

## 面向对象的全时域移动对象数据模型

罗建平<sup>1,2\*</sup>, 邬群勇<sup>1,2</sup>, 朱莉<sup>1,2</sup>

(1. 空间数据挖掘与信息共享教育部重点实验室(福州大学), 福州 350002; 2. 福建省空间信息工程研究中心(福州大学), 福州 350002)

(\* 通信作者电子邮箱 1231jp\_123456@163.com)

**摘要:**在面向对象模型中加入对动态属性的支持,提出和建立了一种面向对象的支持全时域数据存储和查询的移动对象数据模型。探讨了GPS定位信息中精度、方位等信息对移动对象位置更新的影响,并给出了一种新的基于定位精度、速度和方位的动态阈值位置更新策略,解决了移动对象的全时域存储和查询方法。最后对面向对象的全时域移动对象数据模型进行了验证,实验表明该动态阈值位置更新策略在不影响移动对象运动轨迹精度的情况下,可以有效减少位置更新,节省数据传输流量,减少数据存储量。

**关键词:**移动对象;时空数据模型;移动对象数据库;位置更新策略;面向对象

**中图分类号:** TP311 **文献标志码:** A

### Object-oriented full-time domain moving object data model

LUO Jianping<sup>1,2\*</sup>, WU Qunyong<sup>1,2</sup>, ZHU Li<sup>1,2</sup>

(1. Key Laboratory of Spatial Data Mining and Information Sharing, Ministry of Education (Fuzhou University), Fuzhou Fujian 350002, China;

2. Spatial Information Research Center of Fujian Province (Fuzhou University), Fuzhou Fujian 350002, China)

**Abstract:** An object-oriented moving object data model supporting full-time data storage and query was put forward, which added dynamic attributes to the object-oriented model. The influence of Global Positioning System (GPS) positioning accuracy and direction on the moving object location updating was discussed, and a new location updating strategy of dynamic threshold based on the positioning accuracy, speed and direction was constructed. Therefore, the storage and query of full time domain of the mobile object were solved. Finally, an experiment about this new moving object data model was carried out. And the result show that the dynamic threshold location updating strategy of the model can effectively reduce the frequency of location update, save the data transmission flow, and reduce the amount of data storage without affecting the moving objects trajectory precision.

**Key words:** moving object; spatio-temporal data model; moving object database; location update strategy; object-oriented

## 0 引言

移动对象数据库<sup>[1]</sup> (Moving Objects Database, MOD)是指对移动对象的位置及其他相关信息进行表示与管理的数据库。近年来人们对移动对象数据库的研究主要集中在:移动对象位置的表示与建模、移动对象索引和查询处理技术、移动对象不确定性处理、移动对象数据的隐私保护等方面<sup>[2]</sup>。其中数据库模型的建立是移动对象数据库的基础,一直以来,国内外许多学者对其做了大量的研究,起初主要研究时空数据模型,Hägerstrand<sup>[3]</sup>提出了时空立方体模型。Langran等<sup>[4]</sup>提出了一种最简单的时空数据模型时间片快照模型,但该模型不适合描述随着时间的空间变化。Worboys等<sup>[5]</sup>提出了面向对象的时空数据模型,其后又有许多学者对面向对象的时空数据模型进行了深入的研究<sup>[6-9]</sup>。Tryfona等<sup>[10-11]</sup>提出了时空实体关系模型(Spatio-Temporal Entity Relation, STER),用一种扩展的实体关系模型来表示真实世界的现象。随后又有许多学者开始研究适合移动对象位置管理的时空数据库模型,Wolfson等<sup>[12-13]</sup>提出了移动对象时空(Moving Object Spatio-Temporal, MOST)模型,该模型用一种动态属性值来表示空间随时间的变化。但是,MOST模型不能描述移动对象完整的时空轨迹,只能支持移动对象当前状态和短时段未来

状态查询。Jin等<sup>[14]</sup>基于对象关系型数据模型建立了一种的时空数据模型STORM,其核心技术是通过ADT(Abstract Data Type)来扩展类型系统和操作对象关系数据模型。薛存金等<sup>[15]</sup>等提出了面向过程的时空数据模型,以连续渐变地理实体的表达、组织和存储为研究对象。丁治明<sup>[16-17]</sup>提出了基于动态交通网络的移动对象模型(Dynamic Transportation Network based Moving Objects Database, DTNMOD),并给出了DTNMOD中基于移动对象时空轨迹的网络实时动态交通流分析方法。通过比较可以发现面向对象模型和移动对象模型在时空对象建模领域体现出了较强的表现能力<sup>[18]</sup>,不管是在空间查询、时态查询和时空查询方面都以一定的优势。

