

一种基于道路网络的移动目标数据库模型*

于秀兰⁺, 陈滢, 丁晓诚, 刘东

(国际商业机器中国有限公司 研究中心,北京 100085)

A Moving Object Database Model Based on Road Network

YU Xiu-Lan⁺, CHEN Ying, DING Xiao-Cheng, LIU Dong

(Research Laboratory, International Business Machines China Company Limited, Beijing 100085, China)

+Corresponding author: Phn: 86-10-62986677 ext 512, Fax: 86-10-82899634, E-mail: yuxl@cn.ibm.com

<http://www.ibm.com/research>

Received 2002-08-06; Accepted 2003-03-04

Yu XL, Chen Y, Ding XC, Liu D. A moving object database model based on road network. *Journal of Software*, 2003,14(9):1600~1607.

<http://www.jos.org.cn/1000-9825/14/1600.htm>

Abstract: An important feature that differentiates moving object database (MOD) from other databases is that MOD can support queries for locations recorded not only at the sample time, but also at time between samples and even at time in the future. The most important issue in MOD research is to build models of moving objects' mobility and their locations update. The advance in mobile Internet and location-based services requires appropriate models be built for popular dumb terminals, such as cell phones, which can only be located by auxiliary facilities like GSM/CDMA networks. Considering that users of such kind dumb devices often move on the road network, a novel model for these moving objects to calculate their velocities in the past and future and to update their locations with varied sample time based on road network is presented in this paper. Compared with traditional velocity models, the proposed model can reduce the location prediction errors effectively. And when comparing with the model of updating locations with uniform sample time, the proposed model can reduce the communication traffic between moving objects and locating facilities with the same average prediction error.

Key words: moving object database; road network; velocity computing model; location update model; varied sample time

摘要: 移动目标数据库(moving object database)有别于一般数据库技术的重要特征之一就是不仅可以对移动目标在数据库记录的时刻进行位置查询,而且可以对不同记录时刻之间以及未来时刻的位置进行查询,其研究的首要问题是建立移动目标运动及位置更新模型.目前有大量依靠其他辅助设备(如 GSM 网络)定位的盲终端设备(如移动电话,PDA 等),存在着 MOD 管理的潜在需求,需要对它们建立合适的运动及位置更新模型,来为移动用户提供基于位置的服务.针对这类无自定位能力的移动目标,利用它们通常运动在城市的道路网络上这一特点,提出了基于道路网络的移动目标历史和未来速度计算模型,在此基础上提出了基于道路网络的非等时

* 第一作者简介: 于秀兰(1971-),女,黑龙江齐齐哈尔人,博士,副研究员,主要研究领域为移动目标数据库,数据挖掘,网格计算,模式识别.

位置更新模型.与传统的速度计算模型相比,基于道路网络的移动目标历史和未来速度计算模型在考虑移动目标定位误差时可以降低移动目标位置预测的误差;与等时位置更新模型相比,基于道路网络的非等时位置更新模型在平均预测误差相近的情况下,可以减少移动目标和定位设施之间的通信量.

关键词: 移动目标数据库;道路网络;速度计算模型;位置更新模型;不等时采样

中图法分类号: TP311 **文献标识码:** A

移动目标数据库(moving object database,简称 MOD)是数据库研究领域近年来发展起来的一个分支.移动目标数据库中记录了不同的移动目标在不同时刻的位置,用户可以在数据库中查询移动目标的历史、现在和未来一定时刻的状态.MOD 可以用于民航管制、交通管理、军事指挥、基于位置的信息服务等众多领域^[1].例如,出租汽车公司可以根据 5 分钟后车辆可能的位置进行车辆调度,移动运营商可以向用户推送基于位置的广告或电子优惠券.传统数据库技术不能有效地支持移动目标的管理,比如它只能支持在采样时刻位置的查询,而非采样时刻位置的查询需要数据库通过建立移动目标运动模型给出.在对移动目标数据库进行开发时,不仅需要考察移动目标运动模型,还要考虑移动目标的位置更新频率、移动目标数据库索引、移动目标数据位置的管理和查询等众多问题.但其中建立移动目标运动模型和确立位置更新频率是移动目标数据库应用研究的首要问题^[1].

