



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106989747 A

(43)申请公布日 2017.07.28

(21)申请号 201710196676.6

G06F 3/0488(2013.01)

(22)申请日 2017.03.29

(71)申请人 无锡市中安捷联科技有限公司

地址 214135 江苏省无锡市新区清源路20
号太科园传感网大学科技园立业楼A
区202号房

(72)发明人 曹志超 周颖 王继良 刘云浩

(74)专利代理机构 北京品源专利代理有限公司
11332

代理人 孟金喆 胡彬

(51)Int.Cl.

G01C 21/20(2006.01)

G01C 21/34(2006.01)

G06K 9/32(2006.01)

G06K 9/46(2006.01)

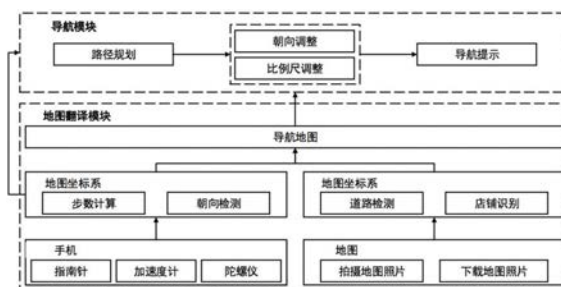
权利要求书3页 说明书9页 附图2页

(54)发明名称

一种基于室内平面图的自主导航系统

(57)摘要

本发明公开一种基于室内平面图的自主导航系统,该系统包括地图翻译模块和导航模块。本发明利用智能终端如手机、平板等拍摄室内地图的照片,计算出地图中的相关物理信息如比例尺和方向;地图翻译模块提取道路,规划路径;导航模块根据规划的路径将用户信息与路径关联,指引用户到达目的地。本发明不需要预先收集信息或预先部署基础设施,利用生活中广泛存在的室内地图,充分挖潜已有室内地图中的信息,结合智能终端自带的手机传感器,提供端到端精确室内导航服务。



1. 一种基于室内平面图的自主导航系统,其特征在于,包括地图翻译模块和导航模块;所述地图翻译模块用于:一、通过路径提取部件和名称提取部件从地图照片中提取导航地图的结构化信息,其中,所述结构化信息包括但不限于道路和店铺名称;二、通过用户状态估计组件输出相关用户状态信息,其中,所述用户状态估计组件包括但不限于智能终端内的指南针、加速度计及陀螺仪,所述相关用户状态信息包括但不限于用户步数和用户朝向;三、通过所述用户状态估计组件和地图提取组件获得导航地图;所述导航模块用于:一、在用户指定目的地后,通过路径规划器规划出一条从用户当前位置到达目的地的导航路径;并根据所述用户状态估计组件输入的相关用户状态信息和所述导航路径,确定导航路径上用户的相对位置;二、确定导航路径中距离每个转弯的步数。

2. 根据权利要求1所述的基于室内平面图的自主导航系统,其特征在于,所述通过路径提取部件和名称提取部件从地图照片中提取导航地图的结构化信息,包括:道路提取:一、将地图照片 I_m 转化为灰度图;二、对 I_m 中的每个像素 p ,得到其对应的灰度值 g_p ;三、如果 $|g_p - g_{ini}| < \delta_{col}$,则将该像素点处的颜色设置为黑色,否则设置为白色,其中, g_{ini} 为触摸点 p_{ini} 的灰度值,触摸点 p_{ini} 由用户触摸智能终端屏幕中任意道路点获得, δ_{col} 为衡量 g_p 与 g_{ini} 是否相近的而设置的阈值;四、判断 I_m 中的每个黑色像素 p_b 与触摸点 p_{ini} 是否连通,若不连通,则该像素点处的颜色设置为白色;五、通过快速并行细化算法对 I_m 中的道路区域进行细化,提取道路骨架;六、遍历 I_m 中所有的黑色像素建立无向图 G_p ;通过检测包含文本的矩形区域来计算店铺位置:一、采用MSER算法,输出代表店铺的文本矩形,并记录文本矩形左上角和右下角的坐标以标识店铺位置;二、根据检测出的文本矩形的坐标,提取其限定的子图像,并将子图像转换为二值化图像。

3. 根据权利要求2所述的基于室内平面图的自主导航系统,其特征在于,所述根据检测出的文本矩形的坐标,提取其限定的子图像,并将子图像转换为二值化图像,包括:一、采用OpenCV的基于局部自适应阈值算法对子图像进行二值化处理,获得二值化图像;二、使用Tesseract-OCR识别二值化图像中的文本内容;三、将所述文本内容作为店铺位置查询的索引。

4. 根据权利要求3所述的基于室内平面图的自主导航系统,其特征在于,所述通过所述用户状态估计组件和地图提取组件获得导航地图,包括:地图匹配:一、采用上述计算店铺位置的方法检测并识别地图照片中的店铺名称;二、完成一次从一个店铺走到另一个店铺的校准行走,通过用户输入或识别拍摄的店铺照片获得两个店铺的位置 S_1 和 S_2 ,其中 S_1 是起始店铺位置, S_2 是结束店铺位置;三、利用两个店铺的位置 S_1 和 S_2 的坐标,在道路中识别出对应的起点 p_s 和终点 p_e :计算出矩形的中心点坐标 $C(S_1)$, $C(S_2)$;该校准算法需要满足三个限制条件:首先,向量 $\overline{c_1 c_2}$ 和向量 $\overline{p_s p_e}$ 不相交,其次, $\overline{p_s c_1}$ 、 $\overline{p_e c_2}$ 均垂直于向量 $\overline{c_1 c_2}$,最后, $\overline{p_s c_1}$ 和 $\overline{p_e c_2}$ 的距离之和最小;从道路中距离坐标 $(0,0)$ 最近的点 p_0 开始,使用DFS算法遍历所有道路像素,找出满足上述三个限制条件的起点 p_s 和终点 p_e ,并选择满足 p_0 到 $\overline{p_s p_e}$ 的垂直距离最小的 p_s 和 p_e ,根据起点 p_s 和终点 p_e 的坐标计算出步行的像素距离 $l(p_s, p_e)$ 和朝向 $\theta(\overline{p_s p_e})$:

$$l(p_s, p_e) = \sqrt{(x_{p_e} - x_{p_s})^2 + (y_{p_e} - y_{p_s})^2}$$

$$\theta(\overline{p_s p_e}) = \arctan\left(\frac{x_{p_e} - x_{p_s}}{y_{p_s} - y_{p_e}}\right), \quad y_{p_e} \neq y_{p_s}$$

