

仿真家庭服务机器人行动序列规划研究

李 星, 李龙澍

(安徽大学 计算智能与信号处理教育部重点实验室, 安徽 合肥 230039)

摘要: 随着社会的进步和科技的发展, 服务机器人日益受到人们的关注。服务机器人在复杂的家庭环境中如何做到自主决策以便更好的辅助人类生活, 将是一个研究热点。回答集程序是一种具有非单调推理能力的知识表示和推理的方式, 同时也是一种问题求解的工具。文中探讨了基于服务机器人模型的回答集程序规则的编制, 并通过实验证明, 回答集程序能方便、高效地求解出最优的行动序列, 并且在划分搜索空间后, 回答集程序求解的效率得到进一步的提高。

关键词: 家庭服务机器人; 自主决策; 回答集程序; 非单调推理; 行动序列

中图分类号: TP242

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2012)10-0062-04

Research on Simulation Home Service Robot Action Sequence Planning

LI Xing, LI Long-shu

(Ministry of Education Key Laboratory of Intelligent Computing and Signal Processing, Anhui University, Hefei 230039, China)

Abstract: With the social progress and the development of science and technology, the home service robots are paid more and more attention. It will be a research hotspot that how the home service robots do autonomous decision-making in complex home environment in order to support human life better. Answer set programming is a knowledge representation and non-monotonic reasoning, also a tool for problem solving. It explores compiling the answer set programming rules based on the service robot model, and proved by experiments, the answer set programming is convenient and efficient for solving the optimal action sequence, and after the division of the search space, the efficiency of answer set programming has been further improved.

Key words: home service robot; autonomous decision-making; answer set programming; nonmonotonic reasoning; action sequence

0 引言

随着社会的进步和科技的发展, 服务机器人日益受到人们的重视。我国日趋严重的老龄化社会问题, 同时考虑到一大批行动不方便的残疾人士, 如何照料这些老年人与残疾人将成为社会亟待解决的一大难题^[1]。因此, 家庭服务机器人研究与开发是非常必要的。家庭服务机器人是机器人的发展方向, 是我国进一步加强机器人技术研究的突破口^[2]。RoboCup(机器人世界杯足球锦标赛)为推进家庭服务机器人的快速发展, 于2006年增加了家用服务机器人组的比赛。中国科学技术大学、中山大学等国内高校都开展了相关研究。中国科学技术大学研制的“可佳”机器人^[3]

可以在线阅读说明书, 使用微波炉加热面包。

家庭服务机器人行动序列规划问题可以总结为: 基于给定的机器人模型, 场景信息, 任务信息, 求解出机器人完成任务的行动序列, 此序列由机器人的原子动作组成。根据这些行动序列的性能给参赛程序打分, 得分多者为优。由于场景信息与任务信息的复杂性, 许多因素如物品选择、任务优先度等都影响着最优行动序列的生成。

1 背景介绍

1.1 ASP介绍

逻辑程序^[4]和非单调推理^[5]两个领域的交叉融合促使了ASP研究的产生。当初, 在经典逻辑的基础上, 通过语法限制, 逻辑程序定义了一种陈述性程序语言实现了高效计算。而后, 随着实际应用不断扩展, 引入了否定知识的表达, 加入了失败即否定原则。八十年代困扰逻辑程序领域的主要问题就是怎么给包含失败即否定的逻辑程序定义模型语义。

收稿日期: 2012-02-19; 修回日期: 2012-05-23

基金项目: 教育部质量工程项目(2009027042); 安徽省自然科学基金资助项目(090412054)

作者简介: 李 星(1984-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为人工智能、机器人; 李龙澍, 教授, 硕士, 博士生导师, 主要研究方向为智能软件、不精确信息处理。

1988 年, Gelfond and Lifschitz 提出的稳定模型语义^[6,7], 成功地利用非单调推理领域的结论解释了失败即否定。不断地深入研究使得稳定模型语义不断被扩展, 它除了能成功解释失败即否定, 其研究领域还密切联系着非单调推理中的许多工作。这个新的研究领域则称为回答集程序, 它作为非单调推理工具和知识表示语言的实用性已被越来越多的研究者所认可。回答集语义以及回答集程序设计的相关内容可参看文献^[8~10]。

