

ПРЕДИЗВИКАТЕЛСТВА НА СОФТУЕРНИТЕ РАДИОКОМУНИКАЦИИ

THE CHALLENGES OF SOFTWARE-DEFINED RADIO

доц. д-р Панайот Илиев

Настоящата тенденция да се създаде и приеме трето поколение (3G) безжични комуникационни стандарти пороци огромни очаквания сред инженерите. До известна степен е налице схващането, че приемането на нови стандарти ще доведе до почти мигновеното състояние да се проектират множество многоцелеви безжични интернет уреди с функции и възможности, далеч надхвърлящи тези на днешните безжични телефони и многобройните видове организатори.

Скорошна дискуссия в индустрията предполага, че следващите месеци ще доведат до излизането на пазара на един вид устройство за комуникация и забавление. С форм фактор и живот на батерията, подобна на безжичните телефони, днес тази система ще предостави високо качество на аудио и видео сигнала от Интернет, а също така ще предоставя гласови комуникационни възможности и ще служи като радиоприемник за Bluetooth. Това устройство ще има достъп до безжичната локална мрежа в офиса, ще служи като мобилен телефон по време на пътуване и ще може да се свързва към друга безжична локална мрежа къщи. То ще може да разпознава безжични инфраструктури, като интернет кафета и аеропортове в летищата. Най-важно, устройството ще работи безупречно с инфраструктурата навсякъде по света, където потребителите изберат да го вземат.

В този набор от очаквания, има разумна доза факти. 3G апаратите със сигурност ще предложат функции и възможности, надхвърлящи наличните в момента (2G) и последните ново въведения на 2.5G. Съвременните постижения в технология на цифровия сигнален процесор (DSP - *Digital Signal Processor*) ще позволи предоставянето на висока скорост на аудио и видео в безжичните преносими уреди в близко бъдеще. Bluetooth технология е готова да се разпространи по улиците.

Но идеята, че супер безжични уреди ще се появят всеки момент по-скоро е чиста измислица. Сегашните технологии не позволяват вграждането на всички 3G възможности в един ръчен уред. Той не може да поеме в една малка система, голяма, колкото длан, всички различни изисквания на комуникационните стандарти, по всички различни части на света.

Все пак, съществуват големи очаквания и засилен интерес от страна на производителите на оригинално оборудване - всеки един се надява да бъде първият на пазара със супер безжично устройство, което ще предостави всички възможности на пазара в момента. Изключително важни са технологичните ограничения, въпреки че съществуват научни изследвания и тяхното развитие може да служи за преодоляването на ограниченията. Един начин за преодоляването на технологичните ограничения е (**SDR - Software-Defined Radio**) подход като средство за преодоляване на пречките за много режимни

комуникации и за смекчаване на ключовите затруднения, породени от различни комуникационни стандарти.

Клетъчни Комуникационни Стандарти

Операторите на мобилни услуги се надяват потребителите да ползват все по-малко своите компютри и телевизори и да ползват все повече техните клетъчни телефони (да носят своите клетъчни телефони като часовник), като източник на информация и развлечения. За разлика от домашните комуникационни уреди, като настолни компютри и телевизионни приемници, доставчиците на клетъчни услуги имат желание мобилните телефони да се използват в целия свят чрез прилагането на единен стандарт. Като се има предвид този сценарий, е интересно да се проучи решение на всички тези цели, като се използва технологичната постижимост днес и в близко бъдеще.

