

文章编号: 0253-9993(2009)10-1405-05

基于人工免疫和记忆切割的采煤机滚筒自适应调高

王忠宾, 徐志鹏, 董晓军

(中国矿业大学 机电工程学院, 江苏 徐州 221116)

摘要: 为实现采煤机截割滚筒的自动调高, 利用记忆切割实现采煤机工作路径的记忆, 采煤机利用记忆的相应位置的切割参数自动工作; 当煤层地质条件发生变化, 采煤机记忆的相应参数与实际参数不一致时, 利用人工免疫理论进行数据处理和工作状态判断, 实现采煤机截割滚筒的自适应调高. 试验表明: 基于人工免疫和记忆切割的方法, 可以使采煤机适应煤层顶板条件的变化, 能够实现采煤机截割滚筒的自适应调高.

关键词: 采煤机; 截割滚筒; 人工免疫; 记忆切割; 自适应调高

中图分类号: TD421.6; TP273

文献标识码: A

Self-adaptive adjustment height of the drum in the shearer based on artificial immune and memory cutting

WANG Zhong-bin, XU Zhi-peng, DONG Xiao-jun

(College of Mechanical and Electrical Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China)

Abstract: In order to realize the self-adaptive adjustment height of the cutter drum in the shearer, memory cutting technology was adopted to memorize the working path of the shearer, the shearer automatically worked according to the parameters of the relevant location which was remembered. When the geological conditions of the coal-seam boundary changes, the parameters which the shearer remembered is not same as the real parameters, artificial immune theory was used to implement data processing and work status identification of the shearer, to carry out self-adaptive adjustment height of the cutter drum. The experimental results show that the shearer can match the change of the coal-seam boundary to achieve the self-adaptive adjustment height of the drum by use of artificial immune and memory cutting.

Key words: shearer; cutter drum artificial immune; memory cutting; self-adaptive adjustment height

实现综采工作面自动化, 减少工作面生产人员是实现煤矿高产、高效、安全生产的关键. 作为综采工作面的关键设备, 采煤机的自动化一直是实现综采工作面自动化的重点和难点, 而采煤机自动化的关键是实现截割滚筒的自动调高^[1-2]. 国内外的学者提出利用小波神经网络、自适应 PID 控制以及模糊控制等实现采煤机滚筒的自动调高^[3-4]. 滚筒自动调高的最大难题就是如何使采煤机滚筒自动适应煤层顶板的起伏变化. 为了准确判断顶板煤层厚度或煤岩识别, 国内外学者进行了大量研究, 采用了人工 γ 射线、自然 γ 射线等方法对顶板煤层厚度进行测量, 利用应力截齿分析、振动测试及雷达测试等方法进行煤岩界面识别. 由于煤矿环境的复杂性以及缺少可靠的顶板煤层厚度测量和煤岩界面识别的传感器, 测量顶、底板煤

收稿日期: 2009-05-31 责任编辑: 许书阁

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863)重点资助项目(2008AA062202); 教育部霍英东基金优选资助课题(114003); 教育部博士点新教师基金资助项目(20070290538)

作者简介: 王忠宾(1972—), 男, 安徽萧县人, 副教授, 博士. Tel: 0516-83995711, E-mail: wangzhongbin@tsinghua.org.cn

层厚度和煤岩识别成为技术难点^[5-6]。目前,为了实现采煤机截割滚筒的自动调高,国内外均选择具有记忆切割功能的采煤机作为技术突破口,该方法避免了顶板煤层厚度测量和煤岩识别的难题。DBT公司已生产出具有记忆切割功能的新型采煤机,但这种采煤机在自动截割过程中也存在一些不足。当煤层地质条件发生变化时,如果仍然采用记忆的相应位置的切割参数(摇臂倾角、调高油缸的位移、截割滚筒的高度等)去切割煤层,可能会导致截割滚筒截割到顶板岩石、夹矸或断层,导致采煤机截割部的损坏,或带来严重的生产事故。为了解决上述问题,本文提出了基于人工免疫和记忆切割的采煤机截割滚筒自动调高技术,将人工免疫理论与记忆切割相结合,实现采煤机截割滚筒的自适应调高。

