

国内多智能体系统应用研究归纳 ——共词分析视角*

□ 邢晓昭 望俊成 / 中国科学技术信息研究所 北京 100038

摘要: 文章根据CNKI数据库所收录的相关学术论文,借助SPSS和MVSP等统计软件,对我国多智能体系统的应用研究领域予以共词分析。在获得高频关键词共现矩阵基础上,结合因子分析和聚类分析两种方法,明晰各研究主题之间关联,界定研究热点,揭示学科结构,为该领域的进一步发展提供参考。

关键词: 多智能体系统,应用研究,共词分析,因子分析,聚类分析

DOI: 10.3772/j.issn.1673—2286.2013.04.002

1 引言

多智能体系统(Multi Agent Systems, MAS)是由多个相互配合的计算单元——智能体所组成的系统。智能体必须具备两种重要能力:一是能够根据预设的目标决定自身行为,即自治性;二是能够与其他智能体之间发生交互,这种交互不局限于数据的交换,还包括对于我们日常社会活动(如合作、协调、协商等)的模拟,即社会性。全球观之,MAS起源于上世纪80年代,推广应用于90年代中期^[1]。对于MAS的应用研究,在系统模拟与仿真领域,一些学者尝试利用Agent的理论与思想,通过计算模型来模拟现实世界中自治主体的行为以及它们之间的交互,进而评价个体行为对于整个系统产生的影响^[2],多智能体仿真(Multi-Agent Based Simulation, MABS)应运而生。在其建模过程中,设计者能够根据主体特性设置不同模型,从简单的应激性Agent到复杂的认知性Agent,同时可以方便地在统一的概念框架中处理不同级别主体(单一个体或诸如组织、集团等群体)。由于具有以上优势,多智能体仿真逐渐取代了之前的微观仿真、面向对象仿真以及个体仿真,成为复杂系统仿真的最佳选择^[3]。近年来,多智能体系统的应用研究引起了我国学者的广泛关注并产出了大批卓越的研究成果,但是由于缺乏对于研究现状的总体分析,使得新进的研究者在把握国内研究程度和发展趋势上遇到一定障碍。鉴于此,本文将基于客观数据,采用共词分析方法,以期从海量文献信息中总结

研究范围、挖掘研究热点、梳理研究脉络,从而为该领域后来学者提供参考和帮助。

2 数据准备

2.1 数据获取

本文选择CNKI中国学术期刊网络出版总库作为数据源,在检索条件中限定主题为(“multi-agent”或含“多智能体”)并且(“模拟”或含“仿真”),将检索到的文献题录导入Excel,经过去重、筛选等操作后,共获得相关文献1838篇。在此基础上,运用自行编写的VBA程序进行统计分析。论文发表的年代分布如图1所示。

从图1可知,“多智能体仿真”的概念于20世纪90年代中期传入我国,经过几年的零星探索后,自21世纪初期开始被广泛认可。此后,论文数量呈线性增长趋势,到2009年达到一个高峰,近两年略有下降,但仍保持在每年200篇以上,呈现出比较繁荣的研究前景(2012年数据统计不全,不予考虑)。总体而言,我国多智能体的应用研究起步比国外晚十多年,但发展速度很快,正在逐步缩小与国际水平的差距。

2.2 选择高频词

提取出文献的关键词后,为降低关键词著录不规范而引起的噪声,对其进行如下处理:(1)诸如“地

* 基金项目: 国家社会科学基金青年项目“专利信息的生命特征揭示和老化规律研究”(编号: 12CTQ025)。

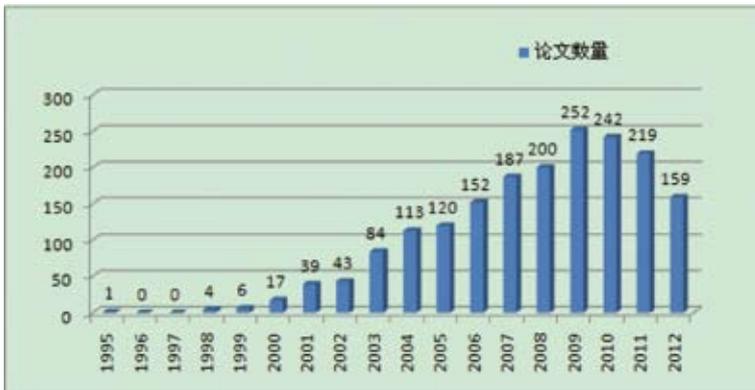


图1 我国多智能体仿真领域论文数量时间分布

理信息系统”与“GIS”，“进化博弈”与“演化博弈”，“增强学习”与“增强式学习”以及“强化学习”等近义词予以合并。(2) 对于“多Agent”、“多Agent技术”、

