

文章编号:1001-9081(2010)11-2910-04

基于短时预测的地图匹配算法

曹 闻¹, 朱述龙¹, 彭 煊², 李润生¹

(1. 信息工程大学 测绘学院, 郑州 450052; 2. 61922 部队, 北京 100120)

(speechofsilva@126.com)

摘 要: 地图匹配算法的有效性和可靠性对于车载导航系统而言非常重要, 而目前存在的地图匹配算法在一些复杂环境下(如道路交叉口)仍然不能提供合理的输出。因此, 为了提高道路网络中的地图匹配精度, 提出了基于短时预测的地图匹配算法。该算法首先使用待匹配定位点的历史信息建立短时预测模型, 从而获取到待匹配时刻未来一段时间内的位置预测点; 然后使用待匹配定位点和短时预测点与道路之间的平均距离替换待匹配定位点与道路之间的距离; 最后采用 Dempster-Shafer 证据理论融合车辆与道路之间的距离信息和方向信息, 有效地扩大了待匹配道路之间的差异, 从而提高了算法的鲁棒性。仿真和实验表明, 新算法在复杂环境下具有较强的有效性和可靠性。

关键词: 车辆导航; 地图匹配; 短时预测; 证据理论; 信息融合

中图分类号: TP18; TP301.6 **文献标志码:** A

Map matching algorithm based on short-term prediction

CAO Wen¹, ZHU Shu-long¹, PENG Xuan², LI Run-sheng¹

(1. Institute of Surveying and Mapping, Information Engineering University, Zhengzhou Henan 450052, China;

2. 61922 Troops, Beijing 100120, China)

Abstract: Efficient and reliable map matching algorithms are essential for vehicle navigation systems, while most existing solutions cannot provide trustworthy outputs when the situation is ambiguous (such as at road intersections). In order to improve the precision of map matching, a new map matching algorithm based on short-term prediction was proposed. Firstly, the algorithm employed the history positioning information to set up the model of short-term prediction. Accordingly, the future positions would be obtained after the current matching time; secondly, the distance comparability between vehicle and route was defined by the modified average distance, and it replaced the projecting distance between current matching position and route; finally, the Dempster-Shafer evidence was adopted to fuse the modified average distance and direction information between vehicle and route. It could effectively expand the credibility differences of the candidate routes and enhance the robustness of the algorithm. The results of simulation and experiments demonstrate the better efficiency and reliability of the estimates even for ambiguous environment.

Key words: vehicle navigation; map matching; short-term prediction; evidence theory; information fusion

0 引言

由于地理环境的影响, 定位设备的定位精度一般存在着系统误差和随机误差, 同时描述道路交通空间关系的电子地图存在着几何位置误差, 因此行驶在道路上的动态目标实际位置往往不在电子地图的道路上^[1]。那么, 如何解决这个问题成为了智能交通系统学术界重点关注的研究方向。通过特定的模型和算法将动态目标位置与电子地图上的道路相关联可以解决如上问题, 而这种行为称为地图匹配技术^[2]。

根据实际应用的需求, 地图匹配技术可以分为在线匹配和离线匹配^[3]两大类。在线地图匹配技术主要应用于实时性要求相对较强的领域(如 GPS 车载导航系统), 其基本思想是: 在 GPS 定位数据基础上引入其他属性数据(如航向、速度、航距、轨迹等)来提高地图匹配精度。文献[3]在详细总结该类地图匹配算法的基础上将在线地图匹配算法分为 4 大类: 1) 基于几何关系的地图匹配技术; 2) 基于拓扑关系的地图匹配技术; 3) 基于概率论的地图匹配技术; 4) 其他地图匹

配算法。离线地图匹配技术主要应用于后期数据处理领域(如道路修测系统), 该类算法^[3-4]不仅使用待匹配时刻之前的历史轨迹信息, 而且使用该时刻未来一段时间内的轨迹信息, 因此离线地图匹配算法的匹配精度通常优于在线地图匹配算法。由于本文所提出的地图匹配算法主要应用于实时性较强的导航系统中, 同时离线地图匹配算法的原理与在线地图匹配算法中的基于拓扑关系的地图匹配算法有共同之处, 因此这里就不再赘述离线地图匹配算法。

