

ANTENAS MULTIBANDA PARA RÁDIO DEFINIDO POR SOFTWARE: POSSIBILIDADES E LIMITACOES

MARCELO NOGUEIRA DE SOUSA

*Engenharia de Microondas
Universidade de Tecnologia de Munique - TUM*

<http://mastermwe.ei.tum.de>

e-mail: marcelonog29@uol.com.br

Resumo – A arquitetura de um radio definido por software (RDS) possibilitará a completa integração dos serviços de telecomunicações. Entretanto antes de se atingir esta completa interoperabilidade, diversas dificuldades de implementação do módulo de rádio frequência devem ser superadas. As pesquisas feitas para superar os óbices tecnológicos devem envolver não só profissionais da área de processamento digital de sinais, mas também especialistas de microeletrônica e de antenas. Este artigo apresenta, de forma, sucinta os problemas, as tecnologias e as possíveis soluções discutidas em alguns dos centros de pesquisa e desenvolvimento da Alemanha, para colocar um sistema RDS em funcionamento, seja dentro de um carro, nos sistemas embarcados, ou mesmo para o usuário móvel. A análise é focada em duas principais tecnologias propostas, os RF-MEMs (Radio Frequency Micro Electromechanical Machine) e as antenas Fractais, e como estas tecnologias podem ser combinadas e integradas para possibilitar a operação multibanda do modulo de RF do RDS.

Abstract – The Software Defined Radio Architecture (SDR) will allow the fully integration of the telecommunication services, but before achieve this complete interoperability, several constrains in the RF module implementation must be overcome. The research to solve these difficulties should use professionals, not only from digital signal processing area, but also the microelectronics and antenna experts. This paper show in a short way the problems, the technologies and the possible solutions discussed in some Germany Research Centres, in the development of a SDR solution to be applied in car, embeded systems, or even in a mobile terminal. The analysis is focused in two key applications, RF-MEMs (Radio Frequency Micro Electromechanical Machine) and Fractal Antennas, and how these two technologies can be combined to allow the RF multiband operation of the SDR.

Keywords – Software Defined Radio, Multiband operation, Fractal Antenna, RF-MEMs.

1 Introdução

A pesquisa e o desenvolvimento de sistemas de comunicações que empregam rádios definidos por software (RDS) possibilitarão uma interoperabilidade entre sistemas de diferentes arquiteturas. Esta flexibilidade permitirá que usuários de sistemas com tecnologias diferentes possam se comunicar de maneira simples e transparente.

A tecnologia que suportará esta interoperabilidade é a capacidade de reconfiguração dos equipamentos, uma vez que a eletrônica analógica existente em diversos circuitos internos será substituída por módulos de software. Todas as operações de processamento de sinais de voz, dados ou imagem serão realizadas em

nível de software, que poderá ser modificado de acordo com as características do sistema que o usuário estiver usando.

O equipamento RDS terá a capacidade de se adaptar automaticamente a diferentes sistemas de telecomunicações. A proposta é que o rádio possa funcionar como se fossem diferentes equipamentos em um só. Por exemplo, um telefone celular poderá receber sinais de televisão digital ou como um rádio de comunicação ponto-a-ponto.

Todas as arquiteturas propostas pelo **sdrforum** [1] sugerem que o SDR será basicamente constituído de três grandes partes:

- O processador, que pode ser considerado a parte do equipamento que realizará todo processamento do

sinal de voz bem como do sinal a ser transmitido.

- O conversor Analógico Digital, que executará a transformação de todos os sinais de rádio frequência para o domínio digital bem como a conversão de todos os sinais proveniente do usuário (voz, imagem, etc).

- A parte de rádio frequência (RF), que será constituída basicamente por dois blocos: o "front-end de RF" que realiza as operações de conversão, filtragem e amplificação do sinal; e a antena propriamente dita, que terá a função de obter o sinal proveniente do espaço livre e entregar o sinal da melhor forma possível ao front-end de RF.

