

基于 WSN 的 AGVS 控制系统模型研究

王彬,张云生,王剑平,张晶

WANG Bin,ZHANG Yun-sheng,WANG Jian-ping,ZHANG Jing

昆明理工大学 信息工程与自动化学院,昆明 650051

Faculty of Information Engineering and Automation,Kunming University of Science and Technology,Kunming 650051,China

E-mail:wangbin1@vip.sina.com

WANG Bin,ZHANG Yun-sheng,WANG Jian-ping,et al.AGVS control model research based on WSN.Computer Engineering and Applications,2010,46(11):18-21.

Abstract: In this paper,an architecture of Wireless Sensor and Actuator Network is proposed for Automatic Guided Vehicle System.The control model is studied in which the wireless sensor network is taken as system observer.The sensor node model and orientation algorithm based on this control model is discussed.The distributed dynamic path planning strategy is supplied.

Key words: automatic guided vehicle system;wireless sensor and actuator network;data fusion;dynamic path planning

摘要:给出了一种基于无线传感反应网络的自动导引搬运车系统的结构,研究了该系统的控制模型,提出了把无线传感器网络作为控制系统观测器的方法,在此模型基础上讨论了传感器节点模型和定位算法,最后制定了分布式动态路径规划策略。

关键词:自动导引搬运车系统;无线传感反应网络;数据融合;动态路径规划

DOI:10.3778/j.issn.1002-8331.2010.11.006 **文章编号:**1002-8331(2010)11-0018-04 **文献标识码:**A **中图分类号:**TP242.2

1 引言

随着柔性制造系统(Flexible Manufacture System,FMS)和自动化仓储物流系统的发展,自动导引搬运车系统(Automatic Guided Vehicle System,AGVS)得到了越来越多的应用。以玉溪红塔(烟草)集团为例,成品、辅料自动化物流系统包括两座自动化立体仓库:成品库、辅料库,共有 11 264 个货位,通过激光导引自动无人小车(AGV)、环形穿梭车、码垛机器人等众多自动化设备实现卷烟成品的自动入库存储、分拣发货及辅料的自动入库、生产领用^[1]。AGVS 控制系统能够在有限的仓储空间内,通过采集分布在各检测点的实时现场数据进行分析 and 计算,制定控制和调度策略,对并行的多个 AGV 设备进行实时监控和调度,从而实现对 AGVS 的控制。随着 FMS 和物流系统的规模不断发展和扩大,作业区域内需要监测的现场参数和需要控制的现场执行机构的数量也在不断增加,因此 AGVS 控制系统的控制算法和路径规划也愈加复杂。

无线传感反应网络(Wireless Sensor and Actuator Network,以下简称 WSN)是在无线传感器网络(Wireless Sensor Networks)中加入能量充足、具有较强计算和通信功能的执行器节点。传感器节点用于采集数据,并实时地把结果传送给相应的执行器,执行器节点根据接收到的信息,协作决策,并立即

完成指定的执行任务^[2]。加入执行器节点的无线传感器网络增加了网络的控制功能,而且传感器节点所检测到的信息可以直接传送给执行器节点,这样一方面缩短了网络中事件的响应时间,提高了效率,另一方面可以降低网络中的通信流量,减少节点的能耗,为无线传感器网络在更广泛领域内的应用和发展提供了新的思路。

国外研究人员已于 2004 年开始对带执行器节点的无线传感器网络展开研究,并对其在物流中的应用提出展望^[3-4];国内对于加入执行器节点的无线传感器网络的研究还刚刚开始,并且主要的重点在于网络原理和路由算法上,南京大学计算机软件新技术国家重点实验室曹晓梅等对 WSN 网络密钥管理模型的研究^[5];华中科技大学控制科学与控制工程系戴志诚等对带执行器节点的无线传感器网络的分簇算法的研究^[6]。而对于 WSN 在物流中应用的控制模型和控制算法的相关研究还未展开。

基于上述情况,提出了一种基于 WSN 的 AGVS 系统模型,该模型把系统中的监测机构作为传感器节点,把以 AGV 小车为主的执行机构做为执行器节点,组成 WSN 网络,AGV 的导航和协调机构利用传感器网络作为观测器,该网络中的传感器节点监测到的数据可直接传送给 AGV 小车,AGV 小车可以根据接收到的信息和预先存贮的信息通过数据融合,做出决

