

QoS MOS FP7 ICT projekt - kognitív rádió rendszerek analóg TV sávokban

**Kollár Zsolt, Bitó János, Bakki Péter, Csurgai-Horváth László,
Horváth Péter, Horváth Bálint**

**Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan tanszék
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Budapest 1111, Goldmann György tér 3.**

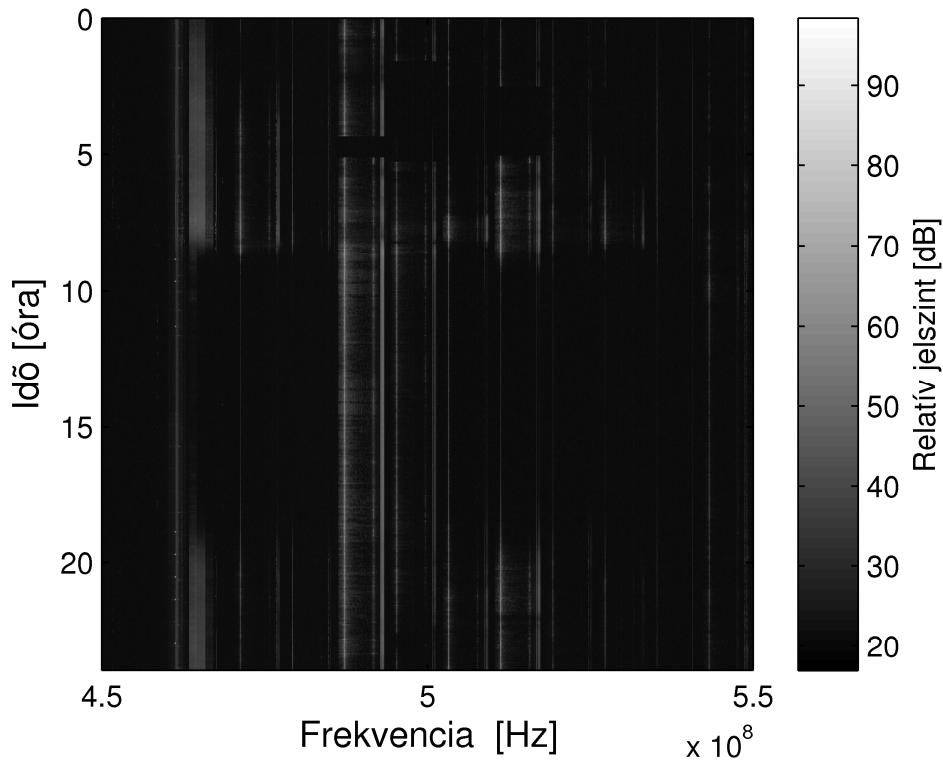
{kollar, bito}@mht.bme.hu

Kivonat

A QoS MOS 2009-ben induló három éves Európai Unió Integrált Projekt, amely kognitív rádió keretrendszerrel kapcsolatos kutatásokat, fejlesztéseket és az eredmények rendszerbe történő illesztését tűzte ki célul, a szélessávú, mobil rendszerek spektrális hatékonyságának növelése érdekében az engedélyköteles és a szabad frekvenciasávokban. A technikai fejlesztések és kutatások középpontjában a gyengén kihasznált TV frekvenciasávok dinamikus és hatékony kiaknázása áll, menedzselt szolgáltatásminőség és rendszerek közötti mobilitás segítségével. Cikkünkben a kognitív rádiós technológiát valamint a QoS MOS projekt keretében történő munkát mutatjuk be.

1. Bevezetés

A vezeték nélküli kommunikáció térhódításával párhuzamosan a felhasználók adatsebesség-igénye is egyre nő. A rendelkezésre álló frekvenciasávok azonban korlátozottak. Erre a problémára ad egy megoldási javaslatot Mitola 1999-ben megjelent cikkében [1], amelyben a kognitív rádió alap gondolatát mutatja be. A kognitív rádió lényegében másodlagos (opportunistikus) rendszer, amely képes a kiválasztott frekvenciasávokat intelligensen és adaptívan kihasználni oly módon, hogy közben ezzel az elsődleges (inkumbens) rendszereket nem zavarja. Ennek érdekében közel egy időben kell a szabad frekvenciasávokban adatforgalmat bonyolítani és érzékelni, ha az inkumbens rendszerek adást kezdeményeznek [2]. Ezen alapelveken mentén működő rendszerek szabványosítására törekszik az IEEE 802.22-es szabványa is [3]. A kognitív rádiós technológiák hazánkban is fontos szerepet játszhatnak a jövőben; Magyarországon 2015-től az analóg televíziós műsorszórás helyét teljes egészében digitális műsorszóró rendszer veszi át, amelynek fajlagos sáv szélesség-igénye kisebb. A tervek szerint az átállást követően felszabaduló frekvenciákat opportunistikusan kommunikáló, intelligens rádiós rendszerek használhatják adatkommunikációs célra.



