

文章编号:1671-8879(2009)02-0080-04

OpenFlight 三维公路模型设计参数的获取

陈 涛,魏 朗,袁望方

(长安大学 汽车运输安全保障技术交通行业重点实验室,陕西 西安 710064)

摘 要:为快速获取人-车-路虚拟仿真系统中三维公路模型的平曲线、纵断面和横断面参数,在分析 OpenFlight 格式公路模型多级层次数据结构的基础上,建立了深度优先和广度优先结合的递归遍历计算模型,给出了利用 OpenFlight API 读取三维公路模型中平曲线半径、纵坡度、超高、缓和曲线长度以及起点、控制点和终点坐标参数的方法,开发了基于 Visual C++ 6.0 的读取程序,并在云南省保山—龙陵高速公路的运营安全评价与改善项目研究中进行了虚拟仿真应用。应用结果表明,该方法在提高建模效率的同时,使得各路段的运行帧率平均提高了 1.3 f/s。

关键词:交通工程;三维公路模型;OpenFlight API;遍历

中图分类号:U491.25 **文献标志码:**A

Parameter acquisition of OpenFlight 3D highway model

CHEN Tao, WEI Lang, YUAN Wang-fang

(Key Laboratory for Automotive Transportation Safety Technology of Ministry of Communications, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

Abstract: In order to obtain the road horizontal curve, profile and cross section parameters of 3D highway model in driver-vehicle-road virtual simulation, the multilevel hierarchy data structure of OpenFlight highway model is analyzed, and the computational model based on depth-first search and breadth-first search is built. Horizontal curve radius, longitudinal gradient, super-elevation, the length of transition curve and the coordinates of entry, alignment and exit point in 3D highway model are obtained by using OpenFlight API, the program is developed based on Visual C++ 6.0, and it is applied to the operation safety virtual simulation of Baoshan—Longling freeway in Yunan province. The application result shows that this method can improve the modeling efficiency, and the average frame rate of road sections is increased 1.3 f/s. 5 figs, 8 refs.

Key words: traffic engineering; 3D highway model; OpenFlight API; traversal

0 引 言

目前,人-车-路系统虚拟仿真主要应用于汽车的模拟驾驶,其中道路模型多采用 TIN 网格^[1-4]或样条曲线简化处理生成^[5]。在面向公路设计方案评

价的仿真中,不仅在建立道路三维模型时,需要快速获取道路信息,而且在仿真过程中还需要实时了解当前路段的参数信息^[6],以便调用控制模型(如驾驶人模型)来进行深入研究。因此,必须以公路路段为单位建模,并准确、实时获得三维公路模型的平曲

收稿日期:2008-05-12

基金项目:国家自然科学基金项目(50222206,50678027)

作者简介:陈 涛(1974-),男,陕西铜川人,副教授,工学博士,E-mail:chentao@chd.edu.cn.

线、纵断面和横断面参数信息。利用 OpenFlight API 可以读取 OpenFlight 数据库的点坐标、颜色和纹理属性等来重建三维模型^[7],或进行数据格式的转换(如生成 CNSDTF 标准的数据格式)以及实现 ArcGIS 和 OpenFlight 之间 TIN 的转换^[8]。为此,本文采用以路段为基本单位的公路模型,提出三维公路模型设计参数的获取方法,可以实时获得各路段信息,扩大了人-车-路系统仿真的应用范围,提高了车辆动力学解算的效率。

1 OpenFlight 三维公路模型

OpenFlight 是用于存储空间数据和图像信息的数据格式,被认为是目前虚拟现实领域中空间数据格式的工业标准。OpenFlight 模型通过几何图元、层次和属性 3 种元素定义三维物体,采用层次结构对物体进行描述。