Идеалният свят за доставчиците на клетъчни услуги ще бъде свят, в

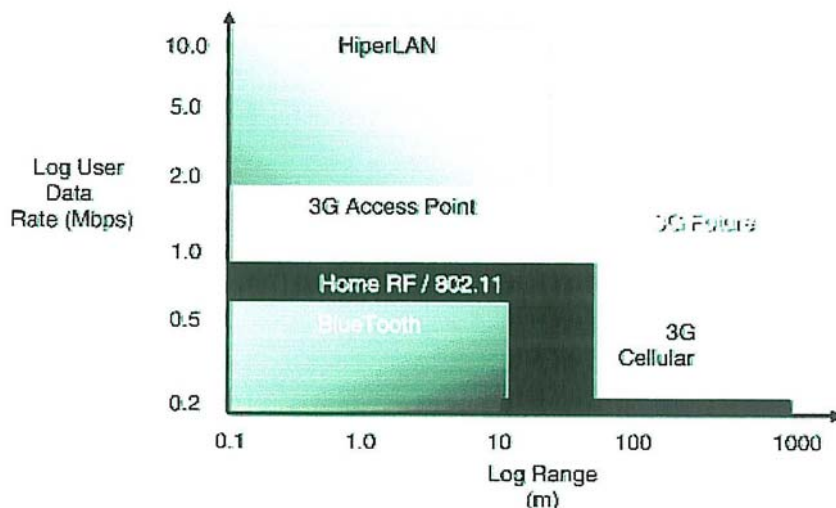


Figure 6.1 Wireless standards: data rates and ranges. Note, 802.11 is presented as the original IEEE standard. Later modifications increased the data rate to 2 Mbps and now 11 Mbps.

който има само един единствен стандарт и една честотна лента, така че само те да са необходими за поддържането на един телефон. Но днес сме изправени пред различни безжични стандарти в различните части на света, с различни възможности. Фигура 6.1 показва различните безжични стандарти за данни, които ще се използват през следващите няколко години. Фигурата представя процентно данните в зависимост от обхвата, параметризуеми по стандарта. Настаняването на различни стандарти в една мрежа изисква мобилен телефон, който поддържа различни стандарти. В идеалния случай, това се постига с радио, което има минимална фиксирана функционалност и аналогова обработка. Гъвкава, мощна цифрова обработка може да осигури чрез софтуер с дефинирани функции и възможности за преконфигурация.

Какво е Software Defined Radio

Неотдавна, SDR [2/5] се появяват като решение за изпълняване на широк спектър от изисквания. Ясно е, че SDR има предимства за клиента - един уред, който винаги е свързан и осигурява информационно обслужване, без значение от местоположението, чрез комуникиране чрез глас или данни. В допълнение, производителят на телефони трябва да поддържа само едно "шаси" за мобилния апарат. Това опростява световната поддръжка. Ако се върнем към желанието на потребителя за информация, SDR въвеждат възможността за достъп до различни форми на комуникация чрез компактен радиоприемник. Както вече

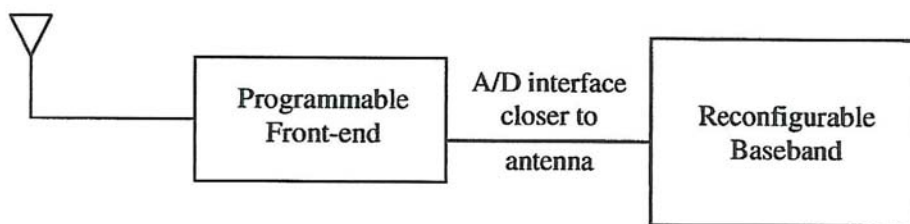


Figure 6.2 The SDR for multi-mode, multi-band transceivers. The concept utilizes a multi-band RF front-end and a baseband primarily re-configurable in software

споменахме, едно PDA (Personal Digital Assistant), с което можете да осъществите достъп до безжична локална мрежа в офиса, да се свържете с 3G клетъчна система по време на пътуване или пък да се свържете към домашно базирана безжична локална мрежа където ще се предлагат повсеместно навсякъде и ще предлагат информация по всяко време. Може да има други възможности за директен достъп до информация, чрез разпознаване на местните безжични инфраструктури, като интернет кафета и аеропортове или показване на филми на паркинга!

Функционалността на SDR се реализира чрез софтуер, които изпълнява задачите по обработка на сигнала в цифровата област, както е показано на фигура 6.2. Вместо обработка на аналогови RF сигнали, да изолира канали и да премахне шума от тях и от съседни ленти, SDR конвертира безжичния сигнал в цифров поток от данни при първа възможност. Мощната цифрова обработка на сигнала предвижда по-гъвкави софтуерно дефинирани функции и хардуерно преконфигуриране.