“仿真”、“模拟”等表意宽泛、指示性不强的高频词予以删除。在此基础上对各词出现频次进行统计，按从高到低的顺序排列。为突出研究热点，选取频次大于8的77个关键词作为高频词(如表1所示)，这些高频词共分布在1354篇文献中，占总文献数量的73.7%。初步分析可知：故障诊断、供应链管理、作战仿真、电力系统、车间调度、电子商务、交通工程等多智能体系统的主要应用领域，其主要方法和模型包括遗传算法、强化学习算法、蚁群算法、元胞自动机和petri网等，主要仿真软件包括Swarm、Repast、Netlogo、Jade等，主要的理论基础包括博弈论、组织理论以及系统科学等。

表1 高频关键词表

关键词	频次	关键词	频次	关键词	频次	关键词	频次
多Agent系统	553	合同网协议	25	自组织	16	交通控制	11
Agent	201	地理信息系统	24	Teamwork	16	时滞	11
复杂适应系统	72	作战仿真	24	编队控制	16	机器人	10
遗传算法	60	编队	24	微观仿真	15	联盟生成	10
Robocup	57	电力市场	22	复杂网络	15	生产调度	9
Swarm仿真	56	角色	21	Repast仿真	15	舰艇编队	9
强化学习	50	分布式控制	20	JADE仿真	15	策略	9
复杂系统	48	人工智能	19	电子商务	15	小世界网络	9
建模与仿真	35	仿真系统	19	任务分配	15	分布式人工智能	9
一致性	35	协商	19	交通流	14	交通信号控制	9
多Agent模型	33	神经网络	19	虚拟环境	14	多Agent协作	9
高层体系结构	32	电力系统	19	Petri网	14	群集	9
协调控制	30	蚁群算法	19	移动Agent	13	重复博弈	8
协作	30	协同控制	18	计算机仿真	12	模糊控制	8
博弈论	29	车间调度	18	柔性	12	虚拟企业	8
机器人足球	29	NetLogo仿真	17	交通工程	12	拍卖	8
元胞自动机	28	调度	17	计算机生成兵力	12	信任	8
Q学习	28	演化博弈	17	优化	12		
故障诊断	26	动态调度	17	囚徒困境	11		
供应链	25	分布式仿真	16	土地利用	11		

表2 共词矩阵 (部分)

	多Agent系统	Agent	复杂适应系统	RoboCup	Swarm仿真	遗传算法	强化学习	复杂系统	高层体系结构	作战仿真
多Agent系统	497	43	17	24	1	9	21	7	11	11
Agent	43	205	12	12	8	10	4	10	10	5
复杂适应系统	17	12	94	0	20	4	0	2	0	6
RoboCup	24	12	0	76	0	2	6	0	0	0
Swarm仿真	1	8	20	0	66	2	0	5	0	0
遗传算法	9	10	4	2	2	64	0	0	0	0
强化学习	21	4	0	6	0	0	57	0	0	0
复杂系统	7	10	2	0	5	0	0	51	2	4
高层体系结构	11	10	0	0	0	0	0	2	43	2
作战仿真	11	5	6	0	0	0	0	4	2	39

2.3 建立共词矩阵

高频词所反映的研究热点过于分散、独立，不能体现各知识点之间的关联。因此，本文通过两两统计各高频词同时出现在一篇文章中的次数建立77*77的共词矩阵（见表2）。共词矩阵为对称矩阵，主对角线元素是关键词出现总频次，其余元素代表两关键词共现的文章数，数值越大代表两个关键词距离越近，相似度越高。

3 共词分析

共词分析是展现学科发展概况及研究热点、揭示学科结构常用的一种内容分析方法。它主要通过统计分析有效、高频专业术语在同一篇文章中的共现状况，来判断文献集所代表的研究领域各主题之间的关系^[4]。共词分析的核心方法包括因子分析、聚类分析以及多维尺度分析等。本文拟借助SPSS进行因子分析，利用MVSP进行聚类分析。

