

# Estratégias de Transmissão para Sistemas MIMO com Canal de Realimentação Quantizado

Ândrei Camponogara, Renato Machado e Natanael Rodrigues Gomes

**Resumo**—Este artigo apresenta duas estratégias de transmissão para sistemas MIMO considerando o uso de pré-codificadores no transmissor. Os pré-codificadores são atualizados a cada novo quadro de transmissão e suas atualizações são baseadas na informação recebida pelo canal de realimentação. Um dos esquemas de transmissão utiliza o pré-codificador para rotacionar a fase do símbolo a ser transmitido, enquanto a outra estratégia utiliza o pré-codificador para ponderar a potência de transmissão em cada uma das antenas transmissoras. Resultados de simulação revelam que o esquema que considera a alocação ponderada de potência no transmissor apresenta um desempenho melhor do que aquela que considera a rotação de fase.

**Palavras-Chave**—Pré-codificação, comunicação sem fio, canal de realimentação.

**Abstract**—This paper presents two transmission schemes for MIMO systems considering the use of a precoding at the transmitter. The precoders are updated at each new transmission frame and this updating is based on the feedback information. One transmission scheme uses the precoder for rotating the transmitted symbol phase, while the other one considers the precoder for power allocation at the transmitter. Results reveal that the scheme which consider the power allocation at the transmitter presents a better performance than the one which considers phase rotation.

**Keywords**—Pre-coding, wireless communication, feedback channel.

## I. INTRODUÇÃO

Os códigos espaço-temporais de bloco ortogonais (OSTBCs, *Orthogonal Space-Time Block Codes*) [1] surgiram como uma extensão do código de Alamouti [2] e até hoje recebem grande atenção devido a sua simplicidade (codificação baseada em processamento linear) e pelo fato de oferecerem grau máximo de diversidade em canais de comunicação sem fio com desvanecimento. Os OSTBCs são apropriados para um cenário em que se considera um sistema de comunicação onde a informação sobre o estado do canal (CSI, *Channel State Information*) é conhecida apenas pelo receptor.

Porém, quando a CSI pode ser informada ao transmissor através de um canal de realimentação, os OSTBCs não são considerados os códigos mais adequados para serem utilizados com o propósito de maximizar o desempenho de taxa de erro. Neste caso, o canal de realimentação possibilita que novas

estratégias de comunicação possam ser exploradas [4]-[6].

Em [4] e [5], Akhtar e Gesbert propuseram uma nova família de códigos que exploram o uso de um canal de realimentação quantizado. Esses códigos ficaram conhecidos como códigos grupo coerente (GCCs, *Group-Coherent Codes*). Um GCC para  $pN_T$  antenas transmissoras consiste em um OSTBC com  $N_T$  antenas transmissoras, e  $p - 1$  extensões deste, cada uma delas multiplicada por um fator  $\pm 1$ , onde as  $p - 1$  polaridades são determinadas por  $p - 1$  bits de realimentação. O grau de diversidade alcançado é  $pN_T$  e a pré-codificação é utilizada com o propósito de se minimizar a probabilidade de erro instantânea.

Em [6], Machado e Uchôa-Filho propuseram os códigos grupo coerente generalizados (GGCCs). A generalização dos GCCs possibilitou que códigos não ortogonais pudessem ser considerados na estrutura base do código GCC. Assim, o número de antenas transmissoras de um GCC não precisaria mais ser um múltiplo de dois, permitindo que configurações com um número ímpar de antenas transmissoras pudessem ser exploradas também. Mostrou-se que os códigos GGCC também apresentam um grau de diversidade completo.

Neste artigo são considerados os códigos GGCCs e uma variação do mesmo para uma configuração com duas antenas transmissoras, diferente da configuração apresentada em [6], onde os autores avaliaram o desempenho de um sistema com três e quatro antenas transmissoras.

O objetivo principal deste trabalho é avaliar duas estratégias de transmissão com a mesma configuração, duas antenas transmissoras, uma antena receptora, canal de realimentação quantizado e taxa de transmissão unitária. As estratégias de transmissão abordadas neste artigo consistem em: (i) explorar a rotação de fase do símbolo a ser transmitido e (ii) explorar a ponderação de potência nas antenas transmissoras.

