

文章编号: 1001-1595(2008)02-0207-05

中图分类号: P208

文献标识码: A

面向全时段查询的移动对象时空数据模型研究

马林兵, 张新长

中山大学地理科学与规划学院, 广东 广州 510275

Research on Full-Period Query Oriented Moving Objects Spatio-Temporal Data Model

MA Lin-bing ZHANG Xin-chang

School of Geography Science and Planning, Sun Yat Sen University, Guangdong, 510275, China

Abstract With the development of mobile communication, mobile positioning technique and GPS managing a large of moving objects efficiently become a new research content in mobile spatial information service. A moving objects spatio-temporal data model oriented full-period query was put forward and its basic definition was given out. Several methods of evaluating motion location were discussed, such as time delay method, moving average method and cubic exponent method. State updating tactic of moving objects was studied deeply and a new state updating tactic of moving objects was presented, which can be adapted to the interval of state updating of moving object. For the tactic, a one-variable exponent regression equation of moving objects updating interval was built in a moving time window and the trend of state updating of moving objects was indicated by regression parameter of the equation. So the regression parameter can be used to adjust the threshold of state updating. Finally, an experiment result was presented by stimulating motion of moving object in computation and further research work was prospected.

Key words moving objects; spatio-temporal data model; motion state updating

摘要: 大量移动对象时空数据的有效管理是移动空间信息服务的一个新兴的研究内容。本文提出一个面向全时段查询的移动对象时空数据模型,并给出基本的模型定义;探讨移动对象过去、现在和将来的运动位置估算方法,这些方法包括延时法、滑动平均法、三次指数法等;研究了移动对象的状态更新策略,提出一个适应于更新时间间隔的变动阈值法的移动对象的状态更新策略,该策略采用时间滑动窗口形式建立移动对象状态更新间隔的一元指数回归方程,通过求得回归参数获得移动对象状态更新趋势,利用该参数动态调整状态更新阈值。最后,给出实验模拟结果,并对今后的研究工作进行了展望。

关键词: 移动对象;时空数据模型;运动状态更新

1 引言

现代移动通讯技术和通信业务的飞速发展,为 GIS 应用的移动化方向提供坚实的技术支撑,并指明了一种应用前景非常广阔的增值服务:空间信息移动服务^[1],这就为数据库研究领域带来了一个新的研究分支,即移动对象数据库(Moving Objects Database,简称 MOD)^[2]。移动对象数据库是指对移动对象的位置及其相关信息进行表示与管理的数据库,这些移动对象的位置是不断变化的,如汽车、飞机、船只、行人等。越来越多的应

用要求对移动对象进行管理, GPS 技术、移动定位技术和移动通信的发展使得跟踪和记录移动对象的位置成为可能。目前, MOD 在民航管制、交通管理、数字战场、高智能物流、出租车、警员自动派遣、船只管理、基于位置的公众信息服务、个人位置服务等众多领域具有广泛的应用前景。

近几年来,人们对 MOD 进行了大量的研究工作,这些研究工作主要体现在移动对象时空数据模型^[3~7]、时空索引^[8~11]、时空查询^[12~16]等几个方面。Wolfsch^[3]提出一个 MOST(Moving Object Spatio-Temporal)模型,指出 DBMS 作为管理

收稿日期: 2007-06-14; 修回日期: 2007-12-10

基金项目: 地理信息系统教育部重点实验室(武汉大学)开放基金项目(W200604);“985工程”项目(105203200400006)

作者简介: 马林兵(1968-),四川南部人,博士,讲师。从事地理信息系统相关的理论和应用的研究。

E-mail: mlb1999@mail.sysu.edu.cn

移动对象的不足之处,提出了以位置函数表示的动态属性的概念; Julien Basch^[4]等提出了一个 KDS (Kinetic Data Structure)数据结构,用于保存移动对象有兴趣的属性,它与 MOST模型类似。Guting^[4]将时态数据库和空间数据库结合起来,提出一个离散的、抽象的时空数据模型,但它是针对广义的时空对象(如潮汐涨落、洪水区域)与本文所讨论的移动对象有一定区别。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将来状态查询。另外,有研究者就 GPS在移动对象上的连续空间位置定位提出了一些方法和策略,这些方法策略主要应用于辅助提高移动对象(客户端)本身的定位精度,在本文研究中,它们对提高移动对象在 MOD(服务器端)中的管理精度(索引、查询)方面具有一定的借鉴作用。

