

# Szoftverrádió-rendszerek: új trendek

ERDEI MÁRK, WAGNER MARGIT KATALIN

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Híradástechnikai Tanszék  
{merdei, kwagner}@hit.bme.hu

**Kulcsszavak:** szoftverrádió, SDR, GSM

*A szoftverrádió a vezeték nélküli távközlésen belül a kutatások egyik kulcsterülete. Röviddel az elméleti eredmények publikálását követően megjelentek az első prototípusok is, elsősorban katonai alkalmazásokra. A fejlesztés két fő irányban folyik. Az egyik irányra univerzális hardverek alkalmazása jellemző, ahol egy hardver-absztrakciós réteg elfedi a hardver változtatásait. A másik megközelítés általános célú PC-n és operációs rendszeren alapszik, az RF-rész PC-kártyán történő megvalósításával. A jelfeldolgozó kód egy közismert programnyelven (főleg C/C++/on) megírt alkalmazás. A cikk bemutatja a két megközelítést és illusztrálja az utóbbit egy kísérleti GSM rendszerrel.*

## 1. Bevezetés

A vezeték nélküli technológiák terén jelenleg sokféle szabvány létezik. Ezek egyaránt használatosak különféle célokra: például a Bluetooth – PAN-ok közötti és PAN-okon belüli kommunikációra; WLAN – irodai és otthoni használatra; GSM, WCDMA – mobil távközlési hálózatokban. A jelenleg használatos digitális rádiótechnológia minden egyes kommunikációs technológiához külön-külön specifikus hardver megvalósítást igényel. A szoftverrádió célja, hogy a rádiót megvalósító hardverek sokféleségét csökkentse, lehetővé téve, hogy egyetlen hardver használatával lehessen elérni a különböző kommunikációs technológiákat alkalmazó hálózatokat.

Joseph Mitola definíciója [1,2] alapján szoftver rádióknak nevezzük az olyan rendszereket, melyek működése szoftverrel újradefiniálható. Az ilyen rendszerek legtöbbször többcsatornás adatfeldolgozó rendszereként működnek.

A közös hardver használata kedvez mind a felhasználóknak, mind pedig a készülégyártóknak. A felhasználók előnye nyilvánvaló: Nem kell különféle eszközöket hordozniuk magukkal, hanem elég egy általános célú berendezést használni, és ha újabb funkciókat szeretnének használni, akkor elegendő a hardvert vezérlő szoftvert frissíteni. A készülégyártók számára az jelent előnyt, hogy nem kell különböző készülékeket gyártaniuk, hanem egy alaphardvert gyárthatnak sokkal nagyobb mennyiségben, ennek következtében a gyártási költség jelentősen leszorítható.

A szoftverrádió-konceptió alkalmazható a hozzáférési hálózatok és mobil végberendezések területén is. A hozzáférési hálózatokban a távközlési szolgáltatók ugyanazon bázisállomásokkal nyújthatnak például GSM, WLAN és WCDMA lefedettséget, valamint a közeljövőben megjelenő módosításokat, illetve újabb rádió technológiákat is támogathatják meglévő bázisállomásaikkal. Egyedüli korlátot az eszközök feldolgozási kapacitása jelent, és a hardverfrissítésekre is csak ez szolgál-

tat okot. Mobil végberendezések területén pedig akár egy PC-kártya segítségével elérhetik a felhasználók ugyanezen technológiákat. Az egységes hardverből eredő nyereség a hálózati oldalon szembeötlőbb, hiszen a felhasználók már ma is vásárolhatnak olyan bővítő kártyákat a számítógépeikbe, melyek több technológiát is támogatnak (ezek azonban nem egységes hardvert használnak, hanem integrálják a különböző technológiákat külön-külön megvalósító alkalmazás-specifikus áramköröket, ASIC-okat).

A szoftverrádió a vezeték nélküli távközlési technológia fejlődését is felgyorsíthatja, mivel használatával a jelenleg még csak hardverfrissítéssel megoldható technológiai váltások egyszerű szoftverfrissítéssel is elérhetőek. Ez jelentős gazdasági előnyt jelenthet a vezeték nélküli távközlés területén kutatás-fejlesztéssel foglalkozó vállalatok számára is, mivel jelentősen lecsökkentheti ROI-jukat.

