

Resumo do Artigo - Modelagem de Sistema de Comunicação com Modulação Digital Baseada em Quatérnios

Aluno: Jonas Vilasboas Moreira

Artigo apresentado no XXXI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TELECOMUNICAÇÕES - SBrT2013, 1-4 DE SETEMBRO DE 2013, FORTALEZA, CE.

O artigo analisado apresenta o uso de uma técnica chamada álgebra dos Quatérnios para reduzir a quantidade de operações algébricas necessárias em sistemas de comunicação digital. Para tanto, os autores propõem um novo esquema de modulação chamado de QuatMod, com uma nova formulação analítica de probabilidade de erro em um canal com adição de ruído gaussiano branco (AWGN) quaterniônico equivalente.

Antes de explicar o que seria o novo modelo de modulação QuatMod, os autores apresentam uma introdução com conceitos básicos sobre quatérnios, explicada a seguir.

Os quatérnios podem ser representados por:

$$q = s + xi + yj + zk$$

Onde s , x , y , e z são números reais. Ele pode ser separado em duas partes, onde $S(q) = s$ representa sua parcela escalar, e $V(q) = xi + yj + zk$ representa sua parcela vetorial.

Um quatérnio consiste de uma parte escalar e uma parte vetorial. Suas operações de adição são cumulativas, ou seja, $q_1 + q_2 = q_2 + q_1$, e suas operações de multiplicação não são cumulativas, ou seja $i.j = k$, porém, $j.i = -k$, porém, apresentam 16 operações de produtos, desempenho superior ao de matrizes 3×3 , que possuem 27 quantidades de produtos. Num universo onde menos operações é preferível, a diferença da quantidade de produtos obtidos na multiplicação de quatérnios é uma alternativa melhor, pois economiza energia e aumenta o desempenho computacional.

Em resumo, um número quaterniônico pode ser interpretado como um par de números complexos, utilizando a representação de Cayley-Dickson. Esta representação é a base para a proposta da modulação quaterniônica.

Modelo de Sistema Quaterniônico

O modelo utilizado no artigo é o mesmo que foi apresentado por J. Wysocki, T. Wysocki e J. Seberry no artigo *Modeling Dual Polarization Wireless Fading Channels using Quaternion*. Neste modelo é considerado um sistema de comunicações com antenas dual-polarizadas no transmissor e receptor, que pode ser representado na forma quaterniônica. Isso simplifica o modelo matricial tradicional para um modelo quaterniônico, facilitando a representação e manipulação dos sinais, onde o sistema pode ser abstraído para um sistema com uma única antena no transmissor, e uma antena no receptor, ao invés de duas antenas em cada um deles.

O modelo QuatMod

O modelo usa o fato de que constelações do tipo QAM (Quadrature-Amplitude Modulation) retangulares são geradas a partir de duas PAM (Pulse-Amplitude Modulation), para obter um novo conjunto de pontos em H, via isomorfismo, onde os pontos em cada um dos quatro eixos da modulação QuatMod distam de $2d$ entre si. Estes pontos são representados em hipercubos quadrimencionais, proporcionando uma nova forma de constelação geométrica.

Análise de Probabilidade de Erro em um canal AWGN

A probabilidade de erro dos símbolos modulados é analisada em um canal AWGN. A modulação QuatMod é interpretada como quatro símbolos PAM independentes ou dois símbolos QAM bidimensionais. A fórmula para calcular a probabilidade de erro de um símbolo QuatMod em um canal AWGN é apresentada abaixo:

$$P_M^{QuatMod} = 1 - \left(1 - \frac{2(\sqrt[M]{M} - 1)}{\sqrt[M]{M}} Q \left[\sqrt{\frac{6\gamma}{\sqrt[M]{M} - 1}} \right] \right)^4,$$

em que $\gamma = \varepsilon_{av}/N_0$.

Resultados

As simulações apresentadas pelos autores foram realizadas utilizando 100000 iterações de Monte Carlo, e foi considerado que os símbolos transmitidos eram gerados aleatoriamente através de distribuição uniforme, e que no receptor o sinal recebido era contaminado com ruído AWGN com média nula.

Se comparado com as probabilidades de erro de símbolo do QAM em um canal AWGN, os símbolos modulados em 16-QuatMod obtiveram um banho de 4dB em relação ao 16-QAM, e o 256-QuatMod apresentou um desempenho próximo ao do 32-QAM. Segundo os autores, a modulação QuatMod possui capacidade de transmitir maior quantidade de informação para uma mesma taxa de erro se comparado ao QAM.

Conclusões

O trabalho conclui que a modulação quaterniônica proposta pode ser uma alternativa eficiente aos modelos clássicos, oferecendo vantagens computacionais e um desempenho robusto em canais de comunicação digital.