

一个基于语言变量认知流的认知建模方法^{*})

黄向阳 尹怡欣 曾广平 涂序彦

(北京科技大学信息工程学院 北京 100083)

摘要 提出了一种新的认知流(epistemic fluent)用来解决自主角色的感知和推理问题。该方法是在 John Funge 的区间取值认知流的区间上定义相应的语言变量(linguistic variables)。新方法能够将离散取值认知流和连续取值认知流统一起来,并且使得自主角色的认知模型更简单。文章还描述了怎样解决不可数“可能世界”的问题,以及新认知流怎样用来推理不等式。

关键词 游戏人工智能,知识表示,情景演算,语言变量,感知,认知流

A Cognitive Model Based on Epistemic Fluent Using Linguistic Variables for Autonomous Agents

HUANG Xiang-Yang YIN Yi-Xin ZENG Guang-Ping TU Xu-Yan

(University of Science and Technology, Beijing 100083)

Abstract An alternative epistemic fluent is proposed to solve the important issues of reasoning and sensing in intelligent control for autonomous agents. The approach treats interval-valued fluents within the situation calculus John Funge proposed as linguistic variables, the members of which are fuzzy sets defined on the interval. The new approach can integrate discrete-valued epistemic fluents with continuous-valued epistemic fluents and make cognitive model of autonomous agent much simple. The paper describes how to solve the potentially uncountable number of possible worlds in agent sensing and how to reason about inequalities by using this new approach.

Keywords Game AI, Knowledge representation, Situation calculus, Linguistic variable, Sensing, Epistemic fluent

1 引言

计算机游戏已成为主流产业。现在,越来越多的人工智能学者意识到计算机游戏业提供的新机遇。计算机游戏不仅是人工智能的重要应用领域,而且是人工智能的高效研究平台。

计算机图形学的进展仍然是计算机游戏的重要推动力。虽然,当愈趋近于实时而逼真的图形效果时,难度就愈大,取得突破性进展的概率也就愈低。但是,计算机游戏需要不断创新,要有新的尺度来衡量水平,因此,人工智能大有用武之地。许多游戏玩家甚至是游戏开发人员,都认为未来的非玩家角色(NPC)应该是完全自治的;它们用自己的身体与虚拟世界交互;用各种学习算法来适应环境。游戏动画角色关于它所生存和活动的虚拟世界有自己的内部模型。我们称“角色关于其世界的内部模型”为认知模型(cognitive model)。认知模型可用于计算机游戏和动画中,控制一类新的具有智能行为的自主角色(以后称自主角色或角色包括 NPC、autonomous agent 等),支配着角色对其世界的了解程度,指导如何获取知识,以及如何利用知识进行推理和规划活动。

一个拥有它自己世界模型的自主角色似乎能够推断自己行动的效果。然而,实际上自主角色所处的世界是高度复杂的,在某种程度上,角色的行动结果是不可预知的。例如,当一个角色在采取某种行动时,事先并不能确知自己的行动是完全正确的,只有在采取了这种行动之后,再查看发生了什么效应,若结果不是所期望的,则进行某些修正,这个过程称为

感知(sensing)。先前处理感知的方法是借用模态逻辑的“可能世界”观点,于是为了描述角色世界的知识,我们可能要列出不计其数的“可能世界”。

John Funge^[1]在情景演算中融入感知信息以及采用区间数学(interval arithmetic)表示不确定性来研究面向游戏和动画的人工智能认知建模方法。通过在情景演算中引入区间数学,John Funge 提供了在认知模型中解决不确定性以及不等式推理等方法。然而考虑到人类的推理大都是近似推理,以及用模糊逻辑表达知识更直观更接近人的思维,这篇文章通过在 John Funge 描述的区间上定义相应的语言变量来研究人工智能认知建模方法。另考虑这样的情景,角色 A 认为低于 0°C 为“冷”,而角色 B 则认为低于 4°C 为“冷”,明显两者的区间不一样,但都可用模糊变量“冷”来描述,如果认知模型建立在模糊变量基础上,模型将更为简单。文章后面描述了如何将语言变量应用于情景演算,怎样处理不可数的“可能世界”问题,以及解决不等式推理等问题。文章的认知模型继承了 John Funge 给出的有关资历问题、老框问题以及派生问题等的形式。

2 认知流(Epistemic fluents)

角色跟踪了解世界可能发生的情景的方法是去定义一种认知流。在讨论认知流的相关工作之前,我们先介绍一些情景演算的概念。

2.1 情景演算(Situation calculus)