За преносими 3G безжични комуникационни уреди този вид цифрова обработка на сигнала е важен, за да могат да се ползват различни стандарти и множество режими на работа. Тя позволява хардуера на приемника да се преконфигурира за различни цели, като това води до значително намаляване на размера на системата, както и цената. В един клетъчен телефон, например SDR, ще използва същия хардуер за комуникации навсякъде по света, въпреки разнообразието от стандарти на различните места по света. В различните части на света честотите за предаване и приемане за 2G и 3G са различни. Това означава, че в един идеален универсален преносим уред радиочестотите на предаване и приемане трябва да се отделят. Фигура 6.3 показва света на

радиочестотния спектър за **IMT-2000**, на 3G безжичен стандарт. Въпреки, че Европа, Китай и Япония ползват почти еднакви предавателни и приемни честоти, САЩ е избрал компактна честотна лента с дуплекс само на 90 MHz. Това не засяга промени в радио честотите при филтриране, а само за отделяне предаваните съобщения от получените. В допълнение, няма уговорена в света една RF лента за качване и за изтегляне на информация в рамките на един стандарт. Така например, стандарта GSM телефон, закупени в Европа днес няма да работят в инфраструктура GSM на САЩ, понеже честотните RF обхвати се различават.

Колкото повече функции се добавят към уреда, толкова повече това води до усложняване на хардуера.

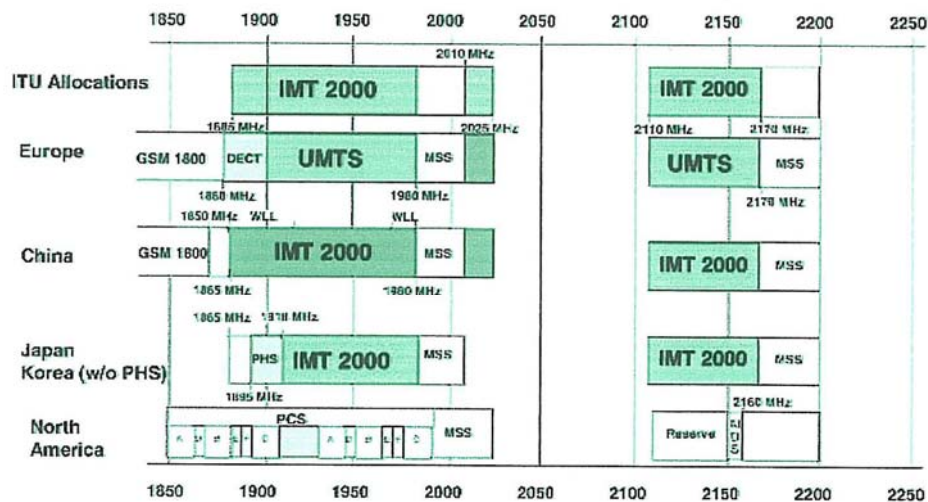


Figure 6.3 World-wide spectrum allocation for third generation cellular. Reproduced courtesy of REF. [10]

Дублирането на хардуера, за да може да изпълнява няколко функции, довежда до оскъпяването на една система, превръщайки инвестициите в недопустимо големи, сложни и скъпи. Ако идеята е да се създаде супер уред толкова малък като преносимите безжични телефони, единственото възможно решение е все по-увеличаващото се количество на цифрова обработка на сигнала, който дава възможност за пре-конфигуриране на функционалната система за целите, които се търсят. Повечето безжични системи използват един и същ честотен канал за предаване и приемане по метод, наречен Time Domain Duplex (TDD), както е показано на фигура 6.4. Bluetooth и 802.11 споделят един и същи 2.4 GHz ISM канал, докато HiperLAN и няколко други системи работят в 5.2-GHz ISM канал. При тези системи за мобилно предаване клиентът предава до базата (или точката за достъп) за известен времеви интервал, а след това базата предава информация към клиента през друг времеви интервал. Броят на времевите интервали за всяко предаване могат да бъдат преразпределени (между качване и изтегляне на информация), тъй като трафикът за данни го изисква. В контраст на тази технология повечето доминиращи клетъчни системи за глас използват отделни ленти за предаване и приемане. Този метод, известен като Frequency Domain Duplex (FDD), позволява едновременно двупосочна комуникация. Устройство, което работи във FDD режим и в TDD

режим, ще даде възможност за универсалната комуникация, към която ние се стремим.

