

混合智能系统 R-FC-DENN 及其实现

王 刚, 黄丽华, 张成洪

复旦大学管理学院, 上海 200433

[摘要] 混合智能系统已成为人工智能的一个重要研究方向, 本文依据认知心理学和模型集成理论, 构建了集粗糙集理论、聚类理论、模糊逻辑理论、遗传算法理论、人工神经网络理论于一体的混合智能系统 R-FC-DENN, 该系统在数据的空间效能方面和算法的时间效率等方面比已有算法有较大的改进。以混合智能系统 R-FC-DENN 为例, 基于 Rosetta 和 Matlab 6.5 平台, 还开发了混合智能系统工具箱 RFCDENN-Tool, 为相关研究打下坚实的基础。

[关键词] 混合智能系统; 人工神经网络; 粗糙集; 模糊聚类; 遗传算法

[中图分类号] TP18

[文献标识码] A

[文章编号] 1000-7857(2007)11-0069-05

Hybrid Intelligent System R-FC-DENN and Its Implementation

WANG Gang, HUANG Lihua, ZHANG Chenghong

Management School, Fudan University, Shanghai 200433, China

Abstract: The hybrid intelligent system has become an important research direction of artificial intelligence. Based on the cognitive psychology and aggregative model theory, a new hybrid intelligent system R-FC-DENN is proposed based on rough set, clustering theory, fuzzy logic, genetic algorithm and artificial neural network. By means of clustering and simplifying the original dataset, the system can enhance training efficiency and robustness. With the hybrid intelligent system R-FC-DENN as an example, a toolbox RFCDENN-Tool is developed based on Rosetta and Matlab 6.5, which may provide a basis for related researches.

Key Words: hybrid intelligent systems; artificial neural network; rough set; fuzzy clustering; genetic algorithm

CLC Number: TP18

Document Code: A

Article ID: 1000-7857(2007)11-0069-05

0 引言

混合智能系统是人工智能领域的一个新的研究方向, 其目的是使建立的系统在知识表示、推理等方面更为有效^[1]。自从 Minsky, McCarthy 等学者在 1956 年提出人工智能的概念以来, 人工智能已经走过了 40 多年的研究历程, 并取得了一些划时代的成果, 如 20 世纪 50 年代的感知器、60 年代的模糊集理论、70 年代的专家系统、80 年代的误差反向传播算法、90 年代初的遗传算法和案例推理等, 这些研究成果为人工智能的发展奠定了基础。但目前人工智能在其发展过程中也面临一些基本问题有待解决, 例如人工智能系统的实时性

问题, 对环境中的不完全的、模糊的甚至部分错误的信息的处理问题, 知识自动获取问题等。针对这些人工智能 (Artificial Intelligent, AI) 研究中遇到的问题, 目前智能系统研究的焦点很大一部分集中在将多种智能技术综合的研究上, 因此也就形成了 AI 领域一个新的研究方向——混合智能系统 (hybrid intelligent systems)^[1]。

最初的混合智能系统研究始于 20 世纪 80 年代末 90 年代初期的专家系统和神经网络的组合, 开发了有关应用系统, 并对两者的集成模式进行了研究。随着模糊逻辑、遗传算法、案例推理等技术在人工智能领域中的应用, 混合智能系统的研究也随之多样发展, 并开始

收稿日期: 2007-03-13

基金项目: 国家自然科学基金项目 (70571016, 70471011)

作者简介: 王 刚, 男, 上海市国顺路 670 号复旦大学管理学院, 博士研究生, 研究方向为商务智能、混合智能系统、知识管理等;

E-mail: wgedison@gmail.com

张成洪 (通讯作者), 男, 上海市国顺路 670 号复旦大学管理学院, 副教授, 研究方向为信息管理与信息系统;

E-mail: chzhang@fudan.edu.cn

步入一个新的阶段,提出了一些混合方式不同的混合智能系统^[2-4]。目前,国内混合智能系统的研究刚起步。

本文以认知心理学、模型集成理论为基础,将粗糙集理论、聚类理论、模糊逻辑理论、遗传算法理论、人工神经网络理论结合起来,设计了一个全新的混合智能系统 R-FC-DENN,从对数据的空间效能和算法的时间效率等角度对已有算法进行了改进。