### Rövidítések

<b>WLAN</b>	– Wireless Local Area Network
<b>WCDMA</b>	– Wideband Code Division Multiplex Access
<b>ASIC</b>	– Application Specific Integrated Circuit
<b>ROI</b>	– Return Of Investment
<b>SDR</b>	– Software Defined Radio
<b>ADC</b>	– Analog-to-Digital Converter
<b>DAC</b>	– Digital-to-Analog Converter
<b>DUC</b>	– Digital Up Conversion
<b>DDC</b>	– Digital Down Conversion
<b>FPGA</b>	– Field Programmable Gate Array
<b>DSP</b>	– Digital Signal Processor
<b>BTS</b>	– Base Transceiver Station
<b>BSC</b>	– Base Station Controller
<b>MSC</b>	– Mobile Switching Center

## 2. Újrakonfigurálható SDR

A rádiófrekvenciás modul (1. ábra, baloldali blokk) az antennából csatolókon keresztül veszi (illetve adja) a rádiófrekvenciás jelet, és azt demodulálja középfrekvenciára. Vevőoldalon az RF modul analóg rádiófrekvenciás erősítést és RF-KF keverést végez, míg adóoldalon először KF jelet RF-ra transzformálja, majd RF tartományban teljesítményerősítést végez [3].

Az ADC/DAC blokkok (1. ábra, középső blokk) analóg-digitális átalakítók. A vevőoldalon analóg jelből digitális jelet, adóoldalon digitális jelből analóg jelet hoznak létre. Ezen blokkok határolják a rendszer analóg és a digitális részeit [4].

A DUC illetve DDC blokkok (1. ábra, középső blokk) modulációt végeznek az adó, demodulációt a vevő oldalon (digitális tunereknek is hívjuk őket).

Az alapsávi rész (1. ábra, jobboldali blokk) ennek megfelelően alapsávi műveletekért felelős: kapcsolatfelvétel, teljesítménykiegyenlítés, frekvenciaugratás, időzítés, korreláció stb. Ebben a részben van megvalósítva az adatkapcsolati protokoll is.

A DDC/DUC blokkok, illetve az alapsávi feldolgozás igen nagy számítási kapacitást igényel, ezért hagyományos digitális eszközökben ASIC eszközöket használnak erre a célra. Az SDR rendszerekben mind az alapsávi feldolgozás, mind a DDC/DUC modulok megvalósítása programozható eszközök felhasználásával történik.

A programozhatóság kiterjeszhető lenne az RF részre is (pl. ha az analóg-digitális konverziót már az antennában megoldanánk). Ilyenkor az RF frekvenciasávok programozható váltását is meg kellene oldani. Ilyen széles frekvenciasávban történő átalakításra még a jelenleg legfejlettebb ADC/DAC eszközök sem alkalmasak.

## 3. Vanu Szoftverrádió

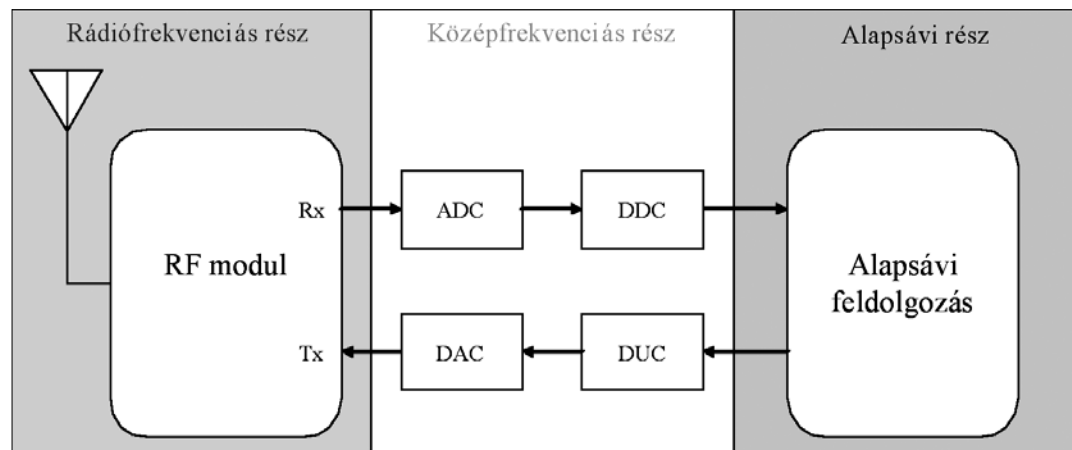
A Vanu Szoftverrádiót a Vanu Inc. (Cambridge, MA, USA) dolgozta ki és valósította meg. Ez az új koncepció nem a szoftverrádió megvalósításának elvi vonatkozásában tér el a korábban alkalmazott módszerektől, hanem sokkal inkább a megvalósítás módjában [5,6].

