

三维 GIS 中的参数化建模方法

汤圣君¹ 张叶廷¹ 许伟平¹ 谢 潇¹ 朱 庆^{1,2} 韩元利³ 吴 强⁴

1 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室,湖北 武汉,430079

2 西南交通大学地球科学与环境工程学院,四川 成都,610031

3 中铁第四勘察设计院集团有限公司,湖北 武汉,430063

4 武汉金思路科技发展有限公司,湖北 武汉,430052

摘 要:为实现大规模地形景观和精细工程设施模型在三维 GIS 中的无缝集成管理,并支持工程设施全生命周期的共享应用,提出了一种可根据设计参数自动建立复杂设施三维模型并交互式编辑修改的方法,扩展了三维 GIS 数据模型,实现了三维几何模型与其参数信息的有机集成与同步更新,并以桥梁模型的构建为例论证了该方法的可行性和有效性。

关键词:三维 GIS;参数化建模;工程设施;桥梁

中图法分类号:P208

文献标志码:A

目前,三维虚拟地理环境重构的主要方法是将三维 CAD 设计成果作为虚拟模型库导入三维 GIS 系统,实现三维模型与地形、地貌无缝集成^[1]。这种方式可逼真表示几何物体的精细结构和材质特征,但此类模型构建耗时、费力、效率低,缺乏灵活性和可复用性,并且只能表现模型的几何特性,难以实现模型的动态更新和语义增强^[2-3]。而在工程项目建设的施工管理阶段和项目完成后的养护维护过程中,各种设施的结构都可能随着项目的进展而发生变化,要求三维模型具有易于修改的“柔性”,相应地,三维 GIS 数据库要具有同步动态更新等能力,而这种能力在复杂工程设施的交互式设计过程中尤为重要,所以传统的 CAD 模型已难以满足动态更新、广泛共享的需要^[4]。

三维 GIS 将工程设施模型与地形、地貌进行无缝集成,并提供共享环境,支持多专业的协同设计。全方位的施工管理和多层次的运营安全维护,已成为大型工程设计与管理信息化和智能化的基本需求^[5-6]。

本文提出了复杂工程设施的三维参数化建模方法,通过语义建模实现工程设施设计信息在设施信息模型中的表达、存储、修改和应用,扩展了三维 GIS 数据模型,同步记录工程设施的三维几

何模型和相应的参数,并能联动更新,以实现模型的最优化。

1 三维参数化建模的概念内涵

参数化建模是将三维模型中不同的几何特征通过合理的方式抽象出来,将其映射为变量化参数^[7],通过控制各参数的值以实现模型大小、形状的变更。实现三维模型的参数化建模需确定模型拓扑关系及提取各组件间的特征参数。

1.1 三维模型的拓扑关系

复杂的工程设施三维模型可被分解为一个个符合逻辑结构的组件,组件继续被分解为子模型,如此循环,直到子模型无法继续分解为止。这种方式使得模型生成历程呈一个树状结构,其中,树叶表示基本子模型,支节点表示运算生成的中间子模型,树根则代表模型本身^[4,8]。

根据地上地下、室外室内构造物的参数特点和模型构建方法,可归纳出两类树叶模型:① 扫描体叶模型。将截面、曲面、体等沿纵向拉伸路径(称为截面放样)拉伸成为一个三维实体,如桥梁的桥身、隧道的洞身、胶囊体等。② 图元叶模型。即形状固定、可重复使用的构造物,分为规则图元和不规则图元,模型构建相对简单,例如水池、电

收稿日期:2013-04-11

项目来源:国家自然科学基金资助项目(41171311)。

第一作者:汤圣君,硕士生,研究方向为三维 GIS 数据模型。E-mail:tangshengjun1991@126.com

通讯作者:张叶廷,副教授。E-mail:zhangyeting@263.net

线杆等。

1.2 支持参数化表达的三维 GIS 数据模型

传统的三维 GIS 几何数据模型侧重于实体几何表达,即使是标准的参数化模型也要转换为几何面片表示,模型参数信息间接地以属性形式记录,而难以实现三维几何模型与参数信息的