由于移动目标在特定时刻的位置的查询是移动目标数据最基本的查询,对于移动目标数据库非采样时刻的位置查询,文献中最简单的方法就是对历史时刻的位置进行线性插值确定^[2],等价于采样点间移动目标选择匀速运动模型.此外还有 Bartels 等人^[2]采用的多项式样条插值决定移动目标历史时刻的位置.

在确定移动目标在采样点间的运动模型之后,下一步要决定何时采样.Dieter 等人^[2]对携带 GPS 模块的移动目标采用等时采样技术;而在移动目标数据库研究方面做了大量的工作的 Wolfson 等人^[1,3-6],对携带 GPS 模块的移动目标提出了自适应位置更新模型,这种模型为非等时采样模型的一种.

除了携带 GPS、可自定位的移动目标以外,还有相当一类不具备自定位功能,而需要其他辅助设备(如移动网络中的基站)定位,例如移动电话、PDA 等设备.由于这类移动设备使用普遍,通信和定位费用低,因此,利用其运动建立移动目标数据库对诸如出租车管理、交通管理、商场客户流量分析等应用具有重要的市场价值.但 Wolfson 等人^[1,3-6]研究的自适应位置更新模型对于这类移动目标建立数据库运动模型已不再适用.针对这类移动目标数据库建立移动目标运动和位置更新模型,最简单的方法是利用等时采样技术,采样时刻间运用匀速运动模型.考虑到这类移动目标的位置通常是在城市的道路网络上,如果已知移动目标移动时的道路的拓扑结构和相关参数,利用道路网络建立合适的运动模型和位置更新模型,可能会提高移动目标位置查询的精度,适当减少采样的次数,这样就可以降低移动目标和定位设备间专门用于定位的通信开销,从而增加系统并发用户量.

针对这类移动目标的数据库,本文首先介绍了等时采样频率下历史速度和位置计算模型以及未来速度和位置预测模型,在此基础上研究了利用道路网络结构的移动目标历史和未来速度计算模型以及基于该模型的采样策略,提出了基于道路网络拓扑结构和几何关系的改进的速度计算模型和移动目标非等时位置更新模型,并与等时采样模型在数据库规模、与基站间的通信量以及采样时间间隔内移动目标位置预测精度等方面进行了比较.

1 等时采样频率下移动目标运动模型

1.1 移动目标历史时刻的速度和位置

首先估计在采样时间间隔内移动目标的运动.最简单的假设是移动目标在两个采样时刻间匀速运动.设移动目标采样时刻分别为 $t_0, t_1, t_2, \dots, t_n (n \in \mathbb{Z})$, 若 t_n 为当前时刻,且各个历史采样时刻的位置分别为 $(Lx_0, Ly_0), (Lx_1, Ly_1), \dots, (Lx_n, Ly_n)$, 在任意 $t \in (t_{i-1}, t_i), i \in (1, 2, \dots, n)$ 时刻之间移动目标为匀速运动,则可以计算各方向的历史速度及合成历史速度:

$$vx_{i-1} = (Lx_i - Lx_{i-1}) / (t_i - t_{i-1}), \quad (1)$$

$$vy_{i-1} = (Ly_i - Ly_{i-1}) / (t_i - t_{i-1}), \quad (2)$$

$$|v_{i-1}| = \sqrt{vx_{i-1}^2 + vy_{i-1}^2}. \quad (3)$$

我们可以计算得到 v_0, v_1, \dots, v_{n-1} . 其中 v_{i-1} 为 t_{i-1} 到 t_i 时间段速度, 历史位置的计算可以采用线性插值, 即

$$Lx(t) = Lx(t_{i-1}) + vx_{i-1} \times (t - t_{i-1}), \quad (4)$$

$$Ly(t) = Ly(t_{i-1}) + vy_{i-1} \times (t - t_{i-1}). \quad (5)$$

1.2 移动目标未来时刻的速度和位置预测

将 t_{n+1} 设为未来采样时刻, 在 t_{n+1} 时刻到来之前, 需要对速度 v_n 进行预测. 由于 v_n 为矢量, 其预测包括标量值预测和方向预测, 可以采用以下两种预测模型:

(1) 延时模型

$$\hat{v}_n = v_{n-1}, \quad (6)$$

即未来时刻速度的标量值和方向都与最后一个历史速度 v_{n-1} 的标量值和方向一致.

