

Válaszok Frigyes István opponensi véleményében feltett kérdésekre

1. Az értekezés címe az uplink vevő tervezését ígéri és az egész tárgyalás erre vonatkozik, a BS vevő tudja optimalizálni a PDPR-t, mely lényegében az egyetlen változtatható paraméter. Azonban ennek beállítása az MT adó feladata, effektíve ez állítja be a megfelelő erőforrásokat. Honnan tudja, hogy mit csináljon?

Az értekezés az átlagos négyzetes szimbólumhibát (MSE) a pilot és adatjelek teljesítményarányának (pilot-to-data power ratio, PDPR), a csatorna csillapításának (path loss) és a vevőantennák számának függvényében elemzi. Az eredmények azt jelzik, hogy a PDPR nagyban befolyásolja a szimbólumhibát, és az MSE-értelemben optimális PDPR erősen függ a csatorna csillapításától. Egy meglepő eredmény, hogy – szemben az irodalomban korábban javasolt és a gyakorlatban jelenleg használt vevőkkel – a javasolt MMSE vevő alkalmazása esetén az optimális PDPR független az antennák számától.

A gyakorlati alkalmazás szempontjából az a fontos kérdés merül fel, hogy az adó (a mobilállomás) számára hogyan állnak rendelkezésre a PDPR beállításához szükséges bemeneti adatok illetve mérések. Nevezetesen, az a kérdés merül fel, hogy honnan tudhatja a mobilállomás, hogy a bázisállomás milyen vevőstruktúrát alkalmaz, mekkora a csatornacsillapítás és hogy – naiv vevő alkalmazása esetén – a bázisállomás hány vevőantennát használ.

A celluláris rendszerekben a mobilállomás a rendszerhez való csatlakozáskor – initial access – alapvető rendszerinformációkra (system information block, SIB) tesz szert (pl. a cellában alkalmazott sávszélesség, duplexing módszer (TDD vagy FDD), cella-azonosító vagy további SIB-ekre mutató pointer), melyek a további kommunikációhoz nélkülözhetetlenek. Ezekben az információs blokkokban az antanna-konfiguráció és a vevőre vonatkozó egyéb információ az alkalmazott technológiától függően szerepel vagy szerepelhet. Ezen információ birtokában a mobilállomás tudhatja, hogy a bázisállomás milyen vevőstruktúrát alkalmaz és a bázisállomás hány vevőantennát használ.

A mobilállomásnak ezen kívül becsülni vagy mérni kell a csillapítást (uplink path loss) is. Az uplink csillapítás ismerete a ma működő rendszerekben elengedhetetlenül szükséges a mobilállomás teljesítményszabályozása miatt, így e célra jól definiált és a gyakorlatban széleskörben alkalmazott módszerek állnak rendelkezésre. Időosztásos (TDD) rendszerek esetén a mobilállomás a bázisállomás referencia-jelei (downlink reference signals) alapján becsüli az uplink csillapítást. Frekvenciaosztásos (FDD) rendszerek esetén a mobilállomás a bázisállomás referencia-jelein végzett méréseket kiegészíti a bázisállomástól kapott jelzésekkel (control signaling). Fontos megjegyezni, hogy a lassan változó csillapítás (large scale fading) – a gyors fading-gel ellentétben – sok esetben még FDD rendszerek esetén is reciprocitást mutat, így a disszertációban javasolt PDPR-beállító módszer még FDD rendszerek esetén sem igényel nagyarányú jelzésforgalmat.

E fontos rendszertехnikai kérdéseket tárgyalom az [1]-es számú folyóiratcikkemben.

2. Előrehaladva, a disszertáció egyre több és több jelenséget vesz figyelembe, melyek figyelembevételére a vevőnek egyre bonyolultabb számításokat kell elvégezni. Mennyiben növelik ezek – ha egyáltalában – a számítások bonyolultságát? Adott esetben ez határozhatja meg a mobilállomás megengedhető sebességét?

A disszertáció kezdeti eredményei egyfelhasználós (SU-MIMO) rendszerre vonatkoznak, és egy viszonylag egyszerű csatornamodellre tételeznek fel, míg a 7. fejezet MU-MIMO rendszereket elemez egy bonyolultabb csatornamodellre alkalmazva, mely jobban megfelel a valóságnak. A gyakorlatban széleskörben üzemeltetnek mind SU-MIMO, mind MU-MIMO rendszereket, ezért mindkét eredménycsoport fontos. Ezen eredmények értékelésekor meg kell különböztetnünk a javasolt MMSE vevő bonyolultságát és a vonatkozó teljesítményjellemzők kiszámításának bonyolultságát.

A javasolt lineáris MMSE vevő MU-MIMO esetben annyiban bonyolultabb a SU-MIMO esetben javasoltnál, hogy a vevőnek a több felhasználó párhuzamos kiszolgálása miatt fellépő interferenciát is el kell nyomnia (a termikus zajon kívül), amit a disszertáció (7.16)-os egyenlete fejez ki:

$$\mathbf{G}_\ell^\star = \alpha_\ell \sqrt{P_\ell} \hat{\mathbf{h}}_\ell^H \mathbf{D}_\ell^H \left(\Psi_\ell + \alpha_\ell^2 P_\ell \mathbf{D}_\ell \hat{\mathbf{h}}_\ell \hat{\mathbf{h}}_\ell^H \mathbf{D}_\ell^H \right)^{-1},$$

ahol az ℓ -edik mobilállomásra ható interferenciát a Ψ_ℓ mennyiség tartalmazza. Ez a MU-MIMO vevőstruktúra annyiban bonyolultabb a SU-MIMO rendszerhez javasolt vevőstruktúrájánál, hogy az összes mobilállomás csatornájának kovariancia-mátrixát becsülni kell. Figyelembe véve, hogy a kovariancia mátrix egy jóval lassabb időskálán változik, mint a komplex csatornaegyüttható, ez a MU-MIMO vevő a gyakorlatban megvalósítható.

3. A 3. fejezetből következő I. Tézis – egyéb egyszerűsítő feltételezések mellett – a csatornát szélessávúnak (delay-spread nélkülinek) tekinti. Milyen haszna/előnye van ennek és mennyiben szűkíti az eredmény érvényességét?

Az I. Tézis arra az esetre koncentrál, amikor a csatornabecslést a kommunikációra rendelkezésre álló teljes sávszélességnek egy koherens csatornájára végezzük el. Ez a módszer megfelel a valós rendszerekben alkalmazott módszereknek, amelyekben a teljes sávszélességet több csatornára osztják, ahol minden csatorna a koherens sávszélességen belülinek tételezhető fel, és minden csatornára pilot-alapú becslést végzünk el. A gyakorlatban elterjedt LTE rendszerek például erőforrásblokkonként (resource block) két OFDM szimbólumot használnak pilotjelként az erőforrásblokk teljes sávszélességében (180 kHz). A disszertációban javasolt csatornabecslés és vevő ebben az esetben közvetlenül használható úgy, hogy a javasolt algoritmusokat a vevő erőforrásblokkonként végzi el. Ebben az elrendezésben a tézis feltételezése a csatornára vonatkozóan valóban teljesül.

4. Hivatkozások

- [1] G. Fodor, N. Rajatheva, W. Zirwas, L. Thiele, M. Kurras, K. Guo, A. Tölili, J. H. Sorensen, E. de Carvalho, "An Overview of Massive MIMO Technology Components in METIS", IEEE Communications Magazine, Vol. 55, Issue 6, pp. 155-161, June 2017.

Fodor Gábor

Stockholm, 2018 november 18.