1. ábra: 24 órás spektrummérés Szolnok térségében.

Egy előzetes 24 órás spektrummérés látható a 450 MHz és 550 MHz közötti tartományban az 1. ábrán - megfigyelhetők az időszakosan szabad, illetve a használaton kívüli frekvenciasávok. Mivel a kérdéses frekvenciasáv elsődleges felhasználói továbbra is a műsorszóró rendszerek, így az itt kommunikáló opportunisztikus rádióknak magas fokú intelligenciával és gyors spektrumérzékeléssel kell rendelkezniük az interferencia elkerülése érdekében [4].

A QoS [5] technikai fejlesztések és kutatások középpontjában a gyengén kihasznált frekvenciasávok dinamikus kiaknázása áll, menedzselte szolgáltatásminőség (QoS) és rendszerek közötti mobilitás segítségével. A kutatás célkitűzései között szerepel a frekvenciasávok és az adóteljesítmény hatékony kihasználása, a különböző rendszerek együttműködése és védelme, a felhasználói élmény javítása és a mobil piacok kiterjesztése. A hálózati hozzáférés-menedzsment egyszerűsítése és a költségek csökkentése céljából, kétszintű frekvencia-hozzárendelési eljárás javasolható, amely a szolgáltatás minőség (QoS) menedzselését is biztosítja. Újfajta, dinamikus spektrum érzékelési és kihasználtsági mutatók bevezetése vált szükségessé, amelyeken a rendszer döntései alapulhatnak. A mobilitás növelése újfajta átadási eljárással érhető el, amely az erőforrás hozzárendeléseket előre tudja tervezni. Az alkalmazott kognitív algoritmusok és az újszerű vezeték nélküli berendezések működésének elemzését és értékelését szimulációval és teszt rendszerek vizsgálatával végezzük.

Cikkünkben a Qosmos projektet mutatjuk be. Részletesen tárgyalva a lefedett kutatási területeken elért eredményeket. Cikkünkben nagyobb hangsúlyt fektetünk kutatócsoportunk rádiós kommunikáció fizikai rétegével kapcsolatos eredményeinek bemutatására.

2. Alapgondolatok és a koncepció

A cellás vezeték nélküli hálózatokon a forgalom gyorsan növekszik az adatátvitel, a nagysebességű videó folyamatok és a digitális televízió továbbítás terjedésével. A hálózatok eredetileg nem ilyen jellegű forgalomra voltak tervezve, ezért a szolgáltatók nehéz döntések előtt állnak, ha magas felhasználói elégedettséget kívánnak fenntartani. Mivel a hang forgalom aránya az összes átvitt forgalomhoz képest csökken, ezért a bevételek nem arányosan nőnek a forgalom növekedésével, és ez az aránytalanság a bevétel és a forgalom között tovább növekszik. További probléma, hogy az európai országokban több mobil szolgáltató is üzemel, de a területi lefedettségükön már nem tudnak fejleszteni. Az említett problémák oda vezettek, hogy a szolgáltatók csak a rádió bázisállomások közös használatával tudnak csökkenteni a költségeiken.

Ezzel párhuzamosan az a szabályozási gyakorlat alakult ki, hogy a frekvencia hozzárendelés független legyen a szolgáltatástól és a technológiától, így több szolgáltató juthat frekvenciához, de nekik kell megoldani az interferencia problémákat. Erre a semlegességre példa, hogy ebben az évben Nagy-Britanniában aukcióra bocsájtják a 2.5–2.7 GHz-es sáv közepét. Másik példa a semlegességre, amely ugyancsak kapcsolatba hozható a spektrum hatékony, újszerű kihasználásával az átállás az analógról a digitális televíziózásra mind az USA-ban mind pedig Európában. A TV átállás során keletkező „fehér TV sávok” fokozatosan jelennek meg az USA-ban és Európában is. A QoS projekt fő célja ezeknek a technológiailag és szolgáltatás tekintetében semleges sávoknak a lehető leghatékonyabb, „alkalmazkodó” felhasználása.

