mégpedig úgy, hogy lehetőleg észre se vegyük. Ezt az eljárást nevezik hívásátadásnak (handover, handoff). Fontos megkülönböztetnünk a hívásátadások két fajtáját. **Mikromobilitásról** beszélünk, ha csak egyik bázisállomástól (Access Point) a másikig megyünk át, anélkül, hogy egy másik alhálózatba kerülnénk. **Makromobilitásról** akkor beszélünk, ha egy másik alhálózatba is átmegyünk. Ezt szemlélteti az 1. ábra.



1. ábra Makro- és mikromobilitás

A mérés során egy IPv6-os Mobil IP szimulátorral fogunk megismerkedni.

2. A Mobile IP-ről általában

2.1 Terminológia

- **Csomópont (node):** A hálózathoz csatlakozó eszköz, mely IPv6 protokollt futtat.
- **Router:** A forgalomirányításért felelős útvonalválasztó eszköz.
- **Alhálózat címe (subnet prefix):** Olyan IP cím, mely egy alhálózatot azonosít.
- **Otthoni alhálózat cím (home subnet prefix):** Olyan alhálózat cím, mely egy mobil eszköz otthoni hálózatát azonosítja.
- **Idegen alhálózat cím (foreign subnet prefix):** Minden olyan alhálózat cím, mely egy mobil eszköz számára nem az otthoni hálózata.
- **Mobil eszköz/állomás (mobile node):** Olyan eszköz, mely képes más alhálózatokon keresztül csatlakozni a hálózatra, úgy, hogy közben mindig elérhető az otthoni címén keresztül.
- **Kommunikációs partner (correspondent node):** A mobil eszközzel kommunikáló, fix vagy mobil állomás.
- **Otthoni cím (home address):** A mobil eszköz állandó IP címe, melyet az otthoni alhálózatában használ.
- **Idegen cím (care-of address):** Olyan ideiglenes IP cím, melyet egy mobil eszköz akkor kap, amikor egy idegen alhálózathoz csatlakozik.
- **Kötés (binding):** Az otthoni cím és az idegen cím közti összerendelés.
- **Otthoni ügynök (home agent):** Egy olyan router a mobil eszköz otthoni alhálózatában, melyhez a mobil eszköz bejegisztrelta pillanatnyi idegen IP címét, azért, hogy az ügynök a neki címzett csomagokat erre a címre továbbíthassa.

- **Access Point (AP):** Olyan router a hálózatban, mely a látogató mobil számára a hálózathoz való csatlakozást biztosítja, rádiós (vagy vezetékes) interfészen keresztül.
- **Binding Cache (BC):** Tárhely a mobilok kötéseinek megadott ideig történő tárolására. A bejegyzés általános formátuma: <hazai IP cím→idegen IP cím, élettartam>
- **Binding Update (BU) üzenet:** Fejléc kiterjesztés, mely a küldő mobil eszköz aktuális kötését és a kötés érvényességi idejét tartalmazza.
- **Binding List (BL):** A mobil eszköz ebben a listában tartja nyilván, hogy kinek küldött *Binding Update* üzenetet. A bejegyzés általános formátuma: <kommunikációs partner IP címe, élettartam>
- **Binding Request (BR) üzenet:** Fejléc kiterjesztés, melyben egy kommunikációs partner vagy otthoni ügynök megkérheti a mobil eszközt, hogy küldje el neki az aktuális címét.
- **Binding Acknowledge (BA) üzenet:** Fejléc kiterjesztés, mellyel az otthoni ügynök a *Binding Update* üzenet vételét nyugtázza.
- **Otthoni cím kiterjesztés (Home Address extension):** Mivel a mobil eszköz csomagküldéskor a feladó címét általában az idegen címre állítja be, ezzel a bővítménnyel közölheti a címmel az őt azonosító otthoni címét.