1) 基于几何关系的地图匹配技术。该类地图匹配技术^[5]基本上处于地图匹配算法研究早期, 其核心在于使用定位数据和地图矢量数据之间几何关系。根据定位数据和地图矢量数据之间几何关系可以分为 3 类: ①基于 Point-Curve 距离(t 时刻位置点 P_t 到预选道路弧段)的地图匹配算法; ② t 时刻位置点 P_t 和 $t-1$ 时刻位置点 P_{t-1} 连线 $P_{t-1}P_t$ 至预选道路弧段距离最邻近法; ③ t 时刻位置点 P_t 和 $t-1$ 时刻位置点 P_{t-1} 连线 $P_{t-1}P_t$ 与预选道路弧段夹角最小法。该类地图匹配算法虽然具有算法简单、计算量小、时效性高的特点, 但是由于忽略

收稿日期: 2010-03-31; 修回日期: 2010-05-17。

作者简介: 曹闻(1979-), 男, 山东泰安人, 讲师, 博士, 主要研究方向: 遥感图像处理、车载导航地理信息系统; 朱述龙(1964-), 男, 安徽黄山人, 教授, 博士, 主要研究方向: 遥感图像处理、车载导航地理信息系统; 李润生(1985-), 男, 山西平遥人, 硕士, 主要研究方向: 摄影测量与遥感、遥感图像处理。

了道路交通的拓扑关系导致其在复杂道路网络中的匹配精度和鲁棒性都相对较差。

2) 基于拓扑关系的地图匹配技术。该类地图匹配技术^[4,6-7]是基于如下3个假设条件:①移动目标是行驶在道路网络中的;②道路网络具有连通性;③移动目标的历史轨迹曲线形状与其行驶过的道路连接曲线形状存在相似性。其重点在于定义曲线之间的相似性和曲线的自适应采样。由于该类算法引入了历史轨迹信息,在复杂道路网络中可一定程度修正第一类算法信息量不足引起的错误匹配,但是也存在计算量大、时效性较低的缺陷,同时过度依赖定位信号的连续性和稳定性,在时间采样间隔过长、信号失锁、丢失等情况下算法的鲁棒性较差。

3) 基于概率论的地图匹配技术。该类地图匹配技术^[8]的核心是引入误差椭圆来进行选择待匹配位置所对应的预选道路集合,然后根据待匹配位置的属性信息(速度、航向、航距等)与预选道路之间的几何关系(包括历史轨迹信息和道路的连通性等)确定最终匹配位置。该类算法其实是以前两类地图匹配技术为基础的,因此其匹配精度相对较高,但计算量的增大降低了其时效性。

4) 其他地图匹配算法。该类地图匹配技术^[9-12]的核心是引入信息融合的思想,在GPS定位坐标数据基础上融合其他所得匹配信息(如速度、航向、航距、历史轨迹、道路拓扑关系等),进而得到最优化或者更为合理的匹配准则值,然后根据所得匹配准则值得到最终的匹配结果。目前使用的信息融合算法有:D-S证据理论、模糊逻辑模型、贝叶斯推理、卡尔曼滤波等。该类算法具有智能性,在一定程度上提高了地图匹配精度,但是其融合机制更多地使用了人为经验值的调整,因此该类算法依然无法彻底解决地图匹配技术中的复杂问题。

虽然目前地图匹配技术得到了长足进步,但是其匹配精度更依赖于定位设备的定位精度和电子地图的地图精度,同时在一些特定情况下依然不能得到较为满意的结果。如图1(a)所示,当 P_3 点处于道路BC与BD之间,距道路AB、BC、BD的距离相等且行驶方向为 $\angle CBD$ 的一半时, P_3 点的匹配位置可能在道路AB、BC、BD;图1(b)所示,当 P_1 、 P_2 点落在平行道路之间,距道路AB、CD的距离相等且行驶方向平行于道路AB时, P_3 点的匹配位置可能在道路AB、CD。为了更好地解决在线地图匹配技术存在的缺陷,本文结合离线地图匹配技术的思想,首先使用历史轨迹对移动目标进行短时预测,其次将预测的“未来”位置与预选道路之间的几何关系(如垂距、夹角)引入到在线地图匹配技术中,最后使用D-S证据理论融合待匹配点与预选道路之间的几何关系,选择最优匹配准则系数确定最终的匹配结果。

