

Bírálat

Dr. Fodor Gábor

Csatornabecslés és vevőtervezés egyfelhasználós és többfelhasználós többantennás rendszerekben

doktori értekezéséről

A jelölt kutatásai során olyan matematikai modellek és módszerek kidolgozását tűzte ki célul, melyek többantennás egyfelhasználós és többfelhasználós rendszerek hatékonysági vizsgálataiban eredményesen használható csatornaállapot-információ becslő- és vevő algoritmusok kidolgozását teszik lehetővé.

Az említett területek a nemzetközi kutatások fő irányvonalába tartoznak és konferencia tapasztalataim szerint a szerző megbecsült tagja ennek a kutatói közösségnek.

Az értekezés 99 oldal terjedelmű, angol nyelven íródott, Bevezetéből, 8 fejezetből és Összefoglalóból áll, Irodalomjegyzékében 65 művet sorol fel a szerző, melyből 7 saját publikáció.

Az elért új tudományos eredményeket 5 csoportba lehet gyűjteni és ennek megfelelően lettek szerkesztve a disszertáció részei illetve a Tézisfüzetben felsorolt 5 téziscsoport.

A dolgozat felépítése, olvashatósága jó, bár formája nem követi a Magyarországon megszokottat, nevezetesen az új fejezeteket nem így szoktuk kezdeni. A formai követelményeknek alapvetően megfelel.

Mivel a Tézisek a Disszertáció szerkezetét követik ezért csak az új tudományos eredményekkel foglalkozok.

I. téziscsoport: Pilot-adat teljesítményarány egyfelhasználós rendszerekben

A téziscsoport egyfelhasználós SIMO rendszerekre vonatkozik, melyekben a bázis- állomás LS csatornabecslőt használ. Az I. téziscsoport fő eredménye a vett adatszimbólumok MSE jellemzőjének pontos meghatározása mind a pilot-adat teljesítmény arány, mind az antenna szám függvényében.

A további tézisekhez hasonlóan ez a tézis is véletlen Gaussi csatorna modellre épül, ahol a csatorna állapota egy komplex normális eloszlású valószínűségi változó és a több antenna közti terjedést ilyen valószínűségi változók potenciálisan korreláló vektora írja le. A feladat nehézsége, ezeknek a véletlen vektor változóknak az értékétől függő négyzetes hiba kiátlagolása.

Ebben a tézisben a jelölt homogén független rendszert feltételezve a kovariancia matrixot konstansszor egységmátrix alakúnak feltételezi.

Kérdés: *Mennyire jól írja le a valós terjedési viszonyokat a Gaussi csatorna modell, és mennyire jellemző a konstansszor egységmátrix alakú kovariancia matrix ?*

II. téziscsoport: Minimális átlagos négyzetes hibájú (MMSE) vevő tervezése csatornaállapot hibás becslése esetén

Ez a téziscsoport egy olyan zárt kifejezést vezet le, mely lehetővé teszi minimális átlagos négyzetes hibájú vevő tervezését abban a fontos - a gyakorlatban egyedül előforduló - esetben, amikor a vevő számára csak hibás csatornabecslés áll rendelkezésre.

Az előző tézishez képest ez a tézis első lépésben optimalizálja a vevő (dekoder) működését az optimális dekódoló vektor (G csillag) meghatározásával, majd ennek a dekódoló vektornak az alkalmazása mellett is zárt kifejezést ad az átlagos négyzetes hiba kiszámítására pilot-adat teljesítményviszony és a vevő-antennák száma függvényében.

Kérdés: Valós rendszerekben milyen dekóder vektort alkalmaznak, és a javasolt (G csillag) megoldás alkalmazható-e a jelenleg elterjedt megoldások javítására. Ha igen, mennyivel javítja az átvitel minőségét ?

III. tétiscsoport:

A III. tétel - hasonlóan az I. tétiscsoportéhoz -, egyfelhasználós (SU-MIMO) rendszerekre vonatkozik, melyekben a vevőoldali antennák, pontosabban az azokhoz vezető csatornák korreláltak. Ez a tétel tetszőleges antenna korreláció-struktúrát megenged, ami a fő előre lépés az I-es tétiscsoportéhoz képest. A tétel fő eredménye egy MSE-re vonatkozó zárt szimbólikus kifejezés, mely leírja nemcsak a pilot-adat teljesítményaránytól való függését, hanem az antenna számtól, valamint az antenna korrelációtól való függést is, ami azonban tartalmazza a korrelált kovariancia mátrix szinguláris értékeit.

Kérdés: Gyakorlati alkalmazásoknál mennyire jól becsülhetők a korrelált kovariancia mátrix elemei, és mennyire érzékeny (mérésre és numerikus viselkedésre) egy ezekre a mért értékekre épülő szinguláris érték felbontás ?

