

基于 BIM 技术的碰撞检测方法优化研究

马林军¹, 黄伟², 原志宁¹, 钟婷婷²

(1.宁夏交通建设股份有限公司, 宁夏 银川 750004; 2.浙江省建投交通基础建设集团有限公司, 浙江 杭州 310012)

摘要:碰撞检测主要用于在项目设计阶段对“错、漏、碰、缺”问题进行检测和优化。将 BIM 技术的碰撞检测功能与时间域分类下的静态检测、伪动态检测和动态检测 3 种检测理论相结合, 优化了基于 BIM 技术的碰撞检测方法, 减少了检测运算时间和复杂度。另外, 在桥梁工程中的实例应用验证了此优化方法的高效性和实时性。

关键词: BIM 技术; 碰撞检测; 桥梁工程; 包围盒树

中图分类号: U446

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2022)12-0190-03

0 引言

碰撞检测所依托的基本原则是在一个相同的空间区域内不能共存两个及以上不可穿透的封闭对象, 所以检测目的是判定在所检区域内是否存在物体发生空间冲突^[1]。碰撞检测主流方法为基于物体空间的检测算法, 是利用物体三维几何特性进行判断, BIM 技术本身所具有的建模逻辑和可视化特性能够完美支持此检测方法。而桥梁工程中存在较多的异形结构和钢混结合段, 碰撞问题不可避免并会在施工阶段产生较多变更造成资源和时间的浪费。因此, 对桥梁工程进行基于 BIM 技术的碰撞检测应用及方法优化研究意义重大。鉴于此, 本文基于 Bentley 平台的 Navigator 软件, 结合静态、伪动态和动态碰撞检测理论对碰撞检测方法进行优化并应用于某桥梁工程。结果表明, 方法优化后可大幅降低运算量, 并提高检测效率。

1 碰撞检测方法优化研究

本文基于 BIM 技术的碰撞检测可分为两个过程, 一是依托 Micro Station 所建桥梁模型在 Navigator 中进行静态碰撞检测, 二是考虑时间因素的工作空间碰撞检测。在 BIM 碰撞检测功能基础上结合时间域分类下的 3 种碰撞检测理论进行方法优化主要是为解决静态检测运算量大和伪动态检测下的碰撞遗漏问题。

1.1 碰撞检测算法及应用

在时间域分类下, 碰撞检测可分为静态、伪动态

和动态 3 种模式。静态碰撞检测是判定对象在某一固定时间点是否与所检区域内其他对象相交, 不考虑实时性。动态碰撞检测是检测在一个连续时间 $[t_0, t_n]$ 上对象扫过的空间是否与环境其他物体相冲突, 考虑四维时空问题且要求精确建模。伪动态碰撞检测是根据运动路线判断对象在时间点 $t_0, t_1, \dots, t_n$ 上的离散点处是否存在与其他对象的碰撞。空间域分类中基于物体空间的碰撞检测方法最适用于天然具有的三维几何可视化和自动计算优势的 BIM 技术。在物体空间碰撞检测方法中, 层次包围盒树法通过对区域中待检对象创建层次包围盒树来减少精确求交的物体数来实现运算的简化^[2]。包围盒树有层次包围球树、AABB 包围盒、OBB 层次树等。

现阶段的桥梁建筑逐渐出现了更多的异形复杂结构, 施工组织也更为繁琐, 因此提高碰撞检测技术的实时性是领域内学者研究的核心问题。基于 BIM 软件系统的碰撞检查能够很好地解决这一问题。其碰撞检测步骤可分为粗筛和详检两步, 即先采用掠扫法将对象的包围体降维投影进行堆叠检测, 排除空间中显然不会相交的几何构件; 再应用包围盒树法递归分解模型对象, 检测出各个层次节点的包围体相交状况。

基于 BIM 软件系统的碰撞检测类型主要分为以下 4 种:

(1) 硬碰撞: 几何图形冲突且相交深度大于设定公差。

(2) 硬碰撞(保守): 进行模型包围体交互检测, 相对第一种方法更加安全。

(3) 间隙碰撞: 根据所设定公差检测模型间小于

收稿日期: 2022-03-10

作者简介: 马林军(1978—), 男, 本科, 高级工程师, 从事公路工程施工管理工作。

该规定值的相离、相交(包括硬碰撞)均为碰撞。

(4)软碰撞:对运动中的模型对象进行潜在碰撞检测,即检测算法中的伪动态及动态检测方法。

经过两大步骤和四类碰撞检测方法的结合应用,即可得到模型中接触点、穿刺深度等碰撞信息。但这些还是以静态检测结果为主,在进行软碰撞检测(此处特指动态碰撞检测)时,运算量过大导致实时性很差。因此,需要针对伪动态检测碰撞遗漏问题进行优化研究。