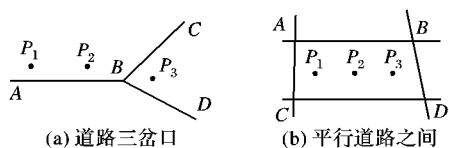


图1 地图匹配算法易错情况示意图

1 新算法的提出

由于移动目标的移动模式具有马尔可夫及短时平稳的性质,那么其运动趋势就可以通过短时预测技术得到,而这些预测所得的“未来”位置信息对于提高地图匹配算法精度有着

至关重要的作用。本文首先将待匹配位置和短时预测所得“未来”位置组成位置序列;然后计算位置序列中各点与预选道路之间的最短距离和方向夹角,并按照预测精度加权平均获取位置序列与不同预选道路之间的平均距离和平均方向;最后利用D-S证据理论对平均距离和平均夹角进行信息融合得到最终匹配支持程度,选取最大值对应的道路作为匹配道路。

1.1 移动目标的短时预测

多年来经过众多学者的研究,发现行驶在道路上的动态目标(如汽车)的移动模式具有马尔可夫和短时平稳性的性质,因此其未来一段时间内的运动模式是可以根据历史信息进行短时预测的。目前移动目标的短时预测模型可以分为线性模型和非线性模型,虽然线性模型(如仿射变换)简单、运算速度快,但其无法充分表示动态目标的复杂行驶规律。如图2所示,采用线性预测模型根据 t_0 、 t_1 、 t_2 共3个时刻进行预测,其结果势必是图中虚线走势,其预测精度将会大大降低。为了得到可靠的“未来”信息,本文采用非线性多项式模型作为短时预测模型。考虑到多项式预测模型在目标运动速度很小情况下会产生奇异解,因此本文在此基础上结合车辆行驶规律将其运动模式分为静止、直线和随机3种模式,然后分别对每种运动模式建立相应的短时预测模型。

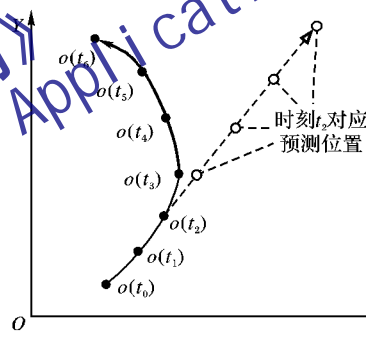


图2 线性变换模型预测错误示意图

假设动态目标从 $t-m$ 时刻到 t 时刻的位置序列为 P_{t-m} , $o(j)$ 表示目标从 t 时刻运动到 $j=t+n$ 时刻位置序列 P_{t+n} 的预测位置序列。由于预测位置序列 $o(j)$ 与位置序列 P_{t-m} 和时刻 j 有关系,则其可以表示为 P_{t-m} 和 j 的函数 $g(P_{t-m}, j) = R(j)$,其中把函数 g 称为位置预测函数。

那么,如果目标位置序列 P_{t-m} 满足条件 C ,则认为该运动目标从 $t-m$ 时刻到 t 时刻的运动模式为 C (静止模式 C_s 、直线模式 C_e 和随机模式 C_r)。

1) 静止模式 C_s 。

假设目标位置序列 P_{t-m} 在任意时刻 $i(i=t-m, t-m+1, \dots, t-1, t)$ 的位置为 $p(i)$,如果该目标满足如下条件则定义该目标从 $t-m$ 时刻到 t 时刻时间段内处于静止模式 C_s 。

$$|p(i) - p(t)| = 0 \quad (1)$$

但在现实世界中,任何实验数据存在着噪声 θ_p (如GPS的系统误差),因此静止模式 C_s 可如式(2)重新定义为:目标在 $t-m$ 时刻到 t 时刻时间段内的移动距离小于临界距离 θ_p 的状态。

$$C_s: |p(i) - p(t)| < \theta_p; p(i) \in P_{t-m} \quad (2)$$

其中 $|p|$ 表示向量 p 的长度。

根据静止模式 C_s 的定义,位置预测函数 $g_s(P_{t-m}, j)$ 可定义为:

$$g_s(P_{t-m}, j) = p(j-1) \quad (3)$$

该种模式可不进行位置预测,直接将处于该种模式下的待匹配位置对应的匹配点选择为上一不为静止模式的匹配位置。

2) 直线模式 C_e 。

假设运动目标位置序列 $P_{t,-m}$ 在时刻 i 的航向和速度分别为 $\alpha(i)$ 和 $v(i)$, 在时刻 j 的航向和速度分别为 $\alpha(j)$ 和 $v(j)$, 在时刻 t 的航向和速度分别为 $\alpha(t)$ 和 $v(t)$, $i < j < t$ 。由于速度噪声 θ_p 和航向噪声 θ_a 的影响,当运动目标同时满足在 i, j 两时刻速度比值与 j, t 两时刻速度比值的之间差值绝对值小于速度噪声 θ_p 和任意时刻的航向与该时段内航向均值之间差值的绝对值小于 θ_a , 则认为目标从 $t-m$ 时刻到 t 时刻时间段内的运动规律为直线模式 C_e 。

$$C_e: \begin{cases} \left| \frac{v(i)}{v(j)} - \frac{v(j)}{v(t)} \right| < \theta_p \\ \left| \alpha(i) - \frac{1}{m} \sum_{k=t-m}^t \alpha(k) \right| < \theta_a \end{cases} \quad (4)$$

根据直线模式 C_e 的定义,位置预测函数 $g_e(P_{t,-m}, j)$ 可定义为:

$$g_e(P_{t,-m}, j) = p(t) + v_0(j-t) + \frac{1}{2} a_0(j-t)^2 \quad (5)$$

其中: v_0 表示 t 时刻目标的行驶速度, a_0 表示目标的加速度。

3) 随机模式 C_r 。

假设运动目标的行驶速度最大值为 v_{\max} , 同时在不满足 C_e 和 C_s 两种模式情况下,那么随机模式下的目标在时刻 i 的位置必然在以时刻 t 的位置 $p(t)$ 为圆心, $(t-i) v_{\max}$ 为半径的圆形区域内,即:

$$C_r: |p(i) - p(t)| \leq (t-i) v_{\max}; t-m \leq i \leq t \quad (6)$$

如同静止模式和直线模式受到噪声 θ_p 影响一样,实际中的随机运动可定义为:

$$C_r: |v(i)| \leq v_{\max} + \theta_p \quad (7)$$

根据随机模式 C_r 的定义,位置预测函数 $g_r(P_{t,-m}, j)$ 定义为:

$$g_r(P_{t,-m}, j) = \{ (x, y) | y = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + \dots + a_n x^n \} \quad (8)$$

其中 n 为多项式的阶数(通常 $n \leq 10$)。

为了得到行驶在道路上的移动目标的行驶趋势,通过如上短时预测技术得到待匹配时刻之后的某段时间内的位置信息。其中,预测将来时间可根据移动目标的速度和实际路网拓扑关系进行自适应调节。

1.2 D-S 证据理论融合

证据理论是一种不确定性推理方法,且不需要先验概率,因此比传统的概率论能更好地把握问题的未知性与不确定性。同时,证据理论提供了一个证据的合成方法,能够融合多个证据源提供的证据。新算法利用证据理论的优点,融合移动目标实际位置投影至预选道路上的距离 d_p 以及移动目标的航向角与预选路网道路弧段之间的夹角 θ_e 得到匹配最终支持程度。该思想的关键在于:1) 如何构造匹配证据及消除证据之间不同度量衡之间的差异;2) 如何设定融合证据对匹配命题的支持程度。

利用预测移动目标实际位置 $o(t)$ 的“未来”位置 $o(t+1)$, $o(t+2)$, ..., 至预选道路上的距离 $d_{o(t+i)}$, 修正移动目标实际位置投影至预选道路上的距离 $d_{o(t)}$, 得到移动目标相对于预选道路的距离 d_p :

$$d_p = w_1 d_{o(t)} + w_2 d_{o(t+1)} + w_3 d_{o(t+2)} + \dots \quad (9)$$

其中: w_1, w_2, w_3, \dots 为权值且满足 $1 = w_1 + w_2 + w_3 + \dots$, 权值的大小选择依据为上一步预测精度,即上一步 $o(t+i)$ 预测精度越低则其权值 w_{i+1} 越小,通常意义上讲 $w_1 \geq w_2 \geq w_3 \geq \dots$ 。