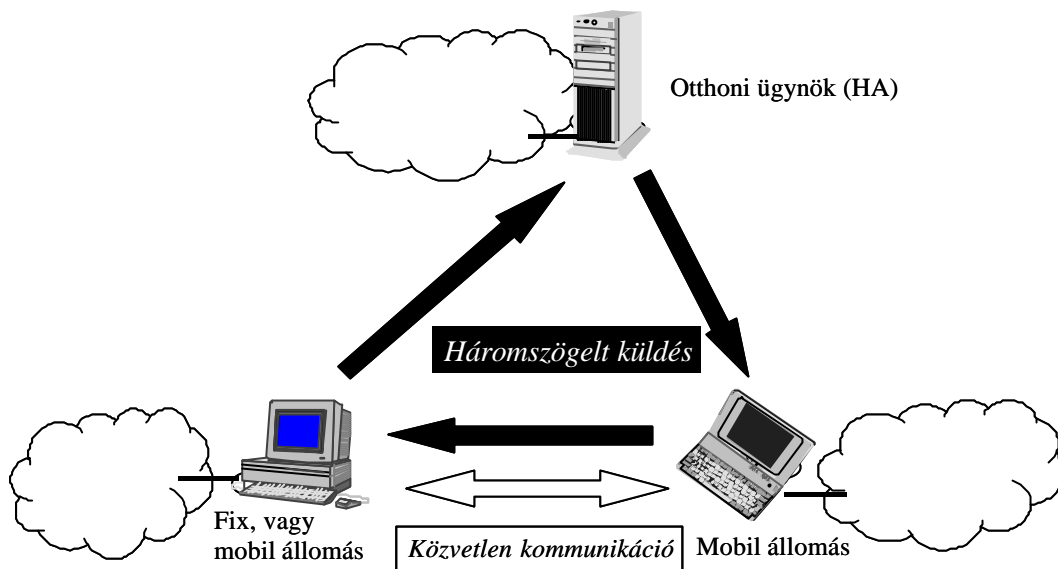
2.2 A Mobil IP protokoll működése

Egy mobil állomás mindig megcímezhető az **otthoni címével** (home address), függetlenül attól, hogy az otthoni alhálózatában (home subnet) vagy egy idegen alhálózatban (foreign subnet) tartózkodik. Ha otthon van, akkor egyszerűen megkapja a csomagot az általános útvonal-irányítás szerint. Ha azonban egy idegen alhálózatban tartózkodik, akkor egy (vagy több) idegen címmel (care-of address, CoA) közvetlenül is

megcímezhető. Az otthoni cím és az idegen cím közötti kapcsolatot kötésnek (binding) nevezik, melynek élettartama (lifetime) is van.

A mobil eszköz az **IPv6 autokonfigurációs** képességének köszönhetően automatikusan kap egy idegen címet az access point-tól (AP), amikor belép egy új alhálózatba. Új cím szerzésére használható még az új idegen hálózatban lévő *DHCP* (Dynamic Host Configuration Protocol) szerver is.

Ha a mobil nincs az otthoni alhálózatban, akkor az otthoni alhálózat egyik routere működik otthoni ügynökként (home agent, HA). Az alhálózatba való belépéskor a mobil egy Binding Update (BU) üzenetet küld, melyben értesíti az otthoni ügynökét az új idegen címéről. Erre egy Binding Acknowledgement (BA) választ kap, ellenkező esetben a BU üzenetet újraküldi. Ezek után, ha a mobil az otthoni címére kap egy csomagot, az ügynök alagút (tunneling) technikával átküldi azt a kapott idegen címre (2. ábra). Ezt az IPv6 beágyazás (*encapsulation*) segítségével oldja meg: a teljes csomagot elhelyezi egy új csomag törzsében, majd új fejléccet generál az idegen címmel. A csomagot fogadó mobil eszköz ebből látni fogja, hogy az adatok háromszögelés útján érték el őt, így rögtön küldhet egy BU üzenetet az eredeti feladónak, hogy az ezentúl közvetlenül az idegen címet használja. A háromszög routolást lehetőség szerint el kell kerülni, mivel ez járulékos hálózati overheadet eredményez (jelzés és adatforgalom). (A címzettnek a Binding Update üzenetet nem kötelező elküldenie a kommunikációs partner részére, ha nem akarja felfedni hollétét; ekkor a csomagok továbbra is az otthoni ügynökön keresztül fognak eljutni hozzá.) A Binding Request (BR) üzenettel lehetőség van arra, hogy egy kommunikációs partner vagy otthoni ügynök megkérjen egy mobil állomást, hogy adja meg az idegen címét. Mivel bármely IPv6-os csomópont kapcsolatba kerülhet mobil eszközökkel, az idegen és otthoni címeket összerendelő kötések tartalmazó Binding Cache-t (BC) minden csomópontnak tartalmaznia kell.