1.2 基于BIM技术的检测方法优化

进行碰撞检测方法的优化主要是为了减少检测中不必要的数据计算。对静态碰撞检测而言,最佳优化方法为球体覆盖法。对伪动态碰撞检测而言,运动间隙填充是最为有效的方法^[3]。球体覆盖法即在对象外包裹可达到的半径最小的球体,并判断两个覆盖球之间是否相交,并在相交后将单独大球体缩小为系列小球体,不断分割检测,直到得到满意的近似值。运动间隙填充法针对伪动态碰撞检测中离散点之间由于“细节丢失”问题而导致碰撞遗漏的问题,通过建立围绕物体所经过空间的凸壳代替实体的四维形状。利用凸壳进行运动间隙填充并利用OBB层次树进行碰撞检测的优化方法步骤如下:

(1)计算并建立所检测对象的凸壳。

(2)假设可以得到 n 个三角形并记为 $\Delta p^k q^k r^k$, p^k, q^k, r^k 分别是三角形 k 的3个顶点, $k=1,2,3,\dots,n$ 。

(3)三角形 k 的质心 m^k 为:

$$m^k = (p^k + q^k + r^k) / 3 \quad (1)$$

(4)整个凸壳的质心 m^H 为所有三角形质心的加权平均值,可记为:

$$m^H = \frac{1}{a^H} \sum_{k=0}^{n-1} a^k m^k \quad (2)$$

式中: m^H 为整个凸壳的质心; a^H 为凸壳总面积; a^k 为三角形 k 的面积; m^k 为三角形 k 的质心。

(5)通过计算 3×3 协方差矩阵 c 的特征向量即可得到所求包围盒的方向向量:

$$c = \left[\frac{1}{a^H} \sum_{k=0}^{n-1} \frac{a^k}{12} (9m_i^k m_j^k + p_i^k p_j^k + q_i^k q_j^k + r_i^k r_j^k) - m_i^H m_j^H \right], \quad 0 \leq i, j < 3 \quad (3)$$

(6)特征向量归一化计算得到OBB层次树的方向向量 a^u, a^v 和 a^w ,找到OBB的中心及半径并计算凸壳上的点在向量方向上的投影大小,确定每个方向上的最大值和最小值后即可得到包围盒的大小和位置。

对于伪动态碰撞检测来说,基于BIM软件平台进行运动间隙填充方法优化后,解决了其碰撞遗漏问题,从而能够充分发挥BIM模型在施工组织和时空冲突检测中的应用优势,使得碰撞检测方法框架更加全面。

2 优化碰撞检测方法实现

2.1 Navigator 软件介绍

由美国Bentley System公司开发的Bentley Navigator软件集成了Bentley Interference Manager (Bentley碰撞检测管理器),可实现对PlantSpace模型硬碰撞和软碰撞的检测、查看和管理功能。另外,还可以对其他各种商业软件所创建的3D模型进行碰撞检测,如PDS、AutoPLANT或者其他相关的MicroStation或AutoCAD等应用程序。经过多年的发展,Bentley Navigator软件不断迭代更新,朝着更加人性化的方向发展。在Bentley Navigator软件中使用Interference Manager可以实时查看碰撞的情况,快速找到并锁定碰撞冲突。设计人员可在虚拟环境中模拟项目场景,解决碰撞冲突,提高设计质量,减少废弃工程,节约工程投资,并衍生出更高的经济效益。

2.2 优化碰撞检测方法实现

将待检测的模型导入Navigator软件并设定碰撞边界条件,选定待检测构件,程序根据优化方法自动计算OBB层次树的方向向量 a^u, a^v 和 a^w ,找到OBB的中心及半径并计算凸壳上的点在向量方向上的投影大小,确定每个方向上的最大值和最小值后即可得到包围盒的大小和位置,实现构件碰撞检查,找出冲突点在构件的精确位置及参数信息。

3 工程实例

中卫南站黄河大桥,起点位于中卫市沙坡头区平安西路与机场大道平交口处,终点K2+800位于黄河南岸,与吴忠至中卫城际铁路中卫南站路网相连。线路走向基本由北向南,项目路线全长1.84 km,双向4车道一级公路。其中,桥梁长1.049 km,按城市主干路标准建设,设计速度60 km/h。全桥共有装配式T梁桥、变截面连续箱梁桥、钢混组合梁、拱梁组合体系4种类型。它的主桥设计是跨越黄河主航道的异形钢拱桥和(80+120+80)m预应力混凝土变截面连续箱梁。中卫南站黄河大桥三维效果如图1所示。

