

文章编号: 1001-1595(2010)02-0207-06

基于 GPS 轨迹数据的地图匹配算法

李清泉^{1,2}, 黄 练^{1,2}

1. 武汉大学 测绘遥感信息工程国家重点实验室, 湖北 武汉 430079; 2. 武汉大学 交通研究中心, 湖北 武汉 430079

A Map Matching Algorithm for GPS Tracking Data

Li Qingquan^{1, 2}, HUANG Lian^{1, 2}

1. State Key Laboratory for Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, Wuhan 430079, China; 2. Transportation Research Center, Wuhan University, Wuhan 430079, China

Abstract: Map matching GPS floating car tracking data is different from that for traditional navigation system according to the specific application. With the consideration that GPS floating car tracking data provide a global moving trend, using drive constraints in city road networks, this paper proposed a novel map matching method based on road connectivity under geometric topology and traffic control constraints as well as the similarity between the curve of trajectory and the outline of road paths. This algorithm can obtain good map matching results and was validated through experiments, and finally can support the further analysis and application of GPS floating car data.

Key words: drive constraints; floating car; GPS tracking data; map matching

摘 要: 针对 GPS 浮动车轨迹数据具有整体运动趋势的特点, 结合城市路网行车限制的约束, 提出一种 GPS 轨迹数据的全局地图匹配方法, 综合考虑轨迹曲线与路网路径的曲线相似性、实际行车的路段几何拓扑和交通管制约束下的连通性, 实现较好的地图匹配效果, 并通过实验进行验证, 为 GPS 浮动车数据的进一步分析应用打下基础。

关键词: 行车限制; 浮动车; GPS 轨迹数据; 地图匹配

中图分类号: P228 文献标识码: A

基金项目: 国家重点自然科学基金(40830530); 国家自然科学基金(60872132); 博士点基金(20070486001)

1 引 言

典型的 GPS 浮动车数据是一系列包含有速度和方向信息的时序 GPS 轨迹点, 由于 GPS 位置精度的原因, 在结合数字地图的分析处理时会出现轨迹点偏离道路的现象, 需要进行地图匹配获得结合路网的轨迹描述。

针对传统导航系统的地图匹配方法的研究较多^[1-3]。其中点到线的匹配^[4-5]由于缺乏对整体轨迹趋势的考虑, 在复杂的道路网环境下的匹配易导致误匹配。也有方法使用 DR、差分 GPS 等辅助设备, 采用滤波、模糊逻辑、证据理论等方法提高地图匹配的准确率^[2, 6-13]。GPS 浮动车轨迹数据提供了整体曲线的变化趋势, 可以采用全局整体匹配的思想, 保证轨迹的完整性和准确性^[14]。现有的针对轨迹数据的地图匹配方法多采用基于曲线相似度的全局匹配算法或以点到线匹配为基础的复合匹配方法。基于曲线相似度的算法一般较为复杂, 但匹配精度高, 利于轨迹的直接恢复,

适合进行数据的后处理^[14-17]。复合匹配方法时间复杂度低, 但对轨迹整体趋势考虑较少, 在复杂道路网情况下精度相对较低, 主要面向实时匹配^[18]。

进行全局地图匹配时, 需要考虑确定整体路径。Yin 和 Wolfson^[17]使用相对轨迹的 Frechet 距离作为路段的权重, 由此构建网络图, 通过计算最短路径得到最终匹配路, 但算法的有效性未得到保证; Sotiris Brakatsoulas 等^[14]利用各路段相对轨迹的 Free Space 图寻找整体路径, 这种方法较为复杂, 实现难度较大。另外, 与整个轨迹相对应的路径必然是连通的路段集, 可以基于道路拓扑与连通性设计地图匹配算法^[5, 17, 19-23]。

除了道路的几何连通性, 实际行车还会受到交通规则的限制, 本文基于道路网的行车限制信息提出了一种 GPS 浮动车轨迹数据的全局地图匹配算法, 综合考虑备选路段的几何连通性与交通网络条件约束构建整体备选路径, 然后使用改进的扫描线法判断全局轨迹曲线与备选路径的相