3.1 因子分析

为了消除词频差异对结果造成的影响，同时考虑到共现向量不满足连续、正态分布以及线性相关等特征，将共词矩阵次转化为Spearman相关矩阵。经因子分析，共提取13个因子，其方差的累积贡献率达89.849%。这表示，将77个关键词分为13个类别可以解

释所有文献信息89.849%。在旋转成分矩阵中选择因子负载绝对值大于0.5的关键词归至相应因子（如表3所示），并对因子分析结果予以进一步说明。

(1) 大部分关键词(72)都归至相应因子。将因子负载大于0.7^[5]的关键词放回文献数据中进行检索，结合这些关键词的研究内容对相应因子进行命名（如表3所示）。对于如因子5、7、8和12等仅有不到半数关键词因子负载大于0.7的情况，需要参考因子中其他关键词的特点进行命名。

(2) 有4个关键词跨区分布。“角色”同属因子4和8，“柔性”同属因子7和11，“作战仿真”同属因子8和10，而“高层体系结构”同属因子10和11。这些关键词在两个因子中的负载皆大于0.5，体现了相应因子之间存在某种联系。此外，因子8、10和11均包含2个跨区分布的关键词，更加突出了这种联系的广泛性。不同关键词的分布特点稍有差异，如“角色”一词与因子4的关联程度要远大于因子8，而“柔性”一词在因子7与因子11中的地位则平分秋色。

(3) 有5个关键词因负载小于0.5而未参与分类。其中“Agent”词频高达201次，是多智能体系统领域最为重要的概念和建模要素之一，任何细分方向、无论理论还是实践方面的研究者对此已形成共识，因此该词频虽高，却不具指示性，未归至任何因子。“分布式人工智能”是多智能体系统的学科基础而非研究热点，该关键词共出现9次，其中5次出现于2002年之前。近年来很多学者尝试把复杂系统自组织理论和多Agent建

表3 因子分析所确定的研究热点

1复杂系统建模与仿真		2交通流与交通控制		3编队控制算法		4机器人足球赛	
NetLogo仿真	0.863	NetLogo仿真	0.863	NetLogo仿真	0.863	NetLogo仿真	0.863
Repast仿真	0.755	Repast仿真	0.755	Repast仿真	0.755	Repast仿真	0.755
Swarm仿真	0.630	Swarm仿真	0.630	Swarm仿真	0.630	Swarm仿真	0.630
地理信息系统	0.617	地理信息系统	0.617	地理信息系统	0.617	地理信息系统	0.617
多Agent模型	0.794	多Agent模型	0.794	多Agent模型	0.794	多Agent模型	0.794
复杂适应系统	0.765	复杂适应系统	0.765	复杂适应系统	0.765	复杂适应系统	0.765
复杂系统	0.705	复杂系统	0.705	复杂系统	0.705	复杂系统	0.705
计算机仿真	0.576	计算机仿真	0.576	计算机仿真	0.576	计算机仿真	0.576
土地利用	0.801	土地利用	0.801	土地利用	0.801	土地利用	0.801
元胞自动机	0.719	元胞自动机	0.719	元胞自动机	0.719	元胞自动机	0.719
建模与仿真	0.742	建模与仿真	0.742	建模与仿真	0.742	建模与仿真	0.742

5移动Agent技术		6囚徒困境博弈模型		7生产调度		8计算机生成兵力	
JADE仿真	0.550	博弈论	0.652	车间调度	0.777	多Agent系统	0.529
调度	0.801	复杂网络	0.676	动态调度	0.640	机器人	0.576
多Agent协作	0.835	囚徒困境	0.955	供应链	0.586	计算机生成兵力	0.749
任务分配	0.539	小世界网络	0.859	合同网协议	0.697	角色	0.574
协商	0.688	重复博弈	0.918	柔性	0.653	强化学习	0.595
移动Agent	0.848			生产调度	0.821	协作	0.807
遗传算法	0.502			优化	0.504	作战仿真	0.501

9电子商务与企业联盟		10高层体系结构及应用		11 Petri网模型及应用		12神经网络模型及应用		13供电控制与市场博弈	
电子商务	0.837	编队	0.830	Petri网	0.757	故障诊断	0.672	电力市场	0.708
联盟生成	0.823	高层体系结构	0.737	仿真系统	0.863	人工智能	0.617	电力系统	0.899
虚拟企业	0.587	舰艇编队	0.756	高层体系结构	0.569	神经网络	0.855	演化博弈	0.585
蚁群算法	0.574	拍卖	0.546	柔性	0.609				
		作战仿真	0.643	虚拟环境	0.778				

