

基于多模式的室内兴趣点推荐系统设计与实现

冯锦海¹ 杨连贺¹ 蒋鑫龙²

(1. 天津工业大学计算机科学与软件学院, 天津 300387; 2. 中国科学院计算技术研究所, 北京 100190)

摘 要: 现有基于无线局域网(WLAN)的定位方法能为用户提供相对精确的室内位置信息,但不能有效挖掘并利用用户移动轨迹隐藏的信息。为此,提出一种基于室内用户移动轨迹聚类的推荐算法,结合 WLAN 定位技术从用户移动轨迹中提取停留点,使用 DBSCAN 算法对停留点进行聚类分析,发现用户兴趣点并提取特性,采用决策树算法对用户进行分类,从而实现用户个性化推荐服务。基于微信平台设计并实现的室内兴趣点推荐系统验证了该算法的有效性,可为用户提供基于内容的商品推荐与个性化店铺推荐服务。

关键词: 兴趣点; 停留点; 轨迹聚类; 无线定位; 推荐系统

中文引用格式: 冯锦海, 杨连贺, 蒋鑫龙. 基于多模式的室内兴趣点推荐系统设计与实现[J]. 计算机工程, 2015, 41(8): 273-278, 285.

英文引用格式: Feng Jinhai, Yang Lianhe, Jiang Xinlong. Design and Implementation of Indoor Point of Interest Recommended System Based on Multi-mode[J]. Computer Engineering, 2015, 41(8): 273-278, 285.

Design and Implementation of Indoor Point of Interest Recommended System Based on Multi-mode

FENG Jinhai¹, YANG Lianhe¹, JIANG Xinlong²

(1. School of Computer Science & Software Engineering, Tianjin Polytechnic University, Tianjin 300387, China;

2. Institute of Computing Technology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

【Abstract】 Based on Wireless Local Area Network(WLAN), positioning methods can provide a relatively accurate indoor positioning information, but it can not effectively utilize the hidden information of user trajectory. This paper presents an recommended algorithm based on indoor user trajectory clustering, combines with WLAN positioning technology to extract Point of Interest(POI) from a user trajectory, uses DBSCAN algorithm to find and extract user POI feature and employs Decision Tree(DT) algorithm to realize user classification and personalization recommendation service. Indoor POI recommendation system based on weChat platform is designed and implemented to verify the validity of proposed algorithm, and it can provide personalized recommended and recommended service based on content for users.

【Key words】 Point of Interest(POI); point of arrest; trajectory clustering; wireless positioning; recommended system

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2015.08.050

1 概述

基于位置感知的移动服务^[1](Location-based Service, LBS)依赖于用户位置,比如线上到线下服务(Online to Offline, O2O)需要提供位置信息才能给用户提供方便快捷的服务。目前,已有一些基于移动终端的情境感知方法,此类研究成果大多通过手机获得全球定位系统(Global Positioning System, GPS)^[2]的位置信息,进而挖掘用户的重要位置或其

运动模式^[3-4]。基于 GPS 以及北斗卫星的定位系统能在户外获得用户准确坐标,但在室内由于建筑物阻挡,接收不到 GPS 信号,因此基于 GPS 的室内应用研究较少。目前,基于无线局域网(Wireless Local Area Network, WLAN)的定位方法利用成熟的无线网络基础设施,能够在室内环境下给用户相对精确的位置信息,但有关室内用户轨迹的应用只是将位置、轨迹等表面信息呈现给用户,并未对用户轨迹包含的兴趣点(Point of Interest, POI)信息进行挖

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61173066, 41201410); 广东省战略性新兴产业发展专项基金资助项目(2011912030)。

作者简介: 冯锦海(1989-),男,硕士研究生,主研方向: 无线定位、机器学习、数据挖掘; 杨连贺,教授、博士生导师; 蒋鑫龙,博士研究生。

收稿日期: 2014-08-18 修回日期: 2014-09-19 E-mail: fjhbetter@163.com

掘^[5]。事实上,用户的移动轨迹一定程度上体现了用户个人行为模式,且人们在地理空间中的移动相似性^[6-7]也反映了不同人之间品味、爱好和生活习惯的相似性。

针对以上问题,本文提出一种基于室内用户轨迹聚类的推荐算法,设计并实现了基于多模式的室内兴趣点推荐系统。利用室内定位技术获取用户在商场中的活动轨迹,根据用户去过的店铺和浏览过的商品等历史信息得出用户兴趣爱好,并使用决策树(Decision Tree,DT)算法建立用户分类模型,最终根据用户分类及推荐算法实现用户个性化推荐服务。