1 混合智能系统 R-FC-DENN

混合智能系统 R-FC-DENN 综合了粗糙集、聚类理论、模糊逻辑、遗传算法、神经网络等特点,先通过粗糙集将输入数据进行删减,然后用聚类技术将简化后的数据进行聚类,对不同的聚类使用经过遗传算法改进的神经网络进行训练,再将这些经过不同神经网络训练的数据用模糊权值组合起来,放入新的用遗传算法改进了的神经网络进行再训练,从而完成整个训练过程。整个混合智能系统分为 RS(Rough Set)子模型、FCM(Fuzzy Clustering Method)子模型、DENN(Differential Evolution Neural Networks)子模型和 FNN(Fuzzy Neural Networks)子模型,具体组成框架如图 1 所示。

1.1 混合智能系统 R-FC-DENN 提出的理论依据

混合智能系统 R-FC-DENN 提出的主要依据是认

知心理学和模型集成理论,下面从这两个方面分析混合智能系统 R-FC-DENN 之所以可以具有“整合功效”的原因。

1) 认知心理学

认知心理学主要研究人的高级心理过程。在认知心理学中存在着不同的观点及不同的研究途径,当前以信息加工观点研究认知过程为主流^[5]。

认知心理学对记忆方面也有很好的研究,提出了很多方法^[5],例如分类记忆法、理解记忆法、形象记忆法、多通道记忆法等。其中,分类记忆法可以很大程度地提高记忆的精度和时间。实际上,分类过程是一个理解的过程,本身就已经具有记忆的功能,一边分类,一边理解,一边就已经在记忆了。混合智能系统 R-FC-DENN 的 FCM 子模型和 DENN 子模型很好地体现了这一点,通过 FCM 子模型将原始数据分类,再通过 DENN 子模型使用不同的神经网络进行学习,可以大大提高整个系统的效率。

2) 模型集成理论

Bates 和 Granger 于 1969 年提出了通过将几个模型“相加”来提高模型的预测精度和鲁棒性的方法。现在,大家已普遍接受将几个模型的预测结果结合起来是可能获得较好预测结果的一种简单、有效的方法。模