模技术相结合,但是由于缺乏成熟理论体系,与“自组织”共现的以低频词为主,因此未参与分类。

(4) 有13个关键词因子负载小于0,它们整齐地分布于因子2及因子3中。一般情况下,项目负载小于0表示该项目与对应因子为负相关关系,不参与命名。然而,因子2中所有关键词的因子负载皆小于0,且绝对值很大(均大于0.7),表明这些关键词之间相关性很高,可以很好地聚为一类,因子3同理。

3.2 聚类分析

将Spearman相关矩阵转化为欧式平方距离相异矩阵,并利用MVSP软件中的最小方差法(Minimum Variance)进行聚类分析。结合因子分析结果,把聚类结果划分为10个类团,并根据其所包含的关键词进行命名(如图2所示)。聚类与因子分析结果中关键词的主题分布基本一致,说明共词分析效果很好,能够反映

我国多智能体系统应用的研究热点。此外，因子分析中未出现的关键词在聚类分析中皆被归至相应主题，聚类结果补充和完善了因子分析的结果，同时体现了其对原始文献具有比因子分析结果更强的反映能力。详细的比较结果如下：

(1) 类团1、2、3、4、7、8、9与因子2、3、6、1、13、11、10良好吻合。值得一提的是，负载皆小于0的因子2中8个关键词有7个落入类团1，而因子3与类团2完全重合，再次验证了之前“因子负载皆负，关键词之间相关性高，可自成一类”的判断。综上所述，“交通流与交通控制”、“多Agent编队控制算法”、“囚徒困境博弈模型”、“复杂系统建模与仿真”、“供电控制与市场博弈”、“Petri网模型及应用”和“高层体系结构及应用”等10个主题是多主体仿真领域比较成熟且稳定的研究方向。

(2) 类团5包含了因子5、7、9中的主要关键词，类团12是因子4和8的整合。这表示，因子5、因子7与因子9之间联系紧密。从它们所包含的关键词中也可找到佐证的线索：因子7中的“车间调度”、“动态调度”是因子5中“调度”的细分类别，因子5中的“遗传算法”与因子9中的“蚁群算法”是基于不同思路的两种随机优化算法，为了扬长避短，越来越多的学者采用算法融合的思路，以期获得更好的优化效率。同理，因子4与因子8之间相辅相成，且“角色”一词横跨两个因子。

(3) 聚类分析结果中的类团6除了包含因子12外，还包含了因子7中的“生产调度”、因子5中的“JADE仿真”以及跨越7、11两个因子的“柔性”。这说明这一领域的研究十分活跃。同时，神经网络模型的外延非常广阔，不仅可以应用于故障诊断，还可用于企业的生产调度和柔性制造。基于以上讨论，笔者仍将这一类团命名为“神经网络模型及应用”。

4 多智能体系统应用研究热点透视

我国多智能体系统的应用研究相对集中，不同主题之间交叉渗透，没有明显界限。概而观之，可分为理论模型及应用和现实系统建模化两个分支。纵向来看，大多模型最初源自生物学现象，并在研究过程中不断被丰富、优化，从而获得更强的适应性与更好的仿真效果；横向来看，应用领域逐渐扩充，从运输、军事、建筑、信息技术、航天航空等工程领域向经济管理、新闻传媒、市场研究、高等教育甚至图书情报等社会学领域渗透。而仿真分析作为重要的实验方法和可视化手段，