(*) Alguns autores [2] consideram que o front-end de RF e o conversor A/D poderão ser colocados em um mesmo dispositivo.

Ao se observar os diferentes tipos de sistemas nos quais o equipamento RDS pode operar, percebe-se que existe um grande óbice tecnológico na parte de RF.

Por exemplo, para o equipamento mudar as características de funcionamento de um referido sistema de telefonia celular existente em uma localidade para adaptar-se a outro sistema em outro lugar, o RDS pode alterar todas as funções internas como forma de modulação, código corretor de erro, forma do sinal transmitido, etc. Entretanto, o equipamento precisa muitas vezes mudar a faixa de frequência de operação, e este é um problema tecnológico difícil de resolver.

2 Principais dificuldades na parte de RF de um RDS

Uma das maiores dificuldades de projeto da parte de radio frequência do RDS, consiste na necessidade de fazer o sistema operar em diferentes faixas de frequência. Quando se pensa em telefonia celular por mais diferentes que sejam os sistemas, os serviços são implementados em no máximo três faixas de frequências distintas. A primeira por volta dos 800 MHz, a segunda entre 1800 e 1.900 MHz e possíveis serviços na faixa dos 2.5 Ghz.

Por mais diferentes que sejam estas faixas de frequências, os sistemas podem ser concebidos de forma que a antena possa ser adaptada para operar dentro destas faixas, ou seja, se um usuário está num sistema telefônico na

faixa de 800 MHz e muda para uma localidade onde o serviço explorado está na faixa de 2.500 MHz o tamanho físico das antenas para estas duas faixas não muda muito e o dispositivo pode ser implementado para funcionar nas duas frequências.

Entretanto, este problema se complica quando se imagina um sistema RDS para uso militar onde o rádio tem que funcionar em frequências específicas dentro da faixa de 2 MHz até 3 GHz. Neste caso as limitações físicas começam a aparecer, pois uma antena que funcione em 2 MHz é fisicamente bem maior do que uma antena que funcione em 3 GHz.

Em termos operacionais, o usuário de um sistema RDS militar dispõe de um rádio que substitui diferentes equipamentos, entretanto o soldado ainda tem que levar diversos tipos de antenas de acordo com os sistemas que serão utilizados nas operações.

Para se ter uma idéia das dimensões envolvidas, uma antena de 2 MHz tem aproximadamente 3m de comprimento enquanto uma antena de 3GHz possui alguns centímetros. O impacto logístico e o peso que o soldado tem que carregar para poder fazer com que o seu rádio funcione em diferentes faixas continua o mesmo.

As possíveis soluções para este problema são:

- 1) Usar diferentes tipos de antenas;
- 2) Usar uma antena que altere instantaneamente o comprimento de acordo com a faixa de frequência utilizada;
- 3) Usar uma antena que funcione em diferentes faixas de frequência;
- 4) Usar diferentes antenas ligadas ao mesmo tempo no rádio.

3 Análise das possíveis soluções

Usar diversos tipos diferentes de antenas pode aparentar incômodo a primeira vista, entretanto dependendo da aplicação, podem existir soluções criativas.

Um bom exemplo que tem sido empregado em alguns projetos é o de telefones celulares que captam sinais da radio difusora de FM (88 a 108 MHz). Os sinais de radiodifusão são obtidos pela antena implementada no fone de ouvido. Assim, o usuário nem percebe que quando coloca o fone na verdade esta colocando uma outra antena acoplada ao aparelho.

É bem verdade que para usar diferentes tipos de antenas, o usuário necessita realizar as trocas manualmente e desta forma há um subemprego de toda capacidade de reconfiguração do rádio, pois todas as alterações poderiam ser feitas automaticamente.

Para implementar a segunda abordagem existem duas tecnologias disponíveis: os PIN diodes e os RF-MEMs (Radio Frequency Micro Mechanical Machines [3]). O funcionamento dos dois é bastante similar. Basicamente estes dispositivos são chaveadores que conectam e desconectam segmentos de antenas para adaptar o tamanho elétrico do elemento irradiante à faixa de frequência utilizada.