基金项目:国家自然科学基金(the National Natural Science Foundation of China under Grant No.60863004);国家高技术研究发展计划(863)(the National High-Tech Research and Development Plan of China under Grant No.2007AA010409);云南省自然科学基金面上项目(No.2007F040M)。

作者简介:王彬(1977-),女,博士研究生,讲师,主要研究领域为工业实时控制,任务调度与优化方法;张云生(1948-),男,教授,博导,主要研究领域为计算机实时控制,复杂控制系统;王剑平(1975-),男,博士研究生,讲师,主要研究领域为工业实时控制;张晶(1974-),男,博士,教授,主要研究领域为分布式并行计算。

收稿日期:2010-01-20 **修回日期:**2010-03-02

策,从而制定下一步的任务并加以实现。同时可以完成生产任务的最优调度和规避问题,并给出了一个仿真例子。

2 基于 WSN 的 AGVS 结构研究

2.1 AGVS 控制系统的结构图

2.1.1 传统的 AGVS 控制系统结构

现有的 AGVS 的控制原理如图 1 所示,分布在作业区域内的各个传感器(包括 AGV 本身的传感单元)检测现场信号,传送给 AGVS 主控计算机,AGV 主控计算机根据所得到的多个 AGV 的检测数据制定控制策略,并将命令传送给相应的 AGV 的执行机构。AGV 之间的协作是通过主控计算机的集中管理而完成的。在这种控制技术下,存在着以下缺点:

(1)所有传感器采集到的现场数据全部要传送给中控计算机而不是用到这些数据的某个 AGV,中控计算机的任务过重,处理速度较慢,降低了控制的实时性;

(2)多个 AGV 之间的协作和调度都是由中控计算机实现的,降低了系统的智能性和柔韧性;

(3)通信网络中的通信流量过大,节点能耗较大,降低了系统的可靠性。

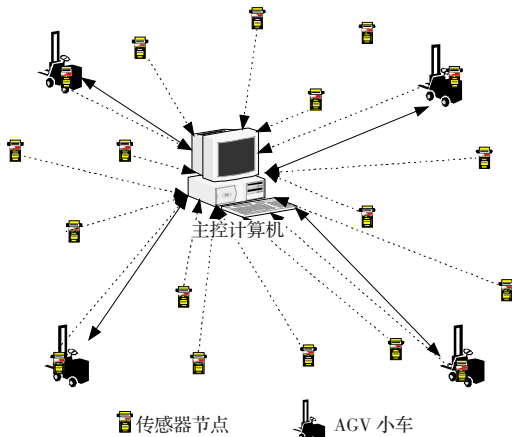


图1 现有的 AGVS 控制系统结构图

2.1.2 基于 WSN 的 AGVS 结构

在物流系统中,执行任务的主要是 AGV 群,它们是一种移动的执行单元,如上所述,以往 AGV 是根据中控计算机发送的命令进行动作。该文所讨论的用于 AGVS 的 WSN 系统模型如图 2 所示,作业区域是一个无线网络,所需检测单元和控制单元分布在该区域中,其中的传感器作为无线网络内的传感器节点采集现场数据,实时地把数据传送给相应的 AGV,每一个 AGV 作为一个执行器节点具有车载控制系统,AGV 根据接收到的信息可以完成自身控制策略的制定。同时,AGV 之间能够直接通信,交互协作,从而制定最佳的 AGVS 控制方案并实时地实现。上述行为可以直接在 WSN 中完成,但相关的实时数据和实时决策也将通过 sink 节点传送给中控计算机。其优点如下:

(1)传感器节点采集到的现场数据直接传送给相应的执行器节点,将信息量有效地分散开,加快了数据的传输和处理速度,提高了控制系统的实时性;

(2)AGV 自身的决策以及多个 AGV 之间的协作由 AGV 的车载控制系统完成,由于 AGV 之间可以直接进行通信交流,对 AGVS 的任务调度和最优路径选择提供了更好的解决方案,从而提高了系统的智能性和柔韧性;