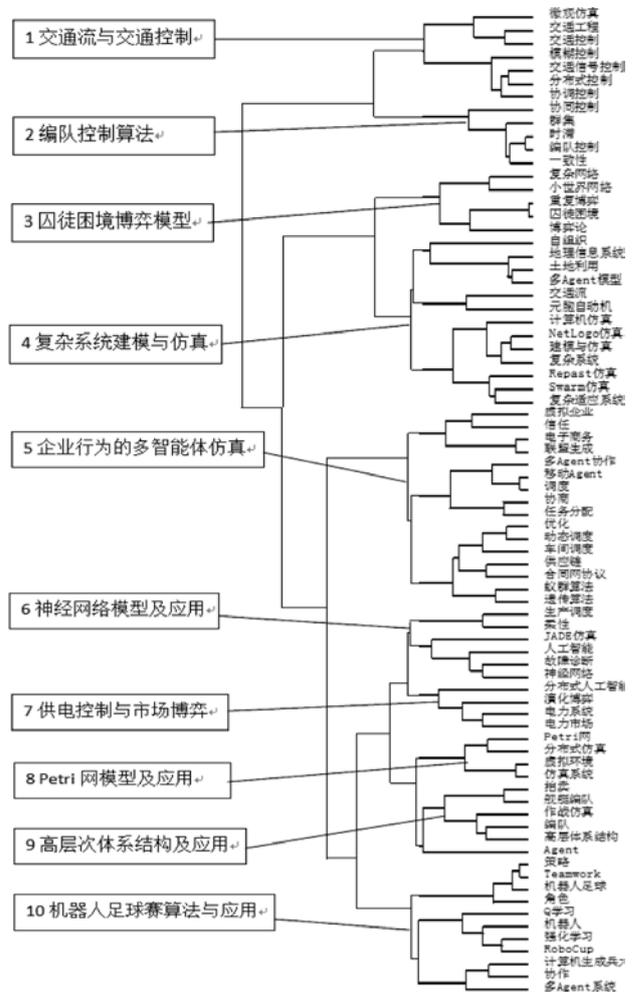


图2 聚类分析树状图

贯穿两大研究方向始终，验证理论模型有效性的同时，为提高系统效率、解决实际问题提供有力的数据支撑。该领域共包括10个研究热点，下面结合学科结构和相关文献对其进行分别阐述。

4.1 理论模型与应用

理论模型是对一类相似问题的数学抽象，是多智能体系统设计的基础。任何一个新的应用领域的开辟都是以理论模型的开发为先导的。理论模型与应用的研究热点包括囚徒困境博弈模型、复杂系统建模与仿真、Petri网模型及应用、神经网络模型及应用、高层次体系结构及应用等。

(1) 囚徒困境博弈模型

囚徒困境是博弈论中的经典模型，它概括了一类在竞争与合作并存的社会机制下，个体如何通过预测对手行为来制定相应策略，从而实现自身利益最大化的问题，

以及群体决策在宏观层面上所表现出的社会合作现象的出现条件和演化过程。将博弈论思想引入多智能体仿真领域,并对囚徒困境模型进行改进和模拟,使得其在表达现实问题时更加符合人的心理和经济社会等的发展规律,因而标志着基于多智能体的社会学仿真的兴起。

(2) 复杂系统建模与仿真

由于具有非线性、突现性、不稳定性、不确定性等特点,复杂系统不能采用传统的牛顿力学来解析,对其的研究以美国圣塔非研究所提出的复杂适应系统(CAS)理论最为流行,基于CAS理论的多智能体仿真主要关注Agent学习算法、Agent通信和交互机制、仿真平台研究以及应用研究等4个方面^[6]。学习算法包括示例学习、强化学习、混合学习等,仿真软件包括NetLogo、Swarm、RePast等,应用领域包括土地利用、舆论扩散、股票市场、供应链管理、作战模拟等^[7]。

(3) Petri网模型及应用

Petri网是对离散、并发、异步系统进行描述的一种过程模型,是多智能体系统模拟的一种比较主流的原型,很多研究者利用Petri网的运行机制来模拟智能体的状态和行为的变化。与神经网络模型强调单个智能体的学习能力不同的是,关于Petri网模型的研究集中于智能体间的协作和协调,以及仿真系统的结构和整体调度。

(4) 神经网络模型及应用

人工神经网络,亦称神经网络,是由大量处理单元互连而成的网络,是对人脑的抽象、简化和模拟。它最有意义的性质是能够从环境中学习并在学习中提高自身性能,即泛化能力^[8]。基于多智能体的仿真技术降低了神经网络的规模,提高了模拟精度,从而大大优化了神经网络的运算速度和泛化能力,二者结合创造了许多优秀的学习算法,可应用于制造、电信、交通控制、人工生命、供应链管理等多个领域。此外,在机器人足球赛中,选手们对于神经网络模型也进行了很多改进和实现。