本文针对时空对象连续动作建模、多维表达和复杂时空查询的不足,结合面向对象模型和移动对象模型,在面向对象模型中加入对动态属性的支持,建立了一种基于面向对象的支持全时域数据存储和查询的移动对象数据库模型,初步解决了移动对象连续存储、多时间表达和复杂时空行为的查询。并研究了一种新的基于移动位置信息的动态阈值位置更新策略,用于减少数据的传输与存储。

## 1 模型设计与分析

移动对象运动和变化除了时间断隔以外是连续的。传统

收稿日期:2012-10-12;修回日期:2012-11-25。 基金项目:福建省自然科学基金资助项目(2012J01168)。

作者简介:罗建平(1986-),男,四川自贡人,硕士研究生,主要研究方向:空间信息共享、网络服务、移动对象数据库; 邬群勇(1973-),男,山东诸城人,副研究员,博士,主要研究方向:空间信息共享、网络服务; 朱莉(1988-),女,安徽安庆人,硕士研究生,主要研究方向:空间信息共享、网络服务。

的移动对象数据存储方式多采用对象关系型数据库存储方式,以一定的时间间隔来连续存储移动对象的信息,这样不但增加了数据的存储量,而且在移动对象的多历史和未来时空查询以及复杂时空行为查询上表现得无能为力。本文引入了MOST模型的动态属性的方法,并把所有的移动对象的运动轨迹分离为许多小片段如图1所示。其中: $mpt_i$ 表示第 $t_i$ 时刻移动对象的位置信息, $pt_i$ 表示第 $t_i$ 时刻移动对象的坐标信息,将每个小的片段抽象为一定时间段 $P$ 内动态变化的对象,可以用一个四元组 $(A, P, F, S)$ 表示。 $A$ 表示移动对象的基本信息,如移动对象的编号、位置、速度、方向、精度等信息; $P$ 表示移动对象的时间; $F$ 表示移动对象的运动函数; $S$ 表示移动对象在时间段 $P$ 内的状态。所有的运动轨迹片段组成连续的移动对象运动轨迹,这样不但可以减少数据的存储量,还能在进行查询的时候就可以查找在任意时刻移动对象的位置。

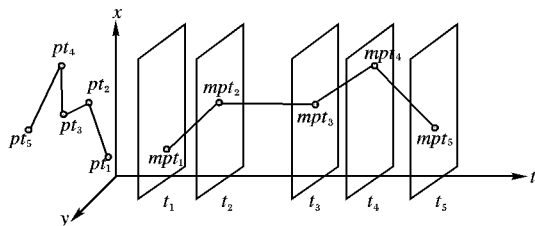


图1 移动对象运动轨迹分解

$$A = (V, MPT_i, MPT_{i+1}) = (V, (pt_i, v_i, b_i, a_i), (pt_{i+1}, v_{i+1}, b_{i+1}, a_{i+1})) \quad (1)$$

$$P \in [t_i, t_{i+1}) \quad (2)$$

$$F = f(t) \quad (3)$$

其中: $V$ 表示移动对象的基本属性信息,如移动对象的编号、名称、类型等; $MPT_i$ 表示移动对象在 $t_i$ 时刻的位置信息, $MPT_i = (pt_i, v_i, b_i, a_i)$ , $pt_i$ 表示 $t_i$ 时刻坐标信息, $v_i$ 表示 $t_i$ 时刻移动对象的速度, $b_i$ 表示 $t_i$ 时刻方位, $a_i$ 表示 $t_i$ 时刻的定位精度; $P$ 是一个左闭右开的时间区间, $P$ 表示的时间段具有不确定性,它不是一个固定间隔的时间段,它的大小与移动对象位置的更新策略有关, $f(t)$ 表示移动对象的运动函数,通过该函数可以估算过去、现在和未来短时间内移动对象的位置。运动函数根据实际情况可以分为很多种类型,如线性函数、曲线函数等。下面将讨论在不确定因素影响下的移动对象位置更新策略以及全时域位置查询。

