

## Részletes zárójelentés

### ‘NaMANET – Nagy kiterjedésű mobil ad hoc hálózatok vizsgálata’ PD 72984 azonosítójú OTKA projekt

Készítette: **Dr. Farkas Károly**  
2011. május

#### *Áttekintés*

A mobil ad hoc hálózatok (MANET) [25] olyan közvetlen adatátvitelt biztosító kommunikációs megoldásokra épülő lokális adathálózatok, amelyek nem igényelnek semmiféle fix infrastruktúrát és központi adminisztrációt a csomópontok közötti adatátvitel megvalósítására, és így számtalan területen alkalmazhatók a hadászattól kezdve a magáncélú felhasználáson át az üzleti alkalmazásokig. Ezen hálózatok kialakulása, menedzselése és a csomópontok közötti adatátvitel spontán, ad hoc módon történik, amikor vezeték nélküli (wireless) kommunikációra alkalmas mobil eszközök – mint például laptopok, PDA-k (Personal Digital Assistant) vagy okos mobiltelefonok – elég közel kerülnek ahhoz, hogy egymással közvetlenül tudjanak kommunikálni. 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.

A NaMANET projekt keretében elsődleges célunk a nagy kiterjedésű, több tíz/száz csomópontot tartalmazó mobil ad hoc hálózatok viselkedésének vizsgálata volt, mivel ez az irányvonal mind a mai napig háttérbe szorult. A nagy kiterjedésű MANET hálózatok elsősorban olyan szituációkban alakulhatnak ki, ahol kis területen sok mobil eszköz található – mint például vonaton való utazás során, vagy egy focimeccs alatt –, illetve amikor egymástól fizikailag távol elhelyezkedő ad hoc hálózati szigeteket kötünk össze valamilyen gerinchálózati infrastruktúra segítségével. Terveink között szerepeltek szimulációs vizsgálatok, ad hoc hálózati mérések, szolgáltatás támogatási keretrendszer és tesztalkalmazások fejlesztése nagy kiterjedésű mobil ad hoc hálózati környezetben. Továbbá foglalkoztunk városi környezetben kialakítandó, vezeték nélküli technológiákra épülő közösségi hálózatok tervezési, kiépítési, üzemeltetési kérdéseivel, valamint a hálózati topológia változásának predikciójával, mert ezen hálózatok ideális körülményeket nyújthatnak ad hoc alkalmazások implementálására és bevezetésére mintegy összekötő gerinchálózatot biztosítva a mobil ad hoc hálózati szigetek számára. Időközben ezen terület nemzetközileg is elismert művelőivé váltunk.

A munkát az irányításom mellett a Nyugat-magyarországi Egyetem (NymE) gazdasági informatika képzésében résztvevő, általam korábban is konzultált hallgatókkal kezdtük meg a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen (BME) dolgozó néhány kolléga aktív bevonásával, és a Zürichi Műszaki Egyetemen (ETH) illetve az Arlingtoni Műszaki Egyetemen (UTA) való együttműködés keretében. Később az együttműködés az említett külföldi partnereinkkel konzultációra redukálódott, viszont az utolsó évben sikerült kapcsolatot kiépítenünk a Torinói Egyetemen (Universita di Torino), amely együttműködés jelenleg is aktív.

Az alábbiakban röviden bemutatom a projekt folyamán elért eredményeket, melyek nagyrészt publikálásra is kerültek, ezért kitérek a releváns publikációkra is. A projekthez benyújtott publikációs lista az eredmények legmagasabb szintű publikációit tartalmazza, így abban nem szerepel a jelen beszámolóban ismertetett összes publikáció. Az OTKA támogatás a publikációk többségében feltüntetésre került, ahol nem, ott ezt jeleztem.