2. ábra Háromszögelt és közvetlen kommunikáció

A mobil eszköz, ha nincs az otthoni alhálózatban, minden csomag küldésekor egy BU üzenetet is küld, melyben tájékoztatja a címzettet az idegen címéről. A Binding List-ben pedig tárolja, hogy kiknek küldött BU üzenetet, így alhálózat váltáskor ez alapján tájékoztathatja partnereit az új idegen címéről.

Csomagküldéskor a küldő állomás megnézi a Binding Cache-ben, hogy bent van-e a címzett idegen címe. Ha bent van, akkor egy IPv6 *Routing header* segítségével közvetlenül neki küldi el. Ha nincs bent, akkor egyszerűen elküldi az otthoni címre, ahonnan a csomag alagút technikával jut át a címzethez.

3. Az OMNeT++ szimulációs környezet

Az OMNeT++ egy objektum orientált, moduláris, diszkrét szimulációs környezet. Egy OMNeT++ hálózat hierarchikus modulokból épül fel. A modell mélysége nincs meghatározva. A modulok üzenetek segítségével kommunikálnak egymással, mely üzenetek komplex adatstruktúrákat is tartalmazhatnak. Az üzeneteket a modulok között előre definiált kapukon és csatornákon keresztül, vagy akár közvetlenül is el lehet küldeni.

A fejlesztőnek a hierarchia legalsó szintjén található modul viselkedését kell megírni C++ nyelven. A szimuláció futtatása során ezen modulok párhuzamosan (korutinként) futnak. A környezet különböző felhasználói felületeket (hibakeresés, bemutató, batch futtatás) biztosít, mely nagyban elősegíti a fejlesztést.

A modulok összeköttetését, szerkezetét egy speciális leírónyelven, a NED (NEtwork Description) nyelven kell megírni, melyet a környezet szintén C++ nyelvre fordít le. Így a teljes szimuláció C++ nyelven áll rendelkezésre, mely jó hordozhatóságot és gyors működést biztosít – a szimuláció Windows NT/9x/2000, Linux és Solaris operációs rendszeren is módosítások nélkül fut. A környezet a grafikus megjelenítéshez a Tcl/Tk könyvtárakat használja, mely szintén segíti a hordozhatóságot.

