

基于 Agent 仿真的施工电梯运输管理系统

高 欣, 王 静, 陈汉南

(同济大学 经济与管理学院, 上海 200092)

摘要: 在大型多项目交叉的建设工程施工电梯运输管理中, 资源进度计划或随时间推进的资源分配, 是一个复杂而需要解决的问题. 结合建设工程仿真的发展, 提出基于拍卖协议仿真模型的资源进度管理, 建立基于 Agent 仿真的施工电梯运输管理系统. 通过对该系统的应用, 在复杂动态的环境下, 可以获得资源进度计划, 预测运输活动完成时间节点, 计算完成活动消耗的成本, 并且从运输活动工作包的逾期及其存储、电梯的闲置等多角度提高施工电梯运输管理的综合能力.

关键词: 施工电梯; 运输管理; 资源配置; 基于 Agent 仿真
中图分类号: TU726 **文献标志码:** A

Transportation Management System for Construction Elevators Using Agent-Based Simulation

GAO Xin, WANG Jing, CHEN Hannan

(School of Economics and Management, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: Resource scheduling, or the allocation of resources over time, poses a great challenging to the transportation management of construction elevators in mega and multiple-item-cross construction projects. Combined with the development of construction simulation, this paper proposed a simulation-based auction protocol model for resource scheduling management, and established a transportation management system for construction elevators by using agent-based simulation. The application of this system in complex and dynamic environment show that it can provide a resource-driven schedule, predict completion time, and calculate the total cost. Besides, it can improve the comprehensive ability of the transportation management, from multiple aspects such as transportation work packages delay and its storage, idle elevators and so on.

Key words: construction elevator; transportation management; resource allocation; Agent-based simulation

自 20 世纪 70 年代末首次推出微处理器以来, 为提高效率, 电梯电子计算法则已变得非常复杂. 现代电梯采用了复杂的数学算法, 如人工智能法、模糊逻辑法、基因演算法以及神经网络法等, 这些算法改进了电梯使用中的等待时间. 在可采用智能决策的复杂混合交通状况下, 复杂算法可以获得非常好的效果^[1].

Siikonen Marja-Liisa 首先通过模糊逻辑对人流统计数据进行分析^[2], 然后对电梯群往返过程中电梯需求和电梯分布进行理论分析, 建立 TMS 9000 (traffic master system 9000) 系统, 再用 ALTS (advanced lift traffic simulator) 对该系统进行仿真研究^[3]. Huhns 等通过对多 Agent 强化学习的电梯群控制研究, 处理在实际应用中的大规模随机动态的优化问题^[4].

以上文献主要针对客流具有较大随机性的一般客运电梯群在电梯类型型号的选择、电梯数量和方位的规划、运行控制的设定等方面进行研究. 但是施工电梯运输管理的研究重点不在于电梯群前期的配置和规划上, 而在施工阶段运输流的资源配置和进度计划制定上.

在基于 Agent 仿真的建设工程管理方面, 钟登华等^[5]学者们提出了基于多 Agent 的混凝土坝施工仿真与优化方法, 通过采用多策略建模方法来构建具有不同智能层次的 Agent 模型. 国外学者们分别从施工过程仿真和进度管理仿真两方面展开研究. 施工过程仿真以地下挖掘工程为例, 根据实际项目特征建立反映施工过程的循环网络 Agent, 预测土壤结构的挖掘机 Agent 等^[6-7]. 进度管理仿真以建设

收稿日期: 2014-04-14

第一作者: 高 欣(1965—), 男, 教授, 博士生导师, 管理学博士, 主要研究方向为建设工程项目管理及建筑安全管理.

E-mail: gaixin@tongji.edu.cn

通讯作者: 王 静(1983—), 女, 博士生, 主要研究方向为基于 Agent 仿真的建设工程垂直运输管理. E-mail: 0910040077@tongji.edu.cn

工程装配过程为例,提出多 Agent 资源配置的主体和资源之间的竞争法则和计算模型,以及各个 Agent 之间的交流方式及资源释放流程等^[8].

综上所述,施工电梯运输易于预测和控制,属于可以采用智能决策的复杂混合交通运输管理范畴.另一方面,施工电梯运输管理的运输活动过程具有重复性且施工电梯和时间视为有限资源等特点,适用于基于 Agent 资源配置的仿真方法.