经过多年工作的积累, ASP 理论方面已相对成熟, ASP 求解器的效率越来越高, 也使得 ASP 已成为很多的研究者用于非单调推理的知识表示和推理工具^[11,12]。现在越来越多的研究者关注于提高 ASP 求解效率及其实际应用, 这也是 ASP 领域的研究热点。

1.2 家庭服务机器人

近年来, 自主机器人领域发展很快, 研究工作不断深入, 服务机器人是其中应用前景最广阔的方向之一。服务机器人在家庭环境下辅助人类生活, 应该具有基本的行为能力。如帮助人类取某一个东西, 或者将某一个东西放到什么地方, 这是一个基本任务。复合任务包含多个基本任务, 要求机器人完成所有这些任务。对于复合任务, 一般的机器人系统会根据每条具体的任务, 独立完成。比如要求服务机器人要将 A 和 B 两个物体放到另一个房间。一般的机器人系统执行过程如图 1 所示, 这样的机器人执行效率是不高的。而使用 ASP 规划, 可以求解出同时完成这两个任务的最优行动序列, 如图 2, 减少了 move 次数, 较大地提高了服务机器人的执行效率。

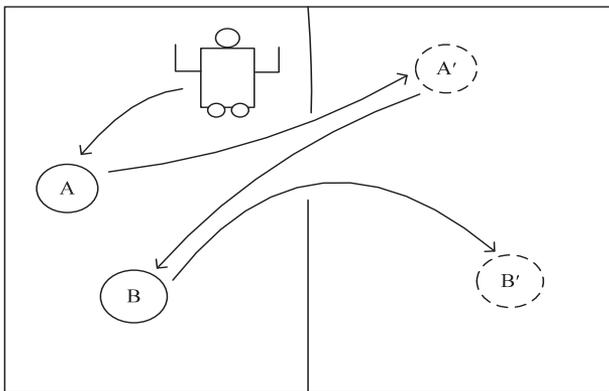


图 1 复合任务场景举例(a)

基于完成复合任务的功能, 规定这样一个服务机器人模型: 它有两个轮子, 手臂上有一个手爪和一个盘子, 手爪和盘子中只能放下一个物品, 它具有基本的移动, 抓取和放下的能力。它有一组固定的原子行动, 对所有问题都是不变的。机器人只能通过执行原子行动改变场景。假设服务机器人的原子行动为下列五种:

(1) $move(X)$: 机器人移动到位置 X。

(2) $catch(A)$: 机器人拿起物体 A。

(3) $putdown(A)$: 机器人放下物体 A。

(4) $toplate(A)$: 机器人将物体 A 从手爪中放入自己的盘子中。

(5) $fromplate(A)$: 机器人将物体 A 从盘子中拿起。

那么, 图 2 所示的规划结果为:

$move(A). catch(A). move(B). toplate(A). catch(B). move(B'). putdown(B). move(A'). fromplate(A). putdown(A).$

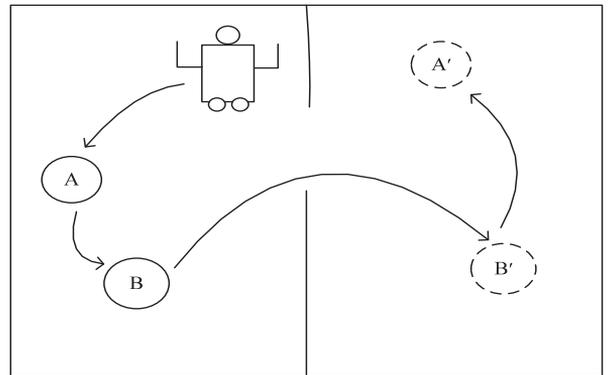


图 2 复合任务场景举例(b)