其中, $\theta(\overline{p_s p_e})$ 代表向量 $\overline{p_s p_e}$ 和y轴反向的夹角; 结合用户状态估计组件测量用户的实际步数w和步行方向 θ_e , 根据用户在地图上的行走步数和行走方向, 计算导航地图的比例尺Sca和校准后的朝向Ang:

$$Sca = l(p_s, p_e) / w$$

$$Ang = \theta(\overline{p_s p_e}) - \theta_e$$

5. 根据权利要求4所述的基于室内平面图的自主导航系统, 其特征在于, 所述通过路径规划器规划出一条从用户当前位置到达目的地的导航路径中, 所述用户当前位置即导航的起点的定位包括: 用户拍摄包含附近店铺名称的照片, 通过识别照片提取出店铺名称的文本, 并在导航地图上使用文本匹配查询店铺坐标; 根据店铺矩形 S_s , 计算矩形中心的坐标为 $c(S_s)$; 当用户正在拍照时, 脸的朝向与智能终端z轴在地球坐标下的投影方向相反, 同理计算智能终端Y轴在地球坐标下的方向; 通过智能终端的指南针和加速度计得到用户在地球坐标系下的拍摄方向 δ , 然后, 遍历路径上的所有点, 找到满足下式的用户站立点 p_s 作为导航的起点:

$$\min error_{ang} = \theta(\overline{p_s c(S_s)}) - Ang - \delta$$

即最小化计算出的地球坐标系下的拍摄方向 $\theta(\overline{p_s c(S_s)}) - Ang$ 和使用传感器测得的拍摄方向 δ 之间的角度误差。

6. 根据权利要求5所述的基于室内平面图的自主导航系统, 其特征在于, 所述在用户指定目的地后, 通过路径规划器规划出一条从用户当前位置到达目的地的导航路径, 并根据所述用户状态估计组件输入的相关用户状态信息和所述导航路径, 确定导航路径上用户的相对位置; 确定导航路径中距离每个转弯的步数, 包括: 确定用户当前位置即导航的起点后, 需用户输入目的地店铺 S_d 的名称, 然后查询目的地店铺 S_d 的坐标, 并获得店铺矩形的中心 $c(S_d)$; 遍历导航地图道路上的所有点, 找到距离 $c(S_d)$ 最近的点 p_d 即导航的终点, 查询条件如下:

$$\min l_{dis}^2 = \left(x_{p_d} - \frac{x_{l_t}^{S_d} + x_{r_b}^{S_d}}{2} \right)^2 + \left(y_{p_d} - \frac{y_{l_t}^{S_d} + y_{r_b}^{S_d}}{2} \right)^2$$

获得导航的起点和导航的终点后, 使用Dijkstra算法计算出最短路径 L_p ; 路径 L_p 上的点被表示为 $\{p_0, p_1, \dots, p_n\}$; 遍历 L_p 中的所有路径点找到转弯位置; 为了减少计算量, 对于路径所在的曲线, 采用Ramer-Douglas-Peucker算法减少路径中点的个数, 保持原始路径上的点到新路径的距离小于阈值 ε , 初始时刻, 将 p_0 和 p_n 纳入在新路径的 L_p^{new} 中, 然后, 如果 p_k 到线段 $p_0 p_n$ 的距离比 ε 大, 则将 p_k 纳入 L_p^{new} 中; 对于 $p_0 p_k$ 和 $p_k p_n$, 迭代地划分线段直到 L_p 中没有点到新的路径段的距离大于 ε ; 新的路径 L_p^{new} 由 $\{p_0^{new}, p_1^{new}, \dots, p_m^{new}\}$ 这m个点组成, 对于路径中的任一点 $p_i^{new} (i \neq 0, m)$, 计算 $\overline{p_{i-1}^{new} p_i^{new}}$ 和 $\overline{p_i^{new} p_{i+1}^{new}}$ 之间的夹角 θ_i ; 设置拐角的角度阈值为

mini_angle, 即当 θ_i 大于mini_angle时, 该点才是拐点; 给定用户在 Δt 时间内的行走步数 w_t , 每一步的朝向 $\theta_i^t (i=0, 1, \dots, w_t)$, 计算出用户在 Δt 内移动的像素距离:

$$l_p(\Delta t) = \sum_{i=1}^{\overline{w}_t} Sca \cdot \cos\left(\theta_i^t + Ang - \theta\left(\overline{p_i^{new}} \overline{p_{i+1}^{new}}\right)\right)$$

根据计算出的 $l_p(\Delta t)$, 更新用户行走的轨迹并且给予提示, 其中, 提示的内容包括当前行走方向, 下一个拐弯的方向以及距离下一个拐弯的步数。

7. 根据权利要求6所述的基于室内平面图的自主导航系统, 其特征在于, 所述导航模块在开始导航前, 用户需要对智能终端的指南针进行八字校准; 在导航期间, 短时间 Δt 内, 如果由智能终端的指南针和加速度计计算出的方向变化的差值小于阈值 $\Delta \max(\theta)$, 则使用指南针计算的瞬时方向表示行走方向, 并重置陀螺仪的参考方向, 否则, 利用从陀螺仪计算出的方向作为步行方向, 并通过道路宽度的边界检测陀螺仪累积误差的大小, 确保用户必须在道路区域中行走, 使得沿着垂直道路方向的累积步行长度应该被限制于道路区域中, 在短时间 Δt 中, 移动的长度 $l_v(\Delta t)$ 为:

$$l_v(\Delta t) = \sum_{i=1}^{\overline{w}_t} \sin\left(\theta_i^t + Ang - \theta\left(\overline{p_i^{new}} \overline{p_{i+1}^{new}}\right)\right);$$

设置阈值max_width表示垂直于道路方向上的最大距离的约束, 当累积的 l_v 大于max_width时, 用户手动对指南针进行调整;

行走方向的调整过程如下: 输入: 原先的行走方向 $\theta(t)$, 由陀螺仪得到的行走方向 $\theta_g(t+\Delta t)$, 由加速度计和指南针得到的行走方向 $\theta_c(t+\Delta t)$; 输出: 当前的行走方向 $\theta(t+\Delta t)$;

如果 $|\theta_g(t+\Delta t) - \theta(t)| - |\theta_c(t+\Delta t) - \theta(t)| < \Delta \max(\theta)$, 则当前的行走方向 $\theta(t+\Delta t)$ 为: $\theta(t+\Delta t) = \theta_c(t+\Delta t)$, 并将陀螺仪的参考方向设置为 $\theta_c(t+\Delta t)$; 否则, 当前的行走方向 $\theta(t+\Delta t)$ 为: $\theta(t+\Delta t) = \theta_g(t+\Delta t)$ 。

8. 根据权利要求7所述的基于室内平面图的自主导航系统, 其特征在于, 所述导航模块在导航期间, 通过自动检测沿途的兴趣点调整导航地图的比例尺: 若兴趣点为拐点, 一个拐点是 $p_k^{new} (k=0, 1, \dots, m)$, 拐角大小为 θ_k , 从 p_0^{new} 到 p_k^{new} 的像素距离为:

$$l(p_0^{new}, p_k^{new}) = \sum_{i=1}^{k-1} l(p_i^{new}, p_{i+1}^{new})$$

当用户接近 p_{i+1}^{new} 时, 根据陀螺仪得到实际发生拐弯的时间 Ω ; 在时间 Ω , 沿路径方向上的实际步数 $l_{f(t)}$ 为:

$$l_{f(t)} = \sum_{i=0}^{\Omega} \sum_{i=1}^{\overline{w}_t} \cos\left(\theta_i^t + Ang - \theta\left(\overline{p_i^{new}} \overline{p_{i+1}^{new}}\right)\right)$$