Como já discutido no item 1, uma antena para uma faixa de frequência menor é fisicamente bem maior do que uma antena para frequência mais alta. Entretanto, com esta abordagem persiste o problema de não empregar corretamente toda a capacidade processamento dos SDR, pois o rádio precisa saber, de alguma forma, qual é a faixa de frequência a ser utilizada e esta informação tem que ser inserida pelo operador.

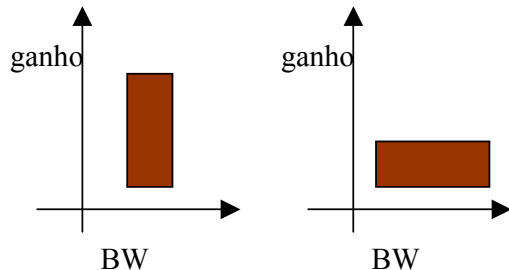


Figura 1 Produto G x BW

Há ainda a possibilidade de se usar uma antena que monitore determinados canais para receber a mensagem do sistema de forma a alterar toda a sua configuração de acordo com sistema da localidade. Porém existem outras limitações físicas, uma vez que o produto Ganho versus Banda Passante ($G \times BW$) é constante. Como se pode observar na figura 1 quando se tenta fazer um dispositivo funcionar em uma faixa de frequências maior o ganho diminui, o que mantém o produto constante. Para projetar uma antena que funcione em todo o espectro de operação do RDS, o ganho da antena será baixo e dificultará a recepção

das informações para a atualização automática. Ou seja, o usuário pode ligar o rádio em determinado lugar e o sinal de configuração não chegará amplificado adequadamente pela antena e as informações de atualização não poderão ser recebidas.

A tecnologia que possibilita a implantação da terceira abordagem é chamada de antenas multibanda. O projeto e a construção de antenas multibanda não é novo, pois mesmos as antenas do tipo Yaggis e Log-periodica apresentam um comportamento multibanda, onde cada faixa de frequência é sintonizada em uma determinada área da antena.

O problema reside no tamanho exigido para a construção destes agregados de antenas. Geralmente estas antenas são pesadas e grandes. Cada banda é irradiada em uma parte diferente da antena, entretanto o ganho não é constante em toda a faixa e é inferior ao obtido ao se empregar uma só antena otimizada para esta dada frequência.

A quarta solução é realizada usando-se diferentes tipos de antenas ao mesmo tempo. Esta abordagem pode parecer simples à primeira vista, entretanto há a necessidade de se possuir uma antena que receba os sinais de configuração para que o sistema troque seus parâmetros internos. Mais uma vez enfrenta-se a limitação do produto ganho-banda passante, pois a exigência de se ter uma antena com faixa de funcionamento muito grande necessariamente leva a um ganho pequeno. Esta solução também dificulta a realização das conexões de todas as antenas que chegam ao equipamento. Além da complexidade, outros fatores como o peso deste tipo de implementação, praticamente limita seu emprego em regiões centrais ou fixas como estações radio base, e não são indicadas para serem empregadas por usuários móveis.

3 Tecnologias Disponíveis

Segundo os estudos apresentados no SDRforum [1], três tecnologias são consideradas chaves para tentar solucionar os problemas práticos da parte de RF dos SDR:

- Antenas inteligentes;
- Antenas Fractais;
- RF-MEM (Radio Frequency – Micro-electromachine).

3.1 Antenas Inteligentes

A tecnologia de antenas inteligentes é considerada a última fronteira tecnológica relacionada ao projeto de sistemas irradiantes. Esta tecnologia tem a capacidade de aumentar a performance de um sistema de telecomunicações como um todo.

Os sistemas de antenas inteligentes combinam múltiplos elementos de antenas com o processamento digital de sinais para otimizar os diagramas de radiação, possibilitando direcionar o feixe, o que melhora a relação sinal-ruído no receptor e a qualidade do canal como um todo.