2 基于 WLAN 的位置识别

WLAN 定位技术的原理是每一个无线接入点(Access Point,AP)都有一个全球唯一的 MAC 地址,并且一般来说无线 AP 在一段时间内是不会移动的,设备在开启 WLAN 的情况下,即可扫描并收集周围的 AP 信号,获取到 AP 广播的 MAC 地址,设备将这些能够表示 AP 的数据发送到位置服务器,服务器检索出每一个 AP 的地理位置,并结合每个信号的强弱程度,计算出设备的地理位置并返回到用户设备^[8]。

目前,WLAN 室内定位方法主要有:基于信号到达时间(Time of Arrival,TOA)的定位方法^[9]、基于信号到达时间差(Time Different of Arrival,TDOA)的定位方法、基于信号到达角(Angle of Arrival,AOA)的定位方法^[10]和基于接收信号强度指示(Received Signal Strength Indicator,RSSI)的定位方法^[11]等。与 TOA、TDOA 和 AOA 等定位方法相比,RSSI 定位方法无需增加额外的硬件设备来进行精确的角度测量或者时间同步,即可直接利用现有的无线网络设施进行定位,大大降低了成本,并且在稳定的室内无线网络环境下,RSSI 定位方法的精确度还是很高的,因此本文采取 RSSI 定位方法。

根据初步采集的数据特征,并综合其他定位算法的优劣,采用渐进式自适应非等长数据的 K 最近邻匹配(K Nearest Neighbor,KNN)^[12]算法,样本之间距离(相似性)的度量,一般采用欧氏距离来表征,如式(1)所示:

$$d = \sqrt{\sum_{i=1}^n (RSSI_{ci} - RSSI_{pi})^2} \quad (1)$$

其中, $RSSI_{ci}$ 表示训练阶段第 i 个 AP 的 RSSI 值; $RSSI_{pi}$ 表示定位阶段第 i 个 AP 的 RSSI 值; n 表示接收到的 AP 数目。

当用户进入目标区域后,将实时扫描得到的 AP 信号值发送给服务器,服务器将客户端传来的每个

AP 点的信号强度值与已采集的值进行比对,并通过聚类算法得到最接近于实际信号强度值附近的目标区域,从而定位目标用户。

3 基于用户轨迹的聚类分析和分类研究

实现个性化系统的构建需要获取用户的需求以及建立用户的偏好模型^[13-14]。通过用户历史轨迹模型挖掘出用户爱好的频繁项集,并且这些频繁模式可以相互组合和连接,从而发现一些表征用户生活、行为规律的顺序模式^[15]。

3.1 基于用户轨迹的重要位置发现

WLAN 定位轨迹通常由一系列带有时间戳的坐标点组成,每个坐标点包含了用户在商场三维空间中的一个点。当用户来到某个商场,移动传感设备实时记录用户轨迹以及逛过的店铺和停留时间,定位系统甚至可以记录用户在店铺某个区域的停留时间,最终形成用户在商场活动的轨迹。

图 1 为利用移动端 WLAN 接收器,在各地点(P_n)和时间(T_n)接收到的 WLAN 数据,包含 AP 数量和各 AP 强度。

P	T_1	T_2	T_3	...
	(MAC,RSSI)	(MAC,RSSI)	(MAC,RSSI)	...
P_1	(AP ₁₁ -56)	(AP ₁₁ -100)	(AP ₁₁ -100)	...
	(AP ₂₁ -47)	(AP ₂₁ -87)	(AP ₂₁ -100)	...
	(AP ₃₁ -89)	(AP ₃₁ -100)	(AP ₃₁ -100)	...
...
P_m	(AP ₅₅ -100)	(AP ₅₅ -90)	(AP ₅₅ -89)	...
	(AP ₅₆ -90)	(AP ₅₆ -90)	(AP ₅₆ -91)	...
	(AP ₅₇ -100)	(AP ₅₇ -100)	(AP ₅₇ -100)	...
...
P_n	(AP _{n-25} -100)	(AP _{n-25} -100)	(AP _{n-25} -100)	...
	(AP _{n-1} -100)	(AP _{n-1} -100)	(AP _{n-1} -58)	...
	(AP _n -100)	(AP _n -100)	(AP _n -100)	...