情景演算是用一阶谓词逻辑描述变化世界的方法^[2,3]。

^{*})基金项目:国家自然科学基金“网络环境中的‘虚拟机器人’-‘软件人’的研究”(基金编号:60375038)。黄向阳 博士生;尹怡欣 教授,博士生导师;曾广平 教授;涂序彦 教授,博士生导师。

变化的世界正是我们想要的智能角色去思考的事物,而情景演算正好适合描述变化的事物,并解决知识表达中出现的问題。特别是,情景演算可为角色提供关于其虚拟世界的内部模型的基本语义。

情景(Situation):属于 SITUATION 类,它是世界状态的一幅“快照”。 S_0 ,与领地无关的常量,属于 SITUATION 类,表示初始情景。

流(Fluents):世界上任何随时间变化的事物都可称为流。流是一种函数,通常以情景作为其自变量。

行动(Actions):属于 ACTION 类,在本体论(ontology)中,行动是改变事物的基本手段。在情景 s 下,由于采取了行动 a ,于是得到情景 s' ,由函数 do 给出: $ACTION \times SITUATION \rightarrow SITUATION$,可表示为 $s' = do(a, s)$ 。

2.2 k-流(Epistemic fluent k)

角色跟踪了解世界可能发生的情景的方法是去定义一种认知流 k ,这种 k -流跟踪了解所有与 k 相关的世界。因此,我们用 k -流 $k(s', s)$ 表示在情景 s 下,而角色可能认为是另一种情景 s' 的情形。这就是说,在角色的知识中情景 s 和 s' 是不能分辨的。只有通过感知后才能分辨是什么情景。

当角色知道在情景 s 下,变量 τ 的值是常量 c 时,意味着在所有与 k 相关的世界中,变量 τ 的值是常量 c 。简便起见,引入下面的简化表达式:

$$knows(\tau=c, s) \triangleq \forall s' k(s', s) \Rightarrow \tau(s')=c \quad (1)$$

其中符号 \triangleq 代表“可以定义为”,或者“表示”。

在情景演算中提供了一种完美的数学表达语言,利用认知流 k 将“知识”模型化。但是,还存在一些问题,其中一类问題与技术实现有关,即表达角色世界初始情景的困难。例如,如果角色初始的时候不知道金钱的数目,我们可能考虑如式(2)明确地列出所有可能的世界 $s-1, \dots$, 以及 $s-k, \dots$ 。

$$k(s-1, S_0), \dots, k(s-k, S_0), \dots, money(s-1)=0, \dots, money(s-k)=k-1 \dots \quad (2)$$

一旦我们遇到在实数域 R 上取值连续的函数流,事情将会变得更糟糕:我们不可能列出不计其数的“可能世界”。

2.3 区间取值认知流(Interval-valued epistemic fluent)

John Funge 引进了一种新的在区间取值的认知流来替换麻烦的 k -流。对于那些常规流,它们的值可通过产生知识的行动学习,称之为感知流(sensory fluent)。对于每一个感知流 f ,引入一个新的相应的区间取值(IVE)的认知流 I_f 。现在可以用区间来表示角色世界初始情景。例如,区间 $I_f(S_0) = \langle 10, 50 \rangle$ 表示感知流 f 的初值在 10 和 50 之间。于是上面的金钱初始值问题可以写成式(3)

$$I_{money} = \langle 0, \infty \rangle \quad (3)$$

John Funge 还定义了另一种“knows”, I_{knows} 。对于变量 $\tau, I_{knows}(\tau, s) = \langle u, v \rangle$ 意味着 τ 的区间值是 $\langle u, v \rangle$ 。

3 语言变量认知流

John Funge 引入的 IVE 流能够表达感知而不用列出大量的初始可能世界。然而,在实际角色世界里存在离散取值的流,尽管它们可以转成区间取值,却增加了复杂性,也失掉了直观性。另一方面,正如前文所述,如果认知模型建立在模糊变量基础上,模型将更为简单。我们将在 John Funge 的区间取值流上引入语言变量^[4],该语言变量的成员是定义在 IVE 流的区间上。对于每个感知流 f ,对应着一个语言变量知识(LVE)流 L_f 。语言变量流将连续取值流和离散取值流

统一起来,给出了更直观的形式。为了更好地说明语言变量认知流,给出如下的定义和定理。

定义 1(α -截集) 在集合 X 上定义模糊集合 A 的 α -截集, $[A]_\alpha$, 为满足式(4)的集合:

$$[A]_\alpha = \begin{cases} \{x | x \in X, A(x) \geq \alpha\}, & 0 < \alpha \leq 1 \\ \{x | x \in X, A(x) > 0\}, & \alpha = 0 \end{cases} \quad (4)$$