(2) 滑动平均模型

$$|\hat{v}_n| = \frac{1}{p} \sum_{i=1}^p v_{n-i}, \quad (7)$$

即未来时刻速度的标量值是前 p 个历史速度的标量均值, 其方向与最后一个历史速度 v_{n-1} 的方向一致. 显然, 延时模型对移动目标运动状态改变适应更快, 而滑动平均模型对速度标量值的预测更准确.

对于这两种速度预测模型, 在 $t \in (t_n, t_{n+1})$ 时, 都可以预测移动目标位置:

$$\hat{Lx}(t) = Lx(t_n) + vx_{n-1} / |v_{n-1}| \times |\hat{v}_n| \times (t - t_n), \quad (8)$$

$$\hat{Ly}(t) = Ly(t_n) + vy_{n-1} / |v_{n-1}| \times |\hat{v}_n| \times (t - t_n). \quad (9)$$

这里, 定义瞬时位置预测误差为

$$Err(i) = \sqrt{[Lx_{\text{real}}(i) - Lx_{\text{Est}}(i)]^2 + [Ly_{\text{real}}(i) - Ly_{\text{Est}}(i)]^2}. \quad (10)$$

定义平均位置预测误差为

$$E = \frac{\sum_{i=1}^n Err(i)}{n}, \quad (11)$$

其中, $(Lx_{\text{real}}, Ly_{\text{real}})$ 表示移动目标的真实位置, $(Lx_{\text{Est}}, Ly_{\text{Est}})$ 表示利用模型预测出的移动目标的位置, n 表示移动目标位置的采样个数.

2 基于道路网络的移动目标非等时位置更新及其运动模型

然而, 在等时采样率下, 即使采用滑动平均模型, 在移动目标运动状态发生改变(如转弯)时, 未来时刻位置预测仍然有误差, 并且误差与采样时间间隔有关, 采样时间间隔越小, 则误差越小. 但是采样时间间隔过小, 又会造成移动目标和基站通信量太大, 将会受到通信带宽的限制; 同时, 采样时间间隔过小还会使数据库中单个移动目标的数据占用的存储空间加大, 以至于会限制数据库并发用户的数量. 以上因素促使我们考虑采用非等时采样位置更新模型, 并改进上述的移动目标运动模型: 考虑到多数移动目标运动在城市的道路网络上, 当已知道路网络的拓扑模型, 并且知道道路的几何特征, 当获得移动目标的位置时, 就获得了移动目标所在的道路, 可以根据道路状况计算移动目标的速度标量, 这样, 速度标量计算精度更高, 会导致未来时刻速度预测精度提高, 并且根据道路网络及预测速度可以提高未来时刻位置预测精度; 进而还可以预测下一采样时间, 以减少采样次数.

为了精确计算任意采样时刻间移动目标的速度并预测下一采样时间, 首先需要得到任意时刻移动目标的位置判断该位置属于道路拓扑网格中的哪一条道路(注: 如果位于道路拓扑网络中道路的交点, 该位置有多个道路属性, 则根据前一位置的道路属性判别其当前道路属性); 当已找到各位置的道路属性后, 就可以计算任意两时刻间的速度, 并预测下一采样时刻. 这里, 移动目标历史时刻速度计算和等时采样频率下移动目标速度计

算方法不再相同,具体分以下 4 种情况讨论速度模型和位置更新模型.

2.1 移动目标当前时刻和上一时刻位置在一条道路上

如图 1 所示,当前时刻位置 $L(t_n)$ 和上一时刻位置 $L(t_{n-1})$ 隶属于道路网络中的同一条道路 MN .