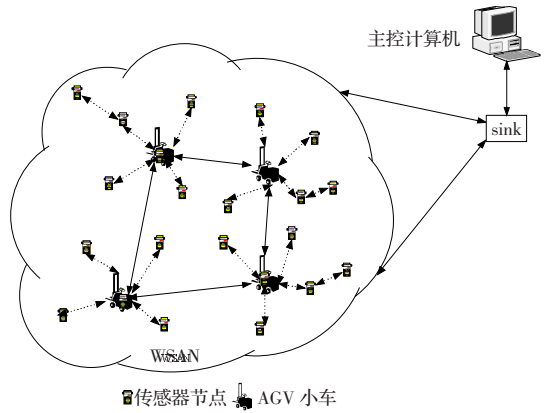


图2 基于 WSN 结构的 AGVS 控制系统结构图

(3)降低了网络中的通信流量和节点能耗,提高了系统的可靠性。

3 基于 WSN 的 AGVS 控制模型

3.1 控制系统模型的建立

该 AGVS 系统中的传感器和控制器是分布在 WSN 中的各个节点上,在制定控制规则时必须考虑如何将其分配在各个节点的处理单元上。一般说来,传感器节点只有有限的感知能力、计算能力和无线通讯能力,因此它的能耗和成本较低;而作为执行器节点的 AGV 则配置了更好的数据处理、无线传输和通讯能力,供电寿命也更长,这样能够将大部分的计算和动作集中在 AGVS 的执行器节点上。针对上述特点,令 AGVS 利用无线传感器网络(不包含执行器节点)作为整个控制系统的观测器,并将观测分布在网络上的各节点中。

如图 3 所示,对于图 2 中的 WSN,形成了 4 个简单的反馈控制回路,AGV 的执行机构反馈的现场数据与 AGVS 观测器,也即该 WSN 中的 WSN 观测到的各类数据汇总后,制定控制策略直接将其下达到具体的 AGV 控制器上,控制器控制执行器的动作完成当前控制任务。各控制回路之间可以直接通信,而各类实时数据和控制决策都将通过 sink 节点实时传送给中控机,中控机可以制定最高级别的控制决策,在必须的情况下可以跳过控制器直接干预某具体执行器的动作。假定该网络中所有通信信道符合要求,且每一个 AGV 都具备充足的计算能力和供电能力。

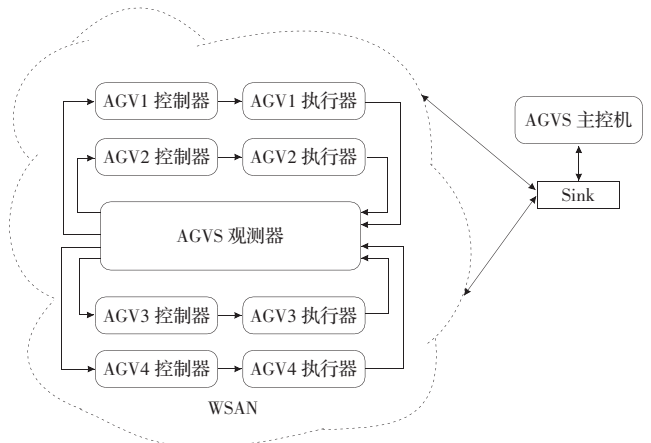


图3 基于 WSN 的 AGVS 控制系统模型图

3.2 传感器节点模型的选择及定位

系统的传感器节点模型选择了 Songhwei Oh 构建的模型

方法^[7],假定在 AGVS 的作业区 R 内部署了 N_s 个传感器节点,用于对 AGV 定位,以 $s_i \in R$ 作为第 i 个传感器节点的位置,并且 $S=\{s_i:1 < i < N_s\}$ 。

以 $R_{s_i} \in \mathbb{R}$ 表示对节点 i 的传感覆盖。如果目标 $x \in R$ 并且存在 i 使得 $r_i = \|s_i - x\| \leq R_{s_i}$, 那么传感器 i 可以探测到目标的检测强度 z_i 为:

$$z_i = \begin{cases} \frac{\beta}{\beta + \gamma r_i^\alpha} + \omega_i, & r_i \leq R_{s_i} \\ \omega_i, & r_i > R_{s_i} \end{cases} \quad (1)$$

其中 α, β 和 γ 为常数,根据特定的传感器进行取值。 ω_i 为广义高斯函数。

对每一个 i , 如果 $z_i \geq \eta$, η 是为检测可能性设定的一个阈值,节点传输 z_i 给相邻节点,相邻节点与 s_i 的距离最大为 $2R_s$,且可从距离小于 $2R_s$ 的相邻节点接收检测消息。此处假定每一个节点的通信范围大于 $2R_s$ 。那么对于给定的节点 i ,如果 z_i 比所有输入信息的信号强度 $z_{i1}, z_{i2}, \dots, z_{ik-1}$ 都大的话,并且 $z_{ik} = z_i$,那么 AGV 的位置可估算为:

$$\hat{z}_i = \frac{\sum_{j=1}^k z_{ij} s_{ij}}{\sum_{j=1}^k z_{ij}} \quad (2)$$

如果 z_i 不是所有输入的信号强度中的最大值,那么该传感器节点 i 继续检测。直到 z_i 为最大。尽管一个传感器节点无法给出目标 AGV 的准确位置,但是网络中的若干个传感器同时检测目标 AGV,根据来自可测到目标的多个传感器的数据融合就可对目标 AGV 进行较为准确的定位。

