

一种基于自动环境推理的虚拟地形表示架构^{*)}

An Terrain Representation Architecture Based on Automated Environment Reasoning(AER)

魏 记 刘思源

(教育部虚拟现实新技术重点实验室 北京100083)

(北京航空航天大学计算机科学与工程系 北京100083)

Abstract A difficulty in the research of CGA in distributed interactive simulation is how to provide the dynamic, multi-resolution, wide-range terrain representation used for the implement of CGA. The paper proposes a terrain representation model based on the multi-agent architecture and the automated environment reasoning(AER) architecture. And, this paper also discusses how to use case-based reasoning(CBR) to improve planning efficiency in the architecture.

Keywords CGA, Automated environment reasoning, CGF, Terrain representation, Distributed interactive simulation, Virtual reality

虚拟现实系统是一种可以创建和体验虚拟环境(Virtual Environment VE)的计算机系统。计算机生成角色(Computer Generated Actor CGA)作为其中有计算机自主控制的仿真实体,能够丰富虚拟环境内容,提高演练逼真性,降低系统研制费用。构建CGA的关键在于行为建模,即如何在计算机中构建人的控制和决策过程。

CGA实体的智能行为实际上是虚拟环境中仿真平台的操作员进行思考、决策的智能行为,是基于操作员知识的信息处理过程,反映了CGA实体内部特征的变化。CGA的行为收到虚拟环境中的其它实体和外界环境的影响。对于陆地CGA而言,河流、桥梁、土壤的类型和地表覆盖物的种类等因素都会影响CGA的全局路径规划,而树木和独立建筑物会使CGA的局部行进路线发生改变,同时环境中的天气情况和季节变化也会对陆地CGA的一些行进参数产生影响。合理、高效的地形表示是构建一个实时、逼真的CGA的必要条件^[1]。

实际的分布式虚拟环境大都是基于大规模的真实地形数据构建,例如,美国的STOW概念演示系统中,构建了基于真实地形数据的区域达到500×700km²的三维场景^[3,5],我国的DVENET中基于多种精度的原始数据,最大地形区域达到了110×150km²。基于原始地形数据,使得所构建的虚拟环境在地形、地势以及环境中的各种文化的特征物(如房屋、道路、桥梁等与真实环境中)的实际情况与条件更为相似,从而使虚拟环境更为逼真。

在分布式虚拟环境中构建CGA实体时,人们

对地形数据的表示方式并没有统一的认识。真实的地形数据一般包括两类数据:高程数据和向量地图数据。通常的做法是在这两类数据的基础上,结合其他环境变量构建自己的地形数据库,而避障和路径规划等工作由CGA实体完成。当环境中存在大量的CGA实体时,对底层地形数据的重复处理研制了CGA实时性和逼真性的提高。

本文在详细阐述地形数据表示、地形的语义网抽象和环境推理技术的基础上,讨论了如何利用环境推理技术来提高地形数据库的实时性,同时提出了基于范例的学习方法(case-based)提高环境推理和规划效率的算法。这种技术已经用于分布式虚拟战场环境(DVENET II)的子课题分布式计算机生成兵力系统(DVEForce)中。

本文第1节简要介绍了虚拟环境中地形的表示方法和现有的CGA系统的主要表示模型。第2节介绍了利用语义网抽象数据模型的方法和我们的改进。第3节中提出了如何使用基于范例的学习机制提高自动环境推理的算法。

1 地形表示的特点和研究现状

真实的地形数据包括两类数据:高程数据和向量地图数据^[6]。高程数据描述了地形的高度数据。它一般采用等采样间隔的矩形网格来表示(在网格的交叉点上标记高度值)。主要格式有美国地质调查局的数字化高度模型(USGS DEM: Digital Elevation Model),美国国防部地图局的数字化地形高度数据(NIMA DTED: Digital Terrain Elevation Data)两