### 1.1 基于位置信息的动态阈值位置更新策略

传统的位置更新方法一般是采用时间点选择法,包括等时间算法、等距离算法和动态时间点算法<sup>[19-20]</sup>,等时间算法实现最简单,也比较有效,并且通信流量稳定,但适应性差;等距离算法在对象高速运动时通信量剧增。动态时间算法可以有效地减少位置更新,但是这种更新方法只是用于定位精度高、定位参数变化稳定的情况。而在实际应用中,不管是步行还是乘坐交通工具,GPS接收到的位置信息定位精度、方位、速度都是处于不断变化的,并且变化还具有不规则性,这些因素都会影响到位置的更新。其具体影响如下:

1)速度对位置更新的影响。两个点间速度变化不大的时候,根据两点估算中间时刻位置与实际位置误差较小,则位置不用更新。因此速度可以决定位置更新的频数,这就是动态时间点算法的原理<sup>[19]</sup>。

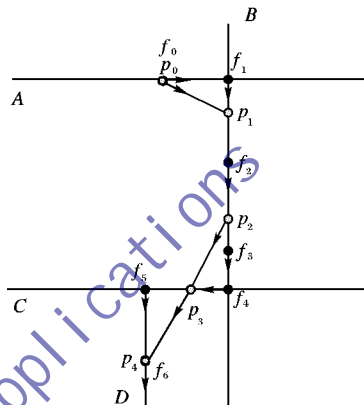
2)定位精度对位置更新的影响。如果定位精度从高精度降低到低精度,那么位置就可能跳跃到比较远的地方,位置变化 $d > \Delta d$ ,按照等距离算法,该点属于位置更新点,但是实际上这个点应该为误差点,不应更新入数据库。针对这种情况,

本文设计了一种根据定位精度动态改变距离阈值的方法,只有位置变化距离大于距离阈值的时候才有可能被认为该位置可以更新。精度和距离阈值的对应关系如表1所示。

表1 距离阈值随精度的变化值

精度( $a$ )	距离阈值( $\Delta d$ )	精度( $a$ )	距离阈值( $\Delta d$ )
[0, 10)	10	[100, 200)	200
[10, 20)	20	[200, 500)	500
[20, 50)	50	[500, 1 000)	1 000
[50, 100)	100	[1 000, $\infty$ )	1 500

3)方位对位置更新的影响。方位的变化主要影响的是移动对象轨迹的精确度,如图2所示。



到重新接收到位置信息为止。首次或最近一次接收到数据更新的时候将新建一个移动对象轨迹片段,运动状态用1表示,同时修改前一轨迹片段的状态,前一轨迹片段的状态根据当前接收数据的时间 $t$ 与前一时间片段 $P$ 的结束时间 $t_{i-1}$ 的间隔 $t$ 来判断。当 $t < \Delta t'$ 时前一轨迹片段的状态改为2,当 $t \geq \Delta t'$ 时前一轨迹片段的状态改为3。

移动对象按移动片段运动轨迹的样式可以分为:线性运动对象和曲线运动对象,在时间段 $P$ 内的运动轨迹可能是线性的也可能是曲线的,当属性线性运动对象时,模型中移动对象的历史轨迹按时间段 $P$ 完整地存储为一条直线,当查询现在和预测未来短时间内位置的时 $v_2 = 0$ 。其存储函数如式(4)所示:

$$f(t) = \begin{cases} s_1 + \bar{v} \cdot \Delta t = (x_1 + (v_1 + v_2)/2 \cdot \Delta t \sin \alpha, \\ y_1 + (v_1 + v_2)/2 \cdot \Delta t \cos \alpha), S = 1 \\ s_1 + v_1 \cdot \Delta t = (x_1 + v_1 \cdot \Delta t \sin \alpha, \\ y_1 + v_2 \cdot \Delta t \cos \alpha), S = \{2, 3\}, \Delta t < \Delta t' \end{cases} \quad (4)$$

其中: $s_1$ 表示起点, $\bar{v}$ 为起点和终点的平均速度, $\Delta t = t - t_1$ , $x_1$ 表示经度, $y_1$ 表示纬度, $\alpha = |b_2 - b_1|$ 为方位变化角, $\Delta t'$ 表示最大预测时间。