IV. tétiscsoport:

A IV. tétiscsoport sokfelhasználós MIMO rendszerekre vonatkozik, melyekben a felhasználók a rendelkezésükre álló erőforrásokat pilot- és adatjelek küldése között osztják meg. Ebben a tétiscsoportban a vizsgált teljesítményjellemző a spektrálhatékonyság azokban a fontos esetekben, amikor a bázisállomás legkisebb négyzetes hibájú (LS) illetve legkisebb átlagos négyzetes hibájú (MMSE) csatornabecslést alkalmaz. A spektrális hatékonyság számításánál is a Gaussi csatorna viselkedését jellemző komplex normális eloszlású valószínűségi vektor változó kiátlagolása a fő nehézség, azonban a spektrális hatékonyság esetében ez teljesen más jellegű függvénye a csatorna állapotnak, mint az átlagos négyzetes hiba esetén. A kapott eredmény is csak abban az értelemben zárt alakú, hogy egy integrál definiált széles körben alkalmazott numerikus függvény a Meijer G függvény segítségével írja le a spektrál effektivitást.

Kérdés: Gyakorlati esetekben (pl, ha N_r nagyobb mint 100) okoz-e numerikus nehézséget a Meijer G függvény alapú spektrál effektivitást számítása ?

V. tétiscsoport:

Az V. tétiscsoport sokfelhasználós MIMO rendszerekre vonatkozik, melyekben a felhasználók a rendelkezésükre álló erőforrásokat pilot- és adatjelek küldése között osztják meg. Ebben a tétiscsoportban a vizsgált teljesítményjellemzők a vett adatszimbólumok négyzetes hibája (MSE), valamint a spektrálhatékonyság abban a fontos esetekben, amikor a bázisállomás antennái, illetve az azokhoz a mobilállomásokból vezető csatornák korreláltak. A bázisállomás legkisebb négyzetes hibájú (LS) csatornabecslést alkalmaz. A IV. tételhez képest a fő különbség a csatornák korreláltsága, amit ebben a tételben is szinguláris érték felbontással kezel a jelölt, és az eredményt a szinguláris értékek felhasználásával adja meg.

Kérdés: A tétel LS csatornabecslést feltételez, míg a IV. tételben lehetőség van mind LS mind MMSE csatornabecslés számítására. Kiterjeszthető ez a korrelált antennákat megengedő analízis módszer sokfelhasználós MIMO rendszerekre MMSE csatornabecslés esetén?

A Tézisekben közölt összes eredményt új tudományos eredményként fogadom el, de a bíráló munkáját nagymértékben megkönnyítette volna ha a jelölt a Téziseknél egyből odaírja a megfelelő publikációt.

A **Tézisfüzet** jól felépített és ebben már elkülönítve látható, hogy a jelölt 11 folyóiratcikkkel, 9 konferencián előadott vagy konferenciakötetben megjelent közleménnyel, 1 könyvfejezettel és 4 szabadalommal rendelkezik.

A dolgozatban az elméleti részeket és a javasolt eljárásokat, becsléseket számos numerikus példa és grafikon illusztrálja így az olvasó meggyőződhet a

megvalósíthatóságukról. Nagyon értékesnek tartom, hogy a bemutatott tézisek, illetve azok bizonyos változatai, előzményei, szinte mind felhasználásra kerültek/ kerülhetnek konkrét ipari alkalmazásokban, nevezetesen celluláris rendszerek szabványosításában, ötödik generációs mobil (5G)rendszerekben.

Megjegyzéseim:

- Ezen szép és nagyon értékes eredményeknek a prezentációja jobb lehetett volna, ha az eredmények mellett egyből fel lettek volna tüntetve a hozzátartozó publikációk. Ez vonatkozik a Disszertációra és a Tézisfüzetre is.
- Érdeemes lett volna minden téziscsoportnak címet adni, mint ahogyan tette az első kettővel.
- *Mi az oka, hogy a Disszertációban jóval kevesebb saját publikációt sorol fel, mint a Tézisekben ?*

Általános kérdéseim:

- *Miért ezt a becslési eljárást alkalmazta és nem a többieket (maximum likelihood, momentumok módszere ?*

Összességében: Az erősen matematikai jellegű dolgozat egyik fő érdeme, hogy olyan eljárásokat ismertet, amely széles körben alkalmazhatók a hálózatok tervezésében. A mű hiteles adatokat tartalmaz, bizonyítotttnak látom, hogy Dr. Fodor Gábor a korábbi tudományos fokozat megszerzését követően jelentős eredményekkel gyarapította a tudomány szakot, hozzájárult a tudomány továbbfejlődéséhez. Hazai és nemzetközi elismertsége jól tükrözi tudományos kvalitásait.

Mindezek alapján a doktori munka tudományos eredményeit elegendőnek tartom az MTA doktori cím megszerzéséhez, a nyilvános védés kitűzését javaslom és az MTA doktora cím odaítélését támogatom

Debrecen, 2018. október 8.

.....
Dr. Sztrik János
Tanszékvezető egyetemi tanár
MTA Doktora