与面向公路设计的 CAD 系统不同,在人-车-路虚拟仿真系统中,公路三维模型应在满足使用条件的基础上尽可能简化,以满足系统实时性的要求。三维公路模型由公路平面、纵断面、横断面和道路附属设施组成。在 OpenFlight 中,道路平面线形的基本设计单元是由直线+缓和曲线+圆曲线+缓和曲线+直线组成,采用交点法设计,如图 1 所示。路线平面线形控制点由起点、控制点和终点组成,设计初始参数有:圆曲线半径、超高、入口和出口缓和曲线长度及起点、控制点和终点坐标。

平面线形的基本计算式为

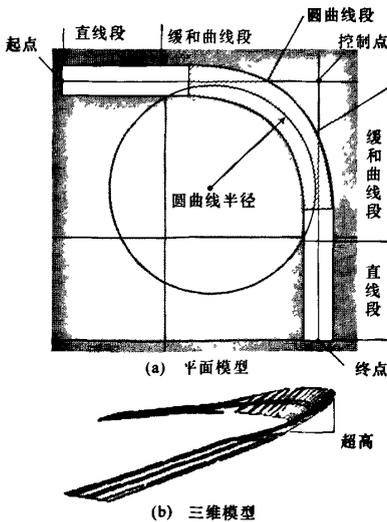


图 1 道路模型

$$\left. \begin{aligned} x(S) &= x_b + \int_{s_b}^S \cos[\theta_b + \int_{s_b}^s k(\tau) d\tau] ds \\ y(S) &= y_b + \int_{s_b}^S \sin[\theta_b + \int_{s_b}^s k(\tau) d\tau] ds \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式中: $x(S)$ 、 $y(S)$ 为计算点处坐标; S 为桩号; x_b 、 y_b 、 θ_b 分别为起点坐标和方位角; $k(\tau)$ 为曲率函数。

在 OpenFlight 中,道路纵断面模型采用起点+控制点+终点以及起点和终点坡度 i_1 、 i_2 来表示,其模型如下。

设起点坐标为 (s_b, z_b) , 则纵断面线形任一桩号处 (s_h) 的设计标高 $z(s_h)$ 为

$$z(s_h) = z_b + \int_{s_b}^{s_h} i(s) ds \quad (2)$$

直线坡段标高和坡度计算式分别为

$$i(s) = dz/ds = i_1 \quad (3)$$

$$z(s) = z_b + i_1(s - s_b) \quad (4)$$

二次抛物线竖曲线标高和坡度计算式分别为

$$i(s) = dz/ds = i_1 + (s - s_b)/R \quad (5)$$

$$z(s) = z_b + i_1(s - s_b) + (s - s_b)^2/2R \quad (6)$$

式中: $s \in [s_b, s_c]$; s_b 、 s_c 分别为桩号起点、终点坐标; s_h 为任一点桩号坐标; R 为竖曲线半径(m),竖曲线为凹时取正值,为凸时取负值。

在 OpenFlight 中,公路模块分为 3 部分:道路构造、道路网格化以及仿真场景数据生成。道路构造模块根据平、纵、横数据生成三维道路线框模型;道路网格化模块的主要功能是道路几何模型的网格化、产生层次细节模型(LOD)、定义路面属性(纹理、材质等)和生成道路的交通工程设施等;仿真场景数据生成模块用于产生实时动态仿真中使用的数据,包括车道和道路中线数据等。典型的公路模型节点层次数据结构如图 2 所示。

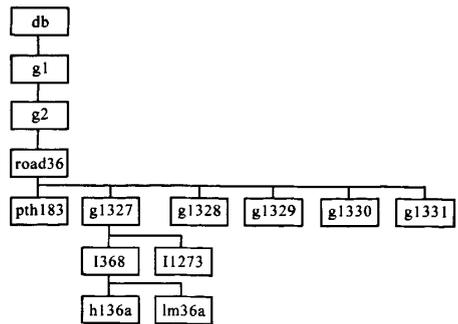


图 2 道路模型节点层次数据结构

图 2 中,db 为数据库头节点;g1、g2、h136a、lm36a 为组节点;road36 为路段节点;pth183 为路

径节点;g1327、g1331为直线段节点;I368、I1273为LOD节点;g1328、g1330为缓和曲线段节点;g1329为圆曲线段节点。

2 三维道路信息获取模型

在仿真中,需要检索获得三维道路模型的平曲线、纵断面和横断面参数信息。在OpenFlight三维模型中读取相关数据时,由于空间数据量非常庞大,以及空间数据层次结构的复杂性,读取算法必须在保证读取速度的同时不遗漏数据。

