

PSI-3531 Aplicações de Filtragem Adaptativa

Experiência 6: Cancelamento de Eco

Nesta experiência vamos usar o algoritmo LMS normalizado (NLMS) para resolver um problema de cancelamento de eco com dados reais.

O algoritmo NLMS é uma modificação do LMS usando como passo o valor

$$\mu[n] = \frac{\mu_0}{\varepsilon + \|\phi[n]\|^2},$$

em que $0 < \mu_0 \leq 1$. Com esta modificação, não só o algoritmo fica um pouco mais rápido, mas a estabilidade é garantida para todo valor de μ_0 na faixa acima. Com isso a implementação do filtro fica bem mais fácil, a um custo relativamente pequeno: calcular a norma do vetor regressor a cada instante.

1. Aplique o algoritmo NLMS usando como entradas os sinais dos arquivos `conversa1.wav` (sinal $v[n]$) e `conversa2.wav` (sinal $x[n]$). Esses são dois sinais de voz que se alternam, de maneira a simular uma conversa. Para $h[n]$ use as variáveis do arquivo `respimp.mat` (Matlab, Python) ou `respimp.jld` (Julia). Filtre $x[n]$ pelo filtro $h[n]$, gerando o eco $y[n]$ e some-o a $v[n]$ para gerar o sinal $d[n]$.

O valor da regularização ε do NLMS não pode ser muito pequeno.

Como saída, compare o sinal de erro $e[n]$ com o sinal $v[n]$, e a curva do MSD instantâneo a cada iteração.

Para melhorar os resultados é útil usar-se um Detector de Dupla Fala (*Double-Talk Detector*, DTD), ou algum outro mecanismo para diminuir a velocidade de adaptação quando o sinal $v[n]$ for grande. Dois mecanismos para se fazer isso são descritos a seguir

1. DTD de Geigel [1]: Este é um DTD simples e de baixo custo, que parte da observação de que $d[n]$ tende a ser grande comparado às últimas amostras de $x[n]$ quando há dupla fala. O critério é então adaptar os coeficientes do filtro apenas quando

$$d_g[n] = \frac{|d[n]|}{\max\{|x[n]|, |x[n-1]|, \dots, |x[n-M+1]|\}} \leq D_T,$$

em que D_T é um limiar convenientemente ajustado.

2. Uma outra opção também de baixo custo é o algoritmo de passo variável PVSS [2], que consiste em aplicar um fator variável ao passo do NLMS a cada iteração. A ideia é fazer o passo ser grande quando $\sigma_0^2 \ll E\{e^2[n]\}$, e pequeno caso contrário. Como o valor de σ_0^2 não é conhecido, é usada uma aproximação: quando o filtro converge, $\hat{y}[n]$ deve ser descorrelacionado com $e_0[n]$, de modo que $\sigma_0^2 \approx E\{d^2[n]\} - E\{\hat{y}^2[n]\}$, o que pode ser estimado como a seguir:

$$\begin{aligned}\hat{\sigma}_d^2[n+1] &= \lambda_d \hat{\sigma}_d^2[n] + (1 - \lambda_d) d^2[n], \\ \hat{\sigma}_y^2[n+1] &= \lambda_d \hat{\sigma}_y^2[n] + (1 - \lambda_d) \hat{y}^2[n], \\ \hat{\sigma}_e^2[n+1] &= \lambda_d \hat{\sigma}_e^2[n] + (1 - \lambda_d) e^2[n], \\ \alpha[n] &= \left| 1 - \frac{\sqrt{|\hat{\sigma}_d^2[n+1] - \hat{\sigma}_y^2[n+1]|}}{\zeta + \sqrt{\hat{\sigma}_e^2[n+1]}} \right|,\end{aligned}$$

em que λ_d pode ser escolhido em torno de 0,99, e a variável de regularização $\zeta \approx 0,002$. O passo do NLMS é escolhido como

$$\mu[n] = \alpha[n] \frac{\mu_0}{\epsilon + \|\Phi[n]\|^2}.$$

Os dois algoritmos (Geigel e PVSS) podem ser usados simultaneamente.

A literatura sobre cancelamento de ruído é vasta, estes são apenas alguns exemplos de algoritmos.

Referências

- [1] T. Gänslér e J. Benesty. The fast normalized cross-correlation double-talk detector. *Signal Processing*, 86:1124–1139, 2006.
- [2] C. Paleologu, J. Benesty, S. L. Grant, e C. Osterwise. Variable step-size NLMS algorithms designed for echo cancellation. In *2009 Conference Record of the Forty-Third Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers*, pp. 633–637. IEEE, nov. 2009.