从而得到新的比例尺 Sca^{new} 为

$$Sca^{new} = \frac{l(p_0^{new}, p_k^{new})}{l_{f(t)}}。$$

一种基于室内平面图的自主导航系统

技术领域

[0001] 本发明涉及室内导航技术领域,尤其涉及一种基于室内平面图的自主导航系统。

背景技术

[0002] 随着城市现代化程度的不断提高,大型建筑物的数量日益增长,室内空间的物理布局也越来越复杂。因此,人们对于室内导航服务的需求显著增长。室外导航早已被广泛应用于日常生活中,但是室内环境复杂多变,传统的室外导航模式无法应用于室内环境中。所以,室内导航仍处于研究阶段,没有一种广泛应用的室内导航系统。

[0003] 目前,已有的室内导航系统大多基于室内定位来构建室内地图。然而,这些室内导航的方法,需要预先部署基础设施(例如,WSNs,WiFi)或提前收集大量信息(例如,图像,地磁场)。预先部署的要求,导致使用这种导航系统的开销很大,极大地阻碍了其推广应用。众包是一种广泛收集信息的方法,但是需要解决激励和隐私问题。即使能够预先收集到信息,后期对信息进行更新维护的成本也很大,这大大限制了它的适用性。此外,很多系统虽然成功构建出室内地图,但是并没有能够充分挖掘地图中的有效信息。因此,对于室内导航如何有效使用地图信息才是一个根本性的问题。

[0004] 我们认为,预先部署并不是必须的,甚至可以假设室内地图已知,如何有效利用地图信息才是室内导航的关键所在。我们还发现地图信息可以通过多种方式获得,比如通过室内定位构造室内指导图,或者直接从谷歌地图、购物中心的网站上获得室内指示图。但是,目前这些地图只是用作一般的视觉指导,而不能提供实时的室内导航服务。

发明内容

[0005] 本发明的目的在于通过一种基于室内平面图的自主导航系统,来解决以上背景技术部分提到的问题。

[0006] 为达此目的,本发明采用以下技术方案:

[0007] 一种基于室内平面图的自主导航系统,其包括地图翻译模块和导航模块;所述地图翻译模块用于:一、通过路径提取部件和名称提取部件从地图照片中提取导航地图的结构化信息,其中,所述结构化信息包括但不限于道路和店铺名称;二、通过用户状态估计组件输出相关用户状态信息,其中,所述用户状态估计组件包括但不限于智能终端内的指南针、加速度计及陀螺仪,所述相关用户状态信息包括但不限于用户步数和用户朝向;三、通过所述用户状态估计组件和地图提取组件获得导航地图;所述导航模块用于:一、在用户指定目的地后,通过路径规划器规划出一条从用户当前位置到达目的地的导航路径;并根据所述用户状态估计组件输入的相关用户状态信息和所述导航路径,确定导航路径上用户的相对位置;二、确定导航路径中距离每个转弯的步数。

[0008] 特别地,所述通过路径提取部件和名称提取部件从地图照片中提取导航地图的结构化信息,包括:道路提取:一、将地图照片 I_m 转化为灰度图;二、对 I_m 中的每个像素 p ,得到其对应的灰度值 g_p ;三、如果 $|g_p - g_{ini}| < \delta_{col}$,则将该像素点处的颜色设置为黑色,否则设置为白

色,其中, g_{ini} 为触摸点 p_{ini} 的灰度值,触摸点 p_{ini} 由用户触摸智能终端屏幕中任意道路点获得, δ_{col} 为衡量 g_p 与 g_{ini} 是否相近的而设置的阈值;四、判断 I_m 中的每个黑色像素 p_b 与触摸点 p_{ini} 是否连通,若不连通,则该像素点处的颜色设置为白色;五、通过快速并行细化算法对 I_m 中的道路区域进行细化,提取道路骨架;六、遍历 I_m 中所有的黑色像素建立无向图 G_p ;通过检测包含文本的矩形区域来计算店铺位置:一、采用MSER算法,输出代表店铺的文本矩形,并记录文本矩形左上角和右下角的坐标以标识店铺位置;二、根据检测出的文本矩形的坐标,提取其限定的子图像,并将子图像转换为二值化图像。

[0009] 特别地,所述根据检测出的文本矩形的坐标,提取其限定的子图像,并将子图像转换为二值化图像,包括:一、采用OpenCV的基于局部自适应阈值算法对子图像进行二值化处理,获得二值化图像;二、使用Tesseract-OCR识别二值化图像中的文本内容;三、将所述文本内容作为店铺位置查询的索引。

[0010] 特别地,所述通过所述用户状态估计组件和地图提取组件获得导航地图,包括:地图匹配:一、采用上述计算店铺位置的方法检测并识别地图照片中的店铺名称;二、完成一次从一个店铺走到另一个店铺的校准行走,通过用户输入或识别拍摄的店铺照片获得两个店铺的位置 S_1 和 S_2 ,其中 S_1 是起始店铺位置, S_2 是结束店铺位置;三、利用两个店铺的位置 S_1 和 S_2 的坐标,在道路中识别出对应的起点 p_s 和终点 p_e :计算出矩形的中心点坐标 $C(S_1)$, $C(S_2)$;该校准算法需要满足三个限制条件:首先,向量 $\overrightarrow{c_1c_2}$ 和向量 $\overrightarrow{p_sp_e}$ 不相交,其次, $\overrightarrow{p_sc_1}$ 、 $\overrightarrow{p_ec_2}$ 均垂直于向量 $\overrightarrow{c_1c_2}$,最后, $\overrightarrow{p_sc_1}$ 和 $\overrightarrow{p_ec_2}$ 的距离之和最小;从道路中距离坐标 $(0,0)$ 最近的点 p_0 开始,使用DFS(深度优先搜索)算法遍历所有道路像素,找出满足上述三个限制条件的起点 p_s 和终点 p_e ,并选择满足 p_0 到 $\overrightarrow{p_sp_e}$ 的垂直距离最小的 p_s 和 p_e ,根据起点 p_s 和终点 p_e 的坐标计算出步行的像素距离 $l(p_s, p_e)$ 和朝向 $\theta(\overrightarrow{p_sp_e})$:

$$[0011] \quad l(p_s, p_e) = \sqrt{(x_{p_e} - x_{p_s})^2 + (y_{p_e} - y_{p_s})^2}$$

$$[0012] \quad \theta(\overrightarrow{p_sp_e}) = \arctan\left(\frac{x_{p_e} - x_{p_s}}{y_{p_s} - y_{p_e}}\right), \quad y_{p_e} \neq y_{p_s}$$