一般情况下,图结构存在两种遍历方式:深度优先和广度优先。由于场景图中不同层次间存在着相对位移、旋转和缩放等变换操作,而使用深度优先遍历机制可以很方便地处理这种不同层次间节点变换操作的累加传递效应。因此,在本系统中,深度优先遍历是基本的遍历方式;广度优先遍历由于可以实现多线程(单CPU)或并行(多CPU)算法,这在一定程度上可以提高系统运行的效率。因此,在读取三维公路模型信息时,综合运用了这两种遍历方式,并在节点的遍历处理上采用了递归算法,人-车-路系统的仿真流程如图3所示。具体实现时,在遍历场景数据库的第一层次节点时使用广度优先遍历,这样就人为地将整个场景数据库划分为若干个子场景,再在每个子场景中深度优先遍历,计算结果保存在链表结构中。这种数据库遍历方式对于复杂场景数据库非常有效,能提高系统运行的性能。

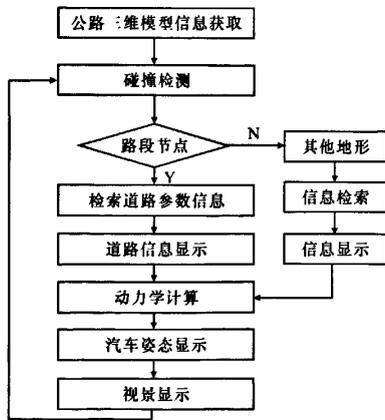


图3 人-车-路系统仿真运行流程

3 三维道路信息获取的实现

在本文的公路模型中,将需要读取的公路路段分为曲线、坡和直线3类。曲线段数据包括平曲线半径、入口缓和曲线长度、出口缓和曲线长度、起点

坡度、终点坡度、超高、起终点和控制点坐标;坡段数据包括起终点坐标、起点坡度和终点坡度;直线段包括起终点坐标信息。利用Visual C++ 6.0和OpenFlight API,开发了OpenFlight数据库中公路参数信息的读取程序。

4 应用实例

在云南省保龙(保山—龙陵)高速公路运营安全评价与改善项目研究中,应用本文方法实现了公路三维模型信息的获取。保龙高速公路马家寨隧道与怒江大桥段三维模型共包含47个路段,读取结果如图4(见下页)所示。在建模时,利用该程序可以快速检查三维公路模型各路段的参数信息,从而大大提高了建模效率。

图4中:路段名为道路节点名;长度为路段长度(m);Sx、Sy、Sz代表路段起点的x、y、z坐标(m);Ex、Ey、Ez代表路段终点的x、y、z坐标(m);Cx、Cy、Cz代表路段控制点的x、y、z坐标(m);半径代表平曲线的半径(m);SP1、SP2代表缓和曲线的长度(m)。

在仿真过程中,利用该方法可以实时得到路段的参数信息,图5(见下页)为保龙高速公路虚拟仿真试验画面,左上角显示信息为碰撞检测得到的路段节点名称,右上角为实时检索获得的路段参数。应用结果显示,该方法可以根据碰撞检测的结果良好地读取运行路段的参数信息,减少了由于计算道路参数引起的延迟,使得仿真系统在各路段的运行帧率平均提高了1.3 f/s。此外,由于可以实时获得前后路段的信息,提高了车辆动力学模型的解算效率,并使得在仿真中应用驾驶人控制模型成为可能。

