Redes Neurais Artificiais

(Prof. Ivan Nunes da Silva)

EPC-5

No processamento de bebidas, a aplicação de um determinado conservante é efetuada em função da combinação de 04 variáveis reais, definidas por *x*1 (teor de água), *x*2 (grau de acidez), *x*3 (temperatura) e *x*4 (tensão superficial). Sabe-se que existem apenas três tipos de conservantes que podem ser aplicados, os quais são categorizados por tipo A, B e C. A partir destas variáveis, realizam-se ensaios em laboratório para especificar que tipo de conservante deve ser aplicado em determinada bebida.

Por intermédio de 148 desses ensaios experimentais, a equipe de engenheiros e cientistas resolveu aplicar uma rede perceptron multicamadas como classificadora de padrões, a fim de que esta identifique qual conservante será aplicado em determinado lote de bebida. Por questões operacionais da própria linha de produção, utilizar-se-á aqui uma rede perceptron com três saídas, conforme apresentado na figura abaixo.

*x*1

*x*2

*x*3

*y*1

:

*x*4

*y*2

*y*3

1

2

3

15

1

2

3

A padronização para a saída, representando o conservante a ser aplicado, ficou definida da seguinte forma:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Tipo de Conservante | *y*1 | *y*2 | *y*3 |
| Tipo A | 1 | 0 | 0 |
| Tipo B | 0 | 1 | 0 |
| Tipo C | 0 | 0 | 1 |

Utilizando os dados de treinamento apresentados no Anexo, execute o treinamento de uma rede perceptron multicamadas (04 entradas, 15 neurônios na camada escondida e 03 saídas) que possa classificar, em função apenas dos valores medidos de *x*1, *x*2, *x*3 e *x*4 (já normalizados), qual o tipo de conservante que deverá ser aplicado em determinada bebida. Para tanto, faça as seguintes atividades:

1. Execute cinco treinamentos da rede perceptron multicamadas ilustrada na Figura 1, por meio do algoritmo de aprendizagem ***backpropagation***, inicializando-se todas as matrizes de pesos com valores aleatórios entre 0 e 1. Utilize a função de ativação logística para todos os neurônios, taxa de aprendizado η = 0.1 e precisão ε = 10-6. Meça também o tempo de processamento envolvido com cada um desses treinamentos.
2. Dado que o problema se configura como um típico processo de classificação de padrões, implemente a rotina que faz o pós-processamento das saídas fornecidas pela rede (números reais) para números inteiros. Utilize o critério do arredondamento simétrico, isto é:

 , utilizado apenas no pós-processamento do conjunto de teste.

1. Para cada um dos cinco treinamentos, faça então a validação aplicando o conjunto de teste fornecido na tabela abaixo. Forneça a taxa de acerto (%) entre os valores desejados e os valores fornecidos pela rede (após o pós-processamento) em relação a todas as amostras de teste.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Amostra | *x*1 | *x*2 | *x*3 | *x*4 | *d*1 | *d*2 | *d*3 |  |  |  | *y*1 | *y*2 | *y*3 |
| **1** | 0.8622 | 0.7101 | 0.6236 | 0.7894 | 0 | 0 | 1 |  |  |  |  |  |  |
| **2** | 0.2741 | 0.1552 | 0.1333 | 0.1516 | 1 | 0 | 0 |  |  |  |  |  |  |
| **3** | 0.6772 | 0.8516 | 0.6543 | 0.7573 | 0 | 0 | 1 |  |  |  |  |  |  |
| **4** | 0.2178 | 0.5039 | 0.6415 | 0.5039 | 0 | 1 | 0 |  |  |  |  |  |  |
| **5** | 0.7260 | 0.7500 | 0.7007 | 0.4953 | 0 | 0 | 1 |  |  |  |  |  |  |
| **6** | 0.2473 | 0.2941 | 0.4248 | 0.3087 | 1 | 0 | 0 |  |  |  |  |  |  |
| **7** | 0.5682 | 0.5683 | 0.5054 | 0.4426 | 0 | 1 | 0 |  |  |  |  |  |  |
| **8** | 0.6566 | 0.6715 | 0.4952 | 0.3951 | 0 | 1 | 0 |  |  |  |  |  |  |
| **9** | 0.0705 | 0.4717 | 0.2921 | 0.2954 | 1 | 0 | 0 |  |  |  |  |  |  |
| **10** | 0.1187 | 0.2568 | 0.3140 | 0.3037 | 1 | 0 | 0 |  |  |  |  |  |  |
| **11** | 0.5673 | 0.7011 | 0.4083 | 0.5552 | 0 | 1 | 0 |  |  |  |  |  |  |
| **12** | 0.3164 | 0.2251 | 0.3526 | 0.2560 | 1 | 0 | 0 |  |  |  |  |  |  |
| **13** | 0.7884 | 0.9568 | 0.6825 | 0.6398 | 0 | 0 | 1 |  |  |  |  |  |  |
| **14** | 0.9633 | 0.7850 | 0.6777 | 0.6059 | 0 | 0 | 1 |  |  |  |  |  |  |
| **15** | 0.7739 | 0.8505 | 0.7934 | 0.6626 | 0 | 0 | 1 |  |  |  |  |  |  |
| **16** | 0.4219 | 0.4136 | 0.1408 | 0.0940 | 1 | 0 | 0 |  |  |  |  |  |  |
| **17** | 0.6616 | 0.4365 | 0.6597 | 0.8129 | 0 | 0 | 1 |  |  |  |  |  |  |
| **18** | 0.7325 | 0.4761 | 0.3888 | 0.5683 | 0 | 1 | 0 |  |  |  |  |  |  |
| Taxa de Acerto (%): | | | | | | | | | | | | | |