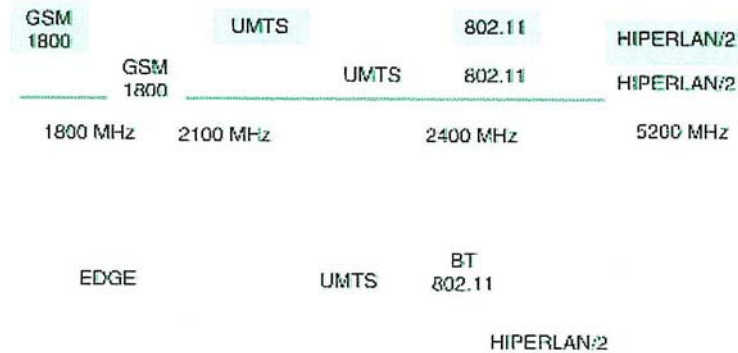


Figure 6.4 Wireless standards: spectrum and bandwidth

Различните техники за модулация, които в момента са в употреба, още повече усложняват проблема с налагането на една честотна лента и налагането на пазара на многолентов, многозадачен, многофункционален уред. Повечето комерсиални комуникационни системи използват променлива фазова модулация. Въпреки това, някои безжични системи за данни могат да използват високоскоростна модулация (т.е. 16-QAM) за много висока скорост на предаване на данните в ситуации, в които съществуват оптимални маршрути за разпространение. Във всички случаи, ширината на каналът е пропорционална на скоростта на предаване на данни във всяка система. Промяната в размера на данните изисква промени в широчина на честотната лента на SDR.

Една интересна еволюция в комуникациите е преходът от честотни канални системи към кодови канални системи. Най-често използваните клетъчни стандарти днес, като GSM, използват теснолентова канална честота, която времево се споделя от много потребители – система, наречена Time Division Multiple Access (TDMA). Кодово каналните системи, от друга страна, използват разпространение на кодовете за няколко отделни потребители относно общата честотата на канала. В САЩ (CDMA **Code Division Multiple Access**) е технология, често използвана в Personal Communication Systems (PCS) в обхвата 1900 MHz. Дигитализираните гласови сигнали са умножени по носещия код, който идентифицира потребителя. В приемника всички приети кодове се демодулират и разделят от цифров канален приемник за определяне на конкретния потребител.

Преходът от въображаеми супер - безжични уреди от сферата на фантазията към действителността изисква разработването на мобилен телефон, които може да поддържа всички стандарти. SDR – устройствата трябва да отговарят на стандартите, които са общи днес, но също и на стандартите, които могат да възникнат в бъдеще, за да отговарят на нарастващите нужди и да могат да преодолеят проблемите, открити след въвеждането на устройството.

SDR изследванията се насочват към два основни подхода. Първият подход води до преминаване към хардуер и софтуер, който може да се пре-конфигурира за предоставяне на различни функции. Този аспект включва идеите за преконфигурация и широко използване на софтуер във всички слоеве на протоколния стек, включително физическия слой. Първата стъпка е повторно конфигуриране на части, които се изпълняват от софтуер, дори в сегашните системи. Тези части включват три основни компонента: сигнал за обработка на алгоритми във физическия слой, протоколния стек и приложния слой. Концепцията SDR препоръчва промяна в конфигурацията на трите части от мрежата или от едно заявление, въз основа на търсенето. Пре-конфигурация също обхваща идеята за повторно конфигуриране на хардуера. Тази пре-конфигурация отново може да бъде на системно ниво или на ниво функция в дадена система. Първият подход предполага използването на един и същи хардуер с различни параметри в различните режими, докато вторият подход предполага използването на една и съща част от хардуера за различни видове обработка, по различно време.

