

智能规划及其应用的研究

On the Intelligent Planning and its Applications

丁德路 姜云飞

(中山大学计算机软件研究所 广州510275)

Abstract Now Intelligent Planning is a very hot branch in AI. Because of its wide application researchers pay much attention to planning technology. The paper surveys the origin and development of intelligent planning and its applications, briefly states its typical methods, and analyses the difficulties in applications, then describes developing trends.

Keywords AI, Intelligent planning, Planning application

一、引言

在人工智能(AI)的研究中规划是其较早的研究领域之一,可以追溯到60年代,1957年 Newell 和 Simon 的问题求解程序(GPS)、Green 的 QA3系统^[1],1971年 Fike 和 Nilsson 的 STRIPS 系统^[2]在智能规划领域中具有划时代的意义,使得规划可以非常容易地进行描述和操作,但由于受到当时客观条件的制约,该领域一直处于较为保守的状态。近几年来,随着客观条件的改善,世界上特别是一些发达国家在此领域获得了长足的发展,在国防和空间技术领域得以应用,取得了巨大的经济和社会效益,NASA 于1999年在航天器“Deep Space One”中运用规划技术,使得规划研究从实验室向实际应用迈出了重要的一步,标志着规划的研究步入了实用阶段,在人工智能领域形成了智能规划这一当前研究的热点,但是在我国关于规划理论和应用的研究还处于初级阶段,这里我们对智能规划的研究做了简单的介绍,希望能为研究与关心该领域的学者提供一点方便。

智能规划是一个多领域交叉的领域,它涉及知识表达、知识推理、非单调逻辑、情景演算、人机交互和知识挖掘等方面,本文将结合规划理论和实际应用两个方面,重点讨论规划技术的研究现状及面临的问题,试图勾画出目前规划研究的重要方面、关键技术和其发展趋势。

二、规划及其求解方法

McDermott 和 James Hendeler 认为“规划就是设计某个(组)实体(Entity)的动作序列,其结果被称之为规划解(Plan)”^[3]。Deepak Kumar 更加形象地说“Planning=How do I get from here to there?”。在人工智能领域,规划目前还没有一个统一的定义,直观地说,一个规划解实质上就是一个动作序列,此序列能够实现某一目标,智能规划就是设计这个动作序列的过程,也就是说它主要解决怎么做,而不解决为什么。

在做规划之前,我们做以下的假设:(1)动作的执行前件是确定的;(2)动作的执行后件是确定的;(3)规划是动作的序列。通常,我们把满足以上假设的规划称之为“经典的规划”^[4]。例如地图着色问题就是经典的规划问题。现在,有一部分研究人员正在放宽此假定,研究在任意现实情况下的

规划,我们把凡是不满足上述假定条件的规划称之为“非经典的规划”。在这篇文章中,我们主要以经典的规划来讲述规划问题。

规划问题由于其自身的特点,它至少包括三个部分:初始状态、目标状态和动作。初始状态和目标状态是规划问题的起点和终点,动作是可能由初始状态到达目标状态的一系列可执行的动作。初始状态和目标状态属于状态的描述,一般用一阶逻辑或命题逻辑来表示。动作(也有叫操作的)主要包括三部分:动作名称、动作前件和动作后件。有时还需要考虑花费情况即考虑动作的开销(cost)或资源的占用等。

Qiang Yang^[5]把 STRIPS 规划问题定义为一个三元组: $\langle \text{init}, \text{goal}, O \rangle$,其中,Init 是初始状态文字的集合,即初始世界模型;Goal 是目标状态文字,即目标状态模型;O 是规划操作(动作)的集合,也有的称之为域理论。一个完全实例化了的操作的序列 Π 称为 STRIPS 规划问题的一个解,即一个规划解,此时每一个操作被称为一个步骤。

综合目前我们看到的论文和有关资料,人们除了采用 STRIPS 形式来描述规划问题外,还提出了其他的形式¹来描述规划问题:命题逻辑^[6~9],如 WalksatPlan、WATPLAN、Blackbox、MIPS、PropPlan 和 BDDPlan 等;本体论(Ontology)^[10],具有代表性的有 Currie 和 Tate 的 O-PLAN;规划图^[11],如 GraphPlan、IPP、FF、SHOP 和 ALTALT 等等。上述这些规划器都是在 STRIPS 表达形式的基础上做了进一步的扩充。

由于描述形式的不同,决定了它们解决规划问题的方法也不一样,大致可以分为以下几种规划解决方法:

- 1) 基于逻辑(Logic-Based)的方法:也有称之为基于变化(Change-Based)的规划,以非单调逻辑(缺省逻辑、模态逻辑等)为其理论基础。
- 2) 基于操作(Operator-Based)的方法:把动作(Action)表示成操作(Operator)的形式,这一方法也叫 STRIPS 方法。
- 3) 基于时间(Time-Based)的方法。
- 4) 基于事例(Case-Based)的方法。
- 5) 基于约束(Constraint-Based)的方法。
- 6) 互操作(Reactive approaches)方法。
- 7) 分布式规划(Distributed Planning)。

丁德路 硕士研究生,研究方向为智能规划及其应用。姜云飞 教授,博士生导师,研究领域为人工智能、智能规划和诊断。

¹规划问题领域描述语言有:PDDL(Planning Domain Definition Language)、ADL(Action Description Language)、RPL(Reactive Plan Language)、DDL 等。

三、规划的复杂度

虽然人们对规划问题的研究已经五十多年了,到目前也已经提出了各种各样的解决方案,但是由于规划问题是一个非常难解决的问题,因此现在能够解决的规划问题还只是局限于一些象积木世界这样的小问题领域等,关于现实世界中的一些大而复杂的规划问题仍然没有能够很好地解决,下面我们来看一看对于规划问题从理论上分析其计算复杂性的结论:

1)1985年 John Canny 证明了形式化的 STRIPS 规划问题是一个 PSPACE 完全问题^[12]。

2)Gupta 和 Nau 于1991年证明:不论采取什么样的形式化系统,积木世界问题总是 NP 难题^[13]。

3)领域相关的规划问题至少是 NP 完全的^[14,15]。

4)领域无关性的规划问题是 PSPACE 完全问题或更难^[16,17]。

5)Bernhard Nebel 于1994年证明了规划问题是 NP 难题^[18]。

6)Selman 于1994年进一步指出:类似于规划的问题是 NP 完全的或更难的^[19]。

现在所能解决的规划问题还有很大的局限性,也正因如此,规划问题的研究才具有很大的挑战性,使得一些人工智能方面的研究者乐此不彼。

四、规划器概述

人们对规划器的研究已经有半个世纪了,最早可以追溯到1956年 Newell、Shaw 和 Simon 设计的 Logic Theorist,这个系统采用了启发式信息和反向搜索技术,随后他们设计的 GPS 系统把领域知识与一般的搜索控制信息相分离,上述两个系统特别是 GPS 在人工智能领域中具有非常重要的地位,但他们还不是真正面向规划问题研制的智能规划系统。

1969年 Green 通过归结定理证明的方法来进行规划求解,并且设计了 QA3系统^[1],这一系统被大多数的智能规划研究人员认为是第一个规划器,原因就在于它是第一个面向现实规划问题提出的规划系统;1971年 Fikes 和 Nilsson 设计的 STRIPS 系统^[2]在智能规划的研究中具有重大的意义和价值,他的突出贡献是引入了 STRIPS 操作符的概念,使得原来很神秘的规划问题求解变得明朗清晰起来;此后到1977年先后出现了 HACKER、WARPLAN、INTERPLAN、ABSTRIPS、NOAH、NONLIN 等规划系统。在这十年时间人们研究智能规划比较热,普遍认为规划问题必须用定理证明的理论来解决,直到 Chapman 设计的规划系统 TWEAK^[16]出现,突破了这一观点,Chapman 详细全面地分析了利用定理证明理论解决规划问题中的关键问题:模型与规划解的对应关系。此后到1990年十年间人们对智能规划的研究陷入了低谷,这十年间仅有 SIPE、ABTweak 和 Prodigy 等较少的智能规划器出现。

1991年 Soderland 和 Weld 等人设计了世界上第一个完备、完全、系统的非线性规划器 SNLP^[20,21],奠定了现代非线性规划系统的基础。1992年 Kautz 等把规划问题求解转化为约束可满足问题^[6-8],一反定理证明式求解方式,利用在约束可满足问题算法上的突破,有效地解决了部分规划问题。基于此理论的 Blackbox 规划器在第一届智能规划器的比赛上表现了非凡的解决问题的能力,一举夺魁,开辟了解决规划问题