因此,本文提出一种支持全时段查询的移动对象数据时空数据模型,并且在模型定义、运动位置估算、运动状态更新策略等几个方面作了深入研究。

2 模型定义

2.1 位置模型

对于一个移动目标而言,位置(Location)的更新是频繁的,在数据库中记录这种频繁变化位置信息的代价是巨大的。在 MOST模型中,将移动对象的位置抽象成时间的函数,即:

$$LOC(t) = LOC(t_{ref}) + \vec{V}(t - t_{ref}) \quad (1)$$

$LOC(t_{ref})$ 是移动对象在参考时间 t_{ref} 的位置,

\vec{V} 是当前移动对象的速度,即移动对象的运动状态,它由 $(|V|, \theta)$ 构成, $|V|$ 是运动速率, θ 是运动方向。

根据式(1),移动对象在任何时刻的位置都可以通过 $LOC(t)$ 计算出来,只有移动对象的运动状态发生更新,才需要进行 MOD中位置的更新,因此,在 MOD中,不但要保存更新时刻的位置信息,还要保存更新时刻的运动状态信息。

2.2 运动轨迹段定义

任何移动对象的运动过程都可以表示为加上了时间标记的连续空间状态的集合: $\{S, T\}$, S 是移动对象的在 n 维空间的状态变量。为方便讨论,假定移动对象在 2维平面空间中运动,其基本的状态是移动对象的所在的位置 (X, Y) ,因此,移动对象连续空间状态集合是在 2维空间中一条连

续的轨迹曲线。对某一移动对象 M 其运动轨迹定义为

$$L = (X(t), Y(t))$$

$X(t), Y(t)$ 分别为 t 时刻移动对象 M 在 X, Y 方向上以时间 t 为变量的函数。在本模型中,移动对象运动轨迹定义为在 (X, Y, T) 3维空间中,一系列离散运动状态更改点 (X_k, Y_k) 按 t 顺序连接的集合,如图 1 有

$$\bar{L} = (X_k, Y_k, t_k)_{k=1}^n$$

(X_k, Y_k, t_k) 为运动状态更新点, $[(X_{k-1}, Y_{k-1}, t_{k-1}), (X_k, Y_k, t_k)]$ 为一个运动轨迹段,记为 L_k 。运动轨迹段有 2种:

当前运动轨迹段:若 (X_k, Y_k, t_k) 为最新的运动状态更新点,则 L_k 即为当前运动轨迹段;

过去运动轨迹段: L_k 以前的运动轨迹段为过去轨迹段,如图 1。

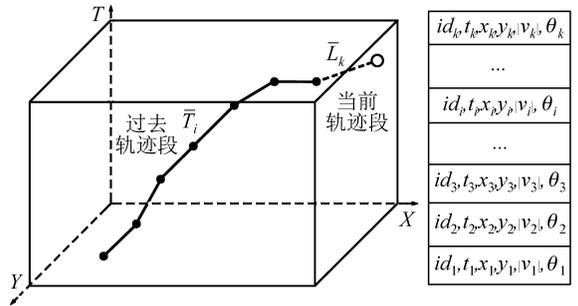


图 1 移动对象的时空轨迹段

Fig 1 Spatio-temporal trajectory segment of moving objects

每次运动对象状态发生改变时,移动对象就进入当前轨迹段,并将前一个轨迹段保存起来。在具体实现中,轨迹段是通过保存每一个状态更新点信息来表达。每个状态更新点信息是由 $\{id, t, x, y, |v|, \theta\}$ 等基本内容组成, id 是轨迹段编号,是更新时刻, x 和 y 是更新点位置坐标, $|v|$ 是更新时刻的速率, θ 是更新时的速度方向。

2.3 运动位置估算

由于 MOD中仅记录移动对象状态更新时的位置,所以对移动对象每一时刻的位置查询时需要进行位置估算。

2.3.1 过去位置估算

查询移动对象在过去某时刻的位置,需要根据移动对象的运动特点选择合适的估算方式,如果移动对象运动在固定网络上(如道路网),由于受网络形状的限制(道路一般呈折线),采用线性插值计算比较合适:先找到时刻 t 所在的轨迹段,