似度,完成地图匹配。

2 算法的基本原理

本文算法按照 GPS 浮动车数据采样点的定位精度构建缓冲区,计算当前轨迹点可能位于的路段,根据车辆行驶的交通约束与道路段的几何连通性,进行总体待匹配路径的构建与更新,按照曲线相似度准则找出与整体浮动车运行轨迹最为接近的总体路径,实现地图匹配(图 1)。

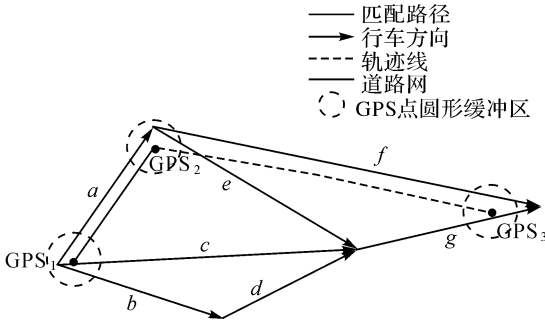


图 1 地图匹配算法的基本原理

Fig. 1 Principle of map-matching algorithm

1. 计算当前点的可能行驶的路段集 R_c ;
2. 计算 R_c 与各阶段总体路径 $PPathset(i)$ 的最后一条路段 R_L 的后续可行路段集 $NR(R_L)_i$ (计算以实际行车限制与路网几何连通性为基础的交集 $R_{insect}(i)$);
3. 由 $R_{insect}(i)$ 更新并重组备选总体路径集 $PPathset$;
4. 所有待处理的 GPS 点循环完毕后,计算 $PPathset$ 中的各条可能路径与由 GPS 轨迹路径的曲线相似度 $ScoreSim(i)$, 选取最相似的路径作为整体轨迹的匹配路径。

3 基于行车限制的备选全局路径集的确定

本文总体匹配路径的构建按照每个 GPS 点的定位误差计算缓冲区,求得当前点可能匹配的所有路段,根据行车限制实现路段筛选,对上次的筛选结果进行修改与更新,最终得到新的所有整体备选路径。在选取当前点 P_i 可能位于的路段时按定位精度计算缓冲区,得到的当前可能路段集合记为 $R_{t_{P_i}}$ 。

在现实交通系统的道路网中,除了几何连通性、拓扑连通性,还会有行车方向限制、速度限制、

转向限制、高速出入口限制等行车限制条件,计算整体路径时考虑这些约束将显著提高算法的有效性和准确性。在图 2 中,如果 r_1 在交叉点处只能右转,则其直接后续路段为 r_4 。

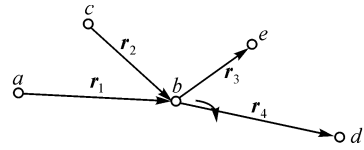


图 2 道路的直接后续道路

Fig. 2 Direct next road segment of current one

路段 r 的几何直接后续路段指与 r 直接几何连接的路段。用 $NRc(R_i)$ 表示路段 R_i 的几何直接后续路段集, $T_i(Topo)$ 、 $T_i(Ru)$ 分别表示 R_i 对应的拓扑约束、交通规则约束,则 R_i 的直接后续可行路段集 $NR(R_i)$ 可以描述为

$$NR(R_i) = \{R_j \in NRc(R_i) \mid T_i(Topo) \cap T_i(Ru)\}$$

当路段较长时,多个轨迹点会对应同一路段,在计算直接后续路段时需要包含路段本身。

求得 $R_{t_{P_i}}$ 后,如果 $i = 0$,当前点为初始轨迹点,按 $R_{t_{P_0}}$ 的元素数目 k ,初始化 k 条阶段备选总体路径;如果 $i \neq 0$,当前点为中间轨迹点,计算 $R_{t_{P_i}}$ 与每个阶段总体备选路径 $PPathset(j)$ 直接后续可行路段集 $NR(R_L)_j$ 的交集 $R_{insect}(j)$,其中 R_L 为路径 $PPathset(j)$ 的最后一条路段。