的又一新途径。1997年 Avrim Blum 等设计的图规划系统 Graphplan^[11]第一次采用图的方式来解决规划问题。后来很多规划系统都采用了图规划系统的方法,参加第一届智能规划比赛的规划器除委内瑞拉的 HSP 外,其它四个规划器 SGP、Blackbox、IPP 和 STAN 都或多或少地采用了图规划的技巧,并且对图规划做了相应的扩充:SGP 加入了用户互操作界面;Blackbox 则综合了基于规划图的快速规划扩展和基于 SAT 的规划验证快速的优点;IPP 扩充了图规划的问题描述语言,支持 ADL 规划描述语言,它能够处理条件效果等,这样它的表达能力比图规划器要强大;STAN 在减少搜索和构造规划图的费用上做了扩充。这些规划算法都是偏序或非线性的规划,此次比赛表明偏序方法在规划求解中具有举足轻重的地位。两年以后,在第二届规划比赛上,偏序规划的思想得到了进一步验证,并且在规划过程中规划知识被人们广泛关注。在参加比赛的十六种规划器中采用启发式知识的有十一个,并且采用启发式知识的规划器比没有采用启发式知识的规划器得到的规划解效果好:例如比赛评委评选出的最佳规划器 Talplanner 和 FF,以及排名其次的 STAN、HSP2、MIPS 和 System R 都是采用启发式知识的规划器,在此次比赛中采用启发式知识的规划器表现出很强的问题求解能力,而第一届比赛的冠军 Blackbox(Graphplan+Sat)则由于没有采用启发式知识在此次比赛中表现不如人意。

综上所述,规划问题求解从最初的定理证明方法到 STRIPS 方法是问题求解方法上的转变,然后又发展了非线性规划器,采用目标导向的方式来生成规划:一方面使得规划的生成速度大大提高;另一方面,由于是目标导向的生成方式,因此生成规划的质量比较好。现在人们又在此基础上加入了启发式信息,进一步提高规划求解的效率。

五、规划研究项目和有关的会议情况

与规划相关的主要项目(计划)情况:

1)美国国防部高级研究计划局 DARPA(the Defense Advanced Research Projects Agency)和 Rome 实验室的 D A RPA-Rome Planning Initiative (ARPI)计划^[22]。在1991年2月该计划正式启动,主要针对军事中空军规划问题进行研究,现在已进行到第六阶段,目前为止总投资额已经超过7千万美元,同时该项计划也产生了巨大的社会效益,据1994年美国的一份商业报告称:仅后勤支援计划 DART(ARPI 的一部分)这一子项目在沙漠风暴行动中的应用价值就足以抵上政府在 AI/KBS 研究中30年所投资的总额。美国一流的科研机构和著名的公司都参加了该计划,主要有:布朗大学、卡内基-梅隆大学、ISX 公司、Kestrel 学院、西北大学、洛氏国际(Rockwell)、SRI 国际、斯坦福大学、夏威夷大学、马里兰大学、俄勒冈大学和华盛顿大学等。

2)欧洲 PLANET 计划^[23]。此项计划开始于1998年10月1日,是由 Esprit 基金资助的,目前已经有14个国家共58所高校、科研院所和企业参加了这一计划,在欧洲这是一个非常庞大的计划,投入了巨大的人力、物力和财力,目前参加的国家包括:比利时、塞浦路斯、法国、德国、希腊、匈牙利、意大利、荷兰、挪威、葡萄牙、西班牙、瑞典、瑞士和大不列颠联合王国。这些国家著名的高等学府、科研机构大都参加了这一计划。

3)美国国家航空和宇宙航行局也投入了大量的人力、物力,开展关于规划理论及其应用的研究;并且将之应用于宇宙飞船等航空器上^[24]。

4)英国的国家航空和宇宙航行局也赞助了 EUMETSAT 项目^[25]。

这些项目有力地推动了规划理论和应用的研究,世界上关于智能规划的专题会议等活动也渐渐地增多起来,目前比较重要的会议有:两年一届的 AIPS 会议、ECP 欧洲规划会议(European Conference in Planning)、美国国家航空和宇宙航行局举办的 NASAPS、IJCAI 中也有专门针对规划议题的讨论等等。

六、智能规划应用研究现状及其分析

上面我们描述的都是通用规划器系统,它们与十年前的规划器相比,发生了巨大的变化,在数分钟内可以合成包括上百条动作的规划,能够解决一些领域中较为复杂的问题。但是,一般来讲规划问题都是非常复杂的问题,如果不对它们进行处理,大部分将很难完全解决;另一方面由于规划问题又是多种多样的,对所有的规划问题以统一的方式来处理也是不现实的,因此人们针对不同的规划问题提出了与其相适应的具有具体规划问题特殊性的规划器,比较典型的有以下几种:

1)欧洲空间署(European Space Agency)用于 Ariane 火箭上的 Optimum-AIV 规划系统^[26]。

2)NASA 运用在它的远空间通讯网络中的 DPLAN 规划系统^[27],和用于视觉图像的处理上的 VICAR 系统^[28]。

3)NASA 在1999年5月17日通过 DS1太空船成功地发射了 RAX(Remote Agent experiment),RAX 共有三部分组成:基于约束的规划和调度系统、智能执行系统和基于模型的证明(鉴定)及修复系统。

4)杰克逊于1998年把智能规划系统用于程序验证上,发现了一些协议的臭虫。

5)软件机器人(Softbots,software robots)^[29-35],用于 Internet 网络上的智能代理(Agents)、程序设计助手、游戏中的智能角色等。

6)路由选择^[36]。

7)工厂生产规划^[37]。

8)也可以用于:诊断、故障发现、用户建模、合成、实验设计等等。

综合以上的规划系统及其应用,我们可以看到规划应用主要集中在以下问题领域:1)调度问题,动作是确定的(已知),求它们的执行顺序。2)规划管理。3)符号控制。4)诊断及故障发现。

虽然现在智能规划取得了巨大的进展,但是对现实规划问题研究后发现:要想利用规划器解决实际问题,还必须对目前的表达描述能力和规划求解能力进行扩充。作者在利用现在的规划器解决现实问题的时候也遇到了类似的问题,下面我们将讨论一些我们在规划应用过程中遇到的几个问题:数字化推理、执行检测、并行计算、与用户交互、重新规划、可升级性和资源(时间、空间、对象等)约束分配、上下文依赖效果等问题描述语言的描述能力的扩充等。

数字化推理在我们研究过的现实问题领域中是非常重要的,一般是关于时间、资源和目标等的量化表示,现在资源的表示还局限在具体的资源对象上,这样的表示方法仅仅适应资源数目很小的情况,不适应数量增大的情况,并且不能进行关于资源方面的推理,如关于时序(时态)的推理等,现在人们大多利用时序逻辑来表示时间资源解决这一问题。

在现实的生产生活中人们做规划的目的不仅仅是制定一

个规划,而是要利用此规划来控制现实世界中的一些动作达到人们的目的,因此一个实际可用的规划系统必须具有支持执行检测和在执行过程中对规划进行持续修订的能力。

现实世界中各种代理都是相互协调地进行工作,其动作的执行有些必须是并行的,因此并行性是规划器所必须具备的功能之一。由于规划系统一般包括规划生成子系统和规划执行子系统,这样共有四种情况:单产生规划主体单规划执行主体、单产生规划主体多规划执行主体、多产生规划主体单规划执行主体和多产生规划主体多规划执行主体。至于在具体的规划问题领域内采用哪种规划模式要参照实际问题的领域特点,选择与问题领域相适应的规划模式,而不是象现在这样只是产生一个动作的全序列。

很多的规划问题都很难完全对其进行模型化,因此在规划的过程中必须加入人的干预(指导规划器产生新的规划及评估已经产生的规划),使得规划器可以利用人的经验等知识,因此与人的交互是解决现实规划问题的一个重要的特征。

在现实生活中,因为周围的环境是不断变化的,对于一个复杂的规划问题,一次规划可能不会成功,甚至有时是不确定的,这时候就需要重新规划,怎样利用原来的规划结果尽量快速地产生质量较好的规划是这一问题的关键。

关于动作的执行条件方面的描述也需要扩充,仅仅依靠 STRIPS 方法不能满足实际需要,例如上下文依赖条件效果等不能利用纯 STRIPS 方式来描述

七、智能规划研究中的关键问题

通过上述的描述,关于未来规划器我们可以得到以下结论:

1. 关于规划问题在知识表达上必须寻求表达能力更加强大的知识表达方式,设计更能全面反映现实问题的描述语言:目前规划描述语言对有些问题不能全面描述、甚至有些问题根本无法描述,所以要想解决此类现实问题必须重新设计新的问题描述语言。目前解决现实问题大多都是针对某一特定问题设计合适的描述系统,如 Deep Space One 等。以后当有一种普遍适用的规划描述系统出现时,才有可能使得规划求解变得更加普遍。为此要尽量达到以下三个目标:1)提高问题领域知识的利用率;2)缩小问题空间;3)减少规划空间。

