

一种基于神经网络感知器的双足行走机器人稳定性控制方法

A Stabilizing Control Method For a Biped Robot Based on Neural Network of Perception

大连理工大学 工程力学系 李增刚

Li Zenggang

摘 要: 本文利用神经网络感知器和安装在机器人脚底的力传感器, 测知机器人重心的位置, 控制机器人重心在双脚的支撑面内, 以使机器人稳定。本文提出的双足行走机器人稳定性控制方案是简单易行的。

关键词: 神经网络 感知器 双足行走机器人 稳定性控制

Abstract: This paper measures the gravity of the robot and control it in the feet support surface to make the robot stable using the neural network of perception and the force sensors installed in the feet bottoms. The method suggested by this paper for the stable control of the biped robot is feasible easily.

Keywords: Neural network Perception Biped walking robot Stable control

[中图分类号] TP242.6 [文献标识码] A 文章编号 1003-7241(2002)02-0015-03

1 引言

人作为双足行走生物, 是在长期的生物进化过程中形成的。人能够不自觉地保持身体的直立性和平衡性, 不论是在静止不动还是在行走过程中。一旦失去平衡, 人就会产生相应的动作, 使身体保持平衡。例如, 在静止时, 当人的重心偏向一侧时, 就会不自觉地向该侧跨出一脚, 以使重心位置落于支撑面内。这里, 支撑面定义为两脚之间的面积以及两脚的面积。当重心落于支撑面内时, 就不会倾倒。再如, 在行走过程中, 人的重心不断向前移动, 超出了两脚尖的位置, 迫使人向前迈出脚, 这样才使人的行走成为可能, 使人的行走自然流畅。因此, 控制机器人重心的位置及重心位置的速度, 是机器人保持稳定及产生有效步态的关键。本文就是控制机器人的重心位置, 使其落于支撑面内, 从而达到了机器人稳定性控制的目的。机器人的重心可以由安装在机器人脚底的力传感器测知。当重心偏向一侧, 这一侧的传感器输出偏大, 相反的一侧的力传感器等于零, 或趋近于零。本文用感知器来感知机器人重心位置的变化, 当重心超出支撑面时, 系统将发出动作指令, 使机器人保持稳定。

本文采用的神经网络感知器 (Perception) 是最简单的人工神经网络, 它是 F. Rosenblatt 于 1958 年提出的具有自学习能力的感知器。在这种人工神经网络中, 记忆的信息存储在连接权上, 外部刺激通过连接通道自动激活相应的神经元, 以达到自动识别的目的。感知器模型如图 1 所示, 通常由感知层 S (Sensory)、连接层 A (Association) 和反应层构成 R (Response)。

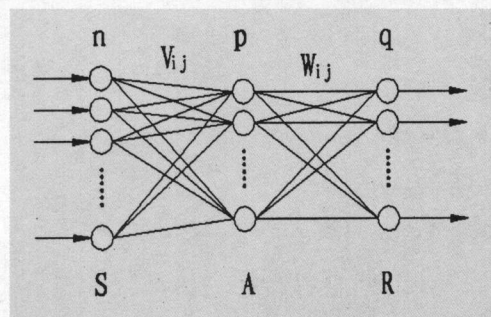


图 1 感知器模型

2 人工神经元感知器的学习算法

可以用下面的方法训练网络:

(1) 初始化 S 层至连接层(A 层)的连接权矩阵

$$V = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & \Lambda & v_{1n} \\ M & M & O & M \\ v_{p1} & v_{p2} & \Lambda & v_{pn} \end{bmatrix}$$

中的各个元素及 A 层各单元的阈值赋予 $[-1, +1]$ 之间的随机值, 一般情况下 $v_{ij} = 1 \quad \theta_j = 0 \quad i = 1, 2, \Lambda, p \quad j = 1, 2, \Lambda, n$ 且在整个学习过程中保持固定不变。

A 层至输出层(R 层)的连接权矩阵

$$W = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & \Lambda & w_{1n} \\ M & M & O & M \\ w_{p1} & w_{p2} & \Lambda & w_{pn} \end{bmatrix}$$

中的各个元素及 S 层各单元的阈值 $\theta = [\theta_1, \theta_2, \Lambda, \theta_q]$ 赋予 $[-1, +1]$ 之间的随机值。

