

**T038083 KUTATÁSI TÉMA
SZAKMAI ZÁRÓJELENTÉSE**

Témavezető neve: Dr. Kolumbán Géza egy. tanár
Téma címe: Integrált áramkörü környezetben megvalósítható újszerű jelfeldolgozó architektúrák kidolgozása és összehasonlító elemzése
A kutatás időtartalma: 2002 – 2006

1. A KUTATÁSI PROGRAM ELŐZMÉNYEI ÉS MUNKATERV SZERINTI CÉLKITŰZÉSE

A hagyományos értelemben vett elektronikai-informatikai gyártó és szolgáltató ipar forradalmi változásokon megy át napjainkban. A változások kiváltói:

- Alkalmazási oldalról a beágyazott rendszerek robbanásszerű elterjedése,
- Technológiai oldalról nézve a CMOS technológia egyeduralmává válása az olcsó tömeggyártott termékek és rendszerek előállításának során.

A beágyazott rendszerek gyakran nem koncentráltan, hanem elosztott módon kerülnek telepítésre. Erre példa a szenzorhálózatok vagy az automata gyártórendszerek kialakítása. Az elosztott felépítés miatt az adatok átvitele alapvető fontosságú, sok esetben ez csak rádiós úton oldható meg.

A beágyazott rendszerekben való adatátvitellel szemben igen speciális követelményeket támasztunk, pl. (a) a rádiós adatátvitelhez nem használhatunk dedikált rádió csatornákat, azaz fel kell készülni a más felhasználók által okozott interferenciák kezelésére, (b) az adatátviteli hálózatoknak infrastruktúra nélkül kell üzemelniük, (c) sokszor követelmény az alacsony fogyasztás, azaz a berendezéseknek évekig kell működniük ugyanarról az elemről, (d) egy adó-vevő ára nem haladhatja meg jelenleg a 10, távlatilag az 5 US dollárt.

Ezek a követelmények nem elégíthetők ki a hagyományos híradástechnika eszköztárának adaptálásával. Nem véletlen, hogy a WiFi, Bluetooth, ZigBee és UWB eszközök fizikai (PHY) és média vezérlő (MAC) rétegeit az IEEE 802 szabvány keretében definiálták. Az IEEE 802 szabványt nem híradás-, hanem számítástechnikusok és informatikusok dolgozták ki, eleinte csak a vezetékes LAN számítógépes hálózatok kialakítására.

Akár az adatátvitel vagy hálózatszervezés filozófiáját, akár az összeköttetések minőségbiztosítását, akár az alkalmazott protokollokat, akár a berendezések felépítését vizsgáljuk, arra a következtetésre jutunk, hogy az IEEE 802 szabványcsaláddal tartozó eszközök minden vonatkozásban teljesen eltérnek a hagyományos adatátviteli rendszerektől. Ezekben az ún. *hálózati eszközökben* merőben újfajta rendszertervezési és hálózatszervezési módszerekre, egyes esetekben (lásd UWB rádió) új modulációs eljárásokra van szükség.

A forradalmi változások másik két kiváltója az alacsony ár és ami részben ebből következik, a CMOS technológia, és az egy chipen megvalósított rendszerek koncepciójának (system-on-a-chip, SoC) kizárólagos alkalmazása. Az alacsony ár nem teszi lehetővé a hagyományos híradástechnikából közismert szuperheterodin elv alkalmazását, hiszen ahhoz legalább két, igen jó paraméterekkel rendelkező, RF, azaz a CMOS technológiában integrálhatatlan, szűrőre van szükség. Ugyanakkor a CMOS technológiával igen bonyolult jelfeldolgozási algoritmusok is megvalósíthatók elfogadhatóan kis fogyasztással. Ezért a CMOS technológiával megvalósított *hálózati eszközök* nem a szuperheterodin elven alapulnak, hanem a tükkfrekvenciát a KF sávban elnyomni képes ún. *alacsony-KF* (low-IF) frekvenciás, illetve a komplex burkolók elméletére alapozott, közvetlen keverésű (zero-IF) vevő architektúrák kerülnek alkalmazásra. Általában elmondható, hogy analóg RF és mikrohullámú jeleket hagyományos módon csak ott és olyan mértékben dolgozunk fel, amennyire azt a szükséges jel-zaj viszony biztosítása megköveteli, egyébként minden sávkorlátozott jelet komplex burkolójával írunk le, és a szükséges jelfeldolgozást (pl. detekció,

szűrés, órajel visszaállítás) a komplex burkolók alapján, az alapsávban, CMOS digitális eszközökkel végezzük el. Ez az újszerű megközelítés alapvetően megváltoztatta berendezéseink blokkdiagramját, és az egyes jelfeldolgozó blokkok áramköri felépítését.