1 基于人工免疫的采煤机自适应记忆切割模型

1.1 采煤机记忆切割的工作流程

采煤机在切割过程中最重要的2个动作就是牵引部沿采煤工作面水平方向上的运动和摇臂在垂直方向上的上下运动,通过摇臂的高度变化实现截割滚筒的调高。当采煤机截割滚筒切割到煤层顶板岩石、夹矸或者断层时,需要调节截割滚筒高度,以避免截割滚筒长时间切割岩石对截割部造成损坏。

采煤机记忆切割的过程中,首先由操作人员操作采煤机沿采煤工作面进行第1次切割,采煤机记忆行走路线以及相应位置的切割参数。当采煤机进行自动切割时,采煤机根据记忆的工作位置以及相应的切割参数进行工作。在记忆切割过程中,如果煤层地质条件发生了变化,就会造成实际的煤层参数和记忆的切割参数不一致。此时采煤机如果仍然按照记忆的工作路径进行工作,就有可能截割到顶板岩石、夹矸或断层。为了解决上述问题,本文基于人工免疫理论和记忆切割相结合的方法实现采煤机的自适应切割,当煤层地质条件发生变化时,采煤机截割滚筒将自适应调高,实现适应煤层地质条件变化的自动切割,并将自适应调高后的切割参数进行记忆,作为下一次记忆切割的工作依据。

1.2 基于人工免疫的采煤机记忆切割的工作流程

免疫系统是生物系统保护机体,抵抗细菌、病毒和其他致病因子入侵的基本防御系统。免疫系统的主要功能是识别体内细胞,并将其归类为“自我”与“非我”,引发适当的防卫机制排除“非我”^[7-8]。人工免疫系统是受生物免疫系统启发,模拟免疫学的功能、原理和模型来解决复杂问题的自适应系统。

基于人工免疫的采煤机自适应切割的工作流程主要包括路径记忆及数据处理、截割滚筒自适应调高和人工修正3个阶段。路径记忆和数据处理阶段实现切割参数的采集、记忆和处理。在自动切割阶段,采煤机根据记忆的工作路径进行自动行走和切割运动,当煤层地质条件发生变化,造成实际的煤层参数和记忆的切割参数不一致时,将基于人工免疫理论实现采煤机截割滚筒的自适应调高,以适应煤层地质条件的变化。为了保证安全生产,当煤层地质条件变化非常剧烈,采煤机无法正确地自适应处理时,操作人员可以远程引导采煤机的切割运动,对其运动轨迹进行人工修正。采煤机记录下本次修正结果,当再次运行到该位置时,将采用记忆的截割高度和截割参数进行工作。

本文基于人工免疫理论以及阴性选择算法提出了基于人工免疫的采煤机自适应切割的工作流程,如图1所示。该模型中的“自体”、“抗体”、“抗

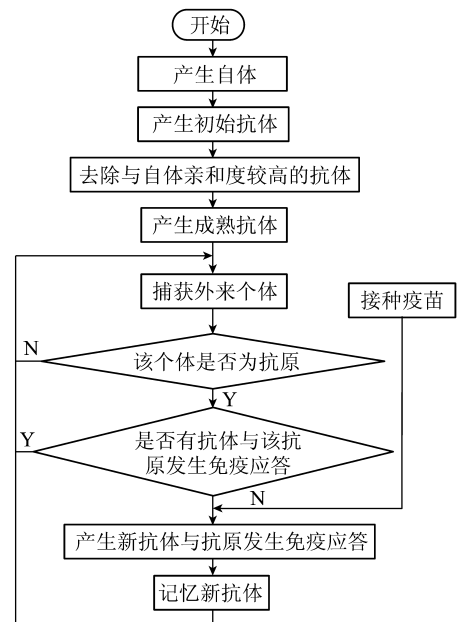


图1 基于人工免疫的采煤机自适应切割的工作流程

Fig. 1 Workflow of the self-adaptive cutting base on artificial immune

原”和“疫苗”分别对应于采煤机的已知正常状态、已知非正常状态、采集到的未知状态量和人工修正的状态量。

该模型中, 路径记忆及数据处理阶段对应与自体 and 抗体的成熟过程; 自适应切割阶段对应免疫系统的免疫应答过程; 人工修正阶段对应与疫苗接种过程。以下将对于每个阶段的控制策略进行详细论述。