[0013] 其中, $\theta(\overrightarrow{p_sp_e})$ 代表向量 $\overrightarrow{p_sp_e}$ 和y轴反向的夹角;结合用户状态估计组件测量用户的实际步数 w 和步行方向 θ_e ,根据用户在地图上的行走步数和行走方向,计算导航地图的比例尺 Sca 和校准后的朝向 Ang :

$$[0014] \quad Sca = l(p_s, p_e) / w$$

$$[0015] \quad Ang = \theta(\overrightarrow{p_sp_e}) - \theta_e$$

[0016] 特别地,所述通过路径规划器规划出一条从用户当前位置到达目的地的导航路径中,所述用户当前位置即导航的起点的定位包括:用户拍摄包含附近店铺名称的照片,通过识别照片提取出店铺名称的文本,并在导航地图上使用文本匹配查询店铺坐标;根据店铺矩形 S_s ,计算矩形中心的坐标为 $c(S_s)$;当用户正在拍照时,脸的朝向与智能终端z轴在地球坐标下的投影方向相反,同理计算智能终端Y轴在地球坐标下的方向;通过智能终端的指南针和加速度计得到用户在地球坐标系下的拍摄方向 δ ,然后,遍历路径上的所有点,找到满

足下式的用户站立点 p_s 作为导航的起点:

$$[0017] \quad \min error_{ang} = \theta(\overline{p_s c(S_s)}) - Ang - \delta$$

[0018] 即最小化计算出的地球坐标系下的拍摄方向 $\theta(\overline{p_s c(S_s)}) - Ang$ 和使用传感器测得的拍摄方向 δ 之间的角度误差。

[0019] 特别地,所述在用户指定目的地后,通过路径规划器规划出一条从用户当前位置到达目的地的导航路径,并根据所述用户状态估计组件输入的相关用户状态信息和所述导航路径,确定导航路径上用户的相对位置;确定导航路径中距离每个转弯的步数,包括:确定用户当前位置即导航的起点后,需用户输入目的地店铺 S_d 的名称,然后查询目的地店铺 S_d 的坐标,并获得店铺矩形的中心 $c(S_d)$;遍历导航地图道路上的所有点,找到距离 $c(S_d)$ 最近的点 p_d 即导航的终点,查询条件如下:

$$[0020] \quad \min l_{dis}^2 = \left(x_{p_d} - \frac{x_{l_t}^{S_d} + x_{r_b}^{S_d}}{2} \right)^2 + \left(y_{p_d} - \frac{y_{l_t}^{S_d} + y_{r_b}^{S_d}}{2} \right)^2$$

[0021] 获得导航的起点和导航的终点后,使用Dijkstra算法计算出最短路径 L_p ;路径 L_p 上的点被表示为 $\{p_0, p_1, \dots, p_n\}$;遍历 L_p 中的所有路径点找到转弯位置;为了减少计算量,对于路径所在的曲线,采用Ramer-Douglas-Peucker算法减少路径中点的个数,保持原始路径上的点到新路径的距离小于阈值 ϵ ,初始时刻,将 p_0 和 p_n 纳入在新路径的 L_p^{new} 中,然后,如果 p_k 到线段 $p_0 p_n$ 的距离比 ϵ 大,则将 p_k 纳入 L_p^{new} 中;对于 $p_0 p_k$ 和 $p_k p_n$,迭代地划分线段直到 L_p 中没有点到新的路径段的距离大于 ϵ ;新的路径 L_p^{new} 由 $\{p_0^{new}, p_1^{new}, \dots, p_m^{new}\}$ 这 m 个点组成,对于路径中的任一点 $p_i^{new} (i \neq 0, m)$,计算 $\overline{p_{i-1}^{new} p_i^{new}}$ 和 $\overline{p_i^{new} p_{i+1}^{new}}$ 之间的夹角 θ_i ;设置拐角的角度阈值为 $mini_angle$,即当 θ_i 大于 $mini_angle$ 时,该点才是拐点;给定用户在 Δt 时间内的行走步数 w_t ,每一步的朝向 $\theta_i' (i = 0, 1, \dots, w_t)$,计算出用户在 Δt 内移动的像素距离:

$$[0022] \quad l_p(\Delta t) = \sum_{i=1}^{w_t} Sca \cdot \cos\left(\theta_i' + Ang - \theta(\overline{p_i^{new} p_{i+1}^{new}})\right)$$

[0023] 根据计算出的 $l_p(\Delta t)$,更新用户行走的轨迹并且给予提示,其中,提示的内容包括当前行走方向,下一个拐弯的方向以及距离下一个拐弯的步数。

[0024] 特别地,所述导航模块在开始导航前,用户需要对智能终端的指南针进行八字校准;在导航期间,短时间 Δt 内,如果由智能终端的指南针和加速度计计算出的方向变化的差值小于阈值 $\Delta max(\theta)$,则使用指南针计算的瞬时方向表示行走方向,并重置陀螺仪的参考方向,否则,利用从陀螺仪计算出的方向作为步行方向,并通过道路宽度的边界检测陀螺仪累积误差的大小,确保用户必须在道路区域中行走,使得沿着垂直道路方向的累积步行长度应该被限制于道路区域中,在短时间 Δt 中,移动的长度 $l_v(\Delta t)$ 为:

$$[0025] \quad l_v(\Delta t) = \sum_{i=1}^{w_t} \sin\left(\theta_i' + Ang - \theta(\overline{p_i^{new} p_{i+1}^{new}})\right);$$

[0026] 设置阈值 max_width 表示垂直于道路方向上的最大距离的约束,当累积的 l_v 大于 max_width 时,用户手动对指南针进行调整;

[0027] 行走方向的调整过程如下:输入:原先的行走方向 $\theta(t)$,由陀螺仪得到的行走方向

$\theta_g(t+\Delta t)$ ，由加速度计和指南针得到的行走方向 $\theta_c(t+\Delta t)$ ；输出：当前的行走方向 $\theta(t+\Delta t)$ ；

[0028] 如果 $|\theta_g(t+\Delta t)-\theta(t)|-|\theta_c(t+\Delta t)-\theta(t)|<\Delta\max(\theta)$ ，则当前的行走方向 $\theta(t+\Delta t)$ 为： $\theta(t+\Delta t)=\theta_c(t+\Delta t)$ ，并将陀螺仪的参考方向设置为 $\theta_c(t+\Delta t)$ ；否则，当前的行走方向 $\theta(t+\Delta t)$ 为： $\theta(t+\Delta t)=\theta_g(t+\Delta t)$ 。

[0029] 特别地，所述导航模块在导航期间，通过自动检测沿途的POI（兴趣点）调整导航地图的比例尺：若兴趣点为拐弯点，一个拐弯点是 $p_k^{new}(k=0,1,\dots,m)$ ，拐角大小为 θ_k ，从 p_0^{new} 到 p_k^{new} 的像素距离为：

$$[0030] \quad l(p_0^{new}, p_k^{new}) = \sum_{i=0}^{k-1} l(p_i^{new}, p_{i+1}^{new})$$

