

5

Detecção por grupos com estimação de canal

Os métodos de agrupamento e a detecção ML por grupo propostos precisam do conhecimento da matriz covariância do ruído para a formação dos grupos, esta matriz é composta pelas matrizes DFT e IDFT, que são conhecidas, e da matriz diagonal das componentes em frequência do canal $\tilde{\mathbf{H}}_d(i)$. No capítulo anterior foi assumido o conhecimento perfeito das características dos canais, mas neste capítulo considera-se o problema de estimação de canal e os efeitos dos erros de estimação no desempenho dos sistemas com portadora única.

Existem dois métodos principais para a estimação do canal: o método baseado em pilotos e o método DD “Decisão-Direta”. O primeiro é espectralmente ineficiente enquanto que o segundo sofre de propagação de erros. As técnicas de estimação de canal abordadas neste capítulo utilizam-se de símbolos piloto [6], [12]-[13]. Os símbolos piloto são definidos como um conjunto de sub-símbolos $\mathbf{b}(i)$ gerados para transmissão, os quais são conhecidos pelo receptor, que facilita o mapeamento da resposta do canal. Neste trabalho vai-se obter a estimativa da resposta de frequência do canal após a demodulação do bloco.

5.1

Estimação de canal utilizando símbolos piloto e matriz refinadora

Para se estimar a resposta de frequência do canal, supõe-se aqui que um bloco de símbolos piloto é inserido a cada transmissão de S blocos símbolos de informação. A estimativa de canal obtida após o j -ésimo bloco de símbolos piloto é utilizada na detecção dos S blocos de símbolos de informação seguintes.

A ideia do esquema de refinamento da estimação do canal, também considerado neste capítulo, baseia-se no conhecimento *a priori* do comprimento da resposta impulsional do canal $\mathbf{h}(i)$. Tendo esse conhecimento prévio podemos determinar quais componentes do vetor estimativa de canal $\hat{\mathbf{h}}(i)$, apresentam apenas contribuição do ruído e assim não têm nenhuma informação do canal [12]. Desta forma quando o comprimento do canal é P e o comprimento do bloco é D , sendo $D = N$ para os sistemas CP e $D = M$ para sistemas ZP, uma maneira de melhorar a qualidade da estimativa é manter as P primeiras

componentes de $\hat{\mathbf{h}}(i)$ e zerar as outras $D - P$ componentes. Assim estamos eliminando da estimativa do canal no tempo componentes apenas ruidosas. Após este processo de decimação e preenchimento com zeros do vetor $\hat{\mathbf{h}}(i)$ aplica-se uma DFT retornando a estimativa para o domínio da frequência. As estimativas Post-DFT refinadas da resposta de frequência do canal para sistemas de transmissão em blocos com faixas de guarda com CP e ZP, passam pelas seguintes etapas :

Utilizando (2-20) o i -ésimo bloco no receptor após a operação de DFT pode ser expressa como:

$$\begin{aligned} \mathbf{y}(i) &= \tilde{\mathbf{H}}_d(i)\mathbf{V}\mathbf{b}(i) + \mathbf{W}_D\mathbf{n}(i) \\ &= \text{diag}[\mathbf{q}]\mathbf{V}\mathbf{b}(i) + \mathbf{W}_D\mathbf{n}(i) \\ &= \mathbf{C}_d(i)\mathbf{q}(i) + \mathbf{W}_D\mathbf{n}(i) \end{aligned} \quad (5-1)$$

onde $\mathbf{n}(i)$ é o vetor de ruído gaussiano branco com matriz covariância $\mathbf{K}_n = \sigma^2\mathbf{I}$, \mathbf{W}_D é a matriz DFT normalizada $D \times D$, a matriz $\mathbf{C}_d(i) = \text{diag}[\mathbf{V}\mathbf{b}(i)]$ é uma matriz diagonal contendo as componentes do produto $\mathbf{V}\mathbf{b}(i)$, sendo \mathbf{V} como definido na Seção 2.2 e $\mathbf{b}(i)$ representando o vetor de símbolos piloto. Os valores de $\mathbf{C}_d(i)$ são supostamente conhecidos e determinados a partir dos símbolos piloto. O vetor $\mathbf{q}(i)$ de dimensão D , contém a resposta em frequência do canal:

$$\mathbf{q}(i) = \sqrt{D}\mathbf{W}_D \begin{bmatrix} h_0^{(i)} & h_1^{(i)} & \cdots & h_{P-1}^{(i)} & 0_1 & 0_2 & \cdots & 0_{D-P-1} \end{bmatrix}^T \quad (5-2)$$

$$= \sqrt{D}\mathbf{W}_D \begin{bmatrix} \mathbf{h}_P \\ \mathbf{0} \end{bmatrix} \quad (5-3)$$