^{*)}项目背景:分布式虚拟战场环境(DVENET I),国家“863”计划重点课题,编号:863-306-ZD-10,该项目获得2001年度国家教育部科技进步一等奖。

种格式。向量地图数据以向量格式描述地图要素(通常称为文化特征物),如河流、湖泊、道路、居民地等,这些数据一般采用向量格式存储,用于综合环境重文化特征的生成。主要格式有美国国防部地图局的数字化特征分析数据(NIMA DFAD: Digital Feature Analysis Data),美国国防部地图局的向量产品格式(NIMA VPF: Vector Product Format),美国地质勘查局数字化线图(USGS DLG: Digital Line Graph)等^[11,7,8]。这些原始数据中含有大量的冗余数据,需要作一定的处理工作才能满足仿真的实时性需要。

按照地形数据库的组织方式,构建地形数据库有两大类不同的方法,即基于网格的方法和基于特征的方法。基于网格的方法采用网格的方法对地形的各种信息进行组织,在网格的顶点存储高程和扫描转换后的面状文化特征值,对于线状和点状文化特征的值采用其他方式存储;而基于特征的方法则是从文化特征(特别是面状的文化特征)的角度构建数据库,其他信息作为辅助信息存储。

计算机生成兵力(Computer Generated Forces CGF),是分布式虚拟战场环境中 CGA。有关 CGF 系统的研究开展得较早,形成了一些有代表性的系统。如美国 STRICOM 组织开发的 ModSAF。ModSAF 基于真实的地形数据构建了地形数据库,主要包括两个部分:CTDB(Compact Terrain Database)和四叉树数据库(Quadtree Database)。CTDB 基于矩形规则网格节点构建。四叉树数据库主要用于存储各种地面的文化特征,将点、线、面等不同类型特征以对象的方式存储,利用四叉树进行管理,从而提高检索效率。以这两个数据库为基础,ModSAF 系统对全局路径规划进行了研究,基于改进的 A* 算法实现了全局的路径规划^[4,5]。

从 CTDB 和 QD 的构建过程可以看到,现有的地形算法把地形数据和对地形的操作分开处理,在维护地形的动态改变上比较复杂。同时,对于 CGA 系统中的不同主体,采用现有的方法,在全局规划和实时避障中的处理是独立的,对地形环境进行推理所得到的知识无法共享。基于自动环境推理技术,通过对地形语义网的抽象表示,可以提高检索效率,增加主体推理的逼真性和实时性。

2 地形的语义模型

如图1所示,对于真实地形环境进行数字化工作后,我们可以得到原始的地形数据。在 DVEForce 中,我们使用的是 DEM 格式的高层数据和 USGS DLG 格式的文化特征数据作为原始的地形数据。原始的地形数据中还包括在演练前添加的地形数据和文化特征,如为了演习目的加入的房屋、雷区、浮桥、

铁丝网、战壕等环境数据。通过对这三种数据的处理,我们可以得到有关地形的静态语义模型,现有的 CGF 系统的地形表示模型主要集中在这一层(如 ModSAF)。

在静态语义模型中,一般包含有地形中静态实体的描述信息,道路的拓扑信息,通视性拓扑信息,对演练环境中重要地点的描述等信息。在处理阶段共采用了两种推理模型:内在属性推理(intrinsic attribute reasoning)和空间关系推理(spatial relationship reasoning)^[9]。内在属性推理检查环境的属性(可通过性、温度、地表颜色、形状等),并决定这些属性如何影响演练任务的完成。属性推理主要集中在环境对个体实体的影响,不考虑实体间的相互影响。空间关系推理则集中在环境中实体的空间关系的推理,主要包括拓扑关系、相对几何位置和距离。通过空间关系推理来找到和演练任务有关的实体的空间位置关系。这里的空间关系推理不包括需要附加知识的空间推理,如在选择道路时,如果需要考虑实体的耗油量,这就需要实体本生的属性,空间关系推理不考虑类似的问题。

