

DIPLOMAMUNKA

Kernács János

Debrecen

2009



Debreceni Egyetem Informatikai Kar
Informatikai Rendszerek és Hálózatok Tanszék

Vezeték nélküli ad-hoc hálózatok

Témavezető: Dr. Sztrik János

Egyetemi tanár, az MTA doktora

Készítette: Kernács János

Programtervező matematikus

Debrecen

2009

Tartalomjegyzék

Tartalomjegyzék	2
Köszönetnyilvánítás.....	4
Köszönetnyilvánítás.....	4
1 Bevezetés	5
2 Ad-hoc vezeték nélküli hálózatok.....	6
2.1 Útvonalválasztó protokollok	8
2.1.1 Proaktív protokollok.....	8
2.1.2 Reaktív protokollok	9
2.1.3 Helyzet-alapú útvonalválasztó protokollok.....	10
2.1.4 Hierarchikus protokollok	11
2.1.5 Flat routing	12
3 Wireless szabványok	14
3.1 IEEE802.11 (WLAN)	14
3.1.2 Közeghozzáférés.....	14
3.1.3 IEEE 802.11 fizikai réteg	18
3.2 A Bluetooth	23
3.2.1 A szabvány elemei.....	23
3.2.2 Biztonság	25
3.2.3 A szabvány változatai	25
4. Az IEEE 802.11 hálózatok modellezése	27
4.1 A DCF hatékonyság-analízise.....	27
4.1.1 A rendszer modellje	27
4.1.2 A rendszer teljesítményének elemzése.....	30
4.1.3 Esettanulmányok.....	31

5 Összefoglalás	36
6 Irodalomjegyzék	37

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnék köszönetet mondani a szakmai segítségért és támogatásáért témavezetőmnek, Dr Sztrik Jánosnak.

1 Bevezetés

Napjainkban a mobilitás egyre nagyobb szerepet tölt be életünkben. Széles körben elérhetővé és megfizethetővé váltak a vezeték nélküli kommunikációra alkalmas eszközök (mint például laptopok, PDA-k (Personal Digital Assistant) vagy okos mobiltelefonok), amelyek nélkül ma már szinte elképzelhetetlen az életünk. Mindenhová magunkkal visszük őket, ezért nem meglepő, hogy felemerült annak kérdése, hogyan tudnának ezek közvetlenül – fix infrastruktúra nélkül – önszervező módon kommunikálni egymással. Erre nyújtanak megoldást a vezeték nélküli ad-hoc hálózatok. Mobil ad hoc hálózatok bárhol, bármikor könnyedén és gyorsan kialakulhatnak kiépített infrastruktúra és távközlési szolgáltató bevonása nélkül, így gyors és olcsó adatsere valósítható meg a mobil eszközök között ígéretes alternatívát nyújtva lokális mobil kommunikáció megvalósítására.

E diplomamunka három fő fejezetből áll. A 2. fejezet betekintést nyújt a vezeték nélküli ad-hoc hálózatok világába, és ismerteti a főbb ad-hoc útvonalválasztási protokollokat. A 3. fejezet ismerteti a legjelentősebb szabványokat a WLAN-t és a Bluetooth-ot. A 4. fejezet a vezeték nélküli hálózatok hatékonyságával foglalkozik, bemutatva egy sorbanállási modellt.

2 Ad-hoc vezeték nélküli hálózatok

Felhasznált irodalom: [3]

A mobil ad-hoc hálózatok (MANET) olyan lokális adathálózatok, amelyek nem igényelnek kiépített fix infrastruktúrát (drótok, szerverek, routerek, switch-ek, stb.), nem rendelkeznek központi adminisztrációval. Ennek oka, hogy csak így lehet elkerülni a hálózat összeomlását tetszőleges csomópont kiesése esetén. Ugyanis bármely csomópont bármely időpillanatban beléphet a hálózatba, illetve elhagyhatja azt.

Mivel az egyes csomópont hatósugara korlátozott, egymás hatósugarán kívül eső eszközök kommunikációjához szükség van közbenső csomópont(ok)ra. Ezek közbenső csomópontok átjátszóként illetve routerként (útvonalválasztóként) működhetnek. Ennélfogva a hálózatot alkotó eszközök nagyobb területen kommunikálhatnak, mint saját hatósugaruk.

Minthogy a csomópontok mindegyikében működik az útvonalkereső protokoll, az ad hoc hálózatok képesek kezelni a hálózati topológia változásait és az esetlegesen fellépő csomóponti működési hibákat. Ha például egy csomópont hálózatból történő kilépésének következtében megszakad a kapcsolat, az érintett csomópontok az útvonalkereső protokoll aktivizálásával újra felderítik a lehetséges útvonalakat. Ez a folyamat ugyan valamelyest növeli a csomagkésleltetést, azonban a hálózat működőképessége továbbra is fennmarad.

A mobil ad hoc hálózatokat funkcionalitásuk szerint 3 fő csoportba soroljuk:

- Vezeték nélküli testen viselt hálózatok (WBANs -Wireless Body Area Networks): Ezt a szabványt az IEEE 802.15.6 munkacsoport felügyeli. Egészségügyi alkalmazásai a legjelentősebbek.
- Vezeték nélküli személyes hálózatok (WPANs -Wireless Personal Area Networks):

A WPAN technológiák segítségével a felhasználók személyes működési környezetükben (POS) használt eszközei (pl. PDA-k, mobiltelefonok és laptopok) ad hoc vezeték nélküli kommunikációra képesek. A POS betűszó a személy legfeljebb 10 méteres környezetét jelöli. Jelenleg a Bluetooth és az infravörös fény a WPAN két legfontosabb technológiája. A WPAN technológiák fejlesztésének szabványosítására az IEEE megalakította a 802.15 munkacsoportot. Ez a munkacsoport fejleszti a WPAN szabványt a Bluetooth 1.0-s verziójú specifikációja alapján. A szabványtervezet elsődleges célkitűzése a kis komplexitás, a kis áramfelvétel, az

együtműködési képesség és a 802.11 hálózatokkal való együttélés. A Bluetooth technológiával a 3.2 fejezet részletesen foglalkozik.

- Vezeték nélküli lokális hálózatok (WLAN – Wireless Local Area Networks):
Ezzel a témakörrel a 3.1 fejezet részletesen foglalkozik

2.1 Útvonalválasztó protokollok

A hagyományos útvonalválasztó protokollokat stabil struktúrával rendelkező hálózatokra tervezték, ezért változtatás nélkül alkalmatlanok a dinamikusan változó struktúrájú ad hoc hálózatokban lévő csomópontok kommunikációjának lebonyolítására. Az ilyen hálózatokban egyre nagyobb számban vannak olyan résztvevők, akik nem birtokolják a szükséges hálózati ismereteket, a rádiós csomópontok megfelelő kialakításához és üzemeltetéséhez szükséges speciális, pl. routolási tudnivalókat.

A problémakör egyik megoldása lehet olyan "kulcsrakész" eszközök kialakítása és forgalmazása, amelyek néhány tipikus szituációt feltételezve "plug and play" megoldásokat kínálnak. A baj az ilyen eszközökkel az, hogy sohasem tudják elég rugalmasan követni a valóságos helyzeteket. A másik gond, a területen tapasztalható gyors fejlődés és változás. Mire kialakítanának, ill. nagyobb számban elterjesztenének ilyen eszközöket, addigra számolni lehet azzal, hogy lényegesen megváltozik az igény és a gyakorlat.

A felhasznált irodalom: [11] és [13]

2.1.1 Proaktív protokollok

Ezen protokollok közös jellemzője, hogy az egyes csomópontok a hálózati topológiát bizonyos időközönként automatikusan felderítik és adminisztrálják. Ez ugyan növeli a hálózati forgalmat, de a hasznos csomag sikeres elküldésének valószínűsége ennek következtében növekszik.

DSDV (Destination Sequenced Distance Vector)

Minden csomópont egy táblázatot kezel, mely sorokat tartalmaz minden más csomópont felé. Minden csomópont közzéteszi saját azonosítóját, számlálóját (amelyet csak ő növel) és táblázatát. Az üzenetek hatására minden csomópont frissíti saját táblázatát (a számláló, ill. a hirdetett távolság alapján). A nagyobb számláló érték elsőbbséget élvez a rövidebb úttal szemben. Erőforrásigénye miatt nem jól skálázható, az aszimmetriát rosszul kezeli (kétirányú kapcsolatokat feltételez).

FSR (Fisheye State Routing)

Olyan állapot-vektor alapú protokoll, amelyben egy csomópont annál kevesebb útvonal-választási adatot tárol egy távoli csomóponttól, minél távolabb van az tőle. A távolságtól függően a hálózatot zónákra osztja. A kapcsolatok változásáról csak bizonyos időközönként küld értesítést, minél távolabbi a zóna, annál ritkábban. Jól kezeli a mobilitást, jól skálázható.

OLSR (Optimized Link State Routing):

Állapot-vektor alapú protokoll, amely az üzenetszórást előre kiválasztott csomópontokon keresztül valósítja meg. Ezeket a csomópontokat minden csomópont a saját környezetéből választja. A megoldás jelentősen csökkenti az útvonalválasztáshoz szükséges üzenetszórás redundanciáját. Teljesen elosztott működésű, sokat hibázó csatorna felett is jól működik.

2.1.2 Reaktív protokollok

Ezen protokollok közös jellemzője, hogy a hálózati topológia felderítése igény szerint történik, amennyiben a célállomás nem található meg az útvonal táblában, illetve megtalálható ugyan, de már elhagyta a hálózatot (a neki szóló csomag fogadásáról nem érkezett nyugtázás).