1 基于拍卖协议的仿真模型

拍卖协议(auction protocol, AP)作为集中资源配置的一种模型^[9],通过定义资源、活动、活动偏好等因素,拍卖人以整体利益最优为目标,实现有限资源配制,解决竞标确定问题(winner determination problem, WDP).该方法适用于施工电梯管理仿真模型的建立.

将施工电梯和时间视为资源,将一系列重复不可间断的运输任务视为运输活动工作包,而执行运输活动工作包的过程视为活动,反映运输活动执行效用的消耗成本视为活动偏好,建立施工电梯运输活动工作包总历时的计算规则、消耗总成本的计算规则、拍卖协议的计算规则及其迭代流程.

1.1 运输活动工作包总历时的计算规则

电梯运输过程按运输状态可以分为 3 段,一段是正常运行时间,称为匀速运动;一段是从正常运行状态到停止状态的减速运行时间,称为减速运动;一段是从停止状态到正常运行状态的加速运行时间,称为加速运动.在此假设电梯的整个运输时间均为正常运行时间,并且由同一批次工人完成同一循环周期的运输活动.运输活动工作包 $n-1$ 完成后,电梯停在其需求层,运输活动工作包 n 开始执行时,电梯需要从上一个活动工作包的需求层回到该活动工作包的供应层,便产生了初始时间值.因此,运输活动工作包总历时的计算规则如下:

$$H_m = h_{in} + N(h_1 + h_{le} + h_v + h_o)$$

$$h_{in} = |f'_D - f_s| d_i / V_j$$

$$h_v = 2 |f_D - f_s| d_f / V_j$$

$$h_{le} = (l_{ES} + l_{ED})(1/V_L + 1/V'_L)$$

$$l_{ES} = \sqrt{(E_x - S_x)^2 + (E_y - S_y)^2}$$

$$l_{ED} = \sqrt{(E_x - D_x)^2 + (E_y - D_y)^2}$$

式中: H_m 为电梯 m 完成活动工作包 n 的历时总时间; h_{in} 为电梯从活动工作包 $n-1$ 的需求层到活动工作包 n 的供应层的初始时间; N 为完成一次活动工

作包需要运输的次数; h_1 为单次运输物的装载时间; h_{le} 为单次水平运输往返时间; h_v 为单次垂直运输往返时间; h_o 为单次运输物的卸载时间; V_j 为电梯正常运行速度; f_s 为需求层所在层的层数; d_i 为单层的层高; f_D 为供应层所在层的层数; f'_D 为活动工作包 $n-1$ 供应层所在层的层数; V_L 为水平空载运输速度; V'_L 为水平满载运输速度; l_{ES} 为供应点到电梯位置的水平距离; l_{ED} 为需求点到电梯位置的水平距离; E_x 和 E_y 为电梯的水平坐标; S_x 和 S_y 为供应点的水平坐标; D_x 和 D_y 为需求点的水平坐标.

1.2 运输活动工作包消耗总成本的计算规则

施工电梯执行运输活动工作包产生的运行成本主要由装载成本、卸载成本、水平运输成本(含满载和空载)、电梯垂直运输成本(含满载和空载)等组成,即

$$C_a = N(c_1 h_1 + c_o h_o + c_{le} h_{le} + c_v h_v) + c_v h_{in} \quad (1)$$

式中: C_a 为施工电梯执行活动工作包的运行成本; c_1 为单位时间装载成本; c_o 为单位时间卸载成本; c_{le} 为单位时间水平运输成本; c_v 为单位时间垂直运输成本.

假设施工电梯的单位运行成本主要由机械单位成本和人工单位成本组成,其他部分的单位成本则主要是人工单位成本.并且在施工电梯运输活动的全过程中使用的人工数量和工种均相同,即产生的人工成本相同,式(1)可以转换为

$$C_a = c_p \{N(h_1 + h_o + h_{le} + h_v) + h_{in}\} +$$

$$c_m (N h_v + h_{in}) = c_p H_m + c_m (N h_v + h_{in})$$

式中: c_p 为单位时间人工成本; c_m 为单位时间电梯的机械成本, $c_m = c_i + c_{op}$; c_i 为单位时间电梯的闲置成本, $c_i = c_r$ 或 c_{am} ; c_r 为单位时间电梯的租赁成本; c_{am} 为单位时间电梯的折旧分摊成本; c_{op} 为单位时间电梯的运行成本.