为地图匹配建立辨识框架 $U = \{R_1, R_2, \dots, R_n\}$, 其中 R_1, R_2, \dots, R_n 表示移动目标待匹配时刻对应的预选道路。由于 d_p 和 θ_e 之间存在着度量衡的差异,因此定义证据对命题 $R_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 的支持概率分配函数 $m_j(R_i)$ 为:

$$m_j(R_i) = \frac{f_{j,i}}{\sum_{i=1}^n f_{j,i} + (1 - k_j)} \quad (10)$$

$$m_j(E) = \frac{(1 - k_j)}{\sum_{i=1}^n f_{j,i} + (1 - k_j)} \quad (11)$$

其中 $E = R_1 \cup R_2 \cup \dots \cup R_n$ 表示移动目标不能确认在预选道路中哪条道路上的命题;可靠性参数 $k_j (j = 1, 2)$ 表示证据对命题的支持程度,证据之间的可靠性参数大小表示证据对地图匹配算法的贡献支持程度。这里需要注明的是:选择不同的可靠性参数 k_j 决定了融合不同证据对命题支持的融合机制。为了解决不同特征度量衡不统一的问题,定义 d_p 和 θ_e 两个证据对命题的支持特征 $f_{j,i}$ 为:

$$f_1 = \frac{1}{d_p} / \left(\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_p^i} \right) \quad (12)$$

$$f_2 = \frac{1}{\theta_e} / \left(\sum_{i=1}^n \frac{1}{\theta_e^i} \right) \quad (13)$$

其中 d_p^i 表示当前时刻移动目标投影至预选道路 R_i 上的距离; θ_e^i 表示移动目标航向角与预选道路 R_i 弧段之间的夹角(其中可充分考虑道路的单向属性,若移动目标航向角与预选道路 R_i 弧段单向背离则赋予其一个比较小的值,这样可在一定程度上解决图 1(b) 所示情况)。当 d_p^i, θ_e^i 任一变量为 0 时,赋予其一个比较小的值。

由于地图匹配的辨识框架 U 可能出现不完备的情况、不精确的信任函数模型或者证据自身的不确定性导致证据之间的冲突,因此不同研究者根据这些原因设计了不同的证据合成公式,如 Dempster 合成公式、Smets 合成公式、Yager 合成公式、Dubois 合成公式和 Li 合成公式等。考虑到 3 个所采用证据的特点,本文采用 Li 合成公式。Li 合成公式^[13] 把证据冲突概率按各个命题的平均支持程度加权进行分配。令:

$$q(R_i) = \sum_{j=1}^2 \alpha_j m_j(R_i) \quad (14)$$

其中: $q(R_i)$ 为证据对 R_i 的平均支持程度; $\alpha_j (0 \leq \alpha_j \leq 1)$ 为证据 m_j 的权重,且 $\sum_{j=1}^2 \alpha_j = 1$ 。 α_j 的选取原则是:对于与其他证据相容的“好”证据,赋予较大的权重;对于与其他证据不相容的“坏”证据,赋予较小的权重。相对于行驶在道路上的目标而言,其选取原则可定义为:在行驶点处于道路交叉口时,调整航向证据的权重 α_2 大于距离证据的权重 α_1 ;反之则调整距离证据的权重 α_1 大于航向证据的权重 α_2 。

Li 合成公式定义如下:

$$m_L(R_i) = m_{\cap}(R_i) + q(R_i) \cdot m_{\cap}(E) \quad (15)$$

其中: $m_{\cap}(R_i)$ 为证据的交运算, $m_{\cap}(E)$ 为证据之间的冲突概率。

最后取 $\max\{m_L(R_1), m_L(R_2), \dots, m_L(R_n)\}$ 对应的道路

R_i 作为移动目标所在道路,取移动目标至道路 R_i 的最小距离^[14] 对应的投影点为匹配点。当 $\{m_L(R_1), m_L(R_2), \dots, m_L(R_n)\}$ 中依然存在相近结果时,选择前一步历史轨迹匹配所在道路作为最终的匹配点。

