

基于 GPS 轨迹的盲用导航算法与实现

鲁远耀, 姜 瑾*

(北方工业大学 信息工程学院, 北京 100144)

(* 通信作者电子邮箱 jiangjin0127@163.com)

摘 要:利用在 Windows CE 嵌入式平台下接收到的全球定位系统(GPS)轨迹数据,提出了一种适用于盲人以及视障人士的室外 GPS 导航算法。通过对已知 GPS 轨迹数据的分析,判断出轨迹上的拐点位置以及拐弯方向,在实际导航时采用通过语音播报的方式向盲人提供实时导航信息。实验测试结果表明,该算法能够有效筛选出 GPS 轨迹中的拐点,并为用户播报有效实用的导航信息,指导其安全准确地到达目的地。

关键词:全球定位系统;轨迹;盲用;轨迹导航;拐点;嵌入式操作系统;Windows CE

中图分类号:TP311 **文献标志码:**A

Navigation algorithm and implementation for blind based on GPS trajectory

LU Yuanyao, JIANG Jin*

(College of Information Engineering, North China University of Technology, Beijing 100144, China)

Abstract: This paper described an outdoor Global Positioning System (GPS) navigation algorithm for the blind by analyzing the GPS trajectory data received by the embedded platform Windows CE. Based on the data analysis of GPS trajectory, the algorithm introduced a method for the judgment of turning points and turning directions. During practical navigation, the blind can use the real-time voice prompt information for walking guidance. The experimental results show that the judgment of turning points can be realized in this algorithm effectively, and navigation information is effective and practical on helping users arrive at destinations safely and accurately.

Key words: Global Positioning System (GPS); trajectory; for blind; trajectory navigation; turning point; embedded platform; Windows CE

0 引言

随着城市公共交通的日益发展,盲人以及视力障碍人士迫切需要一种手持的移动导航设备。而目前的嵌入式电子地图只能满足简单的车载导航、公交线路查询等可视化的导航要求,没有专门针对视力障碍人士行走的盲用导航地图。盲人以及视力障碍人士,作为一特殊群体,还没有切实享受到实时 GPS 导航为他们带来的便捷。

基于上述事实,本文考虑使用轨迹导航的方式,为盲人以及视力障碍人士提供语音导航服务。这样即使无电子地图的情况下,也能够记录当前位置的 GPS 信息^[1]。在轨迹记录阶段,利用嵌入式设备中的 GPS 模块,每隔一段时间或距离,提取 GPS 信息中的经纬度信息并转换为二维的坐标点。一系列的坐标点经保存便可作为 GPS 轨迹,再通过一定方式筛选和优化 GPS 轨迹,在精简化的同时提高其利用率,方便之后的实时导航使用。

本文提出的算法,就是针对上述记录的 GPS 轨迹进行分析与处理,将原本较大的轨迹点串数据转化为只包含起始点、拐点以及终点的简单轨迹点串数据,再在实时导航时,将离散的点信息转化成丰富的语音信息,引导用户按照轨迹的正确行走,在偏离路径轨迹时进行有效的纠正,从而提高其出行的安全性与便捷性。

1 算法原理

目前国内外相关领域进行 GPS 轨迹实时导航的方式主

要有:1) 将已经记录下来的离散 GPS 轨迹点进行曲线拟合^[2],再以固定步长从拟合曲线上取出系列点串,作为实时导航的参考节点。实时导航阶段,利用当前位置节点与参考节点进行实时比对,从而实现 GPS 轨迹的导航过程。这种方法理论上虽然可以满足实时导航的需求,但曲线拟合后提取的参考节点数据存储量大且利用率不高,不适宜在嵌入式设备这种对存储空间有明确限制的系统中使用^[4]。2) 基于 1) 中所提到的拟合曲线,利用 Douglas-Peucker 算法^[5],在曲线上取有限个点,将其变为折线,则能够在一定程度上保持原有的轨迹形状。由此将原始的轨迹点数据变成多段折线,作为实时导航线路。实验证明,该方式虽然可以将导航路径简化,但考虑到 GPS 定位在民用范围内具有 5 m 左右的误差,很可能使导航线路误差较大,不具备导航的实际应用条件。3) 将保存的 GPS 轨迹点转换成 KML(Keyhole Markup Language)标准格式的文档,用以被 Google Maps 识别并显示,之后将当前行走轨迹与 Google 地图上的 KML 显示信息进行实时匹配^[6],达到轨迹导航的目的。这种方法在当前的导航轨迹跟踪产品上应用得十分广泛,但这就需要将实际应用的电子地图限制在 Google 地图上。实际应用发现,Google Maps 的使用对于嵌入式系统利用率不高且负担过重,和预设的纯盲轨迹导航的要求不符。