2 行动序列规划设计

2.1 概述

为了满足用户要求的任务规划, 要基于现有的 ASP 规则, 处理用户指令和其他信息。要做到这一点, 需要提前将各种指令转化为指令完成后的终止状态的描述, 并将它们以约束的形式加入 ASP 程序, 其他信息也以类似的形式加入 ASP 规则中。机器人在行动过程中, “激活”相应的约束, 以达到必须满足的终止状态。因此, ASP 程序的解决方案实际上相当于传统的规划方法, 从初始状态到目标状态一步步地规划出行动序列。这样, 整个行动序列规划问题可以归结为 ASP 程序求解问题, 每一个回答集对应一个规划结果。

iclingo (Gebser et al, 2008) 是一种增量式的回答集求解器, 将规划问题表示成 ASP 规则的形式, 它就能通过迭代求解出完成任务的最优行动序列。

2.2 编写 ASP 规则

对于问题求解中的基本要素, 在回答集程序中可以用谓词加以表示。各基本要素的 ASP 表示如下:

Robot 手爪状态 $Hold(S, T)$: S 是物品编号, 表示机器人在 T 时刻手爪中的物品。S = 0 时表示机器人手爪为空。

Robot 盘子状态 $Plate(S, T)$: S 是物品编号, 表示机器人在 T 时刻盘子中的物品。S = 0 时表示机器人盘子为空。

原子动作集合 $Occur(Action, A, T)$: 表示在 T 时刻

所做的原子动作, Action 表示动作类型: move, pickup, putdown, toplate, fromplate, A 表示相应动作的参数。

物品集合 Sort(S): S 是物品编号, 每一个物品对应一个物品编号。Sort 代表 human, sofa, bottle, cup 等物品。

位置集合 Loc(L): L 是位置编号, 每一个物品只有一个位置。

Location(S, L, T): 表示时刻 T 时, 物品 S 在位置 L 上, 当 S = 0 时, 表示 Robot 的位置为 L。

定义了这些关键变元的谓词表示之后, 还需要定义最为重要的谓词, 也就是机器人指令的最终目标, 任务完成谓词 Give(human, S) 和 Puton(S1, S2)。S, S1, S2 都是物品编号。Give(human, S) 表示将物品 S 交给人类, Puton(S1, S2) 表示将物品 S1 放在和 S2 相同的位置上。

定义辅助谓词 OutRobot(S, T) 和 SameLoc(S1, S2, T)。前者表示物品 S 不在 Robot 的手爪和盘子中, 后者表示 S1 和 S2 在同一个位置。由规则(1) 和规则(2) 产生:

$$\text{OutRobot}(S, T) : - \text{not Hold}(S, T), \text{not Plate}(S, T), \text{Small}(S), \text{Time}(T) \quad (1)$$

$$\text{SameLoc}(S1, S2, T) : - \text{Location}(S1, L, T), \text{Location}(S2, L, T), \text{Sort}(S1), \text{Sort}(S2), \text{Loc}(L), \text{Time}(T) \quad (2)$$

那么原子动作 catch 的 ASP 规则如下:

$$\text{Hold}(S, T) : - \text{Occur}(\text{catch}, S, T), \text{Small}(S), \text{Time}(T) \quad (3)$$

$$: - \text{Occur}(\text{catch}, S, T), \text{not OutRobot}(S, T - 1), \text{Small}(S), \text{Time}(T) \quad (4)$$

$$: - \text{Occur}(\text{catch}, S, T), \text{not Hold}(0, T - 1), \text{Small}(S), \text{Time}(T) \quad (5)$$

$$: - \text{Occur}(\text{catch}, S, T), \text{not SameLoc}(0, S, T - 1), \text{Small}(S), \text{Time}(T) \quad (6)$$

$$\text{HoldChange}(0, T) : - \text{Occur}(\text{catch}, S, T), \text{Small}(S), \text{Time}(T) \quad (7)$$

$$\text{Hold}(S, T) : - \text{Hold}(S, T - 1), \text{not HoldChange}(S, T), \text{Small}(S), \text{Time}(T) \quad (8)$$

$$\text{Hold}(0, T) : - \text{Hold}(0, T - 1), \text{not HoldChange}(0, T), \text{Small}(S), \text{Time}(T) \quad (9)$$