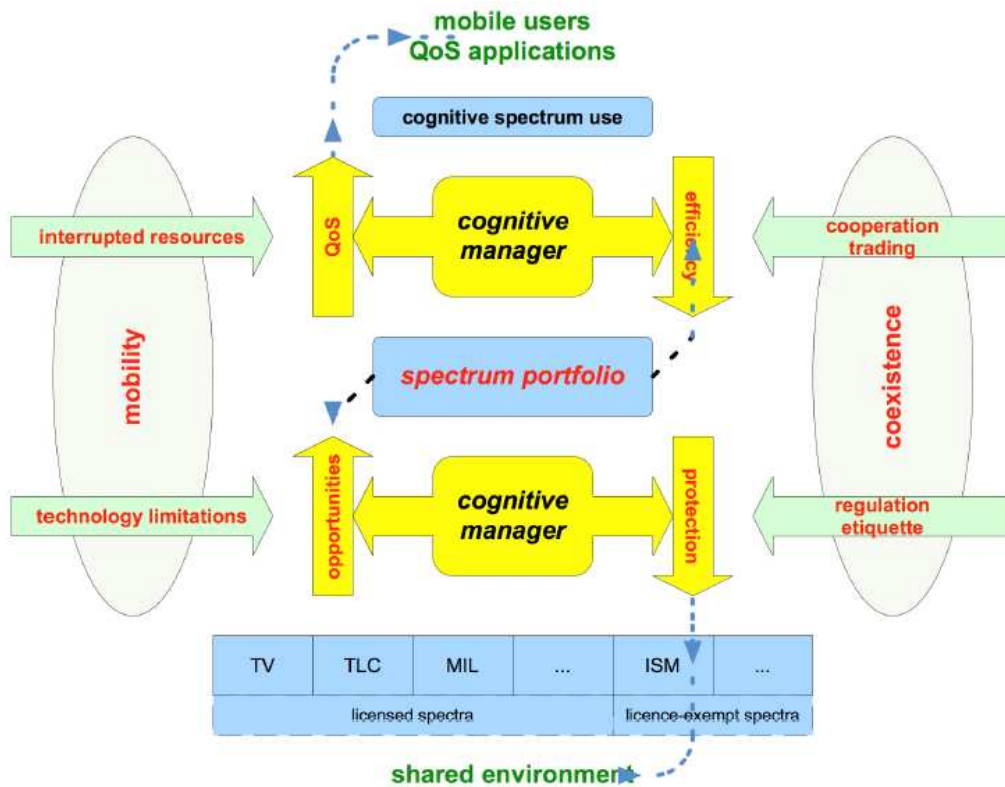
A „fehér TV sávokon” túl a katonai célra lefoglalt spektrum is jelentős lehetőségeket kínál az „alkalmazkodó” spektrum megosztás számára. A legtöbb EU országban a katonaság birtokolja a kiosztható frekvenciasávok legnagyobb részét (pl. Nagy-Britanniában 15 GHz alatt a katonaságé a frekvenciák 30%-a). A PA Consulting, tanulmányának előzetes eredményei alapján, javasolja a védelmi célú spektrum megosztott felhasználását „alkalmazkodó” frekvencia-menedzsment módszerekkel mind területileg, mind pedig időbeli megosztásban. Alacsony teljesítményű, kognitív berendezések osztozhatnak a radarokkal, ha a radar jeleit érzékelve alkalmazkodnak az interferencia elkerülése érdekében. Ez a módszer dinamikus időosztás alapon oldja meg a közös frekvencia-használatot, melyben a kognitív felhasználói végberendezésnek kell a spektrum figyelése alapján alkalmazkodnia.

Az alkalmazkodó módszerrel megszerzett frekvencia sávok felhasználhatók lennének a csúcsideőszakokban a torlódás feloldására az engedélyköteles sávokban, a meglévő szolgáltatások fejlesztésére vagy új szolgáltatások bevezetésére új frekvenciasávok vásárlása nélkül. Általánosabban megfogalmazva, az alkalmazkodó frekvencia-menedzsmentet használó telekommunikációs és digitális műsorszóró rendszerek alkalmasak lehetnek pillanatnyilag, lokálisan elérhető spektrum leghatékonyabb kihasználására. Ezt a működést a helyi bázisállomás vagy a végberendezés maga is irányíthatja.