联动更新。因此,本文在传统三维 GIS 几何数据模型的基础上,在语义层次上扩展了面向简单地物和复杂地物的三维参数化表达,以支持三维几何模型和参数化信息的同步存储与更新,参数包括基本参数和组合参数(见图 1)。

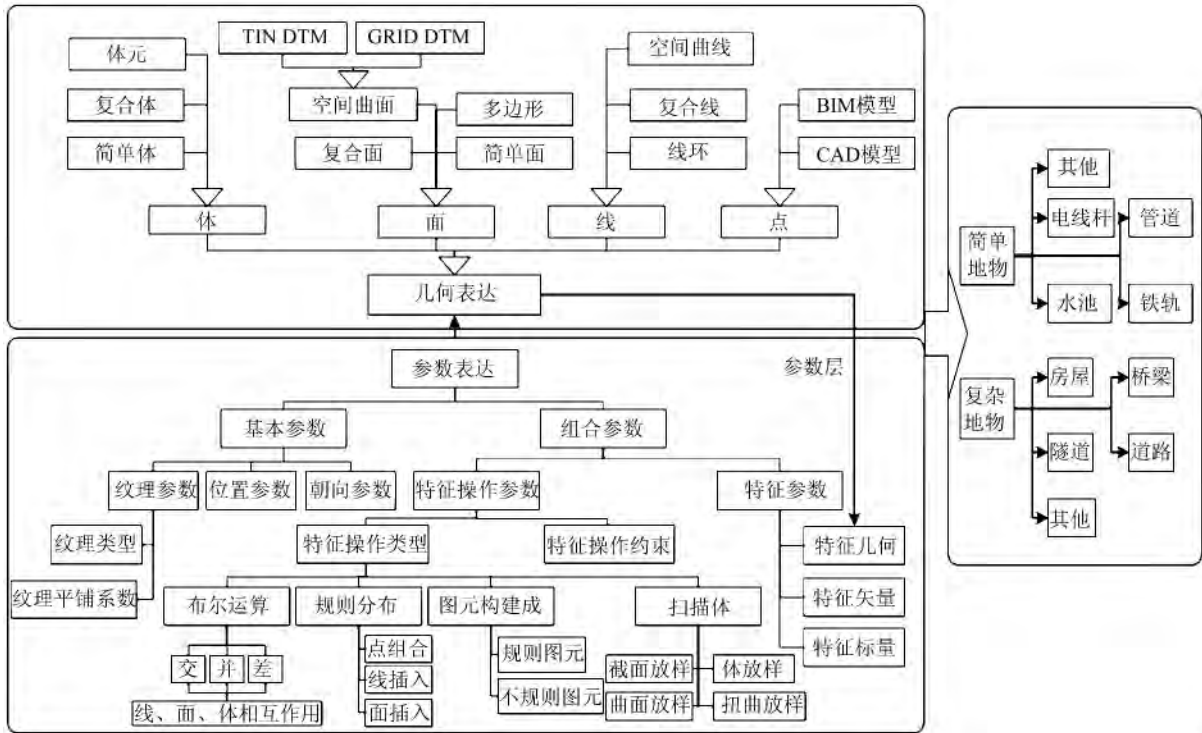


图 1 三维 GIS 数据模型的参数化扩展

Fig. 1 Parameterized Extension of 3D GIS Data Model

1.3 三维模型参数设计

三维模型参数被用来定义模型的各种几何特性,通过一定的公式和数学法则相互关联^[8]。根据模型的生成历程对复杂模型进行三维参数化建模时^[4],需设计的参数包括基本参数和组合参数。