2. 充分利用显式知识,并且有效地挖掘蕴涵的知识,开发基于知识的规划系统,利用各种知识来提高规划的生成、执行和修复(重新规划)效率:1)充分利用问题领域的隐含信息;2)充分利用专家知识提高部分规划选择的正确率;3)利用规划系统本身以往的规划知识,使规划系统具备学习的功能;4)挖掘关于“好规划”的知识,开发规划的评价函数,用于控制搜索方式和搜索分支。

3. 设计更加高效的规划算法。

4. 新一代的智能规划器应该是基于知识的。

5. 基于交互的智能规划器具有强大的生命力:在规划的生成过程中要允许人工的干预,以指导规划器的规划过程,开发基于交互的智能规划器。

6. 尽可能地减小搜索空间以提高效率。

参考文献

- 1 Green C. Application of theorem proving to problem solving. In: Proc. 1st Int. Joint Conf. AI. 1969. 219~239
- 2 Fikes R, Nilsson N. STRIPS: A new approach to the application of

- theorem proving to problem solving. *Artificial Intelligence*, 1971, 2:189~208
- 3 McDermott D. et al. Planning: What it is, What it could be. An introduction to the Special Issue on Planning and Scheduling. *Artificial Intelligence*, 1995, 76:1~16
 - 4 Weld D S. Recent Advances in AI Planning. *Artificial Intelligence (to appear)*. 1999. <ftp://ftp.cs.washington.edu/pub/ai/pi2.ps>
 - 5 Yang Qiang. *Intelligent Planning A Decomposition and Abstraction Based Approach*. Berlin: Springer, 1997
 - 6 Kautz H, McAllester D, Selman B. Encoding plans in propositional logic. In: *Proc. 5th Int. Conf. Principles of Knowledge Representation and Reasoning*, 1996
 - 7 Kautz H, Selman B. Pushing the envelope: Planning, propositional logic, and stochastic search. In: *Proc. 13th Nat. Conf. AI*. 1996. 1194~1201
 - 8 Kautz H, Selman B. Blackbox: A new approach to the application of theorem proving to problem solving. In: *AIPS98 Workshop on Planning as Combinatorial Search*. 1998. 58~60
 - 9 Kautz H, Selman B. The role of domain specific knowledge in the planning as satisfiability framework. In: *Proc. 4th Intl. Conf. AI Planning Systems*. 1998
 - 10 Tate A, Drabble B, Dalton J. O-Plan: a Knowledge-Based Planner and its Application to Logistics. AAAI Press, Menlo Park, California. May 1996. <ftp://ftp.aiia.ed.ac.uk/pub/documents/1996/96-arpi-oplan-and-logistics.ps>
 - 11 Blum A, Furst M. Fast planning through planning graph analysis. In: *Proc. 14th Int. Joint Conf. AI*. 1995. 1636~1642
 - 12 Canny J. Unpublished Observation. 1985
 - 13 Gupta N, Nau D S. Complexity results for blocks-world planning. In: *Proc. Ninth National Conf. on Artificial Intelligence*. 1991. 629~633
 - 14 Chenoweth S V. On the NP-hardness of blocks world. In: *Proc. of the Ninth National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-91)*. Anaheim, CA. 1991. 623~628
 - 15 Gupta N, Nau D S. On the Complexity of Blocks-World Planning. *Artificial Intelligence*, 1992, 56(2-3):223~254
 - 16 Chapman D. Planning for conjunctive goals. *Artificial Intelligence*, 1987, 32(3):333~377
 - 17 Bylander T. Complexity results for planning. In: *Proc. of IJCAI91*. 1991. 274~279
 - 18 Nebel B. On the computational complexity of temporal projection, planning, and plan validation. *Artificial Intelligence*, 1994, 66(1):125~160
 - 19 Selman B. Near-Optimal Plans, Tractability, and Reactivity. In: *Proc. KR-94*. 1994. 521~529
 - 20 Soderland S, Weld D. Evaluating nonlinear planning: [Technical Report TR 91-02-03]. University of Washington CSE. 1991
 - 21 McAllester D, Rosenblitt D. Systematic Nonlinear Planning. AAAI-1991. <ftp://ai.mit.edu/pub/dam/aaai91c.ps>
 - 22 <http://arpi.isx.com/arpi.html>
 - 23 <http://planet.dfki.de>
 - 24 <http://www-aig.jpl.nasa.gov/public/planning/index.html>
 - 25 <http://www.eumetsat.de/>
 - 26 Aarup M, et al. Optimum-AIV, a knowledge-based planning and scheduling system for spacecraft AI. *Intelligent Scheduling*. Morgan Kaufmann. 1992
 - 27 Chien S A, et al. Automated generation of tracking plans for a network of communication antennas. In: *Proc. 1997 IEEE AeroSpace Conf.* 1997
 - 28 Chien S. Using AI techniques to automatically generate image processing procedures: a preliminary report. *Proc. AIPS 94*
 - 29 Etzioni O, Weld D S. A softbot-based interface to the Internet. *Communications of the ACM*, 1994, 37(7)
 - 30 Weld D S. Planning-based control of software Agents. *AIPS-1996*. <ftp://june.cs.washington.edu/pub/ai/weld-aips96.ps>. Z
 - 31 Etzioni O. A Softbot-Based Interface to the Internet. *CACM*. July 1994 <ftp://ftp.cs.washington.edu/pub/etzioni/softbots/cacm.ps>
 - 32 Weld D S. Planning to Gather Information. AAAI. Aug. 1996. <ftp://ftp.cs.washington.edu/bub/ai/occam-aaai96.ps>
 - 33 Channou D, et al. Very Fast Motion Planning for Dexterous Robots. *IEEE International Symposium on Assembly and Task Planning* Aug. 1995
 - 34 Olawsky D, Gini M. Deferred Planning and Sensor Use, in *Innovative Approaches to Planning, Scheduling and Control*. In: *Proc. 1990 DARPA Workshop*. M. Kaufmann. 1990
 - 35 Etzioni O. Efficient Information Gathering on the Internet. *FOCS 1996*. <ftp://ftp.cs.washington.edu/pub/etzioni/softbots/focs96.ps.gz>
 - 36 Erdem E, Lifschitz V, Wong M. Wire Routing and Satisfiability Planning. In: *Proc. of the First Intl. Conf. of Computational Logic*, 2000
 - 37 Nau D, Gupta S, Regli W. AI planning vs manufacturing-operation planning: a case study. *IJCAI 1995*. <http://elara.salford.ac.uk/plansig/papers/nau-ijcai95.pdf>