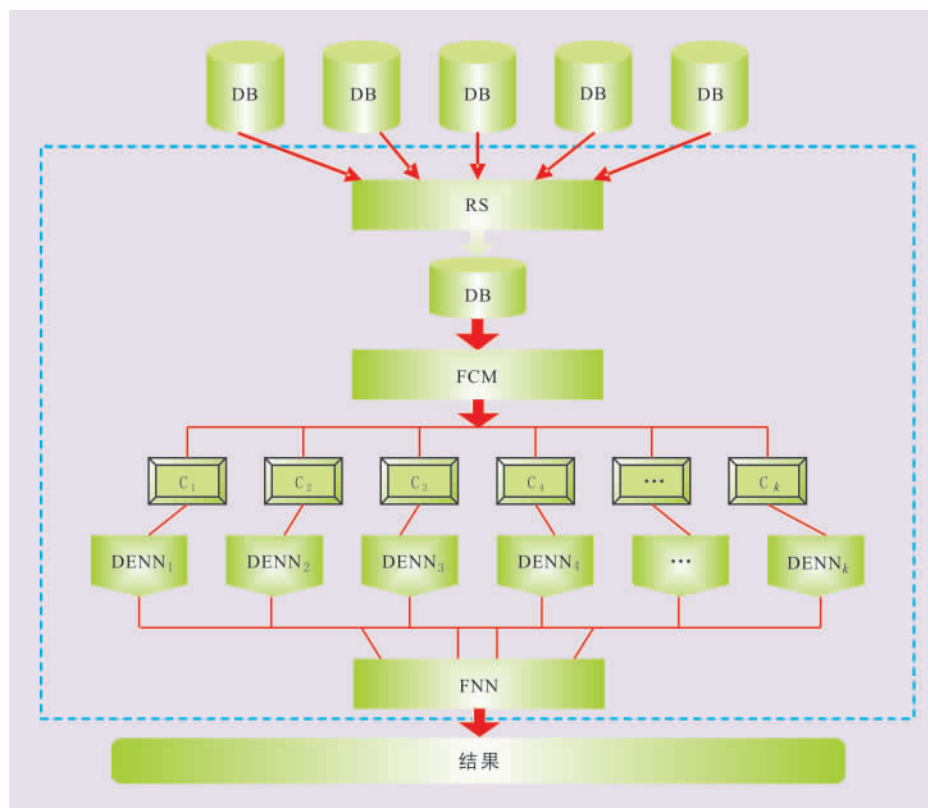


图 1 混合智能系统 R-FC-DENN 总体框架

Fig. 1 Framework of Hybrid Intelligent System R-FC-DENN

型的集成并不仅仅局限于单纯地建立模型连接,而是与系统建模过程紧密联系。国外已有大量学者进行这方面的工作,国内对此的研究也方兴未艾,钱学森教授很早就提出了从定性到定量的综合集成方法。混合智能系统 R-FC-DENN 也是按照这种思路设计,将粗糙集理论、聚类理论、模糊逻辑理论、遗传算法理论和人工神经网络理论有机地结合起来,相互取长补短,达到模型整合的功效。下面仅简单介绍混合智能系统 R-FC-CSNN 的具体构成。

1.2 RS 子模型

RS 子模型是将要输入神经网络中的数据空间通过粗糙集的理论进行属性和值约简的模块^[6]。神经网络具有大规模并行处理、网络全局作用、信息分布存储等特点,可以通过训练、学习产生一个非线性映射,自适应地对数据产生聚类,具有较好的抑制噪声干扰的能力和较强的鲁棒性。但是,一般不能将输入信息空间的维数简化,当输入信息空间级数较大时,网络不仅结构复杂,而且训练时间也很长。因此,应该设法将两者结合起来,即通过粗糙集理论方法简化信息表达空间,去掉冗余信息,使训练集简化,以减小神经网络结构的复杂性,从而减少训练时间;使用神经网络作为后置的信息识别系统,以提高容错和抗干扰能力^[7]。

1.3 FCM 子模型

FCM 子模型是将经过 RS 子模型处理后得到的数据,用聚类的方法分为不同子类,再针对不同的子类,使用不同的用遗传算法改进了的神经网络进行训练学习,从而达到减少训练样本、提高效率的目的。

FCM 子模型除了要对数据进行分类外,还要产生一定的隶属度,为 FNN 子模型打下基础。根据 FCM 子模型的特点和要求,这里选取软聚类中的模糊聚类 FCM 算法作为 FCM 子模型的聚类方法^[8]。但还有一个值得注意的问题,即如何确定模糊聚类的中心个数问题。这里采用 Chiu 于 1994 年提出的 Subtractive clustering 算法^[9]。该算法是对 Yangser 的 Mountain clustering 算法的扩展,它假定每一个数据都是一个潜在的聚类中心,基于数据样本点的密度,通过计算每一个可能定义为聚类中心的样本点的可能性值进行模糊聚类。具体计算过程详见文献^[10]。

1.4 DENN 子模型

DENN 子模型是在 RS 子模型和 FCM 子模型的基础上,对不同种类的数据采用不同的神经网络同时进行训练,这样就可以很大程度地减少神经网络的训练量,从而提升整个系统的效率。

考虑到经典 BP 算法的低效率特性,研究了 BP 算法的一个改进算法 LM (Levenberg Marquardt),从而提高了 DENN 子模型的效率;同时,考虑到经典 BP 算法易陷入局部最小的特性,研究了一种改进的遗传算