1. Explique qual foi o motivo de se realizar cinco treinamentos para uma mesma configuração topológica de rede perceptron multicamadas.
2. Para o melhor dos cinco treinamentos realizados acima, trace o respectivo gráfico dos valores de erro quadrático médio (EQM) em função de cada época de treinamento.

## ANEXO

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Amostra | *x*1 | *x*2 | *x*3 | *x*4 | *d*1 | *d*2 | *d*3 | Amostra | *x*1 | *x*2 | *x*3 | *x*4 | *d*1 | *d*2 | *d*3 |
| **1** | 0.3841 | 0.2021 | 0.0000 | 0.2438 | 1 | 0 | 0 | **71** | 0.3460 | 0.2722 | 0.1866 | 0.5049 | 1 | 0 | 0 |
| **2** | 0.1765 | 0.1613 | 0.3401 | 0.0843 | 1 | 0 | 0 | **72** | 0.2241 | 0.2046 | 0.3575 | 0.2891 | 1 | 0 | 0 |
| **3** | 0.3170 | 0.5786 | 0.3387 | 0.4192 | 0 | 1 | 0 | **73** | 0.1412 | 0.2264 | 0.4025 | 0.2661 | 1 | 0 | 0 |
| **4** | 0.2467 | 0.0337 | 0.2699 | 0.3454 | 1 | 0 | 0 | **74** | 0.5782 | 0.6418 | 0.7212 | 0.6396 | 0 | 0 | 1 |
| **5** | 0.6102 | 0.8192 | 0.4679 | 0.4762 | 0 | 1 | 0 | **75** | 0.9153 | 0.6571 | 0.8229 | 0.6689 | 0 | 0 | 1 |
| **6** | 0.7030 | 0.7784 | 0.7482 | 0.6562 | 0 | 0 | 1 | **76** | 0.6014 | 0.7664 | 0.6385 | 0.5513 | 0 | 0 | 1 |
| **7** | 0.4767 | 0.4348 | 0.4852 | 0.3640 | 0 | 1 | 0 | **77** | 0.7328 | 0.8708 | 0.8812 | 0.7060 | 0 | 0 | 1 |
| **8** | 0.7589 | 0.8256 | 0.6514 | 0.6143 | 0 | 0 | 1 | **78** | 0.4270 | 0.6352 | 0.6811 | 0.3884 | 0 | 1 | 0 |
| **9** | 0.1579 | 0.3641 | 0.2551 | 0.2919 | 1 | 0 | 0 | **79** | 0.6189 | 0.1652 | 0.4016 | 0.3042 | 1 | 0 | 0 |
| **10** | 0.5561 | 0.5602 | 0.5605 | 0.2105 | 0 | 1 | 0 | **80** | 0.2143 | 0.3868 | 0.1926 | 0.0000 | 1 | 0 | 0 |
| **11** | 0.3267 | 0.2974 | 0.0343 | 0.1466 | 1 | 0 | 0 | **81** | 0.5696 | 0.7238 | 0.7199 | 0.6677 | 0 | 0 | 1 |
| **12** | 0.2303 | 0.0942 | 0.3889 | 0.1713 | 1 | 0 | 0 | **82** | 0.8656 | 0.6700 | 0.6570 | 0.6065 | 0 | 0 | 1 |
| **13** | 0.2953 | 0.2963 | 0.2600 | 0.3039 | 1 | 0 | 0 | **83** | 0.9002 | 0.6858 | 0.7409 | 0.7047 | 0 | 0 | 1 |
| **14** | 0.5797 | 0.4789 | 0.5780 | 0.3048 | 0 | 1 | 0 | **84** | 0.4167 | 0.5255 | 0.5506 | 0.4093 | 0 | 1 | 0 |