Isto pode ser feito tanto pelo chaveamento da alimentação nos diferentes componentes de um conjunto de antena, como pela defasagem desta alimentação, o que possibilita o controle do diagrama de irradiação do conjunto.

3.2 RF- MEMS

Como já descrito no item anterior os RF-MEMs swichs permitem que a antena seja realmente reconfigurada em tempo real através da interconexão instantânea de diversos segmentos de antenas. A figura 2 apresenta um diagrama esquemático deste funcionamento.

A antena é segmentada em diversos pedaços pequenos e utiliza os MEMs como chaveadores para alterar o comprimento elétrico de acordo com a frequência requerida, conforme apresentado na figura 2.



Figura 2 – Funcionamento da Antenas Multibanda usando MEM para alterar o comprimento

Uma outra forma de emprego é o uso de RF-MEMs para modificar o diagrama de irradiação fazendo o que a energia seja direcionada de acordo com a diferença da alimentação de cada elemento.

O uso destes chaveadores permite que exista uma conexão física entre os elementos. A alteração não é somente elétrica como no caso de um chaveador a diodo. A própria estrutura física do MEM é modificada.

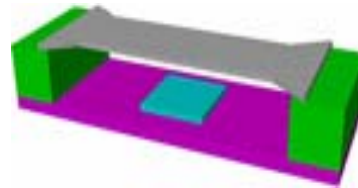


Figura 3 Desenho esquemático de um RF-MEM

A técnica de chaveamento para alterar o comprimento elétrico de dispositivos não é nova e já era usada com os PIN diodes, entretanto tais dispositivos são grandes demais e consomem muita energia para o seu funcionamento.

O grande diferencial no uso dos MEMs é o emprego de tecnologia de silício para a sua fabricação, o que torna o dispositivo barato, com baixo consumo e eletricamente isolado, uma vez que as conexões são mecânicas.

Os RF-MEMs já são usados atualmente em modernos sistema de radar e de telecomunicações, permitindo a alteração da performance da antena para acomodar mudanças na missão, no ambiente, e para reconfigurar a antena em caso de falhas. Como exemplo, as antenas existentes em sistemas de satélite, onde o RF-MEM é amplamente usado para realizar reparos sem intervenção humana. Assim, quando algum objeto danifica a antena do satélite ou a própria antena para de funcionar, podem ser empregado chaveadores para isolar a parte irradiante danificada e redirecionar o circuito de alimentação da antena.

A grande vantagem dos RF-MEMs é que eles realizam este chaveamento através de conexões mecânica existentes dentro da estrutura.

A estrutura de um RF-MEMs é extremamente simples, e constitui apenas uma ponte metálica que passa sobre uma outra conexão metálica. Quando o dispositivo é alimentado, a conexão metálica inferior fecha o contato através da atração da estrutura metálica superior.

A concepção do dispositivo é simples, entretanto a fabricação não é tão simples assim. Como este dispositivo possui uma estrutura metálica que se movimenta fisicamente e essa estrutura é extremamente pequena, detalhes de projeto como confiabilidade, tolerância à falhas e resistência à quebra são extremamente necessários em todas as fases do projeto.

Os MEM constituem então uma verdadeira interface entre a microeletrônica

e a micromecânica. Atualmente, estes dispositivos estão sendo desenvolvidos para compor novas arquiteturas para habilitar o direcionamento do feixe de uma antena e para possibilitar a alteração da frequência de funcionamento.

3.3 Antenas com Geometria Fractal

A técnica de fractais já é amplamente conhecida pela matemática. Entretanto, atualmente este conceito tem sido usado para o projeto e a concepção de antenas, fazendo com que as estruturas radiantes sejam semelhantes a estruturas existentes na natureza.



Figura 4 Antena Fractal Multibanda

A técnica produz dois efeitos marcantes: reduz a dimensão física das estruturas radiantes e pode fazê-las funcionar em diferentes faixas de frequências.