## ***Az elért eredmények rövid ismertetése***

### *Nagy kiterjedésű mobil ad hoc hálózatok*

Nagy kiterjedésű mobil ad hoc hálózatok esetén fontos, érdekes és izgalmas kérdés az alkalmazások terjedésének a vizsgálata. Az alkalmazások terjedésének tulajdonságait nemcsak technikai, hanem gazdasági szempontok miatt is szükséges ismernünk. Az alkalmazás értékesítőjének tudnia kell, hány darab értékesíthető az alkalmazás szoftveréből egy adott populáción belül, mikor szűnik meg az érdeklődés az alkalmazás felé, milyen tényezők és hogyan befolyásolják annak terjedését. Az alkalmazások terjesztése hagyományosan egy központi árusító hely, például webáruház segítségével történik. A felhasználók az Interneten böngészve válogathatnak a különböző alkalmazások között, és meg is tudják vásárolni azokat. Azonban az új kommunikációs eljárások elterjedése kihathat az alkalmazások terjedésére is. Így mobil ad hoc hálózatok létrehozásával az alkalmazások közvetlenül is letölthetők egy, az ad hoc hálózatba tartozó eszköztől. A hálózatban résztvevőknek lehetőségük nyílik arra, hogy alkalmazásokat próbáljanak ki, ami ösztönözheti őket az alkalmazások megvételére. Kutatásaink során kétféle eljárással modelleztük az alkalmazások mobil ad hoc hálózatokkal támogatott terjedését, így zárt sorbanállási hálózatokkal (CQN) [26], valamint sztochasztikus Petri hálózatokkal (SPN) [27]. A zárt sorbanállási hálózat egy sztochasztikus modell, amely alkalmas olyan folyamatok leírására egy adott populáción belül, mint az egyes eszközök/felhasználók gyors megjelenése és eltűnése a spontán kialakult ad hoc hálózati kommunikációban. Az állapotváltásokhoz átmeneti intenzitásokat rendelhetünk, mellyel lehetővé válik a folyamat időbeli tulajdonságainak megfigyelése. Vizsgálataink azt mutatták, hogy a CQN modell alkalmas lehet kevés állapottal leírható, egyszerű szituációk modellezésére, azonban nagy állapotszám esetén a modell túl komplexé válhat, ami nehézkessé teszi annak kezelését. Ezért nagy kiterjedésű ad hoc hálózatoknál – ahol például számos, területileg is elkülöníthető ad hoc sziget alakulhat ki, de az egyes felhasználók az ad hoc szigetek között vándorolhatnak, ezáltal kapcsolatot teremtve azok között – célszerűbb lehet az SPN modell használata. Ebben az esetben az ad hoc hálózatot sztochasztikus Petri hálózattal modellezzük, amelyből automatikusan származtatható az azt leíró közönséges differenciálegyenlet rendszer, amit aztán numerikusan meg tudunk oldani viszonylag alacsony számításigénnyel még nagy eseménytér esetén is. Az alkalmazásterjedés modellezése területén elért eredményeinket egy magyar nyelvű konferenciacikk [1], egy nemzetközi PhD fórumon megjelent cikk [2], és három nemzetközi konferenciacikk [3-5] formájában publikáltuk. Továbbá folyamatban van egy nemzetközi folyóiratcikk elkészítése és benyújtása is.

Nagy kiterjedésű mobil ad hoc hálózatokban egy további érdekes és alapvető kérdés a megfelelő szolgáltatásmenedzsment architektúra használata. Az elosztott hálózati alkalmazások fejlesztői alapvetően kétféle architektúra használata közül választhatnak, így a hagyományos, központosított kliens-szerver, vagy a decentralizált, elosztott peer-to-peer architektúra. Mindkét megoldásnak közismertek az előnyei illetve hátrányai. A kliens-szerver architektúra esetén az adminisztráció központosított, amely gyors működést biztosít, és viszonylag egyszerűen implementálható. Ugyanakkor hibátűrés és skálázhatóság szempontjából ez a megoldás nem hatékony, hiszen a szerver meghibásodása esetén az egész rendszer működésképtelenné válhat, míg túl sok kliens kapcsolódása a szervert túlterhelte, és szintén működésképtelenné teheti. Ezzel ellentétben a peer-to-peer architektúra nagy megbízhatóságú működést biztosít, hiszen egyes csomópontok kiesése nem okoz gondot, mivel más csomópontok könnyen át tudják venni a kieső csomópont funkcióit a teljesen elosztott koordinációnak köszönhetően. Továbbá ez a megoldás sokkal jobban skálázható, mint a kliens-szerver architektúra. Ugyanakkor a peer-to-peer architektúra implementálása bonyolult, és nagyszámú csomópont esetén adminisztrációja komplex feladat. A két architektúra kedvező tulajdonságainak egyesítése végett kidolgoztunk egy hibrid megoldást, amely az ad hoc hálózatot zónákra osztja. Minden zónában a megválasztott zóna-szerver menedzseli a zónához tartozó kliens csomópontokon az elosztott hálózati alkalmazás használatát, míg a zóna-szerverek egymással peer-to-peer módon tartják a kapcsolatot. Szimulációs vizsgálatok segítségével összevetettük ezen hibrid megoldás teljesítőképességét a kliens-szerver illetve peer-to-peer architektúrákkal, és az eredmények igazolták, hogy mind hibátűrés, mind pedig skálázhatóság szempontjából a zóna-szerver alapú megoldás kedvezőbb viselkedést mutat, mint a másik két architektúra. Eredményeinket egy nemzetközi

konferenciacikk [6], illetve egy nemzetközi folyóiratcikk (Journal of Applied Collaborative Systems) [7] formájában publikáltuk.