| **15** | 0.5860 | 0.5250 | 0.4792 | 0.4021 | 0 | 1 | 0 | **85** | 0.8325 | 0.4804 | 0.7990 | 0.7471 | 0 | 0 | 1 |
| **16** | 0.7045 | 0.6933 | 0.6449 | 0.6623 | 0 | 0 | 1 | **86** | 0.4124 | 0.1191 | 0.4720 | 0.3184 | 1 | 0 | 0 |
| **17** | 0.9134 | 0.9412 | 0.6078 | 0.5934 | 0 | 0 | 1 | **87** | 1.0000 | 1.0000 | 0.7924 | 0.7074 | 0 | 0 | 1 |
| **18** | 0.2333 | 0.4943 | 0.2525 | 0.2567 | 1 | 0 | 0 | **88** | 0.5685 | 0.6924 | 0.6180 | 0.5792 | 0 | 1 | 0 |
| **19** | 0.2676 | 0.4172 | 0.2775 | 0.2721 | 1 | 0 | 0 | **89** | 0.6505 | 0.4864 | 0.2972 | 0.4599 | 0 | 1 | 0 |
| **20** | 0.4850 | 0.5506 | 0.5269 | 0.6036 | 0 | 1 | 0 | **90** | 0.8124 | 0.7690 | 0.9720 | 1.0000 | 0 | 0 | 1 |
| **21** | 0.2434 | 0.2567 | 0.2312 | 0.2624 | 1 | 0 | 0 | **91** | 0.9013 | 0.7160 | 1.0000 | 0.8046 | 0 | 0 | 1 |
| **22** | 0.1250 | 0.3023 | 0.1826 | 0.3168 | 1 | 0 | 0 | **92** | 0.8872 | 0.7556 | 0.9307 | 0.6791 | 0 | 0 | 1 |
| **23** | 0.5598 | 0.4253 | 0.4258 | 0.3192 | 0 | 1 | 0 | **93** | 0.3708 | 0.2139 | 0.2136 | 0.4295 | 1 | 0 | 0 |
| **24** | 0.5738 | 0.7674 | 0.6154 | 0.4447 | 0 | 0 | 1 | **94** | 0.5159 | 0.4349 | 0.3715 | 0.4086 | 0 | 1 | 0 |
| **25** | 0.5692 | 0.8368 | 0.5832 | 0.4585 | 0 | 0 | 1 | **95** | 0.6768 | 0.6304 | 0.8044 | 0.4885 | 0 | 0 | 1 |
| **26** | 0.4655 | 0.7682 | 0.3221 | 0.2940 | 0 | 1 | 0 | **96** | 0.1664 | 0.2404 | 0.2000 | 0.3425 | 1 | 0 | 0 |
| **27** | 0.5568 | 0.7592 | 0.6293 | 0.5453 | 0 | 1 | 0 | **97** | 0.2495 | 0.2807 | 0.4679 | 0.2200 | 1 | 0 | 0 |
| **28** | 0.8842 | 0.7509 | 0.5723 | 0.5814 | 0 | 0 | 1 | **98** | 0.2487 | 0.2348 | 0.0913 | 0.1281 | 1 | 0 | 0 |
| **29** | 0.7959 | 0.9243 | 0.7339 | 0.7334 | 0 | 0 | 1 | **99** | 0.5748 | 0.8552 | 0.5973 | 0.7317 | 0 | 0 | 1 |
| **30** | 0.7124 | 0.7128 | 0.6065 | 0.6668 | 0 | 0 | 1 | **100** | 0.3858 | 0.7585 | 0.3239 | 0.3565 | 0 | 1 | 0 |
| **31** | 0.6749 | 0.8767 | 0.6543 | 0.7461 | 0 | 0 | 1 | **101** | 0.3329 | 0.4946 | 0.5614 | 0.3152 | 0 | 1 | 0 |
| **32** | 0.3674 | 0.4359 | 0.4230 | 0.2965 | 1 | 0 | 0 | **102** | 0.3891 | 0.4805 | 0.7598 | 0.4231 | 0 | 1 | 0 |
| **33** | 0.3473 | 0.0754 | 0.2183 | 0.1905 | 1 | 0 | 0 | **103** | 0.2888 | 0.4888 | 0.1930 | 0.0177 | 1 | 0 | 0 |