5 结语

(1)利用OpenFlight API读取了空间数据库中的三维道路信息,给出了具体算法和实现代码;该方法能够快速从OpenFlight格式数据库中获得3种类型路段的设计数据,是一种有效地获取公路模型数据库信息的解决方案。

(2)利用该方法,可以实现三维公路模型的快速检查,并提高实时仿真中的运行帧率。

(3)本研究提出的OpenFlight数据库读取方法,对于读取其他信息具有重要的指导作用。

(4)该方法可应用于独立运行的仿真系统,也可用于Multigen Creator中插件的开发。

序号	类型	路段名	长度	Sx	Sy	Sz	Rx	Ry	Rz	Cx	Cy	Cz	半径	SP1	SP2	
1	曲线	R34	436.9	0.0	8.0	0.0	-520.6	563.1	24.3	-558.4	6.0	14.0	481.4	85.0	85.0	
2	曲线	R35	181.7	0.0	0.0	0.0	-561.9	602.0	26.4	-603.5	0.0	15.9	466.4	200.0	200.0	
3	直线	R36	288.3	128.3	0.0	0.0	-7.0	522.0	-332.4	-34.2	463.8	0.0	-25.5	341.0	100.0	100.0
4	曲线	R36	181.9	565.7	-582.1	-49.4	690.6	-882.9	-66.5	594.5	-746.5	-59.4	555.0	85.0	85.0	
5	曲线	R39	356.8	690.6	-692.9	-66.5	834.7	-1220.0	-81.4	798.6	-1036.1	-72.1	679.4	85.0	85.0	
6	曲线	R40	205.4	834.7	-1220.0	-61.4	1039.9	-1562.5	-101.9	875.5	-1427.9	-92.0	446.9	100.0	100.0	
7	曲线	R41	145.9	1039.9	-1562.5	-101.9	1093.0	-2051.2	-126.4	1306.9	-1780.9	-116.4	290.0	115.0	115.0	
10	直线	R42	1093.0	-2051.2	-126.4	966.6	-2210.8	-137.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
11	曲线	R43	153.7	966.6	-2210.8	-137.0	999.6	-2556.6	-160.6	778.2	-2448.8	-152.8	255.0	130.0	130.0	
12	曲线	R44	56.2	999.6	-2556.6	-160.6	1141.3	-2769.7	-171.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
13	曲线	R45	200.1	1141.3	-2769.7	-171.0	1404.1	-3090.6	-191.8	1287.8	-2927.1	-190.6	1900.0	0.0	0.0	
14	直线	R46	1404.1	-3090.6	-191.8	1464.5	-3175.3	-196.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
15	曲线	R47	192.8	1464.5	-3175.3	-196.8	1777.5	-3376.6	-214.3	1580.9	-3338.9	-206.4	370.7	100.0	100.0	
16	曲线	R48	126.9	1777.5	-3376.6	-214.3	2011.9	-3476.4	-228.5	1905.5	-3401.2	-221.5	365.2	100.0	100.0	
17	曲线	R49	195.6	2011.9	-3476.4	-228.5	2254.3	-3590.7	-240.7	2122.1	-3554.3	-235.9	431.0	85.0	85.0	
18	曲线	R50	149.4	2254.3	-3590.7	-240.7	2544.7	-3636.7	-250.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
19	曲线	R51	207.9	2544.7	-3636.7	-250.9	2906.1	-3828.3	-270.9	2753.3	-3680.3	-261.1	577.6	85.0	85.0	
20	曲线	R52	281.2	2906.1	-3828.3	-270.9	3350.8	-3916.5	-291.9	3100.0	-4015.9	-263.8	327.3	115.0	115.0	
21	曲线	R53	86.9	3350.8	-3916.5	-291.9	3512.2	-3851.0	-299.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
22	曲线	R54a	437.5	3512.2	-3851.0	-299.4	4189.4	-4142.7	-332.4	4075.8	-3629.1	-329.6	408.0	100.0	0.0	
23	曲线	R54b	296.3	4189.4	-4142.7	-332.4	3701.1	-4646.2	-365.4	4303.1	-4656.3	-352.1	408.0	0.0	100.0	
24	曲线	R55	204.8	3701.1	-4646.2	-365.4	3168.8	-4637.3	-399.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
25	曲线	R56	202.2	3168.8	-4637.3	-399.9	2896.5	-4696.9	-404.1	3020.9	-4634.8	-394.4	427.4	100.0	100.0	
26	曲线	R57	181.6	2896.5	-4696.9	-404.1	2589.3	-4742.2	-420.2	2744.8	-4762.5	-413.3	360.2	100.0	100.0	
27	曲线	R58	293.5	2589.3	-4742.2	-420.2	2247.8	-5080.1	-443.7	2201.4	-4691.4	-435.9	251.0	130.0	130.0	
28	直线	R59	2247.8	-5080.1	-443.7	2297.1	-5493.4	-465.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	