图 1 WLAN 信号强度

后台服务器把采集到的 WLAN 数据结合室内定位技术实时记录用户轨迹。通过室内实时定位将用户的轨迹展现在二维平面^[16],如图 2 所示。

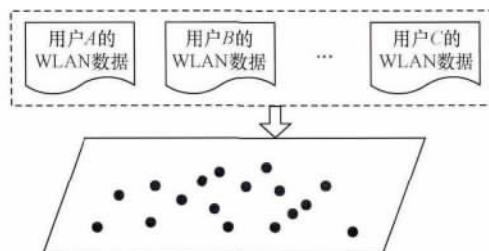


图 2 用户在商场中的轨迹

通过以下步骤发现用户的兴趣点,根据用户的活动轨迹监测用户停留点,并用 DBSCAN(Density-based Spatial Clustering of Applications with Noise)算法分析用户的重要位置。

3.1.1 停留点检测

日常生活中的活动轨迹由 WLAN 接收终端进行数据采集, 每条 WLAN 定位轨迹由若干个定位点组成, 每个定位点数据包括此点地理位置信息的 X 轴坐标 (X)、 Y 轴坐标 (Y) 和时间标签 ($Time$)。

用户在一段时间内的活动可记录为这样一条移动轨迹, 如图 3 所示, P_i 表示具体地点, 在这条移动轨迹中, 用户访问了一系列地点^[17], 如图 3 的停留点 S_i 这些停留点表示用户在某个区域内停留的时间超过了一定的时间范围, 并且某个停留点是由一组如图 3 所示的 P_3, P_4, P_5 多个定位点所组成。

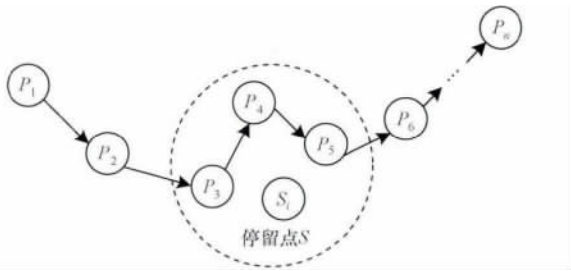


图3 停留点检测

考虑时间和空间 2 个方面的约束, 对于一组定位点 $\{p_i, p_{i+1}, \dots, p_j\} (1 \leq i \leq j \leq n)$, 一个停留点由式 (2) 和式 (3) 进行检测。

$$Distance(p_i - p_j) \leq D_{const} \quad (2)$$

其中 D_{const} 为空间约束值; $Distance(p_i - p_j)$ 为 p_i 和 p_j 2 点的空间距离。

$$Time(p_i - p_j) \geq T_{const} \quad (3)$$

其中 T_{const} 为时间约束值; $Time(p_i - p_j)$ 为 p_i 和 p_j 2 点的时间差。当一段移动轨迹中的某个停留点 $S = (Xloc, Yloc, Beg_Time, End_Time)$ 被检测出来后, 由式 (4) 和式 (5) 进行其坐标位置信息的经纬度表示。

$$S.Xloc = \frac{\sum_{i=i}^j p_i.Xloc}{|S|} \quad (4)$$

其中 $S.Xloc$ 表示停留点 S 的经度; $p_i.Xloc$ 表示点 p_i 的经度; $|S|$ 表示一组定位点 $\{p_i, p_{i+1}, \dots, p_j\}$ 的个数。

$$S.Yloc = \frac{\sum_{i=i}^j p_i.Yloc}{|S|} \quad (5)$$

其中 $S.Yloc$ 表示停留点 S 的纬度; $p_i.Yloc$ 表示点 p_i 的纬度; $|S|$ 表示一组定位点 $\{p_i, p_{i+1}, \dots, p_j\}$ 的个数。同时, 此停留点的停留时间的开始时间为这一组第 1 个点的时间标签, 即 $S.Beg_Time = t_i$, 结束时间为这一组的最后一个点的时间标签, 即 $S.End_Time = t_j$ 。