在静态语义模型的基础上,我们提出了一种多主体构架的智能数据库结构。在 DVEForce 中使用 SOAR 构建了基于环境语义推理的多主体结构。SOAR 是一种基于规则的推理架构,它本身提供了主体间通讯和协调的机制。该模型使用环境推理算法在静态语义模型的基础上进行属性推理和空间关系推理,同时,该模型还提供了基于范例的学习机制用以维护动态改变的语义模型和提供对外的查询机制。该地形表示的接口以服务的形式来表示,虚拟环境中的 CGA 实体根据需要定制所需的服务,地形数据库根据实体的定制,结合地形的环境推理数据库和实体的属性,提供相应的服务。在 DVEForce 中,我们实现了对实体的路径规划、行进和避障的三种基本服务。

路径规划问题是人工智能领域研究的一个经典问题,它实际是一类求最优解的问题。求最优解或近似最优解方法可以分为枚举法、启发式算法和搜索算法三种类型。枚举法采用枚举出解级内的所有可行解,按照最优的准则挑选出精确的最优解,这种方法当解集很大时,求解效率不高,启发式算法从问题本身的特点出发定义一组启发式规则,通过使用这组规则提高求解效率,单偶遇规则与问题密切相关,所以通用性不高;搜索算法在解集的一个子集内进行搜索操作,同时可以通过引入启发式知识,提高求解效率。遗传算法是一类全局优化的搜索算法,为求解这类问题提供了有效的途径和方法。

上述的方法大部分都是采用非真实的地形数据,而且环境中的障碍物仅有用线段表示的物体。

在 DVEForce 中,路径规划是基于真实的地形数据进行的.DVENET 使用了 $110 \times 150 \text{ km}^2$ 真实的地形数据进行三维建模,包括了高程数据和文化特征数据(道路、桥梁、水系、地面特征等)。地形知识库是基于规则矩形栅格构建的,采用这种方法的主要优点在于简单方便,而且各个节点的坐标不需要显

示表示和存储,对于大规模的数据集,能够节省大量的存储空间。真实的文化特征包括大的区域信息,如湖泊,居民区等面状信息,道路网的线状信息和桥梁等点状信息。在此基础上,我们使用改进的 A* 算法完成了路径规划的工作。