(5) 高层次体系结构及应用

高层体系结构(HLA)的概念由美国国防建模与仿真办公室(DMSO)于1995年提出,其目的在于解决不同类型仿真系统间的互操作,以及资源的重复利用等问题。HLA对于多智能体仿真最大的贡献在于,在模拟现实世界时,可以根据问题的层次选择需要的粒度,将复杂系统划分为多个子系统,而每个子系统由若干个具有共同目标和相似性质的Agent所组成^[9]。此外,所有Agent的定义采用同一对象模型模板,不同类型Agent之间靠对象参数进行识别,既节省了存储空间,又提高了运算

速度。HLA框架提出之初,是为了实现对于复杂作战环境的仿真模拟。截至目前,我国学者利用HLA对军事问题的研究逐渐由陆军作战、坦克对抗等问题转向海上编队防空、反潜,空中编队对地攻击,卫星侦察以及计算机生成兵力等方向。此外,一些研究者将该模型引入到生产调度、铁路运输以及供应链管理等领域。

4.2 现实系统建模

在构建多智能体系统时,存在根据行业特点的建模和仿真算法两个方面的问题。研究者首先需要结合系统实际特性修正理论模型,并在此基础上对输入、输出条件和仿真参数进行合理的设置。而仿真算法的开发和改进属于比较底层的研究,它不但很大程度上提高对现实系统的拟合优度,同时是对理论模型的补充和完善。现实系统建模的研究热点包括交通流与交通控制、企业行为的智能体仿真、供电控制与市场博弈、机器人足球赛算法与应用一级编队控制算法等。

(1) 交通流与交通控制

基于多Agent的交通系统研究根据其侧重点不同可以分为两个方向。交通流仿真更加关注出行者实体,对于机动车的行驶速度、运动方向以及换道等策略的描述(多以跟驰模型为基础)为主,对行人和非机动车的行走策略(多以元胞自动机模型为基础)描述为辅,获得整个交通系统在宏观上的速度、密度以及流量等表现,及它们之间的相互关系。研究呈现了一种交通元素从单一向多元、研究范围从局部到整体的发展过程。对于交通控制的仿真主要从管理者角度出发,着眼全局,包括交通信号控制、区域协调控制2个层面,其中以交通信号控制的仿真研究更为重要和热门。

(2) 企业行为的多智能体仿真

国内企业行为的多智能体仿真呈现多角度、多层次、多方法的研究态势。从产销管理角度,有些学者着眼全局,探讨整条供应链上不同职能企业之间物料、信息、资金以及管理等要素的流动和衔接机制,另一些学者聚焦某一环节,关注诸如原料配置、生产线调度或库存管理等具体问题;从企业之间关系角度,包括对于合作、竞争等基本现象的模拟以及对企业集群、企业联盟等特殊组织形式的形成机制与其间知识转移模式的探索。合同网协议、遗传算法、蚁群算法以及移动Agent技术的交替、联合使用为该领域提供了丰富的研究方法。

(3) 供电控制与市场博弈

电力系统的有效运作依赖于对各类特性迥异、功能相关装置与设备的协调控制。电网覆盖地域广阔,导致其管理维护呈现分布性,完全集中式的求解可能导致信息不完全、计算时空代价高、通信障碍等技术瓶颈。此外,由于电力资源的不可储存性,生产和消费之间呈现出同时性和随机性。加之电力行业各企业之间的竞争合作博弈,使得电力系统具备多智能体仿真的一切适用条件^[10]。对于该领域的研究内容包括故障诊断与系统恢复、紧急控制、二级电压控制、电网调度以及电力市场的竞价行为模拟和供需分析等。

(4) 机器人足球赛算法与应用

机器人世界杯足球赛(RoboCup)的创办目的是通过建立一个标准的易于评价的比赛平台,促进多主体系统以及分布式人工智能的交流和发展。关于RoboCup的算法研究集中于强化学习算法的改进和应用,如杜春侠提出具有先验知识的Q学习算法^[11],张煌辉提出基于共享分布的Q学习模型等^[12];协作的研究,包括赖旭芝的层级协作模型^[13],彭军的基于行为预测的协作模

型^[14],以及王浩的基于换位思考模型的多智能体协作研究方法^[15]等;策略的研究,包括基于角色的守门员、进攻球员、防守球员的策略研究,基于技术动作的传球、截球、控球、避障策略研究以及更加宏观的竞争合作、攻防和阵型策略研究。此外还有一些关于通信机制和流程设计的研究。以上算法在计算机生成兵力的研究中皆得到了极好的应用。

