



面向行人导航的注视方向估计模型

周 沙^{1,2,3} 牛继强^{1,2,3} 徐 丰^{1,2,3} 潘晓芳^{1,2,3} 甄文杰⁴ 钱颖月⁴

1 信阳师范学院地理科学学院,河南 信阳,464000

2 河南省淮河流域遥感大数据与智能分析工程研究中心,河南 信阳,464000

3 河南省水土环境污染协同防治重点实验室,河南 信阳,464000

4 中国地质大学(武汉)地理与信息工程学院,湖北 武汉,430000

摘要:准确捕捉视觉注视方向可有效提高行人导航效率和安全性,由于现有注视方向估计方法无法满足行人导航对便携性的需求,由此提出了一种利用智能眼镜估计行人注视方向的模型。首先,利用尺度不变特征变换特征度量注视图像和街景视图的相似度;然后,根据行人和街景视图间的位置关系建立行人注视方向估计模型。实验选取两个校园场景中的28个测试点估计行人注视方向,结果表明,所提模型估计精度显著优于忽略位置关系的行人注视方向估计模型,且在相同场景中与行人位置变化无关。

关键词:行人导航;注视方向估计;注视图像;街景视图;图像相似度

中图分类号:P208

文献标志码:A

行人导航是位置服务领域研究的热点问题之一^[1-8]。构建面向行人导航的注视方向估计模型对于提高导航效率和安全性具有重要意义。视觉交互式行人导航利用注视方向这一关键反馈信息辅助行人寻路^[9-10],其用户无需经常观察导航屏幕,可将注意力集中在其他寻路任务上,如避让障碍物、行人、车辆等^[11-13]。

目前,注视方向估计方法主要依赖于头戴式相机和深度相机。例如,一些学者利用头戴式相机或/和红外装置捕捉标准人眼图像,并以此为基础描述眼球几何信息从而估计注视方向^[14];一些研究则提出在自然光条件下利用局部人眼特征构建人眼几何信息^[15]。这些头戴设备在很多实际应用中具有一定侵入性,且无法适应不同用户和头部姿态变化。为解决该问题,学者们提出利用深度相机估计注视方向^[16-17]。然而,这些基于深度相机的注视方向估计方法无法满足行人导航对便携性的需求。

便携式的智能眼镜可用于捕捉注视图像,该图像可近似表达行人视觉注视。注视图像的朝向为注视方向,该朝向未知。行人步行环境可采

用街景视图替代,用户可调用任意朝向的街景视图,即街景视图朝向已知。利用图像匹配方法可确定注视图像与街景视图的相似度。一般情况下,最匹配的街景视图与注视图像朝向近似或相等。因此,本文面向行人导航需求,提出以智能眼镜采集的注视图像和街景视图作为输入数据,利用图像相似度估计行人注视方向。

1 行人注视方向估计模型

1.1 图像相似度度量

街景地图服务提供了大量可供用户调用的街景视图,且其属性(朝向、尺寸等)可由用户指定。设 S_{IMG} 为街景视图序列,由水平方向(倾角和仰角为 0°)均匀采样的街景视图集合构成(见图1)。例如 S_{IMG} 为 $\{s_1, s_2, s_3 \cdots s_i \cdots s_n\}$,其中, s_i 表示某个给定的街景视图集合中一个朝向为 h_i 的元素;两个相邻元素间的间隔为 A_s 。注视图像可由智能眼镜内置相机捕捉。设 S_{PHT} 为注视图像序列,其由一个从行人环视范围(初始注视方向移动至当前注视方向间的角度)内不同方向均匀采样的注视

收稿日期:2020-09-01

项目资助:国家自然科学基金(41771438,41671405,41701449,41701446,41971356);河南省科技计划(212102310027);河南省高等学校重点科研项目(19A170012);河南省自然科学基金(202300410345);河南省研究生教育改革与质量提升工程(HNYJS2020JD14);信阳师范学院南湖学者奖励计划青年项目。