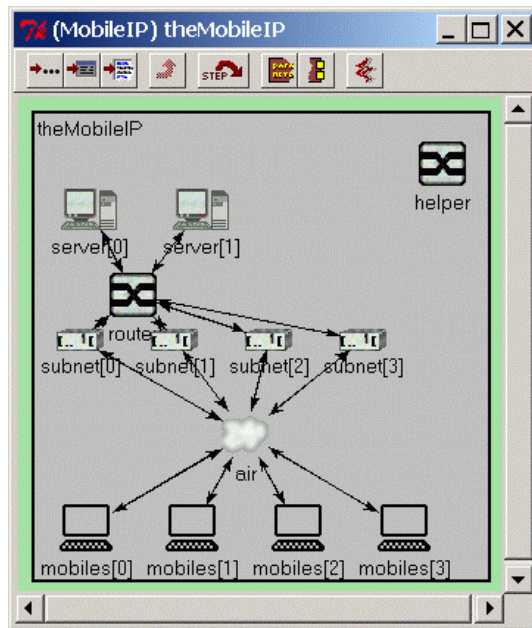
4. A Mobile IPv6 szimulátor felepítése

4.1 Modulok

- **Mobil eszköz:** A szimulált mobil állomás periodikusan változtatja sebességének nagyságát és irányát egy véletlenszerűen megválasztott értékkel. Mozgása közben exponenciális eloszlás által meghatározott véletlenszerű intenzitással adatcsomagokat és adatkéréseket küld más mobiloknak és szervereknek, illetve adatokat fogad azoktól.
- **Air:** Az Air modul a rádiós interfészt jelképezi. Itt tetszőleges rádiós közeg hatása szimulálható (torzítás, csomagvesztések, stb.), de jelen mérés során ezt a lehetőséget nem használjuk ki. Késleltetés, csomagvesztés és torzítás nincs.
- **Access Point:** Ez a modul az egy alhálózatba tartozó rádiós hozzáférési pontok összességének felel meg. A makromobilitás szintű handoverek két ilyen access point között, míg a mikromobilitás szintűek egy ilyen access point-on belül történnek.
- **Router:** A router a Mobil IP szimulátorban nem csak egy, a forgalomirányításért felelős eszköz, hanem az access point-ok, szerverek és otthoni ügynökök között lévő teljes vezetékös hálózatot is jelképezi.
- **Szerver:** A szerver modulok adatcsomagokat generálnak válaszul a mobilok adatkéréseire, illetve véletlenszerű időközönként maguk is kezdeményeznek forgalmat a mobilok irányába.
- **Helper:** Ez a modul nem része a Mobile IPv6 protokollnak, csak a szimuláció könnyebb megvalósíthatóságát szolgálja. Tartalmaz egy Address Book-ot, melyben a szimulációban résztvevő entitások IP címei találhatóak.

- **Otthoni ügynök:** Az otthoni ügynökök a mobilitás-kezelés egyik legfontosabb részét végzik: mindig megbízhatóan tárolják a hozzájuk tartozó mobilok otthoni és idegen címe közti kötést; valamint továbbítják a távoli mobiloknak szánt csomagokat azok idegen címeire.

A fenti elemek láthatók az álabbi ábrán (3. ábra)



3. ábra Szimulátor (grafikus ablak)

```

File Edit Simulate Trace Inspect View Options Help
STEP RUN FAST EXPRESS UNTIL... STOP
Run #1: theMobileIP Event #6 T=0.0000000 (0.00s) Next: #9 theMobileIP.server[0].spont
Msgs in FES: 58 Total msgs: 64 Live msgs: 64
Ev/sec: n/a Simsec/sec: n/a Ev/simsec: n/a
** Event #0. T=0.0000000 (0.00s). Module #2 `theMobileIP.helper'
** Event #1. T=0.0000000 (0.00s). Module #4 `theMobileIP.server[0].bindingm'
AddressBook :: AddHost 4.1.0 Type: SERVER
** Event #2. T=0.0000000 (0.00s). Module #5 `theMobileIP.server[0].datareceiver'
** Event #3. T=0.0000000 (0.00s). Module #6 `theMobileIP.server[0].requestreceiver'
** Event #4. T=0.0000000 (0.00s). Module #7 `theMobileIP.server[0].requestsender'
** Event #5. T=0.0000000 (0.00s). Module #8 `theMobileIP.server[0].spontandatasender1'

```

4. ábra Szimulátor (szöveges ablak)

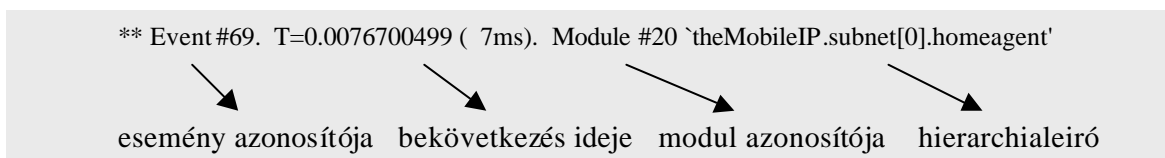
5. A szimulátor használatáról röviden

A szimulátor fordítás után futtatható, a mérés során az idő rövideje miatt fordítani nem kell.