AODV (Ad-hoc On Demand Vector)

Minden csomópont akkor indítja az útvonal-keresési eljárást, amikor adatot akar küldeni egy, a hálózatban jelen lévő másik csomópont felé. Ezen protokoll nem tetelezi fel az útvonaltábla jelenlétét.

DSR (Dynamic Source Routing)

Az előbbi algoritmus egy továbbfejlesztett formája. Különbség az útvonaltábla jelenlétében rejlik, amit ez az algoritmus szükség esetén használhat az optimális csomagtovábbítás céljából.

TORA (Temporally-Ordered Routing Algorithm)

Az útvonal-felderítés után (amely hasonlít az előbb említett protokollokéhoz) egy speciális, súlyozáson alapuló algoritmus segítségével választja ki az ugrások optimális útvonalát.

2.1.3 Helyzet-alapú útvonalválasztó protokollok

A mobil ad hoc hálózatokra épülő bizonyos alkalmazások (pl. járművek esetében) megkövetelik, hogy a kommunikációban résztvevő csomópontok ismerjék egymás földrajzi helyzetét. Az GPS-vevők árának folyamatos csökkenése alapján várható, hogy a járművek mind nagyobb számban rendelkeznek ilyen vevőkkel, következésképpen saját helyzetükről képesek tájékoztatást adni más csomópontok számára is. Főbb fajtái:

DREAM (Distance Routing Effect Algorithm)

A célcsomóponttól rendelkezésre álló információ határozza meg annak feltételezhető helyzetét, amely alapján ezen irányban történik az adattovábbítás csomóponttól csomópontra.

LAR (Location-Aided Routing):

Útvonal-keresési algoritmus hasonlít a DREAM protokollnál említett algoritmushoz, annyi különbséggel, hogy jelen protokoll két várható továbbítási zónát használ csomagtovábbítás céljára.

LBM (Location Based Multicast)

Multicast adattovábbításhoz használt protokoll, amely a célállomások pozícióiból továbbítási területet határoz meg. Ezen területen kívül eső csomópontok a csomagokat eldobják, csökkentve ezáltal a hálózati terhelést.

Voronoi diagramok:

Ugyancsak multicast adattovábbításhoz használatos protokoll, amely az LBM egy hatékonyabb megvalósítása. A továbbítás/eldobás kérdésének eldöntéséhez a csomópontok

figyelembe veszik azt a szempontot is, hogy a célcsomópontoktól mért távolságnak monoton módon csökkennie kell.

Mesh-based routing:

A csomagtovábbítási fázis előtt egy, az LBM algoritmushoz hasonló felderítést végez egy speciális felderítő-csomaggal, amely alapján az eredetileg küldendő csomag már az optimális útvonalat használja.

GeoGRID:

A hálózatot a lokációs tábla szerint területi egységekre osztja, melyekben egy kitüntetett csomópont végzi az adott területen belül a csomagtovábbítást, mentesítve ezzel a többi csomópontot a fölösleges terheléstől.

2.1.4 Hierarchikus protokollok

A hierarchikus protokollok a hálózati topológia dinamikus változását figyelve és ahhoz alkalmazkodva a kommunikáció során meghatározott rend szerint változtatják az útkeresési algoritmust és az ennek megfelelő útnyilvántartási adminisztrációt.

ZRP (Zone Routing Protocol):

A reaktív és proaktív algoritmusok keveréke. Előzetesen csak a csomópont környezetét (zónáját) térképezi fel, amelyet az egy adott távolságon (hop-számon) belül levő csomópontok alkotnak, de a zónák átlapolódhatnak. Más útvonalválasztó algoritmust használ zónán belül és kívül. Nem támogatja az aszimmetrikus kapcsolatokat, jelentősebb számításigényű, de jól skálázható algoritmus.

CBRP (Cluster Based Routing Protocol):

A hálózatot 2 ugrás sugarú, átfedő vagy különálló fürtökre osztja, melyeknek egy-egy vezetőt választ. Ezek a fürtökhöz tartozó állomások útvonalválasztási adatait kezelik. A megoldással jelentősen csökkenthető az üzenetszórások száma. A kapcsolatszakadásokból eredő hibákat helyben képes kijavítani, az útvonalakat a felderítés után is képes rövidíteni.

LANMAR (Landmark Ad-hoc Routing Protocol):

Az FSR protokoll továbbfejlesztéseként született proaktív protokoll, amely a kapcsolat-állapot és a távolságvektor-alapú protokollok előnyeit egyesíti. A hálózatot lehetőleg együtt mozgó csomópontokból álló alhálózatokra osztja, mindegyikben választanak egy „mérőföldkő” (landmark) csomópontot, amely azonosítja az alhálózatot. Nem terheli a hálózatot, jól skálázható.

HSR (Hierarchical State Routing):

A csomópontokat fürtökbe rendezi, mindegyiknek egy vezetőt választ. A vezetők közül eggyel magasabb szinten újabb fürtöt szervez, és így tovább. A vezető a hozzá tartozó fürt adatait kezeli, így kialakul egy hierarchikus címzés. Minden alhálózatban működik egy útvonalválasztást segítő szervert, amelyek adataikat egymás között kicserélik. Közepesen skálázható.

2.1.5 Flat routing

Flat hálózatokban (mint ahogy neve is mutatja) nincsenek kitéüntetett szerepű csomópontok. A csomópontoknak nincs egyedi azonosítójuk ezért ún. adat központú routing-ot használnak. Ennek lényege, hogy nem egy konkrét csomópontot szólít meg a bázis, hanem egy adott csoportot vagy régiót. A régió azon csomópontjai, melyek rendelkeznek a kért adattal aktívvá válnak és elküldik válaszukat a bázisnak. Irodalmak az adat központú routing esetében a SPIN-t említik meg mint úttörőt, mely bizonyította hogy jelentős sebességnövekedés érhető el negotiation és redundancia vizsgálat segítségével.

2.1.5.1 SPIN

A SPIN (Sensor Protocols for Information via Negotiation) protokollt alkalmazó csomópontok egy meta-adatformátum segítségével leírják a rendelkezésre álló adatokat. A szomszédos csomópontok leegyeztetik ezeket a meta-adatokat egymás közt mielőtt elkezdenék sugározni a kért információt. Így kiküszöbölhető a redundáns küldés és erőforrást lehet megspórolni. SPIN-t használó csomópontok takarékosabban és hatékonyabban tudják ellátni a feladatukat. Az elárasztáson alapuló protokolloknál nagyságrendekkel kisebb sávszélességet használnak.

Három különböző típusú üzenet lehetséges:

- ADV: új adat hirdetése
- REQ: adat kérése
- DATA: aktuális üzenet küldése

A SPIN működése:

Ha egy csomópont új információt szerez, akkor ezt ADV üzenettel teszi közhírré (broadcast-ol egy meta-adatot). Ha egy szomszédnak kell ez az adat akkor REQ-el elkéri majd DATA segítségével meg is kapja. Ezután a fogadó az új adat birtokában szomszédaival közli ADV segítségével, hogy szerzett új adatot stb...

A protokoll pozitívumai közt szokták még megemlíteni, hogy igen hatékonyan követi a hálózat topológiájának megváltozását, melynek oka hogy egy változáskor a csomópontoknak csupán az egy lépésre lévő szomszédokat kell megismerniük.

A felsorolt előnyök mellett ismert hátránya, hogy nem garantált az adat kézbesítése.

3 Wireless szabványok

Az IEEE szervezet számos szabványt dolgozott ki vezeték nélküli adatkommunikációra. ebben a fejezetben az ad-hoc hálózatok szempontjából legjelentősebb 2 szabványt, a Bluetooth és a WLAN-t ismertetem.

3.1 IEEE802.11 (WLAN)

Az IEEE802.11 szabvány általános közeghozzáférés-vezérlést (Medium Access Control) és több fizikai réteget specifikál a vezeték nélküli hálózatokhoz. Az IEEE802.11 munkacsoport jelenleg is aktívan folytatja a szabvány fejlesztését. A felhasznált irodalom [3], [10], [12]

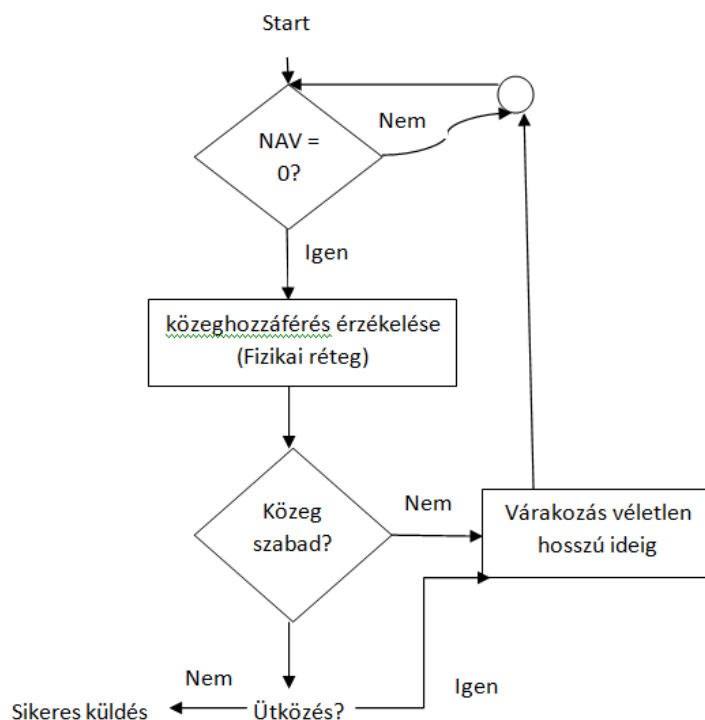
3.1.2 Közeghozzáférés

Az IEEE 802.11 szabvány egyetlen MAC réteget specifikál, amelyik az IEEE 802.11 szabványon alapuló vezeték nélküli lokális hálózat működését segítő feladatokat látja el.

