

# Otimização da Capacidade de Sistemas MIMO utilizando Algoritmos Genéticos

Israel A. C. Leal, Waslon T. A. Lopes, Marcelo S. de Alencar  
Universidade Federal de Campina Grande, UFCG  
Campina Grande, PB - Brasil

[iairesleal@gmail.com](mailto:iairesleal@gmail.com), [waslon@ieee.org](mailto:waslon@ieee.org), [malencar@dee.ufcg.edu.br](mailto:malencar@dee.ufcg.edu.br)

**Resumo**— Este artigo propõe uma metodologia para otimização da capacidade de transmissão de dados em um arranjo de antenas de um sistema MIMO. A solução é desenvolvida a partir do ajuste da distância entre as antenas do sistema. A otimização do sistema é realizada usando os Algoritmos Genéticos que busca a configuração adequada das antenas do arranjo que promova a maximização da capacidade ergódica do canal. Os resultados foram simulados em linguagem de programação Matlab® e a capacidade ergódica do canal melhorou em 15% para os sistemas MIMO 4x4.

**Palavras-chave**— sistemas MIMO; capacidade ergódica; algoritmos genéticos; otimização.

## I. INTRODUÇÃO

UMA das técnicas para otimização da capacidade do canal de rádio em redes de quarta (4G) e quinta (5G) geração é o sistema *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) que consiste no uso de múltiplas antenas no transmissor e no receptor. Com isto, é possível maior eficiência energética e espectral, conseqüentemente, mais dados podem ser transmitidos pelo canal sem fio [1, 2]. Bem estabelecido pelo *Wideband Code Division Multiple Access* WCDMA e pelo *Long Term Evolution* (LTE), o sistema MIMO é um componente nativo dessa tecnologia com o uso de duas a quatro antenas por unidade móvel e até oito antenas por célula da estação radiobase. O conceito do MIMO traz novos desafios para o 5G, com o aumento massivo de antenas e inúmeras pesquisas associadas ao seu desempenho [3].

A técnica MIMO para diversidade espacial em antenas mostra que ao utilizar um arranjo de antenas se aumenta a qualidade do sistema, assegurando que o sinal atingirá o receptor com uma adequada razão sinal ruído (SNR). Esta técnica aproveita o fenômeno do multipercurso para também variar a capacidade do canal do sistema em ambientes com grandes influências dos mecanismos de propagação de reflexão e difração. Dependendo do número de antenas no transmissor e receptor, a capacidade do canal pode aumentar gerando uma maior complexidade do sinal recebido [4].

A tecnologia MIMO é capaz de melhorar substancialmente a capacidade do sistema, a cobertura e a qualidade de serviço. Melhorias na capacidade do sistema dependem do projeto de arranjos de antenas no receptor e no transmissor de um sistema MIMO [3]. A otimização é geralmente uma tarefa complexa e com custo elevado. Por isso, pesquisadores e engenheiros têm se esforçado para obter eficientes técnicas de

otimização, que permitam desenvolver projetos de sistemas MIMO práticos e com custos acessíveis [1, 3]. A utilização de algoritmo genético ou *Genetic Algorithm* (GA), como para otimização do problema proposto tem esse objetivo.

Este artigo está organizado da seguinte forma: a seção II apresenta a proposta para otimização da capacidade do sistema. A seção III mostra o arranjo experimental e a seção IV contém os resultados com o simulador. Finalmente, a conclusão deste artigo é apresentada na seção V.

## II. METODOLOGIA PARA A OTIMIZAÇÃO

O problema consiste em buscar atingir a capacidade do canal de um sistema MIMO, a partir da matriz de covariância, variando a distância entre as antenas do arranjo da transmissão. Para otimização a solução é utilizado o GA.