[0031] 当用户接近 p_{i+1}^{new} 时，根据陀螺仪得到实际发生拐弯的时间 Ω ；在时间 Ω ，沿路径方向上的实际步数 $l_{f(t)}$ 为：

$$[0032] \quad l_{f(t)} = \sum_{t=0}^{\Omega} \sum_{i=1}^{\omega_t} \cos\left(\theta_t^i + Ang - \theta\left(\overline{p_l^{new} p_{l+1}^{new}}\right)\right)$$

[0033] 从而得到新的比例尺 Sca^{new} 为

$$[0034] \quad Sca^{new} = \frac{l(p_0^{new}, p_k^{new})}{l_{f(t)}}。$$

[0035] 本发明提出的基于室内平面图的自主导航系统利用智能终端如手机、平板等拍摄室内地图的照片，计算出地图中的相关物理信息如比例尺和方向；提取道路，规划路径；根据规划的路径将用户信息与路径关联，指引用户到达目的地。本发明不需要预先收集信息或预先部署基础设施，利用生活中广泛存在的室内地图，充分挖潜已有室内地图中的信息，结合智能终端自带的手机传感器，提供端到端精确室内导航服务。

附图说明

[0036] 图1为本发明实施例提供的基于室内平面图的自主导航系统架构图；

[0037] 图2为本发明实施例提供的地图坐标系示意图；

[0038] 图3为本发明实施例提供的手机坐标系示意图。

具体实施方式

[0039] 下面结合附图和实施例对本发明作进一步说明。可以理解的是，此处所描述的具体实施例仅仅用于解释本发明，而非对本发明的限定。另外还需要说明的是，为了便于描述，附图中仅示出了与本发明相关的部分而非全部内容，除非另有定义，本文所使用的所有技术和科学术语与属于本发明的技术领域的技术人员通常理解的含义相同。本文中所使用的术语只是为了描述具体的实施例，不是旨在于限制本发明。

[0040] 请参照图1所示，图1为本发明实施例提供的基于室内平面图的自主导航系统架构图。

[0041] 本实施例中基于室内平面图的自主导航系统具体包括地图翻译模块和导航模块。所述地图翻译模块用于：一、通过路径提取部件和名称提取部件从地图照片中提取导航地

图的结构化信息,其中,所述结构化信息包括但不限于道路和店铺名称;二、通过用户状态估计组件输出相关用户状态信息,其中,所述用户状态估计组件包括但不限于智能终端内的指南针、加速度计及陀螺仪,所述相关用户状态信息包括但不限于用户步数和用户朝向;在本实施例中所述智能终端包括但不限于手机、平板电脑等;三、通过所述用户状态估计组件和地图提取组件获得导航地图;所述导航模块用于:一、在用户指定目的地后,通过路径规划器规划出一条从用户当前位置到达目的地的导航路径;并根据所述用户状态估计组件输入的相关用户状态信息和所述导航路径,确定导航路径上用户的相对位置;二、确定导航路径中距离每个转弯的步数。

[0042] 在本实施例中地图翻译模块通过路径提取部件和名称提取部件从地图照片中提取导航地图的结构化信息,包括:

[0043] 该步骤的目的是将一张平面图的照片转换成由道路和店铺组成的结构化的导航地图。具体来说,系统计算地图中道路像素点和店铺所在矩形的坐标。这里需要处理两个问题。首先,为了方便用户快速获取地图信息,实际地图中的道路通常很宽。然而为了结构化表示出道路的拓扑结构,必须保持道路宽度为1个像素,道路太宽不便于选择具有代表性的路径点。其次,系统主要依靠检测包含文本的矩形区域来计算店铺位置。但是地图中的文本可能存在模糊,大小和方向不统一的问题,因此,准确检测出文本矩形并不容易。此外,考虑到准备时间应尽可能短的要求,道路和文本检测必须做到实时完成。

[0044] 在获得地图照片 I_m 后,用户触摸智能终端屏幕中任意道路点,使得智能终端获得触摸点 p_{ini} 的坐标 (x_{ini}, y_{ini}) 。系统将 I_m 转换为灰度图像,假设 p_{ini} 的灰度值为 g_{ini} 。然后,系统将 I_m 转换为二值化图像,从而显式地将道路区域与其他区域区分开来。在理想情况下,道路区域的颜色是完全相同的。但是,考虑到 I_m 上不同区域的光照情况可能存在差异,路径上的像素通常只是具有相似的颜色,而非完全相同。下述道路提取算法中步骤一至三,首先将灰度值和 g_{ini} 相近(以阈值 δ_{col} 为界限)的所有像素设置为黑色,其他像素设置为白色。此外,在本实施例中认为地图中的道路是相互连通的。因此,下述道路提取算法中步骤四至六,所有不与 p_{ini} 连通的黑色像素被重新设置为白色。以得到的二值化图像作为输入,使用快速并行细化算法提取道路骨架,也就是将道路部分细化为1个像素宽,然后将其他黑色像素设置为白色。最后,从道路中的一点出发,利用DFS(深度优先搜索)将整个道路区域转化为无向图 G_p 。

[0045] 道路提取算法具体流程如下:一、将地图照片 I_m 转化为灰度图;二、对 I_m 中的每个像素 p ,得到其对应的灰度值 g_p ;三、如果 $|g_p - g_{ini}| < \delta_{col}$,则将该像素点处的颜色设置为黑色,否则设置为白色,其中, g_{ini} 为触摸点 p_{ini} 的灰度值,触摸点 p_{ini} 由用户触摸智能终端屏幕中任意道路点获得, δ_{col} 为衡量 g_p 与 g_{ini} 是否相近的而设置的阈值;四、判断 I_m 中的每个黑色像素 p_b 与触摸点 p_{ini} 是否连通,若不连通,则该像素点处的颜色设置为白色;五、通过快速并行细化算法对 I_m 中的道路区域进行细化,提取道路骨架;具体的,所述快速并行细化算法通过两步迭代,逐步删除满足一定条件的点,直到两步中都没有像素被标记为删除为止,输出结果即为二值图像细化后的骨架;六、遍历 I_m 中所有的黑色像素建立无向图 G_p 。

[0046] 通过检测包含文本的矩形区域来计算店铺位置:一、采用MSER(Maximally Stable Extremal Regions)算法,输出代表店铺的文本矩形,并记录文本矩形左上角和右下角的坐标以标识店铺位置;具体的,所述MSER算法使用一系列灰度阈值对图像进行二值化处理,对