A fenti változásokkal összhangban a T038083 OTKA kutatás munkatervében az alábbi célok kerültek megfogalmazásra: (a) tervezési és analízis módszerek kidolgozása a mixed-signal típusú jelfeldolgozó áramkörök számára, ezen belül alapsávi modellek és tervezési metodikák kidolgozása a frekvenciaszintézisben használt fáziszárt hurkok számára, (b) az SoC koncepcióhoz illeszkedő új jelfeldolgozó architektúrák kidolgozása és összehasonlító elemzése, (c) módszerek kidolgozása a nagybonyolultságú SoC koncepció szerint megvalósított jelfeldolgozó architektúrák számítógépes szimulációjára és analízisére.

Az OTKA kutatás során elért eredmények publikálásra kerültek. Terjedelmi korlátok miatt a zárójelentés csak az elért eredmények ismertetésére szorítkozik, az elért eredményeket ismertető publikációk adatai a jelentés *Közlemények* rovatában kerültek bevitelre az OTKA adatbázisába. Mivel az egyes publikációk a *Közlemények* rovatban nincsenek beszámozva ill. azonosítva, jelen zárójelentés az egyes publikációkat a cím első egy-két szavával és a megjelenés évszámával hivatkozta be.

2. A KUTATÁSI PROGRAMBAN ELÉRT EREDMÉNYEK MEGJELENÉSI FORMÁI

Az OTKA kutatási program végrehajtása során elért, számszerűsíthető eredmények felsorolása.

2.1 Publikációk összesített adatai

- 1 db, a Wiley kiadónál megjelent könyvfejezet
- 5 db, referált nemzetközi folyóiratban megjelent közlemény
- 3 db, nemzetközi konferencián tartott, meghívott, tutoriális előadás
- 9 db, referált, nyomtatott formában is megjelent, nemzetközi konferencia előadás

2.2 Disszertációk és egyéb szakmai címek

- 1 db MTA doktori cím (Kolumbán Géza)
- 1 db habilitációs oklevél (Kolumbán Géza, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem)
- 2 db PhD fokozat (Jákó Zoltán és Kis Gábor, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem)
- 1 db IEEE Fellow cím "for contributions to double sampled phase-locked loops and noncoherent chaotic communications", (Kolumbán Géza)

2.3 Az OTKA program eredményeinek oktatásban való alkalmazása

Az OTKA projekthez kapcsolódóan több olyan tantárgy is kidolgozásra került, amelyek részben vagy teljes egészben oktatják az OTKA program keretében elért eredményeket. A kidolgozott tantárgyak adatai az egyetemnek ill. oktatás nyelvének megjelölésével:

- Elektronikai rendszertervezés
VIMM9019, választható tantárgy, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Felhasznált eredmények: Korszerű jelfeldolgozó és adó-vevő strukturák.
- Beágyazott rendszerek hálózati eszközei
VIMIAV14, választható tantárgy, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Felhasznált eredmények: A hullámforma kommunikáció egységes elmélete, UWB rádió elmélete és gyakorlata.
- Beágyazott rendszerek tervezése
VIMM5157, kötelező tantárgy, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Felhasznált eredmények: Komplex rendszerek tervezése és számítógépes analízise.
- Advanced Telecommunication Systems
Külföldön vendégprofesszorként, angol nyelven oktatott tantárgy
EIE579, MSc tantárgy, The Hong Kong Polytechnic University
Felhasznált eredmények: Korszerű jelfeldolgozó és adó-vevő strukturák, a hullámforma kommunikáció egységes elmélete.