法——差异进化算法,并将其与 LM 算法相结合,共同组成了 DE-LM 算法。具体算法详见文献^[11]和^[12]。DENN 子模型的处理过程如图 2 所示。

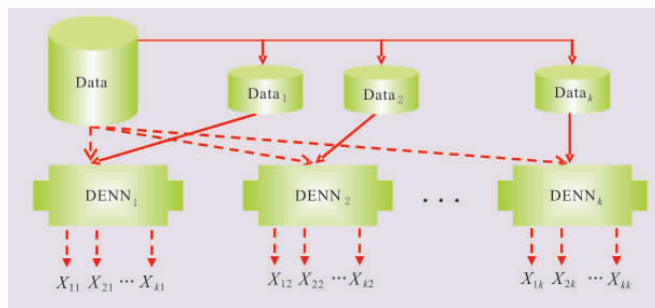


图 2 DENN 子模型的微观结构

Fig. 2 Structure of DENN sub-model

1.5 FNN 子模型

建立 FNN 子模型的目的是在上述工作基础上,一方面综合 DENN 子模型得到的结果,另一方面对数据进行更进一步的训练,从而得到更高的精度。FNN 子模型的具体处理过程是将经过 RS 子模型简化的数据带入 DENN 子模型中的各个神经网络分别进行预测,得到一个新的输入数据组,然后将这组新的数据,与 FCM 子模型所求得的权值进行模糊运算,得到 FNN 子模型的输入数据;FNN 的目标输入值则根据已知的目标值确定;最后就可以对 FNN 子模型进行训练,训练的算法采用上一节提到的 DE-LM 算法。FNN 子模型的处理流程如图 3 所示, X_{ij} 为 DENN 子模型的输出。

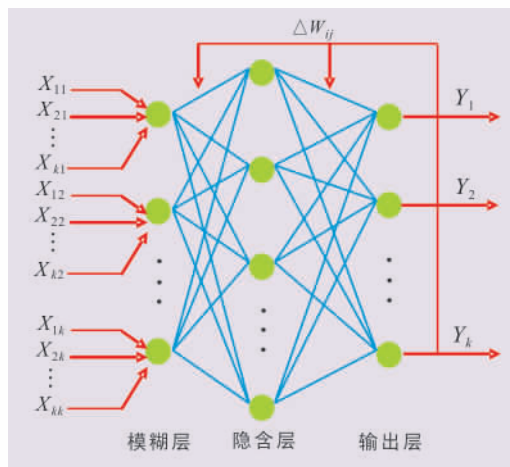


图 3 FNN 子模型微观结构

Fig. 3 Structure of FNN sub-model

2 混合智能系统 R-FC-DENN 的实现

混合智能系统 R-FC-DENN 是以认知心理学、模型集成理论为基础,集粗糙集理论、聚类理论、模糊逻辑理论、遗传算法理论、人工神经网络理论于一体的新

的混合智能系统。为了验证提出的混合智能系统及其实现算法,首先以用户对系统的分类功能为需求目标,对系统的各个子模块分别设计、实现,并在 Matlab 6.5 环境下进行系统组装,开发了一个新的混合智能系统 R-FC-DENN 的工具箱——RFCDENN-Tool。