3.1.2 重要位置提取

用户在商场购物的过程中, 由于 WLAN 定位终端设备具有一定的采样周期, 当用户长时间、多次访问同一个语义位置时, 并且这种语义位置实际上是一个重要位置区域, 因此, 由 WLAN 定位终端设备采集到的数据将在同一个重要位置区域产生一簇离横坐标十分邻近的停留点, 针对用户活动中检测出的停留点序列, 采用基于 DBSCAN 的密度聚类 (图 4) 进行重要位置的提取。

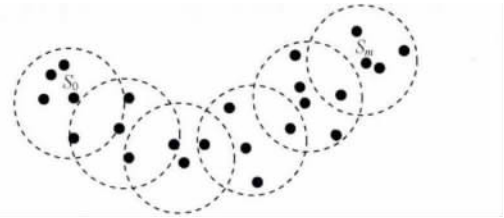


图4 基于 DBSCAN 的密度聚类

停留点之间距离的计算具体如下:

$$Distance(S_i - S_j) \leq D_{cluster} \quad (6)$$

其中 $D_{cluster}$ 为密度聚类中的距离阈值; $Distance(S_i - S_j)$ 为 S_i 和 S_j 两停留点之间的空间距离, 且 $0 \leq i \leq j \leq m$ 。

本文通过基于 DBSCAN 的密度聚类算法提取出用户日常生活中一些访问频率高、停留时间长的重要位置。

3.2 基于重要位置的特征提取

3.2.1 消费类型和消费时间

通过将手机采集的 WLAN 数据和室内定位技术相结合, 能够实时监测用户在商场中的准确位置以及在商铺中停留的具体时间。通过对店铺类型进行分类, 得到店铺消费类型分为 2 种: 服装类消费和餐饮类消费。用户兴趣点、所在地点的消费类型以及消费时间在系统后台进行相应匹配, 实时获取用户在商场中的消费类型和停留时间。

3.2.2 活跃度评估

分析用户的活跃度有助于了解用户的购物习惯, 从而挖掘出更多的用户特性从而更好地为用户服务。本文通过手机端方位传感器上获得的方位值, 实现将大地坐标下的重力加速度转换到基于手机坐标的值, 并结合手机端重力传感器上获得的加速度测量值, 从而准确获取用户的实时加速度, 通过监测用户手机加速度数据来判别用户的活跃度, 通过欧式距离求得加速度的三轴融合数据 $AC = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$ 来求得每次采样点的 AC 值。通过 Matlab 分析不同活跃度的用户加速度数据的变化情况, 如图 5 所示。

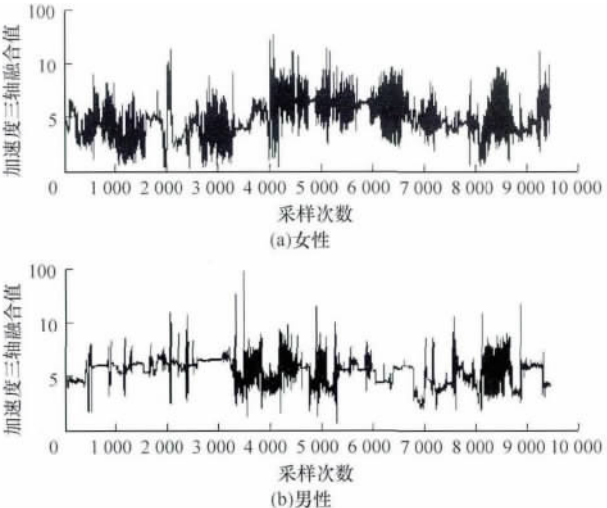


图5 不同性别的用户加速度三轴融合值

从图5可以发现,在相同的采样率下活跃度高的用户加速度值波动范围以及持续强度普遍高于活跃度低的用户,而活跃度高的用户加速度值的波动幅度小。

通过分析用户的手机加速度数据,求得每个用户的加速度三轴融合后的标准差,如图5所示用户加速度三轴融合后的平均标准差 δ 为0.6,近似认为:当 $\delta \geq 0.6$ 时,属于活跃用户;当 $\delta < 0.6$ 时,属于不活跃用户。