2.5 Az OTKA program eredményeinek ipari alkalmazása

A Samsung Advanced Institute of Technology (SAIT) az IEEE 802.15.4a WPAN Task Group (TG) tagjaként aktívan közreműködött az UWB rádió szabvány kidolgozásában. A SAIT szabványjavaslat lényege egy kaotikus vivőn és OOK moduláción alapuló megoldás volt.

A kaotikus UWB rádió terén az OTKA kutatás során elért eredményeink alapján a SAIT bevonta Kolumbán Gézát, mint külső szakértőt, az IEEE szabványjavaslat kidolgozásába.

3. AZ OTKA KUTATÁSI PROGRAMBAN ELÉRT EREDMÉNYEK TÉMAKÖRÖK SZERINTI ISMERTETÉSE

Jelen fejezetben az OTKA kutatási program végrehajtása során elért eredmények témakörök szerint kerülnek bemutatásra. Az egyes témakörök végén behivatkozunk az adott eredményt ismertető publikációt, ill. megadjuk az eredmény felhasználási helyét.

3.1 Tervezési és analízismódszerek, valamint számítógépes szimulátor kidolgozása frekvenciaszintetizátorok számára

A fáziszaj mellett a nemkívánt oldalsávok, amelyeket a referencia frekvenciás parazita FM moduláció okoz, jelentik a legfőbb problémát a PLL típusú frekvenciaszintetizátorok tervezésében. A frekvenciaszintézisben a mintavételező fáziszárt hurok (SPLL) kiemelkedő jelentőséggel bír, mivel ez az egyetlen olyan PLL, ahol állandósult állapotban a fázisdetektor kimenetén csak egyenfeszültség jelenik meg, és így az SPLL kimenete mentes a referencia frekvenciás parazita oldalsávoktól.

Matematikai modell kidolgozása

Az SPLL áramkör a mixed-signal típusú áramkörök családjába tartozik, amelyek működése csak integro-differencia egyenlettel modellezhető. Mivel néhány kivételtől eltekintve ezek az egyenletek zárt alakban nem oldhatók meg, a tervezéshez szükséges alapsávi modellek általában nem származtathatók. Alapsávi SPLL modell hiányában viszont az áramkörök tervezése csak igen durva közelítések árán volt elvégezhető.

A kutatás során olyan, a gyakorlati követelményeknek megfelelő feltételeket állítottunk fel, amelyek mellett az SPLL működését leíró integro-differencia egyenlet szeparálható egy tiszta differencia és egy tiszta differenciál egyenletre. A két egyenlet alapján kidolgoztuk az SPLL alapsávi modelljét, és tervezési összefüggéseket adtunk a különböző kialakítású, megvalósítási parazitákat is tartalmazó SPLL áramkörök számára. Eredményeinket egy Wiley könyvfejezetben publikáltuk [Phase-Locked,2005].

Hamis zárás jelensége

Az SPLL áramkör széleskörű elterjedését jelentősen gátolja az a tény, hogy az áramkörben hamis fáziszárt állapot alakulhat ki. Hamis zárás esetén az SPLL-ben egy határciklus lép fel, amely egy stabilis állandósult állapotbeli megoldást jelent. A hamis zárás jelensége jelentősen korlátozza az SPLL áramkör befogási tartományát.

Kutatásaink során egy olyan áramköri modellt dolgoztunk ki, amellyel modellezhető a hamis fáziszárt állapotban működő SPLL viselkedése. Megmutattuk, hogy a hamis zárás nem más, mint egy ekvivalens elsőrendű SPLL-ben kialakuló stabilis határciklus. Mivel a referencia frekvencia kívül esik az ekvivalens elsőrendű SPLL befogási tartományán, a hurok nem tud befogni. A hamis fáziszárt állapot okának feltárásával kidolgoztunk egy egyszerű áramkört a hamis zárás megakadályozására. Eredményeinkről egy IEEE Trans. folyóiratcikkben számoltunk be [How to avoid, 2003].

Szimulátor SPLL áramkörök számára

A szellemi tulajdonjogon (Intellectual Property, IP) alapuló áramkörtervezés lényege, hogy egyes, korábban tervezett és bevált blokkokat, mint IP-eket, újra felhasználunk egy későbbi áramkörtervezés során. A legjobb megoldás kiválasztásához olyan számítógépes szimulátorokra van szükség, amelyek lehetővé teszik a szöbajöhető alternatív IP megoldások adott megvalósítási környezetben való összehasonlítását.