于每个阈值得到的二值图像,得到相应的黑色区域与白色区域,在比较宽的灰度阈值范围内保持形状稳定的区域就是MSERs。例如,给出矩形S,其坐标表示为 $[(x_{ll}^s, x_{rb}^s), (y_{ll}^s, y_{rb}^s)]$ 。二、根据检测出的文本矩形的坐标,提取其限定的子图像,并将子图像转换为二值化图像。考虑到子图像的不同部分的光照条件可能不同,本实施例中采用OpenCV的基于局部自适应阈值算法对子图像进行二值化处理,获得二值化图像;然后使用Tesseract-OCR识别二值化图像中的文本内容;最后将所述文本内容作为店铺位置查询的索引。其中,基于局部自适应阈值算法是根据像素的邻域块的像素值分布来确定该像素位置上的二值化阈值。这样做的好处在于每个像素位置处的二值化阈值不是固定不变的,而是由其周围邻域像素的分布来决定的。亮度较高的图像区域的二值化阈值通常会较高,而亮度较低的图像区域的二值化阈值则会相适应地变小。不同亮度、对比度、纹理的局部图像区域将会拥有相对应的局部二值化阈值。常用的局部自适应阈值有:1) 局部邻域块的均值;2) 局部邻域块的高斯加权和。本发明选用后者作为自适应阈值。Tesseract-OCR是开源的OCR识别引擎,可以识别多种格式的图像文件并将其转换成文本,目前已支持60多种语言。初期Tesseract引擎由HP实验室研发,后来贡献给了开源软件业,后经由Google进行改进,消除bug,优化,重新发布。

[0047] 在本实施例中地图翻译模块通过所述用户状态估计组件和地图提取组件获得导航地图,包括:地图匹配:一、采用上述计算店铺位置的方法检测并识别地图照片中的店铺名称;然而,Tesseract可能只能正确地识别出部分文本字符串,所以在本实施例中采用Levenshtein距离算法匹配进行模糊匹配,从之前提取的所有店铺名称中找到最相似的文本字符串作为结果。比如,当用户通过拍摄店铺照片或输入店铺名称来查找店铺位置时,可以返回包含最相似文本的矩形作为此时查询的店铺的位置,也就是用户的位置。二、前期,用户需要完成一次从一个店铺走到另一个店铺的校准行走,通过用户输入或识别拍摄的店铺照片获得两个店铺的位置 S_1 和 S_2 ,其中 S_1 是起始店铺位置, S_2 是结束店铺位置;三、利用两个店铺的位置 S_1 和 S_2 的坐标,在道路中识别出对应的起点 p_s 和终点 p_e :如图2所示,计算出矩形的中心点坐标 $C(S_1)$, $C(S_2)$;该校准算法需要满足三个限制条件:首先,向量 $\overline{c_1c_2}$ 和向量 $\overline{p_sp_e}$ 不相交,其次, $\overline{p_sc_1}$ 、 $\overline{p_ec_2}$ 均垂直于向量 $\overline{c_1c_2}$,最后, $\overline{p_sc_1}$ 和 $\overline{p_ec_2}$ 的距离之和最小,这一点用来保证用户距离店铺很近;从道路中距离坐标(0,0)最近的点 p_0 开始,使用DFS(深度优先搜索)算法遍历所有道路像素,找出满足上述三个限制条件的起点 p_s 和终点 p_e ,并选择满足 p_0 到 $\overline{p_sp_e}$ 的垂直距离最小的 p_s 和 p_e ,根据起点 p_s 和终点 p_e 的坐标计算出步行的像素距离 $l(p_s, p_e)$ 和朝向 $\theta(\overline{p_sp_e})$:

$$[0048] \quad l(p_s, p_e) = \sqrt{(x_{p_e} - x_{p_s})^2 + (y_{p_e} - y_{p_s})^2}$$

$$[0049] \quad \theta(\overline{p_sp_e}) = \arctan\left(\frac{x_{p_e} - x_{p_s}}{y_{p_s} - y_{p_e}}\right), \quad y_{p_e} \neq y_{p_s}$$

[0050] 其中, $\theta(\overline{p_sp_e})$ 代表向量 $\overline{p_sp_e}$ 和y轴反向的夹角;结合用户状态估计组件测量用户的实际步数 w 和步行方向 θ_e ,根据用户在地图上的行走步数和行走方向,计算导航地图的比例尺 S_{ca} 和校准后的朝向 Ang :

$$[0051] \quad Sca = 1 (p_s, p_e) / w$$

$$[0052] \quad Ang = \theta(\overline{p_s p_e}) - \theta_e。$$

[0053] 在本实施例中导航模块通过路径规划器规划出一条从用户当前位置到达目的地的导航路径中,所述用户当前位置即导航的起点的定位包括:用户拍摄包含附近店铺名称的照片,通过识别照片提取出店铺名称的文本,并在导航地图上使用文本匹配查询店铺坐标;根据店铺矩形 S_s ,计算矩形中心的坐标为 $c(S_s)$;当用户正在拍照时,脸的朝向与智能终端z轴在地球坐标下的投影方向相反,同理计算智能终端Y轴在地球坐标下的方向;通过智能终端的指南针和加速度计得到用户在地球坐标系下的拍摄方向 δ ,然后,遍历路径上的所有点,找到满足下式的用户站立点 p_s 作为导航的起点:

$$[0054] \quad \min error_{ang} = \theta(\overline{p_s c(S_s)}) - Ang - \delta$$

[0055] 即最小化计算出的地球坐标系下的拍摄方向 $\theta(\overline{p_s c(S_s)}) - Ang$ 和使用传感器测得的拍摄方向 δ 之间的角度误差。因为地图本身可能并不是上北下南,所以Ang为之前计算出来的地图的初始朝向(即地图坐标系下的正北方向与地球坐标系下的正北方向的夹角),Theta角为测量出来的拍摄方向,转化到实际的地图坐标系下要减去Ang,计算该值和传感器测得的拍摄朝向之间的差,使其最小。

[0056] 在本实施例中导航模块在用户指定目的地后,通过路径规划器规划出一条从用户当前位置到达目的地的导航路径,并根据所述用户状态估计组件输入的相关用户状态信息和所述导航路径,确定导航路径上用户的相对位置;确定导航路径中距离每个转弯的步数,具体过程包括:确定用户当前位置即导航的起点后,需用户输入目的地店铺 S_d 的名称,然后查询目的地店铺 S_d 的坐标,并获得店铺矩形的中心 $c(S_d)$;遍历导航地图道路上的所有点,找到距离 $c(S_d)$ 最近的点 p_d 即导航的终点,查询条件如下:

$$[0057] \quad \min l_{dis}^2 = \left(x_{p_d} - \frac{x_{l_t}^{S_d} + x_{r_b}^{S_d}}{2} \right)^2 + \left(y_{p_d} - \frac{y_{l_t}^{S_d} + y_{r_b}^{S_d}}{2} \right)^2$$