Вторият и може би по-ефективен подход, е създаването на малко и ефективно безжично устройство, което включва аналогови функции в областта на цифровия домейн.

6.3 Дигитализиране/цифрофизирание на днешните аналогови операции

Цифровите операции, които понастоящем се изпълняват в аналогов режим, изискват конвертиране от аналогови към цифрови (ADC **Analog-to-Digital Converter**) все по-близо до антената на радиото. В идеалния SDR, ADC веднага ще следват антената, ще филтрират, ще смесят и усилят сигнала в цифровия домейн. Въпреки това, актуализацията на този идеал е далеч в бъдещето. За момента, е по-практично да се мисли за радио дизайн подобен на този в клетъчните телефони днес: приемно-предаватели, които включват, както аналогово, така и цифрово преобразуване.

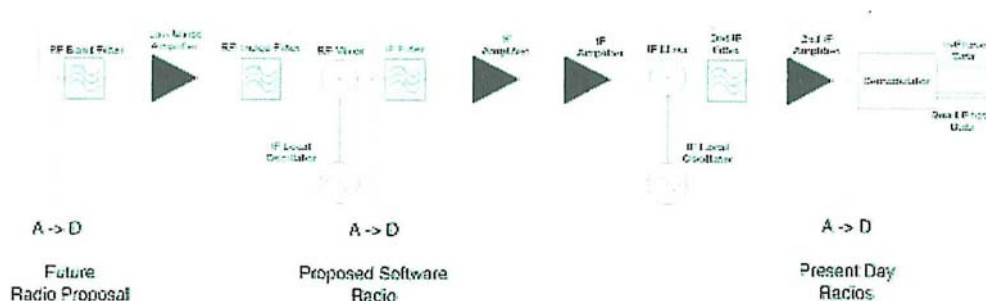


Figure 6.5 Heterodyne receiver. SDR moves the ADC toward the antenna

Местоположението на ADC може да се променя, но известна част от високочестотната аналогова обработка ще остане от съществено значение.

Всяко преместване на ADC към антената води до увеличаване на сложността на цифровия приемник. Помислете за експлоатацията на комбиниран приемник (вж. Фигура 6.5). В антената всички сигнали в дадена среда са налице, включително късовълново радио, радио предаване и телевизия, сателитна телевизия, мобилни апарати, персонални компютри, от точка до точка микровълновите и военните радари. В клетъчна система сигналите, предавани от базовата станция, са подредени в лента плътно един до друг, в тясна лента.

В първият етап получателят разделя желаня комуникационен сигнал от всички други сигнали. Сигналят постъпва в RF лентов филтър и се увеличава от нискочестотен усилвател и надолу се конвертира в полезна междинна честота от първия смесител. Каналният филтър премахва смесването от близкостоящите канали. Междинният честотен сигнал след това се усилва и превръща в много по-ниска честота, почти същата като честотна лента на канала. След това се провежда дигиталната конверсия.

Всеки абонат ще получи сигнално ниво, определено от загубите по пътя между неговото местоположение и базовата станция. Съседни канали се използват от съседни базови станции, които може да са сигнали, които са много по-големи от желаните от базовата станция. Това може да стане по следния сценарий. На границата на клетката една сграда може да блокира пътя до желаната базова станция, докато съседните клетки имат ясна линия на видимост на пътя [6]. Всички клетъчни системи имат приемник, който е така специфициран, че да може да приема и в този сценарий. Така например, системата за GSM с 200-KHz канал [7] определя нивата на блокиране в широчината лентата, представени в Таблица 6.1 за референтно ниво на чувствителност -102 dBm .

Ето защо, добре проектираният филтърен канал трябва да отхвърля сигнали, превишаваща 600 KHz с 59 децибела.

Ако радиото е нов дизайн, така че последния етап на филтрация се осъществява в цифров домейн, ADC трябва да бъде в състояние да приема сигнали, които преди това са били определени в групата.