基于上述研究,本文提出了一种应用于嵌入式系统下,适于盲人以及视障人士行走的轨迹导航算法。该算法主要由两个部分组成,即 GPS 轨迹拐弯判定算法以及实时导航算法。它们在实现过程中均充分考虑了盲人以及视障人士的行走特

收稿日期:2012-10-29;修回日期:2012-12-06。 基金项目:国家“十一五”科技支撑计划重点项目(2009BAI71B02)。

作者简介:鲁远耀(1977-),男,湖北英山人,副教授,博士,主要研究方向:通信信号处理、雷达信号处理、GPS 定位与导航;姜瑾(1988-),女,北京人,硕士研究生,主要研究方向:嵌入式软件、定位导航算法。

点以及实际项目需要,具备很强的典型性以及实用价值。GPS 轨迹拐弯判定算法的基本原理,是从 GPS 轨迹数据中筛选出具有实用价值的拐点数据并加以转化和存储,即在简化数据存储量的同时,也为后续的导航工作提供了较为便捷的处理形式。这种方式相比传统的基于曲线拟合的轨迹简化算法,减少了数据运算量,并使筛选出来的坐标点更具备轨迹导航的实用价值。实时导航算法是基于比对轨迹点坐标和实际行走位置坐标的方式来实现的,主要分为直行导航和转弯导航两个部分,其中:直行导航突出偏离时的纠正提示,转弯导航完成关键路口转向的提示。这两个算法本质上相互独立,但将二者结合使用会使导航的复杂性程度大大降低,并提高实时导航的精确性。

1.1 GPS 拐点判定算法

基本原理:逐个计算每一个轨迹点对下一轨迹点的转弯角度,确定判定为拐点的阈值范围,即可筛选出所需的拐点。如图1所示,假设A、B点分别为GPS轨迹的起点与终点,该算法理论上可以筛选出C、D两点作为拐点。



图1 理论拐点筛选结果

定义原始的轨迹点 P_i , 筛选出的拐点为 T_n 。筛选为拐点的上下限分别为 α_{\max} 和 α_{\min} 。具体的判定步骤为:

- 1) 计算相邻两点所决定直线的斜率 $k_i (\tan \alpha_i)$ 。
- 2) 求出夹角 $\alpha_i (\arctan k_i)$, 若有 $\alpha_i \leq 0$, 则令 $\alpha_i = \alpha_i + 180^\circ$, 使得 $0^\circ \leq \alpha_i \leq 180^\circ$ 。

3) 筛选符合条件的轨迹点作为拐点。筛选规则如下: 将起始轨迹点作为起始拐点 $T_0 = P_0$, 结束轨迹点作为结束拐点。令 $0 < i < j$, 首先固定 i 不变, 使 j 连续变化, 若满足 $\alpha_{\min} \leq |\alpha_i - \alpha_j| \leq \alpha_{\max}$, 则将轨迹点 P_i 作为筛选出的轨迹点, 再重新令 $i = j$, 继续进行该筛选过程。另外, 如果接收到的原始GPS点数据密度过大, 则筛选出的拐点密度也相对较大。故可以加入距离限制条件, 使筛选出的拐点间距不小于某一固定值, 从而达到拐点精简的作用。如图2所示。