Az általunk kidolgozott, a frekvenciaszintetizátorok vizsgálatára alkalmas szimulátor lehetőséget biztosít arra, hogy először egy matematikai modell alapján határozzuk meg az áramkör működését. Az egyes IP blokkok mért karakterisztikáinak bevitele után a szimuláció ismét lefuttatható, és így egy pon-

tosabb szimulációs eredmény kapható. A szimulátor lehetőséget ad a megvalósított áramkörön elvégzett mérési eredmények bevitelére is, így a matematikai modellből kapott, illetve az egyes IP blokkok mérési adatai alapján nyert szimulációs eredmények összehasonlíthatóvá válnak a mérési eredményekkel.

A legrövidebb szimulációs idő biztosítása érdekében a Matlab környezetben működő szimulátor az eseményvezérelt (event-driven) technikát alkalmazza.

3.2 Az UWB rádiós adatátvitel elmélete és gyakorlata

A beágyazott rendszerek többsége elosztott felépítésű, továbbá sokszor követelmény ezen rendszerek egyszerű átkonfigurálhatósága. Ezen feltételek célszerűen rádiós hálózati eszközökkel elégíthetők ki. A beágyazott rendszerekben tipikusan kis adatátviteli sebességre van szükség.

Mivel a rendelkezésre álló szabad, ún. Industrial, Scientific and Medical (ISM) frekvenciasávok rövidesen betelnek, az egyetlen járható út a már korábban kiosztott frekvenciasávok újrafelhasználása. Az IEEE 802.15.4a TG által kidolgozott LR-WPAN (Low-Rate Wireless Personal Area Network), általában UWB rádióként emlegetett megoldásban a kisugárzott jel teljesítménye ultra széles (500 MHz, ill. 2 GHz) frekvenciasávok felett oszlik meg. Mivel az UWB jel teljesítmény-sűrűségfüggvénye (psd) igen alacsony értékű, az UWB jelek nem okoznak észrevehető interferenciát a már meglévő, hagyományos, keskenysávú összeköttetésekben. Mivel az ESTI (Európai Unió) és FCC (USA) előírások nem rögzítik se (a) a vivő típusát, se (b) a modulációs eljárást, ezért lehetőség van arra, hogy az adatátvitelt akár rögzített (lásd impulzus rádió), akár inherensen szélessávú kaotikus (lásd kaotikus adatátvitel) jelekre alapozzuk. A merőben új vivőkől következik, hogy a hagyományos modulációs eljárások és MODEM áramkörök nem alkalmazhatók, továbbá, szükséges a hagyományos hírközlélmélet új vivőkre és modulációs eljárásokra való általánosítása.

Az UWB rádió *első* kulcskérdése, az ultra szélessávú vivő előállítás. Az UWB impulzus rádióban egy igen keskeny, tipikusan 0,5 ns, gaussi impulzusra van szükség. Ezen impulzus CMOS technológiával való előállítása komoly nehézségekbe ütközik. Egy alternatív megoldás az inherensen szélessávú kaotikus vivő alkalmazása.

Kaotikus adatátvitel alkalmazása az UWB rádiós rendszerekben

Egy korábbi OTKA kutatási program keretében kidolgoztuk a nemkoherens kaotikus adatátvitel elméletét és gyakorlatát, bevezettük az FM-DCSK modulációt, amely azóta egy nemzetközileg elfogadott, standard modulációs eljárássá vált, mi több, struktúráját tekintve az FM-DCSK moduláció alapelve elfogadásra került a nemkoherens UWB impulzus rádiózásban is.

Ezen tapasztalatokra alapozva továbbfejlesztettük a nemkoherens kaotikus adatátvitelt oly módon, hogy az ma már alkalmas az UWB rádiózás követelményeinek kielégítésére. Eredményeinkről referált nemzetközi folyóciókban [Chaotic Communications, 2002], [Performance of Frequency, 2005], nemzetközi konferenciákon tartott meghívott tutoriális előadásokon [The Theory and Implementation, 2003], [Ultra-Wideband, 2005] és nemzetközi konferencia előadásokon [UWB Technology, 2005], [UWB Radio, 2006], [Noncoherent UWB, 2006] számoltunk be. Eredményeink nemzetközi elismertségét jelzi, hogy a Samsung Advanced Institute of Technology bevonta Kolumbán Gézát, mint külső szakértőt, az IEEE IEEE 802.15.4a szabványjavaslat kidolgozásába.

