

Avaliação de canal MIMO com ambientes de testes utilizando tecnologia SDR

Bruno Scherer, Joary Paulo e Aldebaro Klautau

Resumo— Múltiplas antenas são amplamente utilizadas nos sistemas de comunicação (MIMO). Testbeds de baixo custo que deem suporte à comunicação com MIMO são de interesse tanto para indústria quanto para academia. Rádio definido por software (SDR) é uma tecnologia promissora para prover essa flexibilidade. No entanto, a criação de um testbed MIMO com SDR requer um know-how não trivial e cuja curva de aprendizagem é íngreme. A contribuição deste trabalho é utilizar as tecnologias SDR existentes, descrevendo os problemas e gargalos associados à criação desse testbed. Resultados de medidas de canal também são apresentados e demonstram a implementação do setup MIMO utilizando SDR.

Palavras-Chave— SDR, MIMO, Matlab, GNURadio, USRP, UHD.

Abstract— Multiple antennas (MIMO) are widely adopted in modern communication systems. Low-cost testbeds that support MIMO transceivers are of interest in both industry and academia. Software-defined radios (SDR) are a promising technology and provide significant flexibility. However, setting up a SDR-based MIMO testbed is not trivial and the learning curve is sharp. This paper contributes with the utilization of existing technology, describing associated problems and bottlenecks to compose such testbeds. Results of measurements are also presented and illustrate an implemented MIMO setup with the USRP SDR.

Keywords— SDR, MIMO, Matlab, GNURadio, USRP, UHD.

I. INTRODUÇÃO

A utilização de múltiplas antenas tem sido uma forma de aumentar a capacidade dos sistemas de comunicação atuais. Técnicas como a multiplexação espacial e beamforming utilizam mais de uma antena para aproveitar a diversidade existente no canal de comunicação e aumentar a capacidade de transmissão de dados. Outros trabalhos já avaliaram a utilização de rádio definido por software (SDR) em cenários MIMO tais como [1-3]. A mesma tecnologia tem sido utilizada para avaliar a utilização de MIMO massivo em redes de quinta geração 5G [4]. Neste trabalho busca-se avaliar as dificuldades que podem ser encontradas e as escolhas que devem ser feitas na montagem de um ambiente de testes para MIMO com SDR.

O equipamento mais conhecido e utilizado para rádio definido por software é o USRP (*Universal Software Radio Peripheral*). Apesar de existirem modelos com diferentes características, a maior parte deles pode ser utilizado para compor um setup de MIMO. Esses rádios são simples de utilizar, porém é necessário tomar cuidado com as limitações que o hardware impõe em relação ao sincronismo das amostras, bem como as limitações de transporte e processamento das mesmas. Para que o não ajam perdas de amostras, o ambiente de testes deve ser bem planejado de modo a evitar gargalos de transporte e processamento.

Os autores participam do LASSE – Grupo de Pesquisa em 5G & IoT, Universidade Federal do Pará (UFPA), Belém-PA, Brasil, E-mails: bruno.scherer@itec.ufpa.br, joary@ufpa.br, aldebaro@ufpa.br.

Este trabalho é organizado da seguinte forma: na seção II o leitor encontrará uma avaliação das principais características de um sistema MIMO com SDR, a seção III apresenta a implementação de um setup MIMO 2x2 junto com os resultados de estimação de canal aferidos. A seção IV apresenta as conclusões do trabalho.

II. PLATAFORMA SDR PARA MIMO

A. Sincronização de Múltiplos Canais

Uma das principais dificuldades em ambientes de teste MIMO é a sincronização da amostragem nos vários canais que se pretende obter. Quanto mais afastados os canais estiverem a sincronização se torna mais complexa. Podemos dividir os métodos de sincronização em três tipos: *interna*, *cabeada* e *sem fio*. A sincronização *interna* ocorre quando os canais estão no mesmo chip ou na mesma placa de circuito impresso, nesse caso uma referência interna pode ser utilizada para sincronizá-los. Na sincronização *cabeada*, os canais estão em placas de circuito separadas. Nesse caso é necessário prover através de distribuição cabeada uma referência de tempo (1PPS) e frequência (10MHz). Finalmente, a sincronização *sem fio* é uma generalização da sincronização cabeada, onde as referências de tempo e frequência são derivadas do Sistema de Posicionamento Global (GPS).