A közlekedésben alkalmazandó ad hoc hálózatok, ún. VANET-ek (Vehicular Ad hoc NETWORK) [28], kérdéskörével is foglalkoztunk. MSc diplomamunka keretében javasoltunk és terveztünk a főutakon és autópályákon a dugók illetve ráfutásos balesetek elkerülésére/megelőzésére egy, a járművek közötti vezeték nélküli ad hoc kommunikációra épülő, közúti baleset és torlódás előrejelző rendszert [8]. A baleseti/torlódási esemény helyszínétől az eseményről értesítő információ a járművek közötti ad hoc kommunikáció segítségével terjed az útvonal mentén akár több kilométeres távolságra. Ezáltal az esemény helyszíne mögött közlekedő járművek vezetői időben értesülhetnek az adott közlekedési szituációról, és megtehetik a szükséges óvintézkedéseket, mint például vészfékezés, vagy letérés az autópályáról a következő lehajtónál. Szimulációs vizsgálatok segítségével összehasonlítottuk különböző üzenetterjesztési stratégiák hatékonyságát eme speciális, nagy kiterjedésű ad hoc hálózati környezetben, és ennek alapján meghatároztuk a rendszerünkben alkalmazandó optimális stratégiát. Sajnos, a jelenleg rendelkezésre álló diszkrét esemény alapú hálózati szimulációs eszközök – mint például az ns-2 [29] vagy az OMNeT++ [30], amelyekkel többek között a mobil ad hoc hálózatok viselkedését lehet szimulálni – nem alkalmasak a közúti forgalomnál megfigyelhető mobilitás szimulálására. Ezért kidolgoztunk egy eljárást, melynek segítségével a SUMO nevezetű közúti forgalomszimulátorban [31] előállított mobilitás információt könnyen importálni lehet az OMNeT++ hálózati szimulátorba, és ezáltal a mobil terminálok a járművek mozgásának megfelelően változtatják pozíciójukat, ami így lehetővé teszi VANET hálózatok vizsgálatát is OMNeT++ környezetben. Eredményeinket nemzetközi konferenciacikk [9] formájában is publikáltuk.

Kutatásaink során kitértünk a mobil ad hoc hálózatok témaköréhez tartozó szenzorhálózatok vizsgálatára is. Nagy kiterjedésű szenzorhálózatokban célszerű valamilyen klaszterezési eljárást alkalmazni a szenzorok által mért adatok összegyűjtésére, mert így hatékonyan, elosztott módon lehet megvalósítani az adatgyűjtés koordinációját. A munka során megvizsgáltuk az irodalomban elérhető klaszterezési eljárásokat biztonság és megbízhatóság szempontjából. Először definiáltunk három támadómodellt – passzív támadó, aktív támadó, bennfentes támadó – egyre erősödő támadási képességekkel, majd definiáltuk azokat a tulajdonságokat, amelyekkel egy biztonságos és megbízható klaszterezési eljárásnak véleményünk szerint rendelkeznie kell. Ezután analizáltuk és elemeztük az irodalomban elérhető klaszterezési eljárásokat annak tükrében, vajon rendelkeznek-e az egyes támadó modellek által reprezentált támadások esetén az általunk definiált tulajdonságokat. Meglepő módon azt tapasztaltuk, hogy a jelenleg elérhető klaszterezési eljárások között egyetlen egy sem található, amely biztonságosnak és megbízhatónak minősíthető – azaz rendelkezik az összes definiált tulajdonsággal – bennfentes, vagy legalább aktív támadó esetén. A legismertebb és legnépszerűbb klaszterezési eljárásokat részletesen elemeztük, és esetükben megadtunk olyan potenciális támadási eljárásokat is, amelyek az adott tulajdonság meglétének a hiányát használják ki. Végül összegyűjtöttünk és javasoltunk olyan módszereket és eljárásokat, amelyekkel a legtöbb klaszterezési megoldás biztonságosabbá és megbízhatóbbá tehető. Eredményeinkből egy nagyobb terjedelmű, áttekintő, nemzetközi folyóiratcikk (Elsevier Computer Networks) [10] készült, amely jelenleg bírálat alatt áll.