A MAC-réteg a 802.11 állomások (rádió- frekvenciás hálózati interfészkártyák és hozzáférési pontok) között folyó kommunikációt az osztott levegőközeghez való hozzáférés koordinálásával irányítja és tartja fenn. A gyakran a hálózat agyának tekintett 802.11 MAC-réteg valamelyik 802.11 fizikai réteg, például a 802.11a, 802.11b vagy 802.11g fizikai réteg működését irányítja, melynek során érzékeli az átviteli közeget és ellátja a 802.11 keretek elküldésével és fogadásával kapcsolatos feladatokat.

Keret küldése előtt az állomásnak először az átviteli közeget kell hozzáférnie, ami nem más, mint az állomások által közösen használt rádiócsatorna. Az IEEE 802.11 szabvány a közeghozzáférés kétféle formáját definiálja: az egyik az elosztott koordináló tevékenység (distributed coordination function, DCF), a másik a kétpontos koordináló tevékenység (point coordination function, PCF).

3.1.2.1 DCF



1. ábra A DCF működése

A DCF a CSMA/CA (carrier sense multiple access with collision avoidance-vivőérzékelésen alapuló többszörös hozzáférés ütközések kivédésével) protokollon alapul, és implementálása kötelező. A DCF segítségével a 802.11 állomások versengenek a hozzáférésért, és kereteiket csak akkor küldik el, amikor egyetlen más állomás sincs adásban. Ha egy állomás adásban van, a többi állomás addig várakozik, amíg a csatorna fel nem szabadul.

A közeghez való hozzáférés feltételeként a MAC-réteg megvizsgálja a hálózat allokációs vektorának (network allocation vector, NAV) értékét, amely megadja annak az időtartamnak a nagyságát, ami az előző keret elküldéséhez szükséges. Ezt a mértéket minden egyes állomásban egy számláló adja meg. Az állomás csak akkor próbálkozhat keret elküldésével, ha hálózatallokációs vektorának értéke 0. Az állomás a keret elküldése előtt a keret hossza és az adatátviteli sebesség alapján számítja ki a keret küldéséhez szükséges időt, majd ezt az időtartamot reprezentáló értéket a keret fejrésében lévő időtartammezőbe teszi. Amikor az állomások veszik a keretet, megvizsgálják az időtartammező értékét, és ezt

használják saját hálózatallokációs vektoruk értékének beállításához. Ez a mechanizmus az adásban lévő állomás számára biztosítja az átviteli közeg integritását.

A DCF egyik lényeges tulajdonsága, hogy olyan véletlenszerű visszaszámlálót tartalmaz, amelyet az állomások foglalt átviteli közeg érzékelésekor használnak. Ha a csatornát valamelyik állomás éppen használja, a többi állomásnak véletlen hosszúságú ideig várakoznia kell, mielőtt újból megkísérelné az átviteli közeghez való hozzáférést. Ily módon biztosítható, hogy a csatorna felszabadulásakor az adatok továbbítására várakozó állomások ne kezdjenek el egyszerre adni. A véletlen hosszúságú késleltetés miatt az állomások eltérő ideig várakoznak, amivel kiküszöbölhető, hogy az összes állomás pontosan ugyanabban az időpontban vizsgálja meg az átviteli közeget. Ebben az esetben ugyanis az összes állomásnyugalmi állapotban találná a csatornát, ezért adni kezdene, és ez az adások ütközéséhez vezetne. A visszaszámlálónak köszönhetően az ütközések és az azok miatt szükséges újraadások száma lényegesen csökken. Ennek különösen akkor van jelentősége, ha az aktív felhasználók száma nagy.

A rádió alapú lokális hálózatoknál az adóállomás adatküldés közben nem figyel az ütközésekre. Ennek elsődleges oka, hogy az adóállomás keretek továbbítása közben nem tudja használni vevőegységét. Ezért a vevőállomásnak nyugtát kell küldenie, ha azt állapítja meg, hogy az érkező keret hibátlan. Ha az adóállomás meghatározott időn belül nem kap nyugtát, akkor azt feltételezi, hogy ütközés (vagy rádiófrekvenciás interferencia) történt, és az adott keretet újból elküldi.

3.1.2.2 PCF

A karakterek időben korlátozott továbbításának támogatására az IEEE 802.11 szabvány előírja a kétpontos koordináló tevékenység (PCF) opcionális alkalmazását azokra az esetekre, ahol a hozzáférési pont az átviteli közeghez való hozzáférést úgy engedélyezi az adott állomásnak, hogy az ütközésmentes időszakban lekérdezi az állomást. A kereteit csak az az állomás küldheti el, amelyet a hozzáférési pont elsőként kérdezett le. A PCF alapú adatforgalom (amennyiben engedélyezik) a versengési periódusok között felváltva valósul meg.

A hozzáférési pont az állomásokat egy lista alapján lekérdezi, majd versenyeztető üzemmódba kapcsol, amelynek során az állomások a DCF-et használják. Így a szinkron és aszinkron üzemmód egyaránt lehetővé válik.

3.1.3 IEEE 802.11 fizikai réteg

- 2.4 GHz ISM sávban frekvenciaugratásos (FH) szórt spektrumú rádió (pl. Bluetooth)
- 2.4 GHz ISM sávban direct sequence (DS) szórt spektrumú rádió (pl. WLAN)
- Infravörös (IR) fény: nincs szükség közvetlen rálátásra, csak beltérben használható

Az FH rendszer több csatornát biztosít, mint a DS rendszer, így a frekvenciaugratásos rendszer jobban alkalmazható sűrű környezetben, ahol a cellák sok más cellával átfedik egymást. Az FH rendszernél az interferencia csak egy egységnyi ideig tapasztalható. DS rendszernél az interferencia energia csak egy része érezhető, az viszont folyamatosan. Ha az interferencia magas, akkor az FH jobb, mint a DS, míg alacsony interferencia esetén a DS jobb, mint az FH.

3.1.3.1 Az eredeti IEEE 802.11 szabvány

Az eredeti, 1997-ben elfogadott IEEE 802.11 szabvány frekvenciaugrásos szórt spektrumú (FHSS) és direkt sorozatú szórt spektrumú (DSSS) fizikai réteget tartalmaz, amelynek a 2,4 GHz-es sávban maximum 2 Mb/s adatátviteli sebesség mellett működnek. Az FHSS szélessávú jelet továbbít, amely a teljes 2,4 GHz-es sávot fedi. Így lehetővé válik, hogy az FHSS hozzáférési pontokat akár 15 különböző, egymással nem interferáló ugrási mintára hangolják, tehát akár 15 FHSS hozzáférési pont is hatékonyan működhet ugyanazon a területen.

Mivel az IEEE 802.11 FHSS fizikai réteg jelenlegi változatánál a maximális adatátviteli sebesség csak 2 Mb/s, kevés cég kínál FHSS alapú megoldást a beltéri vezeték nélküli lokális hálózathoz. Ma már ugyanis sokkal gyorsabb vezeték nélküli lokális hálózatok is kiépíthetők; ilyen például az IEEE 802.11a, az IEEE 802.11b vagy az IEEE802.11g szabványon alapuló hálózat. Ráadásul az FHSS ugyanakkor előnyös megoldást jelent kültéri, pont-többpont rendszerek esetén. Ennek oka: az FHSS kevésbé érzékeny a szabadban esetleg kialakuló rádiófrekvenciás interferenciára.

Az IEEE 802.11 DSSS fizikai réteg is legfeljebb 2 Mb/s adatátviteli sebességet biztosít, ez a réteg azonban képes együttműködni az újabb IEEE 802.11b fizikai réteggel. Így a laptopjában 802.11 DSSS rádiófrekvenciás hálózati interfészkartyával rendelkező felhasználó kapcsolatot tud teremteni a 802.11b hozzáférési ponttal. Ez az eset azonban aligha következik be, mivel a 802.11 DSSS rádiófrekvenciás hálózati interfészkartyát már nem forgalmazzák.

3.1.3.2 Az IEEE 802.11a

Az IEEE 1999 végén kiadta a 802.11a szabványt, amely az 5 GHz-es sávban, legfeljebb 54 Mb/s adatátviteli sebesség mellett ortogonális frekvenciaosztásos multiplexelés (OFDM) alkalmazásával működő fizikai réteget definiál. Azonban ilyen termékek 2000-ig nem kerültek piacra, elsősorban az 5 GHz-es sávban működő áramkörök kifejlesztése során felmerülő nehézségek miatt.

Az IEEE 802.11a fizikai réteg legfeljebb 54 Mb/s adatátviteli sebességgel, ortogonális frekvenciaosztásos multiplexeléssel, a tényleges adatátviteli sebességtől függően legfeljebb közel 30 m hatótávolságon belül, az 5 GHz-es sávban működik.

Az IEEE 802.11a szabvány egyik nagy előnye, hogy a 12 különálló, nem átlapolódó csatornának köszönhetően a lehető legnagyobb csatornakapacitást biztosítja. Emiatt nagy sűrűségű felhasználói területeken és nagyobb teljesítményű alkalmazásoknál- például videoletöltésnél- előnyösen használható. Az IEEE802.11a szabvány nemcsak az IEEE 802.11b szabványt teljesíti túl, hanem még az IEEE 802.11g szabványban meghatározott csatornakapacitásnál is nagyobbval rendelkezik.

További előny, hogy az 5 GHz-es sáv még nem telített. Így nagyobb teljesítményszint elérése válik lehetővé a felhasználók számára. A legtöbb interferáló eszköz- például a mikrohullámú sütő és a vezeték nélküli telefon- ugyanis a 2,4 GHz-es sávban működik. A rádiófrekvenciás interferencia fellépésének kisebb veszélye miatt a vezeték nélküli lokális hálózat alkalmazása kevésbé kockázatos az 5 GHz-es sávban.