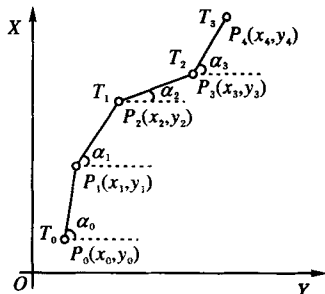


图2 拐点筛选示意图

举例说明拐点的筛选方法。设轨迹起始点和终点分别为 P_0 和 P_4 , 则可以首先得出轨迹点的起点 $T_0 = P_0$ 。再由规则1)、2) 得出 $\alpha_i (i = 0, 1, 2, 3)$ 。依照步骤3) 的规定, 固定 i 的值为0, 计算 $|\alpha_0 - \alpha_1| > \alpha_{\max}$, 则 P_1 点不满足拐点条件, 接着计算 $|\alpha_0 - \alpha_2|$, 结果大于 α_{\min} 且小于 α_{\max} , 则 $T_1 = P_2$ 作为筛选出的第一个拐点。此时 $i = 2$, 计算 $|\alpha_2 - \alpha_3|$, 结果符合拐点筛选条件, 则 $T_2 = P_3$ 为第二个拐点。最后直接令 $T_3 = P_4$, 作为拐点的终点。

以上算法理论上可以筛选出行走轨迹中的拐点坐标, 但对于那种行人以较低速度通过曲率较小的缓弯时^[3], 当前点对下一点的转弯角度 α_i 都较小, 致使采用上述方法筛选的拐点不能及时给出, 行人依然按照直行的方式前行。为了解决

该问题, 本文对拐点的判断标准进行了修正, 提出了专门针对角度变化缓慢轨迹的补充算法, 具体内容如下: 若上述算法步骤3) 计算得出的 $|\alpha_i - \alpha_j|$ 及其附近的夹角变化均满足 $|\alpha_i - \alpha_{j+n}| < \alpha_{\min} (n = \dots, -2, -1, 0, 1, 2, \dots)$, 可令 $\Delta\alpha_i = \dots + (\alpha_i - \alpha_{j-1}) + (\alpha_i - \alpha_j) + (\alpha_i - \alpha_{j+1}) + \dots$, 若 $\Delta\alpha_i$ 满足不等式 $\alpha_{\min} \leq |\Delta\alpha_i| \leq \alpha_{\max}$, 则将 P_i 作为筛选出的拐点; 与步骤3) 相似地, 重新令 $i = j$, 继续进行该筛选过程。实验证明, 该补充算法将拐点的筛选条件作了进一步扩充, 有效解决了逐点判断法在行人低速通过缓弯时不能及时判断的问题。

1.2 实时导航算法

作为专门为盲人和视障人士提供导航服务的装置, 精确且简洁的语音提示信息至关重要。基于上面分析出的拐点, 该实时导航算法可以对用户位置进行实时跟踪, 提供距离测算、转弯方向判断、偏离航道纠正等提示服务。

图3 中所示为导航算法的主流程, 描述了每个实时导航周期的进展方式。包括开始导航、获取当前位置坐标、计算起始行走方向、到达目标节点? 是/否、转弯/直行。

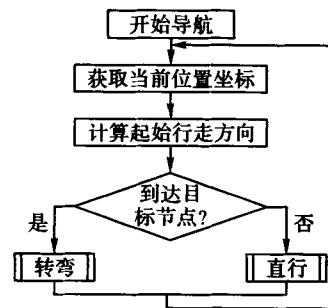


图3 实时导航算法主流程

若用户的位置到达目标拐点附近, 则进入转弯导航的功能流程, 此时开启语音提示用户开始转弯。当用户具有逐渐靠近当前参考拐点的趋势时, 依照公式计算该拐点的转弯方向:

$$\Delta\alpha = \arctan\left(\frac{y_n - y_{n-1}}{x_n - x_{n-1}}\right) - \arctan\left(\frac{y_{n+1} - y_n}{x_{n+1} - x_n}\right) \quad (1)$$