1) 基本参数。包括模型的位置参数、朝向参数和纹理参数。通过位置参数和朝向参数实现模型在场景中的定位,纹理参数可对模型各个组件进行相应的纹理映射。

2) 组合参数。包括特征操作参数及模型特征参数。特征操作参数可分为特征操作类型与特征操作约束。特征操作类型可确定当前模型所需要进行的操作,包括布尔运算、规则分布、图元构建和扫描体。布尔运算中可进行交差并的运算;规则分布包含点组合、线插入和面插入;图元构建分为规则图元与不规则图元;扫描体包括截面放样、体放样、曲面放样和扭曲放样操作。特征操作约束可用来约束不同的特征操作类型。模型特征参数分为特征几何、特征标量和特征矢量。特征

几何可为不同类型的几何模型,例如闭合环、桥身等,可支持所有的特征操作。特征标量和特征标量用于实现单个图元的构建操作。

2 三维参数化模型与三维几何模型的有机集成

在三维参数化模型中,简单地物往往只需要对单个模型依算法进行图元的构建,不涉及复杂的特征操作;复杂地物属于组件式模型,此类模型参数繁多,需经过一系列的特征操作才能实现模型的构建。因此,本文以桥梁为例来设计实现三维参数化模型与三维几何模型之间有机集成的方法。

2.1 桥梁拓扑结构及参数设计

2.1.1 桥梁模型拓扑结构

桥梁模型属于复杂模型,采用模块化设计,由桥身子模型、护栏子模型和桥墩子模型构成。桥梁模型的组织结构如图 2 所示。

桥身子模型属于扫描体中的截面放样模型,

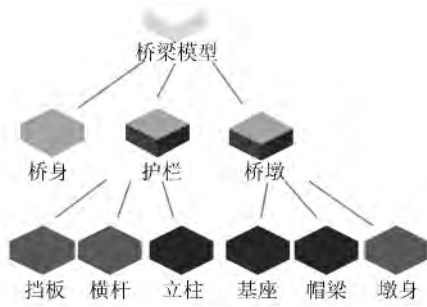


图2 桥梁模型组织结构

Fig.2 Structure of Bridge Model

模型构建需给定放样截面参数和中心线；护栏子模型由挡板、横杆和立柱构成，挡板与横杆由截面放样而成，立柱为图元叶模型；桥墩子模型由桥墩基座、桥墩墩身和桥墩帽梁组成，其中，基座和帽梁为图元叶模型，墩身属于扫描体。

2.1.2 桥梁模型参数设计

根据桥梁模型组件构成情况进行参数的设置，包括基本参数设置与桥梁组件参数设置。基本参数包含桥梁的位置坐标和朝向矩阵，以及各个组件的纹理参数。组件参数涉及到桥梁各个子模型、子子模型的构建，以及各模型之间的拼接。

首先，桥梁组件桥身、桥墩和护栏之间的拼接属于点组合，依中心点及朝向进行定位。其次，针对各个组件分别设置特征参数和特征操作。桥身的特征操作为截面放样，其特征操作约束包括截面是否闭合及圆弧内插点的个数，特征参数有起始和终止里程、截面参数及中心线参数。桥墩属于组合体，墩身、基座和帽梁以点组合的方式进行拼接，其中，墩身的构建为扭曲放样操作，所需的操作约束有截面是否闭合及圆弧内插点的个数，特征参数需顶面、底面及高度参数；基座和帽梁为规则图元，所需的特征参数有长、宽、高。桥梁的参数设计具体结构如图3所示。

2.2 桥梁模型的构建与纹理贴图

基本模型的构建方式可以叶子节点的类型来区分，即图元叶节点构建与扫描体叶节点构建。

1) 图元叶节点形状相对固定，通过图元构建的特征操作，根据参数计算出模型的所有顶点坐标，然后，利用顾及特征的三角形构网算法进行三维建模。

2) 扫描体叶节点需根据设计好的截面参数以图元构建的特征操作还原断面几何，然后通过截面放样、体放样等特征操作，读取中心线上的各个结点，从起始结点开始，计算下一个结点处截面各顶点坐标，利用顾及特征的三角形构网算法进行建模。图4描述了两类叶模型的建模流程。