A megfelelő felhasználói élmény és a helyesen megválasztott ár a kulcs a pénzügyi sikerhez, amelyek a sarokkövei a jövő internet szolgáltatásának, de ezek megkövetelik a menedzselt szolgáltatásminőséget (QoS) és a mobilitást.

A QoS projekt a fent leírt gondolatokból kiindulva fogalmazta meg a saját célkitűzését: „hatékony rádiós hozzáférés a jövő hálózataira számára”. A növekvő mobil forgalom kihívásának megfelelően és a frekvencia-gazdálkodás szabályozásainak változását magáévá téve eredményezi az értékesítési lánc felbomlását és a fenntartható fejlődését a mobil szolgáltatásoknak.

A QoS kutatások és fejlesztések új eszközöket és technikákat biztosítanak az alkalmazkodó frekvencia-menedzsment számára a mobil felhasználók kiszolgálásához és a menedzselt szolgáltatásminőség biztosításához.



2. ábra: A QoSMOS koncepció

A koncepció két független kognitív menedzseren alapszik, melyek eltérő időzítésekkel és rádiós erőforrásokkal dolgoznak. Az ábrán alul elhelyezkedő a központi és nagyobb időskálán térképezi fel az adott területen rendelkezésre álló erőforrásokat. A 2. ábrán felül látható menedzser rövidebb időzítéseket alkalmaz és az egyes területekhez van rendelve. A feladata a frekvencia sávok hozzárendelése az egyes vezeték nélküli kapcsolatokhoz. Visszajelzésekkel frissíti a központi egység szabályrendszerét.

A spektrum-felhasználással kapcsolatos döntések meghozatalához a berendezéseknek kifinomult mérési és kiértékelési módszereket kell alkalmazni, amelyek lehetővé teszik a kihasználatlan spektrum tartományok időbeli és térbeli felfedezését, és annak eldöntését, hogy a döntések nem okoznak-e káros interferenciát más felhasználóknak. Ezt nevezzük kognitív megközelítésnek.

A spektrumkihasználás hatékonyabb lehet, ha az adott felhasználás számára az aktuális frekvenciaválasztás helyben történik. Ha a kognitív döntési eljárásban a helyi (felhasználói végberendezés) és a központi (hálózat) információkat egyaránt felhasználjuk, akkor költségmegtakarítást érhetünk el nagyobb előzetes befektetés nélkül.

A QoSMOS projekt tervei szerint a központi spektrum menedzsment beállításainak segítségével lehet majd alkalmazkodni a helyi frekvenciaszabályozásokhoz, ezzel több földrészen is alkalmazhatóvá válik a rendszer.

WAPECS (Wireless Access Policy for Electronic Communication Services) javaslatot tett a felhasználható frekvenciasávokra, amelyek egész Európában használhatók lennének technológia- és szolgáltatás-semleges módon mobil, műsorszórási, fix vezeték nélküli kommunikációs célokra. A WAPECS sávok a kognitív rádiórendszerek számára fontos lehetőséget nyitnak. Ez alapján fejleszti a QoSMOS projekt a módszereit, a rendszer felépítését és az üzleti modelljét, hogy a spektrum hatékonyabb kihasználásának ezek az új módszerei 3-5 éven belül elterjedhessenek egész Európában.

3. BME részvétele és fontosabb eredményei a projektben

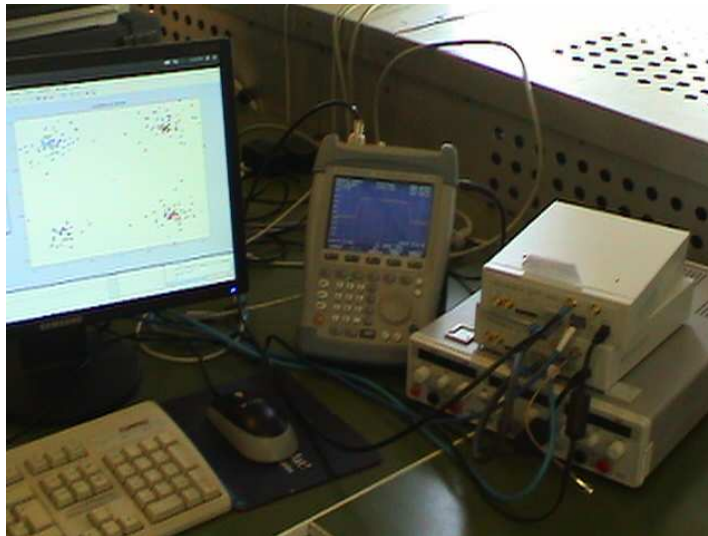
A BME Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszék kutatócsoportja a QoS MOS projekt számos munkacsoportjában részt vesz. Komoly szerepet vállalt a kognitív rádiók fizikai rétegének kidolgozásában és a megfelelő modulációs séma kiválasztásában valamint az adó és vevő oldali algoritmusok kidolgozásában.