Az adatátvitel elméletének általánosítása

A hullámforma kommunikáció lényege, hogy az átvinni kívánt digitális információt előbb szimbólumokra, majd azokat véges idejű analóg hullámokformákra képezzük le. Ezen hullámok alakja az UWB impulzus rádióban rögzített, inherensen szélessávú, tipikusan gaussi impulzus. Kaotikus vivő esetén a helyzet még bonyolultabb, mert a hullámforma alakja nem rögzített, az szimbólumról szimbólumra változik még azonos szimbólum ismételt kisugárzása esetén is.

A Fourier analízátor koncepció keretében kidolgoztuk a digitális adatátviteli rendszerek egységes elméletét. A módszer lényege, hogy a vevő zajsáv szélességének és a szimbólumidő értékének ismeretében egy Hilbert teret definiálunk, amelyben valamennyi, a detektor bemenetén megjelenő jel, legyen akár determinisztikus vagy sztochasztikus, egzakt módon leírható. A koncepció egyaránt alkalmas a rögzített és a folytonosan változó hullámformákkal való adatátvitel matematikai modellezésére. Fontos felismerés volt, hogy a jelek matematikai leírásához szükséges Hilbert tér adatai (bázis és dimenzió) csak a vevő paramétereinek függvénye. Mivel a Fourier analízátoros koncepció kidolgozása során semmiféle közelítést

nem alkalmaztunk, ezért az alkalmas az összes adatátviteli eljárás (hagyományos adatátvitel szinuszos vivőkkel, UWB impulzus rádió, kaotikus adatátvitel) egzakt módon való vizsgálatára. A Fourier analízatoros koncepció segítségével (a) definiálni tudtuk az *a priori* információ mennyiségét, (b) egységes módon osztályoztuk az adatátviteli rendszereket, (c) az *a priori* információ mennyiségének vizsgálatával rámutattunk a különböző megoldások elvi korlátaira és végül (d) megteremtettük a detekciós algoritmusok optimális módon való levezetésének lehetőségét. Eredményeinkről referált nemzetközi folyóirat-cikkekben [Performance Limit, 2005], [Generalization of Waveform, 2005], nemzetközi konferenciákon tartott meghívott tutoriális előadáson [Performance Bounds, 2006] és nemzetközi konferencia előadásokon [A New Description, 2003], [Model and Unified, 2005] számoltunk be.

3.3 Új, a CMOS technológiához illeszkedő jelfeldolgozó architektúrák analízise és kidolgozása, azok számítógépes szimulációja

Új jelfeldolgozó architektúrák kidolgozása

Az UWB rádió megvalósításának *második* kulcskérdése a CMOS technológiával megvalósítható, kellően robusztus detekciós algoritmusok és konfigurációk kidolgozása. A Fourier analízatoros koncepció segítségével két új detektorkonfigurációt dolgoztunk ki. Az első konfiguráció, az energiadetektor alkalmas mind a bináris, mind a többszintű FM-DCSK jelek demodulálására. A detekciós algoritmus kidolgozása során a lehető legkevesebb *a priori* információt használtuk ki azért, hogy egy nagyon robusztus és kellően egyszerű felépítésű detektorkonfigurációt kapjunk. Ugyanakkor a kevés felhasznált *a priori* információ következménye, hogy az energia detektorral zajos csatornában rosszabb hibaarány érhető el. Az energia detektort egy referált nemzetközi konferencián mutattuk be [Reception of *m*-ary, 2003].

Később az energiadetektor frekvenciatartománybeli ekvivalensének kidolgozásával egy alternatív detektor konfigurációt dolgoztunk ki [A New Frequency Domain, 2003].