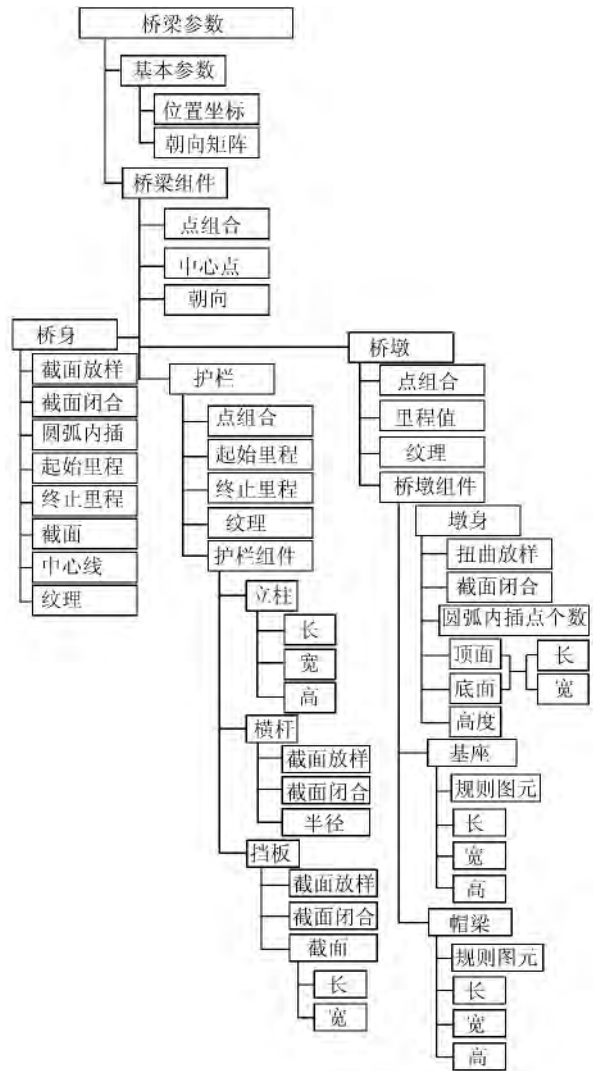


图3 桥梁模型参数结构

Fig.3 Parameter of Bridge Model

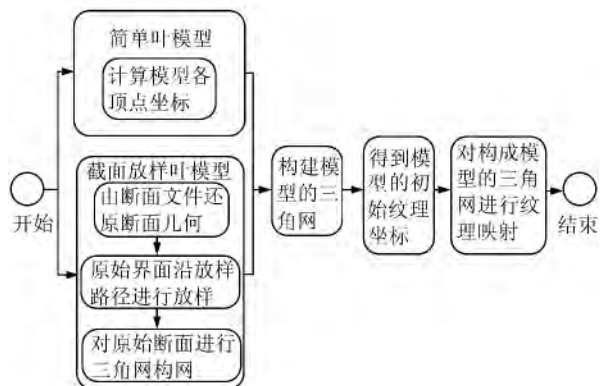


图4 叶模型建模流程

Fig.4 Modelling Procedure of Basic Model

根据组合参数实现桥梁模型各个组件之间的拼接，最后根据中心点和朝向实现模型在场景中的定位。桥梁模型构建流程如图5所示。图6展示了通过参数化建模方法构建的桥梁及其各组件的模型。