当处于曲线运动的时候,移动对象历史位置信息的查询如果采用线性插值估算位置会产生较大的误差,采用三次样条曲线进行拟合,便可以提高位置估算的精度,取当前移动对象片段 $P_i$ 以及前三个片段 $P_{i-1}, P_{i-2}, P_{i-3}$ 的起始点 $MPT_i, MPT_{i-1}, MPT_{i-2}, MPT_{i-3}$ ,用它们的时间和空间坐标 $X, Y$ 分别拟合两条三次样条曲线函数 $S(t_j), G(t_j)$ ,设 $S(t_j) = y_j (j = 0, 1, 2, 3)$ 为时间序列 $t_0 < t_1 < t_2 < t_3$ 的三次样条值函数, $t_0, t_1, t_2, t_3$ 分别表示时间片段 $P_{i-3}, P_{i-2}, P_{i-1}, P_i$ 的起始时间,假定 $S'(t_j) = m_j$ ,则

$$S(t_j) = \sum_{j=0}^3 [y_j \alpha_j(t) + m_j \beta_j(t)] \quad (5)$$

其中: $m_j$ 可由样条曲线的边界条件求出; $\alpha_j(t), \beta_j(t)$ 为插值基函数。

$$\alpha_j(t) = \begin{cases} \left(\frac{t-t_{j-1}}{t_j-t_{j-1}}\right)^2 \left(1 + 2 \frac{t-t_j}{t_{j-1}-t_j}\right), t_{j-1} \leq t \leq t_j (j=1,2,3) \\ \left(\frac{t-t_{j+1}}{t_j-t_{j+1}}\right)^2 \left(1 + 2 \frac{t-t_j}{t_{j+1}-t_j}\right), t_j \leq t \leq t_{j+1} (j=0,1,2) \end{cases} \quad (6)$$

$$\beta_j(t) = \begin{cases} \left(\frac{t-t_{j-1}}{t_j-t_{j-1}}\right)^2 (t-t_j), t_{j-1} \leq t \leq t_j (j=1,2,3) \\ \left(\frac{t-t_{j+1}}{t_j-t_{j+1}}\right)^2 (t-t_j), t_j \leq t \leq t_{j+1} (j=0,1,2) \end{cases} \quad (7)$$

同理可求出 $G(t_j)$ 。然后根据 $S(t_j), G(t_j)$ 便可以计算任意时刻 $t$ 的位置 $f(t)$ 。

## 2 模型验证

对基于面向对象的全时域移动对象数据库模型进行了实现,并将其应用于某移动对象监控系统中,系统包括数据库服务器和数据采集终端。本模型通过扩展现有空间数据库 Oracle Spatial 实现,服务器配置情况:Windows Server 2003 操作系统,2 GB 内存,Intel Xeon CPU。数据采集终端使用 Android 操作系统开发,通过 Android 终端自带的 GPS 模块获取位置信息,并使用本文提出的基于位置信息的动态阈值位置更新策略来判断位置的更新上传。当终端系统过滤完位置信息后通

过网络通信服务传回到数据库服务器进行存储。

通过将数据采集终端放置于不同的交通工具(公交车、出租车、动车和步行)上进行实际测试,并将测试结果与等距离更新策略和等时间更新策略进行了比较。动态阈值位置更新策略中实验参数 $\Delta\theta = 20^\circ, \Delta d$ 按表1确定, $d_{\max} = 1000$  m,等距离更新策略中 $\Delta d = 100$  m,等时间更新策略中 $\Delta t = 15$  s,实验结果如表2所示。

表2 动态阈值位置更新策略与其他位置更新策略对比

编号	总长 度/km	总时 间/s	位置更新个数			动态阈值相对%		交通 工具
			等距离	等时间	动态阈值	等距离	等时间	
1	5.20	870	52	58	19	36.5	32.8	公交
2	7.10	956	71	70	22	31.0	31.4	出租
3	114.44	3600	1144	240	101	8.8	72.1	动车
4	0.64	663	6	44	24	400.0	54.5	步行

从实验结果可以看出速度越快相对位置更新次数越少,在公交和出租车上根据定位精度的位置更新策略的位置更新次数约为基于等时间和等距离位置更新次数的30%,而在动车上为等距离更新的8.8%,优势比较明显,由于动车速度太快因此与等时间位置更新相比优势不明显,在速度较慢且运行不规律(步行)的时候,由于位置变化比较快,为了更加精确地记录运动轨迹,会增加位置更新。

实验表明本文提出的动态阈值位置更新策略在不影响移动对象运动轨迹精度的情况下,可以有效地减少位置更新,从而节省数据传输流量,减少数据存储量。

## 3 结语

移动对象数据库往往管理着大量的移动对象信息,要高效地存储和检索移动对象的位置轨迹信息,就必须研究适用于移动对象的时空数据模型。本文基于面向对象思想结合 MOST 模型的动态属性思想设计了一种支持全时域的移动对象数据库模型,详细剖析了模型的内部结构和表示方法,并提出一种适合本模型的基于定位信息的动态阈值位置更新策略。并通过实际验证表明该策略可以有效地减少数据传输量与数据存储量。