Table 6.1 In-band blocking levels for the GSM mobile station

| Frequency range from carrier (kHz) | In-band blocking levels (dBm) |
|---------------------------------------|----------------------------------|
| 600–800 | –43 |
| 800–1600 | –43 |
| 1600–3000 | –33 |

В същото време трябва да има достатъчно динамичен обхват за сигнали (от съседни потребители), които могат да бъдат по-големи. Това е така, защото канала се конвертира в групата на базова станция, широка около 35 MHz.

6.4. Изпълнение на предизвикателства

Идеалният SDR споменат по-горе, в която ADC следва непосредствено антената, ще се изисква дигитализиране на цялата клетъчна група за сваляне и след прилагането на цифрово филтриране, за да избере подходящите потоци от данни за специфични приложения. Тогава приемника може да се пре-конфигурира лесно за различни стандарти, видове и функции на движение само с натискането на един бутон. Потребителят може в един момент да води разговор по мобилен телефон, а в следващия момент може по електронен път да си закупи храна от автомат. Но без допълнителен инженеринг, тези функции не могат да настъпят едновременно. Все пак, едно пре конфигурируемо устройство ще бъде значително по-желано от ситуацията в която трябва да се носят различни уреди или други карти за всяко приложение.

Основните предизвикателства, които трябва да бъдат преодолени, за да съответства на аналоговото и цифровото разделяне в SDR модела, са високо разсейване на мощност, понижен имунитет от намеса на съседни, A / D честоти на дискретизация, A / D динамичен обхват и чувствителност към времето грешки (т.е. фаза шум).

6.5 Аналогови и ADC въпроси

Един реалистичен, работещ SDR модел изисква преместване на ADC-близо до антената, за да се увеличи цифрова обработка. Това изискване води до необходимостта ADCs, да могат да се справят със сигнали за голям трафик и висок динамичен обхват. Това от своя страна, води до увеличаване на консумация на енергия в цифрова лента поради изискванията за по високите нива на съответствие и по-голяма дължина на кодирането.

RF аналоговата част на SDR системите са предмет на проблемите, свързани с антени, филтриране, усилватели на мощност и т.н. За няколко режима на работа, най-простото решение е да има отделни предаватели за различни видове услуги (RF ленти). Но този тип радио води до проблеми с размера на телефона и цената. От друга страна, цифрово базираните компоненти са изправени пред предизвикателството да предоставят изискваните в различни клетъчни системи условия. Таблица 6.2 сравнява ADC и филтърните изисквания за GSM и 3G стандарта, W-CDMA.

Table 6.2 Receiver component requirements for the dual-mode cellular phone

| Standard | Sampling frequency (Msps) | Number of bits | Channel sidelobes (dB) |
|----------|---------------------------|----------------|------------------------|
| GSM | 0.400 | 12 | 59 |
| W-CDMA | 32 | 5 | 45 |

Въпреки това, дори ако е възможно да се изработят описаните по-горе аналогови компоненти, които са необходими за радио, независимо от това къде е разделението аналогово-цифрово, повишаването на цифровата обработка, ще изисква ADCs, което да може да се справи със сигнали за голям трафик и висок динамичен обхват. Фигура 6.5 показва как ADC трябва да се преместят по-близо до антената в SDR, в сравнение с тяхното местоположение днес. Следователно цифровите сигнали са с голяма дължина на кода, и високи нива на съответствие. Съществуват ADCs, които имат високи нива на съответствие и минимални нива на консумация на енергия. Съществуват ADCs които може да се използват за дигитализиране на цялата клетъчна група съществуваща днес, но те се намират предимно в специализирано оборудване, като например в някои видове осцилоскопи. За съжаление, тези ADCs изискват огромна процесорна мощ и консумират заряда на батерията бързо. Някои от днешните 2G клетъчни мрежи са 35 MHz широки; по този начин, на ADC ще трябва да изпълняват приблизително 70 изчисления в секунда. В същото време 3G са по-широки от 60 MHz. Единствената възможност в тази област са напреднали ADCs които прилагат техники за оформяне на шума, които поддържат висок динамичен диапазон в определени честотни ленти. Това би позволило на концепцията SDR да работят по специфичен начин, но работата в многорежимен сценарий ще изисква изчистването на още няколко технически препятствия.