Manapság az okostelefonok használata már napi rutinnak tekinthető, így igyekeztünk az okostelefonok programozása, és az általuk alkotott mobil ad hoc hálózatok vizsgálata terén is tapasztalatokat szerezni. A telefonok beépített WiFi [32] interfészükön keresztül képesek lehetnek közvetlenül kommunikálni egymással egyéb háttér infrastruktúra használata nélkül. Azonban nem minden okostelefon platformon lehet a WiFi interfészt egyszerű felhasználóként ad hoc módban használni, és programozás szempontjából sem mindig egyszerű a WiFi interfészhez való hozzáférés. Symbian platformra fejlesztettünk egy jelerősség monitorozó programot, amely segítségével az adott telefon WiFi interfészét könnyen ad hoc módba lehet állítani, és a kialakított ad hoc hálózat topológiáját fel lehet deríteni, majd grafikusán meg lehet jeleníteni. A Symbian platformon való WiFi API

(Application Programming Interface) programozása során szerzett tapasztalatainkat könyvfejezet<sup>1</sup> [11] formájában publikáltuk egy tankönyv jellegű, nemzetközi kiadású angol nyelvű könyvben.

### *Vezeték nélküli közösségi hálózatok*

Kutatásaink másik fő területe a városi környezetben kialakítandó, vezeték nélküli technológiákra épülő közösségi hálózatok témaköre volt, mert ezen hálózatok ideálisak többek között mobil ad hoc hálózati szigetek összekapcsolására, valamint ad hoc alkalmazások implementálására és bevezetésére is. Egy közösségi hálózat olyan hálózat, amelyet egy közösség – tipikusan egy város vagy egy közigazgatási terület lakóközössége – épít ki és működtet saját céljaira, sokszor non-profit módon. Ezen témakörben foglalkoztunk közösségi hálózatok tervezési, kiépítési, üzemeltetési kérdéseivel. Először áttekintettük a nagyvilágban már megvalósított közösségi hálózatokat, és elemeztük az adott megoldások előnyeit, hátrányait. Kiderült, hogy nem mindegyik projekt sikeres és fenntartható, amiért a technológiai és hálózattervezési kérdéseken túl az adott környezetben megfelelően alkalmazható üzleti modell megtalálása és kidolgozása kulcsfontosságú felelősséggel bír. A sikeres projektek esetében szinte kivétel nélkül megfigyelhető a magán- és közszféra együttműködése, és lényeges a megfelelő, mindkét szféra számára előnyökkel járó konstrukció kialakítása. Ezután áttekintettük a vezeték nélküli közösségi hálózatok tervezési kérdéseit az alkalmazandó technológia szempontjából, és kidolgoztunk egy, a hagyományos telekommunikációs hálózatok tervezésétől eltérő tervezési metódust. A lényegi különbség, hogy míg a hagyományos távközlő hálózatok ‘alulról’ terveződnek – azaz először egy általános infrastruktúra kialakítására kerül sor, majd az infrastruktúra folyamatos fejlesztése mellett a szolgáltatásokat igazítják az adott infrastruktúra által nyújtott képességekhez –, addig a közösségi hálózatoknál célszerűbb a ‘felülről’ való megközelítési mód használata. Ez azt jelenti, hogy először fel kell mérni a megvalósítandó szolgáltatások körét, azok technológia igényét, és ehhez kell tervezni a kiszolgáló hálózatot. A felmérésnek tartalmaznia kell megtérülési számításokat is, hogy a kiépítendő infrastruktúra fenntartható legyen. WiFi illetve WiMAX [33] technológiákra épülő közösségi hálózatok tervezéséhez méréseink és számításaink alapján kidolgoztunk olyan tervezési táblázatokat és segédleteket, melyek használatával a tervezési folyamat egyszerűvé és gyorsá válik. Ezek alkalmazhatóságát demonstráltuk egy magyarországi ‘pilot’ vezeték nélküli közösségi hálózat tervezése során. Eredményeinket számos rangos, nemzetközi fórumon, így egy nemzetközi folyóiratcikk<sup>2</sup> (ACM/Springer Mobile Networks and Applications) [12], egy nemzetközi magazincikk (IEEE Communications Magazine) [13], és egy nemzetközi kiadású angol nyelvű könyvben megjelent könyvfejezet<sup>3</sup> [14] formájában publikáltuk. Időközben a terület nemzetközileg is elismert művelőivé váltunk, így ezen témából az elmúlt pár évben két ‘tutorial’ jellegű előadást tartottunk különböző nemzetközi konferenciákon [15, 16], valamint az utóbbinak nemrég megjelent az ‘on-line’ változata<sup>4</sup> is, amely elérhető az IEEE ‘tutorial’ gyűjteményében [17].

