

Apêndice A – Eficiência Espectral de Sistemas com e sem Potência Adaptativa

Neste apêndice, analisaremos a eficiência espectral de um sistema que utiliza as técnicas MCA (Modulação e Codificação Adaptativa) com e sem potência adaptativa.

O principal objetivo das técnicas de MCA é alcançar uma alta eficiência espectral. Uma primeira questão seria se é melhor adaptar, além da modulação e taxa de códigos, a potência também. Para responder essa questão, discutiremos a adaptação de modulação na perspectiva da teoria da informação. Mais especificamente, examinaremos a capacidade de Shannon no canal com desvanecimento com estratégias de adaptação de potência e modulação, como mostrada em [6].

A capacidade de um canal com desvanecimento ou AWGN (*Additive White Gaussian Noise*) é limitada pela potência de transmissão disponível e pela largura de banda. Seja $S(\gamma)$ a potência transmitida relativa a um SNR instantâneo γ , a capacidade de Shannon de um canal com desvanecimento com largura de banda B e potência média S_{AV} é dada por:

$$C = \underset{S(\gamma)}{\text{máx}} \int_0^{\infty} B \log_2 \left(1 + \frac{S(\gamma)\gamma}{S_{AV}} \right) p(\gamma) d\gamma \quad (\text{A.1})$$

$$S_{AV} \geq \int_0^{\infty} S(\gamma) p(\gamma) d\gamma, \quad (\text{A.2})$$

onde $p(\gamma)$ é a distribuição de probabilidades de SNR, que é uma distribuição *Chi-Square* com dois graus de liberdade (desvanecimento Rayleigh). A estratégia de adaptação de potência que maximiza a equação (A.1) é:

$$\frac{S(\gamma)}{S_{AV}} = \begin{cases} \frac{1}{\gamma_0} - \frac{1}{\gamma}, & \gamma \geq \gamma_0 \\ 0, & \gamma < \gamma_0 \end{cases}, \quad (\text{A.3})$$

onde γ_0 é o valor limite para se alocar potência e é determinado em [7]. Se γ for menor do que este valor limite, então nenhuma potência será alocada. Podemos resumir a expressão da equação (A.3) da seguinte maneira: quando o canal estiver com boa qualidade, aloca-se potência, mas quando a qualidade estiver ruim, não. A expressão final para a capacidade do canal é obtida substituindo a equação (A.3) na (A.1). A eficiência espectral resultante é dada por:

$$\frac{C}{B} = \int_{\gamma_0}^{\infty} \log_2\left(\frac{\gamma}{\gamma_0}\right) p(\gamma) d\gamma. \quad (\text{A.4})$$

Quando a potência transmitida for constante, ela será igual à potência média. Com isso, a eficiência espectral será dada por:

$$\frac{C}{B} = \int_0^{\infty} \log_2(1 + \gamma) p(\gamma) d\gamma. \quad (\text{A.5})$$

Analisando as equações (A.4) e (A.5) e observando seus gráficos, que estão ilustrados em [7], vemos que a diferença entre a eficiência espectral (C/B) de potência constante e variável é mínima. Por este motivo, no decorrer do nosso trabalho examinamos apenas esquemas de modulação e codificação adaptativa, enquanto que a potência permaneceu constante.

Apêndice B – Probabilidade de Erro em um Canal com Desvanecimento Rayleigh

Neste apêndice, desenvolvemos as expressões de probabilidade de erro para os sistemas coerentes com modulações PSK e QAM. para um canal com desvanecimento Rayleigh. Em um canal RAGB, a probabilidade de erro destes sistemas pode ser expressa de forma geral como:

$$P_e(\gamma) = AQ(\sqrt{B\gamma}), \quad (\text{B.1})$$

onde γ é a razão entre a energia por bit e o dobro da densidade espectral de potência no canal, ou seja, $\gamma = E_b/N_0$, e os valores de A e B são dados na tabela 9 para as diversas modulações.

Modulação	A	B
BPSK	1	2
QPSK	2	2
8-PSK	2	0.879
16-QAM	3	4/5
64-QAM	3.5	2/7

Tabela 9: Valores de A e B para diferentes modulações.

