

《神经网络导论》实验二

—双向联想记忆

西安交通大学电信学院信息与通信工程系

2011年10月

1 实验目的

熟悉Kosko型双向联想记忆网络的原理与结构，通过仿真实验掌握具体实现方法，了解该网络的功能及性能，加深对该类网络的稳定状态和能量函数等概念的理解。

2 实验原理

我们知道，联想记忆功能分为自联想和异联想，异联想也称为双向联想记忆（Bidirectional Association Memory），简称为BAM。BAM存储器可存储两组矢量，若有如下 N 维矢量 \mathbf{A} 与 P 维矢量 \mathbf{B} ：

$$\mathbf{A} = [a_0, a_1, \dots, a_{N-1}]^T \in \{-1, 1\}^N$$

$$\mathbf{B} = [b_0, b_1, \dots, b_{P-1}]^T \in \{-1, 1\}^P$$

构成 M 对矢量 $(\mathbf{A}_s, \mathbf{B}_s)$, $s = 0, 1, \dots, M-1$ ，将它们存入BAM存储器即可进行由 \mathbf{A} 到 \mathbf{B} 或由 \mathbf{B} 到 \mathbf{A} 的双向联想，即给定 \mathbf{A} （或 \mathbf{B} ）可经联想得到对应的标准样本 \mathbf{B} （或 \mathbf{A} ），当有噪声或缺损时，联想功能可使样本对复原。

其实，人脑就具有根据相关线索回忆和恢复信息的能力。例如，片断曲调往往可以唤起人们对整个乐曲的回忆；在人群中某人的背影就足以使我们想起一位老朋友。人工神经网络力图实现这种功能。Kosko的BAM网络就是其中的一种。如图1所示，与矢量 \mathbf{A} 相应的一层有 N 个节点，另一层对应矢量 \mathbf{B} ，有 P 个节点，两层间双向连接。假定 \mathbf{B} 到 \mathbf{A} 的传输为正向，正向的权矩阵为 \mathbf{W} ，反之， \mathbf{A} 到 \mathbf{B} 为反向传输，权矩阵为 \mathbf{W}^T 。

如果输入矢量由上层加入，且相应于网络中 \mathbf{B} 的稳定状态，则经 \mathbf{W} 之作用产生 \mathbf{A} 稳定状态。同理，如果输入矢量在下层，且相应于网络中 \mathbf{A} 的稳定状态，经 \mathbf{W}^T 之作用产生 \mathbf{B} 稳定状态。

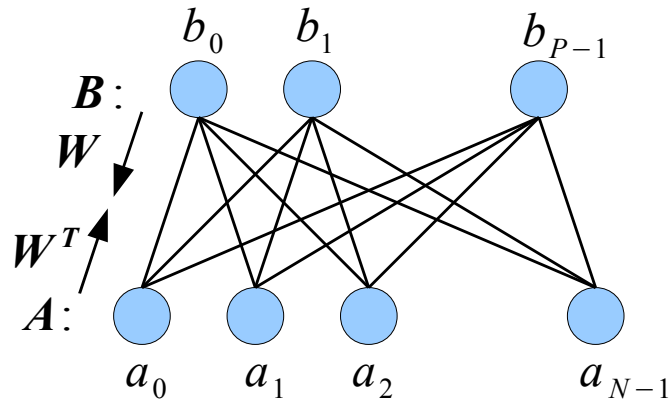


图 1: 双向联想记忆网络

当任意矢量输入时，网络要经若干次迭代计算演变至稳态，过程可示意为：

$$\mathbf{WB}(t) \rightarrow \mathbf{A}(t+1)$$

$$\mathbf{W}^T \mathbf{A}(t+1) \rightarrow \mathbf{B}(t+2)$$

$$\mathbf{WB}(t+2) \rightarrow \mathbf{A}(t+3)$$

...

直至 \mathbf{A} 、 \mathbf{B} 为稳态，演变过程结束。

网络学习遵从Hebb规则，若给定 M 个双极性矢量对：

$$(\mathbf{A}_0, \mathbf{B}_0), (\mathbf{A}_1, \mathbf{B}_1), \dots, (\mathbf{A}_{M-1}, \mathbf{B}_{M-1})$$

则正、反向权矩阵为：

$$\mathbf{W} = \sum_{s=0}^{M-1} \mathbf{A}_s \mathbf{B}_s^T$$

$$\mathbf{W}^T = \sum_{s=0}^{M-1} \mathbf{B}_s \mathbf{A}_s^T$$

如果BAM网络神经元函数阈值为0，则称为齐次BAM网络，其能量函数为：

$$E(\mathbf{A}, \mathbf{B}) = -\frac{1}{2} \mathbf{A}^T \mathbf{W} \mathbf{B} - \frac{1}{2} \mathbf{B}^T \mathbf{W}^T \mathbf{A} = -\mathbf{A}^T \mathbf{W} \mathbf{B}$$