A több-felhasználós nagysebességű digitális átvitel esetén kézenfekvőnek látszik az OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing - Ortogonális frekvenciaosztásos nyalábolás), mint széles körben elterjedt többvívós modulációs technika alkalmazása. Több vezeték nélküli hírközlő rendszerben, többek között DVB-T (földfelszíni digitális televízió), DAB (digitális rádió) és WLAN (vezeték nélküli hálózat) esetén is ezt az eljárást alkalmazzák. Több szempontból az OFDM eljárás nem a legjobb választás, ezért a munkacsoportunk több lehetséges alternatívát is megvizsgált [6], melyek közül az alacsony szomszédos csatornás szivárgás miatt az FBMC (Filter Bank Multicarrier – Szűrőbank alapú többvívós eljárás) [7] tűnik a legalkalmasabbnak kognitív rádiós alkalmazásokhoz.

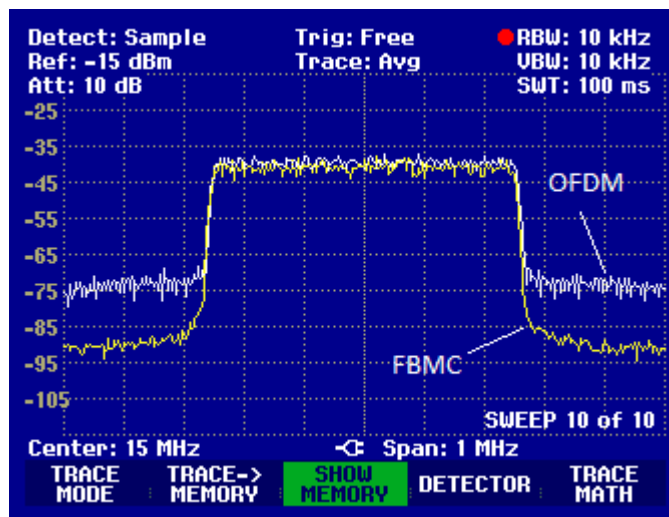
Kutatócsoportunk számos FBMC-hez kapcsolódó adó- és vevőoldali jelfeldolgozási eljárást dolgozott ki. Többek között a nemlineáris torzítás okozta hibák kimutatása és kiküszöbölése került középpontba, mivel ezek károsan befolyásolhatja az oldalsávi szivárgást. Emellett kidolgoztunk hatékony csatornakiégnyelítési [8] valamint valós idejű spektrummérési eljárásokat is [9].

A különféle modulációs sémák hardveres megvalósítása előtt a várható eredményeket mutattuk be számítógépes szimulációk segítségével. Először egy moduláris szimulációs programcsomagot alakítottunk ki Matlab környezetben, amellyel a modulációs eljárások különféle tulajdonságai adó- és vevőoldalon egyaránt elemezhetők. Ennek segítségével vizsgálhatók továbbá az átviteli út során fellépő nemlineáris hatások, szinkronizációs hibák és a rádiós csatorna okozta lineáris torzítás, illetve az additív zaj hatásai, valamint a digitális jelfeldolgozási algoritmusok könnyen és gyorsan tesztelhetők és ellenőrizhetők. A különféle hibajelenségek hatásai bithibaarány-görbék segítségével szemléletesen bemutathatók. A nemlineáris torzítás hatása a frekvenciatartományban a sávszéleken megemelkedő teljesítménysűrűséggel mutatható ki. Fontos lépés az eljárások szimulációja mellett azok hardveres megvalósítása és a létrehozott jelek mérése is. A legvégső lépés a szimulációk és a mért eredmények összehasonlítása és kiértékelése.