Kutatásaink során foglalkoztunk vezeték nélküli hálózatok topológia változásának előrejelzésével is, mert egy ilyen jellegű predikciós képesség nagyon hasznos lehet az önszerveződő mesh hálózatokban – mint például a közösségi hálózatok gerinchálózata –, valamint a mobil ad hoc hálózatokban, és jelentősen javíthatja ezen hálózatok hiba utáni regenerálódási képességét. Így kidolgoztunk egy mintaillesztésen alapuló, link állapotváltozást előrejelző predikciós eljárást, amely a link jel-zaj viszonyának jövőbeli megváltozását próbálja megjósolni kereszt korrelációs technika alkalmazásával. Mobil eszközök esetén a predikció képes mind a mobilitásból, mind pedig a rádiófrekvenciás jel

<sup>1</sup> Mivel ez a könyvfejezet egy egységes szerkezetű, szerkesztett könyvben jelent meg, így nem volt módunkban az OTKA támogatást feltüntetni.

<sup>2</sup> Ahogyan ezt a korábbi részjelentésben is jeleztem már, ebben a folyóiratcikkben az OTKA támogatást nem volt módunkban feltüntetni, mert az OTKA támogatás 2008. április 1-től kezdődött, a cikk pedig 2008 áprilisában jelent meg, ehhez pedig a ‘camera ready’ verziót pár héttel korábban le kellett adnunk, így a cikk végleges verzióján már nem tudtunk változtatni. Viszont a cikk szorosan kötődik az OTKA kutatás keretében elvégzett munkához, ezért került bele a beszámolóba, és jelenik meg az elért eredmények között.

<sup>3</sup> Mivel ez a könyvfejezet egy egységes szerkezetű, szerkesztett könyvben jelent meg, így nem volt módunkban az OTKA támogatást feltüntetni.

<sup>4</sup> Az IEEE erre vonatkozó megkötései miatt az OTKA támogatást nem állt módunkban feltüntetni.

terjedéséből adódó változások előrejelzésére. Megvizsgáltuk a predikciós eljárásunk hatékonyságát egy valós, beltéri környezetben kialakított teszt mesh hálózatban, és méréseink igazolták, hogy az esetek nagy többségében az előrejelzés pontos volt, illetve a predikciós hiba is jóval kisebb volt annál, mintha lineáris predikciót használtunk volna. Végül a predikciós eljárásunkra alapozva javasoltunk egy WiFi mesh hálózatokban alkalmazható kifinomult ‘handover’ menedzsment megoldást, ami a link változás előrejelzésnek köszönhetően már jó előre megadja a mozgó mobil eszköz számára a következő ideális bázisállomást lecsökkentve ezáltal az átkapcsolás idejét, és az ebből adódó adatvesztést. Ezen eredményeinket egy nemzetközi folyóiratcikk<sup>5</sup> (Elsevier Computer Communications) [18] formájában publikáltuk.

### *További eredmények*

Az alábbiakban ismertetett eredményeket nem tekintem jelentős, nemzetközi tudományos szintet elérő eredményeknek. Ismertetésükre mindössze a teljesség kedvéért került sor, illetve azért, mert ezen munkák szerves részét képezték a fentebb ismertetett vizsgálatainknak, amelyekben részben vagy egészében felhasználtuk ezen munkák eredményeit is.