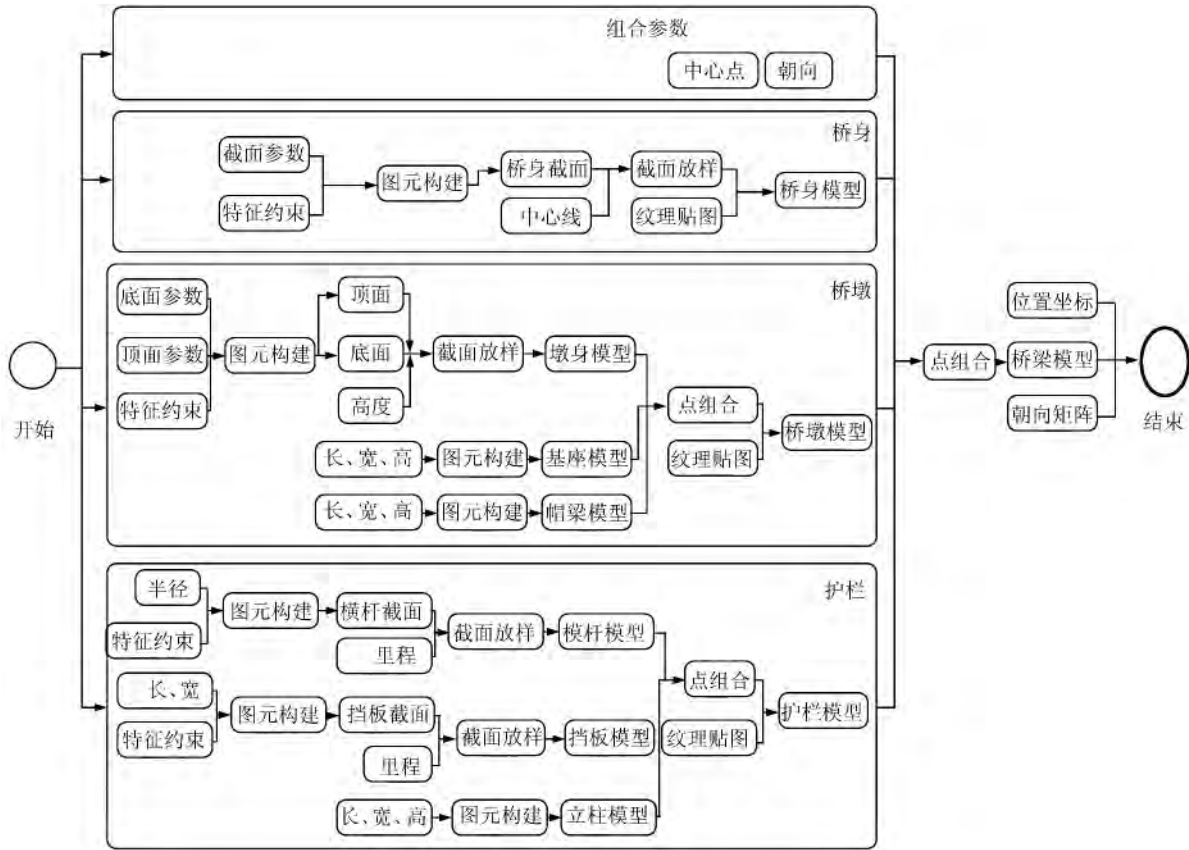


图 5 桥梁模型构建流程

Fig. 5 Modelling Procedure of Bridge Model

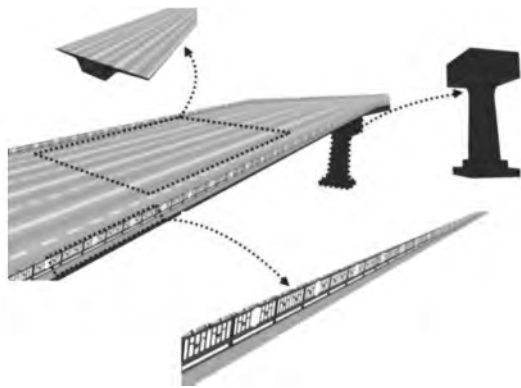


图 6 桥梁模型及其组件

Fig. 6 Bridge Model and Component Elements

身结构,通过修改 P_1 、 P_2 、 H_1 、 H_2 、纹理平铺系数等参数实现桥身截面和纹理的修改。

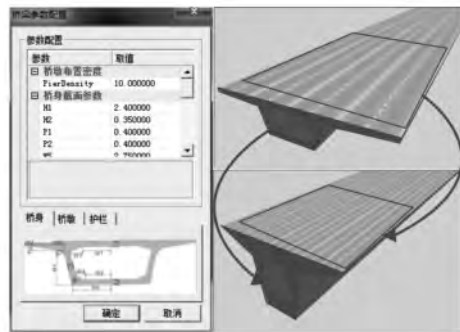


图 7 桥梁参数配置

Fig. 7 Configuration Parameter of Bridge Model

2.3 地形套合与交互式编辑

在三维 GIS 系统中,为增强整个场景的真实感,需要将构建好的三维模型与地形进行套合。同时,在工程建设的过程中,各种设施的结构与其形状都具有不确定性,这就使得模型的交互式设计和编辑显得尤为重要。

针对桥梁模型,用户可通过修改桥梁的截面参数来对桥身的截面形状进行修改,进而通过重放样达到修改桥身的目的;同时,可设置各个组件纹理参数来修改纹理贴图效果。图 7 左侧为桥梁参数配置界面,右侧为不同参数配置情况下的桥

3 三维 GIS 参数化建模难点分析

3.1 模型可交互性与可视化效率间的矛盾

在使用三维 GIS 软件进行工程管理和维护的过程中,用户往往希望所设计的模型既具有高度的可交互性,又具有高效的真实感可视化效果。

在保证模型的高度可交互性的同时,模型的精细程度也得到了极大的提高,影响了模型渲染速度。这是一对可以调和的矛盾,关键是达到一

个平衡点,以确保三维模型的可交互性与高效率之间的平衡^[9]。

3.2 单体与批量参数化建模间的矛盾

当前,在工程建设过程中涉及到的构造物复杂、繁多,所建三维模型难以涵盖各类构造物。因此,批量的三维参数化建模成为重要的研究方向。三维 GIS 与 CAD 的集成为批量参数化建模提供了有利条件。

在 CAD 二维图形绘制工程中有所需构造物的位置信息和参数信息,通过读取 CAD 文件获取各类构造物的参数信息实现自动化、批量的参数化建模。

4 结 语

三维 GIS 与 CAD 技术的无缝集成为二维图纸到分布式多维协同设计与建造的变化提供了新的途径。本文提出了三维参数化建模的方法,发展了传统三维 GIS 数据模型,并在高速铁路和高速公路的工程设计与管理中进行了成功的示范应用。

参 考 文 献

- [1] Xu W P, Zhu Q, Du Z Q, et al. Design and Implementation of 3D Model Database for General-Purpose 3D GIS[J]. *Geo-spatial Information Science*, 2010, 13(3):210-215
