

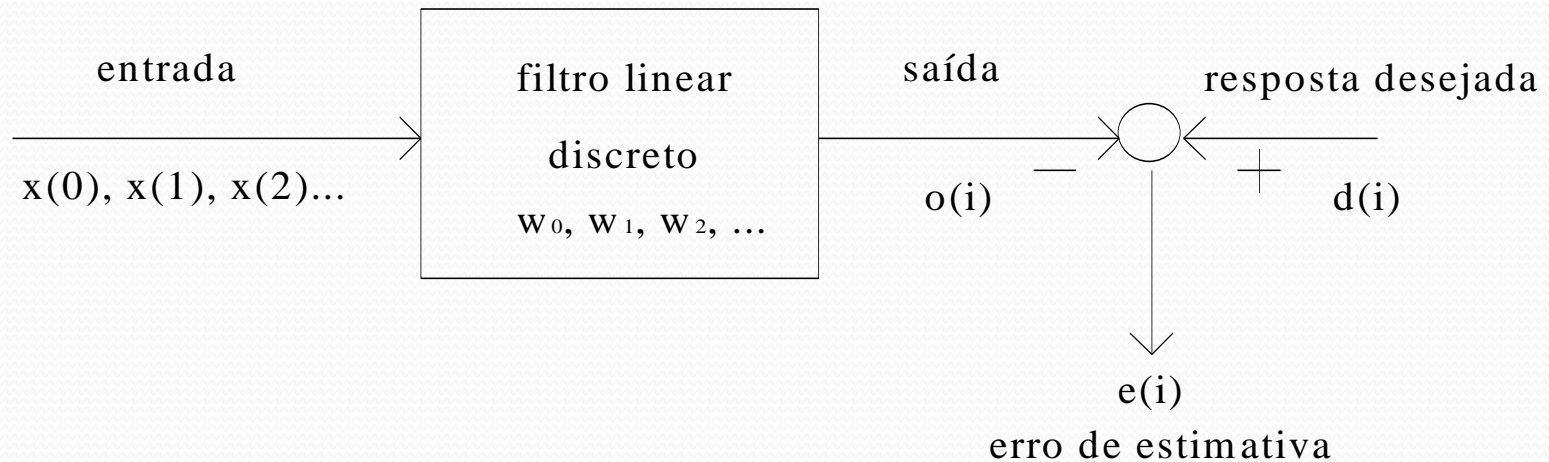
Filtragem Adaptativa

Sistemas de Telecomunicações Definidos
por Software
&
Processamento de Sinal em Tempo Real

Filtros Adaptativos

- Filtros adaptativos são solução atractiva em ambientes com estatística desconhecida e variável ao longo do tempo
- Actualmente este tipo de sistemas são aplicados com sucesso em campos tão diversos como as comunicações, controlo, radar, sonar, sismologia e engenharia biomédica.

Diagrama de blocos geral



- O filtro tem como entrada o sinal desejado contaminado com ruído branco aditivo com ele incorrelacionado, constituindo a sequência $x(0), x(1), x(2), \dots$ e caracteriza-se pela resposta impulsional w_0, w_1, w_2, \dots . Num determinado instante i , o filtro produz a saída $o(i)$. Esta é usada como estimativa da resposta desejada $d(i)$. Sendo os dois sinais concretizações de processos estocásticos, a estimativa produz o sinal de erro $e(n)$ com características estatísticas próprias. O objectivo é minimizar o erro de estimativa segundo algum critério estatístico.

Notação

vector formado pelo valor actual e anteriores da entrada, no instante i :

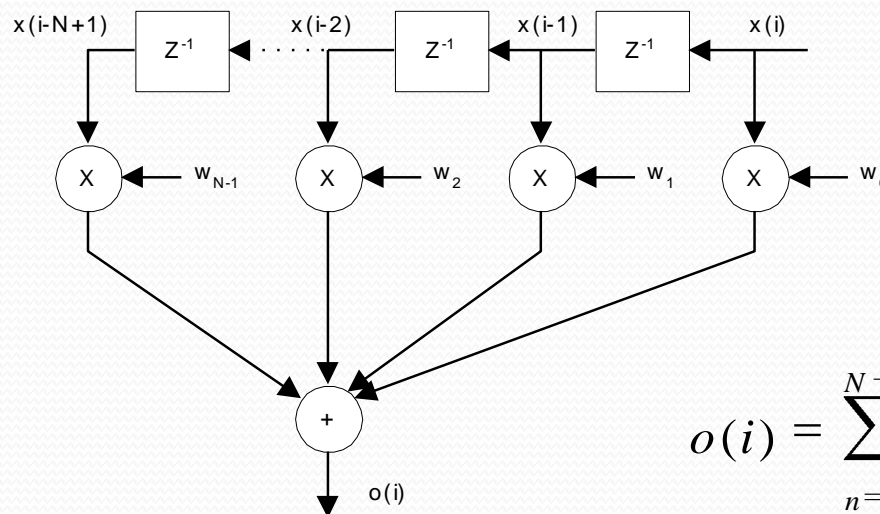
$$X(i) = \begin{bmatrix} x(i) & x(i-1) & \dots & x(i-N+1) \end{bmatrix}^T$$

vector formado pelos coeficientes do filtro:

$$W = \begin{bmatrix} w_0 & w_1 & \dots & w_{N-1} \end{bmatrix}^T$$

saída do filtro em notação matricial:

$$o(i) = X(i)^T W$$



$$o(i) = \sum_{n=0}^{N-1} w_n x(i-n)$$

Algoritmo do gradiente estocástico (Least Mean Squares-LMS)

Usa-se o valor instantâneo de $e^2(i)$ como estimativa da função de custo $E \{ e^2(i) \}$.