O termo fractal foi primeiramente definido por Benoit Mandelbrot [4] em 1975 como uma maneira de classificar estruturas nas quais as dimensões não podem ser descritas corretamente por números. Esta geometria foi usada inicialmente para caracterizar elementos existentes na natureza que são difíceis de definir usando a geometria euclidiana, como por exemplo, as linhas costeiras o desenho exato da formação de corais, a densidade de nuvens e os galhos das árvores.

Recentemente o projeto de antenas pôde se beneficiar do estudo destas geometrias, o que possibilitou a descoberta de antenas e de elementos radiantes bem mais eficientes do que os existentes na atualidade.

Alem disto os novos projetos permitem a redução do tamanho das antenas e facilitam o casamento de impedância. Certas classes de antenas

fractais podem ser configuradas para efetivamente operar em diferentes faixas de frequência [5].

A geometria fractal pode aprimorar a fabricação de antenas dipolos e de antenas loop ressonantes, o que permite fabricar antenas que são fisicamente pequenas mais apresentam o mesmo desempenho elétrico de estruturas bem maiores. A natureza de alto-similaridade da geometria fractal pode fazê-la operar em diferentes frequências.

As antenas fractais podem ser utilizadas em uma variedade de aplicações, especialmente onde o espaço é limitado, como, por exemplo, terminais de celular ou rádios portáteis.

Dentre os diversos tipos de antenas que possuem geometria fractal [5], o que apresenta um resultado bastante promissor é a chamada antena Sierpinski. Esta antena apresenta a propriedade geométrica de alto-similaridade, ou seja, quando se observa um pedaço pequeno da estrutura irradiante ele apresenta o mesmo formato do dispositivo como um todo. Esta característica permite que cada repetição do formato da antena funcione como uma antena independente, ou seja, quando se olha para uma parte da antena tem-se a exata repetição do formato quando se olha para uma dimensão maior da antena.

É isto que proporciona a característica da antena funcionar em múltiplas bandas. Cada frequência excita uma parte diferente da estrutura. A geometria desta antena é tem similar ao dipolo "bow-tie", conforme a figura 4 e o funcionamento deste tipo de antena pode ser comparado com o das antenas Log-periodicas e espiral. É interessante notar que esse comportamento existente nas antenas Log-periódica e espirais permitem que essas antenas também funcionem em diferentes frequências, no entanto elas são maiores do que a antena apresentada.

4 Soluções combinadas

As propostas mais interessantes que estão sendo implementadas pelas industria, são na verdade uma mistura das tecnologias apresentadas.

Os RF-MEMs podem ser usados junto com estruturas de antenas fractais para possibilitar um conjunto de antenas reconfiguráveis, ou ainda usar as duas tecnologias em conjunto com sistemas de antenas inteligentes.

A relação de compromisso a respeito de como realizar a implementação depende das características de confiabilidade, robustez, simplicidade e preço de cada aplicação.

Persiste o dilema, se é melhor implementar um dispositivo de banda larga, e baixo ganho, ou vários dispositivos de banda estreita, que podem melhorar o ganho, mas aumentam em muito a complexidade.

O uso dos RF-MEMs permite que um grande conjunto de antenas seja otimizado para só alimentar a parte necessária, o que evita o desperdício de energia em partes do circuito desnecessárias. Podem também ser usados com um algoritmo de redes neurais para realizar a reconfiguração da antena e o guiamento do feixe. Tudo de forma automática e sem interferência do operador.

Usando as regras de otimização, a antena é controlada por um processador e é constantemente adaptada para melhorar a qualidade do enlace.

Pode se resumir então que a performance eletromagnética depende não só do uso de RF-MEMS e de antenas fractais, mas sim do controle de todos os dispositivos analógicos de forma integrada no processamento digital de sinais.

A antena ou o conjunto de antenas possui um processador, com capacidade de executar comandos de chaveamento, de acordo com uma rotina de utilização predeterminada.

No nível de arquitetura de sistemas existem dois tipos de concepções para o controle e a inteligência da antena.