其中 $\alpha \in [0, 1], \bar{M}$ 表示集合 M 的闭包。

定义 2(区间偏序) 假定区间 $a = [a_-, a_+]$, 区间 $b = [b_-, b_+]$ 。如果 $a_- \leq b_-$ 并且 $a_+ \leq b_+$, 定义 $a <_2 b$ 。

定义 3(模糊值偏序) 对于任意 $\alpha \in [0, 1]$, 模糊变量 A 和模糊变量 B 的 α -截集满足 $[A]_\alpha <_2 [B]_\alpha$, 则 $A <_2 B$ 。

定义 4(语言变量认知流) 一个 LVE 流是一个四元组 $(\mathcal{X}, T(\mathcal{X}), U, M)$, 其中 \mathcal{X} 是流的名字, $T(\mathcal{X})$ (或简写 T) 是流的词集,也就是流的取值(语言值)的名字的集合,流的每一个取值是一个模糊变量,一般用 X 表示,这些模糊变量定义在区间 U 上, M 是语义规则, $M(X)$ 是 U 上的模糊子集,并且 X 满足式(5)(6)的限制。

$$[X_1]_0 \cup [X_2]_0 \cup \dots = U [X]_0 = U \quad (5)$$

$$X_1 <_2 X_2 <_2 \dots \quad (6)$$

其中 X_1, X_2, \dots 为流 \mathcal{X} 的所有取值, $[X]_0$ 为 X 的 0-截集。

通常在不引起混淆的情况下我们不加区分 \mathcal{X} 指代流还是语言变量。同样,不区分 X 是模糊变量还是模糊变量的名字。因此, X 和 $M(X)$ 是可以互换的,尽管严格意义上说 X 是 $M(X)$ 的名字。

定义 5(有效性) 对于每个感知流 f , 如果 f 的值在所有与 k 相关的情况下根据式(7)都存在语言变量认知流 L 的语言值与其对应,那么我们称相应的 LVE 流 L_f 是有效的:

$$\forall s, s' k(s', s) \Rightarrow F(f(s')) \in T(L) \quad (7)$$

其中 F 为模糊化算子,它能够将一个精确值(如, f 的值)变换成 L 中的模糊集。

由 John Funge 的理论(Theorem 6.1. 以及 Definition 5.2)^[1], 我们知道对于所有的情景 s 和感知流 f , 每个 IVE 流 I_f 存在最小有效区间,再根据式(5),可以保证 LVE 流的语言值能够包含感知流所有可能的值,从而 LVE 流的有效性得以保证。

我们可以用 LVE 流来表达 IVE 流,如式(8):

$$I_f \triangleq L_f = T(L_f) = \{X_1, X_2, \dots\} \quad (8)$$

由定义(2)、(3)以及(6),我们可以用 LVE 流来表达不等式:

$$\forall s' k(s', s) \Rightarrow u \leq f(s') \leq v \triangleq \forall s' k(s', s) \Rightarrow F(u) <_2 L_f(s') <_2 F(v) \quad (9)$$

现在我们可以用 LVE 流来表达角色的未知“可能世界”:

$$L_f \in \{X_1, X_2, \dots\} \quad (10)$$

其中 L_f 为与感知流对应的 LVE 流, X_1, X_2, \dots 是 L_f 的所有模糊子集。例如,我们能用 $L_{temp} \in \{cold, cool, warm, hot\}$ 来表示角色世界的初始温度。如果 LVE 流包含的成员不多,我们可以列出所有“可能世界”。于是上面的金钱问题可以用式(11)来表示:

$$k(s-1, S_0), k(s-2, S_0), k(s-3, S_0), L_{money}(s-1) = little, L_{money}(s-2) = enough, L_{money}(s-3) = mint \quad (11)$$

其中 little 表示很少, enough 表示足够, mint 表示大量,它们都是语言值。

尽管我们可以通过设计来控制 LVE 流的取值个数,但实

(下转第 240 页)

化,以此确保图像特征间公平的比较。在 $x_i, i \in \{1, 2, 3\}$ 中出现的共有直线只被计算一次。

显然 $x_i \in (0, 1)$, 其中 $i \in \{1, 2, 3\}$ 。此公式可看作将一幅图像映射到边界长度为 1 的立方体特征空间中。特征向量 X 代表了在此空间中图像的映射图像。

5 实验结果

图 4 为一幅原始的灰度图像,图 5 为利用感知归类中的方法提取原始图像边缘线的二维表示。由于阈值的选择可能存在着一定的误差,因此提取出的图像中仍然存在着一些较小的线段,将在下一步工作中继续对阈值的选择做进一步研究,希望能够找到一种方法,系统可以自动地调整阈值,而不是通过指定的阈值进行图像特征的提取。



