



SISTEMAS INTELIGENTES

Prática 4 – Implementação do ADALINE

Ivan Nunes da Silva

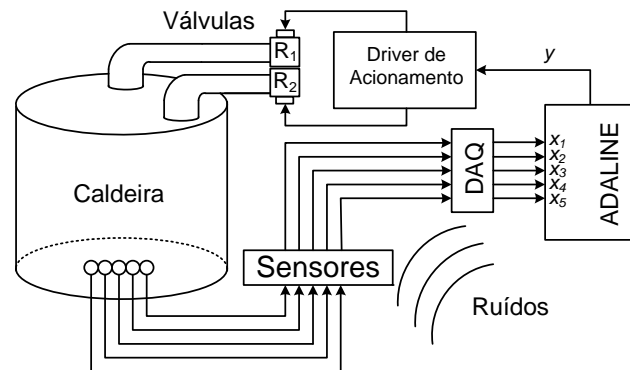


Problema de Aplicação Prática

- Em uma planta de usina sucro-alcooleira, a eficiência do processo de fabricação do álcool pode ser otimizado a partir do controle adequado da injeção de dois tipos de reagentes (R_1 ou R_2) em um determinado estágio do processo de fermentação.
- Assim, uma equipe de engenheiros, por meio de pesquisas e ensaios em laboratório, concluíram que os reagentes (R_1 ou R_2) poderiam ser adicionados ao processo dependendo da concentração de algumas substâncias (x_1 , x_2 e x_3) e de mais outras duas grandezas físico-químicas (x_4 e x_5).
- Na seqüência, a equipe pretende desenvolver um sistema automático de acionamento das válvulas constituintes dos dois tipos de reagentes, cujo diagrama esquemático pode ser observado na figura a seguir.



Esquema Ilustrativo do Processo



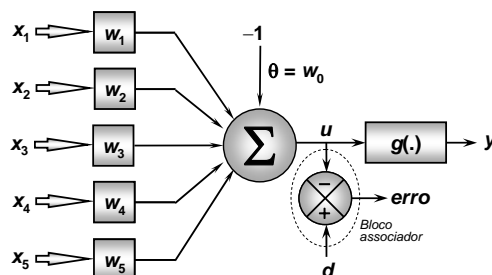
- Entretanto, notou-se que os sinais sofriam interferências durante a sua transmissão, distorcendo-se assim as informações retornadas pelos sensores. Para contornar este problema, a equipe decidiu treinar uma rede **ADALINE** para classificar estes sinais ruidosos e enviar a ação de controle ao *driver* de acionamento das válvulas dos reagentes.

3



Configuração do ADALINE

- Como existe cinco variáveis que estão sendo monitoradas, o neurônio constituinte do **ADALINE** terá então cinco entradas $\{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5\}$.
- Conseqüentemente, a saída $\{y\}$ do **ADALINE** estará então decidindo, levando-se em consideração as suas cinco entradas, qual dos reagentes será adicionado ao processo, ou sejam:
- Reagente $R_1 \rightarrow \text{"Classe } C_1" \rightarrow \{y = -1\}$
 - Reagente $R_2 \rightarrow \text{"Classe } C_2" \rightarrow \{y = 1\}$
- A figura seguinte ilustra o **ADALINE** a ser implementado.



4



Configuração da Base de Treinamento

- A base de dados de treinamento do **ADALINE**, disponibilizada no arquivo {treinamento.txt}, foi levantada por meio de sucessivos ensaios experimentais e contém o formato seguinte.

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	d
1	1.9007	1.0664	1.9147	0.089	0.9267	-1
2	2.3616	1.6669	4.8792	1.6663	0.343	-1
3	4.2315	2.0403	2.3101	2.4789	3.5831	-1
4	4.956	2.6197	4.6272	2.2171	3.0343	-1
5	2.8372	4.8439	4.1225	2.8788	4.4959	1
6	3.2317	1.8979	2.3829	2.7357	3.7906	1
7	0.0743	0.7835	2.3578	1.629	0.7725	1
8	0.2985	3.2902	4.4482	0.3289	0.6065	-1
9	2.1889	1.4012	4.9262	1.8263	0.0954	-1
10	1.2687	0.6631	2.725	2.4834	1.6525	1
(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)

5

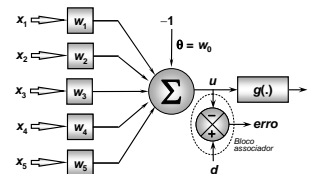


Implementação do Treinamento (I)