第一作者:周 沙,博士,讲师,主要从事行人导航和位置描述的理论与方法研究。zhousha@xynu.edu.cn

通讯作者:牛继强,博士,教授。niujiqiang@xynu.edu.cn

图像集合构成(见图 1)。例如 S_{PHT} 为 $\{g_1, g_2, g_3 \dots g_j \dots g_c\}$, 其中, g_j 的朝向为行人注视方向 v_j, v_1 和 v_c

分别为行人初始注视方向和当前注视方向; 两相邻元素间的角度间隔为 A_p 。

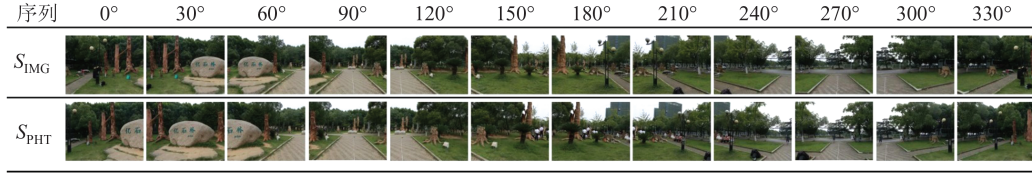


图 1 街景视图和注视图像序列

Fig.1 Diagram of Sequences of Street View Images and Gaze Photos

街景视图和注视图像的相似度计算公式为:

$$M = \frac{n_{\text{match}}}{\min(n_s, n_p)} \quad (1)$$

式中, n_s 和 n_p 分别表示从 s_i 和 g_j 中提取的尺度不变特征变换(scale invariant feature transform, SIFT)的特征个数; n_{match} 为 s_i 和 g_j 中能匹配上的 SIFT 特征个数。

SIFT 特征提取步骤为:

- 1) 构建尺度空间;
- 2) 获取初始关键点;
- 3) 提高关键点位置精度;
- 4) 剔除不合适的关键点;
- 5) 计算关键点方向;
- 6) 计算关键点特征^[18-19]。

需要注意的是, 本文涉及的图像匹配均指拍摄位置接近的 S_{IMG} 和 S_{PHT} 中各元素的匹配。

1.2 异位估计法

通常, 街景视图位置(L_s)与行人位置(L_p)不同, 即异位。此时, S_{IMG} 和 S_{PHT} 中各元素之间的相似度可能受 L_s 和 L_p 间空间方位关系的影响。例如, 当注视图像朝向为 α 时, 与其最匹配的街景视图朝向可能为 β (如图 2 所示), 即 g_α 与 s_β 最匹配。在这种情况下, 若只考虑注视图像与 S_{IMG} 中所有元素的相似度, 那么估计结果为 $\alpha = \beta$ 。然而, 由图 2 可知, α 明显大于 β 。

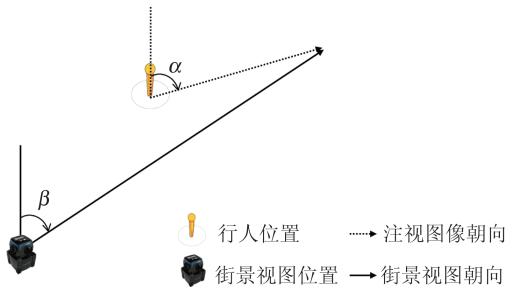


图 2 估计误差示意图

Fig.2 Diagram of Estimation Error

当街景视图与行人异位时, 存在两种特殊情况: $\alpha = \beta = \gamma$ 和 $\alpha = \beta = \delta$ 。其中, γ 为 $L_s L_p$ 线段与正北之间的夹角 (如图 3 所示), δ 与该角相差 180° 。当 $L_s(x_s, y_s)$ 和 $L_p(x_p, y_p)$ 已知时, γ 可通过反余弦函数求得, δ 则可通过下式求得:

$$\delta = \begin{cases} \gamma - 180, & x_p < x_s \\ \gamma + 180, & x_p \geq x_s \end{cases} \quad (2)$$