Este artigo encontra-se organizado da seguinte maneira. Na Seção II, apresenta-se o modelo do sistema utilizado nas simulações. Na Seção III, apresentam-se as duas estratégias de transmissão. Na Seção IV, apresentam-se os resultados de simulação. Por fim, a Seção V apresenta as conclusões finais.

## II. MODELO DO SISTEMA

Neste trabalho, considera-se um sistema de comunicação sem fio com duas antenas transmissoras, uma antena receptora, canal de realimentação quantizado e taxa de transmissão espacial unitária. O canal sofre desvanecimento do tipo Rayleigh, plano e quase estático. Utiliza-se a constelação BPSK como técnica de modulação digital. O ruído é

representado por variáveis aleatórias Gaussianas, complexas, independentes, com média zero e variância 0,5 por dimensão complexa.

### III. ESTRATÉGIAS DE TRANSMISSÃO PARA SISTEMAS MIMO COM CANAL DE REALIMENTAÇÃO QUANTIZADO

No intuito de reduzir a taxa de erro de bit média (BER), e com base no modelo do sistema apresentado na Seção II, são avaliadas duas estratégias de transmissão.

#### A. Estratégia de transmissão baseada em rotação de fase

Este método consiste em rotacionar a fase dos símbolos a serem transmitidos por uma das antenas, conforme ilustra a Fig. 1 (i). O símbolo a ser rotacionado é multiplicado por um fator  $G = \exp(j\phi_i)$ , com  $\phi_i \in [0 \pi]$ , sendo esse espaço amostral quantizado em  $2^n$  níveis, em que é o número de bits transmitidos através do canal de realimentação.

#### B. Estratégia de transmissão baseada em alocação ponderada de potência

O objetivo desta técnica consiste em ponderar a potência de transmissão empregada nas duas antenas, conforme ilustra a Fig. 1 (ii). O sinal transmitido por uma das antenas é multiplicado por um fator  $G_1 = \text{sen}(\phi_i)$ , e pela segunda antena, multiplicado por  $G_2 = \text{cos}(\phi_i)$ , com  $\phi_i \in [-\pi/4 \pi/4]$ , sendo esse espaço amostral quantizado em  $2^n$  níveis, em que  $n$  é o número de bits transmitidos através do canal de realimentação.

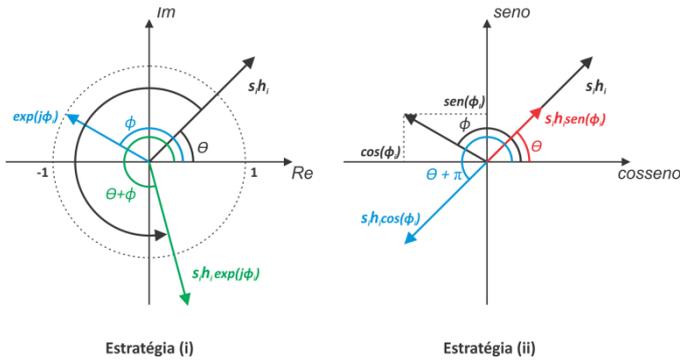


Fig. 1. Imagem ilustrativa: (i) estratégia de transmissão baseada em rotação de fase, (ii) estratégia de transmissão baseada em alocação ponderada de potência

A recepção em ambas as estratégias se dá de maneira muito semelhante. O sinal recebido pelas estratégias (i) e (ii) são dadas por:

$$y_i = \frac{1}{\sqrt{2}}(sh_1 + sh_2 e^{j\phi}) + \eta \quad \text{estratégia (i)} \quad (1a)$$

$$y_{ii} = sh_1 \text{sen}(\phi) + sh_2 \text{cos}(\phi) + \eta \quad \text{estratégia (ii)} \quad (1b)$$

A detecção dos sinais se dá de maneira simples, através de um processamento linear, conforme se segue:

$$s_{est(i)} = y_i (sh_1 + sh_2 e^{j\phi})^* \quad \text{estratégia (i)} \quad (2a)$$

$$s_{est(ii)} = y_{ii} (sh_1 \text{sen}(\phi) + sh_2 \text{cos}(\phi))^* \quad \text{estratégia (ii)} \quad (2b)$$

as quais servem como entrada para o detector de máxima verossimilhança. O símbolo “\*” denota o operador conjugado complexo.