Os modelos de USRP provêm as três opções de sincronismo, alguns modelos possuem vários canais integrados no mesmo equipamento, porém mesmo os que não possuem múltiplos canais podem utilizar a referência *cabeada* ou *sem fio*. Um exemplo peculiar são os modelos N210 e N200 que possuem a sincronização cabeada facilitada através de uma conexão proprietária entre dois equipamentos iguais.

Outro ponto importante na sincronização é a necessidade de coerência de fase entre os canais. Isto implica que, os osciladores locais utilizados para transladar o sinal RF para banda-base possuam a mesma frequência e fase. Apesar de nem todas as aplicações MIMO exigirem coerência, aplicações importantes como beamforming exigem. Os circuitos de condicionamento analógicos das USRPs são intercambiáveis, de forma que a necessidade por coerência de fase pode ser suprida utilizando um módulo que possua essa característica, por exemplo o SBX.

B. Transporte e Processamento de Amostras

O transporte das amostras entre o rádio e o computador no qual serão processadas é um ponto muito importante a ser levado em conta, de forma a evitar gargalos de transporte e processamento, do contrário a aquisição/geração dos sinais estará comprometida. A taxa de transferência agregada (R) necessária para um setup MIMO pode ser calculada através da multiplicação entre a frequência de amostragem (F_s) o número de bits por amostra IQ (b_{iq}) e o número de antenas (N).

$$R = F_s \times b_{iq} \times N$$

Essa taxa deve ser provida com folga pela tecnologia de transporte utilizada. Os modelos de USRP oferecem quatro

opções para transporte de amostras: Gigabit Ethernet (1Gbps), USB 3.0 (5Gbps), 10Gigabit Ethernet (10Gbps) e PCI-Express x4 (31.5Gbps). Dependendo da taxa agregada R o computador utilizado para consumir/gerar as amostras necessitará de mais de uma instância dessas interfaces para atingir a taxa.

Uma facilidade que esse tipo de rádio traz é já possuir um driver comum para transporte das amostras, chamado de UHD. Ele permite conexão direta com softwares de processamento de sinais como GNUradio e Matlab. Sendo possível o processamento em tempo real das mostras coletadas. Mais recentemente tem-se desenvolvido também uma interface em Python para o driver. Abrindo novas possibilidades para o processamento dos sinais através das ferramentas já existentes nessa linguagem.

Devido à grande quantidade de processamento necessário para consumir/gerar as amostras MIMO em tempo real, é mais comum, no cenário SDR, pensar em aplicações MIMO onde o processamento é feito off-line, caso haja necessidade de processamento online aplicações em VHDL e FPGA podem ser consideradas.

III. ESTIMAÇÃO DE CANAL MIMO

Nos experimentos apresentados neste trabalho o cenário de testes é composto por duas USRP N210 conectadas entre si por um cabo MIMO e a um computador através de um link Gigabit Ethernet, uma versão ilustrativa do setup é mostrado na Fig. 1. O setup completo se encontra em uma sala com dimensões de 6.2x5.7m. Baseando-se em [5] foram executadas várias transmissões, variando a distância entre o transmissor e receptor (1m, 3m e 5m), a frequência da portadora (900Mhz e 2Ghz) e a distância entre as antenas ($\lambda/2$, λ , 2λ), onde λ é o comprimento de onda de cada portadora.

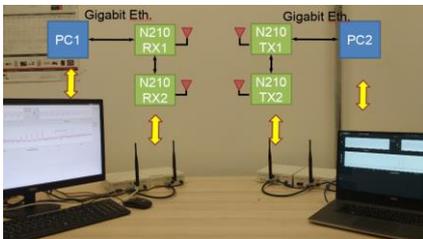


Fig. 1. Organização ambiente de testes SDR para MIMO 2x2.

Os rádios foram configurados para operar sincronamente com frequência de amostragem de 25MHz. As amostras em banda-base foram enviadas e recebidas pelas USRPs através de uma aplicação em C++, que por sua vez utilizou a interface UHD. As USRPs foram configuradas com as frequências centrais desejadas (900MHz ou 2.2GHz). O sinal transmitido foi previamente gerado e posteriormente decodificado em Matlab utilizando o toolbox para sistemas WLAN. Este sinal é composto por um frame do padrão 802.11n (WiFi), devidamente configurado para o cenário de MIMO 2x2.