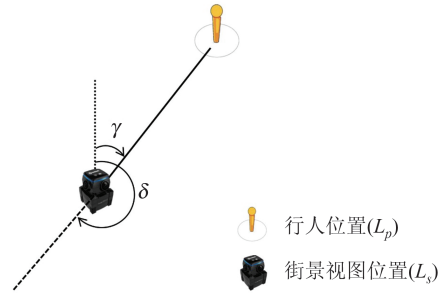


图 3 街景视图选择示例

Fig.3 Diagram of Street View Images Selection

在这两种特殊情况下, g_γ 与 s_γ 以及 g_δ 与 s_δ 的相似度更高。因为通常 g_γ 捕捉的空间对象均包含于 s_γ 中, g_δ 则包含 s_δ 捕捉的所有地理对象。

将 s_γ 或/和 s_δ 与 S_{PHT} 中所有元素进行匹配, 那么根据相似度 (由式 (1) 求得) 可以得到最匹配的一组。设该组中某个 g 的朝向为 v_η , 若它与 s_γ 最匹配, 则假设估计结果为 $v_\eta = \gamma$; 若与 s_δ 最匹配, 则结果为 $v_\eta = \delta$ 。此时, 行人当前注视方向 (v_c) 为:

$$v_c = v_\eta + (c - \eta) A_p \quad (3)$$

式中, c 和 η 对应 g 的编号。

由以上描述可知, 街景视图位置 (L_s) 和行人位置 (L_p) 的误差直接影响注视方向估计精度。例如, 当 L_s 没有误差而 L_p 存在误差 ϵ , 且行人与街景视图异位时 ($d > \epsilon$, 如图 4 (a) 所示, 其中 $L_s L_p = d$), $L_s L_p$ 线段与正北之间的夹角不再是 γ , 而是 γ_ϵ ($\gamma_\epsilon = \gamma \pm \Delta\gamma$, $\Delta\gamma$ 为角度误差, 具体计算过程参考文献[20])。设与 s_{γ_ϵ} 或 s_{δ_ϵ} 最匹配的 g 的朝

向为 v'_η , 其中 γ_ϵ 与 δ_ϵ 相差 180° , 故考虑位置误差时, 行人当前注视方向 v_c 为:

$$v_c = v'_\eta + (c - \eta)A_p \quad (4)$$

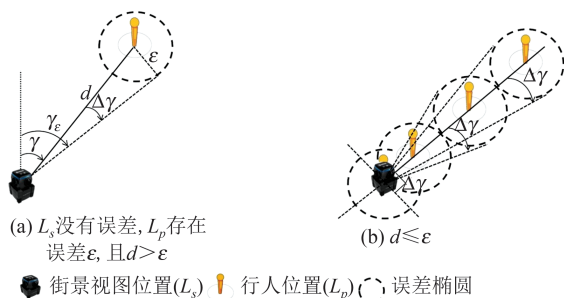


图4 角度误差示意图

Fig.4 Diagram of Angular Errors

1.3 同位估计法

行人与街景视图从异位到不确定同位^[21]时 ($d \leq \epsilon$), 行人越靠近街景视图, $\Delta\gamma$ 越大, 当两者同位时, 其变化范围为 90° 至 180° (见图4(b))。此时利用式(4)估计的行人注视方向可能与实际注视方向相反。行人与街景视图非常接近甚至同位时, 可直接将行人当前注视图像(g_c)与该位置处 S_{IMG} 中的所有元素(s_i)进行匹配, 取相似度最高的一组中的 s 的朝向(h_ζ)作为行人当前注视方向(v_c), 即:

$$v_c = h_\zeta \quad (5)$$

其中, g_c 和 s_i 的相似度可由式(1)求得, 匹配示例见图5。

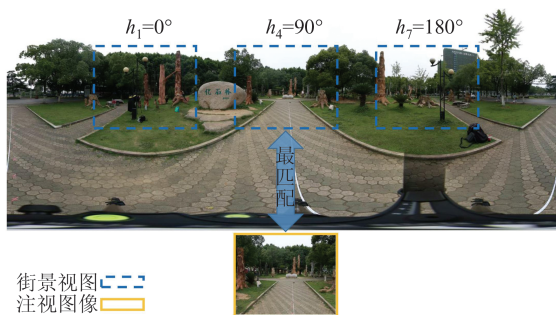


图5 同位匹配

Fig.5 Diagram of Image Matching While Overlapping

1.4 注视方向估计模型

顾及位置关系的行人注视方向估计模型可以表示为:

$$v_c = \begin{cases} v'_\eta + (c - \eta)A_p, & L_s \neq L_p, v_s \geq 180^\circ \\ h_\zeta, & L_s = L_p \end{cases} \quad (6)$$