3.3 基于重要位置特征的用户分类

决策树(Decision Tree,DT)是一种有效、直观的分类器,它是数据挖掘中常用的一种简单、有效的快速分类算法,着眼于从一组无次序、无规则的事例中推理出通过决策树表示的分类规则^[18]。

通过分析移动设备采集的WLAN数据和加速度数据,当用户逛完商场后能够得出用户的活跃度状态,即用户逛商场的时间、经常去的店铺类型以及用户逛店铺的时间。

本文采用决策树算法建立决策树模型,把采样数据的前一半数据进行决策树模型训练,后一半的数据用来预测。根据消费时间、消费类型和用户活跃度把用户分为8类,表1为每类对应的特征。

表1 用户分类情况

用户分类	消费时间	消费类型	用户活跃度
第1类	工作日	衣服	低
第2类	工作日	餐饮	低
第3类	工作日	衣服	低
第4类	工作日	餐饮	低
第5类	周末	衣服	高
第6类	周末	餐饮	高
第7类	周末	衣服	高
第8类	周末	餐饮	高

在数据分析前需要先将数据标准化,利用标准化后的数据进行数据分析。使用Z-score对数据进行标准化处理,将原始数据转换为无量纲化指标的测评值,即各指标值都处于同一个数量级别上。经过以上分析以及特征提取可以获取用户消费时间、店铺服务类型、用户活跃度,通过决策算法建立用户模型。

4 实验与结果分析

4.1 数据集

本文基于移动终端进行数据采集工作,实时收集当前环境中的WLAN和加速度数据,在1个月的时间内,采集的WLAN数据和加速度数据总量高于30 h。本文实验采集了12位用户在真实场景中3周~4周内逛商场时的WLAN和加速度数据。

4.2 算法分析

4.2.1 停留点生成

在生成停留点过程中有2个重要参数^[19]:范围阈值 D_{const} 和时间阈值 T_{const} 。实验中通过一系列候选参数组合得出停留点数量并观察其趋势。如图6所示,WLAN的采样频率为每秒30次, T_{const} 为30 s、 D_{const} 为0.12 m。这样设置参数具备一定准确性,能够检测到大多数的停留位置且避免了一些不重要的地方,不会影响最后的推荐结果。

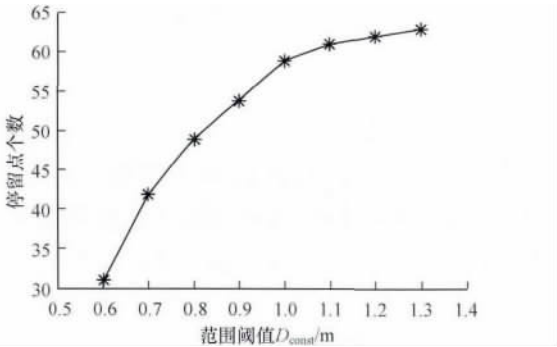


图6 范围阈值与停留点个数的关系

4.2.2 聚类算法

在DBSCAN算法中需要确定2个参数:密度聚类中距离阈值 $D_{cluster}$ 和聚类半径 $Minpts$ 。因为在停留点算法中将 D_{const} 设为0.12 m。对于 $MinPts$,若 $MinPts$ 越小,则簇代表的越精确,但会出现多个簇都代表同一位置的情况,导致用户间的轨迹匹配不准确;若 $MinPts$ 越大,则代表的范围越大,越不准确,当 $MinPts$ 不断增大时,簇的数目不断减少,每个簇包含的停留点数目越来越多。