(1) 历史速度的计算和未来速度的预测

为了计算历史速度 v_{n-1} ,需要计算 $L(t_n), L(t_{n-1})$ 和 M, N 任意一点的距离.如图 1 所示,若 $|ML(t_n)| \geq |ML(t_{n-1})|$,则运动下一到达点为 N ;若 $|ML(t_n)| < |ML(t_{n-1})|$,则运动下一到达点为 M ;图 1 中设运动下一到达点为 N ,那么前一时刻到当前时刻的速度标量值为

$$|v_{n-1}| = L(t_n)L(t_{n-1}) / (t_n - t_{n-1}). \quad (12)$$

对未来速度的预测,考虑到延时模型对移动目标运动状态改变适应更快,而滑动平均模型对速度标量值的预测更准确,这里,我们提出一种改进的滑动平均模型,称为限制滑动窗口模型,即在式(7)中加入如下限定条件:

$$v_i \in \{v \mid (Th_1 \times |v_{n-1}| < |v_i| < Th_2 \times |v_{n-1}|), (n-p \leq i \leq n-1)\}, \quad (13)$$

其中, Th_1 和 Th_2 为速度变化范围,目的是为防止移动目标在前面时刻运动状态曾发生明显变化,如转弯或从汽车改为步行,式(13)就是对前面时刻的 p 个速度进行范围检验,那些和当前状态差异较大的速度值将不再对预测未来时刻的速度标量值有贡献.采用这种模型,综合了延时模型和滑动平均模型的优点,对目标运动状态改变适应快并且对速度标量值的预测更准确,则 \hat{v}_n 标量值由式(7)和式(13)综合得出,方向为 $\overrightarrow{L(t_n)N}$.

(2) 位置更新模型

由预测出的速度 v_n 和道路网络拓扑,可以预测运动目标在图 1 中由位置 $L(t_n)$ 到达 N 点的运动时间为

$$\hat{T} = (NL(t_n) + \Delta) / \hat{v}_n, \quad (14)$$

其中, Δ 为位移预测误差.由于目标到达 N 点后道路可能出现分支,为了保证历史位置查询精度,应在 \hat{T} 时刻对移动目标位置进行一次采样.这里,我们对 \hat{T} 进行一定的限定: $T_{\min} \leq \hat{T} \leq T_{\max}$.最小采样时间间隔 T_{\min} 是由基站定位时间和用户量综合决定的,最大采样时间间隔 T_{\max} 的设定是为了防止移动目标的运动状态改变,例如,当从乘汽车改为步行,其运动速度有较大的改变时,采样时间间隔过大造成运动位置预测有较大误差,则

- 若 $\hat{T} < T_{\min}$, 则下一采样时刻为 $t_{n+1} = t_n + T_{\min}$;
- 若 $\hat{T} > T_{\max}$, 则下一采样时刻为 $t_{n+1} = t_n + T_{\max}$;
- 若 $T_{\min} < \hat{T} < T_{\max}$, 则下一采样时刻为 $t_{n+1} = t_n + T_{\min} \cdot \text{ceil}(\hat{T} / T_{\min})$.

其中, ceil 为取整运算.在下一采样时刻到来之前,预测移动目标的位置为

$$L(t) = L(t_n) + \hat{v}_n \times (t - t_n), t_n < t < t_{n+1}. \quad (15)$$

2.2 移动目标当前时刻和上一时刻位置在相邻道路上

(1) 历史速度的计算和未来速度的预测

如图 2 所示,当前时刻位置和上一时刻位置隶属于道路网络中的相邻两条直线,即 PM 和 MN ,交点为 M .首先需要找到 M ,则 $L(t_n)$ 隶属的直线中非点 M (即 N 点)为终点,则历史速度标量计算为

$$|v_{n-1}| = (L(t_n)M + ML(t_{n-1})) / (t_n - t_{n-1}). \quad (16)$$

未来速度 \hat{v}_n 标量值预测与第 2.1 节相同,方向为 $\overrightarrow{L(t_n)N}$.

(2) 位置更新模型

预测运动目标由位置 $L(t_n)$ 到达 N 点的运动时间为

$$\hat{T} = (L(t_n)N + \Delta) / \hat{v}_n, \quad (17)$$

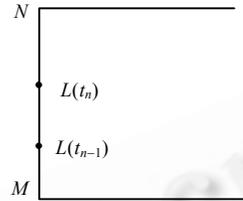


Fig.1 Current and previous locations are on the same branch

图 1 当前时刻和上一时刻位置隶属于同一道路

其中, Δ 为位移预测误差.下一采样时刻的预测及下一采样时刻前移动目标的位置预测与第 2.1 节相同.