A Vanu elsősorban abban különbözik a hagyományos szoftverrádió megoldásoktól, hogy nem speciális SDR hardver platformot és hozzá tartozó nyelvet használ, hanem kereskedelmi forgalomban kapható, általános PC-t, mint hardware-t – egy RF funkciókat megvalósító PCI kártyával bővítve – valamint általános operációs rendszert (Linux), és széles körben használt programozási nyelvet (C, C++). A teljes jelfeldolgozás az operációs rendszeren kívül, felhasználói alkalmazásként fut, csak a bővítőkártya meghajtó programja kötődik szorosan az operációs rendszerhez.

A Vanu által alkalmazott módszer számos előnyt rejt magában. Nyilvánvaló előny, hogy a hétköznapi forgalomban is elérhető eszközök alkalmazása további költségcsökkentést tesz lehetővé. Ennél azonban fontosabb, hogy az általános célú eszközök alkalmazásával az SWR rendszerek is kihasználhatják a Moore-törvényt. A feldolgozási kapacitás növekedését tehát nem befolyásolják egy speciális SWR platform esetén fellépő, újratervezésből eredő késleltetések.

A hagyományos SDR koncepcióban egy generikus, de kifejezetten SDR célokra fejlesztett hardware platformot alkalmaznak. Ez FPGA-kból, DSP-kból és mikroprocesszorokból, az azokat összekötő kommunikációs csatornákból, valamint közös erőforrásokból (például memória) áll. A generikus hardver lehetővé teszi a szoftverrádió koncepció teljes körű megvalósítását, a jelfeldolgozás hardvertől való teljes függetlenítését egy absztrakciós réteg bevezetésével. A Vanu Szoftverrádió azonban még nagyobb függetlenséget eredményez, mivel a PC és az általános célú operációs rendszer használata lehetővé teszi, hogy a szoftverrádió alkalmazást hagyományos PC-n üzemeltessük, csak a feldolgozási kapacitás jelent korlátozást a futtatható rádiós technológia bonyolultságára nézve.

A következőkben bemutatunk egy kísérleti rendszert, melyet a Vanu Inc. 2003 júniusában állított üzembe egy közép-texas-i cellás rádiós hozzáférési hálózat (Mid-Tex Cellular) részeként. A bázisállomás két 2.8 GHz-es Intel processzorral felszerelt HP ProLiant szerverből áll. A szerveren Linux rendszer fut, és egy ADC Digivance rádió-adóvevőhöz csatlakozik. Minden jelfeldolgozás, protokollhoz kapcsolódó feldolgozás, illetve a GSM BSC funkcionalitás alkalmazásként fut ezen a szerveren.



1. ábra  
Az újrakonfigurálható  
SDR  
architektúrája

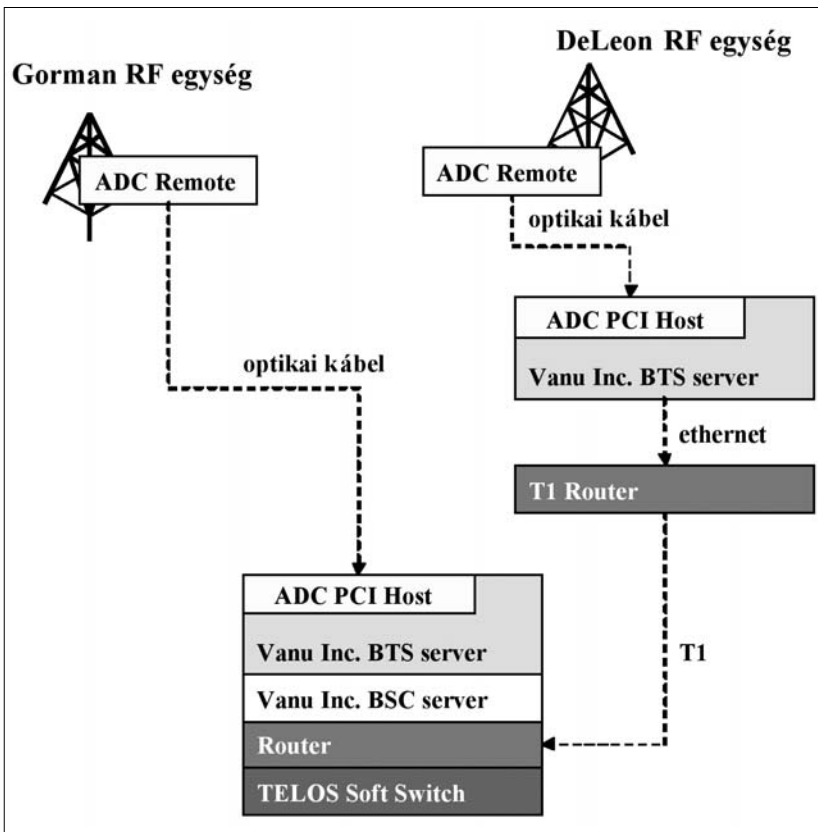
A kísérleti konstrukció két bázisállomásból (BTS) és egy bázisállomás-vezérlőből (BSC) áll. A konstrukció architektúráját a 2. ábra szemlélteti.