Estima-se o gradiente da função: $\hat{\nabla}(i) = \frac{\partial e^2(i)}{\partial W} = -2e(i)X(i)$

Como o gradiente é o vector que aponta no sentido do máximo da função de custo, desloca-se o vector de pesos na direcção oposta com o objectivo de procurar o mínimo: $\hat{W}(i+1) = \hat{W}(i) - \mu \hat{\nabla}(i)$

Ou seja:

$$\hat{W}(i+1) = \hat{W}(i) + 2\mu e(i)X(i)$$

μ é o passo de adaptação e controla a estabilidade e velocidade de convergência.

Demonstra-se em [1] e [6] a existência de estabilidade do algoritmo desde que:

$$0 < \mu < \frac{1}{(N+1) * (\text{potência de } X(i))}$$

LMS - resumo

Início:

$$\hat{W}(0) = 0, \mu \ll 1$$

Em cada iteração:

$$1. \quad o(i) = X(i)^T W$$

$$2. \quad e(i) = d(i) - o(i)$$

$$3. \quad \hat{W}(i+1) = \hat{W}(i) + 2\mu e(i) X(i)$$

Para aumentar a velocidade de convergência é também proposto na bibliografia utilizar μ elevado no início do processo de adaptação e lentamente diminuí-lo, por forma a conduzir a um valor baixo de erro residual. Em situação de não-estacionaridade o passo muito reduzido levará a baixa capacidade de seguimento das mudanças no ambiente de trabalho.

Normalized Least Mean Squares-NLMS

Para aumentar a velocidade de convergência do algoritmo LMS o passo de adaptação é agora variável:

$$\mu(i) = \frac{\xi}{P_x(i)}$$

em que ξ é uma constante positiva de valor inferior à unidade e $P_x(i)$ a estimativa da potência do sinal de referência.

A adaptação dos coeficientes fica: $w_j(i+1) = w_j(i) + 2\mu(i)e(i)x(i-j)$, $0 \leq j \leq N-1$

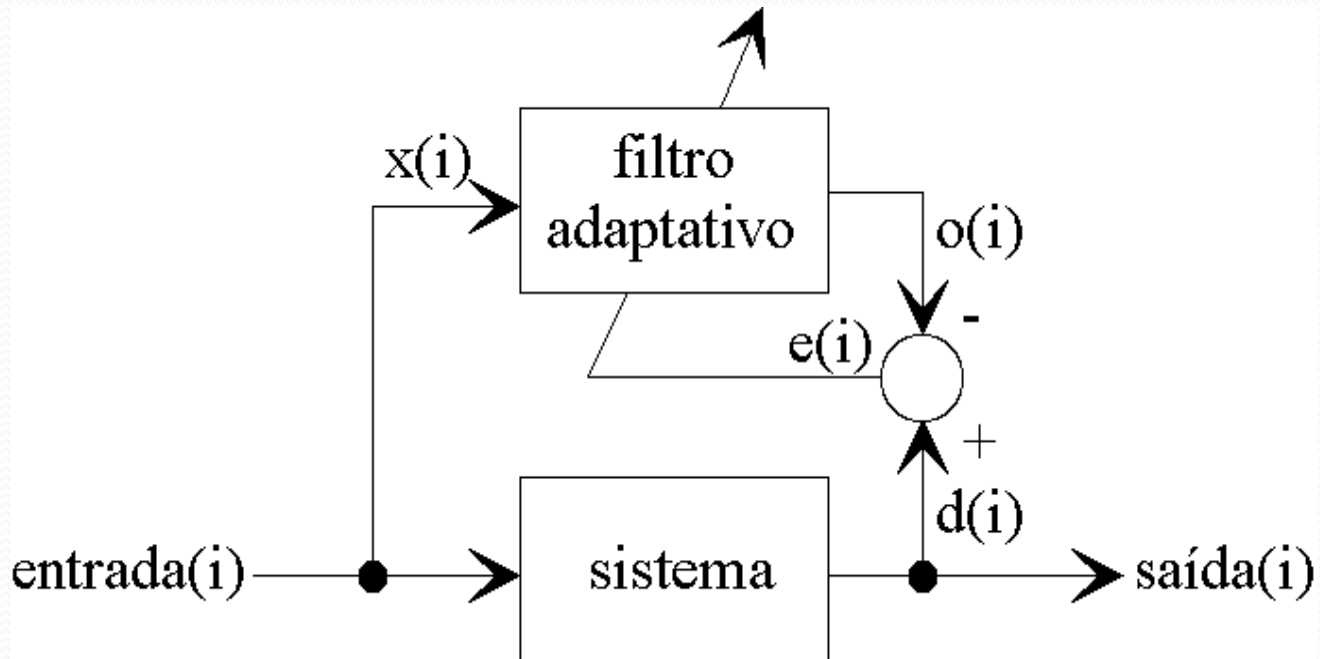
Para evitar problemas numéricos:

$$\mu(i) = \frac{\xi}{a + P_x(i)}$$

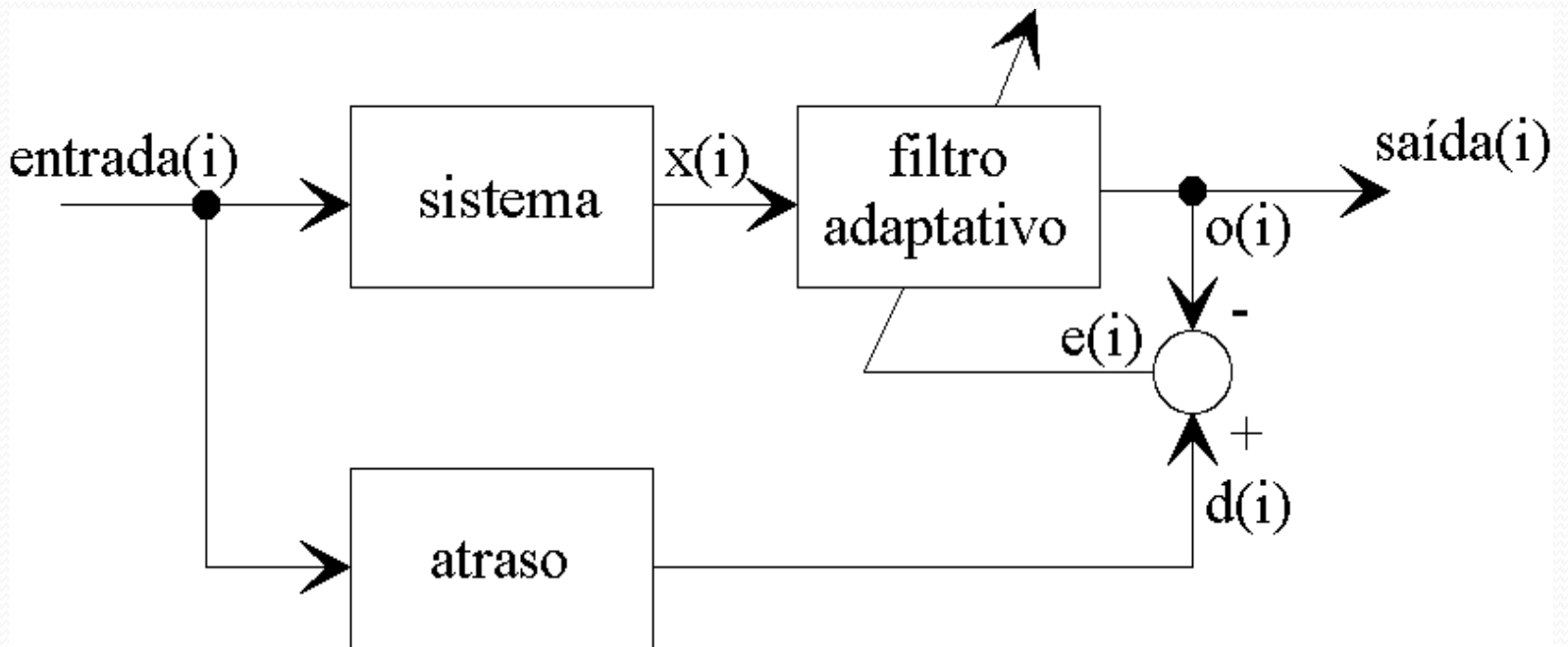
Classe	Aplicações
I. Identificação	Identificação de sistemas Modelização das camadas terrestres
II. Modelização inversa	Deconvolução predictiva Igualização adaptativa
III. Predição	Codificação predictiva linear <i>Adaptive differential pulse-code modulation</i> Análise espectral auto-regressiva
IV. Cancelamento de interferências	Cancelamento adaptativo de ruído Cancelamento de eco

- Todas estas aplicações partilham uma característica comum: um vector de entrada e uma resposta desejada são usados para calcular um erro de estimativa, que, por sua vez, é usado para controlar um conjunto de coeficientes de um filtro.