图 4 原始灰度图像

结论 感知归类可以用于大量视觉信息以及图像分割技术中,它构成了计算机视觉处理的一个重要方面。本文着重研究了人类感知组织认知原理在图像边缘线性特征提取中的作用,利用元素间相似性、接近性、连续性、并行性等提取图像的显著特征。

本文未考虑到感知归类中一个非常重要的特征,即封闭性。多边形是由非并行线组成的封闭图像。一个多边形是一

个显著的图像关系。多边形是非偶然的图像关系,因为组成它们的边界线都是非偶然的。因此,图像中的多边形代表了图像的显著结构特征。根据感知归类的封闭规则,人类的视觉特性总是试图将曲线完善成为一个封闭的区域。如何将封闭性作为图像特征向量表示中的一维,以获得更准确的图像特征表示,是值得深入探讨的问题。

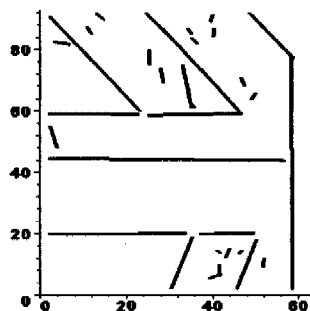


图 5 提取图像中边缘线

另外,由于建筑物一般都由拐角、窗户、门、边界等产生出大量的交叉点、平行线、平行群等,这些特征非常适合用感知归类的方法进行提取,下一步我们将实现在建筑物图像数据库中,利用感知归类的方法进行图像的检索和分类。

参考文献

- 1 完形心理学的视觉法则. [http://www. imageedu. com/Mode/Technic/Jiqiao/200502/1869. html](http://www.imageedu.com/Mode/Technic/Jiqiao/200502/1869.html)
- 2 王敏. 基于图象特征的物体形状识别方法研究. 华中科技大学控制科学与工程系. 机器视觉, 2004(8)

(上接第 221 页)

际中,我们可以假定当角色不知某个流的初始值时,认为该流是未定义的(undefined)。我们希望当前提条件是 undefined 时,规则 $A \Rightarrow B$ 的结果也是 undefined,也就是 A 为 undefined 时,推断出 B 也为 undefined。尽管这和经典的蕴涵关系不一样,但能简化实际的规则系统,也符合常规的推理习惯。我们定义一个特殊的模糊集合来表示 undefined,记作 θ :

$$\theta \triangleq \int_0/w \quad (12)$$

其中 W 表示区间, w 代表区间中的值。如果一个流 f 是 undefined,我们可以用 θ_f 来表示。

理论 1 A, A', B 以及 B' 分别是定义在 X, X, Y 以及 Y 上的模糊集,采用合成运算(compositional operation)“ $\vee - \wedge$ ”,如果:

$$A \Rightarrow B \quad (13)$$

$$A' = \int_0/x = \theta_A \quad (14)$$

那么:

$$B' = \int_0/y = \theta_B \quad (15)$$

证明:因为对于 X 中的任意 $x, A'(x) = 0$,

所以:

$$B'(y) = \sup_{x \in X} A'(x) \wedge I(A(x), B(y)) = 0 \quad (\forall y \in Y) \quad (16)$$

$$B' = \int_0/y = \theta_B \quad (17)$$

其中符号 \sup 表示取上限(upper bound), I 是模糊蕴涵算子

(fuzzy implication operator)。于是上面的金钱问题可以用式(18)来表示:

$$L_{money} = \theta_{money} \quad (18)$$

结论 在 John Funge 的区间取值认知流的基础上,本文介绍了一种新的应用于游戏以及 agent 认知建模上的认知流。该新认知流是在 John Funge 的区间上定义相应的语言变量,将该区间作为基础变量。通过使用语言变量,认知模型将会变得更简单。本文还给出了新认知流在解决不可数“可能世界”问题的方法,以及新认知流怎样用来推理不等式的方法。

参考文献

- 1 Funge J. Representing knowledge within the situation calculus using interval-valued epistemic fluents, J. Reliable Comput, 1999, 5 (1)
- 2 McCarthy J, Hayes P. Some philosophical problems from the standpoint of artificial intelligence. In B. Meltzer and D. Michie, eds. Machine Intelligence 4, Edinburgh University Press, Edinburgh, 1969. 463~502
- 3 Reiter R. The frame problem in the situation calculus, A simple solution (sometimes) and a completeness result for goal regression, In: Vladimir Lifschitz, ed. Artificial Intelligence and Mathematical Theory of Computation, Papers in Honour of John McCarthy, Academic Press, 1991. 359~380, 418~420
- 4 Lotfi A. Zadeh, The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning - II. Inf. Sci., 1975, 8(4): 301~357