其中: (x_n, y_n) 表示当前拐点, (x_{n-1}, y_{n-1}) 和 (x_{n+1}, y_{n+1}) 分别表示上一拐点和下一节点。则 $\alpha_n = \arctan((y_n - y_{n-1}) / (x_n - x_{n-1}))$ 表示上一拐点到当前拐点的向量夹角, 若 $\alpha_n \leq 0$, 则需令 $\alpha_n = \alpha_n + 180^\circ$ 进行负角度校正。 $\alpha_{n+1} = \arctan((y_{n+1} - y_n) / (x_{n+1} - x_n))$ 表示当前拐点到下一拐点的向量夹角; 同理, 若 $\alpha_{n+1} \leq 0$, 则令 $\alpha_{n+1} = \alpha_{n+1} + 180^\circ$ 进行负角度校正。 $\Delta\alpha$ 则表示二者的变化角度。若 $\Delta\alpha > 0$, 代表向左拐或左偏移, $\Delta\alpha < 0$ 表示向右拐或右偏移。这里对于拐弯或偏移的判定, 需要设定容限 μ , 当 $|\Delta\alpha| \leq \mu$ 时判定为偏移, $|\Delta\alpha| > \mu$ 时判定为拐弯。随后用户根据提示的转弯方向开始转弯, 当用户开始远离目标节点时, 说明转弯已经完成, 系统自动将目标拐点的下一拐点, 返回到主流程并进行下一周期的导航。流程如图4所示。

若用户的位置距离目标拐点较远, 则进入直行导航流程, 如图5所示。一般来说, 直行的道路不需要特别的提示, 只需播报目标节点的距离信息, 但是如果遇到转弯程度较大的地方, 需要提示用户转向或者偏移。在实时导航过程中, 由于用户位置的相对不稳定性以及临时障碍物的阻挡等原因, 在行走过程中会出现偏离航道的现象。所以该算法还需要具备实时纠正的功能, 当用户偏移或远离航道时, 通过垂直偏移调整和角度偏移调整方法, 给用户作出相应的提示, 使用户在较短时间内恢复在规划线路上的行走, 避免不必要的拖延以及绕行。

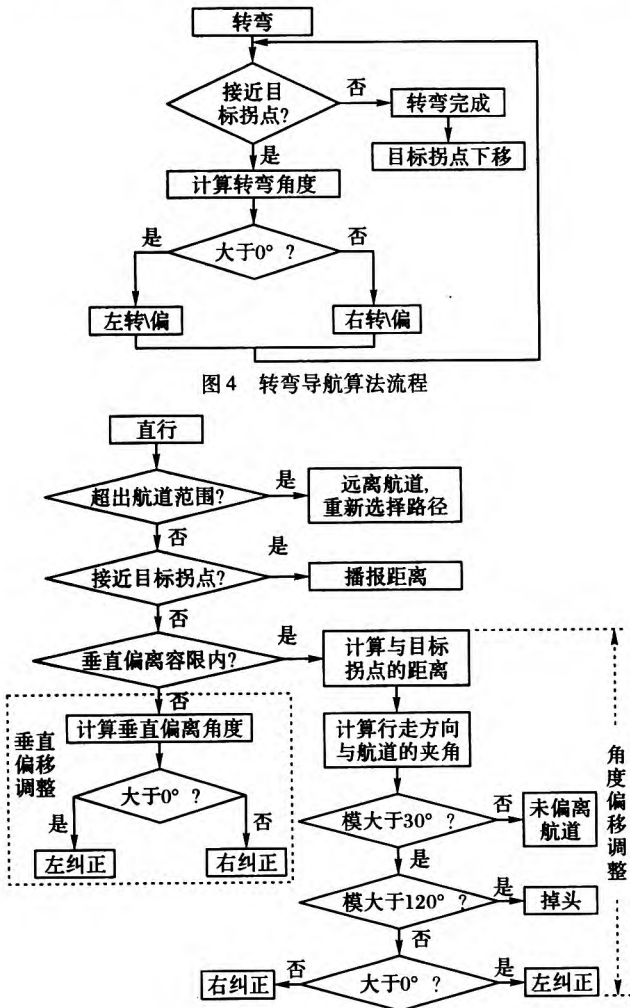


图5 直行导航算法流程

这里的航道纠正主要是由拐点附近轨道向量和行走向量的夹角确定的。具体计算方法如下:

$$\Delta\beta = \arctan\left(\frac{Y_i - Y_{i-1}}{X_i - X_{i-1}}\right) - \arctan\left(\frac{y_n - y_{n-1}}{x_n - x_{n-1}}\right) \quad (2)$$