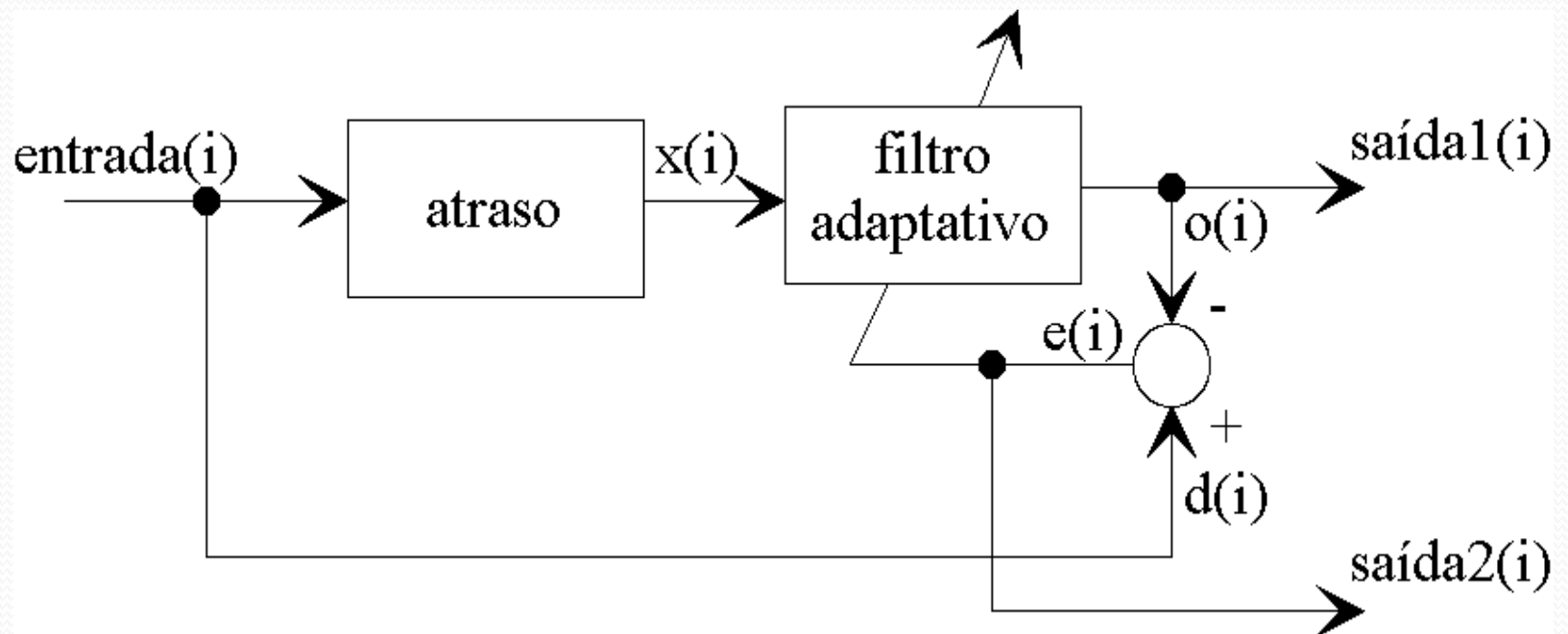
Identificação de sistemas



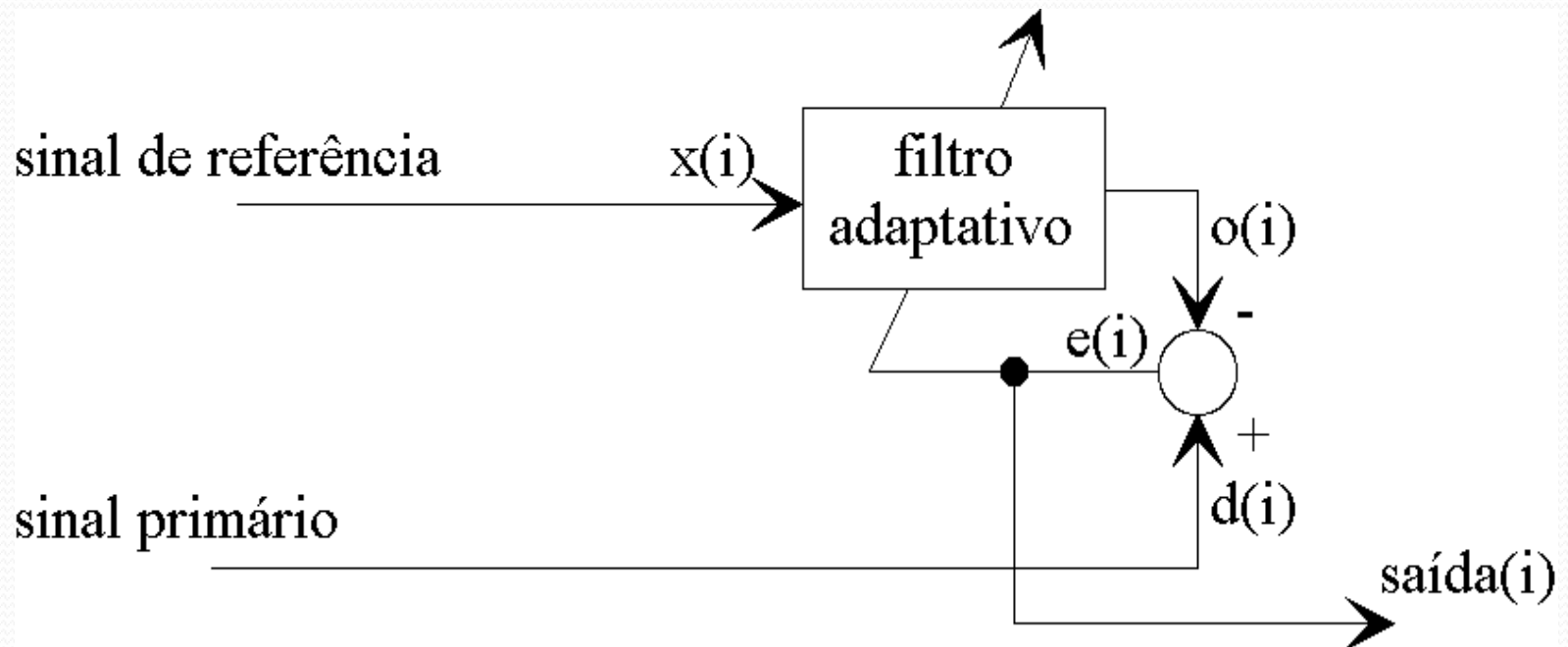
Modelização inversa