Az IEEE 802.11b szabvány egyik alapvető problémája a korlátozott hatótávolság, különösen a magasabb, 5 GHz-es frekvenciasávban való működés miatt. A legtöbb épületben 54 Mb/s adatátviteli sebesség mellett a hatótávolság 30 méternél kisebb. Emiatt az épületek teljes lefedéséhez több hozzáférési pontra van szükség, mint a 802.11b hálózatban

3.1.3.3 Az IEEE 802.11b

Az IEEE 802.11b szabványt a 802.11a szabvánnyal együtt fogadta el. Az IEEE 802.11b az eredeti közvetlen sorozatú szórt spektrumú szabvány nagyobb sebességű kiterjesztése a 2,4 GHz-es sávra, amely maximum 11 Mb/s adatátviteli sebességet tesz lehetővé. A 802.11b szabvány szerint működő hozzáférési pontok és rádiófrekvenciás interfészkártyák 1999 óta kaphatók, tehát a jelenleg működő legtöbb vezeték nélküli lokális hálózat már 802.11b-kompatibilis.

Az IEEE 802.11b szabvány egyik nagy előnye, hogy viszonylag nagy hatótávolsággal rendelkezik. A 802.11b hálózat a legtöbb, épületen belüli alkalmazásnál akár 100 méter távolságot is áthidalhat. A nagy hatótávolságnak köszönhetően az ilyen szabványon alapuló vezeték nélküli lokális hálózatnak az épület lefedéséhez kevesebb hozzáférési ponttal kell rendelkeznie, mint az IEEE 802.11a szabványon alapuló hálózatnak.

Az IEEE802.11b szabvány hátránya, hogy a 2,4 GHz-es sávban mindössze három, nem átlapolódó csatornát biztosít. Az IEEE 802.11 szabvány 14 csatornát (az Egyesült Államokban csak az 1- 11. csatornát) biztosít hozzáférési pontok kialakítására, azonban a jelek továbbításakor mindegyik csatorna a teljes 2,4 GHz-es sávnak csak egyharmadát használja ki. Hogy a hozzáférési pontok ne interferáljanak egymással, sok vállalat csak az 1-es, 6-os és 11-es csatornát használja. Ez azonban a 802.11b hálózat teljes kapacitását erősen korlátozza, tehát ez a szabvány elsősorban közepes teljesítményű alkalmazások-például elektronikus levelezés vagy internetes böngészés- számára alkalmas.

További hátrány, hogy érzékeny a más rádiófrekvenciás eszközökből származó interferenciára. Például egy 2,4 GHz-es, vezeték nélküli telefon erősen interferálhat a 802.11b vezeték nélküli lokális hálózattal, ami a felhasználók számára rendelkezésre álló hálózati teljesítményt jelentősen csökkenti. A 2,4 GHz-es sávban működő mikrohullámú sütők és más eszközök szintén okozhatnak interferenciát.

3.1.3.4 Az IEEE802.11g

Az IEEE 2003-ban fogadta el a 802.11g szabványt, amely kompatibilis az IEEE 802.11b szabvánnyal, és OFDM-moduláció alkalmazásával az adatátviteli sebességet a 2,4 GHz-es sávban 54 Mb/s-ra növeli.

At IEEE 802.11g szabvány nagy előnye, hogy lefelé kompatibilis az IEEE 802.11b szabvánnyal. A 802.11b hálózattal rendelkező vállalatok a tárolt programok egyszerű frissítésével tudják hozzáférési pontjaikat 802.11g- kompatibilissé tenni. Ez a vezeték nélküli lokális hálózat hatékony átalakítását teszi lehetővé. Problémát jelent azonban, hogy 802.11g környezetben a 802.11b klienseszközök jelenléte olyan védelmi mechanizmusokat tesz szükségessé, amelyek a teljes vezeték nélküli hálózat teljesítményét korlátozzák. A probléma forrása, hogy a 802.11b eszközök, az eltérő modulációs eljárás miatt, nem értik meg a 802.11g eszközök adását. Ezért mindkét típusú eszköznek egy kölcsönösen érthető modulációs eljárás alkalmazásával jeleznie kell a másik felé az átviteli közeg használatának szándékát.

Az IEEE 802.11b szabvány hátrányai, például a rádiófrekvenciás interferenciára való érzékenység és a három, nem átlapolódó csatornából adódó korlátok, megjelennek a 2,4 GHz-es sáv használata miatt az IEEE 802.11g szabványnál is. Ezért a 802.11g hálózat kapacitása a 802.11a hálózathoz képest korlátozott.

3.1.3.5 Az IEEE802.11n

A Wireless N technológia az alap 802.11 szabvány kiterjesztése a MIMO-val (Multiple In, Multiple Out). A MIMO egy többantennás rendszer, amely ellentétben a normál vezeték nélküli hálózatokhoz képest nem zavarodik össze a visszavert jelektől, hanem ellenkezőképpen a reflektált jeleket felhasználva kiterjeszti a hatósugarat, és csökkenti az elérhetetlen pontokat. Így a jel akár négyszer távolabb eljut, mint a Wireless G szabvány jelei. MIMO Spatial Division Multiplexing egy absztrakt matematikai modell a több antennából álló rendszerek számára. Ezt szokás intelligens smart antennáknak is nevezni. Az adónak és a vevőnek is több antennája van. Több antennán megy végbe az adás és a vétel egy időben. Ez a megoldás lehetővé teszi a valós 315 Mbit/s-os sebességet, két antenna között.

A szabvány OFDM-et használ. Az OFDM rendszerekben egy 10, 20, vagy 40MHz-es nagysebességű vivőt 52 szubvivőre osztanak, 300KHz-es távolságokban elhelyezve ezeket. Ezek egymással parallel módon, tehát egy időben kerülnek átvitelre. Ebből az 52 szubvivőből 48 szolgál adatok szállítására, a fennmaradó négyet pedig a vevők fázis szinkronizációjára használják. Ezt a megoldást COFDM-nek (COFDM - Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing - kódolt ortogonális frekvenciaosztásos multiplexálás) hívják.

Protokoll	Megjelenés éve	Frekvencia (GHz)	Moduláció	Sebesség (Mbit/s)	Hatótáv. beltérben (m)	Hatótáv. kültérben (m)
802.11	1997	2.4	DSSS	2	20	100
802.11a	1999	5	OFDM	54	35	120
802.11b	1999	2.4	DSSS	11	38	140
802.11g	2004	2.4	OFDM	54	38	140
802.11	2009	2.4, 5	OFDM	315	70	250

1. táblázat Az IEEE802.11 szabványok összehasonlítása

3.2 A Bluetooth

A Bluetooth szabványt számos cég, többek között az Ericsson, az IBM, az Intel, a Nokia és a Toshiba együttműködésének eredményeként 1998-ban adták ki. Az együttműködés célja olyan megoldás kidolgozása volt, amely számítástechnikai eszközök vezeték nélkül történő összekapcsolását teszi lehetővé. A Bluetooth, amely valójában csak specifikáció és nem szabvány, ideális kis távolságú, kis teljesítményű és olcsó rádióhullámú összekötést létesítő, kisméretű eszközök számára. A 802.15 csoport Bluetooth-t választotta az IEEE802.15.1 szabvány alapjául. A felhasznált irodalom [3], [9] és [12]

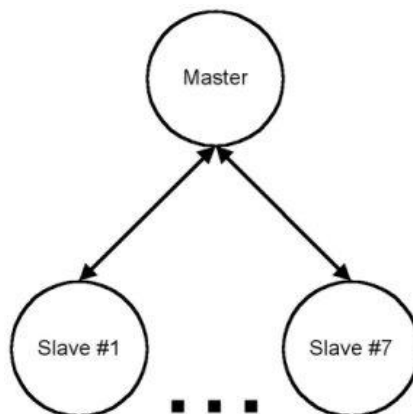
3.2.1 A szabvány elemei

A Bluetooth Special Interest Group (SIG) 1999 közepén adta ki a specifikáció első változatát. Azóta többször módosították, de a műszaki jellemzők lényegében azonosak maradtak. A technológia a nem kiadható ipari, tudományos és egészségügyi (ISM – Industrial, Scientific, Medical) globális frekvenciát használja, a 2,402 és 2,480 gigahertzes frekvenciasávban. A rádiós kapcsolat számára fenntartott frekvenciasávot 79 darab 1 MHz-es csatornára osztották fel (azonban egyes országokban ez 23 csatornára korlátozódik az alkalmazható frekvenciasávok nemzeti korlátozása miatt). Az adóteljesítmény általában 1 milliwatt (0 dBm), és maximum 100 milliwattig (20 dBm) növelhető. Hatótávolsága 1 milliwatt teljesítménynél 10 méter, a 100 milliwatt teljesítménnyel a hatótávolság 100 méter fölé növelhető a terepviszonyoktól függően.

Minden egyes adatcsomag más-más csatornán utazik. A bluetooth rendszer fizikai csatornája időrésekre van osztva, ahol minden egyes időrés egy-egy rádiófrekvenciának felel meg, értékük minden időrésben más és más. Ez összességében 1600 frekvenciaváltást jelent másodpercenként, ami lényegesen gyorsabb, mint az IEEE802.11 szabványnál alkalmazott frekvenciaugrás.

