

基于 BIM 的停车场动态模型研究

田佩龙, 庄亮东, 孟欣, 胡振中

(清华大学土木工程系, 北京 10084)

【摘要】因驾驶员对停车场内部状况缺乏了解造成停车困难的现象时有发生,同时,现有的停车场管理系统不能与建筑内其他系统进行有效的信息共享。BIM 技术的出现为解决这些问题提供了新的途径。通过研究基于 IFC 的停车场内部道路拓扑模型自动生成方法,停车位动态信息获取与集成方法,最优路径生成方法等,建立基于 BIM 的停车场动态模型。同时,开发基于 BIM 的停车场智能管理原型系统,实现了车辆出入库管理、车位状态的可视化显示、泊车引导等。

【关键词】BIM; 停车场; 动态模型; 拓扑模型

随着经济的发展,汽车数量日益增多,停车问题也一直被社会所关注。由于停车场内部缺乏引导机制,驾驶员对停车场内部状况缺乏了解,加上视线受阻,在寻找空余停车位时往往会出现困难,在较大型的地下停车场内这种现象更为严重。针对这些问题,有学者进行了相关研究,例如,邓应伟^[1]提出了基于遗传算法的停车场最短路径搜索方法,并开发了车辆自动识别系统;孔郁斐等^[2]提出了考虑停车场内寻车时间、停车时间和开出时间的广义最短路径算法;金春嫣^[3]研究了基于 ZigBee 和红外检测的停车位监控关键技术,并进行了原型系统的开发。

但是,一方面现有的研究大多以某个停车场为背景,提出对应的解决方案,停车场系统往往也需要针对具体停车场进行定制,通用性较差,功能有很大的局限性,不便于进行扩展;另一方面,停车场管理数据也仅仅局限于停车场管理系统内部,不能与建筑内的其他管理系统有很好的互动,进行信息共享,无法为驾驶员提供更加便捷的服务。造成上述困难的原因在于停车场系统中没有一个较为完善、通用的信息模型作为信息共享的基础。

近几年来,BIM 技术迅速发展,为建筑内的数据共享提供了有效的解决方案,也为上述问题的解决提供了一种新的方案。该研究提出了一种基于 BIM 的停车场动态模型,并阐述了该动态模型的建立过程。该动态模型对于建立一个完善的、扩展性强、交互性强的停车场管理系统奠定了良好的基础。

1 停车场管理系统分析

1.1 停车场管理系统功能分析

停车场是用于保管停放车辆,包含一个或多个入口和出口的相对封闭的场所。停车场管理系统是基于电子和信息技术,利用专用设备实现对停车场内车辆出入和动态控制的网络管理系统。停车场管理系统的主要功能包括以下几部分:

- (1) 车辆出入场管理:利用门禁系统、道闸控制器、车辆感应器、摄像机等实现对车辆出入停车场的控制;
- (2) 计时计费及收费管理:通过记录车辆出入时间,按照计费规则计算停车费用;
- (3) 车辆识别功能:利用图像识别等技术识别出入场车辆的车牌、颜色、车型等,并记录车辆照片

【基金项目】国家高技术研究发展计划资助项目(2013AA041307);国家自然科学基金资助项目(51478249)

【作者简介】田佩龙(1992-),男,河南驻马店人,硕士研究生。主要研究方向为建筑信息模型(BIM)、建筑运维期管理和建筑设备自动化。
E-mail: tpl14@mails.tsinghua.edu.cn

【通讯作者】胡振中(1983-),男,广东惠州人,副教授,博士,博士生导师。主要研究方向为土木工程信息技术、建筑信息模型(BIM)和数字防灾技术。E-mail: huzhenzhong@tsinghua.edu.cn