施工电梯运输的消耗总成本则主要由活动的运行成本、活动执行前的运输物的储存成本、施工电梯的闲置成本、活动不能按时完成的逾期成本等组成,即

$$C_m = C_a + c_s H_s + c_d H_d + c_i H_i$$

式中: C_m 为电梯 m 完成运输活动工作包 n 所消耗的总成本; c_s 为单位时间运输物的储存成本; c_d 为单位时间活动工作包不能按时完成而产生延误的惩罚性成本(即逾期成本); H_s 为运输物的储存时间, $H_s = T_{ES} - T_{de}$; H_d 为活动工作包的延误时间, $H_d = T_{LF} - T_{DL}$; H_i 为电梯的闲置时间, $H_i = T_{ES_n} - T_{LF_{n-1}}$; T_{ES} 为活动工作包最早开始时间点; T_{ES_n} 为活动工作包 n

最早开始时间点; T_{de} 为运输物到达储存位置的时间点; T_{LF} 为活动工作包最晚完成时间点; $T_{LF_{n-1}}$ 为活动工作包 $n-1$ 最晚完成时间点; T_{DL} 为活动工作包完成的最后期限。

1.3 拍卖协议的计算规则及迭代流程

求解竞胜标确定问题(WDP)的原则是在规定时间内尽可能完成计划实施的活动并实现总绝对竞拍成本(即消耗总成本)最低。那么

$$P_{mi} = C_{mi}(1 + F_{mi}) \quad (2)$$

式中: P_{mi} 为考虑时间资源的活动相对竞拍成本; F_{mi} 为浮动时间。 P_{mi} 由多方面因数决定, 包括资源的有效时间、活动持续时间、活动开始和结束的时间点、活动产生的消耗成本等。如果活动的完成超出最后期限, 这个活动则不可以参与竞争。而公式(2)中的 1 是为了使 P_{mi} 不为零而加入的。浮动时间 F_{mi} 是任务完成时间点距离任务最后期限点的时间浮动, 那么

$$F_{mi} = T_{DL} - T_{ES} - H_{mi} \geq 0 \quad (3)$$

根据拍卖协议的仿真模型和计算规则, 解决竞胜标确定问题的迭代计算流程(图 1)如下:

(1) 首次计算时, 所有活动工作包的 5 个取值均相同, 即 $h_{in}=0, C_s=0, C_d=0, C_i=0, T_{ES}$ 取值为电梯开始工作时间点;

(2) 求解 C_{mi} 和 H_{mi} , 将公式(3)代入公式(2)中, 得 $P_{mi}=C_{mi}(1+(T_{DL}-T_{ES}-H_{mi}))$;

(3) 求解各个活动工作包的相对竞拍成本 P_{mi} , 按 P_{mi} 取值从小到大排序;

(4) 计算排序后的各个活动工作包的 C_{mi} , 并将各 C_{mi} 累加求和;

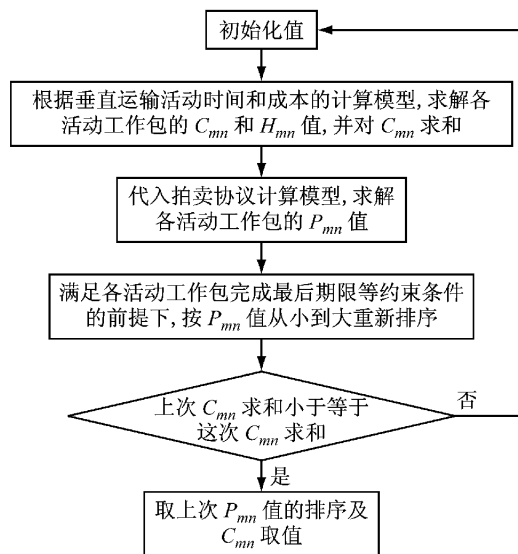


图1 拍卖协议的迭代计算流程

Fig.1 Iterative calculation process of auction protocol

(5) 将排序后的 C_{mi} 代入式(2)中, 按 P_{mi} 取值从小到大排序, 以此类推;

(6) 直到上一次 C_{mi} 求和小于等于此次 C_{mi} 求和, 取 C_{mi} 求和最小的值为最优解。

2 施工电梯垂直运输管理系统的建立和应用

2.1 施工电梯运输管理的仿真步骤

以进度管理的拍卖协议仿真模型为基础, 结合施工电梯运输活动全过程的离散事件仿真方法, 施工电梯运输管理的仿真步骤具体分析如下:

(1) 根据施工电梯群的组织设计, 确定参与运输活动的施工电梯、电梯位置、使用时间、使用区域、注意事项等。

(2) 根据施工组织方案, 确定运输物的存储区、缓冲区(需求点)和放置区(供应点), 如果没有缓冲区, 则储存区为需求点。

(3) 根据运输构件对实施相关项目需求的轻重缓急、空间放置要求和工序要求等, 确定运输活动工作包完成的最后期限。

(4) 根据对相关项目和工种负责人的问卷调查, 将属于同一性质不可间断的重复性活动进行归类。

(5) 确定仿真时间周期, 例如一周时间。运输活动仿真流程见图 2。

(6) 在当前仿真时间周期下, 确定满足约束条件并需要完成的活动工作包列表 $A_i = \{a_1, a_2, a_3, \dots, a_n\}$ 。

(7) 确定在相应仿真时间周期下, 可以提供的有效资源施工电梯列表 $R_j = \{r_1, r_2, \dots, r_m\}$ 。

(8) 扫描 $A_i = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$, 选取最后期限靠前 a_i 。

(9) 扫描 $R_j = \{r_1, r_2, \dots, r_m\}$, 选取可行 r_i ——
① 当前活动工作包扫描到合适资源时, 则获得合适资源, 执行并完成该活动工作包, 从活动工作包列表中删除完成的活动工作包, 释放使用过的资源, 回归资源塔吊列表; ② 如果仿真累计时间没有到达项目的完成时间, 则仿真时间周期加一, 返回第(7)步。

(10) 获得具有一定组合顺序的资源配置活动工作包的方案组。

(11) 求解各方案的胜者决定问题(WDP), 并优化各方案。

(12) 根据总绝对竞拍成本最低选取方案组中

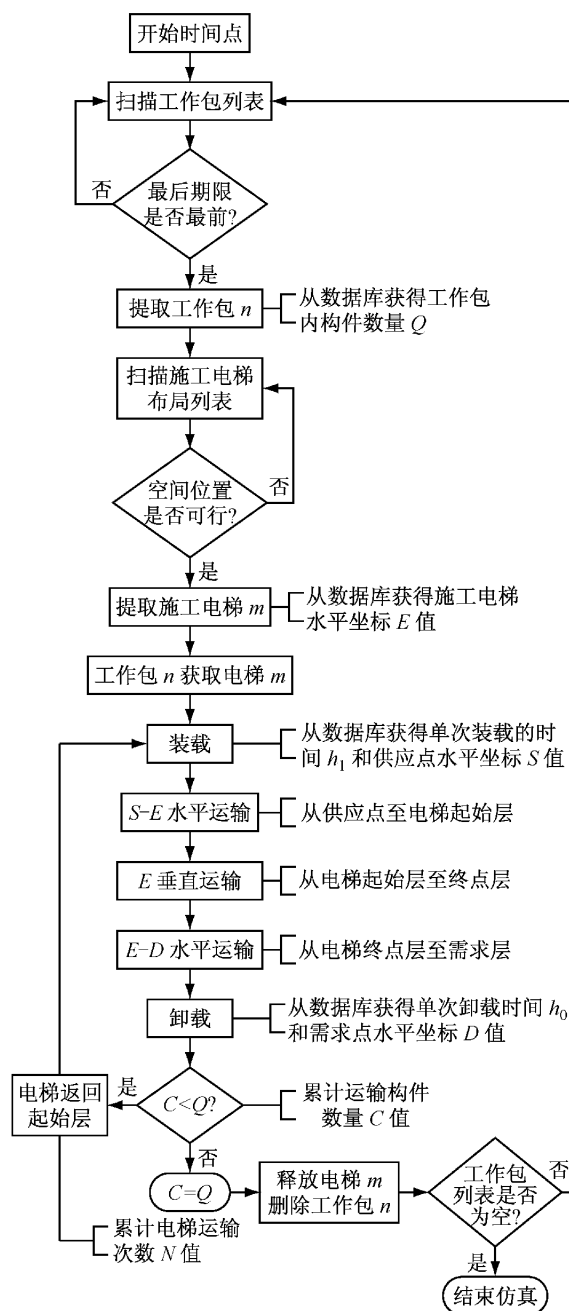


图 2 施工电梯运输活动的仿真流程图

Fig. 2 Simulation process of transportation activities of construction elevators

的最优方案。

通过建立垂直运输管理系统的基础平台,实现系统的初步应用及其界面显示。项目管理有十个子目录,分别为项目维护、区域维护、单体维护、存储区域维护、供应点维护、需求点维护、塔吊资源维护、电梯资源维护、塔吊工作包和电梯工作包。数字字典由塔吊型号维护、电梯型号维护和构件维护组成。智能调度由塔吊智能调度、电梯智能调度、塔吊智能调度列表和电梯智能调度列表组成。系统管理由菜单管理和用户管理组成。其中电梯智能调度主要是通过