[0058] 获得导航的起点和导航的终点后,使用Dijkstra算法计算出最短路径 L_p ,其中,该算法是寻找最短路径的一种搜索算法,由荷兰计算机科学家狄克斯特拉于1959年提出,通过为每个节点保留目前为止所找到的从s到e的最短路径,为了记录最佳路径轨迹,记录路径上每个节点的前趋,通过回溯法找出最短路径轨迹。路径 L_p 上的点被表示为 $\{p_0, p_1, \dots, p_n\}$;遍历 L_p 中的所有路径点找到转弯位置;为了减少计算量,对于路径所在的曲线,采用Ramer-Douglas-Peucker算法减少路径中点的个数,其中,Ramer-Douglas-Peucker算法的基本思路是:对曲线的首末点虚连一条直线,求曲线上的所有点与直线的距离,并找出最大距离值 d_{max} ,用 d_{max} 与阈值 ϵ 相比:若 $d_{max} < \epsilon$,这条曲线上的中间点全部舍去;若 $d_{max} \geq \epsilon$,保留 d_{max} 对应的坐标点,并以该点为界,把曲线分为两部分,对这两部分重复使用该方法。应用该算法,保持原始路径上的点到新路径的距离小于阈值 ϵ ,初始时刻,将 p_0 和 p_n 纳入在新路径的 L_p^{new} 中,然后,如果 p_k 到线段 $p_0 p_n$ 的距离比 ϵ 大,则将 p_k 纳入 L_p^{new} 中;对于 $p_0 p_k$ 和 $p_k p_n$,迭代地划分线段直到 L_p 中没有点到新的路径段的距离大于 ϵ ;新的路径 L_p^{new} 由 $\{p_0^{new}, p_1^{new}, \dots, p_m^{new}\}$ 这m个点组成,对于路径中的任一点 $p_i^{new} (i \neq 0, m)$,计算 $\overline{p_{i-1}^{new} p_i^{new}}$ 和 $\overline{p_i^{new} p_{i+1}^{new}}$ 之间的夹

角 θ_i ;设置拐角的角度阈值为 mini_angle ,即当 θ_i 大于 mini_angle 时,该点才是拐点;给定用户在 Δt 时间内的行走步数 w_t ,每一步的朝向 $\theta_i^i (i=0,1,\dots,w_t)$,计算出用户在 Δt 内移动的像素距离:

$$[0059] \quad l_p(\Delta t) = \sum_{i=1}^{\overline{\theta}_t} Sca \cdot \cos\left(\theta_i^i + Ang - \theta\left(\overline{p_i^{new}} \overline{p_{i+1}^{new}}\right)\right)$$

[0060] 根据计算出的 $l_p(\Delta t)$,更新用户行走的轨迹并且给予导航提示,其中,提示的内容包括当前行走方向,下一个拐弯的方向以及距离下一个拐弯的步数。

[0061] 所述导航模块在开始导航前,用户需要对智能终端的指南针进行八字校准。但由于不同位置的磁场干扰不同,在用户行走过程依然可能出现指南针指示方向的误差。错误行走方向将会导致移动的像素距离的不准确估计。

[0062] 在导航期间,依靠用户不断地对指南针进行手动校准是不可行的。因此,需要依靠陀螺仪自动调整行走方向。行走过程中,手机的方向变化通常在陀螺仪的安全范围内。因此,与指南针相比,在短时间内陀螺仪可以提供更精确的手机方向变化的估计。使用陀螺仪,在给定初始方向的基础上,可以通过对短时间的方向变化进行积分来估计瞬时朝向。因此,从陀螺仪导出的朝向估计误差在长时间的步行中会不断累积。

[0063] 指南针校准的基本思想是,短时间 Δt 内,如果由智能终端的指南针和加速度计计算出的方向变化的差值小于阈值 $\Delta \max(\theta)$,则使用指南针计算的瞬时方向表示行走方向,并重置陀螺仪的参考方向,否则,利用从陀螺仪计算出的方向作为步行方向,但是一旦陀螺仪的参考方向长时间不被校准,则陀螺仪的累积误差不能忽略。本发明通过道路宽度的边界检测陀螺仪累积误差的大小,确保用户必须在道路区域中行走,使得沿着垂直道路方向的累积步行长度应该被限制于道路区域中,在短时间 Δt 中,移动的长度 $l_v(\Delta t)$ 为:

$$[0064] \quad l_v(\Delta t) = \sum_{i=1}^{\overline{\theta}_t} \sin\left(\theta_i^i + Ang - \theta\left(\overline{p_i^{new}} \overline{p_{i+1}^{new}}\right)\right);$$

[0065] 设置阈值 max_width 表示垂直于道路方向上的最大距离的约束,当累积的 l_v 大于 max_width 时,用户手动对指南针进行调整;

[0066] 行走方向的调整过程如下:输入:原先的行走方向 $\theta(t)$,由陀螺仪得到的行走方向 $\theta_g(t+\Delta t)$,由加速度计和指南针得到的行走方向 $\theta_c(t+\Delta t)$;输出:当前的行走方向 $\theta(t+\Delta t)$;

[0067] 如果 $||\theta_g(t+\Delta t) - \theta(t)| - |\theta_c(t+\Delta t) - \theta(t)|| < \Delta \max(\theta)$,则当前的行走方向 $\theta(t+\Delta t)$ 为: $\theta(t+\Delta t) = \theta_c(t+\Delta t)$,并将陀螺仪的参考方向设置为 $\theta_c(t+\Delta t)$;否则,当前的行走方向 $\theta(t+\Delta t)$ 为: $\theta(t+\Delta t) = \theta_g(t+\Delta t)$ 。

[0068] 除了方向误差,由于用户的步长难以保持恒定,步数误差不断累积引起位置估计发生偏差。所述导航模块在导航期间,通过自动检测沿途的兴趣点(POI)调整导航地图的比例尺:若兴趣点为拐点,一个拐点是 $p_k^{new} (k=0,1,\dots,m)$,拐角大小为 θ_k ,从 p_0^{new} 到 p_k^{new} 的像素距离为:

$$[0069] \quad l(p_0^{new}, p_k^{new}) = \sum_{i=0}^{k-1} l(p_i^{new}, p_{i+1}^{new})$$

[0070] 当用户接近 p_{i+1}^{new} 时,根据陀螺仪得到实际发生拐弯的时间 Ω ;在时间 Ω ,沿路径方

向上的实际步数 $l_{f(t)}$ 为:

$$[0071] \quad l_{f(t)} = \sum_{i=0}^{\Omega} \sum_{i=1}^{\omega_i} \cos \left(\theta_i^i + \text{Ang} - \theta \left(p_i^{\text{new}} p_{i+1}^{\text{new}} \right) \right)$$

[0072] 从而得到新的比例尺 Sca^{new} 为

$$[0073] \quad Sca^{\text{new}} = l(p_0^{\text{new}}, p_k^{\text{new}}) / l_{f(t)}。$$

[0074] 需要说明的是,图2为本发明实施例提供的地图坐标系示意图,图中 X_m 表示地图中的X轴, Y_m 表示地图中的Y轴, $X_e(E)$ 表示地球坐标系下的正东方向, $Y_e(N)$ 表示地球坐标系下的正北方向。图3为本发明实施例提供的手机坐标系示意图,图中 $Y(R011)$ 表示手机坐标系Y轴, $Z_e(\text{Gravity})$ 方表示重力反方向, $Y_e(N)$ 方表示地球坐标系下的正北方向, $X_e(E)$ 地球坐标系下的正东方向。