如图7所示,当簇的数目从4开始 $MinPts$ 变化幅度变小,为保证准确性,本文设置 $MinPts$ 的取值为6。

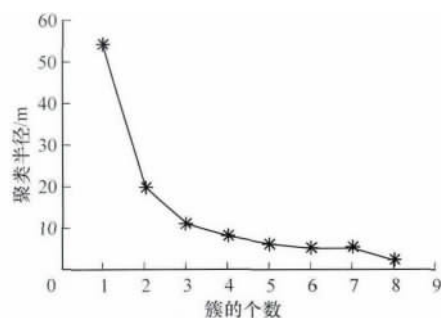


图7 簇数量与聚类半径的关系

根据上文设定的参数值对用户A在商场某一楼层的重要点进行聚类,如图8所示,形成5个聚类,可以理解为这5个聚类对应的实体位置是用户A感兴趣的区域。

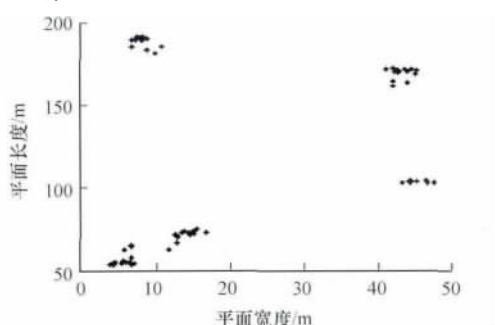


图8 用户A在商场某一楼层的重要点聚类分析结果

4.2.3 决策树构建

根据决策树模型,新到访的用户能根据手机传感器的实时数据将其归为对应类,如图9所示。

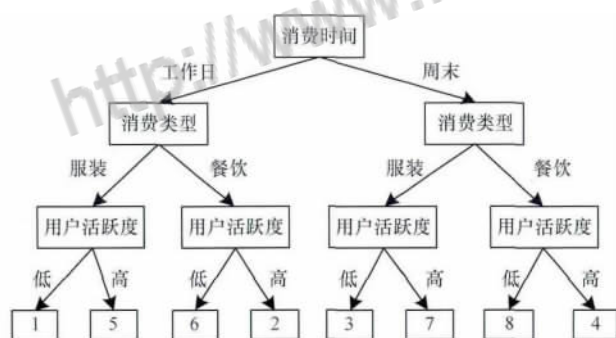


图9 决策树模型

各类型的用户识别率可能差异较大,本文采用混淆矩阵的表示方式分析各类用户在分类效果上的差异,表2、表3分别为查准率和查全率的混淆矩阵。

表2 查准率混淆矩阵

类别	1	2	3	4	5	6	7	8
1	100							
2		75						
3			83					
4			17	80				
5					86			
6			25			100		
7					14		83	
8				20			17	100

表3 查全率混淆矩阵

类别	1	2	3	4	5	6	7	8
1	100							
2		100						
3			100					
4			20	80				
5					100			
6		33				67		
7					17		83	
8				14			14	71

综合表2、表3并根据实际数据,本文分析各类别用户的特点,特别检查了分类错误的的数据,得到以下结论:(1)从查准率和查全率来看,第1类的分类结果最准确,说明对于工作日去买衣服并且活跃度不高的消费人群的预测较准确。(2)第2类和第6类准确率偏低,主要是因为对于去餐厅的用户很难用加速度来判别其活跃度,因为在餐厅中手机都是趋于静止状态,很难区分是否活跃,从而导致准确率降低。由此可知,本文判断用户购物行为的准确率较高,而当购物行为涉及到用户活跃度时会降低预测准确率。

5 个性化微信推荐系统设计与实现

5.1 基于内容的商品推荐

基于内容的推荐是指根据用户选择的对象选取其他类似属性的对象作为推荐。该方法首先分别对用户和商品建立配置文件,通过分析用户经常浏览的商品,建立或更新用户的配置文件,然后比较用户与产品配置文件的相似度,找出并推荐与其配置文件最相似的产品。该方法的优势:(1)推荐结果直观且易于解释;(2)可得到分类学习算法的技术支持。

5.2 个性化店铺推荐

用户体验值和地点的兴趣度有相互关联和依赖的关系^[20]。一个有经验的人可能去很多有趣的地方,而一个有趣的地方能吸引很多有经验的人来访问。如图10所示,用户A、用户B属于同一类,用户A经常去 P_1 、 P_2 和 P_3 ,而用户B经常去 P_1 、 P_2 、 P_3 、 P_4 ,由于用户B能找到更多的高品质的地方,比如 P_4 ;而 P_4 可能不为用户A所知,此时用户需要把地点 P_4 推荐给用户A。