所有规则中的“not”表示失败即否定, 其直观意义是“推不出”。规则(6) 描述在 T 时刻执行 catch(S) 的效果, 导致 T 时刻状态的改变。规则(4)、规则(5) 和规则(6) 描述 catch(S) 不可执行的条件, 分别描述了在 T 时刻当小物品 S 在机器人的手爪或盘子中、机器人的手爪不为空以及小物品 S 不在机器人的可取范围内时, 该动作不可执行, 而其他条件下 catch(S) 都

是可执行的。规则(7)、规则(8) 和规则(9) 描述 Hold(S, T) 的惯性律, 它的意思是指若没有出现矛盾, 事物的性质也不会改变。在规则(8) 中, 在 T - 1 时刻若机器人手爪不为空, 并且不可证明在 T 时刻机器人手爪为空, 那么在 T 时刻机器人的手爪还是不为空。使用惯性律的好处在于可以让 ASP 程序更加简单, 极大地缓解了知识的非一致性问题。

其他原子动作也都可以翻译成 ASP 规则。而其任务谓词翻译成 ASP 规则如下:

$$\text{Goal}(\text{Give}(\text{human}, S), T) : - \text{OutRobot}(S, T), \text{SameLoc}(\text{human}, S, T), \text{Small}(S), \text{Time}(T)$$

$$\text{Goal}(\text{Puton}(S1, S2), T) : - \text{OutRobot}(S1, T), \text{SameLoc}(S1, S2, T), \text{Small}(S1), \text{Small}(S2), \text{Time}(T)$$

这样将整个问题转化为 ASP 表达, 为了求解最优行动序列, 调用 iclingo, 从 T = 0(初始状态) 开始求解, 逐步增加 T 直到计算出最优行动序列(终止状态) 或超过规定时间为止。iclingo 的求解相当于穷举, 所以只要能求出结果, 就一定是最优的。

2.3 环境信息的预处理

ASP 求解过程中, 对程序中所有个体变元都将进行常例化, 因此其求解过程相当于遍历搜索, 当家庭环境过于复杂时, 就会有着非常高的时间和空间复杂度, 从而在可接受的响应时间内计算不出结果。

服务机器人在复杂的家庭环境中运行, 它所感知的环境信息以数据形式存在于它的知识库中。对于每一个任务并不是所有环境信息都是需要的。因此在调用 iclingo 进行求解之前, 根据任务按如下步骤对环境信息进行预处理, 过滤掉不需要的物品信息, 这样会较大地提高 iclingo 的搜索效率。

环境数据预处理的步骤如下:

(1) 遍历每一个任务, 将物品编号 S 放入集合 Set_task_obj 中。

(2) Robot 的编号 S 放入集合 Set_task_obj, 若 Robot 的 Hand 或者 Plate 不为空, 则将其中的物品编号 S 放入集合 Set_task_obj。

(3) 遍历知识库 KB, 对任一物品编号为 S' 的描述性信息 Description, 若 S' ∈ Set_task_obj, 把 Description 拷贝到知识库 KB'。否则按步骤(3) 处理下一条 Description。

使用以上步骤得到的知识库 KB' 既满足了服务机器人完成任务所需要的信息, 同时也对复杂的家庭环境进行了简化, 可提高动作序列规划的效率。

2.4 实验分析

2.4.1 实验环境

系统: Windows XP

CPU: Intel E7300

Memory:2GB

2.4.2 实验结果

测试平台和测试用例来自于 2010RoboCup 中国公开赛(鄂尔多斯)的服务机器人仿真项目的比赛题库。给出 5 个家庭环境场景描述,每一个场景 8 个复合任务。要求在 5 秒内规划出服务机器人的动作序列,并根据比赛规则对动作序列评分。实验分两个部分,RobotA 没有对场景信息进行预处理,RobotB 对场景信息进行了预处理。

表 1 中,从任务完成情况来看,RobotB 比 RobotA 多完成一个,但都接近全部完成,在可接受响应时间上还是可以接受的。在时间上看,RobotB 规划每一个任务所用的平均时间比 RobotA 少了 1.238 秒,在可接受响应时间为 5 秒的情况下,这还是提高了较大的效率。最后的规划结果评分,RobotB 也比 RobotA 多。因此可以得出,对场景信息的预处理能较大地提高服务机器人的规划效率。