设该轨迹段两段的状态更新点为 (t_1, x_1, y_1) 和 (t_2, x_2, y_2) , 则在 t 时刻的移动对象的位置为

$$\left. \begin{aligned} x &= \frac{(t-t_1)(x_2-x_1)}{t_2-t_1} + x_1 \\ y &= \frac{(t-t_1)(y_2-y_1)}{t_2-t_1} + y_1 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

如果移动对象不在固定网络上运动, 例如在水中, 则运动轨迹更多表现为曲线运动, 对过去位置的估算宜采用高阶的插值函数。

顺序取过去轨迹段 4 个状态更新点: $T_k, T_{k+1}, T_{k+2}, T_{k+3}$, 设 $|v| = f(t), \theta = g(t)$

则在区间 $[t_k, t_{k+3}]$ 中, 有 $f(t) = |v|, g(t) = \theta, f(t_{k+1}) = |v_{k+1}|, g(t_{k+1}) = \theta_{k+1}, f(t_{k+2}) = |v_{k+2}|, g(t_{k+2}) = \theta_{k+2}, f(t_{k+3}) = |v_{k+3}|, g(t_{k+3}) = \theta_{k+3}$, 应用三次样条函数插值, 分别求得 $f(t)$ 和 $g(t)$ 的三次样条函数: $S(t)$ 和 $\varphi(t)$ 。将 $S(t)$ 和 $\varphi(t)$ 代入到式 (1), 则得到移动对象在时刻 t 的估算位置。

2.3.2 现在和将来位置估算

移动对象现在和短时将来位置的估算, 是以当前轨迹段的运动状态更新点为起点, 估算当前或短时将来时刻移动对象的位置, 有如下几种估算方法:

1. 延时法

T_k 为当前轨迹段的运动状态更新点, $|v_k|$ 和 θ_k 分别是更新时的运动速率和运动方向, 有

$$\left. \begin{aligned} |v_{k+\Delta t}| &= |v_k| \\ \theta_{k+\Delta t} &= \theta_k \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

即在 $k+\Delta$ 时刻的运动速率和运动方向与 T_k 更新时刻保持一致。

2. 滑动平均法

$$\left. \begin{aligned} |v_{k+\Delta t}| &= \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m |v_k| \\ \theta_{k+\Delta t} &= \theta_k \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

即在 $k+\Delta$ 时刻的运动速率是前 m 个过去更新时刻速率的平均值, 方向与 T_k 更新时刻保持一致。

3. 三次指数平滑法

由于移动对象速率的变化往往是非线性变化的时间序列, 为了提高估算的准确度, 采用布朗三次指数平滑法进行速率的预测: 设 $S_k^{(1)}, S_k^{(2)}, S_k^{(3)}$ 分别是 $|v|$ 在更新时刻 k 一次、二次、三次指数平滑值, a_k, b_k, c_k 是时间序列平滑参数, 有

$$S_k^{(1)} = \alpha x_k + (1-\alpha) S_{k-1}^{(1)}$$

$$S_k^{(2)} = \alpha S_k^{(1)} + (1-\alpha) S_{k-1}^{(2)}$$

$$S_k^{(3)} = \alpha S_k^{(2)} + (1-\alpha) S_{k-1}^{(3)}$$

$$a_k = 3 S_k^{(1)} - 3 S_k^{(2)} + S_k^{(3)}$$

$$b_k = \frac{\alpha}{2(1-\alpha)} [(6-5\alpha) S_k^{(1)} - 2(5-4\alpha) S_k^{(2)} + (4-3\alpha) S_k^{(3)}]$$

$$c_k = \frac{\alpha^2}{2(1-\alpha)^2} (S_k^{(1)} - 2 S_k^{(2)} + S_k^{(3)})$$

则在 $k+\Delta$ 时刻的运动状态为

$$\left. \begin{aligned} |v_{k+\Delta t}| &= a_k + b_k \Delta t + c_k \Delta t^2 \\ \theta_{k+\Delta t} &= \theta_k \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