Mindegyik egy kereskedelmi forgalomban kapható 2 db 2.8 GHz-es Intel Xeon processzorral ellátott HP ProLiant DL380-as szerverből áll. Mind a jelfeldolgozást, mind a protokollokat Linux operációs rendszer fölött futó alkalmazások valósítják meg. A bázisállomások szektoronként két vivőt használnak (GSM szabvány szerint, tehát 8 időrésszel vivőnként). BTS-enként két időrést vezérlőcsatornának részére tartottak fenn. Az egyik bázisállomást DeLeonban, a másikat egy szomszédos városban, Gormanben telepítették. A kísérlet egyik célja a két bázisállomás közötti handover megfigyelése volt, ezért körsugárzó antennákkal biztosították a két bázisállomás által lefedett terület átlapolódását.

Az ADC Digivance rendszer a távoli antenna és a helyi feldolgozó egység közötti optikai összeköttetést biztosítja. Ezt a rendszert elsősorban a Gormanben elhelyezett BTS esetében használták, mivel a DeLeon-i központban lévő HP szerver futtatta a gorman BTS programját, melynek antenna egysége mintegy 20 km-re volt.

A DeLeoni bázisállomás esetében a BTS szerver az antenna mellett, az épület tetején került elhelyezésre. A BTS szerver és a BSC szerver között T1 összeköttetés biztosította az adatátvitelt. A DeLeon-i központban a BSC szerver, a Gorman BSC szerver és a Cisco router gigabit ethernet hálózatra csatlakoztak. A jelzés és

2. ábra A kísérleti rendszer architektúrája



A Vanu Inc. honlapja

a forgalom (beszéd) IP hálózaton keresztül került átvitelre. Az MSC funkcionalitást (kapcsolást) egy TELOS soft-switch biztosította. A TELOS a fent említett gigabit ethernet hálózatra csatlakozott.

A tesztelés hagyományos GSM telefonokkal történt (850 MHz-es tartományban). A legtöbb esetben a tesztelő személyautóban, vezetés közben használta a telefonját. A tesztelés során az alábbi funkciókat vizsgálták:

- handover,
- teljesítményszabályozás (power control),
- timing advance számítása,
- lefedési terület meghatározása.

Az első héten a mobil-mobil hívásokat vizsgálták. Kezdetben nagyon sokszor szakadt meg a kapcsolat, mivel a rossz vételi körülmények miatt a rendszer sokszor bontotta a vonalat. Ennek korrigálása megtörtént: megnövelték a rendszer várakozási idejét. A következő probléma is ezzel a jelenséggel volt kapcsolatos: Azokat a csatornákat, melyeket a bázisállomás felszabadított, de a rossz vételi körülmények miatt a mobil erről nem tudott, később nem lehetett használni (egy ideig, amíg a telefon nem bontotta a vonalat).

Ezen felül még több területen jelentkeztek problémák, például a VoIP nem megfelelő konfigurációja okozott érezhető extra késleltetést, a teljesítményszabályozáson kellett finomítani, hogy a telep lehető legalacsonyabb fogyasztása mellett lehessen maximalizálni a beszáradminőséget.

A handover kapcsán is merültek fel problémák. Az első változatban a mobilok túl gyorsan váltottak bázisállomást. Így azok a mobil egységek, melyek a közös lefedési területen voltak, össze-vissza kapcsolak a két bázisállomás között.

A háromhetes próbaüzem alatt a bázisállomás szoftverét 12-szer kellett jelentősen módosítani (12 verziót adtak ki). Az új változatokat mindig az Interneten keresztül töltötték le, és néhány másodperc alatt telepítették. A fent felsorolt esetek csak kiragadott példák az előforduló problémákból.

Mint az a fenti példában is látható, a problémák egytől-egyig konfigurációs és paraméter-optimalizálási hiányosságokból adódtak melyeket a tisztán szoftveres megvalósításnak köszönhetően gyorsan és egyszerűen korrigálni lehetett. A módosításokat azonnal ki lehetett próbálni. E kulcsfontosságú kísérlet egyértelműen bizonyította a szoftverrádió koncepció életképességét, valamint a használatából eredő előnyöket.