其中, 行人环视范围 v_s 应大于或等于 180° , 该条件可保证至少有一个 g 的朝向等于或者约等于 γ_ϵ 或 δ_ϵ , 否则将无法利用 s_{γ_ϵ} 和 s_{δ_ϵ} 估计行人注视方向。

此外, 当估计结果大于等于 360° 时, 估计的注视方向应减去 360° 。寻路过程中, 行人的首要任务是确定水平方向的地标方位和前进方向, 故本文不考虑行人注视方向在垂直方向上的变化。面向行人导航的注视方向估计流程如图6所示。

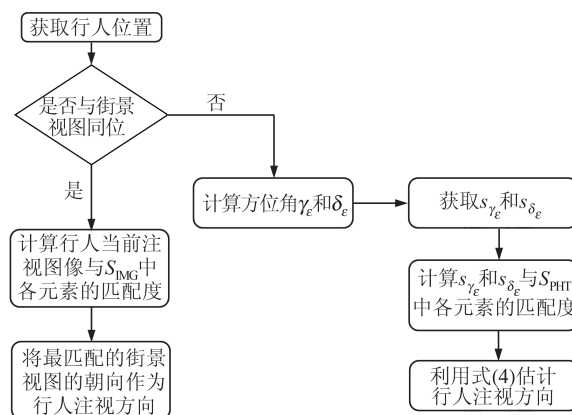


图6 行人注视方向估计流程

Fig.6 Flowchart of Gaze-Direction Estimation for Pedestrians

2 行人注视方向估计实验

2.1 数据采集与处理

本文实验以中国地质大学校园内两个测试场景(见图7)作为街景视图拍摄区域。两个区域中28个拍摄位置分布及间隔如图8所示, 其中, 坐标原点处行人位置与街景视图位置重叠。在估计行人注视方向时, 两序列中各相邻元素间的切割间隔均为 30° , 即 S_{IMG} 和 S_{PHT} 中各相邻元素之间的间隔(A_s 和 A_p)均为 30° 。注视方向估计过程中, 两个序列包含的各元素均为 256×256 像素的 JPEG 格式。



图7 测试场景

Fig.7 Test Scenes

位于决策点处的行人初始扫视角度不是一成不变的, 这将导致 S_{IMG} 和 S_{PHT} 中各元素的朝向之间存在差异。为了验证这种差异对估计误差的影响, 本文实验将各 S_{PHT} 的初始扫视角度分别设置为 0° 、 5° 、 10° 和 15° 。

基于上述实验数据, 对比分析了本文模型和忽略位置关系模型的注视方向估计精度。忽略

位置关系模型不考虑行人与街景视图间的位置关系,仅利用图像相似度估计注视方向(由式(5)实现)。

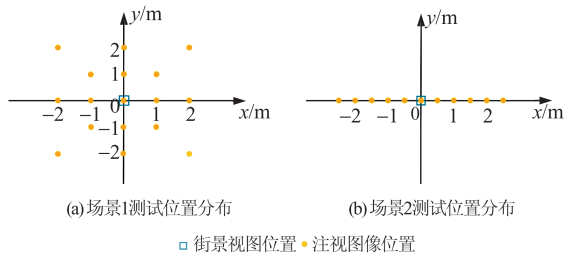


图 8 街景视图和注视图像位置分布

Fig.8 Distribution of Positions of Street View Images and Gaze Photos

2.2 结果分析

不同初始扫视角度下,28个测试点处的估计精度如图 9 所示。从图 9(b)和 9(d)中可以看出,本文模型仅在初始扫视角度为 5° 和 15° 时,测试点 1 处的估计误差大于 20° 。然而,忽略位置关系模