- [2] Wang Liwen, Zhou Zhinan. Research on Parametric Modeling of Airport Virtual Scenes[J]. *Computer Engineering & Science*, 2011, 33(8):95-101(王立文,周智楠. 机场视景模型参数化建模方法研究[J]. *计算机工程与科学*, 2011, 33(8):95-101)
- [3] Tang W S, Liu L Z, Wu J, et al. Journal of China & Foreign Highway, 2012, 32(1):279-283(汤文生,刘连战,吴剑,等. 公路 3D 参数化自动建模技术研究[J]. *中外公路*, 2012, 32(1):279-283)
- [4] Li Ling, Zuo Lai. Parametric Modeling Methods of Products Design in CAD[J]. *Forestry Machinery & Woodworking Equipment*, 2003, 31(5):15-16(李玲,左来. 产品在 CAD 中的参数化建模方法[J]. *林业机械与木工设备*, 2003, 31(5):15-16)
- [5] Zhu Qing, Wu Bo, Zhong Zheng. Integration of 3-D GIS and Highway CAD[J]. *China Journal of Highway and Transport*, 2006, 19(4):1-6(朱庆,吴波,钟正. 三维 GIS 与公路 CAD 的集成[J]. *中国公路学报*, 2006, 19(4):1-6)
- [6] Xu W P, Zhu Q, Zhang Y T. Semantic Modeling Approach of 3D City Models and Applications in Visual Exploration[J]. *International Journal of Virtual Reality*, 2010, 9(3):67-72
- [7] Ledermann C, Hanske C, Wenzel J, et al. Associative Parametric CAE Methods in the Aircraft Pre-design[J]. *Aerospace Science and Technology*, 2005, 9(7):641-651
- [8] Richter T, Mechler H, Schmitt D. Integrated Parametric Aircraft Design[C]. ICAS Congress, Toronto, 2002
- [9] Gong Jun, Zhu Qing, Sui Haigang, et al. Key Issues for Data Transformation from CAD to GIS[J]. *Engineering Journal of Wuhan University*, 2003, 36(3):64-68(龚俊,朱庆,睢海刚,等. 从 CAD 模型到数码城市 GIS 模型的若干问题[J]. *武汉大学学报(工学版)*, 2003, 36(3):64-68)