Az egységek ad hoc módon, point-to-point vagy point-to-multipoint rendszerrel kapcsolódhatnak egymáshoz, könnyen csatlakoztathatók vagy éppen vonhatók ki a rendszerből. Kettő vagy több közös csatornát használó Bluetooth egység már egy apró hálózatot alkot. Több ilyen apró hálózatot lehet létrehozni és egymáshoz kötni, amelyek hatótávolságon belül külön-külön is tudnak működni. A csatornák forgalmának szabályozása

érdekében az apró hálózat egyik tagja mesterré (master) lép elő, míg a többi egység szolgává (slave) válik. Ez készülékfüggetlen, bármelyik eszköz lehet mester vagy szolga, sőt a kapcsolat felépítése után a mester-szolga szerep fel is cserélődhet. A jelenlegi technológiai leírás szerint egy mesterrel hét szolga kommunikálhat. A szolgák közvetlenül nem kommunikálhatnak egymással. Az így egymáshoz csatlakozott eszközök ún. Picohálózatot hoznak létre.



2. ábra A picohálózat

A hatótávolságon belül tartózkodó mestereken keresztül a picohálózatok összekapcsolhatók, amelyek átjáróként funkcionálnak. A picohálózatok összekapcsolásával ún. scatternet jön létre. A scatternetben résztvevő picohálózatokat összekapcsoló eszközök a főlérendelt, „szülő” picohálózatban szolgaként, míg az alárendelt, „gyermek” picohálózatban mesterként szerepelnek. Az adatkommunikáció időosztásos elven valósul meg.

A mester és a szolgák között kétféle kapcsolat lehet:

- kapcsolat alapú szinkron (SCO - Synchronous Connection Oriented): Az SCO pont-pont kapcsolat a mester és a kiválasztott szolga között. Alkalmas valós idejű hangátvitelre, mert előre lefoglal bizonyos időréseket a csatornán. A mester egyszerre három SCO kapcsolatot tud kezelni egy vagy több szolgálal. Egy SCO Hiba esetén az SCO kapcsolat csomagjait nem ismétlik meg. Az adatátviteli sebesség 64Bb/s mindkét irányban.
- kapcsolat nélküli aszinkron (ACL - Asynchronous Connection-Less): A fennmaradó, az SCO kapcsolat (kapcsolatok) által el nem foglalt keretek használhatók az ACL kapcsolathoz. Az ACL kapcsolatban nincsenek előre lefoglalt

keretek, az adott keretben annak a szolgának van joga csomagot küldeni, amelyiket az adott keretben küldött csomagjával a mester éppen megszólítja.

3.2.2 Biztonság

A technológia működésének ismeretében elvileg könnyedén el lehetne hallgatni a levegőben közlekedő adatokat, azonban a szabvány megalkotói erre is gondoltak. A dolog egyik része rendkívül egyszerű: minden Bluetooth eszköz rendelkezik egy PIN-kóddal, ami komolyabb eszközök esetén minden esetben a felhasználó által beállítható számsor, és csak akkor jöhet létre két eszköz között a kapcsolat, ha mindketten ugyanazt a PIN-kódot állították be. A biztonság másik eleme a titkosítás. A titkosítási kulcs hossza 40 vagy 64 bites lehet.

3.2.3 A szabvány változatai

Az első bluetooth egységek 1999 őszén kerültek forgalomba, azonban a különféle gyártók által készített bluetooth eszközök nem bizonyultak kompatibilisnek egymással. A szabvány specifikációja ugyanis hiányos és számos olyan részletet rejt, amely nem lett megfelelően meghatározva.

Az 2002-ben megjelenő 1.1 változat megoldott több - inkompatibilitási és egyéb - problémát, azonban még messze nem volt tökéletes.

A Bluetooth 1.2 szabvány végleges változata 2003 novemberében készült el, és számos új szolgáltatást foglalt magába. Ezek szerint a Bluetooth 1.2 kompatibilis eszközök nagyobb adatátviteli sebességgel tudnak egymással kommunikálni, az adaptív frekvencia megválasztásnak köszönhetően pedig csökken a közöttük fellépő interferencia.

2004 őszén hivatalosan nyilvánosságra hozták a legújabb bluetooth specifikációt (Bluetooth Core Specification Version 2.0 + EDR), amely az előző technológiánál háromszor nagyobb sávszélességet (3 Mbps), illetve akár 50 %-kal kisebb energiafogyasztást biztosít. Visszamenőlegesen kompatibilis a korábbi szabványt használó készülékekkel, a nagyobb sávszélességnek köszönhetően pedig nemcsak gyorsabb adatátvitelt, hanem több bluetooth eszköz szimultán használatát is lehetővé teszi.

A Bluetooth SIG 2009 áprilisában tette elérhetővé a Bluetooth 3.0 specifikáció végleges változatát. A WLAN és Bluetooth 2.1 szabványokból építkező új átviteli megoldás nagyobb fájlok átvitelekor automatikusan képes lesz WLAN-ra váltani, ha azt mindkét eszköz támogatja. Néhány rendkívül kevés energiát igénylő profil is bekerült a specifikációba. Az EPC (Enhanced Power Control - kiterjesztett energiagazdálkodás) segítségével elkerülhető lesz a párosított eszközök véletlenszerű szétkapcsolódása, illetve közeli eszközök esetén a feleslegesen nagy adóteljesítmény is elkerülhetővé válik.

4. Az IEEE 802.11 hálózatok modellezése

Ebben a fejezetben a vezeték nélküli hálózatok hatékonyságával foglalkozunk. A matematikai modell segítségével elemzéseket végzünk, melyek segítségével olyan kérdésekre keressük a választ, hogy mekkora a hálózat áteresztő képessége, és a paraméterek megfelelő változtatásával hogyan növelhető a hatékonyság.

4.1 A DCF hatékonyság-analízise

Ebben a szakaszban a 3.1.2.1. fejezetben ismertetett Distributed Coordination Function (DCF) hatékonyságával foglalkozunk. A felhasznált irodalom [1].

4.1.1 A rendszer modellje

Az állomások aktívak vagy inaktívak lehetnek. Az inaktív állomások exponenciális eloszlású várakozási idő után küldenek üzenetet. Az üzenetek geometriai eloszlású számú csomagból állnak, melynek várható értéke $1/q$. Egy üzenet továbbításához szükséges idő (azaz a kiszolgálási idő) exponenciális eloszlású μ paraméterrel. A kiszolgálás véletlenszerűen történik: ha a kiszolgálás megtörtént, ugyanakkora esélye van minden állomásnak, hogy sorra kerüljön.

Folytonos idejű háromdimenziós Markov-láncok segítségével modellezzük a rendszert. Legyenek $X(t)$, $Y(t)$ véletlen változók, jelöljék ezek az 1-es és 2-es típusú aktív állomások számát a t időpillanatban. Bevezetünk egy újabb véletlen változót $K(t)$ -t, ami az aktív állomások típusát jelöli. Az $\{X(t), Y(t), K(t)\}$ folyamatnak megfelel egy folytonos idejű háromdimenziós Markov-lánc, ami az alábbi halmazból vehet fel értékeket:

$$S = \{(i,j,k) \mid 0 \leq i \leq N_1, 0 \leq j \leq N_2, k \in \{1,2\}\}$$

Megjegyezzük, hogy az $(i,0,2)$ és a $(0,j,1)$ állapotok nem fordulhatnak elő. Ha egyetlen állomás sincs szolgálatban (ami csak akkor lehetséges, ha nincs aktív állomás), a k értéke tetszőleges. Ekkor a 3. paraméter elhagyható (pl. $(0,0)$).

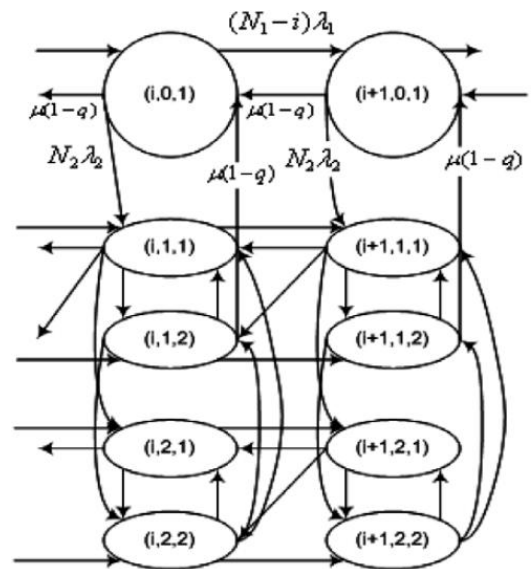
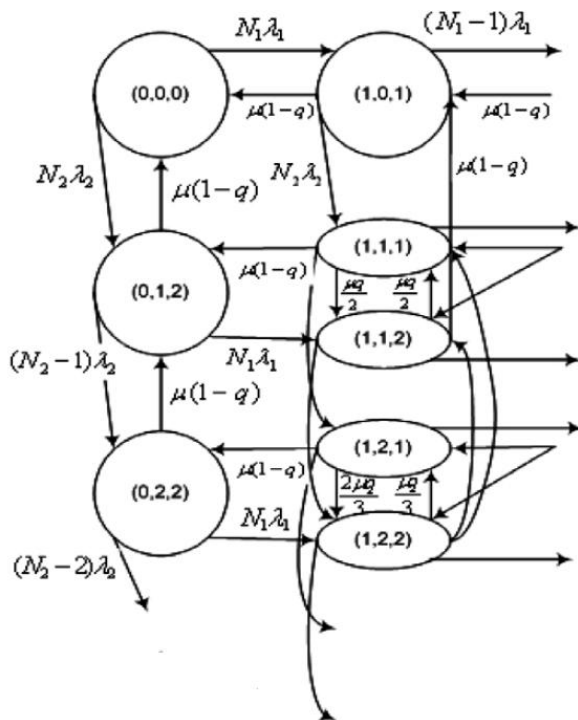
Jelölje $q_{(i_1,j_1,k_1),(i_2,j_2,k_2)}$ az (i_1,j_1,k_1) állapotból a (i_2,j_2,k_2) állapotba való átmenet valószínűségét. Ekkor az átmeneti valószínűségek:

$$q_{(1,0,1),(0,0)} = q_{(0,1,2),(0,0)} = \mu(1 - q)$$

$$q_{(i,0,1),(i-1,0,1)} = q_{(0,j,2),(0,j-1,2)} = \mu(1 - q) \quad \forall i, j \geq 1$$

$$q_{(i,j,X),(i+1,j,X)} = (N_1 - i)\lambda_1 \quad \forall 0 \leq i \leq N_1 - 1, X \in \{1,2\}$$

$$q_{(i,j,X),(i,j+1,X)} = (N_2 - j)\lambda_2 \quad \forall 0 \leq j \leq N_2 - 1, X \in \{1,2\}$$



$$q_{(i,j,1),(i,j,2)} = \frac{j}{i+j} \mu q \quad \forall i, j \geq 1$$

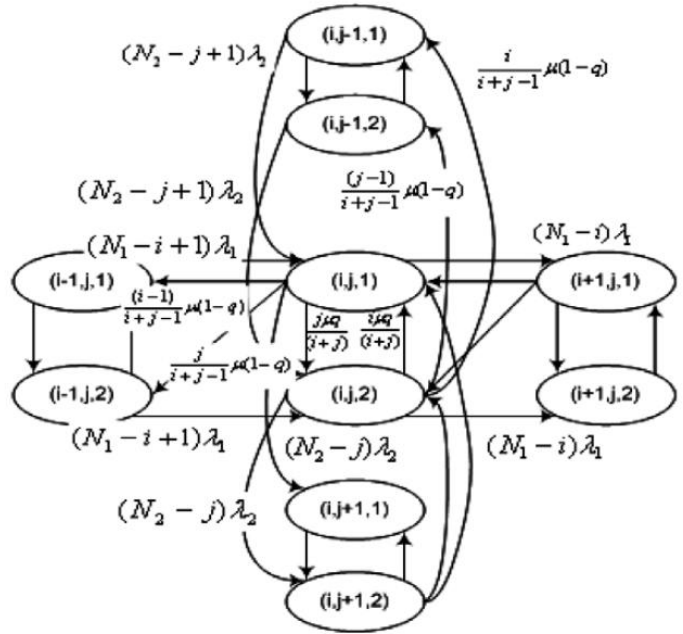
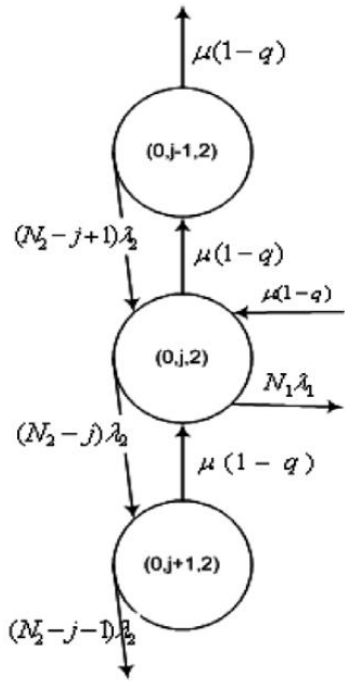
$$q_{(i,j,2),(i,j,1)} = \frac{i}{i+j} \mu q \quad \forall i, j \geq 1$$

$$q_{(i,j,1),(i-1,j,1)} = \frac{i-1}{i+j-1} \mu(1-q) \quad \forall i, j \geq 1$$

$$q_{(i,j,1),(i-1,j,2)} = \frac{j}{i+j-1} \mu(1-q) \quad \forall i, j \geq 1$$

$$q_{(i,j,2),(i,j-1,1)} = \frac{i}{i+j-1} \mu(1-q) \quad \forall i, j \geq 1$$

$$q_{(i,j,2),(i,j-1,2)} = \frac{i-1}{i+j-1} \mu(1-q) \quad \forall i, j \geq 1$$



Egyéb állapotátmenetek nem megengedettek.

A folyamat stacionárius eloszlása legyen:

$$\pi_{(i,j,k)} \equiv \lim_{t \rightarrow \infty} P\{X(t), Y(t), K(t)\} = (i, j, k)$$

Ekkor a normalizáló feltételünk: $\sum_{(i,j,k)} \pi_{(i,j,k)} = 1$, ahol

$$\pi_{(0,0)} = \left(1 + \sum_{(i,j,k) \neq (0,0,0)} \left(\frac{\lambda_1}{\mu(1-q)} \right)^i \left(\frac{\lambda_2}{\mu(1-q)} \right)^j \binom{N_1}{i} \binom{N_2}{j} (i+j-1)! \Gamma(i, j, k) \right)^{-1} \quad \forall (i+j) \geq 1$$

$$\pi_{(i,j,k)} = \pi_{(0,0)} \left(\frac{\lambda_1}{\mu(1-q)} \right)^i \left(\frac{\lambda_2}{\mu(1-q)} \right)^j \binom{N_1}{i} \binom{N_2}{j} (i+j-1)! \Gamma(i,j,k) \quad \forall (i+j) \geq 1$$

$$\text{Ahol } \Gamma(i,j,k) = \begin{cases} i, & \text{ha } k = 1 \\ j, & \text{ha } k = 2 \end{cases}$$

Így tehát visszavezethető kétdimenziós Markov-láncre. Az aktív állomások számának eloszlása (típustól függetlenül):

$$\pi_{(i,j)} = \pi_{(i,j,1)} + \pi_{(i,j,2)} = \pi_{(0,0)} \left(\frac{\lambda_1}{\mu(1-q)} \right)^i \left(\frac{\lambda_2}{\mu(1-q)} \right)^j \binom{N_1}{i} \binom{N_2}{j} (i+j)!$$

Legyen $N(t) = X(t) + Y(t)$ az összes aktív állomás száma a t időpillanatban.

Ekkor $\pi_n \equiv \lim_{t \rightarrow \infty} P\{N(t) = n\}$ ahol

$$\pi_n = \sum_{l=0}^n \pi_{(l,n-l)} = \frac{n! \pi_{(0,0)}}{(\mu(1-q))^n} \sum_{l=0}^n \lambda_1^l \lambda_2^{n-l} \binom{N_1}{l} \binom{N_2}{n-l}$$

Ha $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda$, azaz beérkezési intenzitások megegyeznek

$$\pi_n = \pi_0 \left(\frac{\lambda}{\mu(1-q)} \right)^n \frac{(N_1 + N_2)!}{(N_1 + N_2 - n)!}$$

$$\text{ahol } \pi_0 = \left(\sum_{l=0}^{N_1 + N_2} \left(\frac{\lambda}{\mu(1-q)} \right)^l \frac{(N_1 + N_2)!}{(N_1 + N_2 - l)!} \right)^{-1}$$

4.1.2 A rendszer teljesítményének elemzése

Ezek után könnyen megkaphatjuk mindkét típusú aktív állomás számának eloszlását.

$$\pi_i^x \equiv \lim_{t \rightarrow \infty} P\{X(t) = i\} = \pi_{(0,0)} \left(\frac{\lambda_1}{\mu(1-q)} \right)^i \binom{N_1}{i} \theta_2(i)$$

$$\pi_j^y \equiv \lim_{t \rightarrow \infty} P\{Y(t) = j\} = \pi_{(0,0)} \left(\frac{\lambda_2}{\mu(1-q)} \right)^j \binom{N_2}{j} \theta_1(j)$$

$$\text{ahol } \theta_1(j) \equiv \sum_{i=0}^{N_1} i \left(\frac{\lambda_1}{\mu(1-q)} \right)^i \binom{N_1}{i} (i+j)!$$

$$\text{és } \theta_2(i) \equiv \sum_{j=0}^{N_2} j \left(\frac{\lambda_2}{\mu(1-q)} \right)^j \binom{N_2}{j} (i+j)!$$

Ezekből megkaphatjuk az aktív állomások számának várható értékeit a következőképpen:

$$E[\pi_i^x] = \pi_{(0,0)} \sum_{i=0}^{N_1} i \left(\frac{\lambda_1}{\mu(1-q)} \right)^i \binom{N_1}{i} \theta_2(i) \text{ és}$$

$$E[\pi_j^y] = \pi_{(0,0)} \sum_{j=0}^{N_2} j \left(\frac{\lambda_2}{\mu(1-q)} \right)^j \binom{N_2}{j} \theta_1(j)$$

Az $N_1 - E[\pi_i^x]$ és az $N_2 - E[\pi_j^y]$ az adott típusú inaktív állomások átlagos száma. A rendszer áteresztő képessége a következőképpen számítható ki:

$$\gamma = \lambda_1(N_1 - E[\pi_i^x]) + \lambda_2(N_2 - E[\pi_j^y])$$

$E[D]$ jelölje egy állomás átlagos várakozási ideje üzenetküldés előtt. A Little-formula alapján:

$$E[D] = \frac{E[\pi_i^x] + E[\pi_j^y]}{\gamma}$$

Legyenek D_1 és D_2 átlagos késleltetések az egyes állomástípusokhoz. A késleltetési idők várható értékei:

$$E[D_1] = \frac{E[\pi_i^x]}{\gamma_1}$$

$$E[D_2] = \frac{E[\pi_j^y]}{\gamma_2}$$

$$\text{ahol } \gamma_1 = \lambda_1(N_1 - E[\pi_i^x]) \text{ és } \gamma_2 = \lambda_2(N_2 - E[\pi_j^y])$$

Vizsgáljuk meg a tétlen és a forgalmas periódusok eloszlását. A tétlen és forgalmas periódusok sorozata egy születési-kihalási folyamat:

$$\pi_{(0,0)} = \frac{E[I]}{E[B] + E[I]}$$

ahol I a tétlen, B pedig a forgalmas periódus hossza. A tétlen periódus kezdetén N_1 inaktív állomás az egyik és N_2 inaktív a másik típusú állomásból. A következő forgalmas periódusig eltelt idő exponenciális eloszlású $N_1 \lambda_1 + N_2 \lambda_2$ paraméterrel.

$$E[I] = \frac{1}{N_1 \lambda_1 + N_2 \lambda_2}$$

$$E[B] = (1 - \pi_{(0,0)}) \frac{1}{(N_1 \lambda_1 + N_2 \lambda_2) \pi_{(0,0)}}$$

4.1.3 Esettanulmányok

[3]-ban a szerzők a modell felépítése után esettanulmányokat végeztek, annak vizsgálatára, hogy hogyan viselkedik a rendszer különböző paraméterek esetén.