Em presença de desvanecimento plano de Rayleigh, considerando que durante a transmissão de cada símbolo a variação do canal pode ser desprezada, podemos escrever:

$$\gamma = \frac{v^2 E_b}{N_0}, \quad (\text{B.2})$$

onde E_b é a energia por bit na ausência de desvanecimento e v é uma variável aleatória com f.d.p de Rayleigh. Para cada intervalo de símbolo podemos usar as mesmas expressões do canal RAGB, desde que façamos também a hipótese de que o receptor consegue reconfigurar seus parâmetros para operar sempre de forma ótima. Assim podemos escrever a seguinte expressão para a probabilidade de erro média:

$$P_e = \int_0^{\infty} P_e(\gamma) f(\gamma) d\gamma, \quad (\text{B.3})$$

onde $f(\gamma)$ é a função densidade e probabilidade de γ . Observando (B.3) e lembrando que v tem f.d.p. de Rayleigh, podemos mostrar que γ tem f.d.p. exponencial dada por:

$$f(\gamma) = \frac{1}{\gamma_0} \exp\left(-\frac{\gamma}{\gamma_0}\right), \text{ para } \gamma \geq 0, \quad (\text{B.4})$$

onde $\gamma_0 = E[\gamma] = \frac{E_b}{N_0} E[v^2]$.

Substituindo (B.1) e (B.4) em (B.3), temos:

$$P_e = \int_0^{\infty} A Q(\sqrt{B\gamma}) \frac{1}{\gamma_0} \exp\left(-\frac{\gamma}{\gamma_0}\right) d\gamma. \quad (\text{B.5})$$

Substituindo a função Q em (B.5) por sua expressão integral, temos:

$$P_e = \int_0^{\infty} A \frac{1}{\gamma_0} \exp\left(-\frac{\gamma}{\gamma_0}\right) \int_{\sqrt{B\gamma}}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) dx d\gamma. \quad (\text{B.6})$$

Integrando a equação acima por partes obtemos:

$$P_e = -A \exp\left(-\frac{\gamma}{\gamma_0}\right) \int_{\sqrt{B\gamma}}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) dx \Bigg|_{\gamma=0}^{\gamma=\infty} + \int_0^{\infty} \frac{A\sqrt{B}}{2\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\gamma\left(\frac{1}{\gamma_0} + \frac{B}{2}\right)\right] \gamma^{-0.5} d\gamma. \quad (\text{B.7})$$

Podemos verificar que:

$$-\exp\left(-\frac{\gamma}{\gamma_0}\right) \int_{\sqrt{B\gamma}}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) dx \Bigg|_{\gamma=0}^{\gamma=\infty} = 0 + \int_0^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) dx = Q(0) = \frac{1}{2}.$$

Sabendo que:

$$\int_0^{\infty} \exp(-ax)x^n dx = \frac{\Gamma(n+1)}{a^{n+1}}$$

$$\Gamma(0,5) = \sqrt{\pi},$$

e aplicando para $n = -\frac{1}{2}$ e $a = \frac{1}{\gamma_0} + \frac{B}{2}$, podemos calcular o segundo termo de

(B.7) obtendo ao final a seguinte expressão para a probabilidade de erro:

$$P_e = \frac{A}{2} - \frac{A\sqrt{B}}{2\sqrt{2}} \left(\frac{1}{\gamma_0} + \frac{B}{2}\right)^{-0.5}. \quad (\text{B.8})$$

Substituindo os valores da tabela 9, obtemos os seguintes valores para as modulações QPSK, 8-PSK, 16-QAM e 64-QAM:

$$P_e = 1 - \sqrt{\frac{1+\gamma_0}{\gamma_0}} \quad (\text{B.9})$$

$$P_e = 1 - \frac{\sqrt{3} \operatorname{Sen}\left(\frac{\pi}{8}\right)}{\sqrt{\left(\frac{1}{\gamma_0} + 3 \operatorname{Sen}\left(\frac{\pi}{8}\right)\right)}} \quad (\text{B.10})$$

$$P_e = 1,5 - 3 \sqrt{\frac{0,1}{\frac{1}{\gamma_0} + 0,4}} \quad (\text{B.11})$$

$$P_e = 1,75 - 1,75 \sqrt{\frac{9}{63} \frac{1}{\frac{1}{\gamma_0} + \frac{9}{63}}} \quad (\text{B.12})$$

Apêndice C – Lista de Acrônimos

Neste apêndice, ilustraremos uma tabela com as principais abreviaturas e seus significados.