Parametric Modeling Method in Three-Dimensional GIS

TANG Shengjun¹ ZHANG Yeting¹ XU Weipin¹ XIE Xiao¹
ZHU Qing^{1,2} HAN Yuanli³ WU Qiang⁴

1 State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, Wuhan 430079, China

2 Faculty of Geosciences and Environmental Engineering, Southwest jiaotong University, Chengdu 610031, China

3 China Railway Siyuan Survey and Design Group Co., Ltd, Wuhan 430063, China

4 Wuhan Kingsroad Technology Development Co., Ltd, Wuhan 430063, China

Abstract: Aiming to seamlessly integrate elaborated engineering facilities models and large scale landscape models as well as to support the sharing and application life cycle of three-dimensional GIS, we

(下转第 1097 页)

- 释方法[J]. 石油地球物理勘探, 2012, 47(5): 815-821)
- [13] Ahmed N, Natarajan T, Rao K R. Discrete Cosine Transform[J]. *IEEE Transactions on Computers*, 1974, 100(1): 90-93
- [14] Rao K R, Yip P. Discrete Cosine Transform: Algorithms, Advantages, Applications[M]. San Diego: Academic Press, 1990

Fast Computation of Derivatives of Magnetic Vector Components in Magnetic Anomaly Detection

LIU Fanming¹ ZHANG Yingfa¹ JING Xin¹ LI Yan¹

¹ College of Automation, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China

Abstract: The derivative of magnetic vector components plays an important role in the magnetic target interpretation process. A boundary effect problem is found in the computation of higher order derivatives of magnetic potential using the common methods such as the fast Fourier transform algorithm in actual applications. The paper presents a solution based on a $\pi/2$ phase-shifted cosine transform and its time-differentiation. Unified formulas for calculating the derivatives of magnetic vector components were deduced, and then applied to the directional analytic signals method. An analysis and comparison of magnetic field data between the rectangular prism source model and cosine transform method show that the influence of boundary effect can be avoided. The proposed method not only has higher precision and stability, but also does not require additional data and algorithm complexity for extending edge and filter processing.

Key words: magnetic anomaly detection; the derivatives of magnetic vector components; cosine transform; analytic signals; boundary effect

First author: LIU Fanming, professor, PhD supervisor, specializes in underwater vehicle positioning, passive navigation and positioning technology. E-mail: hrblfm407@hrbeu.edu.cn

Foundation support: The National Natural Science Foundation of China, No. 60834005.

.....
(上接第 1090 页)

propose a new method to automatically build complex models of engineering facilities using designed parameters. The traditional 3D GIS data model is extended to satisfy the demands for integration and synchronous updating of geometric models and their related parameters. Finally, the validity and feasibility of this method are demonstrated through its application for bridge modeling. The proposed method facilitates seamless integration of GIS and CAD.

Key words: three-dimension GIS; parametric modeling; job facilities; bridge

First author: TANG Shengjun, postgraduate, specializes in data model of 3D GIS. E-mail: TangSJ_VGEGIS@126.com

Corresponding author: ZHANG Yeting, PhD, associate professor. E-mail: zhangyeting@263.net

Foundation support: The National Nature Science Foundation of China, No. 41171311.