在移动对象位置的估算中, 方向的变化比速率变化对估算准确度的影响更为敏感, 所以在 MOD 中, 移动对象方向变化的更新阈值一般设置得较小, 对方向的变化记录得更精确, 因此, 在短时位置估算中, 不需要考虑方向的变化。若需要进行长时的位置估算, 需要加入更多的限制条件, 如交通道路网络的限制、移动对象运动计划限制等。

3 移动对象的状态更新策略

3.1 更新原则

状态更新策略要通过选择合适的更新方式, 降低 MOD 存储资源的占用, 降低更新代价, 同时保证查询结果有一定的准确性, 一般采用偏差阈值法进行状态更新, 当移动对象的状态偏差超过某一偏差阈值时候就会发起运动状态更新。

我们认为, 移动对象的运动状态更新的发起有 2 种模式: ① 基于 MOD 服务器发起模式与 ② 基于移动对象发起模式。

基于 MOD 服务器发起模式为: MOD 服务器以周期采样移动对象的运动状态, 与数据库中的运动状态进行比较, 如果超过某一阈值, 则在 MOD 中更新运动状态。

基于移动对象发起模式: 移动对象测量到自身的运动状态发生的变化超过某一阈值时, 主动向 MOD 服务器发送运动状态更新请求。

前一种方式需要较大的通信代价, 后一种方式对移动对象的功能要求较高。

即当 $||v_{k+1}| - |v_k|| > \varphi$ 或 $|\theta_{k+1} - \theta_k| > \theta_c$ 时, 在 MOD 中进行移动对象运动状态的更新, 如图 2 移动对象在 t_1, t_2, t_3, t_4, t_5 几个时刻发生

运动状态更新请求。

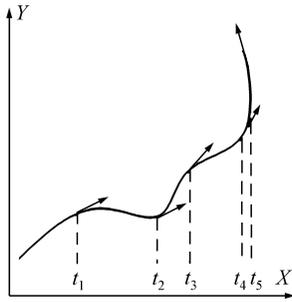


图 2 移动对象运动状态更新

Fig 2 State updating of moving objects

3.2 适应于更新时间间隔的变动阈值法

基于固定阈值的移动对象状态更新方式没有考虑到移动对象的状态变化对阈值的反向影响,而适应于运动状态变化的变动阈值不但能提高运动状态更新精度,还能有效减少更新次数。因此,我们提出一种适应于更新时间间隔的变动阈值法。

设 t_1, t_2, \dots, t_j 为更新点时刻, 则 $I_j = t_j - t_{j-1}$ 为更新时间间隔, 若 I_j 趋势增大, 说明移动对象运动状态比较稳定, 应该减小更新阈值以提高更新精度; 若 I_j 趋势减小, 说明移动对象状态不稳定, 应增大更新阈值以减少更新次数。

以滑动时间窗口形式取移动对象在 w 个更新时间间隔 I_j 建立一元指数非线性回归模型:

$$\hat{I} = \beta_0 \hat{e}^{\beta_1 j}$$

转换成对数形式使之线性化, 有

$$\ln \hat{I} = \ln \beta_0 + \beta_1 j$$

β_0, β_1 为回归系数, 求解这个一元线性回归方程, 得到 β_0, β_1 。则运动状态更新时间间隔 I_j 在某一状态更新滑动窗口内的变化趋势, 如图 3。

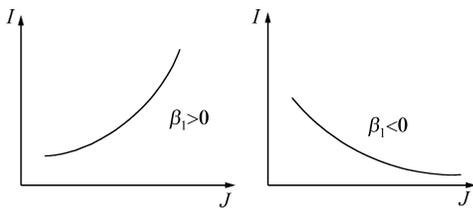


图 3 运动状态更新时间间隔变化趋势

Fig 3 Trend of interval of motion state updating

若 $\beta_1 > 0$ 则表明在宽度为 w 的状态更新窗口内, 状态更新时间间隔呈增大趋势; 若 $\beta_1 < 0$ 则表明在宽度为 w 的状态更新窗口内, 状态更新

时间间隔呈减小趋势。 β_1 值是趋势指数。则状态更新阈值可用下式计算, 其中, ϵ 表示状态更新阈值:

$$\epsilon_{k-1} = \begin{cases} \epsilon_k \left[1 - \frac{1 - e^{-\beta_1}}{w} \right] & \beta_1 \geq 0 \\ \epsilon_k \left[1 + \frac{1 - e^{\beta_1}}{w} \right] & \beta_1 < 0 \end{cases} \quad (6)$$