4 分布式路径规划决策方法

4.1 分布式路径规划原则

AGVS 有多台 AGV 协同工作,由于传统的 AGVS 由中控机进行统一的路径规划控制,通过各种路径规划算法,根据所需执行的任务以及各 AGV 小车的当前位置,来实现车辆的动态调度,从而实现由距离最近的 AGV 以最小路径到达目的地执行当前任务。

在提出的基于 WSN 的 AGVS 中,由于控制可部分由执行器节点自行决策,因此路径规划方法和传统的 AGVS 有较大的不同,遵循的是分布式的控制决策原则,其要点如下:

(1)如图 3 所示,在 WSN 中有若干个小的反馈控制回路,以 WSN 形成的系统观测器连接在一起。这意味着每一个控制回路都是一个相对较为独立的控制系统,可进行一定的独立控制决策。由于路径规划是基于 AGV 的当前位置进行的,并且 AGV 的位置变化是随时更新的,因此,在每一个 AGV 车载控制器内都有一个 AGVS 系统内所有 AGV 的实时位置状态表并进行实时更新,状态信息的传递在 AGV 之间直接进行,同时所有的状态都将同步上传给中控计算机;

(2)作为执行器节点的 AGV 是 AGVS 的中心节点,各执行器节点之间是平等的;

(3)执行器节点可接受来自 AGV 控制器和中控计算机的控制决策,大部分的控制决策由 AGV 控制器完成,少数由中控计算机完成;

(4)控制决策的优先级:控制中心优先级高于 AGV 单机。

4.2 分布式路径规划算法

在分布式规划算法中,按照 3.2 中描述的定位算法,传感器检测并计算新的定位信息,各个 AGV 车载控制系统实时对作业空间中的情况进行分析,修改位置空间模型并进行重新规划,重新通信与协商,其路径规划算法采用的规划流程如图 4 所示。

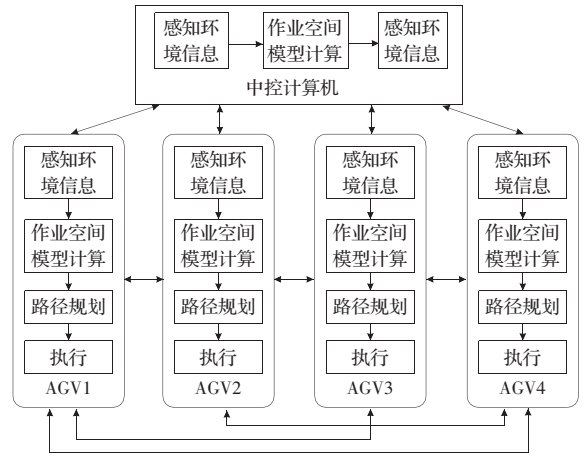


图 4 分布式路径规划流程图

5 例子

针对上述研究,以昆明卷烟厂物流系统中的软包卷烟区的 AGV 系统为研究对象,建立了一个基于 WSN 的 AGVS 控制系统模型。在该系统中共有 6 台 AGV,每台 AGV 都配置有车载嵌入式控制器,用于运送卷烟辅料、丝束包及废烟、废料箱。在辖区内设置一台 AGVS 中控机,它与生产调度计算机联系,接受装卸货需求指令,下与车辆保持通讯,监控系统状态,并可下达工作命令。

根据作业区域制定合理的探测域(Sensing Field),在该探测域内部署大量的传感器节点,节点通过自组织方式构成网络,鉴于 3.2 中传感器节点模型的定位原理,当前的节点部署原则是:行车区域采用行列规则排列;装卸货区采用探测域边界规则排列。

采用 UC Berkely 大学开发的 PtolemyII^[8]软件设计了该 AGVS 系统 WSN 网络的仿真模型。图 5 给出了模型框架。整个系统处在无线执行器也就是 6 台 AGV 的统筹下。布置了 8 行×12 列的行车区域传感器节点。图 6 是执行器节点 AGV 的控制算法模型,主要是在 AGV 的车载控制器中完成对传感器节点所检测到的数据的处理;图 7 是对其中一台 AGV 在 WSN 中对指定目标位置的定位效果所做出的仿真结果,图中