### 参考文献:

- [1] REVESZ P. Introduction to databases[M]. London: Springer London, 2010: 111-135.
- [2] 赵亮. 面向位置服务的移动对象并发查询处理技术[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2010.
- [3] HÄGERSTRAND T. What about people in regional science?[J]. Papers in Regional Science, 1970, 24(1): 6-21.
- [4] LANGRAN G, CHRISMAN N R. A framework for temporal geographic information systems[J]. Cartographica, 1988, 25(3): 1-14.
- [5] WORBOYS M F, HEAMSHOW H M, MACUIRE D J. Object-oriented data modeling for spatial database[J]. International Journal of Geographical Information System, 1990, 4(4): 369-383.
- [6] HORNSBY K S, COLE S. Modeling moving geospatial objects from an event-based perspective[J]. Transactions in GIS, 2007, 11(4): 555-573.
- [7] 曹志月. 一种面向对象的时空数据模型[J]. 测绘学报, 2002, 31(1): 87-92.
- [8] BONFATTI F, MONARI P D. Spatio-temporal modeling of complex geographical structures[C]// Proceedings of the IFIP TC5/WG511 Working Conference on Computer Support for Environmental Impact Assessment. [S. l.]: North-Holland Publishing, 1994.

(下转第 1022 页)



解,最后通过实验验证 LCV 算法在不同的缓存下均有较高的性能。

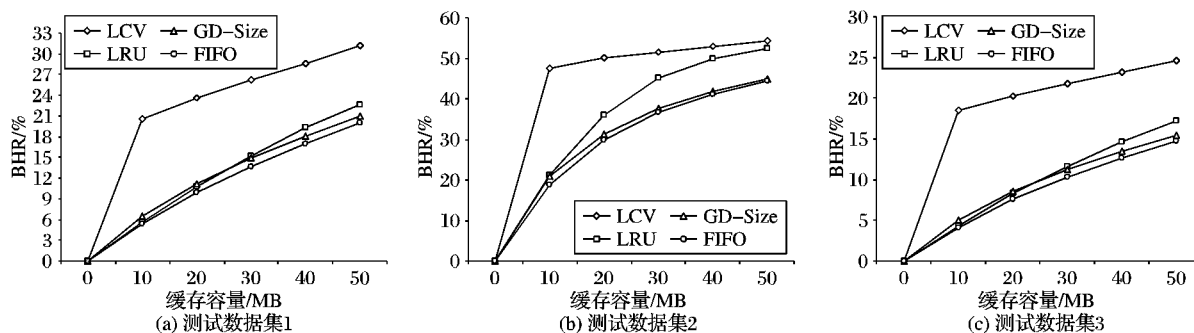


图4 各种算法的 BHR 性能曲线(小缓存容量)

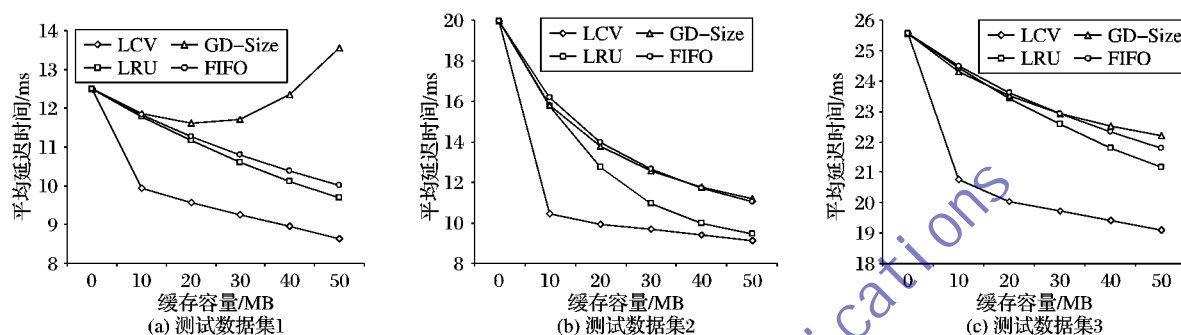


图5 各种算法的 ALT 性能曲线(小缓存容量)