该变动阈值法的核心思想是: 通过回归模型动态获取状态更新滑动窗口内时间间隔变化趋势参数, 再根据回归参数动态地调整移动对象状态更新阈值。

4 实验模拟

本文提出的模型和方法采用在计算机上模拟移动对象的随机运动进行测试, 移动对象在 2 维空间上作自由运动。作如下实验规定:

1. 移动对象的运动速率是一个随机变量, 符合 Gauss 分布;

2. 移动对象的运动方向改变也是一个随机变量, 符合 Uniform 分布;

3. 系统以周期 T_1 比较移动对象的运动状态, 若运动状态超过偏差阈值, 则记录运动对象的即时运动状态 S_j 以及位置信息 I_j ;

4. 系统以周期 T_2 ($T_2 = T_1/n, n \geq 5$) 记录移动对象的即时运动状态 S_j 以及位置信息 I_j , 由于 T_2 的频率大大高于 T_1 , 所以, 可以认为 I_2 完整记录了移动对象的实际位置, 可以将 I_2 与利用式 (1) 的计算结果做实验对比, 确定位置偏差。

4.1 位置预测偏差比较

实验在奔腾 M2.8 GHz/512 M 的机器上进行, 采用 Y. Theodoridis^[17,18] 提出的基本思路和方法, 模拟 200 个移动对象, $T_1 = 1000 \text{ ms}$, $T_2 = 200 \text{ ms}$, 分别采用第 2 节中提出的 3 种方法对移动对象以周期 T_2 进行位置预测, 位置预测偏差平均值为

$$\varphi_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n |I_2 - \hat{I}| \quad (6)$$

经过 100 个 T_2 周期模拟计算, 采用延时法、滑动平均法、指数法的位置预测偏差的平均值分别为 5.22 4.66 3.81, 标准差为 0.94 0.75 0.72。图 4 是 3 种方法位置预测偏差比较图, 我们可以看到, 指数法的预测位置与实际位置相比偏差最小, 效果最好。

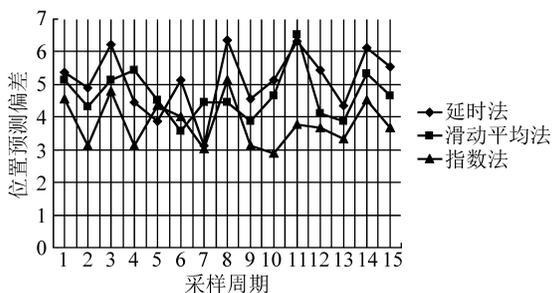


图 4 位置预测偏差比较图

Fig 4 Comparison of deviation of location forecasting

4.2 位置更新策略比较

在实验中, 移动对象的模拟数量分别为 50 200 500 2 000 以 $T_s=1 000$ ms 为状态比较周期, 分别采用固定阈值法和本文提出的适应于更新时间间隔的变动阈值法进行性能比较, 比较在这两种方法下的状态更新次数和位置偏差均值, 模拟试验结果如表 1。

表 1 位置更新结果比较表

Tab 1 Comparison of result of location updating

移动对象 个数	运动状态更新频率/(次/s)		位置偏差均值	
	固定阈值法	变动阈值法	固定阈值法	变动阈值法
50	0.654	0.511	5.12	4.52
200	0.589	0.385	4.67	4.03
500	0.601	0.543	4.35	3.78
2 000	0.579	0.423	4.89	3.81

变动阈值法能根据移动对象的运动状态更新时间动态地调整状态更新阈值, 通过实验模拟表明, 相比较固定阈值法, 在不同数量的移动对象条件下, 移动对象运动状态的平均更新频率稳定地减少, 同时, 位置偏差均值也降低了。

5 结论

大量移动对象的有效管理需要 MOD 的支撑, 移动对象时空数据模型是 MOD 研制的重点。本文提出一个全时段查询的移动对象数据时空数据模型, 给出基本的模型定义, 探讨移动对象运动位置估算的几种方法、移动对象的状态更新策略等关键问题, 提出一个适应于更新时间间隔的变动阈值法的移动对象的状态更新策略, 并进行实验模拟。