Факт е, че това ниво на сложност не е наистина необходимо в едни преносими безжични уреди, тъй като самото оборудване служи само на един човек в даден момент. За разлика от базовата станция, която в един момент работи в различни режими и обслужва множество потребители едновременно, джобното устройство може да бъде много по-специализирано в рамките на всяка конфигурация.

Канален филтър

В приемника (Фигура 6.5), на междинна честота (IF) филтъра дава най-значителен принос за забавяне на изкривяванията (група за закъснение). Този филтър, обикновено центриран в обхвата 70-120-MHz, премахва резултата от смесването и радио смущенията извън първите съседни канали. Свързания с канала демодулаторен филтър работи чрез използване на DSP. Той има две функции: да потиска сигнала от съседните канали, и като свързан филтър, да подобри отговора на ISI.

Повърхностно акустично вълнови (SAW) филтри се използват обикновено за IF филтри, тъй като те имат много методи за коригиране, които могат да се

използват за осигуряване на необходимия преход към тясно честотна лента и желаното постоянно групово забавяне.

Нововъведени, ефективни методи за програмиране на цифрово филтриране може да се намерят в Реф. [8]. Авторът представя IF филтърна група, която първо преобразува сигнала, които в основната лента, се умножава с ± 1 . Сигналят след това се филтрира с висока изчислителна скорост, с множител CIC филтър, избира се един тесен канал от широчината на честотната лента на сигнала. След филтърът CIC има конвенционален, симетричен, FIR филтър, изискващ по-малка енергийна мощност (надолу в извадката), честота на дискретизация. Симулациите показват, че един ефективен филтърен канал може да се реализира чрез технологиите на днешния ден.

Delta-Sigma ADC

За преодоляването на тези проблеми ще са необходими няколко инженерни нововъведения, някои от които се разработват в по-големите лаборатории в света за научни изследвания. Ползната ADC архитектура използва D2 модулатор с тесен канал, като по този начин потиска шума от съседните канали. Този модулатор играе ролята на филтър за намаляване на трафика до ниво, управляемо от ADC и с приемливи граници консумация на енергия. Такъв модулатор съвместим със GSM и W-CDMA е описан в IEEE International Solid-State Circuits на конференция в Сан Франциско [9]. Различните лаборатории в момента разработват нови, ефективни методи за програмируемо цифрово канално филтриране. Симулациите показват, че в днешно време един ефективен канален филтър може да се реализира с помощта на цифровата технология.

Друга иновация е необходимо за развитието на преход към определени техники, които са много по-ефективни от тези, които понастоящем се използват. Независимо от това, значително повече работа е необходимо в тази област, за да може SDR да се превърне в практическа реалност за 3G безжичните съобщения, и свързаните с тях приложения.

Заклучение

С прехода от 2G към 3G безжични комуникации производство на общо три 3G видове транспорт, в допълнение към Bluetooth и GPS, става ясно, че терминалите, които могат да поддържат множество видове ще бъде наложително. Дали тези уреди ще включва интегриран (On-Chip) RF ще се определя от проблемите свързани с разходите, рисковете и техническите възможности. Първите достъпни много режимни системи ще разчитат на няколко RF системи и комбинирани широколентови цифрови системи.

Днешната технология е близо до осъществяване на полезни SDR с ниски нива на консумация на енергия което е от съществено значение за преносимите безжични устройства. Концепцията и усилия SDR в крайна сметка ще предостави абонати с малки лични устройства, съдържащи множество функции за информация и развлечения, които няма да бъдат ограничени да използват

само един стандарт в определена част на света. За операторите в сферата на безжичната индустрия и производителите на оборудване, перспективата за по нататъшното развитие на SDR е полезна и вълнуваща.