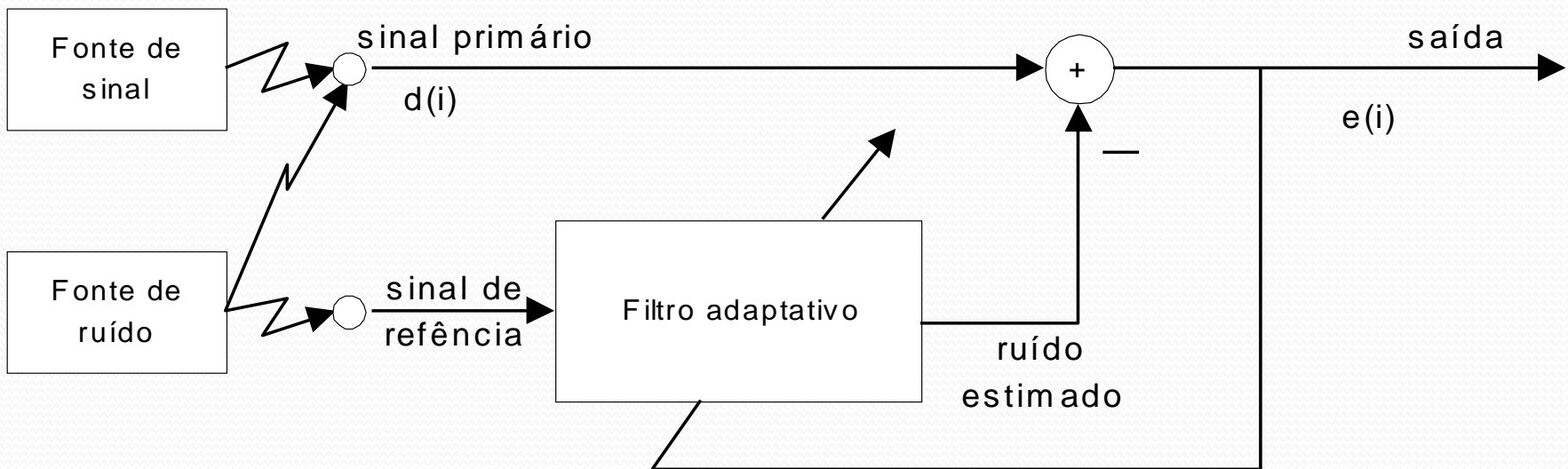
Predição



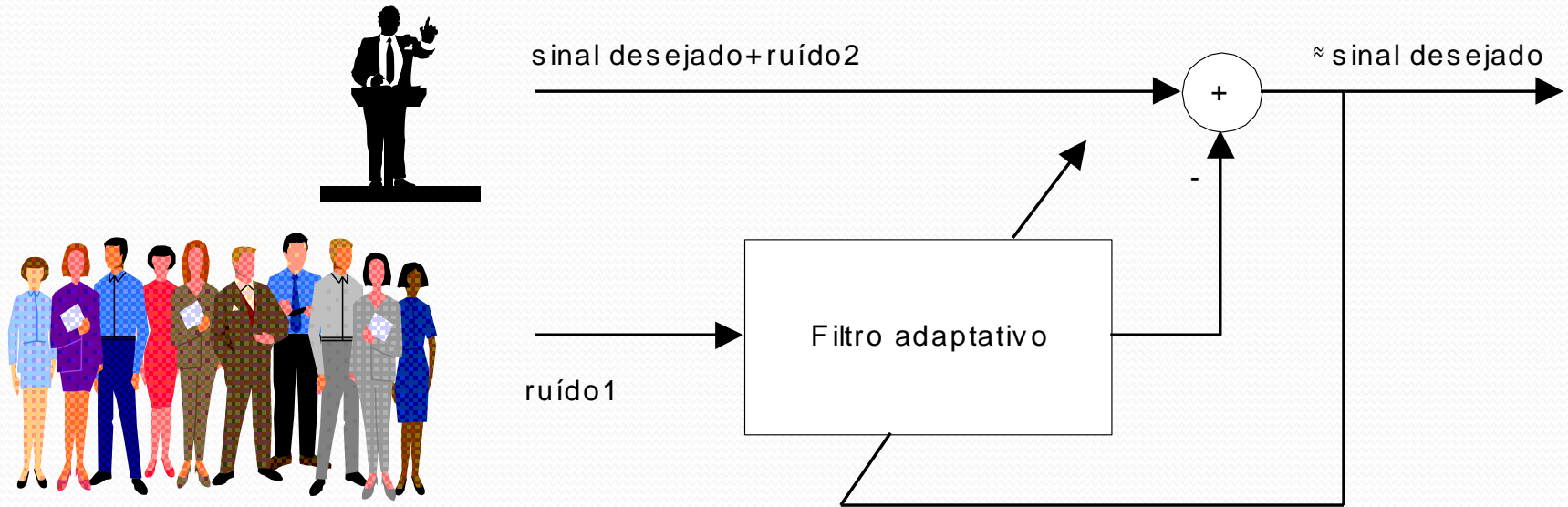
Cancelamento de interferência