2 实验分析与结论

为了验证本文算法的有效性和实用性,我们在自主开发的嵌入式导航系统上进行测试实验,实验包括两部分:1) 短时预测精度测试;2) 测试新算法与文献[11-12]所提算法之间的优劣性。两种实验的测试平台为 HP hx2400, 测试区域为郑州市市区, GPS 采样时间间隔为 1 s。

2.1 短时预测算法的测试

本文地图匹配算法中的“未来”信息的依据是动态目标的短时预测,因此短时预测的参数选择和精度是算法的优劣性基础。为了测试短时预测对地图匹配算法的影响,选择了在郑州市市区不同时间段、不同道路拓扑关系情况下考查历史轨迹点个数和多项式模型幂级数与预测精度(预测点与实际点之间的距离,单位 m)之间的关系。

表 1 中描述的是多项式模型幂级数对短时预测精度的影响,其中实验选取 $n+2$ 个历史轨迹点进行最小二乘求解多项式模型参数,由此可得到如下结论:当多项式模型幂级数 $n=2$ 时的预测精度最高,具体依据为:1) 幂级数 $n=2$ 的多项式模型可以充分描述行驶在道路网络中的运动轨迹及趋势;2) 幂级数 $n=2$ 的多项式模型参数求解使用到的历史轨迹点个数相对于幂级数 $n \geq 3$ 的多项式模型进行短时预测而言更为合理(大量的历史轨迹点会使得运动轨迹过于平滑)。

表 1 多项式模型幂级数与预测精度之间的关系

幂级数	预测误差/m				
	1 s	2 s	3 s	4 s	5 s
1	1.224	2.281	3.801	6.243	9.762
2	1.204	2.212	3.338	5.762	8.440
3	1.570	4.030	7.027	11.738	16.059
4	2.265	5.824	8.976	13.858	18.927
5	2.684	7.527	13.652	19.195	28.559

当多项式模型幂级数 $n=1$ 时,多项式模型演化成只能描述线性运动的线性变换模型,而车辆在实际道路网络中的运动轨迹及趋势显然不仅仅都为线性运动,所以其预测精度要比幂级数 $n=2$ 时要差,但是在车辆在行驶过程中更多的为线性运动,因此其预测精度优于幂级数 $n \geq 3$ 的多项式模型。当多项式模型幂级数 $n \geq 3$ 时,其用于短时预测的历史轨迹点个数为最小也要 5 个点,而过多的历史轨迹点会使得其描述的目标运动趋势过于平滑,因此其预测精度要比幂级数 $n=2$ 差。由此我们也可得到用于短时预测的历史轨迹点个数为 3~4 个为最佳选择。根据不同幂级数下的多项式模型对应的预测未来时刻间断的预测精度,同时综合考虑“未来”信息在地图匹配中的应用需求可以得出:短时预测未来时间间断应该在 5 s 以内为好。

2.2 地图匹配算法的测试

地图匹配算法的测试首先构造道路拓扑关系为三岔口的特殊情况(见图 3):实心点为测试点(箭头指示为测试点的行驶方向),显然 $d_1 = d'_1$ 且 P_3 点行驶方向与道路 BD 、 BD 的夹角相等,该种情况下使用文献[6,8-9,11-12,14]等推荐的算法得到的结果都为模糊结果,即: P_3 点的最终匹配位置可

能在道路 BC 、 BD 上。而采用新算法中的短时预测方法可以得到 P_1 、 P_2 、 P_3 的运动趋势如图 3 中的曲线所示,根据其运行速度可得到 3 个实心“未来”点,显然 $d_2 > d'_2$, $d_3 > d'_3$, $d_4 > d'_4$, 因此根据式(9) 计算 P_3 点到道路 BC 、 BD 的平均距离有效地扩大了待匹配道路之间的差异,使得 P_3 点的最终匹配位置在道路 BD 上,从而提高了算法的鲁棒性。