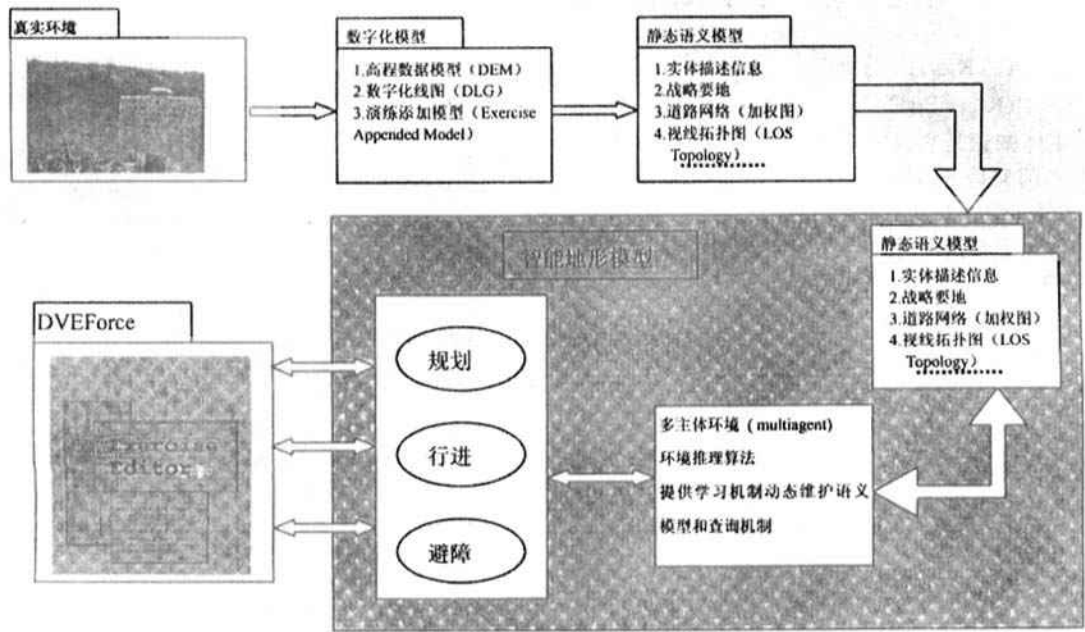


图1 地形表示的语义抽象模型

3 路径规划中基于范例的推理

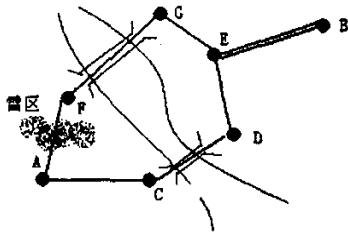


图2

在虚拟环境中,CGA 对地形环境的要求有类似性。如图2所示,实体 T_1 需要从 A 地到达 B 地,经过空间推理,地形数据库找到了路径 A-C-D-E-B 和 A-F-G-E-B。但由于在 A-F 间存在雷区(人为添加环境数据),因此最终返回的规划路径是 A-C-D-E-B。实体 T_1 的行进中选择了路线 A-C-D-E-B,在行进的过程中通过实时避障等算法, T_1 可以积累知识 K_{set} , K_{set} 包含 A 到 B 路线的记录,行进过程中的地面可通过性,桥梁的最大载重量等信息,当同类实体 T_2 再遇到从 A 地到达 B 地的类似任务时,在规划过

程中会参考知识集 K_{set} 。对不同类的实体,如坦克和卡车,情况比较复杂,比如,需要根据条件从 K_{set} 中提取有用的知识。

地形数据库中主体的学习的基本机制是设法把一种情况下成功的表现行为转移到另一类似的新情况中去。通过学习,地形数据库可以获取知识、积累经验、改进性能、发现规律、适应环境。地形数据库的学习模型中包括了学习系统的四个基本环节:虚拟环境、学习单元、知识库、执行单元。虚拟环境提供外界信息。学习单元处理环境提供的信息及学习算法。知识库中以某种知识表示形式存储信息。执行单元利用知识库中的知识来完成某种任务,并把执行中的情况反馈到学习单元。学习使系统的性能得到改善。

地形数据表示中的主体存在主动学习和被动学习两种方式。

定义1 (RouteSPACE)路径空间,即当前存在的所有路径的集合。

$K = \{K_0, K_1, K_2, \dots\}$, K 为主体使用的算法在训练期间的主体知识。

作为这个实体程序的训练实例的集合是:

$I = \{I_1, I_2, I_3, \dots\}$, 其中 I_i 属于 RouteSPACE,

如果采用被动学习算法, 实例集 I 是在主体开始学习之前提出的。被动学习算法与实例集间存在的关系是:

$$K_j = PL(K_{j-1}, I_j)$$

I 是固定的, K 是独立的。作为主动学习者, 实例集有主体选择, 因此, 主动学习者的认识与实例集之间的相互关系是:

$$K_j = AL(K_{j-1}, I_j)$$

$$I_j = P(K_{j-1}, S_{j-1})$$

主体知识是它以前知识和下一个实例的函数, 每个实例又是主体知识和它当前环境状态(S_{j-1})有关。在学习领域知识中, P 可能是一种归纳方法。

在地形数据库的高层推理中, 可以引入基于范例推理(Case-Based Reasoning, CBR)的方法。把当前所面临的问题或情况称为目标范例(target case), 而把记忆的问题或情况称为源范例(source case)。概括地说, 基于范例推理就是由目标范例的提示而获得记忆中的源范例, 并由源范例来指导目标范例求解的一种策略。