Legyenek λ_1 és λ_2 beérkezési intenzitások, fix $N_1 + N_2$ méretű hálózatban. A forgalom intenzitása: $\Lambda = N_1 \lambda_1 + N_2 \lambda_2$

Két különböző méretű hálózatot teszteltek 2 különböző terheltség mellett. A terheltséget a

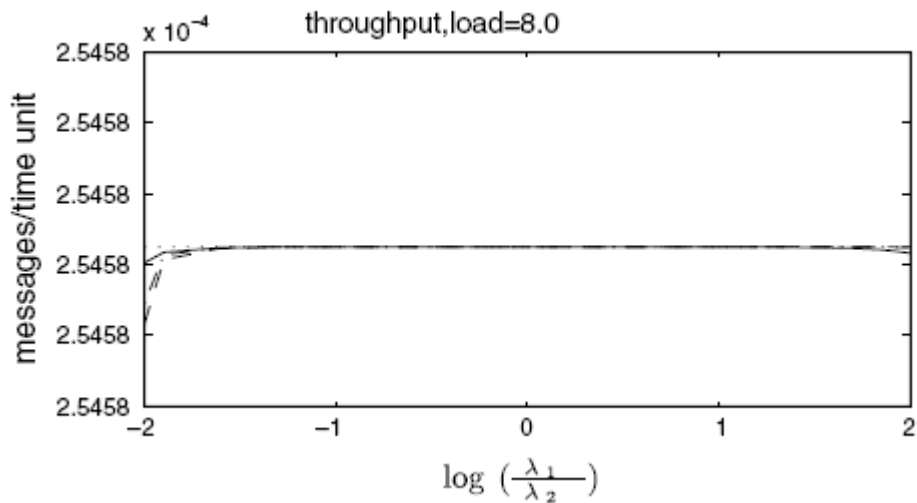
$$\Lambda / (\mu(1 - q)) \text{ képlettel számolták ki.}$$

A késleltetést ($E[D]$), az áteresztő képességet és a forgalmas periódus várható értékét ($E[B]$) ábrázolták a beérkezési intenzitások arányának, $R = \lambda_1/\lambda_2$ függvényében. (1. és 2. függelék)

Esőként egy 10 állomást tartalmazó hálózatot vizsgáltak, majd egy 25 méretűt. Mindkettőt alacsony (0.25) és magas (8.0) terheltségénél is megvizsgálták. A kisebbik hálózat kiszolgálási intenzitása $\mu_1 = 1/197.6$, a nagyobbiké pedig $\mu_2 = 1/196.4$.

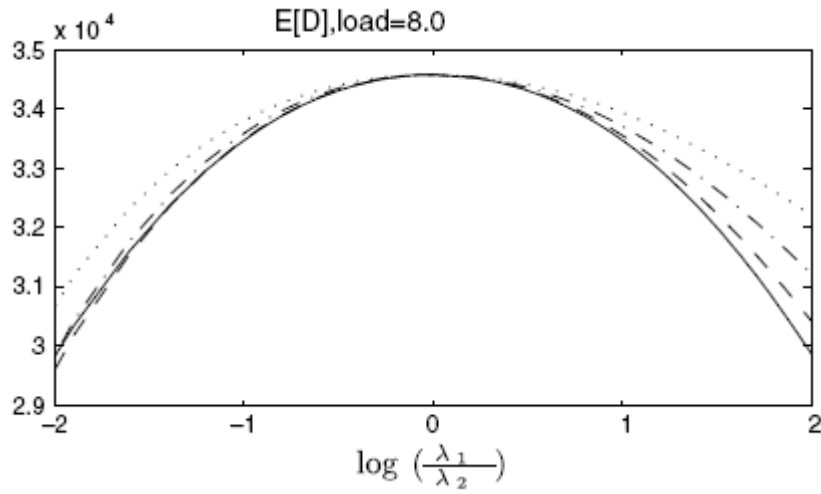
A három vizsgált paraméter akkor ért el nagyobb értéket, ha a beérkezési intenzitások értéke közel volt egymáshoz ($\lambda_1 \approx \lambda_2$).

Ahogy a 3. ábrán is látható, a legnagyobb terhelésnél és a legnagyobb hálózatméretnél (8.0 és 25) az áteresztő képesség lényegében elérte felső határát (ami $\mu(1 - q)$ -val egyenlő).



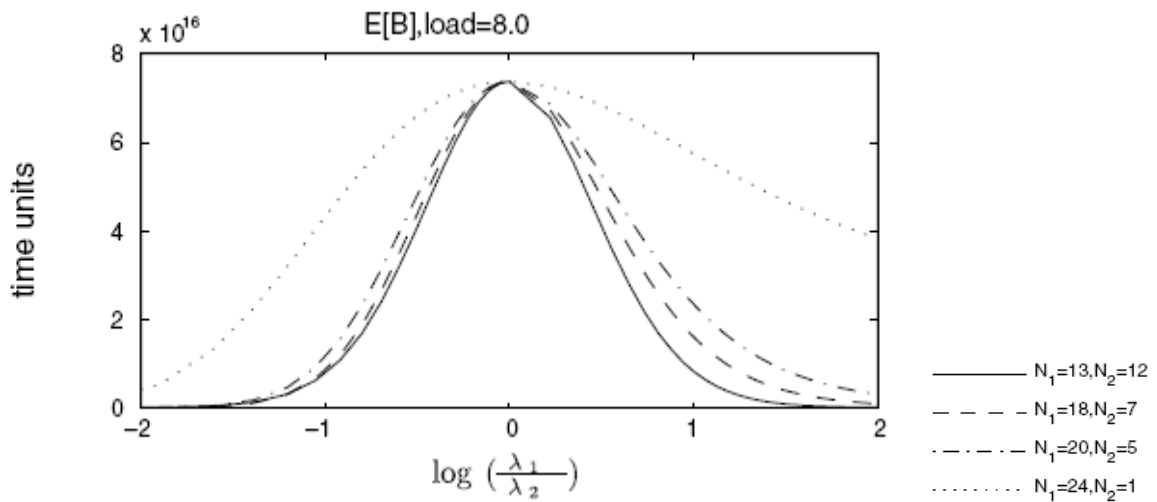
3. ábra

Ezzel szemben $E[D]$ értéke jóval a maximális értéke $((N_1 + N_2) / (\mu(1 - q)))$ alatt marad még akkor is ha az $R=1$. (4. ábra)



4. ábra

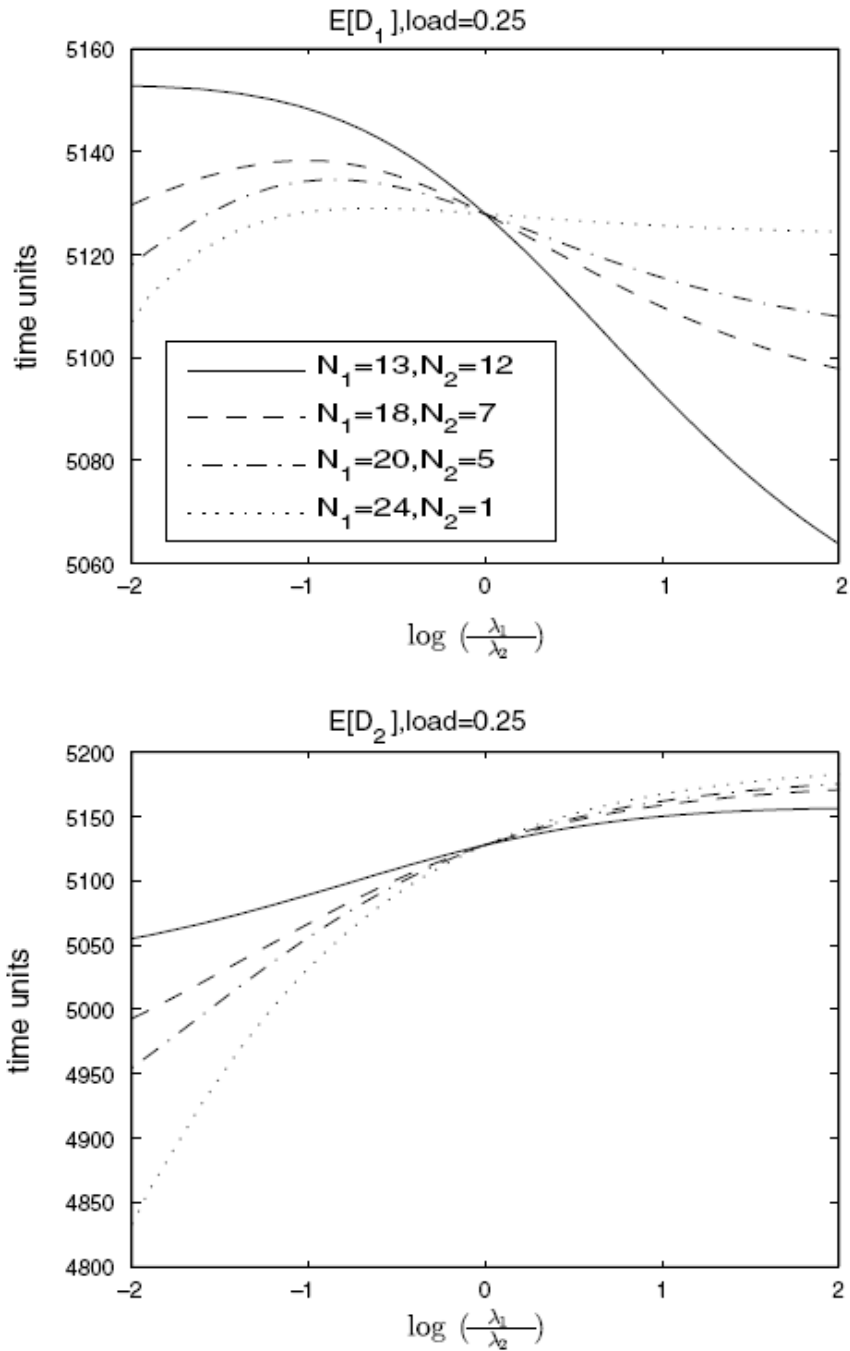
A késleltetési időt ($E[B]$) nézve szembeötlő, hogy a közel homogén hálózat (pl $N_1 = 24, N_2 = 1$. pontozott vonallal rajzolva) a legstabilabb, azaz sokkal kevésbé érzékeny a beérkezési intenzitás változására. (5. ábra)