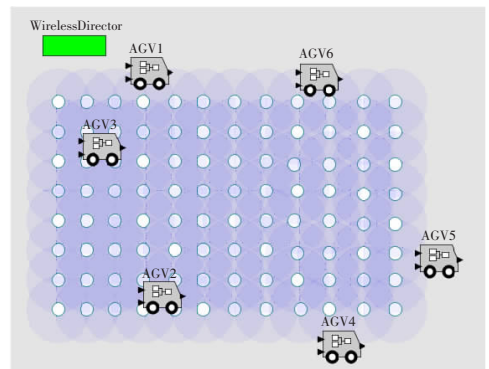


图 5 行车区域模型框架

“x”轨迹为指定的路线;“●”轨迹为 AGV 的路线。结果表明,在一定的探测域内合理部署传感器节点的情况下,AGV 的定位是满足要求的。进一步的多个 AGV 协同作业模型验证正在研究之中。

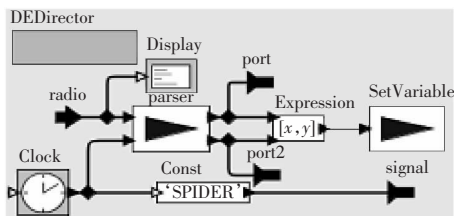


图6 控制算法模型图

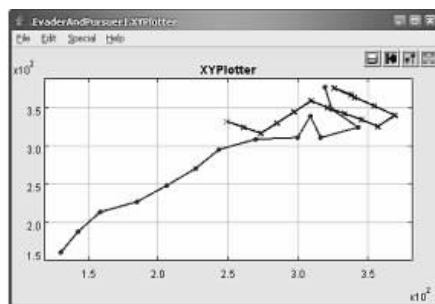


图7 定位仿真结果

6 结论

无线传感反应网络具有分布性、协同性、可移动性和自组织性等特性,对于柔性制造系统和物流系统中承担主要作业任务的 AGVS 有很好的适用性。提出了一种基于 WSN 的 AGVS 系统结构,重点研究并提出了采用 WSN 中的传感器网络作

为系统观测器的思想,描述了该思想的系统控制模型;对其传感器节点模型和定位算法进行了深入研究并进行了仿真验证;对分布式控制策略进行了初步的讨论。所提出的模型和方法对 AGVS 控制系统的发展和新技术的应用有实际意义。

参考文献:

- [1] IBM.玉溪红塔(烟草)集团成品、辅料自动化物流系统[EB/OL].[2009].
http://www-900.ibm.com/cn/smb/industries/manu/hongta_case.shtml.
- [2] Akyildiz I F, Kasimoglu I H. Wireless sensor and actor networks: Research challenges[J]. Ad Hoc Networks Journal, 2004, 2(4): 351-367.
- [3] Jedermann R, Behrens C, Laur R, et al. Intelligent containers and sensor networks, Approaches to apply autonomous cooperation on systems with limited resources[C]//Hülsmann M, Windt K. Understanding Autonomous Cooperation & Control in Logistics The Impact on Management, Information and Communication and Material Flow. Berlin: Springer, 2007: 365-392.
- [4] Marin-Perianu M, Meratnia N, Havinga P, et al. Decentralized enterprise systems: A multiplatform wireless sensor network approach[C]// IEEE Wireless Communications, 2007.
- [5] 曹晓梅, 李成法, 叶懋, 等. WSN 网络密钥管理模型的研究[J]. 计算机应用与软件, 2005, 20(4): 41-44.
- [6] 戴志诚, 冉启月, 汪秉文. 带执行器节点的无线传感器网络的分簇算法[J]. 计算机工程与应用, 2007, 43(10): 149-151.
- [7] Oh S, Schenato L, Sastry S. A hierarchical multiple-target tracking algorithm for sensor networks[C]//Proc of the International Conference on Robotics and Automation, April 2005.
- [8] Ptolemy II. Heterogeneous model and design [EB/OL].[2009].
http://ptolemy.eecs.berkeley.edu/ptolemyII.