基于Navigator软件对已建LOD400精度等级主



图 1 中卫南站黄河大桥三维效果图

桥模型进行静态和伪动态碰撞检测，得到如下检测结果。

3.1 静态碰撞检测

首先通过粗筛排除无碰撞可能部分，接着利用包围盒树法对易碰撞对象进行详检。本工程中,上部结构与下部结构之间不存在碰撞可能，通过粗筛直接排除。详检阶段检测得到：(1)18# 预制混凝土梁段中，预应力钢束 TG2、TG3、TH2 暴露于混凝土外部。(2)主拱左右拱肋交汇区出现大量碰撞，部分碰撞信息见表 1。(3)钢混结合段 #18、#17 南、北部普通钢筋与钢束碰撞。(4)V 腿钢筋与 #17 梁段普通钢筋碰撞。(5)V 腿钢筋与 #17 梁段预应力钢束碰撞。(6)副拱吊杆底点与锚固之间普遍发生偏心碰撞。

3.2 伪动态碰撞检测

对本工程进行伪动态碰撞检测，分析发现吊装施工侵占了航道并在某时间段内与往来的船舶之间发生位置冲突。针对此软碰撞冲突问题,先在环境地物模型中标示航道确切位置,再在 Navigator 中根据海事机构提供的通航时间和施工组织计划中的施工

表 1 主拱左、右拱肋部分碰撞信息

	左侧拱肋交汇区(A)	右侧拱肋交汇区(B)	类型	位置
碰撞 01	拱肋 3	底板	硬	141670.8593,-0.0761,23428.9401
碰撞 02	隔板 a2	拱肋 31	硬	139922.8113,-9330.9385,23493.8854
碰撞 03	隔板 a14	拱肋 31	硬	139922.9090,9329.4485,23493.8854
碰撞 04	隔板 a3	拱肋 53	硬	141410.9074,-8121.4370,23227.9131

时间链接入动画中进行基于时间变化的通航动画模拟，记录下冲突时间段并进行施工计划调整或报告航道部门采取通航管制措施。

4 结 论

本文基于 BIM 软件本身的碰撞检测功能对静态及伪动态下的碰撞检测方法进行了优化研究,并将优化后的方法应用于实际桥梁工程中。实践表明,优化后的方法具有更高的运算效率并较好地解决了离散时间点下的碰撞遗漏问题,为碰撞检测与 BIM 技术的结合研究提供了新的思路。

参考文献：

[1] 袁丽娜,赵贵斌.碰撞检测技术及在桥梁视景仿真中的应用[J].工程图学学报,2010,31(3):21-26.
[2] 瞿珏,王崴,黄学宇,等.复杂物体连续碰撞检测动态投影分离剔除算法[J].系统工程与电子技术,2017,39(10):2376-2381.
[3] 燕迎新.桥梁信息化(BIM)施工碰撞检查应用研究[D].重庆:重庆交通大学,2018.

(上接第 189 页)

[3] 宋中华.盖挖逆作车站永久钢管柱施工工法的研究与优化[J].广东土木与建筑,2019,26(10):33-36.
[4] 张存才.盖挖逆作法工程中钢立柱的几种施工方法[J].城市道桥与防洪,2020(4):137-139,17,20.
[5] 刘昌波.地铁车站钢管柱关键施工技术[J].建筑机械,2018(4):91-94.
[6] 张晓鹏.全盖挖逆作法地铁车站永久钢管柱施工关键技术[J].北方建筑,2020,5(2):54-58.
[7] 王雷.简易门架吊装的暗挖地铁车站钢管柱施工技术研究[J].铁道

建筑技术,2021(3):108-111,135.
[8] 李志平.钢管立柱桩逆作法施工技术[J].建筑技术开发,2018,45(1):42-43.
[9] 于世飞.盖挖地铁站大直径超长钢管混凝土柱施工技术[J].江西建材,2020(2):63-65.
[10] 高强,高文皂.逆作法液压插入钢管柱技术在地铁施工中的应用[J].华北地震科学,2015,33(增刊 1):12-15.
[11] 谢显龙,曹文,李鹏飞,等.一种基于 BIM 的地铁车站钢管立柱矩形定位架,CN212957702U[P]. 2021-04-13.