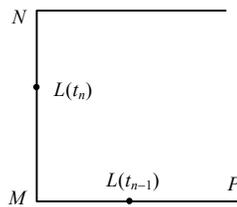


Fig.2 Current and previous locations are on the two adjacent branches

图 2 当前和上一时刻位置隶属于相邻道路

2.3 移动目标当前时刻和上一时刻位置在不相邻道路上

类似于文献[7],这种情况需要网络中两点最短路径的算法,利用网络中两点最短路径计算历史速度标量值,未来速度的预测和下一采样时间预测与第 2.1 节相同.由于预测速度方向采用前一采样时刻前的速度方向,位置预测会有误差.

更进一步地,可以对道路的交点进行分类,如果移动目标将要到达的下一道路的交点有小于 3 个自由度(即该交点只和两条以下的道路相连),还可以再加大下一采样时间.并且,还可以利用已建立的移动目标数据库获取的用户的历史数据来挖掘出该用户的特定运动规律,以进一步加大采样时间间隔,同时提高未来位置预测的精度.

2.4 基于道路网络的移动目标历史时刻位置的计算

显然,加入道路网络还可以提高移动目标历史时刻的位置查询精度,该讨论可以参照上述讨论步骤.当查询时刻位于数据库两个采样时刻间时,如果两个采样时刻的位置在同一条道路上,位置计算模型为线性插值模型;如果两个采样时刻的位置在不同的道路上,需要首先获得移动目标在各道路交点的时间作为补充采样时间点,选择离查询时刻最相近的时间采样点,再利用线性模型位置.这里我们不再详细讨论.

3 实验结果

3.1 在道路网络上运动的无自定位能力的移动目标模拟

为了获得在道路网络上运动的无自定位能力移动目标的时间-位置数据,我们首先设计了一个移动目标运动模拟器,模拟器中的道路网络采用了 GDT 图格式,可以模拟 3 类速度的移动目标:高速、中速和低速(分别对应汽车、自行车和人).3 类移动目标在设定的道路网络上,使用围绕各自的中心速度在一定的范围内波动的速度来移动,在道路连接点(非交叉点)不改变运动方向,在道路交叉点随机决定下一运动方向(包括折返运动).模拟器可以输出这些移动目标在采样时刻的位置(模拟器输出的位置采用归一化数据),模拟器的等时采样时间间隔 $T_m \ll$ 数据库中移动目标采样时间间隔 T .模拟器的界面如图 3 所示.实验中模拟器输出采样点数为 1 146,运动轨迹见图中粗线.与文献[7]应用道路网络的不同点是本文并未事先预知移动目标运动轨迹.

3.2 未来时刻不同速度预测模型的比较

我们利用等时采样位置更新模型比较了延时模型和加入限定的滑动平均模型.实验中采样时间为 $T = 100T_m$ (即运动轨迹上采样 11 次).预测的速度值和目标真实速度值的比较如图 4 所示.可以看出,利用加入限定的滑动平均模型预测出的速度更接近于真实速度.

对应模拟器输出的不同时刻的位置的预测误差如图 5 所示.其中加入限定的滑动平均模型和延时模型平均位置预测误差分别为 0.008 6 和 0.008 7.利用不同速度模型预测的速度进行下一采样时刻前位置预测,得到的位置预测轨迹如图 6 所示.由图 4~图 6 明显可见,加入限定的滑动平均模型预测速度的偏差及下一采样时刻前位置预测的误差都要优于延时模型.由于移动目标在保持某一合适的运动状态,或者对大量用户的同一运动状态进行统计时,通常认为速度标量是一个随机量,其分布可以采用 Gauss 分布逼近,因此采用加入限定的滑动平

均模型预测的速度标量比延时模型的效果要好.