- a) Carregar a matriz de treinamento **M** usando a seguinte instrução:

`M = load('nome_do_arquivo');` {Mostre **M** para conferência}

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	d
$M =$	1.9007	1.0664	1.9147	0.0890	0.9267	-1
	2.3616	1.6669	4.8792	1.6663	0.3430	-1
	4.2315	2.0403	2.3101	2.4789	3.5831	-1
	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)



- b) Implementar as seguintes instruções a partir da matriz **M**:

- Definir a matriz **T**, referentes aos sinais de entrada do **ADALINE**, que seja composta pelas cinco primeiras colunas de **M**, inserindo-se ainda o elemento -1 (relativo ao termo θ) em sua primeira coluna.
- Definir o vetor **d**, referente aos sinais de saída do **ADALINE**, que seja composto pela última coluna de **M**. {Mostre **T** e **d** para conferência}

$T =$	-1	1.9007	1.0664	1.9147	0.0890	0.9267		$d =$	-1
	-1	2.3616	1.6669	4.8792	1.6663	0.3430			-1
	-1	4.2315	2.0403	2.3101	2.4789	3.5831			-1
	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)			(...)

6

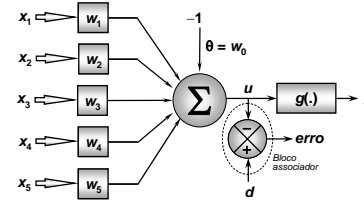


Implementação do Treinamento (II)

c) Inicializar as seguintes variáveis, além de T e d :

- Taxa de aprendizagem em 0.0025; $\{\eta \leftarrow 0.0025\}$
- Contador de épocas em 0; $\{\text{época} \leftarrow 0\}$
- Parâmetro de precisão em 10^{-6} ; $\{\varepsilon \leftarrow 10^{-6}\}$
- Vetor de pesos $\{w\}$ com valores aleatórios uniformemente distribuídos entre 0 e 1, sendo cada um de seus elementos representando os seguintes parâmetros:

$$w = [\theta \ w_1 \ w_2 \ w_3 \ w_4 \ w_5]^T; \quad \{\text{Mostre } w \text{ para conferência}\}$$



d) Implementar a instrução que, dada uma linha k da matriz T , obtenha o potencial de ativação do neurônio, ou seja:

$$x \leftarrow T(k, :)^T \quad \{\text{onde } x \text{ conterá a } k\text{-ésima linha da matriz } T\}$$

$$u \leftarrow w^T \cdot x \quad \{\text{realize eventuais transposições que sejam necessárias}\}$$

Teste a sua instrução para $k = 2$, verificando se o valor de retorno está correto.

$T =$	-1	1.9007	1.0664	1.9147	0.0890	0.9267
	-1	2.3616	1.6669	4.8792	1.6663	0.3430
	-1	4.2315	2.0403	2.3101	2.4789	3.5831
	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)

$\leftarrow k = 2$

7



Implementação do Treinamento (III)

e) Implementar a função EQM que receba T , w e d como argumentos de entrada, retornando então o valor do erro quadrático médio, que é obtido pela seguinte expressão:

$$EQM = \frac{1}{p} \sum_{k=1}^p (d(k) - u(k))^2$$

onde p é o número de amostras de treinamento.

function $z = EQM(T, w, d)$

$s \leftarrow 0;$

$p \leftarrow \text{size}(T, 1); \quad \{\text{quantidade de amostras}\}$

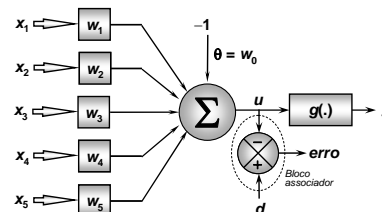
Para k variando de 1 até p , fazer:

$\left\{ \begin{array}{l} x \leftarrow T(k, :)^T; \\ u \leftarrow w^T \cdot x; \end{array} \right. \quad \{\text{realize eventuais transposições que sejam necessárias}\}$

$s \leftarrow s + (d(k) - u)^2;$

Fim_Para

$z \leftarrow (1/p) \cdot s;$



Teste se a função está ok (sem erros de programação), utilizando-se os valores de T , w e d que já foram especificados anteriormente.

8



Implementação do Treinamento (IV)

f) Implementar o processo de treinamento do **ADALINE** inspirado no algoritmo apresentado na aula teórica, ou seja:

(...)