(2) 训练 随机选取一输入、输出模式对 (S_k, Y^k) , 这里 $k = 1, 2, \Lambda, m$ 时, 网络进行以下步骤的训练。

第一步, 计算连接层各单元的输出

$$a_i^k = f\left(\sum_{j=1}^n v_{ij} \cdot A_j^k - \theta_i\right) \quad (i = 1, 2, \Lambda, P) \quad (1)$$

$$\text{其中激发函数 } f(x) = \begin{cases} 1 & x \geq 0 \\ 0 & x < 0 \end{cases}$$

第二步, 以连接层的输出作为输入层的各单元的输入计算输出层的实际输出

$$y_i = f\left(\sum_{j=1}^n w_{ij} \cdot a_j^k - \theta_i\right) \quad (i = 1, 2, \Lambda, q) \quad (2)$$

第三步, 计算各输出层单元的希望输出 y_i^k 与实际输出 y_i 之间的误差

$$d_i^k = y_i^k - y_i \quad (i = 1, 2, \Lambda, q) \quad (3)$$

第四步, 修正 A 层与 R 层的连接权及 R 层的输出阈值

$$w_{ij}(n+1) = w_{ij}(n) + \Delta w_{ij}(n) \quad (4)$$

$$\Delta w_{ij}(n) = \alpha \cdot a_j^k \cdot d_i^k \quad (5)$$

$$\theta_i(n+1) = \theta_i(n) + \Delta \theta_i(n) \quad (6)$$

$$\Delta \theta_i(n) = \beta \cdot d_i^k \quad (7)$$

$$(i = 1, 2, \Lambda, q; j = 1, 2, \Lambda, p)$$

其中 $0 < \alpha < 1 \quad 0 < \beta < 1$ 为学习步长, n 为学习次数。

(3) 返回(2)步, 直到 m 个输入、输出模式对全部对网络训练一遍。

(4) 返回(2)步, 反复训练, 直到 $d_i^k (i = 1, 2, \Lambda, q; k = 1, 2, \Lambda, m)$ 趋于零或小于预先给定的误差 ε 。

在学习过程中, 当所有的 m 个样本模式对都提供给网络学

习一遍后, 还需从头再继续提供给网络学习。直到达到最大学习次数, 以防止发散或无限震荡, 或者满足误差限制。

3 计算机控制系统

机器人重心位置是由脚底的力传感器测定的。当某一侧的传感器输出值趋于零或小于预定的值时, 说明重心已经偏向相反的另一侧, 机器人处于危险状态。这时机器人就应该产生一定的动作, 向另一侧跨出一脚, 以使机器人的重心位于支撑面内。

整个控制系统如图 2 所示。

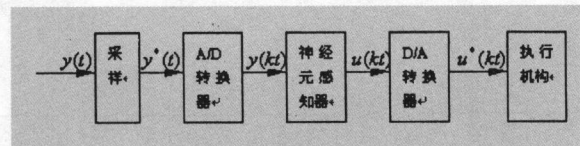


图 2 机器人稳定性控制的计算机控制系统

其中, $y(t)$ 是传感器输出向量, 为模拟量, 经采样、A/D 转换后为人工神经网络感知器的输入向量 $y(kT)$ 。

本文取感知器的输入层单元与输出层单元的个数相同。感知器经过训练好以后, 系统将实时监控机器人的重心位置, 当重心偏向某侧, 相反侧的力传感器的输入小于设定的安全值时, 神经网络相应于该侧的输出为 1, 其余均为 0, 系统将根据神经网络的输出, 做出相应的动作指令; 当传感器的输入均大于设定安全值时, 神经网络的输出均为 0, 系统不产生任何动作指令。

4 仿真

本文假设在机器人的脚底安装有力传感器, 左脚的后部、左部和前部各一个, 右脚的前部、右部和后部各一个。依次编号为 $p_i, i = 1, 2, \Lambda, 6$, 构成输入向量

$$P = [p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6]^T$$

假设机器人的重是 100kgf, 当机器人的脚底的传感器输出为 2kgf, 即认为机器人处于危险状态。设神经网络感知器的输入为

$$P = \begin{bmatrix} 30 & 25 & 25 & 2 & 10 & 10 & 30 & 25 & 25 & 3 & 10 & 10 \\ 25 & 30 & 20 & 10 & 2 & 13 & 25 & 30 & 20 & 10 & 3 & 13 \\ 20 & 20 & 30 & 13 & 13 & 2 & 20 & 20 & 30 & 13 & 13 & 3 \\ 2 & 10 & 10 & 30 & 25 & 25 & 3 & 10 & 10 & 25 & 30 & 20 \\ 10 & 2 & 13 & 25 & 30 & 20 & 10 & 3 & 13 & 25 & 30 & 20 \\ 13 & 13 & 2 & 20 & 20 & 30 & 13 & 13 & 3 & 20 & 20 & 30 \end{bmatrix}$$