A szimulációkat követően a kipróbált adó- és vevőalgoritmusokat szoftverrádiós egység (USRP - Universal Software Radio Peripheral) segítségével tudjuk könnyen és gyorsan kipróbálni, ellenőrizni. Két USRP modul végzi a fel- illetve lekeverést, így csak a digitális jelminták feldolgozását kell megoldani az adó- és vevőoldalon (3. ábra). A létrehozott jelek mérésére R&S FSH3 spektrum analízátort használtunk. A 4. ábrán láthatóak a mért spektrumok OFDM, illetve FBMC rendszereknél. A végső lépés pedig egy LabView programban történő megvalósítás lesz



3. ábra: Hardveres tesztkörnyezet mérés közben.



4. ábra: A mért OFDM ill. FBMC spektrum.

4. Összefoglalás

A QoS MOS egy széles körű, a kognitív rádió számos területét (tudományos, gazdasági, spektrum menedzsment) felölelő Európai Unió projekt. Cikkünkben első részében a projektet és annak alap gondolatát írtuk le, melyben a BME Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszék kutatócsoportja is szerepet vállalt. A cikk második felében pedig a BME kutatócsoport által a WP4 Fizikai Réteg munkacsoportban elért tudományos eredményeket mutattuk be.

A Kognitív rádiós alkalmazások számára az FBMC moduláció - kedvező spektrális tulajdonságai alapján - kézenfekvő megoldás. Meglátásunk szerint a hírközlési hatóságok által támogatott szigorú elvárások miatt várható, hogy a szabványosító testületek is ezt a modulációs sémát fogják javasolni. Ezen ígéretes fejlődés befogadásához azonban szükség van néhány FBMC specifikus probléma leküzdésére is. Ezek közül néhányra megoldást adtunk: többek között a nemlineáris torzítások okozta problémák kiküszöbölésére, valamint a csatornaki egyenlítési technikák hatékonyságának növelésére.

A számítógépes szimulációk mellett hardveres implementáció segítségével is megmutattuk, hogy az FBMC modulációval megvalósítható a kognitív rádiók számára kívánatos oldalsávi

elnyomás. Ezen USRP környezetben a további szimulációs eredmények is visszaigazolhatók és később a technológia az ipar számára is könnyen bemutatható. Ezek mellett az oktatásban a jövő mérnökei számára is komoly szerepet kap mérések formájában, vezeték nélkül adatátviteli rendszerek és korszerű modulációs eljárások kipróbálása és bemutatása terén.

Köszönetnyilvánítás

The research leading to these results was derived from the European Community's Seventh Framework Programme (FP7) under Grant Agreement number 248454 (QoS MOS).

Hivatkozások

- [1] J. Mitola and G. Q. Maguire. Cognitive radio: Making software radios more personal. *IEEE Personal Communications.*, 6(4):13-18, August 1999.
- [2] Q. Zhao and B. M. Sadler. A survey of dynamic spectrum access. *IEEE Signal Processing Magazine*, 24(3):79-89, May 2007.
- [3] C. Cordeiro, K. Challapali, D. Birru, and S. Shankar. IEEE 802.22: The first worldwide wireless standard based on cognitive radios. In *IEEE International Symposium on Dynamic Spectrum Access Networks, DySPAN*, pages 328-337, November 2005.
- [4] M. Nekovee. A survey of cognitive radio access to TV white spaces. *International Journal of Digital Multimedia Broadcasting*, 2010:1-11, 2010.
- [5] Quality of service and mobility driven cognitive radio systems (QoS MOS) European community's seventh framework programme (FP7). <http://www.ict-qosmos.eu/>
- [6] Kollár Zs., Varga L., and Horváth P. Modern többvívős rendszerek kognitív rádiós alkalmazásokban. *Híradástechnika*, 56(3):18-22, 2011.
- [7] B. Farhang-Boroujeny. OFDM versus Filter bank multicarrier. *IEEE Signal Processing Magazine*, 28(3):92-112, 2011.
- [8] Zs. Kollár, G. Péceli, and P. Horváth. Iterative decision feedback equalization for FBMC systems. In *Proceedings of IEEE First International Conference on Advances in Cognitive Radio, COCORA 2011*, Budapest, Hungary, April 2011.
- [9] L. Varga, Zs. Kollár, and P. Horváth. Recursive discrete fourier transform based SMT receivers for cognitive radio applications. In *19th International Conference on Systems, Signals and Image Processing, IWSSIP 2012*. Wien, Austria, pages 130-133, April 2012.