onde \mathbf{h}_P é o vetor com as componentes da resposta impulsional com P percursos. Supondo $\mathbf{C}_d(i)$ inversível a estimativa *Zero-forcing* da resposta de frequência do canal, $\mathbf{z}_q(i)$, é dada por:

$$\begin{aligned} \mathbf{z}_q(i) &= \mathbf{C}_d^{-1}(i)\mathbf{y}(i) \\ &= \mathbf{q}(i) + \mathbf{C}_d^{-1}(i)\mathbf{W}_D\mathbf{n}(i) \\ &= \mathbf{q}(i) + \mathbf{n}_{z_q}(i) \end{aligned} \quad (5-4)$$

onde o ruído da estimativa $\mathbf{n}_{\mathbf{z}_q}(i)$ tem a matriz covariância dada por:

$$\begin{aligned} \mathbf{K}_{\mathbf{z}_q} &= \mathbf{C}_d^{-1}(i) \mathbf{W}_D \mathbf{K}_n \mathbf{W}_D^H (\mathbf{C}_d^{-1})^H(i) \\ &= \sigma^2 \mathbf{C}_d^{-1}(i) (\mathbf{C}_d^{-1})^H(i) \end{aligned} \quad (5-5)$$

O processo do refinamento da estimativa $\mathbf{z}_q(i)$ é feito pela matriz refinadora \mathbf{J} cuja operação no vetor $\mathbf{z}_q(i)$ é equivalente a: mudar para o domínio do tempo, decimar as componentes ruidosas e retorno para o domínio da frequência [12], assim a estimativa $\hat{\mathbf{q}}(i)$, é dada por:

$$\begin{aligned} \hat{\mathbf{q}}(i) &= \mathbf{J} \mathbf{z}_q(i) \\ &= \mathbf{q}(i) + \mathbf{J} \mathbf{n}_{\mathbf{z}_q}(i) \end{aligned} \quad (5-6)$$

onde $\mathbf{J} = \mathbf{W}_{DP} \mathbf{W}_{DP}^H$, com \mathbf{W}_{DP} de dimensão $D \times P$ sendo a matriz que contém as P primeiras colunas da matriz \mathbf{W}_D . A matriz covariância do ruído resultante após a operação da matriz purificadora é então:

$$\mathbf{K}_{\hat{\mathbf{q}}} = \mathbf{W}_{DP} \mathbf{W}_{DP}^H \mathbf{K}_{\mathbf{z}_q} \mathbf{W}_{DP} \mathbf{W}_{DP}^H \quad (5-7)$$

A matriz purificadora de dimensão $D \times D$ que refina a estimativa inicial $\mathbf{z}_q(i)$ apresenta a seguinte estrutura:

$$\mathbf{J} = \begin{pmatrix} \frac{P}{D} & J_{12} & \cdots & J_{1D} \\ J_{21} & \frac{P}{D} & \cdots & J_{2D} \\ \vdots & \cdots & \ddots & \vdots \\ J_{D1} & J_{D2} & \cdots & \frac{P}{D} \end{pmatrix} \quad (5-8)$$

Finalmente, após a multiplicação pela matriz purificadora e supondo-se que o canal é invariante no tempo, $\mathbf{q}(i) = \mathbf{q}$, calcula-se a média dos valores estimados anteriormente, assim a estimativa final $\hat{\mathbf{q}}_f(j)$, é obtida

$$\begin{aligned} \hat{\mathbf{q}}_f(j) &= \frac{1}{j} \sum_{i=1}^j \hat{\mathbf{q}}(i) \\ &= \mathbf{q} + \frac{1}{j} \sum_{i=1}^j \mathbf{J} \mathbf{n}_{\mathbf{z}_q}(i) \end{aligned} \quad (5-9)$$

onde a variância do erro em $\hat{\mathbf{q}}_f(j)$ diminui quando j aumenta, assim

$$\mathbb{E}[\| \hat{\mathbf{q}}_f(j) - \mathbf{q} \|^2] = \frac{\sigma_\epsilon^2}{j} \quad (5-10)$$

onde, $\sigma_\epsilon^2 = \mathbb{E}[\| \mathbf{J} \mathbf{n}_{\mathbf{z}_q}(i) \|^2]$, é o erro médio quadrático da estimativa $\mathbf{q}(i)$. A Figura 5.1 ilustra a estrutura do processo de estimação de canal.