对应的理想输出为

即认为力传感器的输出为 2kgf 时机器人处于危险状态, 传感器

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\theta = \begin{bmatrix} -0.3076 \\ -2.9497 \\ -2.5947 \\ -1.6557 \\ -2.3238 \\ -2.9607 \end{bmatrix}$$

的输出为 3kgf 时,认为机器人处于安全状态。连接权值和阈值的初始值分别是

$$W = \begin{bmatrix} 0.9003 & -0.0871 & 0.8436 & -0.1795 & -0.7222 & -0.9695 \\ -0.5377 & -0.9630 & 0.04764 & 0.7873 & -0.5945 & 0.4936 \\ 0.2137 & 0.6428 & -0.6475 & -0.8842 & -0.6026 & -0.1098 \\ -0.0280 & -0.1106 & -0.01886 & -0.2943 & 0.2076 & 0.8636 \\ 0.7826 & 0.2309 & 0.8709 & 0.6263 & -0.4556 & -0.0680 \\ 0.5242 & 0.5839 & 0.8338 & -0.9803 & -0.6024 & -0.1627 \end{bmatrix}$$

$$\theta = \begin{bmatrix} 0.6924 \\ 0.0503 \\ -0.5947 \\ 0.3443 \\ 0.6762 \\ -0.9607 \end{bmatrix}$$

经过 $n = 1335$ 次迭选,输出达到期望值。连接权值和阈值分别为

$$W = \begin{bmatrix} 40.9003 & -11.0871 & -4.1564 & -150.1795 & -6.7222 & -26.9695 \\ -10.5377 & 98.0370 & -16.5236 & -69.2127 & -234.5945 & -79.5064 \\ 35.2137 & -10.3572 & 122.3525 & -90.8842 & -65.6026 & -860.1098 \\ -139.0280 & -81.1106 & -33.1886 & 54.7057 & 25.2076 & -31.1364 \\ -84.2174 & -216.7691 & -79.1291 & 0.6263 & 88.5444 & -17.0680 \\ -89.4758 & -64.4161 & -856.1662 & 34.0197 & -11.6024 & 122.8373 \end{bmatrix}$$

5 结论

本文就双足行走机器人的稳定性控制提出了一种新的控制方法,它是建立在人工神经网络感知器上。试验表明,该方法简单易行。

6 参考文献

- [1]王旭,王宏,等. 人工神经网络原理与应用[M]. 东北大学出版社,2000
- [2]蔡曜兴. 智能控制基础与应用[M]. 国防工业出版社,1998
- [3]丛爽. 面向 MATLAB 工具箱的神经网络理论与应用[M]. 中国科学技术大学出版社,1998

作者简介:李增刚(1975-),男,硕士研究生,研究领域机器人智能控制。

(上接 2 页)

由定理(1) $\begin{bmatrix} W & A^T P \\ P A & R \end{bmatrix} < 0$ 所以有:

$$v(x) < 0, \forall x \in B(\rho)$$

3 结论

本文研究了一类具有饱和和执行器的线性不确定时滞系统,基于线性矩阵不等式方法给出了系统可鲁棒镇定的充分条件,只需求解简单的线性矩阵不等式即可获得无记忆状态反馈控制规律,所得结论相对比较简单并具有较小的保守性。

4 参考文献

- [1]Niculescu S I, Dion J M, Dugard L. Robust stabilization for uncertain time-delay systems containing saturating actuators[J]. IEEE Trans on Auto Control, 1996, 41(5): 742-747

[2] Jin-Hoon Kim and Zeungnam Bien, Robust Stability of Uncertain Linear Systems with Saturating Actuators[J]. IEEE Trans on Automatic Control, 1994, 39(1): 202-207

[3] Chou J H, Horng I R, Chen B S. Dynamic feedback compensator for uncertain time delay systems containing saturating actuator[J]. Int. J. Control, 1989, 49(3): 961-968

[4]苏宏业,潘红华,蒋培刚,褚健. 一类具有非线性饱和和执行器的不确定时滞系统的鲁棒控制[J]. 控制与决策, 2000, 15(1):23-26

[5]XI LI and CARLOS E. DE SOUZA, Criteria for Robust Stability and Stabilization of Uncertain Linear Systems with State Delay[J]. Automatica, 1997, 33(9): 1657-1662

作者简介:邵克勇,男,硕士,研究方向为复杂控制系统、智能控制理论及应用。