2 基于人工免疫的采煤机路径记忆与数据处理

在路径记忆与数据处理阶段, 由人工操作采煤机沿工作面切割一次, 采煤机在每个“记录点”记录采煤机的当前位置、调高油缸位移、摇臂倾角、行走速度、左右截割电机电流和温度、左右截割部行星头温度、左右牵引电机电流和温度等传感器信息。所有采样点的传感信息组成了智能学习阶段的数据集合——记忆集。

(1) 路径记忆策略。在“人工示教”过程中, 记忆位置被分为常规点和关键点, 采煤机每隔 0.1 m 对各传感器采样一次, 记录下相关信息并添加到记忆集中, 这些位置被称为常规点。当操作人员发现采煤机切割到岩石时, 升高或降低截割滚筒的高度, 这些位置被定义为关键点, 此处的传感器信息将被添加到记忆集中。采取常规点和关键点相结合进行记忆的策略, 可以提高记录的精度, 为后续的记忆切割过程提供可靠的数据。

(2) 基于人工免疫的记忆数据处理。“人工示教”完成后, 得到的记忆集是粗略和杂乱无章的, 为了实现采煤机工作状态的判断, 必须对这些数据进行处理。首先定义人工免疫中每个个体的数据结构——个体类, “自体”、“抗体”和“抗原”均是该类的实例化。“个体类”属性包括: 序号、位置、调高油缸位移、摇臂倾角、行走速度、左截割电机电流、右截割电机电流、左牵引电机电流、右牵引电机电流、左截割电机温度、右截割电机温度、左牵引电机温度、右牵引电机温度、左截割部行星头温度、右截割部行星头温度; 方法为亲和度计算。

亲和度是指抗体与抗原之间的结合强度或匹配程度以及抗体之间的相似程度。亲和度计算目前通常采用 4 种方法: R 连续位方法、海明距离法、欧氏距离法和信息熵度量法。由于本控制系统采用实数编码方式, 因此使用欧氏距离法计算亲和度, 个体 $p_1 = \{m_1, m_2, \dots, m_k\}$ 和 $p_2 = \{n_1, n_2, \dots, n_k\}$ 间的亲和度为

$$D(p_1, p_2) = \sqrt{\sum_{i=1}^k (m_i - n_i)^2} \quad (1)$$

式 (1) 没有考虑属性的不同, 例如 $(m_1 - n_1)^2$ 或许是一个不重要的较大值, $(m_2 - n_2)^2$ 或许是一个很重要的较小值, 因此, 属性必须被归一化处理, 每一个属性的权重必须被考虑来表明不同属性的不同重要程度。对式 (1) 进行改进, 2 个个体之间的亲和度公式被定义为

$$D(x, y) = 1 - \sqrt{\sum_{i=1}^k P_i \left(\frac{x_i - y_i}{F_i} \right)^2} \quad (2)$$

式中, $x = \{x_1, x_2, \dots, x_k\}$, $y = \{y_1, y_2, \dots, y_k\}$ 为个体类的实例化。 x_1, x_2, \dots, x_k 与 y_1, y_2, \dots, y_k 对应于个体中的各个属性; F_i 为属性的归一化参数; P_i 为属性的权值。

设亲和度阈值为 R_m 。如果 $D(x, y) > R_m$, 则认为个体 x 与个体 y 亲和度较大; 如果 $D(x, y) < R_m$, 则认为 x 与个体 y 亲和度较小。数据处理的具体过程:

(1) 产生初始自体 and 初始抗体。取出每一个关键点及其前 2 点和后 2 点的相关切割参数形成初始抗体。在记忆集 N 中去除初始抗体, 得到初始自体。

(2) 产生成熟自体 and 成熟抗体。在初始自体中去除电流、温度值最大与最小的自体各两个, 形成成熟自体。计算初始抗体与每个成熟自体之间的亲和度, 去除数值较大的抗体。计算 (1) 得到的抗体中任意 2 个抗体间的亲和度, 去除数值较大的抗体, 得到最终的成熟抗体。