型,则在各个初始扫视角度下,多个测试点处的估计误差均超过了 20° ;而且本文模型的平均估计误差(9.26°)小于忽略位置关系模型的平均估计误差(14.18°)。为进一步对比分析两种模型的差异性,本文以这两种方法的注视方向估计结果作为测试变量执行了配对样本 t 检验。当初始扫视角度为 0° 和 5° 时,两模型估计误差间无显著性差异(P 值分别为 0.65 和 0.08,两者均大于 0.05)。但是,忽略位置关系模型组的估计误差均值都大于本文模型组的估计误差均值。而且,当初始扫视角度为 10° 和 15° 时,忽略位置关系模型组的估计误差均值均显著大于本文模型组的误差(P 值均为 0,小于 0.05),故本文提出的注视方向估计模型显著优于忽略位置关系的模型。当行人处于不同位置时,其相对于街景视图的距离或/和方向会发生变化。实验结果表明,该变化对本文模型的估计精度并没有影响。相同场景中,估计误差不会随测试距离的增大而增大。因此,本文模型的估计精度不受行人位置变化的影响。

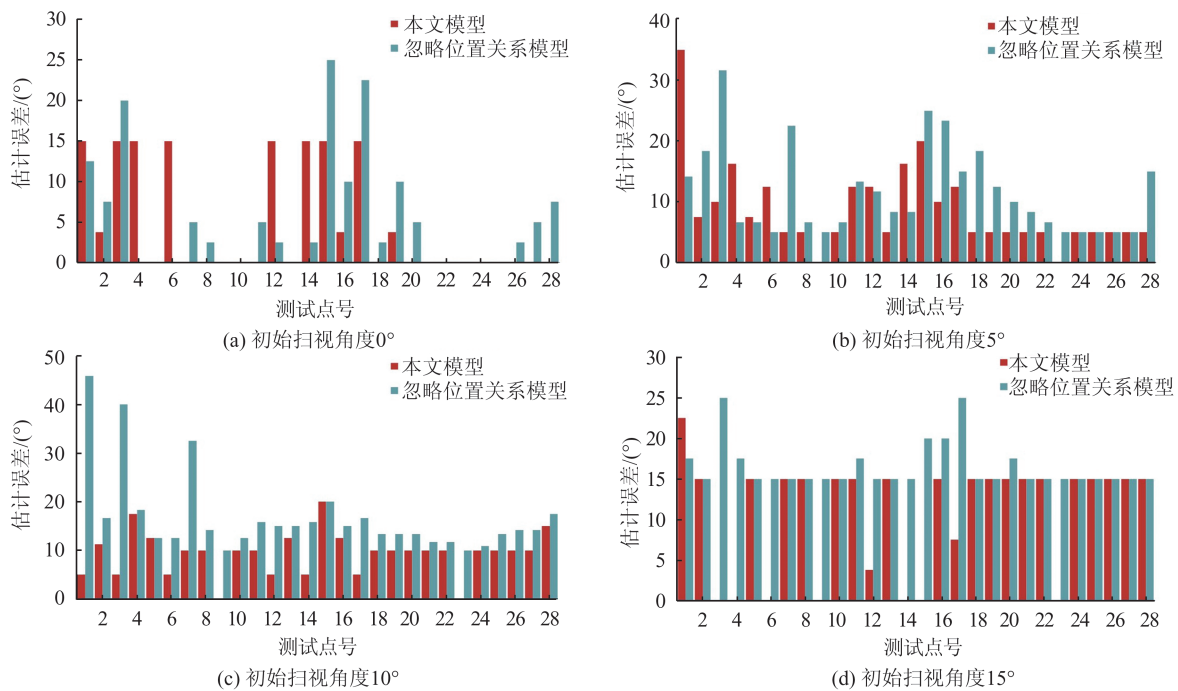


图 9 本文模型与忽略位置关系模型的估计误差对比

Fig.9 Comparison of Estimation Errors Between Our Model and the Model Ignoring Positional Relationship