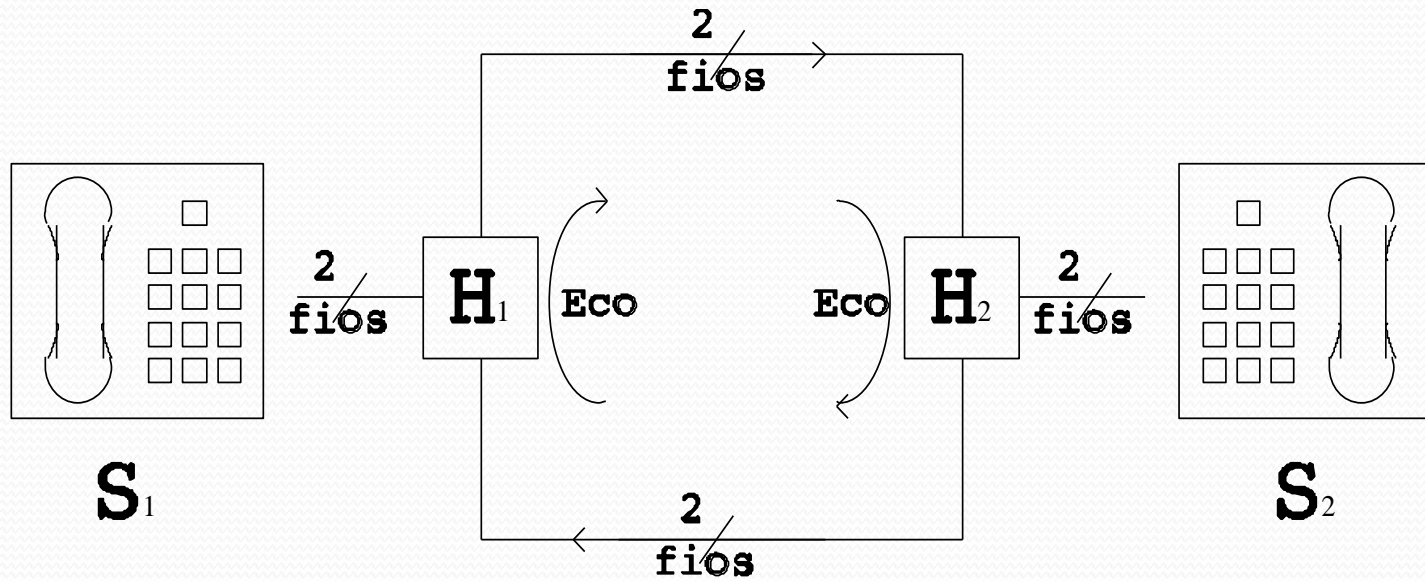
Cancelamento de ruído



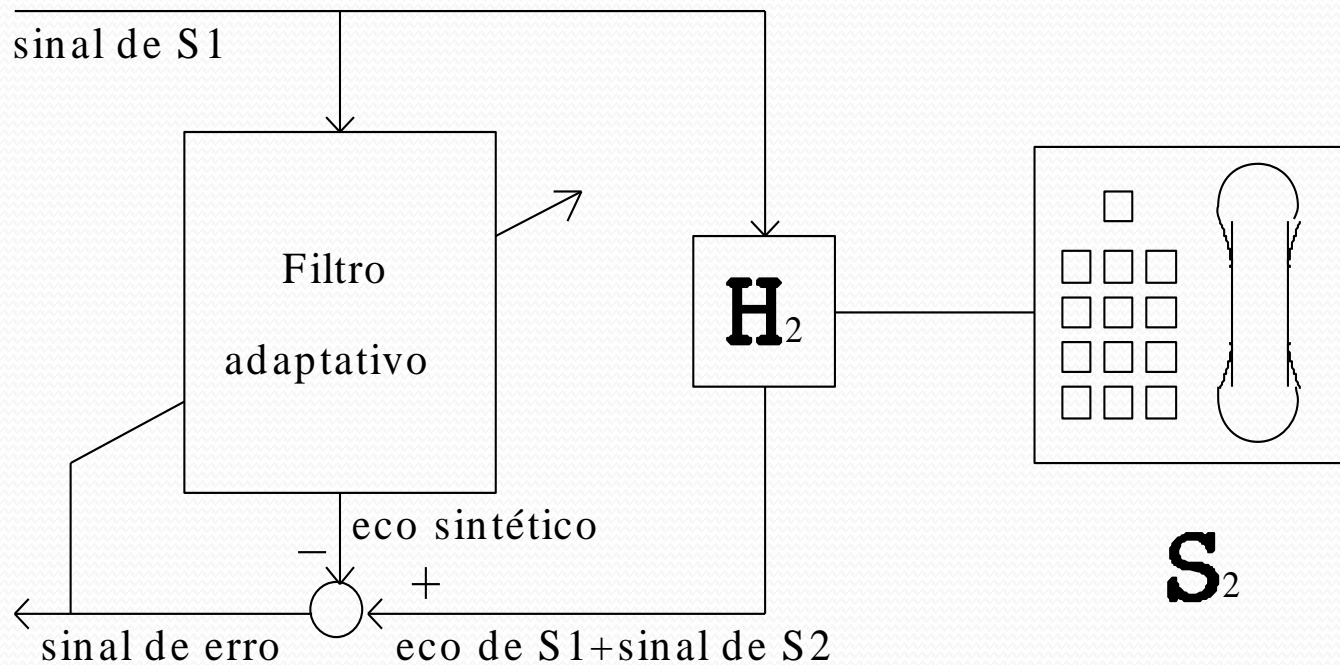
Cancelamento de ruído (2)