基于范例推理中的知识表示以范例为基础, 范例的获取比规则的获取相对容易, 可以大大简化知识获取的过程。对过去的求解结果进行复用, 而不是再次从头推导, 可以提高新问题的求解效率。过去求解成功或失败的经历可以指导当前问题求解时怎样走向成功和避免失败, 这样可以改善问题求解的质量。

结论 合理、高效的地形表示一直是分布式虚拟环境中 CGA 研究的一个难题。基于环境自动推理算法我们实现了 DVEForce 中的地形表示模型。在大规模, 基于真实地形建模的分布式演练环境中(DVENET)实现大范围的、多精度的真实地形模型中, 保证了 CGA 的自治行为的逼真性和实时性。

分布式虚拟环境是复杂的、变化的虚拟环境。多主体软件体系结构的出现为我们维持地形数据的一致性和实时性提供了一个新的方法。

参考文献

- 1 Charniak E, et al. Introduction to Artificial Intelligence. Addison-Wesley Publishing Company. 1985
- 2 Hille D, et al. Abstracting Terrain Data Through Semantic Terrain Transformations. In: Proc. on the Fifth Conf. on Computer

Generated Forces and Behavioral Representation. Institute for Simulation and Training. University of Central Florida, Orlando, FL. May, 1995. 355~365

- 3 Hoff B, et al. Path Planning with Terrain Utilization in ModSAF. In: Proc. on the Fifth Conf. on Computer Generated Forces and Behavioral Representation. Institute for Simulation and Training. University of Central Florida, Orlando, FL. May, 1995. 255~263
- 4 Karr C, et al. Automated Mission Planning in ModSAF. In: Proc. on the Fifth Conf. on Computer Generated Forces and Behavioral Representation. Institute for Simulation and Training. University of Central Florida, Orlando, FL. May, 1995. 159~168
- 5 Karr C, et al. Dynamic Obstacle Avoidance for Computer Generated Forces. In: Proc. on the Fifth Conf. on Computer Generated Forces and Behavioral Representation. Institute for Simulation and Training. University of Central Florida, Orlando, FL. May, 1995. 245~253
- 6 Ko H, et al. Terrain Navigation Skills and Reasoning. In: Proc. of the Fourth Conf. on Computer Generated Forces and Behavioral Representation. Institute of Simulation and Training. University of Central Florida, Orlando, FL. May, 1994. 219~227
- 7 Marti J, et al. Automated Path Planning for Simulation. Fifth Annual Conference on AI, Simulation, and Planning in High Autonomy Systems. IEEE Computer Society Press, Los Alamitos, CA. Dec. 1994. 122~128
- 8 Pandari A, et al. Terrain Reasoning by Intelligent Player. In: Proc. on the Fifth Conf. on Computer Generated Forces and Behavioral Representation. Institute for Simulation and Training. University of Central Florida, Orlando, FL. May, 1995. 367~373
- 9 Pratt D, et al. Autonomous Agent Interactions in ModSAF. In: Proc. on the Fifth Conf. on Computer Generated Forces and Behavioral Representation. Institute for Simulation and Training. University of Central Florida, Orlando, FL. May, 1995. 219~229
- 10 Reich J. An Efficient Representation of Spatial Data for Terrain Reasoning by Computer Generated Forces. ELECSIM 95-Electronic Conference on Scalability in Training Simulations. Held on the Internet. 1996
- 11 Smith J. Near-Term Movement Control in ModSAF. In: Proc. of the Fourth Conf. on Computer Generated Forces and Behavioral Representation. Institute for Simulation and Training. University of Central Florida, Orlando, FL. May, 1994. 249~260
- 12 Stanzione T, et al. Terrain Reasoning in the ODIN Semi-Automated Forces System. In: Proc. of the Third Conf. on Computer Generated Forces and Behavioral Representation. Institute of Simulation and Training. University of Central Florida, Orlando, FL. March, 1993. 317~326