若 $R_{insect}(j) = \emptyset$, $PPathset(j)$ 可能是无效路径,进行标记;若 $R_{insect}(j)$ 只包含一条路段,修改 $PPathset(j)$,将该路段作为阶段总体路径的最后一条路段,同时更新 $PPathset(j)$ 的直接后续可行路径集;若 $R_{insect}(j)$ 包含 m 条路段,将 $PPathset(j)$ 复制分裂成 m 条阶段总体备选路径, $R_{insect}(j)_k (k \in [1, m])$ 作为每条总体路径的最后一条路段,同时更新其直接后续可行路径集。

最后整理新的 $PPathset$, 合并相同元素。

GPS 点采样间隔的变化会产生两个采样点间跨越了多个路段的情况。刘彦廷^[24]利用 *Dijkstra* 算法计算两点间的最短路径作为匹配路径, Li Xiang^[25]通过测距仪的距离和道路长度的比较来获取真实路径,章威等^[18]基于深度优先算法的段纪录最短路径作为匹配项。

本文引入采样误差椭圆的概念,假设相邻的两个采样点 P_i 和 P_{i+1} ,按公式(1)确定的椭圆区域包含了 P_i 和 P_{i+1} 时间段内可能经过的所有路

径^[14](图 4), 其中 V_{p_i} 表示采样点 P_i 处的速度, t_{p_i} 表示 P_i 处的时刻。计算 P_i 至 P_{i+1} 所有可能的中间子路径, 结合行车限制对 P_i 前得到的阶段总体路径集进行修正与更新。

$$\left. \begin{aligned} V_{\max} &= \max_{i \in \{i, i+1\}} \{V_{p_i}\} \\ \Delta t &= t_{p_{i+1}} - t_{p_i} \\ 2a &= V_{\max} \Delta t \\ 2c &= \text{dis}(p_i, p_{i+1}) = ((x_i - x_{i+1})^2 + (y_i - y_{i+1})^2)^{\frac{1}{2}} \end{aligned} \right\} (1)$$

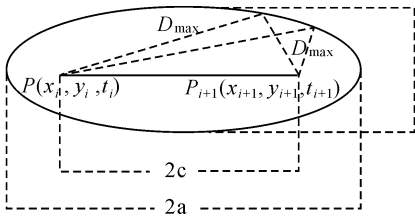


图 3 两个采样点间的可行椭圆区域

Fig. 3 Possible covering ellipse zone between two sample points

4 基于曲线相似度的匹配路径选择

计算总体备选路径与 GPS 轨迹曲线的相似性要求以轨迹曲线为基准, 强调曲线整体走势的相似性。本文对扫描线曲线相似度算法^[26]进行了改进, 具体如下:

1. 按照轨迹的延伸范围对总体备选路径进行切割(图 4);
2. 将总体路径按其包含的路段数划分为 n 个部分, 用扫描线法计算每部分与对应轨迹段的相似度 $ScoreSim(i)$;

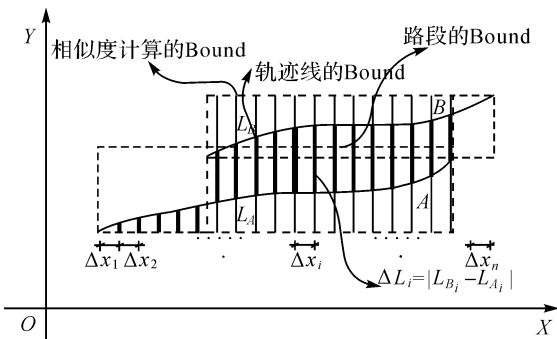


图 4 扫描线法边框的切割

Fig. 4 Computing bound using scan-line

为了更好地描述曲线的差异, 需要根据分段轨迹的局部趋势设定扫描线的方向。设 $ExtendX$, $ExtendY$ 分别为 X , Y 方向的延伸范围。

如果 $ExtendX > ExtendY$, 使用平行于 Y 方向扫描线; 如果 $ExtendX < ExtendY$, 使用平行于 X 方向的扫描线;