(5) 编队控制算法

编队控制即模拟自然界中的群集行为,以期通过集体协作,获得单个个体所不能完成的任务或不具备的优势。映射在多智能体系统中,要求所有智能体的状态或速度都能收敛到某一目标^[16]。随着我国通信技术、计算机技术以及控制技术的飞速发展,基于多智能体的编队控制技术收获了诸多研究成果。对于算法的优化集中于改善避障效果、收敛速度、一致性以及时延鲁棒性等系统特征。编队控制的应用领域包括多移动机器人、无人飞行器、多导弹、自制水下潜艇、通信网络的拥塞控制等。

参考文献

- [1] WOOLDRIDGE M. An Introduction to Multiagent Systems [M]. New Jersey: JOHN WILEY & SONS, LTD, 2002: 1.
- [2] NIAZI M, HUSSAIN A. Agent-based Computing from Multi-agent Systems to Agent-Based Models: A Visual Survey [J]. Scientometrics, 2011, 89(2): 479-499.
- [3] DROGOUL A, VANBERGUE D, MEURISSE T. Multi-agent Based Simulation: Where Are the Agents? [J]. Subseries of Lecture Notes in Computer Science, 2003(2581): 1-15.
- [4] 马费成,望俊成,陈金霞,等.我国数字信息资源研究热点领域:共词分析透视[J].理论与探索,2007,3(4):438-443.
- [5] 马费成,望俊成,张于涛.国内生命周期理论研究知识图谱绘制[J].情报科学,2010,28(3):334-340.
- [6] 倪建军,徐立中,王建颖.基于CAS理论的多Agent建模仿真方法研究进展[J].计算机工程与科学,2006,28(5):83-86.
- [7] 张发,宣慧玉,赵巧霞.复杂系统多主体仿真方法论[J].系统仿真学报,2009,21(8):2386-2390.
- [8] 高隽.人工神经网络原理及仿真实例(第2版)[M].北京:机械工业出版社,2007:1-22.
- [9] 苏春梅,奚宏明,王伟,等.基于Multi-Agent和HLA的综合战场环境仿真[J].兵工自动化,2011,30(6):14-19.
- [10] 束洪春,唐岚,董俊.多Agent技术在电力系统中的应用展望[J].电网技术,2005,29(6):27-31.
- [11] 杜春侠,高云,张文.多智能体系统中具有先验知识的Q学习算法[J].清华大学学报(自然科学版),2005(7):981-984.
- [12] 张煌辉,陈焕文,刘泽文,等.共享经验分布式Q学习模型在RoboCup中的应用[J].微计算机信息,2010,(8):25-26.
- [13] 赖旭芝,傅博,曹卫华.RoboCup仿真比赛中的Multi-Agent层次协作模型[J].计算机技术与自动化,2003(4):59-62.
- [14] 彭军,吴敏.基于行为预测的多智能体协作模型[J].计算机工程与应用,2005(9):23-25.
- [15] 王浩,尚丽,方宝富,等.基于换位思考模型的多智能体协作研究及在RoboCup中的应用[J].小型微型计算机系统,2009,30(5):959-962.
- [16] 程磊,王永骥,朱全民.基于智能体的多移动机器人集群编队控制系统[J].系统工程与电子技术,2006,28(5):731-735.

作者简介

邢晓昭(1988-),女,硕士研究生,研究方向:知识发现、仿真研究等。E-mail: condicexing@sina.com
 望俊成(1984-),男,助理研究员,博士,研究方向:信息资源管理、专利分析、科技政策等。

Induction of Application Study for MAS in China: the View of Co-word Analysis

Xing Xiaozhao, Cheng Ruyan, Wang Juncheng / Institute of Scientific & Technological Information of China, Beijing, 100038

Abstract: This paper explores the kernel of application study for MAS in China by conducting a co-word analysis on the related articles collected from CNKI database, with the help of statistical software such as SPSS and MVSP. Based on the occurrence matrix of higher frequency words, factor analysis and hierarchical clustering method have been combined to identify the relationship between subjects, define the research focus and reveal the discipline structure, so as to provide references for further development in the field.

Keywords: MAS, Application study, Co-word analysis, Factor analysis, Clustering method

(收稿日期: 2012-12-07)