Kidolgoztunk és implementáltunk egy SIRAMON (Service provisioning FRAMwork for self-Organized Networks) nevezetű, ad hoc hálózati környezetben működő szolgáltatás-támogatási keretrendszert. Ebben a keretrendszerben egyesítjük a szolgáltatások leírásához, felfedezéséhez, letöltéséhez, indításához és menedzseléséhez szükséges funkciókat az ad hoc környezet tulajdonságainak figyelembevételével. A keretrendszer alkalmas többfelhasználós szolgáltatások mobil ad hoc hálózatokon való terjesztésére, és az alkalmazások használatának menedzselésére. Ebből a munkából született egy BSc diplomamunka [19], és egy TDK dolgozat [20], amellyel a szerzők 2009-ben a XXIX. Országos Tudományos Diákköri Konferencián is részt vettek. Elkészült a keretrendszer prototípus implementációja MS Windows Mobile okostelefon platformra is [21]. A kód együttműködik a korábban implementált MS Windows és Linux alapú PC-s platformok kódjaival. Ezáltal együtt lehet használni PC alapú eszközöket okostelefonokkal mobil ad hoc hálózati környezetben.

Demonstrációs jelleggel implementáltunk néhány többfelhasználós alkalmazást ad hoc környezetre, így egy Symbian platformon futó ‘podcasting’ alkalmazást MSc diplomamunka keretében [22], valamint BSc diplomamunkák keretében implementáltunk egy csevegő [19], és egy egyszerű többfelhasználós játék alkalmazást [23], amelyeknek – néhány egyéb adoptált alkalmazással kiegészítve – ad hoc hálózati méréseken keresztül megvizsgáltuk a hálózati kommunikációs teljesítményét [23]. Továbbá terveink között szerepelt a 2008-as labdarúgó EB idején a meccsek helyszínén a szurkolók mobil eszközeiből kialakuló nagy kiterjedésű ad hoc hálózatok az adatforgalom mérése és vizsgálata. Sajnálatos módon ezen méréseket nem tudtuk megvalósítani a svájci partnerünkönél adódott nehézségekből kifolyólag, mivel a ‘podcasting’ alkalmazásra épülő tesztrendszer nem készült el az EB időpontjáig, és ezt a projektet a svájciak ezután be is szüntették.

MSc diplomamunka keretében megvizsgáltuk a lehetőségét egy olyan, parkolóházban kiépítendő, vezeték nélküli és ad hoc kommunikáción alapuló beltéri navigációs rendszernek, amely a parkolóházba betérő járművet segíti a megfelelő szabad parkolóhelyhez való navigálásban [24]. A rendszer vezeték nélküli szenzorhálózat segítségével nyomonköveti a parkolóhelyek foglaltságát, és egy vezeték nélküli beltéri helymeghatározó rendszer használatával a bejáratától a kiválasztott parkolóhelyhez navigálja a beérkező jármű sofőrjét. Ezen megkezdett munkát jelenleg egy általam vezetett K+F projekt keretében folytatjuk.

---

<sup>5</sup> Ahogyan ezt a korábbi részjelentésben is jeleztem már, ebben a folyóiratcikkben az OTKA támogatást nem volt módunkban feltüntetni, mert az OTKA támogatás 2008. április 1-től kezdődött, a cikk pedig 2008 májusában jelent meg, ehhez pedig a ‘camera ready’ verziót pár héttel korábban le kellett adnunk, így a cikk végleges verzióján már nem tudtunk változtatni. Viszont a cikk szorosan kötődik az OTKA kutatás keretében elvégzett munkához, ezért került bele a beszámolóba, és jelenik meg az elért eredmények között.

## *Nemzetközi tudományos közéleti tevékenység*

Az elmúlt három év során, jórészt az OTKA kutatás témáiban végzett munkának a kapcsán sikerült a nemzetközi tudományos közéleti tevékenység szempontjából is eredményeket elérni. Így megtisztelő felkéréseknek eleget téve, a Kínában megrendezésre került COMNETs 2008 nevezetű workshop, valamint a Dániában megtartott Mobisec 2011 konferencia ‘general chair’ funkcióját tölthettem be. Továbbá az ‘ad hoc special area chair’ pozíciót tölthettem be a Franciaországban megrendezett MESH 2011 konferencián, illetve ‘workshop chair’ szerepkörben tevékenykedtem a Hawaii-on megrendezett WICON 2008 konferencián. Ezekon felül részt vettem több nemzetközi konferencia – mint például IEEE PerCom 2010/2011, IEEE MeshTech 2008/2009/2010/2011, IEEE WIMAN 2008/2009/2010/2011, IEEE MASS 2008, ICCCN 2008, WICON 2008/2009/2010, MESH 2009/2010/2011 – szervező bizottságának (Technical Programme Committee) munkájában.