信息，是停车场收费和安全管理的基礎；

(4) 停车位状态监控功能：采用传感器或图像识别等技术，自动监控停车场内的停车位是否被占用，便于管理人员进行管理；

(5) 泊车引导功能：能够自动计算最优停车路线，并以显示屏等多种方式引导新入场车辆驶入最适宜的停车位；

(6) 视频监控功能：利用摄像机对停车场内进行实时视频监控。

1.2 停车场管理系统信息分析

停车场管理系统在完成各项功能时，所需要的基本信息如表 1 所示。

表 1 停车场管理系统中所需信息

功能	信息	备注
车辆出入场管理	通行卡信息	通行卡ID、通行卡类型、关联的车牌号等
计时计费及收费管理	停车时间信息	入场时间、出场时间
车辆识别功能	车辆信息	车牌号、车牌类型、车辆颜色、车型、车辆照片
停车位状态监控功能	停车位信息	停车位编号、停车位位置、停车位尺寸、是否被占用
泊车引导功能	道路信息、停车位状态信息	停车场内道路、停车位状态、最优停车位及到达路径
视频监控功能	摄像机信息、监控视频信息	摄像机位置、摄像机IP、摄像机监控范围、监控视频

2 基于 BIM 的停车场动态模型

2.1 概述

在对停车场管理系统中信息需求分析的基础上，该研究提出了如图 1 所示的基于 BIM 停车场动态模型，用于进行停车场管理系统中信息的组织与共享。该动态模型主要包含停车场内部道路拓扑模型、停车位模型、车辆信息模型等几部分。

停车场内部道路拓扑模型是泊车引导功能实现的基础。内部道路拓扑模型中包含路段和节点，路段包含道路的几何属性及与节点的连接信息等，另外，可根据需求，对路段附加额外的信息，如行驶所需时间等；节点分为出入口节点、道路转折节点和停车位节点。停车位模型是基于 BIM 的停车场动态模型中的基本单元，也是停车场管理系统中最重要的信息单元，停车位模型中的信息包括静态信息和动态信息两部分，静态信息包括停车位编号、位置、尺寸、三维表示等，动态信息包括车位状态、车辆信息、实时监控视频等。车辆是停车场管理系统中的管理对象，车辆信息模型中应包含车牌号、车牌类型、车辆颜色、车型、车辆照片、三维表示、关联的通行卡等。

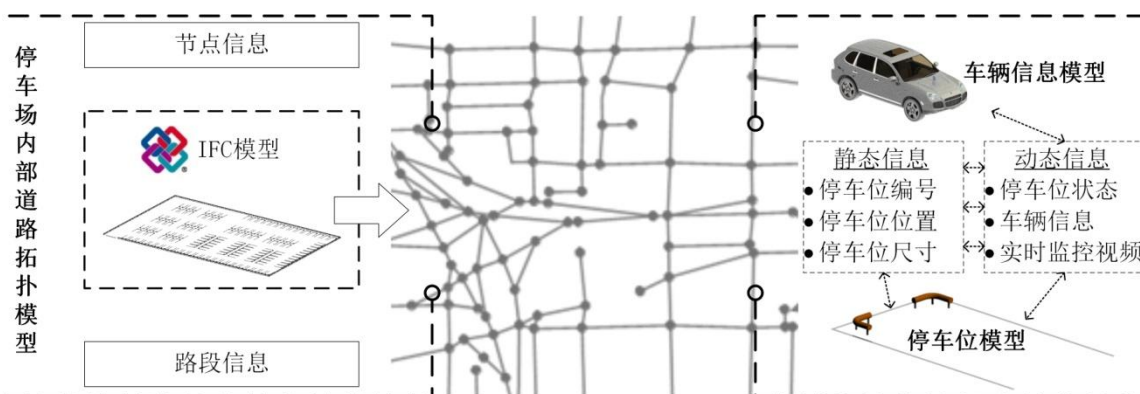


图 1 基于 BIM 的停车场动态模型

2.2 停车场基础模型建立

停车场模型采用 Autodesk Revit 建立，Revit 是由 Autodesk Revit 公司开发的适用于建筑、结构、机电建模及设计软件，也是目前常用的 BIM 建模软件之一，支持导出成工业基础类（IFC）^[4]格式。

在 Autodesk Revit 中编辑创建自定义的停车位族，为停车位添加停车位编号、停车位长、宽等属性，利用自定义的停车位族建立停车场模型，并为停车位实例赋予编号等信息，以便之后进行停车位的识别与定位。最后，将停车场模型导出为 IFC 格式的模型文件，共享给下一阶段使用。