(3) 产生标准自体与标准亲和度阈值。求出所有成熟自体的各项属性均值, 组成一个“标准自体”,

记为 S 。计算每个自体与“标准自体”的亲密度，取出最大值作为“标准亲密度”，记为 R_s 。

3 基于人工免疫理论和记忆切割的采煤机自适应调高

智能学习阶段完成后，采煤机将根据数据集中的记忆数据跟踪人工操作时的切割路径，并在自动切割过程中实时采集各传感器的信息，将其与记忆集中的对应数据进行比较，如发现数据异常，将采取自适应调高的处理策略，如果自适应调高后仍存在异常的传感信息，则请求进行人工修正。基于人工免疫理论和记忆切割的采煤机自适应调高的工作过程如下：

(1) 路径跟踪。在记忆切割阶段，采煤机实时读取当前的行进位置，当运行到第 n 个记忆点时，则读取记忆集中第 $n+1$ 点的调高油缸位移量。如果两点的油缸位移量相同，则保持摇臂高度不变；否则计算两点的调高油缸位移差值，得出调高油缸的移动方向和移动量。当采煤机运行到 $n+1$ 点时，则读取 $n+2$ 点的数据进行比较，依此类推。这种控制策略运算量小、实时性高，对于调高油缸位移量的调节不具有累计误差。

(2) 自适应调高。采煤机在行进过程中将实时采集到的传感器数据提取出来，形成“个体”，然后调用图 1 所示的人工免疫模块判断此个体是否为“抗原”。如果判断该“个体”为“抗原”，则自适应地控制采煤机截割滚筒的升高或下降，升降动作完成后如果“抗原”仍没有消失，则发出警报请求人工修正，如果该状态持续一段时间后未得到人工修正，则采煤机停止切割。

(3) 自适应调高的免疫模型。在采煤机截割滚筒自适应调高过程中，最重要的一步就是判断采煤机是否切割到岩石，采煤机滚筒自适应调高的人工免疫模型如图 2 所示。

在人工免疫系统中与此相对应的便是判断捕获的新个体是否为抗原。设捕获的新个体为 Z ，“标准自体”为 S ，“标准亲密度” R_s ，第 i 个抗体记为 m_i ，抗体与抗原间的亲密度阈值为 R_m ，则判断新个体是否为抗原的步骤如下：① 如果 $D(Z, S) \leq R_s$ ，则说明新个体为自体，结束判断；否则该新个体为抗原，进入下一步。② 计算每个抗体与该抗原的亲密度，如果 $D(Z, m_i) > R_m$ ，则抗原 m_i 与抗原 Z 发生免疫应答，该抗原被识别，结束判断；否则该个体为新抗原，进入下一步。③ 产生新抗体与该抗原发生免疫应答，记录下该抗体。

在采煤机自适应调高过程中，使用“标准自体”为 S 、“标准亲密度” R_s 来描述自体的空间范围。上述方法虽然可能会扩大自体的空间范围，但却带来了计算量小的优点，以满足工业控制过程中实时性高的要求。

(4) 采煤机切割路径的人工修正。当自适应调高无法解决问题时，需要人工介入来引导采煤机进行正确合理的动作。人工修正分为本地修正和远程修正。本地修正由工作面上的操作人员使用遥控器来完成，它只能对切割路径的局部进行修正，称之为“记忆点修正”。修正后的数据将被采煤机记忆，并覆盖掉该记忆点的原始数据。远程修正是地面监控室内的操作人员完成的，它除了具有“记忆点修正”功能外，还可以通过上位机内的监控软件，对整个切割路径进行修正和优化，并将修正后的路径数据下载到采煤机里。这种修正方式称为“路径修正”。当采煤机应该进行自动调高而未进行时使用“记忆点修正”，相当于免疫系统将捕获的“抗原”误认为是“自体”，而未发生免疫应答，必须对免疫系统“接种疫苗”，以使采煤机认识到此处应当执行自动调高操作。具体操作步骤如下：① 提取人工修正介入点处的切割参数组成新抗体，加入到抗体集合中；② 提取人工修正过程中采集到的切割参数存入记忆集中，覆盖掉原始的数据。