Sigla	Significado
RSR	Razão Sinal-Ruído
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
AMPS	Amplitude Modulation Phone System
GSM	Global Services for Mobile Communications
GPRS	General Packet Radio Service
GGSN	Gateway GPRS Support Node
SGSN	Serving GPRS Support Node
CDMA 1xEV-DO	CDMA Evolution - Data Only
HDR	High Data Rate
CDMA 1xEV-DV	Evolution – Data and Voice
EDGE	Enhanced Data for Global Evolution
IMT-2000	International Mobile Communications System for the year 2000
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
UWC-136HS	Universal Wireless Communications – 136 High Speed
3GPP	Third Generation Partnership Project
MIMO	Multiple-input multiple-output
UTRAN	UMTS Terrestrial Radio Access Network
GMSC	Gateway MSC
SGSN	Serving GPRS Support Node
GGSN	Gateway GPRS Support Node
DPDCH	Canal Físico Dedicado de Dados
DPCCH	Canal Físico Dedicado de Controle
OVSF	Fator de Espalhamento Variável Ortogonal
H-ARQ	Retransmissão Automática Híbrida
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
MCA	Modulação e codificação adaptativa
BER	Taxa de erro de bit
RAGB	Ruído Aditivo Gaussiano Branco
HS-PDSCH	High Speed Physical Downlink Shared Channel
HS-PSCCH	High Speed Physical Shared Control Channel
Uplink HS-DPCCH	Uplink High Speed Dedicated Physical Control Channel

Tabela 10: Principais abreviaturas.

Referências Bibliográficas

- [1] José Roberto Boisson de Marca, “Manuscrito de Notas de Aula”, CETUC / PUC-Rio, 2002.
- [2] E. Dahlman, B. Gudmundson, M. Nilsson and J. Skold, “UMTS/IMT-2000 Based on Wideband CDMA”. IEEE Communications Magazine, Volume 36, Number 9, September 1998.
- [3] H. Holma and A. Toskala, “WCDMA for UMTS”, John Wiley & Sons, Ltd., England, 2000.
- [4] T. Ojanperä and R. Prasad, “WCDMA: Towards IP Mobility and Mobile Internet”, Artech House Universal Personal Communications Series, London, 2001.
- [5] S. Catreux, V. Erceg, D. Gesbert and R. W. Heath Jr., “Adaptive Modulation and MIMO Coding for Broadband Wireless Data Networks”, IEEE Communications Magazine, June 2002.
- [6] A. Goldsmith and S. G. Chua, “Variable – Rate Variable – Power MQAM for fading channels”. IEEE Transactions on Communications, Volume 45, Number 10, October 1997.
- [7] P. Jain, “On the Impact of Channel and Channel Quality Estimation on Adaptive Modulation”, Master Thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University, USA, 2002.
- [8] T. S. Rappaport, “Wireless Communications: Principles and Practice”, Prentice Hall Inc., New Jersey, 1996.
- [9] D. J. Goodman, “Wireless Personal Communications Systems”, Addison Wesley, 1997.
- [10] X. Qiu and K. Chawla, “On the Performance of Adaptive Modulation in Cellular Systems”. IEEE Transactions on Communications, Volume 47, Number 6, June 1999.
- [11] 3GPP TR25.848 V4.0.0, “Physical Layer Aspects of UTRA High Speed Downlink Packet Access”.
- [12] 3GPP TR25.858 V5.0.0, “HSDPA Physical Layer Aspects”.

- [13] S. Parkvall, E. Dahlman, P. Frenger, P. Beming and M. Persson, “The Evolution of WCDMA Towards Higher Speed Downlink Packet Data Access”, Vehicular Technology Conference 2001.
- [14] M. Nakamura, Y. Awad and S. Vadgama, “Adaptive Control of Link Adaptation for High-Speed Downlink Packet Access (HSDPA) in W-CDMA”, Wireless Personal Multimedia Communications 2002.
- [15] H. Holma and A. Toskala, “WCDMA for UMTS”, John Wiley & Sons, Ltd., England, 2002.
- [16] S. Haykin, “Communication Systems”, John Wiley & Sons, Inc., 4th Edition, USA, 2001.
- [17] T. S. Rappaport, A. Annamalai, R. M. Buehrer and W. H. Tranter, “Wireless Communications: Past Events and a Future Perspective”, IEEE Communications Magazine, May 2002.
- [18] R. Love, B. Classon, A. Ghosh and Mark Cudak, “Incremental Redundancy for Evolutions of 3G CDMA Systems”, Vehicular Technology Conference 2002.
- [19] A. Das, F. Khan, A. Sampath and H. Su, “Performance of Hybrid ARQ for High Speed Downlink Packet Access in UMTS”, Vehicular Technology Conference 2001.
- [20] T. Ojanperä and R. Prasad, “An Overview of Air Interface Multiple Access for IMT-2000/UMTS”. IEEE Communications Magazine, Volume 36, Number 9, September 1998.
- [21] F. Adachi, M. Sawahashi and H. Suda, “Wideband DS-CDMA for Next-Generation Mobile Communications Systems”. IEEE Communications Magazine, Volume 36, Number 9, September 1998.