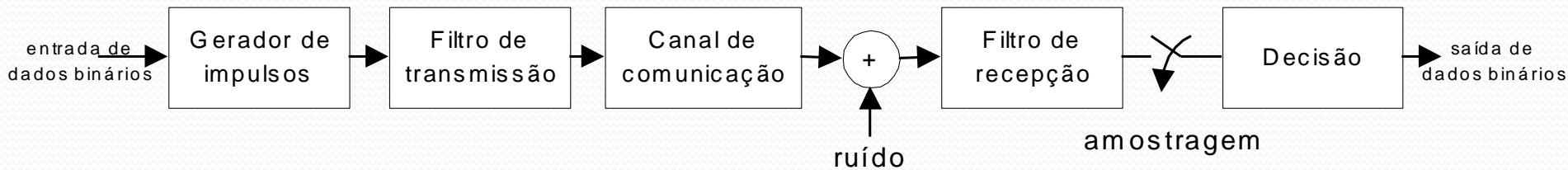
Cancelamento de eco



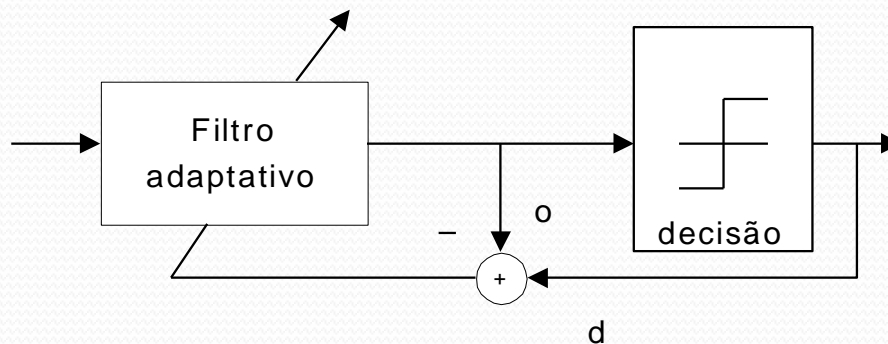
Cancelamento de eco (2)