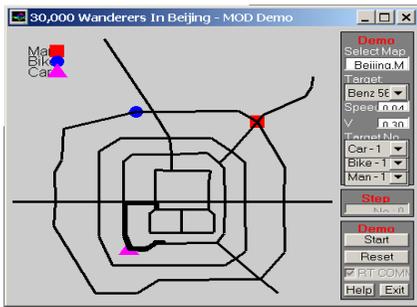


Fig.3 Interface of simulator

图3 模拟器界面

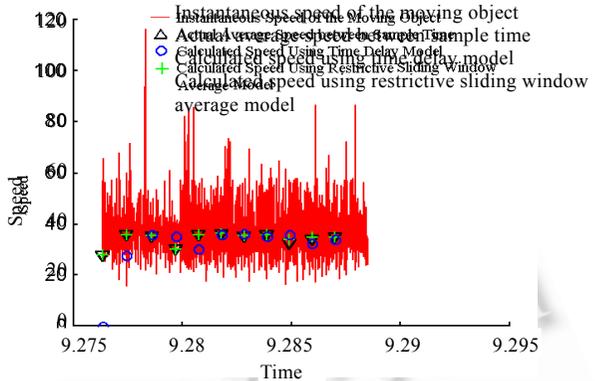


Fig.4 Actual and predicted speed when $T = 100T_m$

图4 $T = 100T_m$ 时的真实速度和预测速度

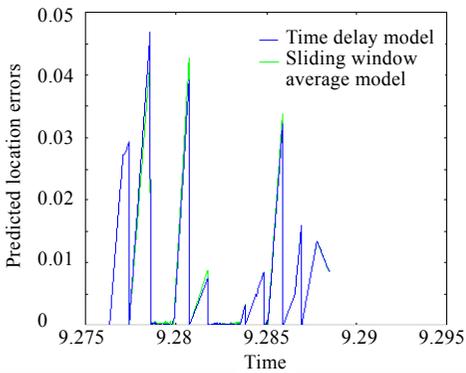


Fig.5 Location predicted error when $T = 100T_m$

图5 $T = 100T_m$ 时位置预测误差

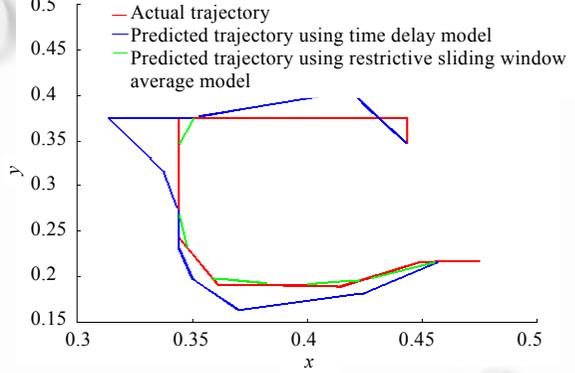


Fig.6 Actual and predicted locations when $T = 100T_m$

图6 $T = 100T_m$ 时的真实位置和预测位置

3.3 利用道路网络的非等时位置更新和改进的速度计算模型和等时位置更新模型比较

使用加入限定的滑动平均模型进行速度预测,对未加入道路网络的移动目标进行等时采样,采样时间分别为 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50 倍的 T_m , 对比加入道路网络模型,参数选择为 $T_{min} = T_m$, $T_{max} = kT_m$ ($k \in \{5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50\}$), 滑动平均启动点为 1, 到达一定规模后取 $p = 9$, $Th_1 = 0.75$, $Th_2 = 1.25$, 移动目标采样次数及下一采样时刻前预测的位置误差如图 7 和图 8 所示,由图 7 和图 8 可见,不考虑道路网络等时采样时,采样时间间隔和下一采样时刻前移动目标位置预测误差基本呈反比关系;定量上看,考虑道路网络不等时采样的情况最大采样时间为 $40T_m$ 时与等时采样采样时间为 $25T_m$ 时的位置预测误差基本一致,而采样次数减少了 25%.在考虑道路网络不等时更新移动目标的位置时,如果移动目标保持恒定运动状态,若平均采样时间间隔 $T_a >$ 等时采样时间间隔 T , 平均速度为 v , 运动标量位移为 s , 则数据库中记录该目标的运动点共计 $(s/v)/T_a$ 个, 小于等时间采样移动目标数据库的 $(s/v)/T$ 个纪录.