[0075] 值得一提的是,本发明已在Android 5.0上实现。本发明对手机硬件没有特殊要求,因此可用于大多数现代手机。我们使用华为Mate7和XiaoMi MI4对本发明进行测试。实验结果表明,本发明为室内导航提供了一种方便的方式,并有效地将用户引导到相应的目的地。

[0076] 对于阈值参数,本实施例进行了较为保守的设置。对于从照片中提取道路的阈值 δ_{col} ,较大的 δ_{col} 能够容忍不同光照情况的影响,但是引起道路像素选择的假阴性。假阴性会导致道路拓扑结构的不准确提取。为了平衡两者,我们赋予 δ_{col} 一个适中的值14。在路径规划中, ϵ 决定了道路中点的数量。 ϵ 越大,路径中点的数量越少,新的路径会偏离原始路径的拓扑结构。相反,大量的路径点增加了拐点错误检测的概率,从而给出错误的提示。本发明采用一个自适应方法自动选择 ϵ 。根据经验,人们通常忽略小于 10° 的转弯。因此,我们将拐弯的最小度数 min_degree 设置为 10° 。为了控制指南针误差的影响,我们保守地将 $\Delta_{\max}(\theta)$ 和 max_width 设置为比较小的值 5° 和5步。

[0077] 本发明的技术方案利用智能终端如手机、平板等拍摄室内地图的照片,计算出地图中的相关物理信息如比例尺和方向;提取道路,规划路径;根据规划的路径将用户信息与路径关联,指引用户到达目的地。本发明不需要预先收集信息或预先部署基础设施,利用生活中广泛存在的室内地图,充分挖潜已有室内地图中的信息,结合智能终端自带的手机传感器,提供端到端精确室内导航服务。

[0078] 本领域普通技术人员可以理解实现上述实施例方法中的全部或部分流程,是可以通过计算机程序来指令相关的硬件来完成,所述的程序可存储于一计算机可读取存储介质中,该程序在执行时,可包括如上述各方法的实施例的流程。其中,所述的存储介质可为磁碟、光盘、只读存储记忆体(Read-Only Memory,ROM)或随机存储记忆体(Random Access Memory,RAM)等。

[0079] 注意,上述仅为本发明的较佳实施例及所运用技术原理。本领域技术人员会理解,本发明不限于这里所述的特定实施例,对本领域技术人员来说能够进行各种明显的变化、重新调整和替代而不会脱离本发明的保护范围。因此,虽然通过以上实施例对本发明进行了较为详细的说明,但是本发明不仅仅限于以上实施例,在不脱离本发明构思的情况下,还可以包括更多其他等效实施例,而本发明的范围由所附的权利要求范围决定。

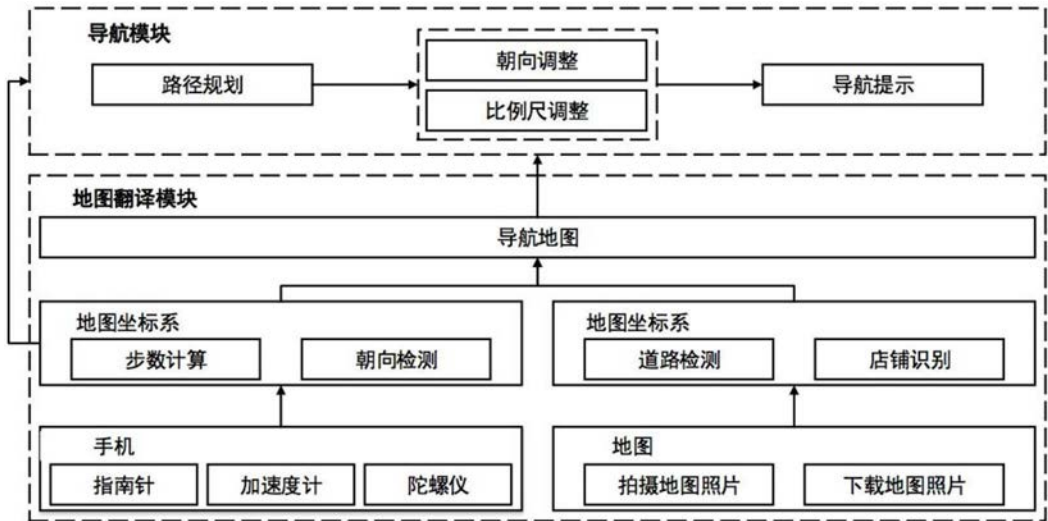


图1

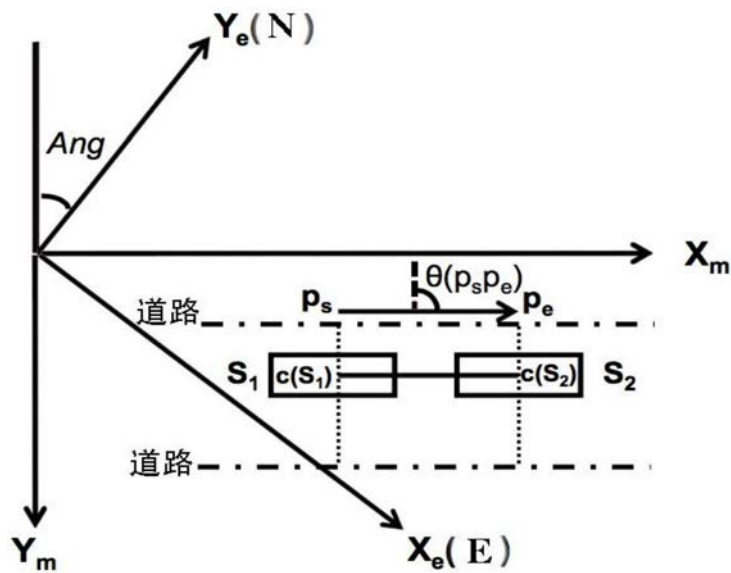


图2

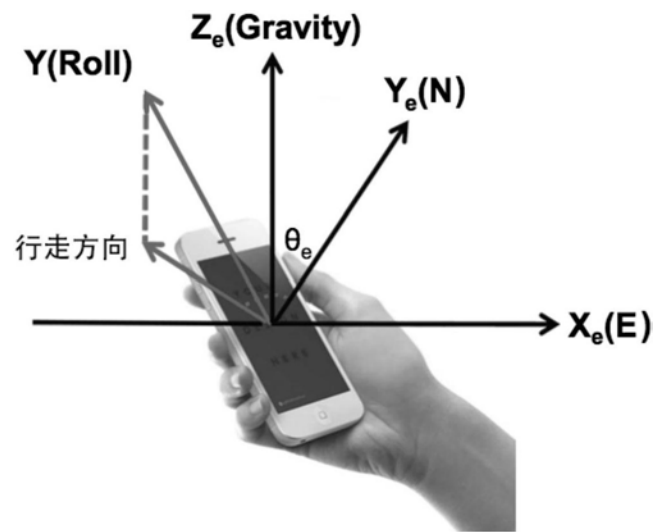


图3