#### 参考文献:

- [1] 司成祥, 孟晓, 许鲁. 一种针对 Websearch 应用的缓存替换算法[J]. 电子学报, 2011, 39(5): 1205-1209.
- [2] 王小燕. 一种高效的流媒体代理缓存替换算法[J]. 计算机工程, 2009, 35(14): 72-74.
- [3] 石磊, 叶海琴, 卫琳, 等. Web 缓存命中率与字节命中率关系[J]. 计算机工程, 2007, 44(13): 84-86.
- [4] ANDREW S. TANENBAUM. Modern operating systems[M]. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall, 1992.
- [5] O'NEIL E J, O'NEIL P E, WEIKUM G. The LRU-K page replacement algorithm for database disk buffering [C]// Proceedings of International Conference on Management of Data. Washington, DC: IEEE Computer Society, 1993: 297-306.
- [6] 李占胜, 毕会娟, 李艳平, 等. 一种对 LRFU 置换策略的自适应改进[J]. 计算机工程与应用, 2008, 44(17): 153-156.
- [7] WILLIAMS S, ABRAMS M, STANDRIDGE C R, et al. Removal policies in network caches for World-Wide Web documents[C]// SIGCOMM'96: Conference Proceedings on Applications, Technologies, Architectures, and Protocols for Computer Communications. New York: ACM, 1996: 293-305.
- [8] CAO P, IRANI S. Cost-aware WWW proxy caching algorithms [C]// Proceedings of the USENIX Symposium on Internet Technology and Systems. Monterey: USENIX, 1997: 18-18.
- [9] 韩英杰, 石磊. 基于最小延迟代价的 web 缓存替换算法研究[J]. 计算机工程与设计, 2008, 29(8): 1925-1928.
- [10] NICLAUSSE N, LIU Z, NAIN P. A new efficient caching policy for the World Wide Web [C]// Proceedings of the Workshop on Internet Server Performance. [S. l.]: IEEE, 1998.
- [11] 贾磊, 张新有. ACACRA: 一种新的网络缓存替换算法[J]. 小型微型计算机系统, 2011, 32(7): 1293-1297.
- [12] 林永旺, 张大江, 钱华林. Web 缓存的一种新的替换算法[J]. 软件学报, 2001, 12(11): 1710-1716.
- [13] 杨传栋, 余镇危, 王行刚, 等. 基于流行度预测的流媒体代理缓存替换算法[J]. 计算机工程, 2007, 33(7): 99-100.

(上接第 1017 页)

- [9] 易善植, 张勇, 周立柱. 一种平面移动对象的时空数据模型[J]. 软件学报, 2002, 13(8): 1658-1665.
- [10] TRYFONA N. Modeling phenomena in spatiotemporal databases: desiderata and solutions[C]// Proceedings of the 9th International Conference on Database and Expert Systems Applications. Berlin: Springer-Verlag, 1998.
- [11] TRYFONA N, JENSEN C S. Conceptual data modeling for spatiotemporal applications[J]. Geoinformatica, 1999, 3(3): 245-268.
- [12] TRAJCEVSKI G, WOLFSON O, HINRICHS K, et al. Managing uncertainty in moving objects databases[J]. ACM Transactions on Database System, 2004, 29(3): 463-507.
- [13] WOLFSON O, XU B, YIN H, et al. Search-and-discover in mobile P2P network databases [C]// Proceedings of the 26th IEEE International Conference on Distributed Computing Systems. Piscataway, NJ: IEEE Press, 2006: 65.
- [14] JIN P Q, YUE L H, GONG Y C. Design and implementation of a unified spatiotemporal data model [C]// ISPRS Book Series in Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. [S. l.]: International Society for Photogrammetry, Remote Sensing, 2008: 67-76.
- [15] 薛存金, 周成虎, 苏奋振, 等. 面向过程的时空数据模型研究[J]. 测绘学报, 2010, 39(1): 95-101.
- [16] 丁治明. 移动对象数据库模型. 查询语言及实时交通流分析[J]. 软件学报, 2009, 20(7): 1866-1884.
- [17] 丁治明. 一种适合于频繁位置更新的网络受限移动对象轨迹索引[J]. 计算机学报, 2012, 35(7): 1448-1461.
- [18] 张凤, 曹渠江. 现有时空数据模型的研究[J]. 上海理工大学学报, 2005, 27(6): 530-534.
- [19] 王生生, 刘大有. 基于移动对象模型的车辆监控系统[J]. 仪器仪表学报, 2004, 25(4): 509-511.
- [20] 马林兵, 张新长. 面向全时段查询的移动对象时空数据模型研究[J]. 测绘学报, 2008, 37(2): 207-211.