Az energiadetektor (és annak frekvenciatartománybeli ekvivalensének) hátránya, hogy kidolgozása során a lehető legkevesebb *a priori* információt használtuk fel. A Fourier analízatoros koncepció alapján definiáltuk az *átlagolt optimális nemkoherens modulációk* osztályát, és arra támaszkodva kifejlesztettük az optimális nemkoherens FM-DCSK detekciós algoritmust és detektor konfigurációt. A detektor konfiguráció levezetése során maximális mértékben kihasználtuk a kaotikus vivők esetén rendelkezésre álló *a priori* információt. Ennek következménye a kedvezőbb hibaarány elérése, amelynek elérése azonban egy bonyolultabb detektor konfiguráció alkalmazását követeli meg. Az új detektort egy IEEE-ISCAS konferencián ismertettük [Optimum Noncoherent, 2004].

Az eredetileg digitális áramkörök megvalósítására kidolgozott CMOS technológia csak igen rossz paraméterekkel rendelkező analóg (RF és kisméretű) áramkörök megvalósítását teszi lehetővé. A probléma megoldását a komplex burkolók módszere kínálja, ahol minden sávkorlátozott jelet komplex burkolójával helyettesítünk, és így A/D átalakítás után az RF analóg jelfeldolgozást az *alapsávban* és *digitális jelfeldolgozás* segítségével végezzük el. A jelek komplex burkolójára alapozva olyan eljárásokat dolgoztunk ki, amelyek lehetővé teszik, hogy az FM-DCSK berendezésekben megvalósítandó jelfeldolgozási feladatokat az alapsávban tudjuk elvégezni. A CMOS technológiához kiválóan illeszkedő alapsávi jelfeldolgozás lehetővé teszi, hogy egyebek mellett a késleltetést diszkrét idejű késleltetővel, vagy digitális shift regiszterekkel oldjuk meg. A módszer lényege, hogy az adó oldalon az alapsávban állítjuk elő az FM-DCSK jel komplex amplitudóját, majd a komplex amplitudóból egy kvadratúra keverővel állítjuk elő a mikrohullámú FM-DCSK jelet. A vevőoldalon egy kvadratúra keverővel meghatározzuk a vett jel komplex amplitudóját, és a demodulációt a komplex amplitudó alapján, az alapsávban végezzük el. Az általunk kidolgozott eljárásokat két PhD disszertáció [Jákó, 2004], [Kis, 2004] ismertette.

A CMOS technológiához illeszkedő, SoC koncepciójú vevő architektúrák analízise

A mobil hírközlő rendszerek fejlődésével a második generációs GSM rendszereket az úgynevezett 2,5 generációs (Enhanced Data rates for GSM Evolution, EDGE) rendszerek váltják fel. Az EDGE szabvány szerinti csatornakiosztás és a frekvenciasávok megegyeznek a második generációs rendszerek paramétereivel, de az adatátviteli sebességet az eredeti háromszorosára növelték. Az adatátviteli sebesség növelését többszintű modulációval [lásd bináris Gaussian Minimum Shift Keying (GMSK) helyett 8 szintű Phase Shift Keying (PSK)] érték el. A többszintű moduláció használatával azonban szigorúbbá válnak a rendszer vevőjével szemben támasztott követelmények.

A fejlődés másik kiváltója, hogy az SoC koncepció és a CMOS technológia alkalmazásának követelménye a EDGE területen is egyre nagyobb hangsúlyt kap. Az alacsony ár és CMOS technológia következménye, hogy felépítésüket tekintve a korszerű vevők egyre inkább az alacsony KF frekvenciás ill. közvetlen keverésű vevő architektúráknak fognak megfelelni.

A hagyományos szuperheterodin, alacsony KF frekvenciás és a közvetlen keverésű vevő architektúrák összehasonlító analízisére olyan rendszerszintű szimulációs modelleket és számítógépes szimulátort dolgoztunk ki, amelyekben nemcsak a rendszerszintű, hanem a fontos, áramköri szintű paraméterek is figyelembe vannak véve. A kidolgozott szimulátorok alkalmasak a vevő egyes részein mérhető jel-zaj viszony, illetve a hibaarány meghatározására. A szimulátorok Matlab ill. Signal Processing Worksystem (SPW) környezetben működnek, valamint C nyelven írt függvényeket tartalmaznak. Munkánk során az European Telecommunications Standard Institute (ETSI) által kidolgozott szabványokra támaszkodtunk.