2.3 停车场内部道路拓扑模型自动生成

利用 Autodesk Revit 导出的 IFC 格式的停车场模型文件中包含停车场的建筑物信息、出入口信息、停车位几何信息及属性信息等，但是缺乏停车场内部道路信息，而内部道路信息是进行泊车引导的必需信息，也是停车场动态模型中的关键信息。该研究提出了一种停车场内部路径生成算法，用于自动生成停车场内部道路拓扑模型。

基于清华大学课题组开发的 IFC 文件解析接口^[5]，可将 IFC 中的模型信息解析成可识别的包含几何信息和扩展属性的模型构件信息，利用扩展属性识别出停车位模型信息，经过以下步骤，自动生成停车场内部道路拓扑模型，如图 2 所示。

(1) 识别停车场中非道路区域：根据 IFC 模型构件（停车位、柱、停车场外墙等）的几何信息提取其平面轮廓，通过设定阈值，将两两之间距离较近的平面轮廓融合到一起，从而形成非道路区域平面信息，其中含编号的区域部分为停车场内非道路区域，停车场外轮廓为停车场边界；

(2) 分割形成局部道路矩形块：将道路区域按照与非道路区域的相邻条件划分为不同的矩形块，首先生成包含两条与非道路区域相邻的边的矩形块，然后用矩形块填充剩余道路区域。不同矩形块的边界条件不同，矩形块中与非道路区域相邻的边为不可通边，与其余道路矩形块相邻的边为可通边，与部分非道路区域相邻的边为半可通边；

(3) 生成局部道路信息：根据局部道路矩形块的不同类型，采用不同的方法生成矩形块内道路信息，取局部道路区域的可通边中点或半可通部分中点为该局部道路一个出口点，将矩形块中心点依次与所有出口点相连，形成局部道路信息；