3. 按式(2)计算 $PPathset(i)$ 与曲线轨迹的曲线相似度, 选取 $ScoreSim$ 最大的路径进行匹配。

$$ScoreSim(i) = \sum_{j=0, \dots, n} W(j) \cdot ScoreSim(i)_j \quad (2)$$

5 实验结果与分析

本文使用武汉卓越科技有限公司提供的 GPS 浮动车数据, 数据采样间隔为 10s, 为更有效地进行实验分析进行了重采样, 采样间隔为 60s, 地图数据为 MapInfo 格式的武汉市道路网数据。

5.1 算法的时间效率分析

算法流程是沿轨迹点构建整体备选路径集, 然后采用曲线相似度准则进行匹配, 最终构建的整体备选路径数量是较小值(小于 10), 整体算法的时间复杂度为 $O(n)$, 和点到线的匹配算法与基于弱 Frechet 距离全局匹配算法^[14]的比较如表 1 所示, 其中 n 表示轨迹曲线的采样点数, m 表示道路网的全部路段数。

表 1 地图匹配算法的时间复杂度与全局性比较

Tab. 1 Running time comparison

	本文匹配 算法	点到线的 匹配算法	基于弱 Frechet 距离的匹配算法
时间复杂度	$O(n)$	$O(n)$	$O(mn \log mn)$
全局匹配	是	否	是

5.2 地图匹配的结果与分析

实验效果图中黑点为 GPS 浮动车轨迹点, 高亮粗线条显示的道路为匹配后路径。图 5 为一条实验轨迹的匹配结果图。



图 5 地图匹配的整体效果图

Fig. 5 Overview of a global map matching result

实验结果一: Y-junction

如图 6 所示, 假设 GPS 轨迹点 GPS1 和 GPS2 正确的匹配到了道路 AB 段上, 如果 GPS3 到路段 BC 和路段 BD 的距离几乎相等, 且车辆的方向角为 90° 时, 现有的地图匹配算法极易产生误匹配, 这一问题称为 Y-junction 问题^[3]。

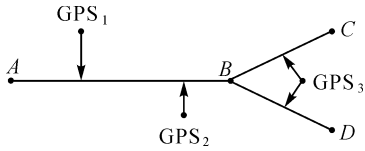


图 6 Y-Junction 示意图

Fig. 6 Sketch map of Y-Junction

算法采用全局匹配的思想, 考虑了轨迹的整体趋势以及整体路径的可行性, Y-junction 情况下的匹配如图 7 (黑色粗线条为匹配结果), 在各种复杂交叉路口环境下的匹配效果如图 8 所示 (黑色粗线条为匹配结果)。

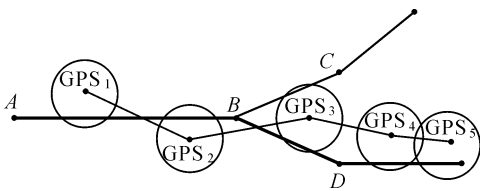


图 7 基于行车限制的全局地图匹配 Y-junction 情况下的处理

Fig. 7 Matching Y-Junction with global map-matching algorithm using drive constraints

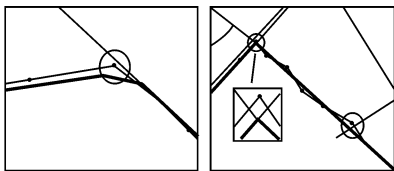


图 8 交叉路口环境下的匹配结果

Fig. 8 Map-matching results in case of cross-road

实验结果二: 平行双线路

基于曲线相似度的全局匹配算法旨在选取离 GPS 点轨迹最相近的路段集, 在遇到平行双线路时易发生误匹配。本文的地图匹配算法不仅考虑了曲线的几何相似性, 而且加入了道路的实际通行约束, 很好地解决了基于曲线匹配的匹配方法结果受路网的几何轮廓影响的问题。图 9 中道路 A (通行方向自西向东) 与 B (通行方向自东向西) 为两条平行双线路, 轨迹点序列的行驶方向如箭