若神经元非线性函数为 f ，则描述齐次BAM动态特性的差分方程为：

- 正向联想 ($\mathbf{B} \Rightarrow \mathbf{A}$)

$$a_i(t+1) = f \left[\sum_{j=1}^P w_{ij} b_j(t) \right]$$

- 反向联想 ($\mathbf{A} \Rightarrow \mathbf{B}$)

$$b_j(t+2) = f \left[\sum_{i=1}^N w_{ij} a_i(t+1) \right]$$

3 实验内容及步骤

1. 选择齐次Kosko型BAM网络编制程序实现联想记忆。设神经元非线性函数 f 为硬限幅函数，即 $f(x) = \text{sgn}(x)$ ；当 $x = 0$ 时，神经元的输出维持不变。
2. 给定以下要存储的标准样本矢量对：

$$\mathbf{A}_1 = [1, -1, 1, -1, 1, -1, 1, -1, 1, -1, 1, -1, 1, -1, 1]^T$$

$$\mathbf{A}_2 = [1, 1, -1, -1, 1, 1, -1, -1, 1, 1, -1, -1, 1, 1, -1]^T$$

$$\mathbf{A}_3 = [1, 1, 1, -1, -1, -1, 1, 1, 1, -1, -1, -1, 1, 1, 1]^T$$

$$\mathbf{A}_4 = [1, 1, 1, 1, -1, -1, -1, -1, 1, 1, 1, 1, -1, -1, -1]^T$$

$$\mathbf{B}_1 = [1, 1, 1, 1, -1, -1, -1, -1, 1, 1, 1]^T$$

$$\mathbf{B}_2 = [1, 1, 1, -1, -1, -1, 1, 1, 1, -1]^T$$

$$\mathbf{B}_3 = [1, 1, -1, -1, 1, 1, -1, -1, 1, 1]^T$$

$$\mathbf{B}_4 = [1, -1, 1, -1, 1, -1, 1, -1, 1, -1]^T$$

根据Hebb规则算出网络的连接权矩阵并记录；算出四对矢量所对应的稳定状态的能量值。

3. 验证网络的联想能力。任选标准样本 \mathbf{A}_i 输入网络进行迭代运算直至网络稳定，观察上下两层的状态是否为 $(\mathbf{A}_i, \mathbf{B}_i)$ 。同样，任选 \mathbf{B}_i 输入，观察稳定后的状态。
4. 验证网络的抗噪能力。随机选取某一标准矢量（如 \mathbf{A}_i ）的若干位（如2位）取反形成畸变矢量（ \mathbf{A}'_i ），将其输入网络迭代至稳态，观察输出 $(\mathbf{A}_i, \mathbf{B}_i)$ 是否依然正确。观察并记录网络能量 E 在迭代过程中是如何变化的。

5. 噪声大小对联想能力的影响。在第4步的基础上,统计4个A矢量分别在1~3位取反时的联想正确率。记录所得结果并观察联想正确率和取反位数之间的关系。
6. 比较正、反向联想的抗噪能力。统计4个B矢量分别在1~3位取反时的联想正确率。记录所得结果并与第5步的结果进行比较。
7. (选做)伪稳定状态。除以上四对矢量对应的稳定状态外,寻找2个伪稳定状态并分别计算所对应的能量值。

注意:在第5、6步中,验证抗噪能力时要对若干位随机取反,这是一个统计问题,手动随机取反几次不能说明问题,应该编程实现若干次的随机取反。

提示:可以用MATLAB的randerr函数实现若干位随机取反。如对某个标准输入矢量A进行3位取反,可以用如下语句:

$$A_n = A.*(1-2*\text{randerr}(1,15,3))$$

4 实验思考题

1. 在实验步骤4中观察网络能量E是如何变化的?根据网络机理说明原因。
2. 如果我们想要“擦除”存储矢量对中的某对(A_i, B_i),应如何调整网络?(考虑运算量)
3. 通过总结第5步和第6步实验结果,能得出什么结论?简要解释其中的原因。

5 实验报告要求

1. 简述实验目的及原理;
2. 按实验步骤给出实验结果并进行分析;
3. 回答实验思考题;
4. 总结实验的主要结论并谈谈你的心得体会;
5. 附程序的主要模块(包括主要变量及功能模块的说明)。