(4) 建立整体道路拓扑模型：将局部道路相互连接，同时，根据停车位的开口方向将其映射到最近的道路上，从而建立整体道路拓扑模型。

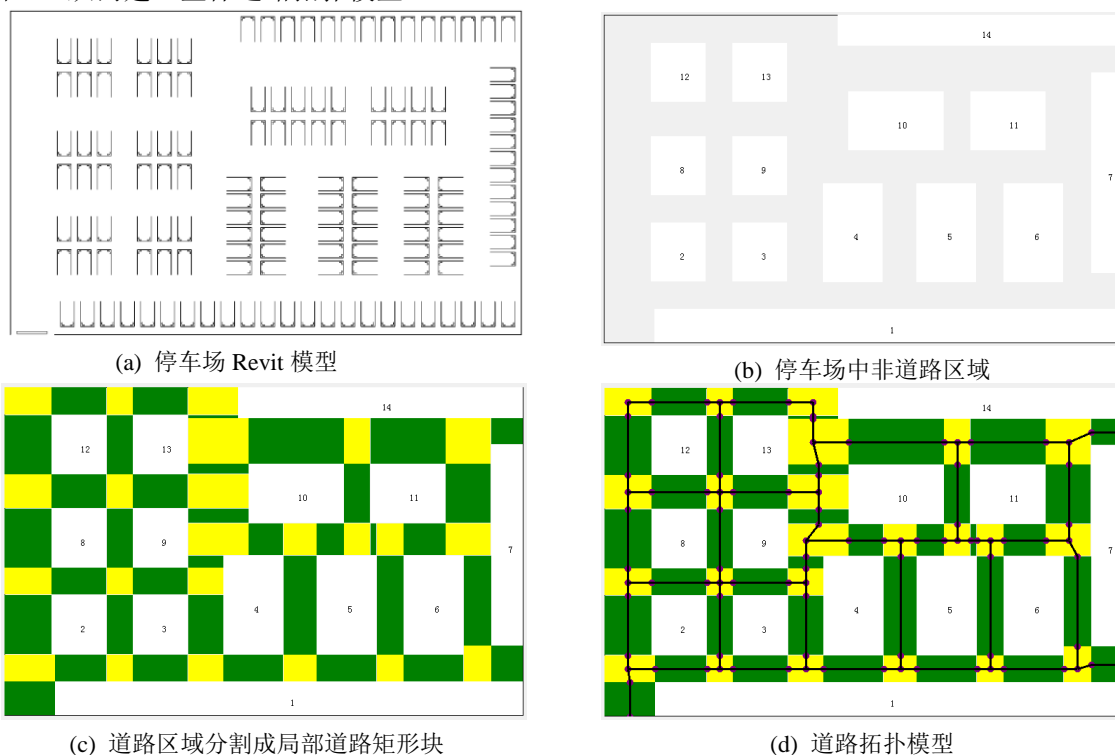


图 2 停车场内部道路拓扑模型自动生成

2.4 停车位动态信息获取与集成

停车位的编号、位置、尺寸等属于停车位的静态信息，而要完成停车场的日常管理功能，还需要停车位状态（是否被车辆占用）、通行卡信息（卡号等）、车辆信息（车牌号、车辆颜色、车型、车辆照片等）、停车位实时监控视频画面等动态信息，这些动态信息可通过与停车位关联形成统一的停车位动态模型，作为基于 BIM 的停车场动态模型中的重要组成部分。

停车位状态信息获取的方式包括传感器识别和图像识别两种。传感器识别中常用的方式包括红外检测^[3]、地感线圈^[6]、地磁感应^[7]等；图像识别主要是利用摄像机拍摄图像，对比停车位被占用前后图像特征变化识别停车位状态^[8-9]。获取的停车位状态信息以属性的方式关联到停车位模型中，当停车位状态变化时，实时更新该状态值，同时，更新停车位的模型表现。在本研究中，车辆信息的获取主要采用图像识别^[1]的方式，利用车牌识别一体机等设备，在车辆入场时获取车牌、车辆颜色、车型和车辆照片信息，并与已存的车辆三维模型进行比较，提取相似的模型关联到该车辆信息中，在车辆占用停车位时，将车辆三维模型同时显示在停车位上。通行卡信息在车辆入场时从读卡器获取并关联到车辆信息上。

2.5 最优路径信息生成

当车辆进入（驶离）停车场时，需要能找到最优的到达可用车位（出口）的路径。最优路径信息可采用实际最短路径，也可采用考虑实际停车时间^[2]、灰熵^[10]的广义最短路径。最短路径算法常采用 Dijkstra 算法^[11]、Floyd 算法^[12]和遗传算法^[1]等。

基于 BIM 的停车场动态模型中包含整体道路拓扑模型，在拓扑模型的基础上可以实现最短路径算法，生成最优路径信息，也可以给道路拓扑模型中的路段或节点赋予时间等属性，实现广义最短路径算法，生成最优路径信息，集成到动态模型中。在本研究中，利用 Dijkstra 算法对上述理论进行验证。在实际使用中，可通过指示牌、手机应用等方式将最优路径信息传达给驾驶员，用于泊车引导等。

3 应用案例

为了验证基于 BIM 的停车场动态模型的有效性，作者在清华大学已有的研究成果基于 BIM 技术的机电设备智能管理系统（BIM-FIM）^[13]的基础上设计开发了基于 BIM 的停车场智能管理原型系统。同时，利用一体化摄像机、网关、服务器等搭建小型的停车场服务系统，进行应用测试，如图 3 所示。