头所示, 尽管轨迹曲线更贴合道路 B 的几何形状, 结合行车限制条件后, 本算法仍然得到了正确的匹配结果(黑色粗线条显示的道路 A)。

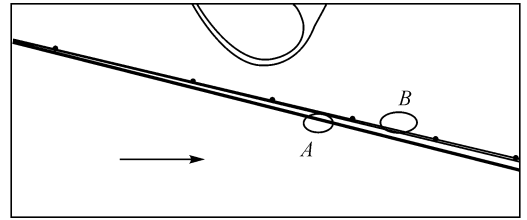


图 9 平行双线路情况下的地图匹配结果

Fig. 9 Map-matching results in case of parallel roads

实验结果三: 相邻轨迹点跨路段

当 GPS 采样间隔较大或车辆行驶速度较快时, 相邻采样点间存在中间路段。本文结合概率椭圆与基于行车限制的路径推理, 得到两点间可能的子路径集, 加入到整体备选路径集进行判断。图 10 分别显示 GPS 采样间隔为 10s 与 60s 时的匹配结果, 均实现了正确匹配(黑色粗线条)。

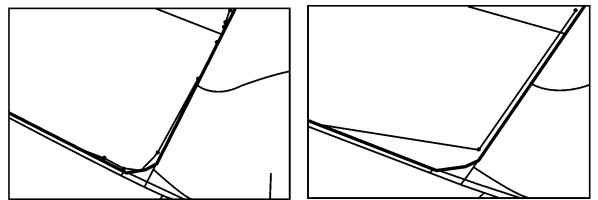


图 10 GPS 采样间隔为 10s (左) 和 60s (右) 时的匹配结果

Fig. 10 Map-matching results of 10s sampling interval (left) and 60s sampling interval (right)

5.3 算法匹配效果的统计分析

为了测试算法的综合匹配效果, 本文使用武汉卓越公司提供的 GPS 浮动车数据与武汉市城市路网数据, 对采集到的 32 条轨迹数据(每条轨迹包含的点数大于 200) 进行地图匹配, 统计正确匹配率, 与常规点到线的匹配方法以及基于弱 Frechet 距离的曲线匹配算法的匹配效果比较如表 2 所示。

表 2 地图匹配算法正确匹配率比较

Tab. 2 Performance comparison of three map-matching algorithms / (%)

Table with 4 columns: Algorithm Name, Algorithm based on driving constraints, Point-to-line matching algorithm, and Curve matching algorithm based on weak Frechet distance. Row 1: Average correct matching rate, 97.5, 85, 92.3.

6 结 语

本文针对GPS浮动车轨迹数据的特性与要求,提出了一种基于行车限制的全局地图匹配算法,结合道路网数据的行车限制信息,综合体现了曲线匹配算法和基于道路拓扑算法的优点,同时也避免了基于点匹配的方法中各判断因素权值的设定,并通过实际GPS浮动车与城市路网数据进行了实验,在各种典型地图匹配场景下都得到了准确的匹配结果。

参考文献:

- [1] BERSTEIN D, KORNHAUSER K. An Introduction to Map Matching for Personal Navigation Assistants[R]. New Jersey: TIDE Centre Technical Report, 1996.
- [2] QUDDUS M A. High Integrity Map Matching Algorithms for Advanced Transport Telematics Applications[D]. London: University of London, 2006.
- [3] QUDDUS M A, WASHINGTON Y O, ROBERT B N. Current Map-matching Algorithms for Transport Applications: State-of-the Art and Future Research Directions[J]. Transportation Research Part C, 2007(15): 312-328.
- [4] KIM J S, LEE J H, KANG T H, et al. Node Based Map-matching Algorithm for Car Navigation System[C] // Proceedings of the 29th ISATA Symposium. Florence: [s. n.], 1996: 121-126.
- [5] WHITE C E, BERNSTEIN D, KORNHAUSER A L. Some Map-matching Algorithms for Personal Navigation Assistants[J]. Transportation Research Part C, 2000(8): 91-108.
- [6] ZHAO Y L. Vehicle Location and Navigation Systems [M]. Boston: Artech House, 1997: 85-102.
- [7] KIM S, KIM J. Adaptive Fuzzy-network Based Geomeric Map-matching Algorithm for Car Navigation System[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2001, 48 (2): 432-440.
- [8] TAYLOR G, BLEWITT G, STEUP D, et al. Road Reduction Filtering for GPS-GIS Navigation[J]. Transactions in GIS, 2001, 5(3): 193-207.
- [9] YANG D, CAI B, YUAN Y. An Improved Map-matching Algorithm Used in Vehicle Navigation System[C] // IEEE Proceedings on Intelligent Transportation Systems. Shanghai: [s. n.], 2003: 1246-1250.
- [10] LI Z, CHEN W. A New Approach to Map-matching and Parameter Correcting for Vehicle Navigation System in the Area of Shadow of GPS Signal[C] // IEEE Proceedings on Intelligent Transportation Systems. Vienna: [s. n.], 2005: 425-430.
- [11] EL NAJJAR M E, BONNIFAIT P. A Road-matching Method for Precise Vehicle Localization Using Kalman Filtering and Belief Theory [J]. Autonomous Robots, 2005, 19 (2): 173-191.
- [12] OBRADOVIC D, LENZ H, SCHUPFNER M. Fusion of Map and Sensor Data in a Modern Car Navigation System [J]. Journal of VLSI Signal Processing, 2006, 45(1-2): 112-122.
- [13] SU Jie, ZHOU Dongfang, YUE Chunsheng. Real-time Map-matching Algorithm in GPS Navigation System for Vehicles[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2001, 30(3): 252-255. (苏洁,周东方,岳春生. GPS车辆导航中的实时地图匹配算法[J]. 测绘学报, 2001, 30(3): 252-255.)
- [14] BRAKATSOULAS S, PFOSE D, SALAS R, et al. On Map-matching Vehicle Tracking Data[C] // Proceedings of the 31st VLDB Conference. Trondheim: [s. n.], 2005.
- [15] JOSHI R R. A New Approach to Map Matching for In-Vehicle Navigation Systems[C] // IEEE Proceedings on Intelligent Transportation System. Oakland: [s. n.], 2001: 33-38.
- [16] JOSHI R R. Novel Metrics for Map-matching in In-vehicle Navigation Systems[C] // Proceedings of IEEE Intelligent Vehicle Symposium. Versailles: IEEE, 2002: 36-43.
- [17] YIN H, WOLFSON O. A Weight-based Map-matching Method in Moving Objects Databases, Scientific and Statistical Database Management [C] // Proceedings of the 16th International Conference on Scientific and Statistical Database Management. Santorini Island: [s. n.], 2004: 437-438.
- [18] ZHANG Wei, XU Jianmin, LIN Mianfeng. Map Matching Algorithm of Large Scale Probe Vehicle Data[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2007, 7(2): 39-45. (章威,徐建闽,林绵峰. 基于大规模浮动车数据的地图匹配算法[J]. 交通运输系统工程与信息, 2007, 7(2): 39-45.)
- [19] YU M, WU C, LI Z, et al. A Simplified Map-matching Algorithm for In-vehicle Navigation Unit[J]. Geographic Information Sciences, 2002, 8 (1): 24-30.
- [20] GREENFELD J S. Matching GPS Observations to Locations on a Digital Map[C] // Proceedings of the 81st Annual Meeting of the Transportation Research Board. Washington D C: [s. n.], 2002.
- [21] BLAZQUEZ C A, VONDEROHE A P. Simple Map-matching Algorithm Applied to Intelligent Winter Maintenance Vehicle Data[J]. Transportation Research Record, 2005(1935): 68-76.
- [22] MENG Y. Improved Positioning of Land Vehicle in ITS Using Digital Map and Other Accessory Information[D]. Hong Kong: Hong Kong Polytechnic University, 2006.
- [23] LI X, LIN H, ZHAO Y. A Connectivity-based Map Matching Algorithm[J]. Asian Journal of Geoinformatics, 2005, 5(3): 69-76.
- [24] LIU Yanting. Research on Map-matching Methods for

Long Interval and Large Volume Data [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2006. (刘彦廷. 基于长间隔大规模数据的地图匹配技术研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2006.)