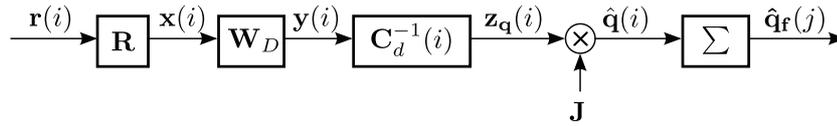


Figura 5.1: Estrutura da estimação de canal Pós-DFT utilizando matriz purificadora

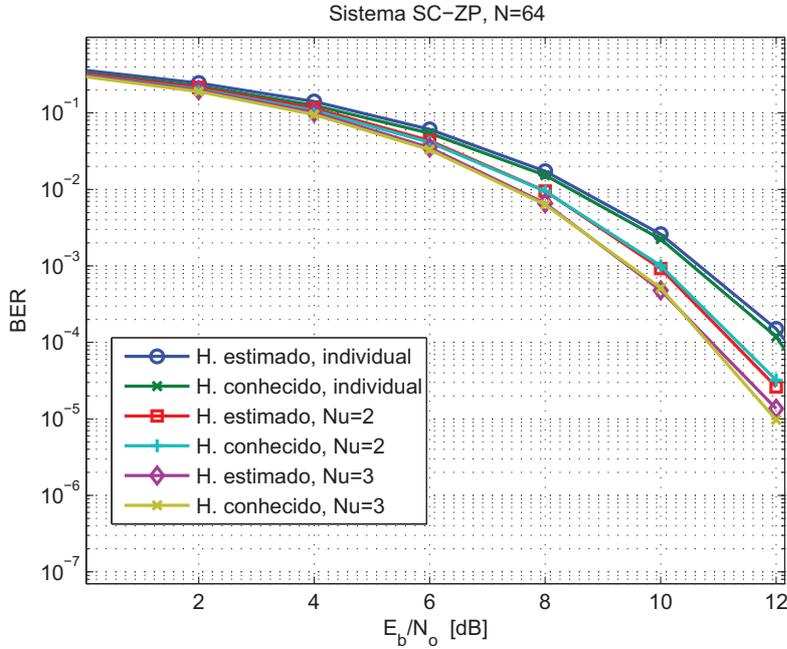


Figura 5.2: Experimento 1: Taxa de erro de bit (BER) versus $\frac{E_b}{N_0}$ (dB) para SC-ZP, $N=64$ com detecção por grupos

5.2

Resultados das simulações

Para avaliar os efeitos dos erros na equalização do canal propostos para sistemas com portadora única SC com prefixo cíclico CP e preenchimento de zeros ZP, com os métodos de agrupamento 1 e 2 propostos no capítulo 4, foram realizadas duas experiências cada uma delas com um tipo de canal diferentes modelados por um filtro FIR. O canal do Experimento 1 e dado por:

$$\mathbf{h}_1 = [0,796 \ 0,482 \ 0,292 \ 0,177 \ 0,107 \ 0,065] \quad (5-11)$$

e para o Experimento 2 é:

$$\mathbf{h}_2 = [0,74 \ -0,42 \ 0,083 \ 0,49 \ -0,12 \ 0,01] \quad (5-12)$$

Nas experiências, utiliza-se $N = 64$ símbolos do bloco de informação, o tamanho da faixa de guarda $L = 16$ que é equivalente a 25% de N , o tamanho do bloco na recepção é $M = N + L$. Os resultados foram obtidos ao longo

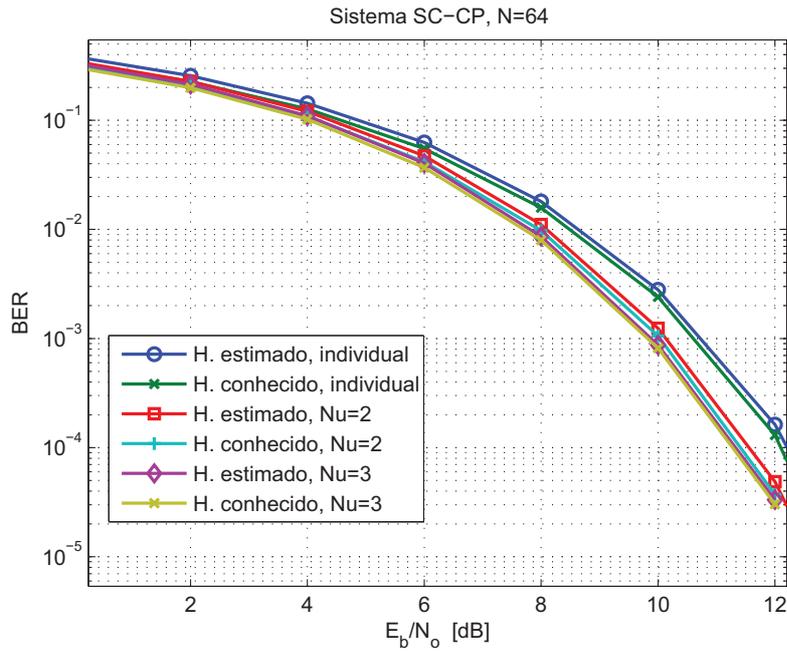


Figura 5.3: Experimento 1: Taxa de erro de bit (BER) versus $\frac{E_b}{N_0}$ (dB) para SC-CP, $N=64$ com detecção por grupos

de 10.000 realizações com 100 blocos de símbolos de informação transmitidos por realização e 1 bloco de símbolos piloto inserido a cada $S = 10$ blocos de informação transmitidos. Para comparar os efeitos dos erros na estimação de canal nos métodos de agrupamento e no processo de detecção por grupos proposto, os resultados incluíram também o desempenho dos sistemas supondo o conhecimento ideal do canal. As figuras 5.2 à 5.5 ilustram as curvas de desempenho resultantes