本文提出的模型没有考虑到移动对象运动的受限环境, 这些受限环境包括道路网结构限制、速

度限制、运动计划限制、运动时段限制、移动通信限制、地形限制、运动组团限制等, 如何在基于受限环境下研究更优的移动对象时空数据模型, 则是我们将来研究的方向。

参考文献:

[1] FANG Zhi-xiang, LI Qing-quan. Mobile Spatial Information Service Based on Mobile Agent Technology [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2004, 33(4): 328-334 (方志祥, 李清泉. 基于 Mobile Agent 技术的空间信息移动服务 [J]. 测绘学报, 2004, 33(4): 328-334)

[2] MENG Xiao-feng, ZHOU Long-xiang, WANG Shan. State of the Art and Trends in Database Research [J]. Journal of Software, 2004, 15(12): 1 822-1 836 (孟小峰, 周龙骧, 王珊. 数据库技术发展趋势 [J]. 软件学报, 2004, 15(12): 1 822-1 836)

[3] WOLFSON Q, XU B, CHAMBERLAIN S, JIANG L. Moving Objects Databases: Issues and Solutions A/OJ. Proceedings of the 10th International Conference on Scientific and Statistical Database Management (SSDBM'98) [C/OJ]. <http://www.cs.uj.edu/~wolfson/html/mobile.html>, 1998

[4] BASCH J, GUIBAS L J. Data Structures for Mobile Data [J]. Journal of Algorithms, 1999, 31(1): 1-28

[5] GUTING R H, BOHLEN M H, ERKIG M. A Foundation for Representing and Querying Moving Objects [J]. ACM Transactions Database Systems, 2000, 25(1): 1-42

[6] YU Xiu-lin, CHEN Ying, DING Xiao-cheng, LU Dong. A Moving Object Database Model Based on Road Network [J]. Journal of Software, 2003, 14(9): 1 600-1 607 (于秀兰, 陈滢, 丁晓诚, 刘东. 一种基于道路网络的移动目标数据库模型 [J]. 软件学报, 2003, 14(9): 1 600-1 607)

[7] YU Zhong-cheng, SUN Hao. Modeling Moving Objects Databases over Space-time Grid [J]. Journal of Yan Shan University, 2004, 28(4): 359-392 (于忠诚, 孙浩. 时空网格 (SG-Grid) 移动对象数据库模型 [J]. 燕山大学学报, 2004, 28(4): 359-392)

[8] KOLLIS G, PAPADOPOULOS D. Indexing Mobile Objects Using Dual Transformations [J]. The International Journal on Very Large Data Bases, 2005, 14(2): 238-256

[9] HYUNK P. Adaptive Index Management for Future Location-based Queries [J]. The Journal of Systems and Software, 2004, 74(3): 313-324

[10] WANG Yuan-zhen, TU Xiao-ming et al. Indexing Mobile Object's Position [J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology (Natural Science), 2002, 30(1): 32-34 (王元珍, 涂小明, 等. 移动对象位置的索引技术 [J]. 华中科技大学学报, 2002, 30(1): 32-34)

[11] GUO Jing, LIU Guang-jun, GUO Lei. A Whole-time Index Design Based on 3D+TPR-tree for Moving Point Targets [J].

(下转第 222 页)

参考文献:

[1] REESW G. The Accuracy of Digital Elevation Interpolated to Higher Resolutions [J]. International Journal of Remote Sensing 2000 21(1): 7-20.

[2] LIZ L, ZHU Q. Digital Elevation Model [M]. Wuhan: Wuhan University Press, 2001.

[3] KDNER D B. Higher order Interpolation of Regular Grid Digital Elevation Models [J]. Int J Remote Sensing 2003 14(24): 2981-2987.

[4] GAO J. Resolution and Accuracy of Terrain Representation by Grid DEMs at a Micro scale [J]. Int J Geographical Information Science 1997 11(2): 199-212.

[5] SHIW en-zhong. Principle of Modeling Uncertainties in Spatial Data and Analysis [M]. Beijing: Science Press, 2005 (史文中. 空间数据与空间分析不确定性原理 [M]. 北京: 科学出版社, 2005)

[6] COONS S A. Surfaces for Computer Aided Design of Space Forms [R]. Cambridge: MIT, 1967.