$eqm_ant \leftarrow 0$;

$eqm_atual \leftarrow EQM(\mathbf{T}, \mathbf{w}, \mathbf{d})$;

Enquanto $|eqm_atual - eqm_ant| \geq \varepsilon$, fazer:

$\acute{e}poca \leftarrow \acute{e}poca + 1$;

$eqm_ant \leftarrow eqm_atual$;

 Para k variando de 1 até a quantidade total de amostras em \mathbf{T} , fazer:

$\mathbf{x} \leftarrow \mathbf{T}(k, :)^T$; {atribua padrão k de \mathbf{T} ao vetor \mathbf{x} // Utilize as instruções do item "d"}

$u \leftarrow \mathbf{w}^T \cdot \mathbf{x}$; {realize as eventuais transposições que sejam necessárias}

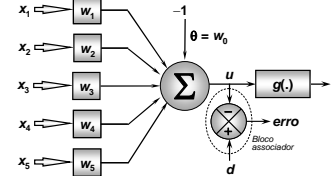
$\mathbf{w} \leftarrow \mathbf{w} + \eta \cdot (\mathbf{d}(k) - u) \cdot \mathbf{x}$;

 Fim_Para

$eqm_atual \leftarrow EQM(\mathbf{T}, \mathbf{w}, \mathbf{d})$;

$erro(\acute{e}poca) \leftarrow eqm_atual$;

Fim_Enquanto



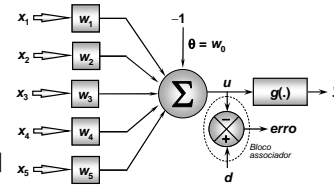
{Execute a rede pelo menos três vezes e analise os números de épocas e os valores finais para o vetor \mathbf{w} }

9



Implementação do Treinamento (V)

g) Após o treinamento do **ADALINE**, aplique a mesma para selecionar que tipo de reagente será inserido no processo industrial em relação a outras configurações operacionais. Carregue numa matriz \mathbf{V} o arquivo {teste.txt} que contem a relação completa destas situações representadas por medições de x_1 , x_2 , x_3 , x_4 e x_5 .

$$\mathbf{V} = \begin{bmatrix} \begin{matrix} x_1 \\ 2.9370 \\ 0.8147 \\ 3.4284 \\ 1.2439 \\ 3.9729 \\ (...) \end{matrix} & \begin{matrix} x_2 \\ 0.7290 \\ 2.8296 \\ 2.3311 \\ 1.5965 \\ 4.6290 \\ (...) \end{matrix} & \begin{matrix} x_3 \\ 4.5267 \\ 4.6581 \\ 1.3016 \\ 4.5540 \\ 0.8942 \\ (...) \end{matrix} & \begin{matrix} x_4 \\ 1.9206 \\ 2.3493 \\ 1.7078 \\ 2.6557 \\ 1.5526 \\ (...) \end{matrix} & \begin{matrix} x_5 \\ 3.7214 \\ 1.9144 \\ 2.5767 \\ 2.2831 \\ 5.0000 \\ (...) \end{matrix} \end{bmatrix}$$


h) Prepare esta matriz \mathbf{V} , adicionando-se os elementos -1 em sua primeira coluna, a fim de ser inserida nas entradas do **ADALINE** já treinado.

10



Implementação do Treinamento (VI)

- i) Implemente as instruções que permita a classificação, após a realização do processo de treinamento, usando-se o algoritmo seguinte. Forneça também os resultados da classificação.

(...)

Para k variando de 1 até a quantidade total de amostras em V , fazer:

$$\left\{ \begin{array}{l} \mathbf{x} \leftarrow V(k, :)^T; \quad \{atribua\ o\ padrão\ k\ de\ V\ ao\ vetor\ \mathbf{x}\} \\ u \leftarrow \mathbf{w}^T \cdot \mathbf{x}; \quad \{realize\ as\ transposições\ que\ sejam\ necessárias\} \\ y \leftarrow \text{sinal}(u); \\ \text{Imprima}(y); \end{array} \right.$$

Fim_Para

(...)

- ♦ Se $\{y = -1\} \rightarrow$ “Adicionar Reagente R_1 ” \rightarrow Classe C_1
- ♦ Se $\{y = 1\} \rightarrow$ “Adicionar Reagente R_2 ” \rightarrow Classe C_2

- j) Trace o gráfico do erro quadrático médio {erro} em função das épocas de treinamento.

11



Fim da Apresentação



12