- 1) O controle pode ser executado pelo próprio processador da antena, o que requer que o processador da antena seja mais robusto e com maior capacidade de processamento, entretanto reduz o tempo necessário para chaveamento e o controle da antena.

- 2) O processador existente na antena executa apenas funções simples de redistribuição de sinais de chaveamento, o que permite a utilização de processadores mais simples e baratos e coloca toda a inteligência do sistema em um processador central do próprio rádio. Entretanto, essa abordagem aumenta o tempo de execução das mudanças de configuração da antena.

Para aplicações de satélite onde as mudanças são controladas pelas centrais terrenas de telecomando a segunda abordagem é a mais adequada. Para sistemas embarcados, que têm que executar constantemente a mudança de faixa de frequência e o guiamento do feixe, a primeira abordagem é a mais adequada, mesmo que leve a um aumento da complexidade do sistema. Para estas aplicações o tempo de resposta é a principal limitação do projeto.

5 Conclusão

O radio definido por software é uma solução tecnológica que proporcionará a tão sonhada interoperabilidade para o usuário. Entretanto o caminho para que isto ocorra, é recheado de dificuldades e de problemas a serem resolvidos, o que é um verdadeiro estímulo para a comunidade acadêmica. Enquanto no domínio do software as soluções implementadas dependem somente do desenvolvimento de novas rotinas de programação, na parte de RF as limitações são de natureza física, colocando novamente assuntos como microeletrônica, semicondutores e projeto de antenas como assuntos importantes a serem explorados pelos engenheiros brasileiros.

A nova política industrial brasileira define, como área prioritária de investimento, tanto de pesquisa como de desenvolvimento, a indústria de semicondutores [6]. Não se trata de competir agora, com dez anos de atraso, com os "tigres asiáticos". Entretanto, é um momento oportuno para a comunidade científica ficar atenta e opinar sempre que possível em áreas críticas, como a definição do padrão digital de televisão ou a definição de serviços UWB (Ultra Wide Band).

A questão crucial é definir as chamadas "key applications", como por exemplo o desenvolvimento dos RF-MEMs, que podem contribuir para o salto tecnológico do país. O Brasil encontra-se em uma posição privilegiada, pois dispõe de um parque industrial, recursos humanos capacitados tanto na área de software como em microeletrônica. Isto permite que sejam feitos no País mais do que o código para controlar o dispositivo RDS.

Pode-se começar a pensar estrategicamente, trazendo cada vez mais a capacidade de pesquisa,

desenvolvimento e fabricação para serem realizados pelo nosso parque industrial.

Agradecimentos

Ao André Gustavo Moreira Lima e ao Prof. Leonardo Menezes, pelo excelente trabalho de pesquisa desenvolvido em conjunto na área de Rádio Definido por Software na Universidade de Brasília (UnB).

Referências Bibliográficas

- [1] www.sdrforum.org.
- [2] Jeffrey H. Reed. *Software Radio - A Modern Approach to Radio Engineering*. Prentice Hall, 2002.
- [3] Anagnostou, D., Christodoulou C. and Lyke J. Smart Reconfigurable Antennas for Satellite Applications. Air Force Research Laboratory, 2001.
- [4] Benoit B. Mandelbrot. *The fractal geometry of nature*. W.H. Freeman, 1982.
- [5] C. Puente-Baliarda, J.Romeu, R.Pous, and A. Cardama. On the behavior of the sierpinski multiband fractal antenna. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 46(4): 517-524, April 1998.

[6](http://www.unicamp.br/unicamp/unicamp_hoje/ju/fevereiro2004/ju241pag06.html).

Biografia



Marcelo Nogueira de Sousa, aluno de pós-graduação da Universidade de Tecnologia de Munique (www.ei.tum.de) e mestre em engenharia elétrica formado pela UnB. Áreas de concentração:

Antenas e Propagação. Linha de pesquisa: dispositivo banda larga e multibanda, simulação, projeto e validação.