下拉菜单和拖拉选项的形式选择运输活动开始时间、电梯资源、活动工作包等项目。

2.2 仿真结果的对比与分析

将施工电梯在垂直运输管理系统中的有效输出数据(见表 1)和实例项目实际运行数据进行对比分析,结果显示该系统能够从工期、消耗总成本以及垂直运输管理等多方面进行调整和优化。

表 1 垂直运输管理系统中的施工电梯有效运算数据

Tab. 1 Effective operation data of construction elevators in the vertical transportation management system

工作包名称	电梯名称	排序号	历时/h	成本/元	执行日期
安装 004	Y9	1	2.55	1 023.42	2014-05-17
酒店区安装	Y5	1	10.35	2 680.25	2014-05-17
市装饰 001	Y2	1	1.85	265.87	2014-05-15
一建装饰 002	Y3	1	2.05	1 027.80	2014-05-16
一建 002	Y1	1	9.28	1 189.89	2014-05-15
一建 001	L7#	1	5.47	982.04	2014-05-15
市装饰 002	Y3	2	3.10	689.36	2014-05-16
安装 001	L7#	2	2.83	435.29	2014-05-15
安装 002	Y2	2	3.10	448.81	2014-05-15
一建 003	Y9	2	4.43	2 728.38	2014-05-17
金螳螂 003	Y9	3	4.43	1 565.23	2014-05-17
金螳螂 001	Y2	3	4.03	500.82	2014-05-15
安装 003	Y3	3	2.08	369.97	2014-05-16
一建装饰 001	L7#	3	6.95	1 257.08	2014-05-15
金螳螂 002	Y3	4	4.13	1 287.41	2014-05-16
累计求和			66.65	16 451.62	

通过对实际操作数据和计算机仿真数据的对比分析可以获得如下信息:① 施工电梯 Y9 和 Y3 运输工作包的排班顺序不同,但执行日期相同;② 施工电梯 Y2 和 L7# 运输工作包的排班顺序相同,但执行日期不同;③ 在没出现逾期运输的情况下,仅通过减少电梯的闲置等待时间和运输活动工作包的存储时间,使得计算机仿真结果比实际操作情况节约 5% 左右的运输消耗总成本。并且仿真结果显示每个电梯的执行日期平均可提前 1 d 开始。

3 结语

根据基于 Agent 仿真的资源进度管理,建立施工电梯运输管理仿真框架。将施工电梯和时间视为有限资源,运输活动工作包视为活动,采用多 Agent 集中资源配置的拍卖协议仿真模型,求解将哪些资源分配给哪些活动以实现整体利益最大化的问题,即处理竞标确定问题。

整合施工电梯运输管理仿真中的运输活动总历时计算规则、消耗总成本计算规则、拍卖协议计算规

则及其迭代流程,建立包含项目管理、数字字典、智能调度和系统管理4个组成部分的基于 Agent 仿真的施工电梯运输管理系统.通过该仿真系统应用结果显示,可以有效缩短工期、降低消耗总成本并且能够从运输活动工作包的存储和逾期、电梯的闲置等多角度进行垂直运输的综合管理.

希望通过今后的工作,能够建立一套更完善、更符合实际情况的建设工程垂直运输管理系统,纳入塔吊运输管理、天气预测、轮班及休假、机械故障及保养、智能项目管理人等,并实现三维可视化动画界面.

参考文献:

- [1] 约翰尼斯·德·琼.提升建筑性能之人流方案[C]//世界高层都市建筑学会第九届全球会议论文集.北京:中国学术期刊电子出版社,2012: 242-249.
de Jong J. People flow solutions to enhance building performance [C]//The CTBUH 9th World Congress. Beijing: China Academic Journal Electronic Publishing House, 2012: 242-249.
- [2] Marja-Liisa S. Elevator group control with artificial intelligence [R]. Helsinki: Helsinki University of Technology of Systems Analysis Laboratory, 1997.
- [3] Marja-Liisa S. Planning and control models for elevators in high-rise buildings [R]. Helsinki: Helsinki University of Technology of Systems Analysis Laboratory, 1997.
- [4] Michael H, Gerhard W. Elevator group control using multiple reinforcement learning agents [J]. Machine Learning, 1998, 33: 235.
- [5] 钟登华,吴康新,练继亮.基于多 Agent 的混凝土坝施工仿真与优化研究[J].系统仿真学报,2008,20(2): 485.
ZHONG Denghua, WU Kangxin, LIAN Jiliang. Research on construction simulation and optimization for concrete dam based on multi-agent [J]. Journal of System Simulation, 2008, 20 (2): 485.
- [6] Ourdev I, Xie H, AbouRizk S. An intelligent agent approach to adaptive project management [J]. Tsinghua Science and Technology, 2008, 13(Suppl.1): 121.
- [7] Mohamed Y, AbouRizk S. Framework for building intelligent simulation models of construction operations [J]. Journal of Computing in Civil Engineering, 2005, 19(3): 277.
- [8] Taghaddos H, Hermann U, AbouRizk S, et al. Simulation-based multiagent approach for scheduling modular construction [J]. Journal of Computing in Civil Engineering, 2014, 28(2): 263.
- [9] Taghaddos H, AbouRizk S, Mohamed Y, et al. Simulation-based auction protocol for resource scheduling problems [J]. Construction Engineering and Management, 2012, 138(1): 31.
- [10] LU Jue, CHEN Yi, ZHENG Bo. Application of weighted total least squares in ITRF transformation [J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2011, 31(4): 84.
- [11] 袁庆,楼立志,陈玮娴.加权总体最小二乘在三维基准转换中的应用[J].测绘学报,2011,40(增1): 115.
YUAN Qing, LOU Lizhi, CHEN Weixian. The application of the weighted total least-squares on three dimensional-datum transformation [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2011, 40(Suppl. 1): 115.
- [12] Felus A, Burtch R C. On symmetrical three-dimensional datum conversions [J]. GPS Solution, 2009, 13(1): 65.
- [13] Mahaoub V. On weighted total least-squares for geodetic transformations [J]. Journal of Geodesy, 2011, 86(5): 1.
- [14] 李博峰,沈云中,李微晓.无缝三维基准转换模型[J].中国科学:地球科学,2012,42(7): 1047.
LI Bofeng, SHEN Yunzhong, LI Weixiao. The seamless model for three-dimensional datum transformation [J]. Scientia Sinica Terrae, 2012, 42(7): 1047.
- [15] LI Bofeng, SHEN Yunzhong, LOU Lizhi. Noniterative datum transformation revisited with two-dimensional affine model as a case study [J]. Journal of Surveying Engineering, 2013, 139(4): 166.
- [16] LI Bofeng, SHEN Yunzhong, ZHANG Xinfu, et al. Seamless multivariate affine error-in-variables transformation and its application to map rectification [J]. International Journal of Geographical Information Science, 2013, 27(8): 1572.
- [17] 葛旭明,伍吉仓.病态总体最小二乘问题的广义正则化[J].测绘学报,2012,41(3): 372.
GE Xuming, WU Jicang. Generalized regularization to ill-posed total least squares problem [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2012, 41(3): 372.
- [18] 葛旭明,伍吉仓.误差限的病态总体最小二乘解算[J].测绘学报,2013,42(2): 196.
GE Xuming, WU Jicang. A regularization method to ill-posed total least-squares with error limits [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2013, 42 (2): 196.
- [19] 袁振超,沈云中,周泽波.病态总体最小二乘模型的正则化算法[J].大地测量与地球动力学,2009,29(2): 131.
YUAN Zhenchao, SHEN Yunzhong, ZHOU Zebo. Regularized total least-squares solution to ill-posed error-in-variable model [J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2009, 29(2): 131.
- [20] SHEN Yunzhong, CHEN Yi, ZHENG Dehua. A quaternion-based geodetic datum transformation algorithm [J]. Journal of Geodesy, 2006, 80(5): 233.
- [21] Schaffrin B, Wieser A. On Weighted total least-squares adjustment for linear regression [J]. Journal of Geodesy, 2008, 82(7): 415.
- [22] SHEN Yunzhong, LI Bofeng, CHEN Yi. An iterative solution of weighted total least-squares adjustment [J]. Journal of Geodesy, 2011, 85(4): 229.
- [23] XU Peiliang, LIU Jinnan, SHI Chuang. Total least squares adjustment in partial errors-in-variables models: Algorithm and statistical analysis [J]. Journal of Geodesy, 2012, 86(8): 661.

(上接第 1258 页)