2.3 方法对比

本文方法中,行人在寻路过程中没有用到文献[16-17]中的深度相机,故无法获取所需输入数据,即人脸信息(见表 1),而是利用便携式的智能眼镜捕捉的注视图像和街景视图估计行人注视方向,并且平均估计误差较小。虽然本文模型的

平均估计误差比文献[17]的大 4.73° ,但对于行人寻路而言,该误差在可接受范围内,因为行人头部些微转动就有 10° 左右。因此,本文提出的面向行人导航的注视方向估计模型相比其他方法更具可行性。综上所述,本文提出的行人注视方向估计模型是可靠的。具体表现在:(1)该模型显

著优于忽略位置关系的注视方向估计模型;(2) 利用智能眼镜获取数据的形式可满足行人导航估计精度在相同场景中与行人位置变化无关;(3) 对于便携性的需求。

表1 注视方向估计方法对比
Tab.1 Comparison of Our Model with Existing Methods

方法	传感器	输入数据	平均估计误差/(°)
文献[16]方法	深度相机	人脸信息	9.2
文献[17]方法	RGB-D深度相机	人脸信息	4.53
本文模型	智能眼镜的相机	注视图像和街景视图	9.26

3 结 语

本文首先利用图像相似度构建了一种面向行人导航的注视方向估计模型,随后通过模拟实验验证了该模型的可靠性。结果表明,该模型估计精度显著优于忽略位置关系的注视方向估计模型,且估计精度不受行人位置变化的影响。此外,该模型可利用便携式的智能眼镜估计注视方向,故适用于行人导航。需要注意的是,本文提出的注视方向估计模型不适用于具有对称性的场景(如草原、剧院等),未来将研究如何有效提高该模型在不同场景中的鲁棒性。

参 考 文 献

[1] Fang Zhixiang, Xu Hong, Shaw Shihlung, et al. Pedestrian Navigation Research Trend: From Absolute Space to Relative Space-Based Approach[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2018, 43(12): 2 173-2 182(方志祥, 徐虹, 萧世伦, 等. 绝对空间定位到相对空间感知的行人导航研究趋势[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2018, 43(12):2 173-2 182)

[2] Zhao Wenye, Gao Jingxiang, Li Zengke, et al. An Indoor Positioning System Based on Map-Aided KF-PF Module[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2018, 43(5): 806-812(赵文晔, 高井祥, 李增科, 等. 地图匹配辅助的KF-PF室内定位算法模型[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2018, 43(5):806-812)

[3] Fang Zhixiang, Li Qingquan, Zhang Xing, et al. A GIS Data Model for Landmark-based Pedestrian Navigation[J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2012, 26(5): 817-838

[4] Fang Zhixiang, Li Ling, Li Bijun, et al. An Artificial Bee Colony-Based Multi-objective Route Planning Algorithm for Use in Pedestrian Navigation at Night[J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2017, 31(10): 2 020-2 044

[5] Fang Zhixiang, Li Qingquan, Zhang Xing. A Multi-objective Model for Generating Optimal Landmark Sequences in Pedestrian Navigation Applications[J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2011, 25(5): 785-805

[6] Zhang Xing, Li Qingquan, Fang Zhixiang, et al. Landmark and Branch-Based Pedestrian Route Complexity and Selection Algorithm[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2013, 38(10): 1 239-1 242(张星, 李清泉, 方志祥, 等. 顾及地标与道路分支的行人导航路径选择算法[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2013, 38(10):1 239-1 242)

[7] Zhang Xing, Li Qingquan, Fang Zhixiang. An Approach of Generating Landmark Chain for Pedestrian Navigation Applications[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2010, 35(10): 1-240-1 244(张星, 李清泉, 方志祥. 面向行人导航的地标链生成方法[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2010, 35(10):1 240-1 244)

[8] Zhou Sha, Wang Run, Ding Junhua, et al. An Approach for Computing Routes Without Complicated Decision Points in Landmark-Based Pedestrian Navigation[J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2019, 33(9): 1 829-1 846

[9] Liao Hua, Dong Weihua, Huang Haosheng, et al. Inferring User Tasks in Pedestrian Navigation from Eye Movement Data in Real-World Environments[J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2019, 33(4): 739-763