(上接第126页)

- 13 Keogh E J, Pazzani M. An Indexing Scheme for Fast Similarity Search in Large Time Series Databases. In: *Proc. 11th Intl. Conf. on Scientific and Statistical Database Management, SSDBM'99*, Cleveland, OH. IEEE Computer Society. 1999. 56~67
- 14 Agrawl R, Faloutsos C, Swami A N. Efficient similarity search in sequence database. In: D. Lomet, ed. *Proc. of the 4th Intl. Conf. of Foundations of Data Organization and Algorithms (FODO'93)*, Vol. 730 of Lecture Notes in Computer Science, Springer, 1993. 69~84
- 15 Faloutsos C, Ranganathan M, Manolopoulos Y. Fast subsequence matching in time-series databases. In: *Proc. 1994. ACM-SIGMOD Intl. Conf. Management of Data*, Minneapolis, May 1994. 419~429
- 16 Huhtala Y, Karkkainen J, Toivonen H. Mining for similarities in aligned time series using wavelets. Part of the SPIE Conference on Data Mining and Knowledge Discovery: Theory, Tools and Technology. Orlando, Florida. 1999, 3695:150~160
- 17 Mannila H, Ronkainen P. Similarity of Event Sequences (revised version). In: *Proc. of the Fourth Intl. Workshop on Temporal Representation and Reasoning (TIME'97)*, 10th-11th May, 1997, Daytona Beach, Florida, USA. 36~139.
- 18 Guralnik V, Srivastava J. Event Detection from Time Series Data. In: Chaudhuri S, Madigan D, eds. In: *Proc. Fifth Intl. Conf. on Knowledge Discovery and Data Mining*, San Diego, CA, USA. ACM Press, 1999. 33~42
- 19 Tsumoto S. Automated Discovery of Plausible Rules Based on Rough Sets and Rough Induction. In: *Proc. of the 3th Pacific-Asia Conf. PAKDD-99*, Beijing, China, April, 1999. 210~219
- 20 Weiss S, Indurkha N. *Predictive Data Mining*, Morgan Kaufmann Publishers, Inc., San Francisco, USA, 1998