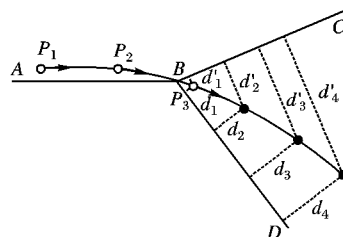


图 3 道路三岔口情况下新地图匹配算法示意图

在验证了新算法在复杂环境下可以改善现有在线地图匹配算法的匹配精度及提高算法鲁棒性基础上,本文在郑州市市区进行了实测行车数据测试,得到了表 2 中的匹配结果。表 2 中的文献[11-12]两种算法的原理相同,匹配结果有所差别,主要在于匹配精度方面,但本文所述复杂道路网络情况下两种算法同样得到错误结果,表 2 中的匹配结果是取两种算法最优结果。

表 2 匹配结果比较

算 法	错误匹配个数	匹配精度/%
本文算法	187	88.31
文献[11-12]方法	154	90.37

注:定位测试点个数为 1 600。

从仿真实验的结果可以看出:基于证据理论的地图匹配算法^[11-12] 匹配精度较高,而本文推荐的基于短时预测的地图匹配算法充分利用了移动目标短时预测技术所获取的“未来”信息,进一步地减少了错误匹配点的个数,提高了匹配精度。新算法在如立交桥梁复杂道路拓扑情况下的匹配精度更高一点,但在车辆调头等情况下还存在较大的问题,这也是算法将来待改进之处。

3 结语

综上所述,新算法较好融合了在线和离线两类地图匹配算法的优点,即不仅使用了待匹配位置之前的历史信息,而且充分利用了移动目标短时预测技术所获取的“未来”信息。新算法在继承了在线地图匹配算法优点基础上,一定程度上解决了该类地图匹配算法在模棱两可情况下匹配精度较差的缺点。但是,新算法通过移动目标短时预测技术获取“未来”信息增加了计算量,一定程度上降低了算法的时效性,同时在一定特殊情况下短时预测的精度会降低算法的鲁棒性。

参考文献:

- [1] QUDDUS M A, NOLAND R B, OCHIENG W Y. The effects of navigation sensors and spatial road network data quality on the performance of map matching algorithms [J]. *Geoinformatica*, 2009, 13(1): 85-108.
- [2] 李德仁, 郭丙轩, 王密, 等. 基于 GPS 与 GIS 集成的车辆导航系统设计与实现 [J]. *武汉测绘科技大学学报*, 2000, 25(3): 209-211.
- [3] PEREIRA F C, COSTA H, PEREIRA N M. An off-line map-matching algorithm for incomplete map databases [J]. *European Transportation Research Review*, 2009, 1(3): 107-124.

(下转第 3018 页)

结果。表2中: M_t 是迁移合成图像的色彩度, ΔM 表示这两幅图像之间的色彩相似度。颜色迁移要求迁移合成图像具有与源图像非常相近的色彩感觉,令 M_s 是源图像的色彩度,则 $\Delta M = M_s - M_t$, ΔM 的值越低则表明该算法的迁移效果越好;反之亦然。

表2 不同迁移算法的色彩度评价结果

算法	M_t	$\Delta M(M_s = 46.9)$
整体颜色迁移算法	16.9	30.0
局部颜色迁移算法	41.2	5.7
本文算法	42.4	4.5



(a) 参考源图像1

(b) 参考源图像2

(c) 以(a)为参考源图像的色彩迁移结果

(d) 以(b)为参考源图像的色彩迁移结果

(e) 以(a)和(b)为参考源图像的色彩迁移结果

图3 单源与多源的色彩迁移结果比较

与表1进行对照可知,整体颜色迁移结果的色彩度属性仅为slightly colorful,且与源图像的色彩差异很大;而局部颜

色迁移算法和本文算法对灰度图像上色的效果非常接近,且与源图像具有相似的色彩度属性,都为 averagely colorful。相比于局部颜色迁移算法,本文算法得到的迁移结果图像具有与源图像更接近的色彩度值。