图 9 和图 10 给出了这两种情况下的移动目标的下一采样时刻前预测的位置轨迹.由图 9 和图 10 可以看出,加入道路网络后预测的移动目标运动轨迹更接近于真实轨迹.图 11 给出了上面两种情况下移动目标位置下一更新时刻前的位置预测瞬时误差,这时假定对移动目标的定位不存在定位的误差,对于图 9,如果假设定位误差为 0.005, 则加入道路网络后的移动目标的下一更新时刻前位置预测误差会减小,位置预测精度会更高.由于实际的采样率很低^[2], 尤其是当大量用户并发操作时,对每一个用户很难做到采样时间很小的等时采样,在某些情况下,若道路网络的拐点较少,或移动目标的速度较慢时,加入道路网络后的模型可以减少移动目标和定位设施

之间的通信量,同时提高位置预测的精度.

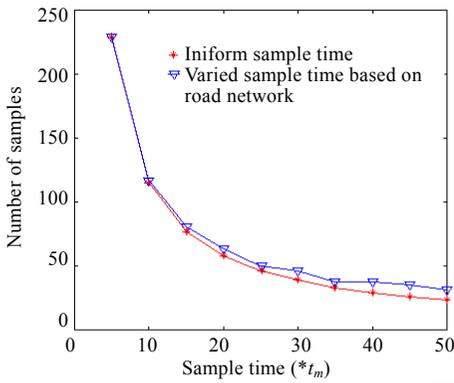


Fig.7 Numbers of samples of moving objects using uniform and varied sample time
图7 移动目标等时和非等时采样次数

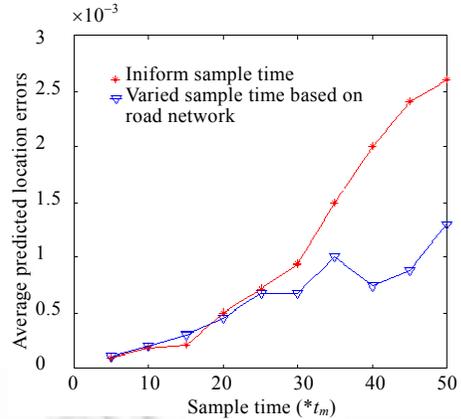


Fig.8 Average predicted location error using various sample time
图8 不同采样率的位置预测平均误差

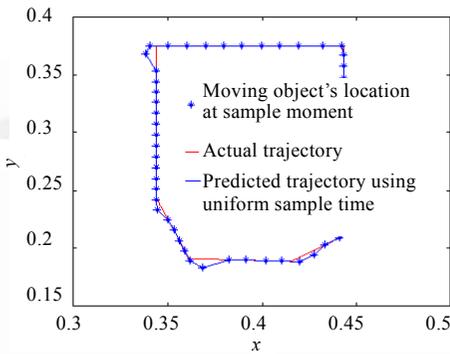


Fig.9 Predicted location trajectory with uniform sample time ($T = 25T_m$)
图9 等时采样($T = 25T_m$)预测的位置轨迹

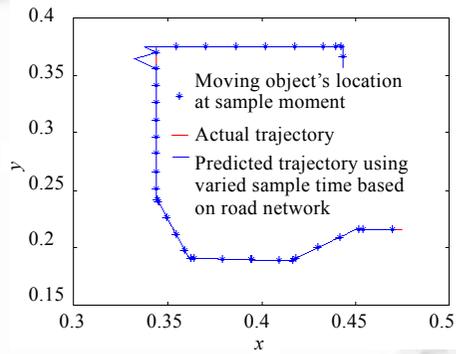


Fig.10 Predicted location trajectory with varied sample time based on road network ($T_{max} = 40T_m$)
图10 应用道路网络($T_{max} = 40T_m$)预测的位置轨迹

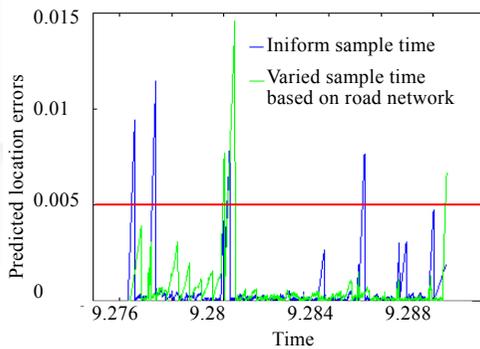


Fig.11 Instantaneous predicted location errors using uniform sample time ($T = 25T_m$) and varied sample time base on road network ($T_{max} = 40T_m$)
图11 等时采样($T = 25T_m$)/道路网络非等时采样($T_{max} = 40T_m$)的瞬时位置预测误差