[10] Gkonos C, Giannopoulos I, Raubal M. Maps, Vibration or Gaze? Comparison of Novel Navigation Assistance in Indoor and Outdoor Environments[J]. *Journal of Location Based Services*, 2017, 11(1): 29-49

[11] Giannopoulos I, Kiefer P, Raubal M. GazeNav: Gaze-Based Pedestrian Navigation [C]//The 17th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services, Copenhagen, Denmark ,2015

- [12] Anagnostopoulos V, Havlena M, Kiefer P, et al. Gaze-Informed Location-Based Services[J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2017, 31(9): 1770-1797
- [13] Zhou Sha. Research on the Key Technologies of Landmark-Based Pedestrian Navigation [D]. Wuhan: China University of Geosciences, 2017(周沙. 基于地标的行人导航关键技术研究[D]. 武汉: 中国地质大学, 2017)
- [14] Guestrin E D, Eizenman M. General Theory of Remote Gaze Estimation Using the Pupil Center and Corneal Reflections[J]. *IEEE Transactions on biomedical engineering*, 2006, 53(6): 1 124-1 133
- [15] Valenti R, Gevers T. Accurate Eye Center Location Through Invariant Isocentric Patterns[J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2011, 34(9): 1 785-1 798
- [16] Fanelli G, Weise T, Gall J, et al. Real Time Head Pose Estimation from Consumer Depth Cameras [C]//Joint Pattern Recognition Symposium, Berlin, Germany, 2011
- [17] Funes-Mora K A, Odobez J. Gaze Estimation in the 3D Space Using RGB-D Sensors[J]. *International Journal of Computer Vision*, 2016, 118 (2) : 194-216
- [18] Lowe D G. Object Recognition from Local Scale-Invariant Features [C]//The 7th IEEE International Conference on Computer Vision, Kerkyra, Greece, 1999
- [19] Lowe D G. Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints [J]. *International Journal of Computer Vision*, 2004, 60(2): 91-110
- [20] Xu Feng, Niu Jiqiang, Li Zhuofan. Quantitative Evaluation Model of the Uncertainty of Multi-granularity Space Direction Relations Based on Rough-Set [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2015, 40(7): 971-976(徐丰, 牛继强, 李卓凡. 基于粗集的多粒度空间方向关系不确定性定量评价模型[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2015, 40(7):971-976)
- [21] Cai Jianhong, Li Deren. Research on Cone-shaped Models of Cardinal Direction Relations Considering Positional Uncertainty of Multiple Spatial-scale Data [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2007, 32(8): 735-739(蔡剑红, 李德仁. 多尺度下的不确定性空间方向锥形模型研究[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2007, 32(8): 735-739)

Estimating Gaze Directions for Pedestrian Navigation

ZHOU Sha^{1,2,3} NIU Jiqiang^{1,2,3} XU Feng^{1,2,3} PAN Xiaofang^{1,2,3}
ZHEN Wenjie⁴ QIAN Haoyue⁴

1 School of Geographic Science, Xinyang Normal University, Xinyang 464000, China

2 Henan Engineering Research Center for Remote Sensing Big Data and Intelligent Analysis of Huaihe River Basin, Xinyang 464000, China

3 Henan Key Laboratory for Synergistic Prevention of Water and Soil Environmental Pollution, Xinyang 464000, China

4 School of Geography and Information Engineering, China University of Geosciences(Wuhan), Wuhan 430000, China

Abstract: Objectives: Accurately capturing gaze directions of pedestrians can effectively improve the efficiency and the safety of pedestrian navigation. Traditional methods of gaze direction estimation are somewhat invasive in many practical applications and unadapted to different users and head pose variations, and unsuitable for pedestrian navigation in terms of the portability of the corresponding devices. Accordingly, we propose a model to estimate the gaze directions of pedestrians using smart glasses. **Methods:** Based on scale invariant feature transform features, we first measure the similarity degree between gaze photos and street view images. Then we propose a method to estimate gaze directions while pedestrians and street view images are disjoint. When pedestrians and street view images are overlapped, we develop another estimation method that considers the position error of pedestrians. Furthermore, we establish a gaze-direction estimation model that considers the positional relationship between pedestrians and street view images. Finally, we select two real-world scenes to verify the reliability of the proposed estimation model of