A szimulátorok segítségével a (a) szuperheterodin (b) alacsony KF frekvenciás és (c) közvetlen keverésű vevő architektúrák összehasonlító analízisét végeztük el különböző terjedési viszonyok között. Mivel a Motorola cég Semiconductor Product Sector (SPS) corki tervező intézete igen nagy tapasztalatokkal bír a mobil rádiótelefonok fejlesztése terén, és rendelkezik a szükséges számítástechnikai infrastruktúrával is, az általunk kidolgozott szimulátorokat a Motorola corki tervező intézetében telepítettük, és a vevőarchitektúrák kiértékelését Corkban végeztük el.

MATLAB és Verilog-AMS kompatibilis számítógépes szimulátorok kidolgozása

A fejlesztési idő rövidítése és a költségek csökkentése miatt az IC tervezés során egyre gyakoribb az egyes áramkörök, mint IP blokkok, újrafelhasználása. Az IP blokkokon alapuló SoC tervezésben számítógépes szimulátorokat használunk mind az IP blokkok kiválasztása, mind a kifejlesztendő IC optimalizálása során. A szimulációnak két síkja van: egyaránt szükség van egy igen gyors (a) rendszerszintű és egy részletes tervezést támogató (b) Verilog-AMS szintű szimulátorra.

Az OTKA kutatási program keretében kidolgozott rendszerszintű szimulátor MATLAB környezetben működik. A szimulátor blokkokra épül, ahol az egyes szubrutinok az adatátviteli rendszert alkotó blokkokat illetve a rádió csatornát modellezik. Az egyes blokkok tetszés szerint kapcsolhatók össze, következésképpen a szimulátorral tetszőleges adatátviteli rendszer vizsgálható. A vizsgált adatátviteli rendszerben fellépő jelek komplex burkolóikkal vannak jellemezve. Mivel egy sávkorlátozott rendszerben a komplex burkolókkal lehet az elméletileg lehetséges legkisebb mintavételi frekvenciát elérni, ezért a kidolgozott szimulátor biztosítja az elméletileg elérhető legrövidebb szimulációs időt is. Külön szubrutinok szolgálnak a rendszertervezés során szükséges adatok (pl. jel-zaj viszony) RF sávban való mérésére. Mivel a szimulátor MATLAB környezetben működik, lehetőség van a kapott adatok szükség szerinti posztprocesszálására is. A kidolgozott szimulátort egyebek mellett eredményesen használtuk fel a Samsung Advanced Institute of Technology (SAIT) által az IEEE 802.15.4a Munkacsoport számára benyújtott PHY szabványjavaslat kidolgozása során.

A rendszerszintű tervezés után el kell végezni az IC áramkörszintű megtervezését. Ezt gyakran a Verilog digitális szimulátor AMS verziójával, ahol az AMS az Analog and Mixed Signal kifejezés rövidítése, végzik el. A Verilog-AMS szimulátorok makromodellek alapján működnek, a legnagyobb probléma a makromodell-paraméterek meghatározása.

Az OTKA kutatási program célja a makromodell-paraméterek automatikus meghatározása volt a Cadence által írt nverilog szimulátor számára. A szimuláció automatizálása érdekében létrehoztunk egy programot, amely alkalmas a Verilog-AMS makromodell-paraméterek automatikus meghatározására.

Minden egyes blokkra kidolgoztunk egy sablon Verilog-AMS modellt, valamint egy SPICE teszt környezetet. A tényleges modellt egy PERL-ben írt program hozza létre. A program a modellezendő áramkört beilleszti a teszt környezetbe, majd elindít egy SPICE szintű szimulációt. A szimuláció eredményeiből kiolvassa az adott blokk fontosabb paramétereit (pl. erősítés, a ki- illetve bemeneti impedanciák, stb.), majd az így megkapott paraméterek, valamint a sablon modell alapján létrehozza a blokknak megfelelő Verilog-AMS modellt. Mivel a munka elvégzéséhez szükséges számítástechnikai infrastruktúra tanszékünkön nem állt rendelkezésre, a munkát a Motorola SPS corki tervező intézetében végeztük el. Az általunk kidolgozott szimulátorokat a Motorola corki tervező intézetében telepítettük és teszteltük.