## **Összegzés**

A NaMANET projekt keretében elsősorban a nagy kiterjedésű mobil ad hoc hálózatok, valamint a vezeték nélküli közösségi hálózatok témájával foglalkoztunk. Így kutatásaink során modelleztük és szimulációk segítségével vizsgáltuk az alkalmazásterjedést nagy kiterjedésű ad hoc hálózatokban. Összehasonlítottuk különböző szolgáltatásmenedzsment architektúrák teljesítőképességét ad hoc hálózati környezetben. Megvizsgáltuk különböző információterjesztési stratégiák hatékonyságát járművek alkotta ad hoc hálózatokban, valamint megvizsgáltunk különböző klaszterezési eljárásokat biztonság és megbízhatóság szempontjából szenzor hálózatokban. Foglalkoztunk okostelefonok ad hoc hálózatokban való használatával és azok ilyen irányú programozásával. Terveztünk és implementáltunk egy szolgáltatástámogatási keretrendszert demo alkalmazásokkal ad hoc környezetre, valamint megvizsgáltuk az ad hoc hálózatok alkalmazhatóságának kérdéskörét parkolóházban kiépítendő beltéri navigációs rendszer esetén. Foglalkoztunk vezeték nélküli közösségi hálózatok tervezési, kiépítési, üzemeltetési kérdéseivel, továbbá kidolgoztunk egy link állapotváltozást előrejelző eljárást vezeték nélküli hálózatokra. Eredményeinket számos nemzetközi konferenciacikk, folyóiratcikk és könyvfejezet formájában publikáltuk.

Végezetül szeretnék köszönetet mondani az OTKA-nak a kutatásaink támogatásáért, a konferenciákra, megbeszélésekre, partnereinkkel való egyeztetésekre eme támogatás nélkül sokszor nem állt volna módunkban eljutni.

## ***Irodalomjegyzék***

- [1] Horváth Á, Farkas K: ***Alkalmazások terjedésének vizsgálata mobil ad hoc hálózatokban***, In Proc. Informatika Korszerű Technikái (IKT 2010), Dunaujváros, Mar, 2010
- [2] Horváth Á: ***Modeling Opportunistic Application Spreading***, In Proc. PhD Forum of the 2nd International ACM/SIGMOBILE Workshop on Mobile Opportunistic Networking (MobiOpp 2010), Pisa, Feb, 2010
- [3] Horváth Á, Farkas K: ***Modeling Application Spreading using Mobile Ad Hoc Networks***, In Proc. 3rd Joint IFIP Wireless and Mobile Networking Conference (WMNC 2010), Budapest, Oct, 2010
- [4] Horváth Á, Farkas K: ***Modeling Self-Organized Application Spreading***, In Proc. 5th International ICST Conference on Access Networks (ACCESSNETS 2010), Budapest, Nov, 2010
- [5] Beccuti M, De Pierro M, Horváth A, Horváth Á, Farkas K: ***A Mean Field Based Methodology for Modeling Mobility in Ad Hoc Networks***, In Proc. IEEE 73rd Vehicular Technology Conference (VTC2011-Spring), Budapest, May, 2011
- [6] Farkas K: ***Comparison of Service Management Architectures in MANETs***, In Proc. 1st International Workshop on Wireless & Mobile Networks (WiMo-2009), Brisbane, Jul, 2009
- [7] Farkas K: ***Simulation Based Comparison of Service Management Architectures in Mobile Ad Hoc Networks***, Journal of Applied Collaborative Systems, Vol. 2, No. 3, pp. 5-17, 2010
- [8] Egresits D: ***Közlekedési baleset és torlódás előrejelző rendszer tervezése járművek által alkotott ad-hoc hálózatok segítségével***, MSc diplomamunka, NymE, Dec, 2010
- [9] Farkas K, Egresits D, Horváth-Dori G: ***TRACWAS – TRaffic Accident and Congestion Warning System for VANETs***, In Proc. 4th International Workshop on Telecommunications (IWT 2011), Rio de Janeiro, May, 2011
- [10] Schaffer P, Buttyán L, Farkas K, Horváth Á: ***Secure and Reliable Clustering in Wireless Sensor Networks: A Critical Survey***, Elsevier Computer Networks journal, (közlésre elküldve), 2011
- [11] Farkas K, Csúcs G: ***Introduction to WLAN IEEE802.11 Communication on Mobile Devices***, pp. 59-80 in: Fitzek F, Charaf H. Mobile Peer to Peer (P2P): A Tutorial Guide. Wiley Computer Publishing, 2009
- [12] Szabó CsA, Farkas K, Horváth Z: ***Motivations, Design and Business Models of Wireless Community Networks***, Springer Mobile Networks and Applications journal, Vol. 13, No. 1-2, pp. 147-159, 2008
- [13] Farkas K, Szabó CsA, Horváth Z: ***Motivations, Technologies, and Sustainability Models of Wireless Municipal Networks***, IEEE Communications Magazine, Vol. 47, No. 12, pp. 76-83, 2009
- [14] Farkas K, Szabó CsA, Horváth Z: ***Planning of Wireless Community Networks***, pp. 634-652 in: Lee I. Handbook of Research on Telecommunications Planning and Management for Business. IGI Global, 2009
- [15] Szabó CsA, Farkas K: ***Community Networks – Technologies, Business Models and Applications***, Tutorial presentation at the 3rd International Workshop on Wireless Community Networks (COMNETs 2008) co-located with Chinacom 2008, Hangzhou, Aug, 2008
- [16] Szabó CsA, Farkas K: ***Planning wireless municipal networks based on Wi-Fi/WiMAX mesh networks - applications, technologies and business models***, Tutorial presentation at IEEE International Conference on Communications (ICC) 2010, Cape Town, May, 2010
- [17] Szabó CsA, Farkas K: ***Planning wireless municipal networks based on Wi-Fi/WiMAX mesh networks - applications, technologies and business models***, On-line IEEE tutorial, <http://dl.comsoc.org/comsocdl/>, 2011
- [18] Farkas K, Hossmann T, Legendre F, Plattner B, Das SK: ***Link Quality Prediction in Mesh Networks***, Elsevier Computer Communications journal, Special Issue on Modeling, Testbeds, and Applications in Wireless Mesh Networks, Vol. 31, No. 8, pp. 1497-1512, 2008
- [19] Horváth-Dori G: ***A SIRAMON keretrendszer bevezetése és vizsgálata elosztott szolgáltatások támogatására ad-hoc hálózati környezetben***, BSc diplomamunka, NymE, Dec, 2008