2.1 RFCDENN-Tool 总体结构

RFCDENN-Tool 的总体结构设计如图 4 所示。

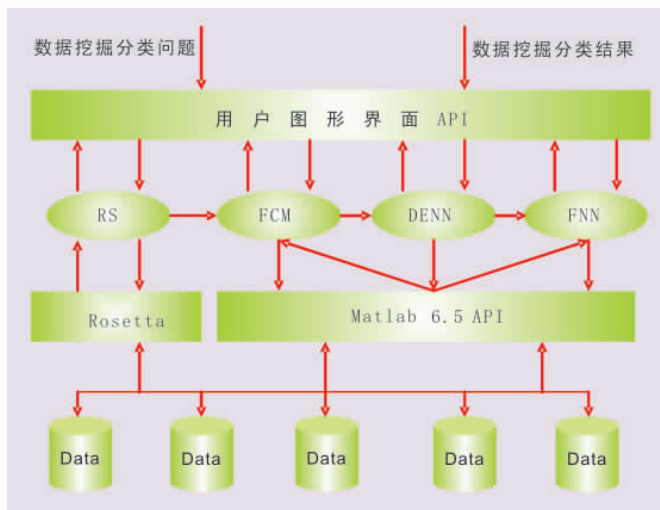


图 4 RFCDENN-Tool 总体结构

Fig. 4 Framework of RFCDENN-Tool

系统的总体结构可以分为 4 个层次:人机交互接口层、子模型功能层、应用接口层和数据存储层。

2.1.1 人机接口层

1) 人机交互接口负责将用户的问题转化为系统可以理解的形式。

2) 由于该系统是以人为核心并交互进行数据挖掘的分类分析,因此在系统的运行过程中,接口应该允许用户主动参与决策过程并给出正确的导引和提示。

3) 该接口可以将系统的结果以各种方式输出给用户。

4) 系统分析指令接收和分析结果输出均通过用户界面 GUI/API 来实现。

2.1.2 子模型功能层

1) 完成混合智能系统 R-FC-DENN 各个功能子模块的功能。

2) 负责人机接口层和应用接口层的交互。

2.1.3 应用接口层

1) 负责子模型功能层与数据存储层的数据交互。

2) Rosetta 负责对数据进行 RS 子模型的处理。

3) Matlab 6.5 API 负责一定的数据存储与数据转换。

2.1.4 数据存储层

面向操作环境中的数据分散于各个应用子系统中,通过接口与各个子系统进行数据交互。

2.2 RFCDENN-Tool 的技术结构图

根据本系统的功能需求和总体结构,混合智能系统工具箱 RFCDENN-Tool 的技术结构图如 5 所示。

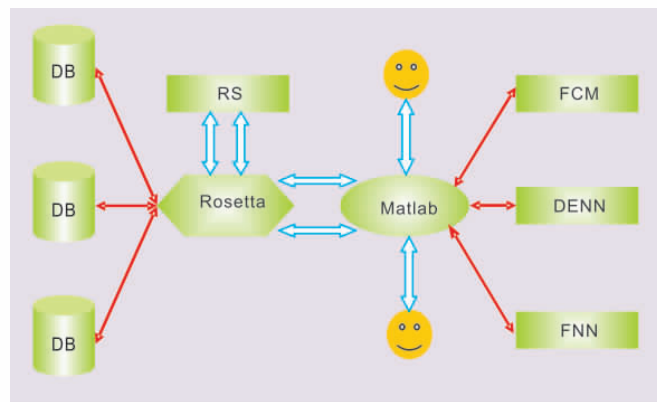


图 5 RFCDENN-Tool 的技术结构图

Fig. 5 Technical structure of RFCDENN-Tool

2.2.1 Rosetta

Rosetta^[13]是挪威科技大学 Aleksander 开发的基于粗糙集理论的一个免费软件,使用广泛,可以进行粗糙集的大部分运算。它设计了一套完整的数据库接口,可以导入/导出很多常见类型的数据,例如 Txt, ODBC, Dat 等;可以与常见的平台进行数据交互,例如 Matlab, Prolog, C++ 等。为此,本系统采用 Rosetta 作为 RS 子系统的开发平台,完成数据的约简功能。并且 Rosetta 可以实现与 Matlab 的交互,从而使 RS 子系统与 FCM 子系统、DENN 子系统、FNN 子系统之间进行交互。

2.2.2 Matlab

本系统采用 Matlab 6.5 为平台进行系统的构建。在此平台下进行系统 FCM 子模块、DENN 子模块、FNN 子模块的开发,同时将在 Rosetta 下处理的结果导入到平台内,进行 RS 子系统、FCM 子系统、DENN 子系统、FNN 子系统的集成。此外在此平台下还要进行与用户的交互,与后台数据库的读/写,可以说此平台是本系统的中心运行环境。

2.3 RFCDENN-Tool 的实现

RFCDENN-Tool 主要由人机交互界面、RS 程序模块、FCM 程序模块、DENN 程序模块、FNN 程序模块等组成。每个程序模块负责实现各个功能模块的相应功能,并且每个程序模块都有相应的子程序/函数支持,共同组成 RFCDENN-Tool。对于每个程序模块,参数都是可以修改的;对于每个程序模块的子程序/函数,参数

也都是可以修改的,这样就可以增强系统的适应性,针对不同的问题,采用不同的方式处理。

由于是在 Matlab 6.5 下开发的工具箱,因此本工具箱的许多函数可以被二次开发所用,这样 RFCDENN-Tool 就为其他类型的混合智能系统的开发做了铺垫,可以作为一个二次开发平台。RFCDENN-Tool 的构成如图 6 所示。

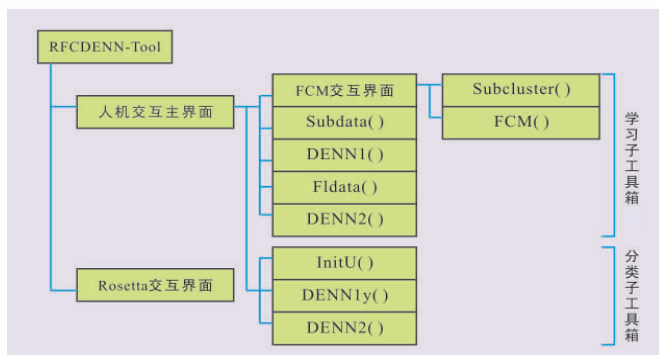


图 6 RFCDENN-Tool 工具箱构成

Fig. 6 Components of RFCDENN-Tool

为了验证 RFCDENN-Tool 的有效性,采用 UCI (University of California in Irvine) 下的实际数据库进行实验,得到了比较满意的结果,并且从对数据的空间效能和算法的时间效率等角度对已有的算法进行了改进。具体实验过程及实验结果详见文献[10]和[14]。