图 4 保龙高速公路三维模型读取结果



图 5 保龙高速公路虚拟仿真试验

参考文献:

References:

[1] Suttle C. Continuous adaptive terrain modeling for DIS and other simulation applications [C]//SPIE. Proceedings of the International Society for Optical Engineering. Florida, SPIE Press, 1996:124-134.

[2] 马智民, 罗 斌. Delaunay 三角网构建 DEM 整体优化算法[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2008, 28(3):44-48.
MA Zhi-min, LUO Bin. Entire optimized triangulation algorithm of Delaunay triangle network for DEM construction [J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2008, 28(3):44-48.

[3] 蒲 浩, 宋占峰, 郑顺义, 等. 道路三维场景的实时动态显示技术[J]. 交通运输工程学报, 2003, 3(1):52-56.
PU Hao, SONG Zhan-feng, ZHENG Shun-yi, et al. Real-time dynamic display technology of road 3D scene[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2003, 3(1):52-56.

[4] 符铨砂. 公路实时三维可视化系统构架[J]. 中国公路学报, 2007, 20(6):31-35.
FU Xin-sha. Framework of real-time 3-D visualization system of highway[J]. China Journal of Highway and Transport, 2007, 20(6):31-35.

[5] 曾纪国, 熊 坚, 万华森. 驾驶模拟器三维场景自动生成系统的开发及应用[J]. 系统仿真学报, 2002, 14(6):752-755.
ZENG Ji-guo, XIONG Jian, WAN Hua-sen. Development and application for 3D scene generated system of driving simulator[J]. Journal of System Simulation, 2002, 14(6):752-755.

[6] 杨宏志, 许金良, 李建树. 基于计算机仿真的公路线形评价[J]. 中国公路学报, 2005, 18(1):14-17.
YANG Hong-zhi, XU Jin-liang, LI Jian-shi. Evaluation of highway route design based on computer simulation[J]. China Journal of Highway and Transport, 2005, 18(1):14-17.

[7] 喻细辉, 熊 坚, 陈泽林. MultiGen Creator 构建城市交通场景及其在 C++ 下重建方法[J]. 昆明理工大学学报: 理工版, 2003, 28(4):113-116.
YU Xi-hui, XIONG Jian, CHEN Ze-lin. MultiGen Creator construct town traffic scene and its reconstruction in C++ [J]. Journal of Kunming University of Science and Technology: Science and Technology, 2003, 28(4):113-116.

[8] 常 远, 秦小麟, 王筱成, 等. 基于 CNSDTF 和 OpenFlight 的空间数据互操作研究[J]. 中国图象图形学报, 2005, 10(12):1554-1559.
CHANG Yuan, QIN Xiao-lin, WANG Xiao-cheng, et al. Research on the spatial data interoperability based on CNSDTF and OpenFlight [J]. Journal of Image and Graphics, 2005, 10(12):1554-1559.