[7] FARN G, HANDFORD D. Discrete COONS Patches [J]. Computer Aided Geometric Design 1999 16(7): 691-700.

[8] WANG Yu, ZHU Chang-qing, SHIW en-zhong. Application of B Spline and Smoothing Spline on Interpolating the DEM Based

on Rectangular Grid [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica 2000 29(3): 240-244 (王 昱, 朱长青, 史文中. B样条与磨光样条在基于矩形格网的 DEM内插中的应用 [J]. 测绘学报, 2000 29(3): 240-244)

[9] WANG Jia-yao. Principle of Spatial Information System [M]. Beijing: Science Press, 2004. (王家耀. 空间信息系统原理 [M]. 北京: 科学出版社, 2004)

[10] LU Xue-jun, GONG Jian-ya et al. A Study of Accuracy and Algorithms for Calculating Slope and Aspect Based on Grid Digital Elevation Model [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica 2004 33(3): 258-263 (刘学军, 龚健雅, 等. 基于 DEM坡度坡向算法精度的分析研究 [J]. 测绘学报, 2004 33(3): 258-263)

[11] TANG Guo-an, GONG Jian-ya et al. A Simulation on the Accuracy of DEM Terrain Representation [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica 2001 30(4): 361-365 (汤国安, 龚健雅, 等. 数字高程模型地形描述精度量化模拟研究 [J]. 测绘学报, 2001 30(4): 361-365)

[12] TOUTIN T. Impact of Terrain Slope and Aspect on Radar Grammetric DEM Accuracy [J]. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 2002 57: 228-240.

(责任编辑: 丛树平)

(上接第 211 页)

Acta Geodaetica et Cartographica Sinica 2006 35(8): 267-272 (郭 晶, 刘广军, 郭 磊. 基于 3D⁺-TIR-tree 的点目标全时段移动索引设计 [J]. 测绘学报, 2006 35(8): 267-272)

[12] WOLFSON Q, SEILA P, CHAMBERLAN S, YESHA Y. Updating and Querying Databases that Track Mobile Units [J]. J Distrib Parallel Databases 1999 7: 257-287.

[13] CAO Hui-ping. Location Dependent Query in a Mobile Environment [J]. Information Sciences 2003 154(1): 71-83.

[14] RAPIOPOULOU K, PAPADOPOULOS A N. Fast Nearest Neighbor Query Processing in Moving Object Database [J]. GeoInformatica 2003 7(2): 113-137.

[15] Gu ting R H. Modeling and Querying Moving Objects in Network [J]. The VLDB Journal 2006 15(2): 165-190.

[16] GED K B G. Processing Moving Queries over Moving Objects Using Motion Adaptive Indexes [J]. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering 2006 18(5): 651-668.

[17] THEODORIDOS Y, NASCIMENTO M. Generating Spatial Temporal Datasets on the WWW [J]. ACM SIGMOD Record 2000 29(3): 39-43.

[18] THEODORIS Y, SILVA JR O, NASCIMENTO M A. On the Generation of Spatial Temporal Database [J]. Proceedings 6th International Symposium on Large Spatial Databases [C]. Hong Kong [s. n.], 1999. 147-164.

(责任编辑: 丛树平)

(上接第 216 页)

[8] HE Jian-hua, LIU Yao-lin. Formalized Description of Indeterminate Geographical Object Based on Fuzzy Degree [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University 2005 30(4): 341-344 (何建华, 刘耀林. 基于模糊度的不确定地理目标形式化描述方法. 武汉大学学报 (信息科学版) 2005 30(4): 341-344.

[9] MOLENAAR M. The Role of Topological and Hierarchical Spatial Object Models in Database Generalization [J]. Methods for the Generalization of Geodatabases [C]. Delft: Netherlands Ge-

odetic Commission, 1996. 13-36.

[10] WORBOYSM F. Imprecision Infinite Resolution Spatial Data [J]. Geoinformatica 1998 2(3): 257-279.

[11] HE Jian-hua, LIU Yao-lin, TANG Xin-ming. A Spatial Topological Relation Model for Discrete Space [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica 2005 34(4): 343-348 (何建华, 刘耀林, 唐新明. 离散空间拓扑关系模型. 测绘学报, 2005 34(4): 343-348)

(责任编辑: 丛树平)