3 结论

混合智能系统的研究最初从神经网络和专家系统的集成开始,到后来遗传算法、进化计算、模糊逻辑、免疫算法等智能技术的不断加入,目前已初步发展成一个专门的领域。本文提出将粗糙集理论、聚类理论、模糊逻辑理论、遗传算法理论和人工神经网络理论结合起来,设计了一个全新的混合智能系统 R-FC-DENN,使其在数据的空间效能方面和算法的时间效率等角度对已有的算法都有较大的改进,并且以 Rosetta 和 Matlab 6.5 为基础,开发了混合智能系统的工具箱 RFCDENN-Tool,从而为混合智能系统的研究提供了一个基础平台。

参考文献 (References)

- [1] MINSKY M. Logic versus analogical or symbolic versus connectionist or neat versus scruffy [J]. AI Magazine, 1991, 12(2): 35-51.
- [2] MEESAD P. A hybrid intelligent system and its application to medical diagnosis[D]. Oklahoma: Oklahoma State University, 2002.

- [3] LANGARI R, WON J. Intelligent energy management agent for a parallel hybrid vehicle - Part I: System architecture and design of the driving situation identification process [J]. IEEE Transaction on Vehicular Technology, 2005, 54(3): 925-934.
- [4] HAMED I M. Intelligent fixture design through a hybrid system of artificial neural network and genetic algorithm [J]. Artificial Intelligent Review, 2005, 23(3): 295-311.
- [5] 梁宁建. 当代认知心理学[M]. 上海: 上海教育出版社, 2003: 11.
LIANG Ningjian. Cognition psychology [M]. Shanghai: Shanghai Education Press, 2003: 11.
- [6] 张文修, 吴伟志, 等. 粗糙集理论与方法 [M]. 北京: 科学出版社, 2003.
ZHANG Wenxiu, WU Weizhi, et al. Theory and methodology of rough[M]. Beijing: Science Press, 2003.
- [7] WANG X, YANG J. Feature selection based on rough sets and particle swarm optimization [J]. Pattern Recognition Letters, 2007, 28(4): 459-471.
- [8] 黎俊锋, 朱锋峰. 基于样本密度的 FCM 改进算法[J]. 科学技术与工程, 2007, 7(4): 636-638.
LI Junfeng, ZHU Fengfeng. Improved FCM algorithm based on the density of samples [J]. Science Technology and Engineering, 2007, 7(4): 636-638.
- [9] CHIU S. Fuzzy model identification based on cluster estimation[J]. Journal of Intelligent and Fuzzy Systems, 1994, 2(3): 267-278.
- [10] 王刚. 基于混合智能系统的数据挖掘分类算法研究[D]. 长沙: 中南大学, 2004.
WANG Gang. Study of classification in data mining based on HIS [D]. Changsha: Central South University, 2004.
- [11] 王刚, 高阳, 夏洁. 基于差异进化算法的人工神经网络快速训练研究[J]. 管理学报, 2005, 2(4): 450-454.
WANG Gang, GAO Yang, XIA Jie. Quick train of artificial neural network based on differential evolution[J]. Chinese Journal of Management, 2005, 2(4): 450-454.
- [12] YAN J Y, LING Q, SUN D M. A differential evolution with simulated annealing updating method[J]. In International Conference on Machine Learning and Cybernetics, 2006: 2103-2106.
- [13] Rosetta[EB/OL]. [2007-03]. <http://rosetta.lcb.uu.se/general/>.
- [14] 王刚, 黄丽华, 夏洁, 等. 一个新的混合智能系统 R-FC-DENN[J]. 系统工程与电子技术, 2006, 27(3): 448-453.
WANG Gang, HUANG Li-hua, XIA Jie, et al. New hybrid intelligent systems: R-FC-DENN[J]. Systems Engineering and Electronics, 2006, 27(3): 448-453.

(责任编辑 赵佳)