A mérés során a szimulátor a *MobileIP.exe* fájl futtatásával indítható el. Két ablak jelenik meg, egyiken a hálózat felépítése (3. ábra), a másikon a szimuláció futása alatt fellépő események láthatók (4. ábra). A grafikus ablakon látszanak az üzenetek, valamint a kívánt modulra kattintva nézhetjük meg annak belső felépítését. A szöveges ablakon találjuk a főbb vezérlő gombokat, melyek a következők:

- **Step:** Egy lépést hajt végre, az esemény bekövetkezése után megállítja a szimulátor futását.
- **Run:** Ezzel a gombbal indíthatjuk el a szimulátort.
- **Stop:** Ezzel a gombbal állíthatjuk le a szimulátort. A szimuláció egyéb esetben akkor áll le, ha vagy elfogynak az események, vagy lejár a szimuláció előre megadott futási ideje.

Az események értelmezése a következő:



6. Ellenőrző kérdések

1. Mi a különbség a makro- és mikromobilitás között?
2. Mi az a kötés (binding)?
3. Mire szolgál a hazai ügynök (Home Agent)?
4. Mi a BC (Binding Cache) és a BL (Binding List)? Hogyan épül fel egy BC bejegyzés?
5. Hogyan néz ki a háromszög routolás? (ábra!) Miért kell kiküszöbölni?
6. Sorolja fel a három legfontosabb üzenetet! Ki küldi kinek és mikor?
7. Hogyan szerez új IPv6 címet magának a Mobil Node amikor új hálózatba érkezik?
8. Hogyan kommunikálnak egymással az OMNeT++ környezetben megírt modulok?
9. Mit kell implementálnia a fejlesztőnek OMNeT++ környezetben?

7. Mérési feladatok

Amelyik feladatnál nem jelezzük külön, ott használja az alapértelmezett értékeket.

1. feladat: Léptetéssel nézze végig, hogyan történik egy handover! Figyelje meg milyen modulok kommunikálnak egymással, és készítsen a folyamatról egy *MSC* (Message Sequence Chart) diagramot.

2. feladat: End to End delay mérése. Figyeljünk meg egy olyan eseménysorozatot, amikor egy tetszőleges szerver kommunikál egy tetszőleges mobillal. Mérjük meg a végpontok közötti késleltetést! Két esetet figyeljünk meg: közvetlen küldés, háromszög routolás.

3. feladat: Az *omentpp.ini* fájl szerkesztésével kapcsolja ki a Binding Cache használatát, majd futtassa le a szimulátort! Foglalja össze röviden, hogy mit eredményez ez!

4. feladat: BC élettartam optimalizálása. Az *omentpp.ini* fájl szerkesztésével idézzen elő olyan helyzetet, amikor rövid idő alatt sok *Binding Request* üzenet generálódik! Mit eredményez ez? Mikor küld *Binding Request*-et a Home Agent, és mikor küldenek a szerverek? (Segítség: sebesség- és gyorsulásértékek legyenek az alapértelmezettek, a szimulátort futtassa legalább 10 percig (*Express* gomb), valamint legyen a szerverek száma 5, a mobiloké 4.)

5. feladat: Állítsa be úgy a mobilok sebességét, hogy legyen csomagvesztés *handover* során! Adjon elvi megoldást a probléma megoldására! (Segítség: *UMTS* rendszerek)

Tanulmányozza át a *sca_30_0.txt* állományban a csomagvesztésre vonatkozó értékeket.