5.2.1

Análises de resultados

Os resultados deste capítulo confirmam que os efeitos de erros na estimação de canal pioram o desempenho dos sistemas considerados com os agrupamentos 1 e 2 propostos no capítulo anterior. Entretanto estes efeitos não foram muito sensíveis, notando-se uma perda máxima de 1dB.

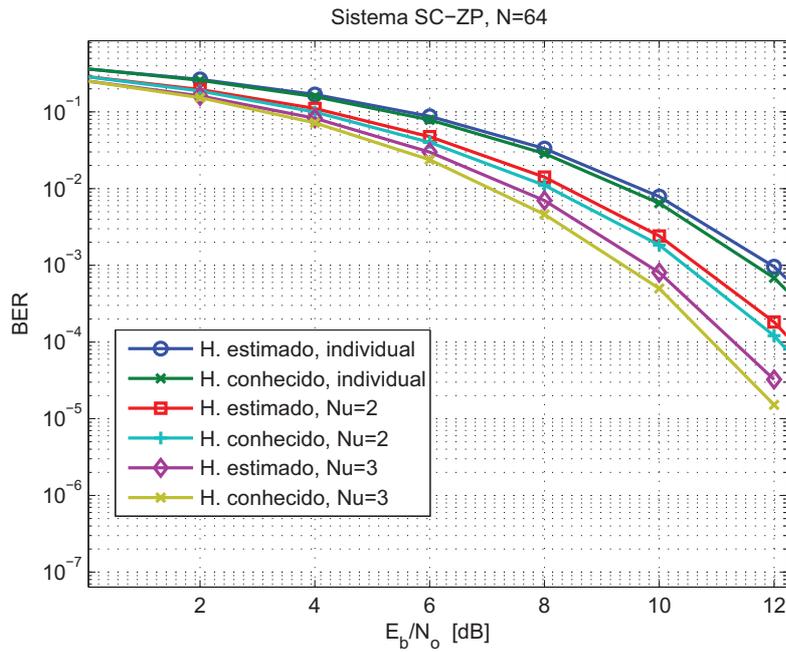


Figura 5.4: Experimento 2: Taxa de erro de bit (BER) versus $\frac{E_b}{N_0}$ (dB) para SC-ZP, N=64 com detecção por grupos

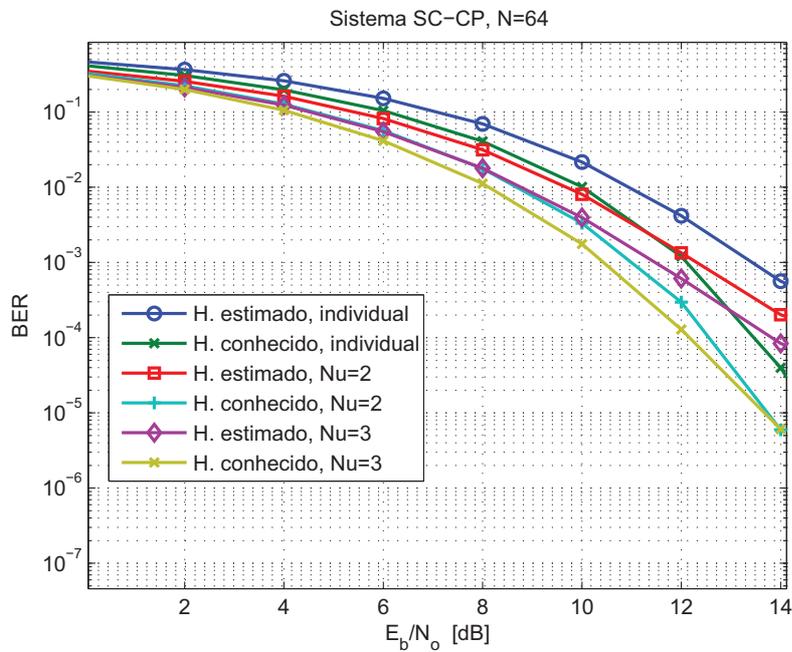


Figura 5.5: Experimento 2: Taxa de erro de bit (BER) versus $\frac{E_b}{N_0}$ (dB) para SC-CP, N=64 com detecção por grupos