5. ábra

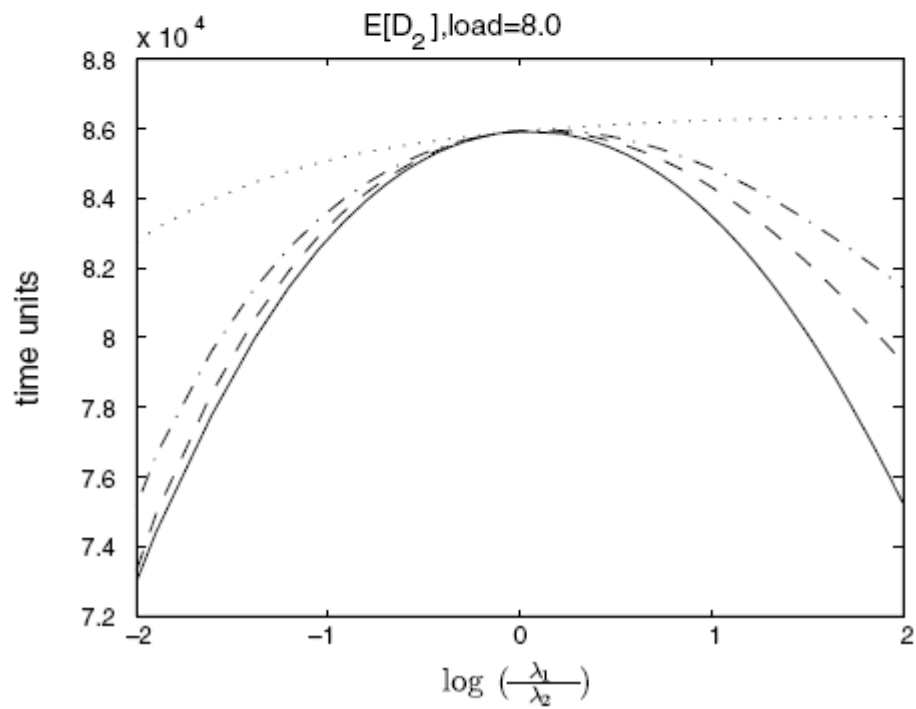
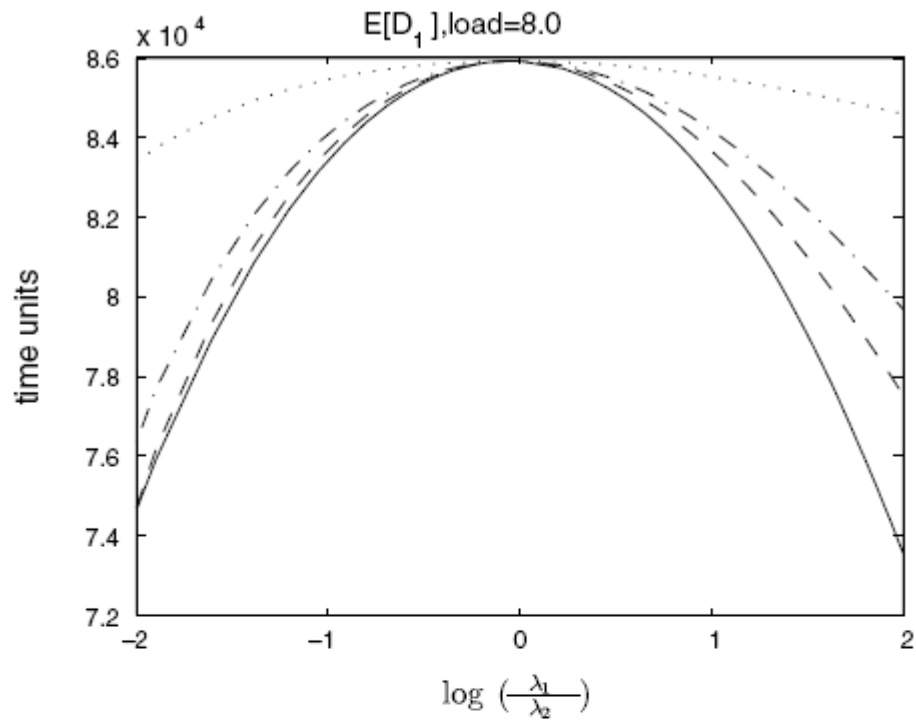
Most vizsgáljuk meg a késleletetési időket az egyes állomástípusoknál ($E[D_1]$ és $E[D_2]$).

Kis terhelés esetén R növelése esetén csökken $E[D_1]$ értéke, míg $E[D_2]$ növekszik. Különösen igaz ez a heterogén hálózatokra (pl ha pl $N_1 = 13, N_2 = 12$). Az eredmények azt mutatják, hogy kevésbé heterogén hálózat esetén $E[D_1]$ sokkal stabilabb, mint $E[D_2]$.



6. és 7. ábra

A hálózat terhelését növelve egyre kisebb a különbség a 2 típus késleltetése között, ami a 8. és a 9. ábrán látható.



8. és 9. ábra

5 Összefoglalás

Diplomamunkám célja az volt, hogy az olvasót bevezessem a mobil ad hoc hálózatok világába. Ismertettem a jelentősebb routing protokollokat. Felvázoltam a manapság – az ad hoc hálózatok szempontjából - két legjelentősebb vezeték nélküli szabványt, a WLAN-t és a Bluetooth-ot. Végül a DCF közeghozzáférési módot modelleztem háromdimenziós Markov-láncok segítségével.

A feldolgozott témának igen gazdag szakirodalma van. Az ad hoc hálózatok működésének biztosítása, menedzselése, szolgáltatások nyújtása komoly kihívásokat tartogat, ami folyamatos kutató- és fejlesztőmunkát biztosít az adott területtel foglalkozó szakemberek számára.

6 Irodalomjegyzék

- [1] **Hamed M.K. Alazemi, A. Margolis, J. Choi, R. Vijaykumar, S. Roy** *Stochastic modelling and analysis of 802.11 DCF with heterogeneous non-saturated nodes* (H.M.K. Computer Communications 30 3652–3661 (2007)
- [2] **Eustathia Ziouva, Theodore Antonakopoulos** *CSMA/CA performance under high traffic conditions: throughput and delay analysis* Computer Communications 25 313-321 (2002)
- [3] **David REmondo** *Tutorial on Wireless Ad Hoc Networks*, HET-NETs '04 (2004)
- [4] **Azzedine Boukerche** *Algorithms and Protocols for Wireless, Mobile Ad Hoc Networks* John Wiley & Sons, Inc, Ottawa (2009)
- [5] **Christopher Lott, Demosthenis Teneketzis**: *Stochastic routing in Ad Hoc Wireless Networks*, Control Group Report CGR 01-01 (2001)
- [6] **B. J. Kwak, N. O. Song, and L. E. Miller** "A Standard Measure of Mobility for Evaluating Mobile Ad-Hoc Network Performance" IEICE Transactions on Communications, Vol. E86-B, pp. 3236-3243 (2003).
- [7] **Zygmunt J. Haas, Jing Deng, Ben Liang, Panagiotis Papadimitratos, S. Sajama**: *Wireless Ad Hoc Networks* (2002)
- [8] **Guthy Zsolt , Herdon Miklós, Kovács György, Gál Zoltán** *Wireless technológiák kísérleti alkalmazásának tapasztalatai*, Debrecen
- [9] *An Introduction to Bluetooth*
<http://www.wirelessdevnet.com/channels/bluetooth/features/bluetooth.html>
- [10] **Wikipédia IEEE 802.11** <http://en.wikipedia.org/wiki/802.11>
- [11] *Mobil ad hoc hálózatok és intelligens közlekedési rendszerek*, Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Alapítvány, Budapest (2005)
- [12] **Jim Geier** *Vezeték nélküli hálózatok*, Panem Könyvkiadó, Budapest (2005)

[13] Lippé Sz.: *Routing protokollok wireless hálózatokban és wireless scenario-k*
(tanulmány) Heterogén Kommunikációs Hálózatok Optimális Kihhasználását Szolgáló
Eszközök Kutatása és Fejlesztése NKFP 2. program HeHOK (2004-2007)