(下转第 735 页)

set-partitioning and other optimization strategies. The basic modules such as initial solution generation method, local search operators, solution perturbation, model building and solving, and search strategies, are provided in the framework. Using these building blocks, some exact, metaheuristic and hybrid algorithms could be implemented effectively. Five algorithms are implemented for the FSDP: Exact method by solving a mixed integer linear programming model, simulated annealing (SA) algorithm, iterative local search (ILS) algorithm, SA with set-partitioning, and ILS with set-partitioning. In addition, four instances are designed to test the algorithms. The instance size, supply-demand ratio, and geographic environment are considered in the instance design. **Results:** There are several findings from computing experimentation: Optimal or near-optimal solutions of the instances could be obtained by CPLEX optimizer; high-quality solutions could be found by SA and ILS algorithms much more efficiently; the set-partitioning procedure is capable of improving the solution quality. **Conclusions:** Based on the proposed algorithm framework, it is easy and flexible to design local-search based matheuristics and hybrid algorithms for the FSDP. High quality solutions could be obtained by coupling the local search with ruin-recreate perturbation and set-partitioning.

Key words: facility service districting problem; spatial contiguity; mixed integer linear programming; algorithm framework; algorithm design

First author: WANG Yujing, PhD candidate, lecturer, specializes in spatial optimization. E-mail: yjwang@henu.edu.cn

Corresponding author: KONG Yunfeng, PhD, professor. E-mail: yfkong@henu.edu.cn

Foundation support: The National Natural Science Foundation of China(41871307).

引文格式: WANG Yujing, KONG Yunfeng. An Algorithm Framework for Facility Service Districting Problem[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2021, 46(5): 726-735. DOI:10.13203/j.whugis20200393(王玉璟, 孔云峰. 设施服务分区问题的求解算法框架设计[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2021, 46(5): 726-735. DOI:10.13203/j.whugis20200393)

(上接第 705 页)

gaze directions by simulation experiments. **Results:** The results show that: (1) The estimation errors of the proposed estimation model (i.e., gaze-direction estimation model considering positional relationship) are significantly lower than that of gaze-directions estimation model ignoring positional relationship. (2) In the same scenes, the estimated error does not increase with the test distances. Moreover, the average estimation accuracy of our model is almost similar to the estimation method based on depth cameras. **Conclusions:** (1) The proposed gaze direction estimation is significantly superior to the model that ignores positional relationship. (2) Pedestrian position variations have little impact on the estimation accuracies of our model in the same scene. Hence, the proposed model is suitable for pedestrian navigation and we can use portable smart glasses to estimate gaze directions.

Key words: pedestrian navigation; gaze directions estimation; gaze photo; street view; image similarity

First author: ZHOU Sha, PhD, lecturer, specializes in pedestrian navigation and place descriptions. E-mail: zhousha@xynu.edu.cn

Corresponding author: NIU Jiqiang, PhD, professor. E-mail: niujiqiang@xynu.edu.cn

Foundation support: The National Natural Science Foundation of China(41771438, 41671405, 41701449, 41701446, 41971356); the Science and Technology Planning Project of Henan Province(212102310027); the Key Scientific Research Projects for Higher Education of Henan Province(19A170012); the Natural Science Foundation of Henan Province(202300410345); the Postgraduate Education Reform and Quality Improvement Project of Henan Province(HNYJS2020JD14); the Nanhu Scholars Program for Young Scholars of Xinyang Normal University.

引文格式: ZHOU Sha, NIU Jiqiang, XU Feng, et al. Estimating Gaze Directions for Pedestrian Navigation[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2021, 46(5): 700-705. DOI:10.13203/j.whugis20200465(周沙, 牛继强, 徐丰, 等. 面向行人导航的注视方向估计模型[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2021, 46(5): 700-705. DOI:10.13203/j.whugis20200465)