| **34** | 0.6931 | 0.5188 | 0.5386 | 0.5794 | 0 | 1 | 0 | **104** | 0.3827 | 0.4900 | 0.2272 | 0.3599 | 0 | 1 | 0 |
| **35** | 0.6439 | 0.4959 | 0.4322 | 0.4582 | 0 | 1 | 0 | **105** | 0.6047 | 0.4224 | 0.6274 | 0.5809 | 0 | 1 | 0 |
| **36** | 0.5627 | 0.4893 | 0.6831 | 0.5120 | 0 | 1 | 0 | **106** | 0.9840 | 0.7031 | 0.6469 | 0.4701 | 0 | 0 | 1 |
| **37** | 0.5182 | 0.7553 | 0.6368 | 0.4538 | 0 | 1 | 0 | **107** | 0.6554 | 0.6785 | 0.9279 | 0.7723 | 0 | 0 | 1 |
| **38** | 0.6046 | 0.7479 | 0.6542 | 0.4375 | 0 | 1 | 0 | **108** | 0.0466 | 0.3388 | 0.0840 | 0.0762 | 1 | 0 | 0 |
| **39** | 0.6328 | 0.6786 | 0.7751 | 0.6183 | 0 | 0 | 1 | **109** | 0.6154 | 0.8196 | 0.6339 | 0.7729 | 0 | 0 | 1 |
| **40** | 0.3429 | 0.4694 | 0.2855 | 0.2977 | 1 | 0 | 0 | **110** | 0.8452 | 0.8897 | 0.8383 | 0.6961 | 0 | 0 | 1 |
| **41** | 0.6371 | 0.5069 | 0.5316 | 0.4520 | 0 | 1 | 0 | **111** | 0.6927 | 0.7870 | 0.7689 | 0.7213 | 0 | 0 | 1 |
| **42** | 0.6388 | 0.6970 | 0.6407 | 0.7677 | 0 | 0 | 1 | **112** | 0.4032 | 0.6188 | 0.4930 | 0.5380 | 0 | 1 | 0 |
| **43** | 0.3529 | 0.5504 | 0.3706 | 0.4828 | 0 | 1 | 0 | **113** | 0.4006 | 0.3094 | 0.3868 | 0.0811 | 1 | 0 | 0 |
| **44** | 0.4302 | 0.3237 | 0.6397 | 0.4319 | 0 | 1 | 0 | **114** | 0.7416 | 0.7138 | 0.6823 | 0.6067 | 0 | 0 | 1 |
| **45** | 0.7078 | 0.9604 | 0.7470 | 0.6399 | 0 | 0 | 1 | **115** | 0.7404 | 0.6764 | 0.8293 | 0.4694 | 0 | 0 | 1 |
| **46** | 0.7350 | 0.8170 | 0.7227 | 0.6279 | 0 | 0 | 1 | **116** | 0.7736 | 0.7097 | 0.6826 | 0.8142 | 0 | 0 | 1 |
| **47** | 0.7011 | 0.2946 | 0.6625 | 0.4312 | 0 | 1 | 0 | **117** | 0.5823 | 0.9635 | 0.3706 | 0.5636 | 0 | 1 | 0 |
| **48** | 0.5961 | 0.3817 | 0.6363 | 0.3663 | 0 | 1 | 0 | **118** | 0.2081 | 0.3738 | 0.3119 | 0.3552 | 1 | 0 | 0 |
| **49** | 0.0000 | 0.2563 | 0.2603 | 0.3027 | 1 | 0 | 0 | **119** | 0.5616 | 0.8972 | 0.5186 | 0.6650 | 0 | 0 | 1 |
| **50** | 0.5996 | 0.5704 | 0.6965 | 0.6548 | 0 | 0 | 1 | **120** | 0.6594 | 0.8907 | 0.6000 | 0.7157 | 0 | 0 | 1 |
| **51** | 0.4289 | 0.3709 | 0.3994 | 0.3656 | 0 | 1 | 0 | **121** | 0.3979 | 0.3070 | 0.3637 | 0.1220 | 1 | 0 | 0 |