表 1 测试结果

	完成任务数(个)	完成任务的平均时间(S/个)	得分
RobotA	38	3.327	963
RobotB	39	2.089	987

3 结束语

实验证明,ASP 能规划出服务机器人的最优行动序列。其优点是方式灵活、方法可靠、程序可扩展性好。当场景中物品描述形式或机器人原子动作有所变化,只用相应地修改 ASP 规则即可。其目前最大的瓶颈是效率问题,试验中,在可接受响应时间内会有规划不出动作序列的情况发生。ASP 的常例化过程相当于穷举,也就是相当于求解所有行动序列的可能组合,

ASP 求解器通常需要很长时间才能求解出大规模或者需要行动步数太多的问题。因此,如何提高 ASP 的求解效率将是一个未来的热点研究。

参考文献:

- [1] 田国会,李晓磊,赵守鹏,等.家庭服务机器人智能空间技术研究与发展[J].山东大学学报(工学版),2007,37(5):53-59.
- [2] 田国会.家庭服务机器人研究前景广阔[J].国际学术动态,2007(1):28-29.
- [3] 吉建民.提高 ASP 效率的若干途径及服务机器人上应用[D].合肥:中国科学技术大学,2010.
- [4] 周北海.模态逻辑导论[M].北京:北京大学出版社,1996.
- [5] 蔡自兴,徐光祐.人工智能及其应用[M].第 3 版.北京:清华大学出版社,2004:72-78.
- [6] Gelfond M, Lifschitz V. The stable model semantics for logic programming[C]//Proceedings of the 5th International Conference on Logic Programming (ICLP-88). Seattle, Washington: MIT Press, 1988: 1070-1080.
- [7] Simons P, Niemela I, Soeninen T. Extending and implementing the stable model semantics[J]. Artif. Intell., 2002, 138(1-2): 181-234.
- [8] Gelfond M. Answer sets[M]//Handbook of Knowledge Representation. [s. l.]: Elsevier, 2007: 285-316.
- [9] Gebser M, Kaminski R, Kaufmann B, et al. Engineering an Incremental ASP Solver[M]. [s. l.]: [s. n.], 2008.
- [10] Gebser M, Kaminski R, Kaufmann B, et al. A User's guide to gringo, clasp, clingo and iclingo[M]. [s. l.]: [s. n.], 2008.
- [11] 吕勇全,陈寅,郭家伟,等.基于回答集程序的排课系统设计与实现[J].计算机技术与发展,2010,20(6):228-232.
- [12] 赵岭忠,王雪松,钱俊彦,等.从经典逻辑知识构建 ASP 知识库的新方法[J].计算机应用,2010,30(11):2932-2936.

(上接第 61 页)

- [9] Briggs F, Raich R, Fern X Z. Audio Classification of Bird Species: A Statistical Manifold Approach[C]//IEEE International Conference on Data Mining. [s. l.]: [s. n.], 2009: 51-60.
- [10] Zhang J X, Brooks S. Audio classification based on adaptive partitioning[C]//IEEE International Conference on Multimedia and Expo. [s. l.]: [s. n.], 2009: 490-493.
- [11] Chu Wei, Champagne B. A Noise-robust FFT-based Auditory Spectrum with Application in Audio Classification[J]. IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing,

2008, 16(1): 137-150.

- [12] Shiaz J, Ghaemmaghami S. Audio classification based on sinusoidal model: a new feature[C]//TENCON 2008. [s. l.]: [s. n.], 2008: 1-5.
- [13] Chen Lei, Gunduz S, Ozsu M T. Mixed type audio classification with support vector machine[C]//IEEE international conference on multimedia and expo. [s. l.]: [s. n.], 2006: 781-784.

仿真家庭服务机器人行动序列规划研究

作者: 李星, 李龙澍
作者单位: 安徽大学 计算智能与信号处理教育部重点实验室, 安徽 合肥 230039
刊名: 计算机技术与发展
英文刊名: Computer Technology and Development
年, 卷(期): 2012(10)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjfz201210018.aspx