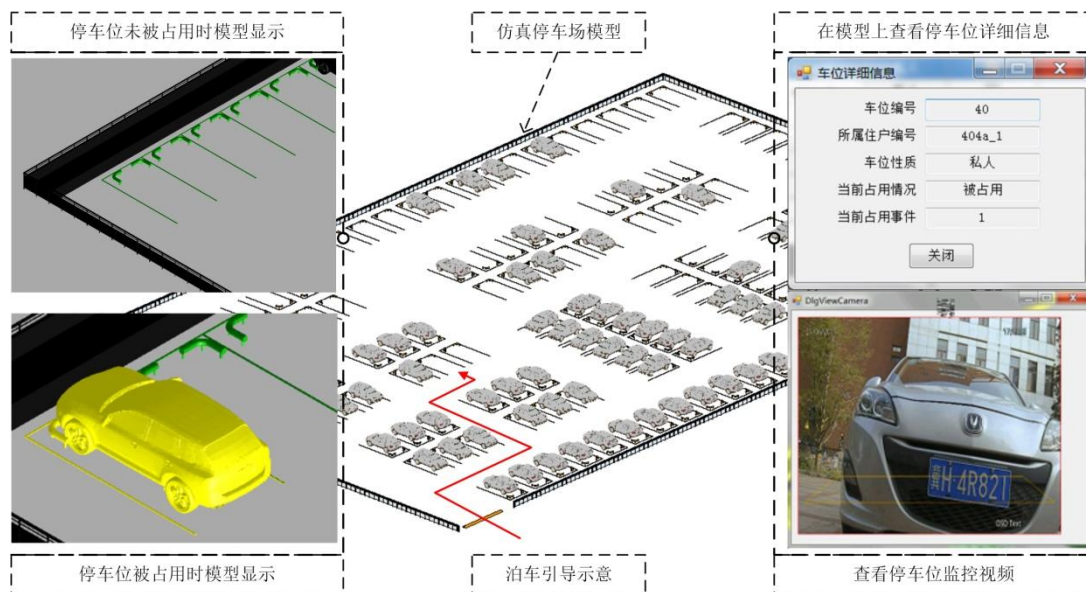


图 3 案例应用情况

首先利用 Revit 编辑创建自定义停车位族，利用该族创建停车场基础模型，导出成 IFC 格式的停车场

模型。在 BIM-FIM 中解析 IFC 中的停车场模型信息并自动生成内部道路拓扑信息,利用 Dijkstra 算法生成车位到停车场出入口的最短路径,利用外部监测设备获取车位状态信息并集成到静态模型中,最终形成基于 BIM 的停车场动态模型。利用该动态模型,进行车辆出入库管理、车位状态查询、泊车引导等。

4 结 论

本研究在对停车场管理系统分析的基础上,研究其内部包含信息内容,提出了基于 BIM 的停车场动态模型。同时,通过研究基于 IFC 的停车场内部道路拓扑模型自动生成方法,停车位动态信息的获取与集成方法,最优路径信息的生成方法等,给出该动态模型的建立路线。最后,通过在 BIM-FIM 的基础上设计开发基于 BIM 的停车场智能管理原型系统,实现了车辆出入库管理、车位状态的可视化显示、泊车引导等,对该动态模型的有效性进行了验证。

因为时间仓促,该研究还存在一些不足之处,比如在最优路径信息生成方面,在原型系统中实现 Dijkstra 算法,对其它优化算法还有待进一步研究。

参 考 文 献

- [1] 邓应伟. 停车场智能管理系统[D]. 长沙: 湖南大学, 2006.
- [2] 孔郁斐, 杨 馨, 匡文博, 等. 大型停车场智能管理系统关键技术研究[C]//第八届中国智能交通年会优秀论文集——智能交通与安全. 合肥: 中国智能交通协会, 2013: 315-325.
- [3] 金春嫣. 基于 ZigBee 和红外检测的车位监控系统研究[D]. 长沙: 中南大学, 2010.
- [4] Vanlande R, Nicolle C, Cruz C. IFC and building lifecycle management[J]. Automation in Construction, 2008, 18(1): 70-78.
- [5] Hu Zhenzhong, Zhang Jianping. BIM-and 4D-based integrated solution of analysis and management for conflicts and structural safety problems during construction: 2. Development and site trials[J]. Automation in Construction, 2011, 20(2): 167-180.
- [6] 赵宏凯. 智能停车场的车位信息检测及管理系统[D]. 大连: 大连交通大学, 2014.
- [7] 苏东海, 王 亮, 马寿峰. 基于地磁感应的车辆检测方法的研究[J]. 交通与计算机, 2007, (3): 9-13.
- [8] 马 铭. 基于视频的停车场车位状态监控识别系统[D]. 天津: 天津大学, 2007.
- [9] 孟 焱. 基于机器视觉的停车位状态检测技术研究[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2013.
- [10] 季彦婕, 王 炜, 邓 卫. 停车场内部泊车行为特性分析及最优泊位选择模型[J]. 东南大学学报:自然科学版, 2009, 39(2): 399-403.
- [11] 刘 姣, 葛召炎, 谢 静, 等. 停车场泊车问题的研究与仿真[J]. 计算机仿真, 2011, 28(7): 340-344.
- [12] 严蔚敏, 吴伟民. 数据结构: C 语言版[M]. 北京: 清华大学出版社, 1997: 186-190.
- [13] 胡振中, 陈祥祥, 王 亮, 等. 基于 BIM 的机电设备智能管理系统[J]. 土木工程信息技术, 2013, 5(1): 17-21.