为验证该方法的可行性，研发了采煤机自适应调高试验平台，如图 3 所示。目前，该系统尚处于实验

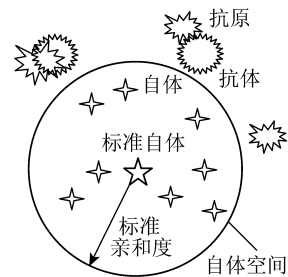


图 2 采煤机滚筒自适应调高的人工免疫模型

Fig. 2 Artificial immune model of self-adaptive adjustment height for the drum

室测试阶段. 初步实验表明, 基于人工免疫和记忆切割的采煤机能够较好地拟合所记忆的切割路径, 当煤层条件发生变化时, 能够自适应地调整截割滚筒的高度. 试验过程中发现, 在路径的拐点处, 会出现一定程度的滞后性, 如图 4 所示. 这主要是由于调高系统采用液压控制方式, 响应存在一定的延时.

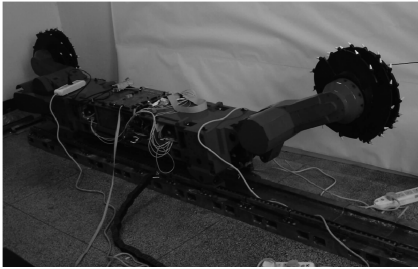


图 3 采煤机自适应调高试验平台

Fig. 3 Test platform of the self-adaptive adjustment height of the shearer

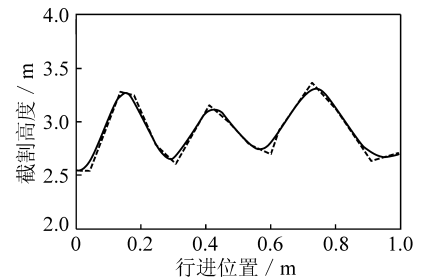


图 4 采煤机的记忆切割路线

Fig. 4 Memory cutting path of the shearer

4 结 论

基于人工免疫理论和记忆切割实现采煤机的截割滚筒的自适应调高, 在以 MG900/2210 - WD 型电牵引采煤机 1:6 样机模型构成的采煤机试验系统上进行了验证, 该试验系统具有和真实采煤机相同的控制功能, 并完善了采煤机的原有传感体系. 实验结果证明了该控制方法的可行性, 其控制精度满足设计要求. 由于采煤机实际工况的复杂性, 下一步将进行工业性试验, 并根据试验情况对系统做进一步的改进和完善.

参考文献:

- [1] Kelly M, Hainsworth D, Reid D, et al. Progress towards long-wall automation [J]. Mining Science and Technology, 2005, 16 (5): 769 - 776.
- [2] Reid D C, Hainsworth D W, Ralston J C, et al. Shearer guidance: a major advance in long-wall mining [J]. Field and Service Robotics: Recent Advances in Research and Application, 2006, 24: 469 - 476.
- [3] 刘春生, 杨 秋, 李春华. 采煤机滚筒记忆程控截割的模糊控制系统仿真 [J]. 煤炭学报, 2008, 33 (7): 823 - 827.
Liu Chunsheng, Yang Qiu, Li Chunhua. Simulation of shearer drum cutting with memory program controlling by fuzzy control [J]. Journal of China Coal Society, 2008, 33 (7): 823 - 827.
- [4] Yang T M, Xiong S B. Application of wavelet neural network for automatic ranging cutting height of shearer [J]. Wavelet Analysis and its Applications (WAA), 2003, 12 (6): 478 - 483.
- [5] Hargrave C O, Ralston J C, Hainsworth D W. Optimizing wireless LAN for long-wall coal mine automation [J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 2007, 43 (6): 111 - 117.
- [6] Reid D C, Hainsworth D W, Ralston J C. Long-wall shearer guidance using inertial navigation [J]. Australian Mining, 2001, 80 (5): 31 - 36.
- [7] Steven A, Hofmeyr S. Architecture for an artificial immune system [J]. Journal of Evolutionary Computation, 2000, 25: 3 - 8.
- [8] 肖人彬, 曹鹏彬, 刘 勇. 工程免疫计算 [M]. 北京: 科学出版社, 2007: 73 - 80.
Xiao Renbin, Cao Pengbin, Liu Yong. Engineering immune computing [M]. Beijing: Science Press, 2007: 73 - 80.