| **52** | 0.2093 | 0.3655 | 0.3334 | 0.1802 | 1 | 0 | 0 | **122** | 0.2644 | 0.0000 | 0.3572 | 0.1931 | 1 | 0 | 0 |
| **53** | 0.2335 | 0.2856 | 0.3912 | 0.1601 | 1 | 0 | 0 | **123** | 0.4816 | 0.4791 | 0.4213 | 0.5889 | 0 | 1 | 0 |
| **54** | 0.3266 | 0.7751 | 0.4356 | 0.3448 | 0 | 1 | 0 | **124** | 0.0848 | 0.0749 | 0.4349 | 0.3328 | 1 | 0 | 0 |
| **55** | 0.2457 | 0.1203 | 0.1228 | 0.2206 | 1 | 0 | 0 | **125** | 0.4608 | 0.6775 | 0.3533 | 0.3016 | 0 | 1 | 0 |
| **56** | 0.4656 | 0.4815 | 0.4211 | 0.4862 | 0 | 1 | 0 | **126** | 0.4155 | 0.6589 | 0.5310 | 0.5404 | 0 | 1 | 0 |
| **57** | 0.7511 | 0.8868 | 0.5408 | 0.6253 | 0 | 0 | 1 | **127** | 0.3934 | 0.6244 | 0.4817 | 0.4324 | 0 | 1 | 0 |
| **58** | 0.7825 | 0.9386 | 0.6510 | 0.6996 | 0 | 0 | 1 | **128** | 0.5843 | 0.8517 | 0.8576 | 0.7133 | 0 | 0 | 1 |
| **59** | 0.3463 | 0.4118 | 0.2507 | 0.0454 | 1 | 0 | 0 | **129** | 0.1995 | 0.3690 | 0.3537 | 0.3462 | 1 | 0 | 0 |
| **60** | 0.5172 | 0.1482 | 0.3172 | 0.2323 | 1 | 0 | 0 | **130** | 0.3832 | 0.2321 | 0.0341 | 0.2450 | 1 | 0 | 0 |
| **61** | 0.6942 | 0.4516 | 0.5387 | 0.5983 | 0 | 1 | 0 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **62** | 0.7586 | 0.7017 | 0.7120 | 0.7509 | 0 | 0 | 1 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **63** | 0.6880 | 0.6004 | 0.6602 | 0.4320 | 0 | 1 | 0 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **64** | 0.4742 | 0.5079 | 0.4135 | 0.4161 | 0 | 1 | 0 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **65** | 0.4419 | 0.5761 | 0.4515 | 0.4497 | 0 | 1 | 0 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **66** | 0.3367 | 0.4333 | 0.2336 | 0.1678 | 1 | 0 | 0 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **67** | 0.4744 | 0.4604 | 0.1507 | 0.4873 | 1 | 0 | 0 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **68** | 0.7510 | 0.4350 | 0.5453 | 0.4831 | 0 | 1 | 0 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **69** | 0.4045 | 0.5636 | 0.2534 | 0.5573 | 0 | 1 | 0 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **70** | 0.1449 | 0.1539 | 0.2446 | 0.0559 | 1 | 0 | 0 |  |  |  |  |  |  |  |  |