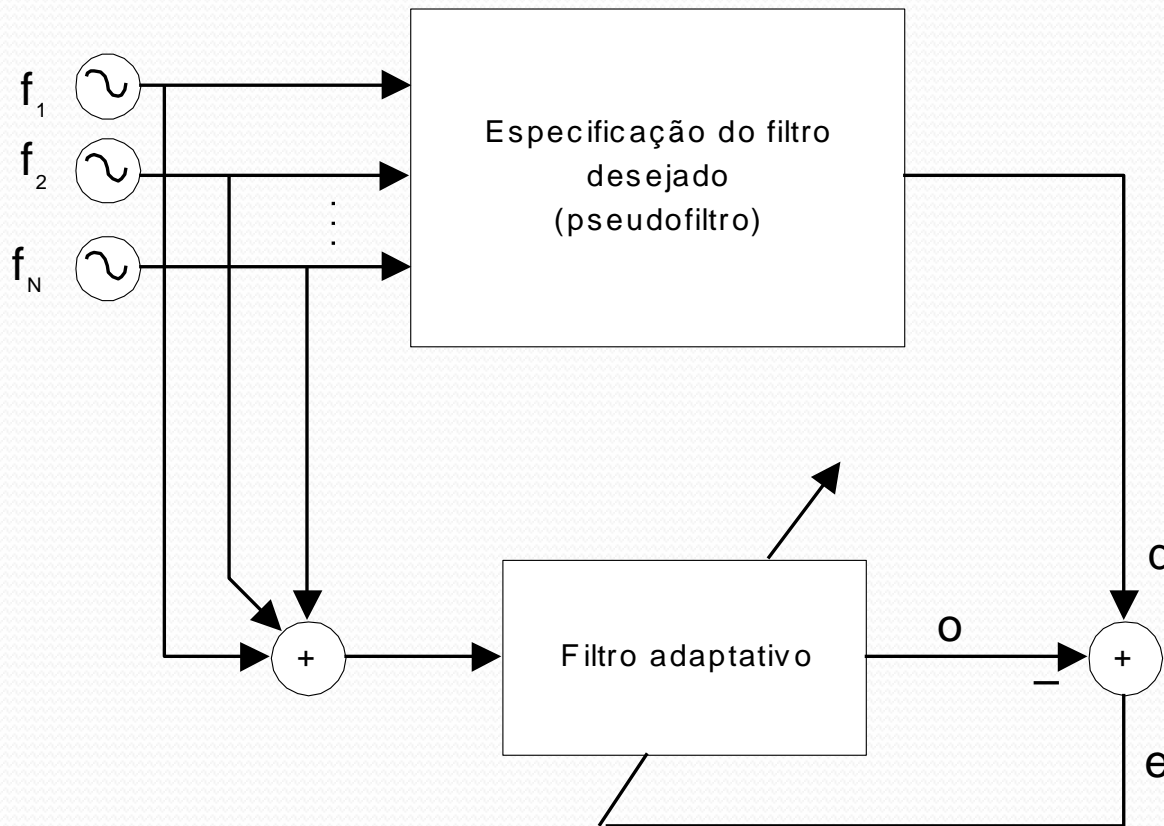
Igualização adaptativa



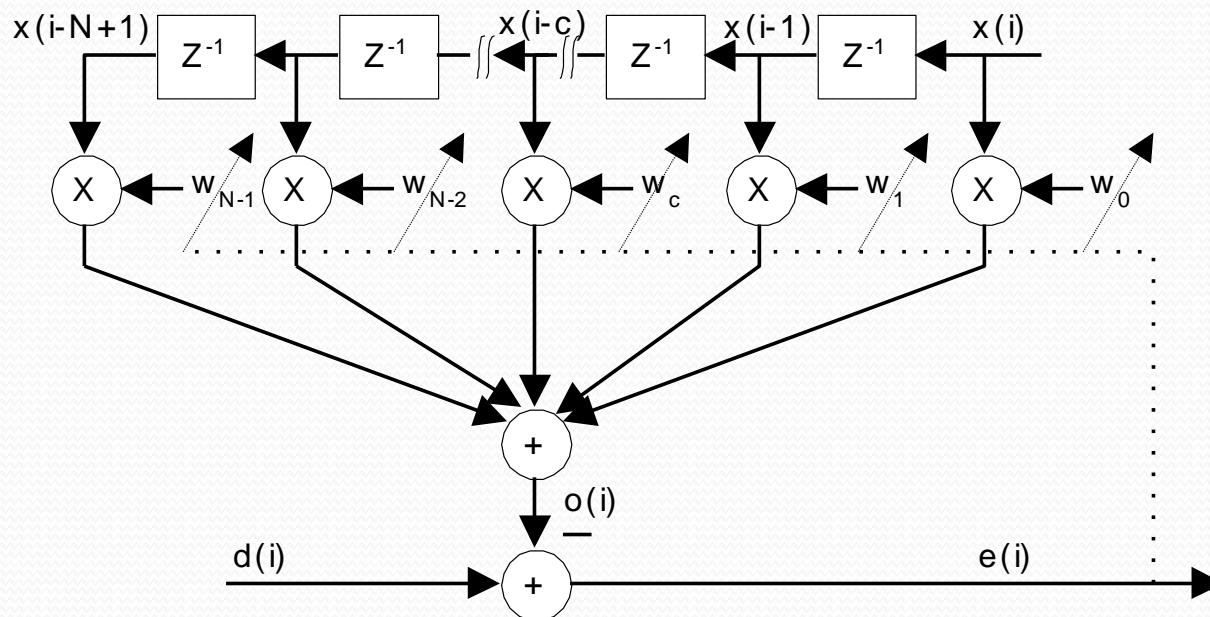
Método baseado na decisão:



Síntese de filtros digitais



Filtros com fase linear



Demonstra-se em [5] que é condição suficiente a existência de simetria par nos valores dos coeficientes em torno do coeficiente central.

$$w_{c-k}(i+1) = w_{c+k}(i+1) = w_{c-k}(i) + \eta \left(x\left(i - \frac{N-1}{2} - k\right) + x\left(i - \frac{N-1}{2} + k\right) \right),$$

$$0 \leq k \leq \frac{N-1}{2}$$

Referências

- [1] B. Widrow, *Adaptive Signal Processing*, Prentice-Hall, 1985.
- [2] C. Johnson Jr., "Yet Still More On the Interaction of Adaptive Filtering, Identification, and Control", *IEEE Signal Processing Magazine*, pp 22-37, March 1995.
- [3] J. R. Deller, J. G. Proakis, J. H. L. Hansen, *Discrete-Time Processing of Speech Signals*, MacMillan, 1993.
- [4] J. G. Proakis, *Digital Communications*, 2nd Edition, McGraw-Hill, 1989.
- [5] A. V. Oppenheim, R. W. Schaffer, *Digital Signal Processing*, Prentice-Hall, 1993.
- [6] S. Haykin, *Adaptive Filter Theory*, 2nd Edition, Prentice-Hall, 1991.
- [7] S. J. Orfanidis, *Optimum Signal Processing*, 2nd Edition, McGraw-Hill, 1990.
- [8] V. A. Margo, D. M. Etter, "Multiple Short-Length Adaptive Filters for Time-Varying Echo Cancellation", *International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing*, Vol 1, pp 161-164, 1993.
- [9] P. Marques, *Cancelamento de Eco de Longa Distância Utilizando Filtros Transversais Centrados de Baixo Comprimento*, Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Portugal, 1997.
- [10] P. Marques, F. Sousa, J. Leitão, "A DSP Based Long Distance Echo Canceller using Short Length Centered Adaptive Filters", *Proceedings of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, ICASSP, Munique, Alemanha, 1997*.
- [11] P. Marques, F. Sousa, J. Leitão, "Cancelamento de Eco de Longo Atraso", *Actas da I Conferência Nacional de Telecomunicações, Aveiro, Portugal, 1997*.
- [12] P. Marques, F. Sousa, "TMS320C50 Echo Canceller Based on Low Resolution Time-Delay Estimation", *Proceedings of The First European DSP Education and Research Conference, Paris, França, 1996*.