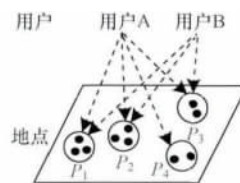


图10 用户体验值和兴趣点的关联关系

5.3 系统设计和微信平台实现

通过对用户的兴趣点分析和挖掘以及决策树的分类能够对新用户进行分类。本文基于微信平台开发基于室内定位的推荐系统,系统原理如图 11 所示。

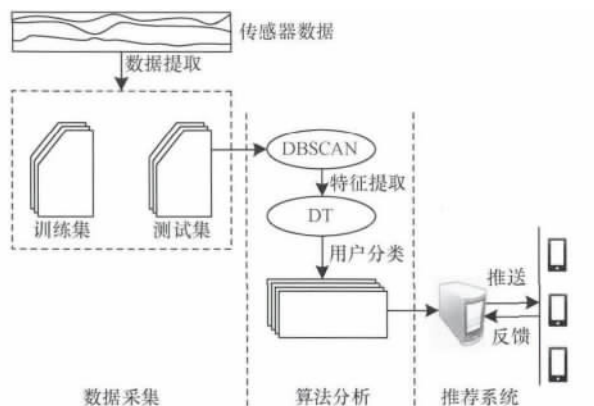


图 11 基于室内定位的推荐系统原理

基于室内定位的推荐系统结构分为 3 个部分:数据采集、算法分析和推荐系统。训练阶段主要负责从传感器数据提取数据特征,应用阶段负责对用户进行分类,推荐系统负责个性化推荐。

微信公众平台的开发成本比 APP 低、用户进入门槛低、无需安装及便于信息推送。为更便捷快速地服务用户,开发出基于微信公众平台的推荐系统。

如图 12 所示为 3 个主要功能。当用户点击推荐商品时,系统基于内容给用户推荐相应类别的商品。当用户点击喜欢的店铺,系统会根据 2 个具有相同特征、处于同一分类的用户的工作经验值和兴趣点的相互依赖和关联关系推荐其他用户已光顾的店铺。会员折扣会把用户经常去的店铺的最新折扣优惠推送给用户。



图 12 微信推荐系统

6 结束语

本文结合无线定位技术,根据用户移动轨迹隐含的个人兴趣这一特点,研究如何使用聚类方法对用户轨迹进行分类,并对用户数据的采集、用户兴趣点的发现、用户分类模型的建立以及个性化推荐方法进行具体分析。在今后工作中将利用保护用户个人信息的隐私策略,加强室内兴趣点推荐系统的安全性。

参考文献

- [1] Anderson R J, Bull J F, Czarnecki P, et al. Advanced Triggers for Location-based Service Applications in a Wireless Location System: USA 7783299 [P]. 2010-08-24.
- [2] Chon J, Cha H. Lifemap: A Smartphone-based Context Provider for Location-based Services [J]. IEEE Pervasive Computing, 2011, 10(2): 58-67.
- [3] 赵咪, 刘军发, 陈益强, 等. 基于定向信号补偿的免标室内定位方法 [J]. 计算机工程, 2012, 38(1): 276-278.
- [4] Cacheda F, Carneiro V, Fernandez D, et al. Comparison of Collaborative Filtering Algorithms: Limitations of Current Techniques and Proposals for Scalable, High-performance Recommender Systems [J]. ACM Transactions on the Web, 2011, 5(1): 2-41.
- [5] Jo H G, Jeong S Y, Kang S J. Dynamic Resource Look-up and Discovery Architecture for Indoor Location-based Service [C]//Proceedings of the 4th ACM Workshop on Embedded Sensing Systems for Energy-efficiency in Buildings. New York, USA: ACM Press, 2012: 207-211.
- [6] Hung C C, Chang C W, Peng W C. Mining Trajectory Profiles for Discovering User Communities [C]//Proceedings of 2009 International Workshop on Location Based Social Networks. New York, USA: ACM Press, 2009: 1-8.
- [7] 罗军舟, 吴文甲, 杨明. 移动互联网: 终端、网络与服务 [J]. 计算机学报, 2011, 34(11): 2029-2051.
- [8] 刘军发, 谷洋, 陈益强, 等. 具有时效机制的增量式无线定位方法 [J]. 计算机学报, 2013, 36(7): 1448-1455.
- [9] Yang T C, Jin L, Cheng J. An Improvement CHAN Algorithm Based on TOA Position [J]. Acta Electronica Sinica, 2009, 37(4): 819-822.
- [10] Xu Jun, Ma Maode, Law C L. AOA Cooperative Position Localization [C]//Proceedings of Global Telecommunications Conference. Washington D. C., USA: IEEE Press, 2008: 1-5.
- [11] Zhang Qingxin, Di Qinglong, Xu Guangyan, et al. A RSSI Based Localization Algorithm for Multiple Mobile Robots [C]//Proceedings of International Conference on Computer, Mechatronics, Control and Electronic Engineering. Washington D. C., USA: IEEE Press, 2010: 190-193.
- [12] Song M R, Moon J Y, Bae S H. Efficient Indoor Positioning By Hybrid Algorithm [Z]. 2013.
- [13] Alvarez-Lozano J, García-Macías J A, Chávez E. Learning and User Adaptation in Location Forecasting [C]//Proceedings of 2013 ACM Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing Adjunct Publication. New York, USA: ACM Press, 2013: 461-470.