(上接 2 页)

$$E_0(C) = E_0(C_1 \otimes C_2) = E_0(C_1) \cup E_0(C_2);$$

$$E_0(C) = E_0(C_1 \rightarrow C_2) = E(C_1) \cap E_0(C_2);$$

$$E_0(C) = E_0(C_1 \wedge C_2) = E_0(C_1) \cup E_0(C_2).$$

利用归纳假设知 $\mu E_0(C_1) = \mu E_0(C_2) = 0$ 或 1 , 从而 $\mu E(C_1) = \mu E(C_2) = 1$ 或 0 . 从而, 测度为 0 或 1 的集合之间取交、并运算后所得的集合, 测度仍为 0 或 1 , 从而结论得证。

定理 4 若逻辑系统中的非运算为 $\neg_{\alpha x} = \begin{cases} 1, & (x=0) \\ 0, & (x \neq 0) \end{cases}$, 那么真度为零的公式是此系统所对应空间中的孤立点。

证明 设逻辑公式 A 的积分真度为 0 , 即 $\tau(A) = 0$, 从而知 $\exists E \subset \Omega, \forall v \in \Omega \setminus E$ 有 $\bar{1}(v) = 0$ 且 $\mu E = 0$. 假设 A 不是此空间中的孤立点, 那么 $\forall \varepsilon > 0, \exists B \in F(S)$, 使得 $0 < \rho(A, B) < \varepsilon$, 即

$$1 - \varepsilon < \int_{\Omega} \overline{(A \rightarrow B) \wedge (B \rightarrow A)} d\omega < 1 \Leftrightarrow$$

$$1 - \varepsilon < \int_{\Omega \setminus E} \overline{(A \rightarrow B) \wedge (B \rightarrow A)} d\omega < 1 \Leftrightarrow$$

$$1 - \varepsilon < \int_{\Omega \setminus E} \overline{(\neg_0 B)} d\omega < 1 \Leftrightarrow 1 - \varepsilon < \int_{\Omega} \overline{(\neg_0 B)} d\omega < 1 \Leftrightarrow$$

$$1 - \varepsilon < \tau(\neg_0 B) < 1$$

不妨设 $\tau(\neg_0 B) = a \in (1 - \varepsilon, 1)$, 由此系统中 \neg_0 的定义可知, 函数 $\overline{(\neg_0 B)}$ 的取值非 0 即 1 , 又因为 $\tau(\neg_0 B) = a$ 那么 $\mu E_0(\neg_0 B) = 1 - a$. 然而由命题 2 的分析可知, 此类系统中不存在公式 B , 使得 $\mu E_0(B) = a \in (0, 1)$. 所以满足条件的公式不存在, 故 A 是孤立点。

注 Gödel 与 Goguen 系统中 \neg 运算就是上述情形, 故此两

系统中真度为零的公式, 如 $\neg p$ 就是逻辑度量空间中的孤立点, 即没有一列与 $\neg p$ 不等价的公式 (或积分相似度为 0 的公式) 可以逼近于它 (在 ρ 的意义下)。有了对于孤立点分布情形的讨论, 知 Gödel 系统中 $\neg p$ 公式为孤立点的情形只是少数, 而大部分真度不为零的公式均不是孤立点。

参考文献:

- [1] 胡世华, 陆钟万. 数理逻辑基础[M]. 北京: 科学出版社, 1983.
- [2] 王元元. 计算机科学中的逻辑学[M]. 北京: 科学出版社, 1989.
- [3] Hamilton A. Logic for Mathematicians[M]. London: Cambridge University Press, 1978.
- [4] Gottwald S. A treatise on many-valued logics[M]. Baldock: Research Studies Press, 2001.
- [5] 王国俊. 数理逻辑引论与归结原理[M]. 2 版. 北京: 科学出版社, 2006.
- [6] 惠小静, 王国俊. 概率逻辑伪度量空间及其性质[J]. 模糊系统与数学, 2007, 21(5): 1-7.
- [7] 惠小静, 王国俊. D-逻辑度量空间与近似推理[J]. 南京大学学报, 2007, 24(2): 249-257.
- [8] 惠小静, 李宏设. D-逻辑度量空间中的相容理论[J]. 模糊系统与数学, 2009, 23(2): 12-17.
- [9] 王国俊, 王伟. 逻辑度量空间[J]. 数学学报, 2001, 44(1): 159-168.
- [10] 王国俊. 非经典数理逻辑引论与近似推理[M]. 2 版. 北京: 科学出版社, 2008.
- [11] Esteva F, Godo L. Monoidal t -norm based logic: towards a logic for left continuous t -norm[J]. Fuzzy Sets and Systems, 2001, 124(3): 271-288.