O computador utilizado possui conexão gigabit full-duplex, processador i5@3.5GHz de 7ª geração e 8 Gigabytes de memória, o mesmo supriu as necessidades da transmissão apesar de em alguns momentos o driver UHD indicar que a aplicação não conseguiu entregar amostras à USRP rápido o suficiente, causando uma condição de *Underrun*. Quando essa condição ocorria a medição do canal era descartada. O esquema de modulação utilizado foi o QPKS com código convolucional de taxa $1/2$, o que corresponde ao MCS9 do padrão 802.11n.

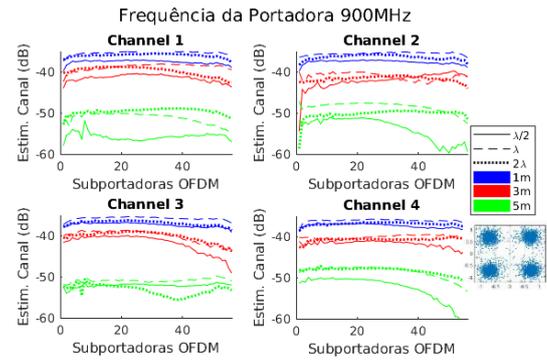


Fig. 2. Estimação do canal para frequências de 900MHz.

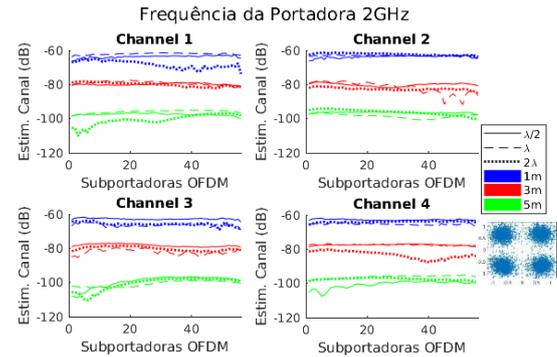


Fig. 3. Estimação do canal para frequências de 2GHz.

Pode-se observar nas Fig. 2 e 3 a estimativa do canal para os diferentes cenários de medidas. Os resultados foram bem condizentes em relação a [5], mostrando a perda de potência em função da distância entre transmissor e receptor. Além disso a relação do fator λ , que apresenta influência significativa na potência do sinal recebido. Ademais é esperado que em frequências mais altas o canal insira maior perda. Dessa forma valida-se a utilização dos equipamentos SDR em cenários de medida de canal MIMO.

IV. CONCLUSÃO

Observou-se nesse trabalho que SDR é uma opção viável para testes com MIMO, porém é necessário mensurar com cautela tanto a solução de transporte quanto de processamento das amostras, de forma que o sistema como um todo seja capaz de lidar com a grande quantidade de dados gerados pelo cenário MIMO.

REFERÊNCIAS

- [1] C. Zhang and R. C. Qiu, "Massive MIMO testbed - Implementation and Initial Results in System Model Validation," arXiv:1501.00035 [cs, math], Dec. 2014.
- [2] S. Malkowsky et al., "The World's First Real-Time Testbed for Massive MIMO: Design, Implementation, and Validation," arXiv:1701.01161 [cs, math], Dec. 2016.
- [3] "Building an Affordable 8x8 MIMO Testbed with NI USRP - National Instruments." [Online]. Available: <http://www.ni.com/white-paper/14311/en/>. [Accessed: 10-May-2018].
- [4] "5G Massive MIMO Testbed: From Theory to Reality - National Instruments." [Online]. Available: <http://www.ni.com/white-paper/52382/en/>. [Accessed: 10-May-2018].
- [5] R. Ibernón - Fernández, J.-M. Molina - García - Pardo, and L. Juan - Llácer, "Line-of-Sight MIMO indoor measurements at 2.4 GHz," Microwave and Optical Technology Letters, vol. 48, no. 7, pp. 1403-1405, Jul. 2006