4 结语

本文提出一种新的色彩迁移思路,能够很好地解决具有丰富内容的目标图像的迁移合成问题。该方法从多幅参考源图像着手,筛选出与每个目标区域匹配的参考色彩样本集,从而实现对目标图像的迁移。对于彩色图像的重上色和对灰度图像的上色处理都能获得很好的迁移效果。将来的工作主要集中在两大方面:1)针对当前主要采用主观的视觉效果评价方法,力争提出更好更客观的用于评价色彩迁移的方法;2)将图像的颜色迁移方法扩展应用到实时视频色彩编辑、视频压缩等领域。

参考文献:

- [1] 向遥,李宏,谢政,等. 基于高斯混合模型的区域颜色迁移[J]. 中国图象图形学报,2006,11(11):1728-1731.
- [2] 刘永攀. 全局模糊C-均值聚类算法在色彩迁移中的应用[D]. 南京:中山大学,2009.
- [3] 赵国英,向世民,李华. 高阶矩在颜色传输中的应用[J]. 计算机辅助设计与图形学报,2004,16(1):62-66.
- [4] 王少荣,李华. 一种图像之间的颜色传输方法[J]. 计算机辅助设计与图形学报,2006,18(10):1513-1518.
- [5] 胡国飞,傅健,彭群生. 自适应颜色迁移[J]. 计算机学报,2004,27(9):1245-1249.
- [6] 张引,饶娜,张三元,等. 自动采集样本的图像颜色传递算法[J]. 中国图象图形学报,2005,10(10):1255-1264.
- [7] WANG CHUNG-MING, HUANG YAO-HSIEN. A novel color transfer algorithm for image sequences [J]. Journal of Information science and engineering, 2004, 20(6): 1039-1056.
- [8] WANG CHUNG-MING, HUANG YAO-HSIEN, HUANG MING-LONG. An effective algorithm for image sequence color transfer [J]. Mathematical and Computer Modeling, 2006, 44(7/8): 608-627.
- [9] 董兆华,张明敏,潘志庚. 一种给黑白视频着色的方法[J]. 计算机工程,2006,30(4):56-57.
- [4] MARCHAL F, HACKNEY J, AXHAUSEN K W. Efficient map-matching of large global positioning system data set: Tests on speed monitoring experiment in Zurich [EB/OL]. [2009-12-12]. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.113.4605&rep=rep1&type=pdf>.
- [5] NOH J H, KIM T J. A comprehensive analysis of map matching algorithms for ITS [J]. Hongik Journal of Science and Technology, 1998, 9: 303-313.
- [6] JOSHI R R. Novel metrics for map-matching in in-vehicle navigation systems [C]// IEEE Intelligent Vehicle Symposium. Washington, DC: IEEE, 2002, 1: 36-43.
- [7] 唐进军,曹凯. 一种自适应轨迹曲线地图匹配算法[J]. 测绘学报,2008,37(3):308-315.
- [8] QUDDUS M A, OCHIENG W Y, NOLAND R B. Current map-matching algorithms for transport applications: State of the art and future research directions [J]. Transportation Research, Part C: Emergency Technology, 2007, 15(5): 312-328.
- [9] FU MENGYIN, LI JIE, WANG MEILING. A hybrid map matching algorithm based on fuzzy comprehensive judgment [C]// The 7th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems. Washington, DC: IEEE, 2004: 613-617.
- [10] BRAKATSOULSA S, PROSER D, SALAS R, et al. On map-matching vehicle tracking data [C]// Proceedings of the 31st VLDB Conference. Trondheim, Norway: VLDB Endowment, 2005: 853-864.
- [11] 毕军,付梦印,张宇河. 基于D-S证据推理的车辆导航系统地图匹配算法[J]. 北京理工大学学报,2002,22(3):393-396.
- [12] 谷正气,胡林,黄晶,等. 基于改进D-S证据推理的车辆导航地图匹配[J]. 汽车工程,2008,30(2):141-145.
- [13] 李弼程,王波,魏俊,等. 一种有效的证据理论合成公式[J]. 数据采集与处理,2002,17(1):33-36.
- [14] WHITE C E, BERNSTEIN D, KORNHAUSER A L. Some map matching algorithms for personal navigation assistants [J]. Transportation Research, Part C: Emergency Technology, 2000, 8(1): 91-108.

(上接第2913页)