4 结论与展望

针对移动目标数据库中在道路网络上运动的无自定位能力的移动目标运动模型和位置更新模型的建立,

本文提出了基于道路网络的移动目标历史和未来速度计算模型,在此基础上提出基于道路网络的非等时位置更新模型,并与等时采样位置更新模型在数据库规模、与基站间的通信量以及采样时间间隔内移动目标位置预测误差等方面进行了比较.实验结果表明:

- 本文提出的基于道路网络的移动目标历史和未来速度计算模型在考虑移动目标定位误差时,可以降低移动目标位置预测的误差;

- 本文提出的基于道路网络的移动目标运动和位置更新模型可以预测在道路网络上运动的无自身定位能力的移动目标下一采样时间,这种不等时间间隔的采样与等时采样模型相比,在合适的情况下,可以减少移动目标采样的次数,从而减少移动目标和定位设施的带宽要求,减少单个目标位置记录的服务器的存储容量,或者说加大并发用户量.

而且,这种基于道路网络的移动目标运动模型还可以扩展到其他有道路约束的移动目标数据库建模,如在商场柜台道路网络中顾客的位置管理、在大型写字楼中移动的工作人员位置管理等.

下一步的工作,一方面将进一步扩展该模型,在道路网络中加入一定的限制,使 MOD 支持更复杂的基于道路网络的位置查询,例如,在查询距离某商场 100 米的客户时,如果某客户空间上虽然距离该商场小于 100 米,但由于道路的限制,到该商场的轨迹距离超过 100 米,则该用户不列在查询结果内;另一方面,将在 MOD 中加入对用户历史数据的挖掘,提高其对移动目标未来位置预测的精度.

References:

- [1] Wolfson O, Sistla AP, Chamberlain S, Yesha Y. Updating and querying that track mobile units. Special Issue of the Distributed and Parallel Databases Journal on Mobile Data Management and Applications, 1999,7(3):257~287.
- [2] Pfoser D, Christian SJ. Capturing the uncertainty of moving-object representations. In: Güting RH, Papadias D, Lochovsky F, eds. Advances in Spatial Databases 6th International Symposium. LNCS1651, Heidelberg: Springer-Verlag, 1999. 111~131.
- [3] Wolfson O, Sistla XP, Xu B, Zhou J, Chamberlain S, Yesha Y, Rish N. Tracking moving objects using databases technology in DOMINO. In: Pinter RY, Tsur S, eds. Proceedings of the 4th Workshop on Next Generation Technologies and Systems. LNCS 1649, Heidelberg: Springer-Verlag, 1999. 112~119.
- [4] Wolfson O, Chamberlain S, Dao S, Jiang L. Location management in moving objects databases. In: Proceedings of the 2nd International Workshop on Satellite-Based Information Services (WOSBIS'97). Budapest, 1997. <http://www.cs.uic.edu/~wolfson/html/mobile.html>.
- [5] Wolfson O, Chamberlain S, Dao S, Jiang L, Mendez G. Cost and imprecision in modeling the position of moving objects. In: Proceedings of the 14th International Conference On Data Engineering. Orlando, 1998. <http://www.cs.uic.edu/~wolfson/html/mobile.html>.
- [6] Wolfson O, Xu B, Chamberlain S, Jiang L. Moving objects databases: Issues and solutions. In: Processing of the 10th International Conference on Scientific and Statistical Database Management (SSDBM'98). Capri, 1998. <http://www.cs.uic.edu/~wolfson/html/mobile.html>.
- [7] Vazirgiannis M, Wolfson O. A spatiotemporal model and language for moving object on road networks. In: Jensen CS, Schneider, Seeger B, Tsotras VJ, eds. Proceedings of the 7th International Symposium. LNCS2121, Heidelberg: Springer-Verlag, 2001. 20~35.