Neste artigo, realizaram-se simulações considerando o canal de realimentação com 1, 2 e 3 bits de quantização. A cada novo quadro de transmissão, o receptor envia a informação de fase que resulta na maximização da SNR instantânea.

## IV. RESULTADOS

A Fig. 2 apresenta os resultados de simulações referentes à estratégia (i) e (ii), com quantização do canal de realimentação para 1, 2 e 3 bits. Os resultados do método (i) mostram que a diversidade máxima (ordem 2) é obtida, mesmo quando se considera o uso de apenas um bit de realimentação. O resultado é ligeiramente melhorado para  $b_f = 2$  bits e se observa uma saturação no desempenho para  $b_f = 3$  bits.

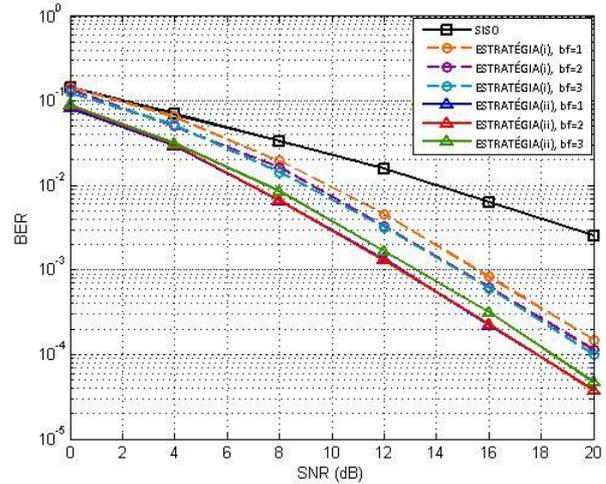


Fig. 2. Resultados de simulação para estratégias (i) e (ii):  $b_f = 1, 2$  e 3 bits.

As mesmas observações consideradas sobre estratégia (i) são observadas na estratégia (ii). No entanto, ao compararmos as duas técnicas, a estratégia (ii) tem um desempenho de BER em torno de 2,5dB melhor do a estratégia (i).

## V. CONCLUSÕES E COMENTÁRIOS FINAIS

Neste artigo avaliaram-se duas estratégias de transmissão para sistemas MIMO assistidos por canal de realimentação. Observou-se que para ambas as estratégias o grau de diversidade completo é alcançado e que para um esquema de transmissão, com duas antenas transmissoras e uma antena receptora. Ao compararmos as duas técnicas, a estratégia (ii) apresentou um desempenho de BER em torno de 2,5dB superior em relação à estratégia (i).

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi parcialmente financiado pela FAPERGS.

## REFERÊNCIAS

- [1] V. Tarokh, Hamid. Jafarkhani, and A. R. Calderbank, “Space-time codes from orthogonal designs,” *IEEE Trans. on Inform. Theory*, vol. 45, no. 5, pp. 1456-1467, Jul. 1999.
- [2] S. M. Alamouti, “A Simple transmit diversity technique for wireless communications,” *IEEE Journal on Select Areas in Communications*, Vol. 16, no. 8, pp. 1451-1458, Oct. 1998.
- [3] E. G. Larsson and P. Stoica, *Space-Time Block Coding for Wireless Communications*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2003.
- [4] J. Akhtar and D. Gesbert, “Partial feedback based orthogonal block coding,” in *Proc. of the 2003 IEEE Vehicular Technology Conf.* vol. 1, 2003, pp. 287-291.
- [5] J. Akhtar and D. Gesbert, “Extending orthogonal block codes with partial feedback,” *IEEE Trans. on Wireless Commun.*, vol 03, no. 06, pp. 1959-1962, Jan. 2005.
- [6] R. Machado, R. dos Santos e B. F. Uchôa-Filho, “Sobre os código grupo-coerentes,” in *Proc. XXII Simpósio Brasileiro Telecomunicações*, Campinas, Brasil, Set. 2005.