其中: (X_i, Y_i) 代表当前用户的位置坐标, (X_{i-1}, Y_{i-1}) 代表用户上一位置点坐标, 则 $\beta_i = \arctan((Y_i - Y_{i-1}) / (X_i - X_{i-1}))$ 求得行走向量的偏移夹角。与式(1)中所述类似地, 若 $\beta_i \leq 0$, 需要令 $\beta_i = \beta_i + 180^\circ$ 进行负角度校正。式中 $\arctan((y_n - y_{n-1}) / (x_n - x_{n-1}))$ 即为式(1)中的拐点轨道向量偏移夹角。二者之差 $\Delta\beta$ 的值可作为角度偏离纠正的依据。 $\Delta\beta$ 的正负决定纠正的方向(左/右), 大小决定纠正的幅度(偏移/转弯/掉头), 如图6所示。

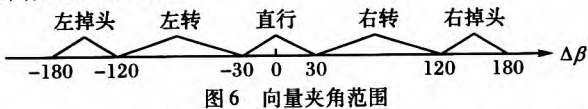


图6 向量夹角范围

同时, 用户当前位置与航线的垂直距离也需要实时监控^[7], 如果距离航线的垂直距离大于偏离容限 λ , 则需要给出纠正提示。纠正的方向由 $\Delta\gamma$ 决定:

$$\Delta\gamma = \arctan\left(\frac{Y_i - y_n}{X_i - x_n}\right) - \arctan\left(\frac{y_n - y_{n-1}}{x_n - x_{n-1}}\right) \quad (3)$$

其中: $\arctan((Y_i - y_n) / (X_i - x_n))$ 代表用户当前位置与目标拐点所确定向量的偏移角度。若 $\Delta\gamma > 0$ 则需要向左纠正, $\Delta\gamma < 0$ 需要向右纠正。当用户位置偏离航线较远直至超出了航道范围, 则提示远离航道, 提示重新选择路径。

考虑到应用于视障人士步行导航, 减少用户的思考和等待时间, 实时导航信息的提供需要具备提前、多次的特征。

由该算法分析获得的导航提示信息, 主要包含以下三个方面:

- 1) 距离信息: 包括用户位置和拐点之间的距离, 相邻拐点之间的距离。
- 2) 转弯信息: 转弯点的转弯类型及转弯程度。
- 3) 纠正信息: 包括行进过程中偏离航道、远离航道的提示, 以及前、后、左、右的方向纠正。

如图7中所示, 举例说明实际导航中的提示内容。

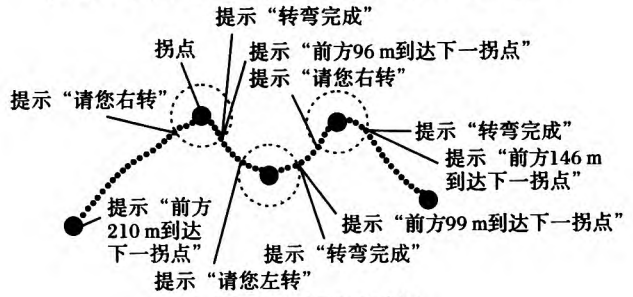


图7 导航提示示意图

当用户从图中第一个拐点开始行走时, 给出用户当前位置到目标拐点的距离信息并提示向前直行。若用户距离下一拐点的距离缩减到5 m, 开始进行转弯信息的提示。当用户远离目标拐点距离5 m, 认为用户已完成转弯过程, 提示“转弯完成”, 并将目标节点下移, 进入下一个周期的导航, 直到走过所有的拐点为止。

然而在实际的轨迹导航中, 用户不可能完全按照规定路线行走, 难免会出现偏离甚至远离航道的情况。这时就需要给出必要的语音纠正信息。图8中所示为两种常见的提示情况。当用户所在位置相对航道的垂直距离超过预先设定的垂直偏离容限时, 提示其做出方向上的调整; 若超出偏离容限10倍以上, 则认为用户当前位置已严重远离所在航道, 提示其重新选择导航路线。当用户的行走向量与轨道向量的夹角超过角度偏离容限(即使其当前位置在偏离容限之内), 也要给出纠正提示信息, 以免产生较大的偏离趋势。