(责任编辑: 雷秀丽)

- [25] LI X. Deriving Network-constrained Trajectories from Sporadic Tracking Points Collected in LBS [C] // Proceedings of the 1st Symposium of GIS-T in China. Wuhan: [s. n.], 2007: 24-25.
- [26] TANG Luliang. Spatial Data Change Detection Based on Geo-feature Similarity [D]. Wuhan: Wuhan University, 2007. (唐炉亮. 基于地物相似性的空间数据变化发现 [D]. 武汉: 武汉大学, 2007.)

收稿日期: 2008-07-21

修回日期: 2009-10-15

第一作者简介: 李清泉(1965—), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事空间数据模型、空间信息服务信等方面的理论与技术研究。

First author: LI Qingquan (1965—), male, PhD, professor, PhD supervisor, majors in spatial data model, spatial information service.

E-mail: qqli@whu.edu.cn

《测绘学报》英文摘要写作注意事项

对于科技期刊的文章, 文摘主要由三部分组成, 即: 研究的问题、过程和方法、结果。文摘最好要有具体内容, 如果有可能, 要把具体的“过程”、“变化规律”和“有效措施”写出来。在不遗漏主题概念的前提下, 文摘应尽量简洁。

缩短文摘方法

1. 取消不必要的字句: 如“ It is reported...”, “ Extensive investigations show that...” “ The author discusses...” “ This paper concerned with...” ; 文摘开头的 “ In this paper,” 一些不必要的修饰词, 如 “ in detail”、“ briefly”、“ here”、“ new”、“ mainly” 也尽量不要。
2. 对物理单位及一些通用词可以适当进行简化;
3. 取消或减少背景信息(Background Information); 一篇文摘的背景信息如果过长或占文摘篇幅的比例过大, 则往往伴随着对作者所做的工作描述过于笼统和简单;
4. 限制文摘只表示新情况、新内容, 过去的研究细节可以取消;
5. 不说无用的话, 如“ 本文所谈的有关研究工作是对过去老工艺的一个极大的改进”, “ 本工作首次实现了...”、“ 经检索尚未发现与本文类似的文献” 等词句切不可进入文摘;
6. 作者在文献中谈及的未来计划不纳入文摘;
7. 尽量简化一些措辞和重复的单元, 如不用 discussed and studied in detail, 而用 discussed;
8. 文摘第一句应避免与题目(Title) 重复。

文体风格

1. 文摘叙述要完整、清楚、简明。
2. 尽量用短句子并避免句形单调。
3. 用过去时态叙述作者工作, 用现在时态叙述作者结论。
4. 能用名词做定语不要用动名词做定语, 能用形容词做定语就不要用名词做定语(例如用 measurement accuracy, 不用 measuring accuracy; 用 experimental results, 不用 experiment results)。可直接用名词或名词短语作定语的情况下, 要少用 of 句型(例如用 measurement accuracy, 不用 accuracy of measurement)。
5. 可用动词的情况尽量避免用动词的名词形式(例如: 用 Thickness of plastic sheets was measured. 不用 Measurement of thickness of plastic sheet was made)。
6. 注意冠词用法, 不要误用, 滥用或随便省略冠词。
7. 避免使用一长串形容词或名词来修饰名词, 可以将这些词分成几个前置短语, 用连字符连接名词组, 作为单位形容词(一个形容词)。
8. 尽量用主动语态代替被动语态。
9. 尽量用简短、词义清楚并为人熟知的词。
10. 慎用行话和俗语。
11. 文辞要纯朴无华, 不用多姿多态的文学性描述手法。
12. 组织好句子, 使动词尽量靠近主语。
13. 删繁从简(如用 increased 代替 has been found to increase, 用 the results show 代替 from the experimental results, it can be concluded that)。
14. 文摘中涉及其他人的工作或研究成果时, 尽量列出他们的名字及文献出处。
15. 文摘词语拼写, 用英美拼法都可以, 但在每篇文章中须保持一致。
16. 文摘中不能出现“ 图××”、“ 方程××”和“ 参考文献××”等句子。
17. 文摘中尽量少用特殊字符及由特殊字符组成的数学表达式。
18. 对那些已经为大众所熟悉的缩写词可以直接使用。对于那些仅为同行所熟悉的缩略语, 应在题目、文摘或关键词中至少出现一次全称。