A função objetivo é o cálculo da capacidade ergódica do canal que se inicia com a determinação dos coeficientes de correlação a partir do modelo de Clark [5, 6]

$$\rho_{ij} = J_0(kd_{ij}), \quad (1)$$

em que  $J_0$  é uma função de Bessel de primeira espécie de ordem zero,  $k$  é o número da onda dado por  $2\pi/\lambda$  e  $d$  entre os elementos  $i$  e  $j$  do agrupamento de antenas uniforme. As matrizes de correlação espacial do transmissor e do receptor, respectivamente,  $R_X$  e  $R_Y$ , podem ser generalizadas usando

$$R_{X(Y)} = \begin{bmatrix} \rho_{1,1} & \cdots & \rho_{1,N_r(t)} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \rho_{N_r(t),j} & \cdots & \rho_{N_r(t),N_r(t)} \end{bmatrix}. \quad (2)$$

em que,  $N_r$  ou  $N_t$  são, respectivamente, o número de antenas receptoras ou transmissoras. A partir disso é obtida a matriz de propagação  $H$  de acordo com o modelo de canal de Kronecker [7, 5, 6]

$$H = R_Y^{1/2} G_H R_X^{1/2}, \quad (3)$$

em que  $G_H$  é uma matriz gaussiana com variáveis independentes e identicamente distribuídas (i.i.d – *identical and independent distributed*) com média zero e variância unitária. Após isto, é realizada uma decomposição em valores singulares da matriz  $H$ , a capacidade ergódica do canal

MIMO é calculada por

$$C = \sum_i^n \log_2(1 + \gamma_i \lambda_i), \quad (4)$$

em que  $\gamma_i$  e  $\lambda_i$  são a SNR e o ganho do  $i$ -ésimo subcanal, respectivamente. O autovalor da matriz de correlação do canal de entrada é dada por  $\lambda_i$  [5, 8].

O objetivo do otimizador é aumentar a capacidade informada a partir da alteração da distância entre as antenas do arranjo de transmissão e cálculo da matriz de ganho. O GA trabalha em analogia ao processo evolucionário. O canal é o ambiente do sistema reprodutor, enquanto as antenas são os indivíduos formados. A aptidão dos indivíduos é medida pela capacidade ergódica do canal. A população é o conjunto de antenas previstas em cada modelo de teste. Os genes de cada indivíduo contêm a informação da distância entre cada antena de transmissão.

Inicia-se a busca com uma geração aleatória em que cada antena tem o valor inicial de distância entre antenas do arranjos de  $\lambda/2$ , valor mínimo necessário para evitar acoplamento mútuo e correlação entre canais. Esta distância varia até  $3\lambda$  com passos de  $\lambda/2$  atribuídos por uma variável aleatória com distribuição uniforme. O número de indivíduos em cada geração é alterado pelas operações de cruzamento e mutação. Por último, os indivíduos mais adequados para a função objetivo são selecionados para a próxima geração em que passarão por todo o processo de reprodução. Estas etapas são repetidas até que o critério de otimização é cumprido ou tempo de parada definido.

### III. ARRANJO EXPERIMENTAL

O simulador foi construído em linguagem de programação Matlab® e executado em computador com processador Intel® Core™ i3 com 2,40 GHz, memória RAM de 4 GB e sistema operacional Windows 7 de 32 bits.

Foi considerada frequência de operação em 3 GHz e sistemas microcelulares com antenas omnidirecionais, na transmissão e na recepção. A distância entre as antenas do arranjo é fixada em 5 cm. A distância entre as antenas do arranjo do transmissor varia de 5 a 30 cm, com passos de 5 cm. Foi considerado sempre o número de antenas na transmissão igual ao número de antenas na recepção, variando de um a quatro antenas por arranjo. O algoritmo foi executado 20 vezes e coletado o melhor resultado entre as execuções.

### IV. RESULTADOS

A Tabela I apresenta os resultados para o melhor caso de cada sistema proposto com um SNR de 20 dB utilizando 100 indivíduos e seleção torneio. Assim, esta tabela também mostra os valores da melhor distância entre as antenas do arranjo de transmissão que gera uma melhoria de 15% na capacidade ergódica do canal. Este aumento é mais significativo no sistema MIMO 4x4. Os resultados confirmam a eficiência do GA na solução do problema de otimização da capacidade ergódica. Os resultados também mostram que uma metodologia simples pode gerar resultados satisfatórios e

redução da complexidade computacional.