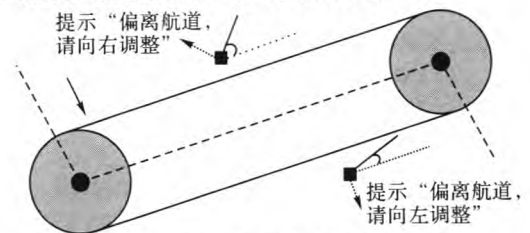


图8 导航纠正信息

2 实验结果

2.1 拐点判定法的有效性验证

为了验证拐点筛选的有效性, 利用 Windows CE 嵌入式设备 S3C6410 和 GPS 接收器进行实地的原始定位数据的采集, 把采集的数据直接在嵌入式设备上利用拐点判断算法进行处理, 并结合电子地图, 将轨迹以及拐点绘于嵌入式设备的屏幕上。图9中所示为 S3C6410 液晶屏显示的拐点筛选结果, 连续轨迹点代表实际行走过程中接收到的 GPS 定位信息, 圆圈中的点即为利用拐点判定法得出的拐点。其中记录的 GPS 数据信息会根据需要转换为适合于存储的平面坐标向量, 并保存在文本文件中, 便于导航时调用。当用户选择进入导航功能后, 可以根据需要选择导航目的地。

若用户的当前位置在所选路径周围, 则开始新近拐点的分析计算, 并将筛选出的拐点保存为临时文件, 通过程序读取其中的数据, 即可完成进一步的导航任务。若用户的当前位

置不在所选线路的周围,则不进行拐点筛选过程,提示其重新选择路径。实验证明,该算法可有效地提取行走轨迹的拐点部分,从而大幅度减少数据存储量。

图 10 中所示数据为原始坐标以及筛选出的拐点坐标。这里的坐标数据是基于所选地图(这里采用的是北京超图软件公司嵌入式开发平台下的 eSuperMap 电子地图)的比例尺生成的平面坐标数据。eSuperMap 中实体数据坐标所依赖的坐标系统有三类,分别为普通平面直角坐标系、球面经纬度坐标系、投影坐标系。对于普通平面直角坐标系和投影坐标系,实体坐标单位都 0.1 mm;而对于球面经纬度坐标系,实体的坐标单位为 0.001 s。此外,坐标系统有一个坐标放大率,它影响非经纬度坐标系下的实体的实际坐标的大小^[8]。通过以上坐标系统的相互转换,即可得出适用于实验存储的平面坐标形式的轨迹坐标点。实际应用过程中,可以根据选取地图的不同,改变坐标点的存储格式。

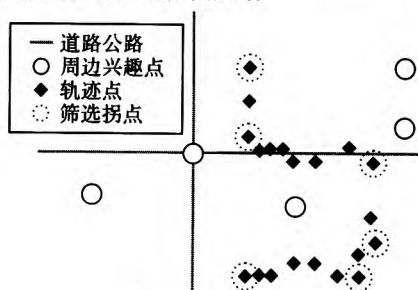


图 9 拐点筛选结果

图 9 中所示的原始轨迹点的坐标依次为: (1162014, 399255)、(1162015, 399255)、(1162016, 399255)、(1162018, 399256)、(1162020, 399256)、(1162023, 399255)、(1162025, 399255)、(1162025, 399256)、(1162026, 399257)、(1162026, 399259)、(1162026, 399262)、(1162023, 399263)、(1162021, 399262)、(1162019, 399262)、(1162018, 399263)、(1162017, 399263)、(1162016, 399263)、(1162015, 399264)、(1162015, 399268)、(1162015, 399271);经拐点筛选算法处理后的拐点坐标依次为: (1162014, 399255)、(1162025, 399255)、(1162026, 399257)、(1162026, 399262)、(1162015, 399264)、(1162015, 399271)。

2.2 室外步行导航测试

步行导航的测试地点选择在北方工业大学校内。首先进行 GPS 轨迹数据的采集测试。图 10 所示为轨迹记录以及拐点筛选结果,可以看出轨迹点的筛选与理想状态下的选择结果大致相同,按照拐点还原出的路线与原始路线相差不大,但却大大降低了轨迹点存储数量与操作难度。