- [20] Horváth-Dori G, Egresits D: *SIRAMON, egy szoftver keretrendszer elosztott szolgáltatások támogatására ad-hoc hálózati környezetben*, TDK dolgozat, NymE, 2008
- [21] Egresits D: *SIRAMON Framework for Windows Mobile platform*, Technical report, NymE, Oct, 2009
- [22] Bakos Á: *Wireless Ad Hoc Podcasting on Symbian*, MSc thesis, NymE/ETH, May, 2008
- [23] Egresits D: *Többfelhasználós elosztott alkalmazások vizsgálata mobil ad-hoc hálózatokon*, BSc diplomamunka, NymE, Dec, 2008
- [24] Horváth-Dori G: *Parkolás-támogató rendszer tervezése ad-hoc hálózatok segítségével*, MSc diplomamunka, NymE, Dec, 2010
- [25] Perkins CE (ed.): *Ad Hoc Networking*, Addison-Wesley, Boston, 2001
- [26] Robertazzi TG: *Computer Networks and Systems: Queuing Theory and Performance Evaluation*, Springer-Verlag, New York, 1994
- [27] Balbo G, Conte G, Donatelli S, Franceschinis G: *Modelling with Generalized Stochastic Petri Nets*, John Wiley & Sons, 1995
- [28] Olariu S, Weigle MC (ed.): *Vehicular Networks: From Theory to Practice*, Chapman & Hall/CRC Computer & Information Science Series, 2009
- [29] Information Sciences Institute ISI: *The Network Simulator ns-2*, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>, Jan, 2009
- [30] Varga A: *The OMNeT++ Discrete Event Simulation System*, In Proc. 15th European Simulation Multiconference (ESM 2001), Prague, Jun, 2001
- [31] Krajzewicz D, Hertkorn G, Rössel C, Wagner P: *SUMO (Simulation of Urban MOBility) - An open-source traffic simulator*, In Proc. MESM 2002, Sharjah, UAE, Okt, 2002
- [32] *IEEE 802.11 Standard Family*, available at: <http://standards.ieee.org/getieee802/802.11.html>, [accessed 30 May 2011]
- [33] *IEEE 802.16 Standard Family*, available at: <http://standards.ieee.org/getieee802/802.16.html>, [accessed 30 May 2011]