A Vanu Inc. jelenleg dolgozza ki az Egyesült Államokban széles körben alkalmazott CDMA szabványt támogató szoftverfrissítését. Partnerük a Mid-Tex Cellular így pusztán a szoftverfrissítés telepítésével képes lesz egyidejűleg GSM-et és CDMA-t szolgáltatni.

#### 4. GNU Radio

A GNU Radio egy, a Vanu Szoftverrádió elvi koncepcióját alkalmazó szabad-szoftver platform. A Vanu rendszeréhez hasonlóan egy általános célú PC-t használ, Linux operációs rendszerrel és a rádiós modult megvalósító PCI kártyával [7].

A GNU egy úgynevezett univerzális szoftverrádió perifériát definiál (Universal Software Radio Peripheral) azok számára, akik nem rendelkeznek számítási kapacitásban és memóriában elegendően erős hardverrel. Ez az eszköz biztosítja a rádiófrekvenciás modult (lásd 1. ábra).

Az USRP alaplapja négy 12 bites 64 minta/s AD átalakítóból, négy 14 bites 128 minta/s DA átalakítóból, egy FPGA-ból, illetve egy programozható 2.0-s USB vezérlőből áll. Az USRP alaplaphoz 4 további hardver egység csatlakoztatható: kettő a vételhez, kettő az adáshoz. Ezek a hardver egységek különböző frekvencia-tartományokban működnek. Az USRP rugalmasságát a programozható USB 2.0 vezérlő és az FPGA-k adják.

A GNU Radio jelenlegi verziója már rendelkezik HDTV dekódolást megvalósító alkalmazással, szoftveres spektrum analízátorral, oszcilloszkóppal. Jelenleg megvalósítás alatt állnak többek között a TDMA, GPS, TETRA technológiák is.

#### 5. Összefoglalás

A szoftverrádióval már sok éve foglalkoznak a vezeték nélküli távközlés területén működő vállalatok és egyetemi laborok. Az elvi alapok kezdeti lefektetését köve-

tően készültek is már prototípus rendszerek, elsősorban katonai célokra.

A szoftverrádió architektúráját illetően két megközelítés versenyzik egymással. Az egyik megközelítés FPGA-ból és DSP-kből álló univerzális célhardvert használ, hardver absztrakciós réteget (a hardverben fellépő változások elfedésére). A másik általános célú PC-t, általános célú operációs rendszerrel, valamint egy bővíthető kártyaként megvalósított rádiófrekvenciás egységet. Az utóbbi megközelítésben a jelfeldolgozó kód magas szintű, széles körben elterjedt programozási nyelven készül és felhasználói alkalmazásként fut.

Az utóbbi megközelítés a 3. pontban bemutatott kísérletnek köszönhetően jelentős lépéselőnybe került, hiszen éles körülmények között bizonyította működőképességét és létjogosultságát. Azt, hogy a két megközelítés küzdelméből melyik kerül ki győztesen, majd az elkövetkező esztendőök fogják eldönteni.

#### Irodalom

- [1] Joseph Mitola, "Software Radio Architecture", Object-Oriented Approaches to Wireless Systems Engineering, Wireless Architectures for the 21st Century, Fairfax, Virginia, USA, Oct. 2000, ISBN 0-471-38492-5
- [2] Gyula Rábai, Sándor Imre, József Kovács, Péter Kacsuk, „Resource Manag. in Software Radio Architectures”, 2nd Karlsruhe Workshop on Software Radios, 2002.
- [3] Alok Shah, „An introduction to Software Radio”, Vanu Inc. 2002, <http://www.vanu.com/resources/intro/SWRprimer.pdf>
- [4] WIPRO Technologies, „Software-Defined Radio”, 2002 August, <http://www.wipro.com/shortcuts/downloads.htm>
- [5] Jeffrey Steinheider, Victor Lum, Jonathan Santos, „Field Trials Of An All-Software GSM Basestation”, Proceedings of the Software Defined Radio Forum Technical Conference, Orlando, FL, November 2003, [http://www.vanu.com/resources/publications/basestation\\_SDRFpaper.pdf](http://www.vanu.com/resources/publications/basestation_SDRFpaper.pdf)
- [6] Alok Shah, Jeremy Nimmer, David Franklin, „A Prototype All-Software Public Safety Interoperability System”, [http://www.vanu.com/resources/publications/shahA\\_SDR04.pdf](http://www.vanu.com/resources/publications/shahA_SDR04.pdf)
- [7] <http://www.gnu.org/software/gnuradio/>