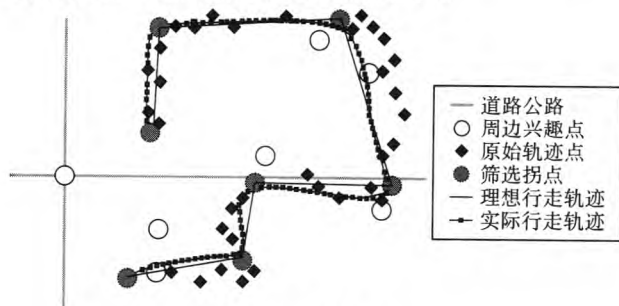


图 10 轨迹点记录

根据轨迹筛选结果,即可进行实时的步行导航测试。图 10 中给出的曲线来自于实验中绘于地图跟踪层中的实际行走轨迹。考虑到 GPS 接收器的精度以及不稳定性,选择在 GPS 信号相对稳定时进行测试。当测试者处于轨迹附近选择

导航路线时,可以检测出其位置并提示开始导航。一旦测试者开始移动,便可以检测出其行动方向,给出目标拐点的方位信息。当测试者接近目标拐点较近(实验中设定为 5 m)时,能够准确播报拐弯信息。这时测试者应根据提示进行转弯或偏移;当远离该拐点大于 5 m 时,认为转弯完成,目标转向下一节点。测试者如果在行走过程中偏离航道,可以检测其偏离方向,并提示其进行纠正。如果偏离距离过大(实验中设定阈值为 100 m),则自动退出该次导航过程,并提示其重新选择路线。

3 结语

本文中提出的算法包括 GPS 拐点判定算法以及针对于盲人的实时导航算法。GPS 拐点判定算法能够从 GPS 接收器提取到的 GPS 坐标信息中筛选出符合拐点特征的坐标点,实验表明这种算法筛选出的拐点与人们直观筛选出的拐点大致相同,为盲人和视障人士解决了拐点的识别问题。实时导航算法的提出则是考虑到了盲人接收信息的特殊性。通过给出关键节点的信息(包括距离和转弯信息)以及实时的纠正,帮助用户逐步到达目的地。综上所述,本文中提出的基于 GPS 轨迹的盲用导航算法,经过理论分析和实验验证,是具有一定的有效性和可行性的。

参考文献:

- [1] 姜波. 一种基于 GPS 轨迹的导航方法和装置[J]. 软件工程师, 2011(12): 57-60.
- [2] 林启东, 胡天友. 基于 GPS 的线路测量与拟合[J]. 微计算机信息, 2007, 23(1): 255-257.
- [3] 徐尽, 田胜利. 基于拐点判断法的 GPS 定位数据精简[J]. 计算机工程, 2010, 36(7): 268-272.
- [4] 翟霞晖, 唐明浩. 基于 ARM7 的汽车导航定位与防盗系统[J]. 自动化仪表, 2007, 28(3): 30-32.
- [5] IVANOV R. Algorithm for blind navigation along a GPS track[C]// Proceedings of the 12th International Conference on Computer Systems and Technologies — CompSysTech 2011. Vienna: [s. n.], 2011: 372-379.
- [6] KAISER E B, LAWO M. Wearable navigation system for the visually impaired and blind people[C]// 2012 IEEE/ACIS 11th International Conference on Computer and Information Science. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2011: 230-233.
- [7] 李明峰, 冯宝红, 刘三枝. GPS 定位技术及其应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2006.
- [8] 张勤, 李家权. GPS 测量原理与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 42-59.
- [9] 杨青青, 祖静, 尤文斌. 嵌入式 GPS 轨迹记录仪[J]. 电子测试, 2011(1): 91-94.
- [10] 田泽. 嵌入式系统开发与应用教程[M]. 北京: 北航空航天大学出版社, 2005: 10-20.
- [11] 北京超图股份有限公司. eSuperMap 6 用户手册[EB/OL]. (2001-12-19)[2002-04-15] <http://www.supermap.com.cn>.
- [12] VIRKES D, NENADIC K, VIRKES D Z. Positioning systems for mobility of the blind, overview and analysis[C]// Proceedings of the 46th International Symposium Electronics in Marine. [S. l.]: IEEE, 2004: 342-346.
- [13] BOURBAKIS N. Sensing Surrounding 3-D space for navigation of the blind[J]. Engineering in Medicine and Biology Magazine, 2008, 27(1): 49-55.
- [14] CAO LIN, HUANG XIAOLI. GPS-based navigation for the blind[J]. Advanced Materials Research, 2012, 433-440(1): 4184-4188.