TABELA I  
OTIMIZAÇÃO COM 100 INDIVÍDUOS E SELEÇÃO TORNEIO.

Sistemas	Sem Otimização	Com Otimização		
	Maior Capacidade (bits/s/Hz)	Maior Capacidade (bits/s/Hz)	Capacidade Otimizada (%)	Melhor Distância (cm)
SISO	6,66	6,66	-	-
MIMO 2X2	11,6	12,75	9,90%	30
MIMO 3X3	17,41	19,52	12,07%	25
MIMO 4X4	23,17	26,79	15,61%	20

### V. CONCLUSÕES

Este artigo apresenta uma metodologia que utiliza o GA para otimizar a capacidade ergódica de um sistema MIMO. O GA se mostrou eficiente com poucas alterações na configuração do algoritmo confirmando uma poderosa ferramenta de otimização.

Os melhores resultados mostram uma melhoria de 15,61% na capacidade ergódica de canais MIMO 4x4, 12,07% em canais MIMO 3x3 e 9,9 % em canais MIMO 2x2. Estes resultados, apesar de preliminares, são bastante satisfatórios tendo em vista a grande variedade de parâmetros que a ferramenta oferece.

Como trabalhos futuros, pode-se considerar o uso da distribuição de Rayleigh na correlação das antenas do arranjo de transmissão. Isso permitiria o trabalho de investigação com antenas diretivas. Também pretende-se explorar soluções com diversidade de polarização para redução do número de antenas na estação móvel. Para o algoritmo de otimização GA, há interesse em experimentar a alteração de outros parâmetros como cruzamento e mutação adaptativa.

### VI. REFERÊNCIAS

- [1] T. Rappaport, R. Mayzus, Y. Azar, K. Wang, G. N. Wong, J. K. Schulz, M. Samimi e F. Gutierrez, "Millimeter Wave Mobile Communications for 5G Cellular: It Will Work!," *IEEE Access*, vol. 1, pp. 335-349, 2013.
- [2] A. Agarwal, G. Misra e K. Agarwal, "The 5th Generation Mobile Wireless Networks-Key Concepts, Network Architecture and Challenges," *Science & Education Publishing - SciEP*, vol. 3, nº 2, pp. 22-28, 2015.
- [3] Y. H. Nam, M. S. Rahman e Y. e. a. Li, "Full Dimension MIMO for LTE-Advanced and 5G," em *Information Theory and Applications Workshop*, La Jolla, 2015.
- [4] J. Sharony, "Introduction to Wireless MIMO—Theory and Applications," *CEWIT - Center of Excellence in Wireless and Information Technology*, 2006.
- [5] X. Liu e M. E. Bialkowski, "Effect of Antenna Mutual Coupling on MIMO Channel Estimation and Capacity," *International Journal of Antennas and Propagation*, pp. 1-9, 2010.
- [6] N. Almeida, S. Mota e A. Rocha, "Modelação do Canal Rádio MIMO," *Eletrônica e Telecomunicações*, vol. 5, nº 2, pp. 129-135, 2010.
- [7] M. O. Binelo, A. L. F. Almeida e F. R. P. Cavalcanti, "MIMO Array Capacity Optimization Using a Genetic Algorithm," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 60, nº 6, pp. 2471-2481, 2011.
- [8] E. Telatar, "Capacity of Multi-antenna Gaussian Channels," *European Transactions on Telecommunications*, vol. 10, nº 6, pp. 585-595, 1999.
- [9] J. H. Holland, *Adaptation in Natural and Artificial Systems*, Cambridge, Massachusetts: MIT Press, Segunda edição, 1993.
- [10] M. S. Alencar, *Telefonia Celular Digital*, 2a ed., São Paulo: Érica, 2012.