(下转第 285 页)

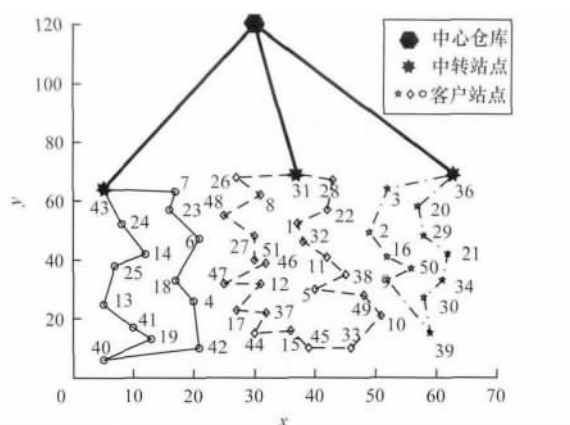


图5 算例 E-n51-k5-s4-51 的最优配送结果

6 结束语

本文提出一种基于最优切割算法和全路径匹配交叉 Memetic 算法的双层次车辆路径优化算法,解决了传统双层次车辆路径 NP 组合优化及算法精度不高的问题。最优切割算法和全路径匹配交叉 Memetic 算法的顺序执行,实现了对一级中转站容量和二级客户配送的同步有效优化。仿真结果验证了本文算法的有效性。在算法求解过程中,为提高运算效率,本文对于前期的最优切割算法简化为求解其次优解,但并未对最优切割算法进行深入研究。而提高最优切割算法性能,使该次优解更接近于全局最优解方案,对于提高算法性能也有重要作用,因此,下一步将针对这些方面进行研究。

参考文献

- [1] Zhu Ning, Liu Yang, Ma Shoufeng. Mobile Traffic Sensor Routing in Dynamic Transportation Systems [J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2014, 15(5): 2273-2284.
- [2] Xia Yamei, Cheng Bo. A Vehicle Routing Problem Based on Intelligent Batteries Transfer Management for the EV Network [J]. China Communications, 2014, 11(5): 160-170.
- [3] Lau H C, Chan T M, Tsui W T. Application of Genetic Algorithms to Solve the Multidepot Vehicle Routing Problem [J]. IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, 2010, 7(2): 383-392.
- [4] Perboli G, Tadei R. New Families of Valid Inequalities for the Two-echelon Vehicle Routing Problem [J]. Electronic Notes in Discrete Mathematics, 2010, 36: 639-646.
- [5] Chen Huey-Kuo, Chou Huey-Wen, Hsueh Che-Fu. The Linehaul-feeder Vehicle Routing Problem with Virtual Depots [J]. IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, 2011, 8(4): 694-704.
- [6] Jepsen M, Spoorendonk S, Ropke S. A Branch-and-cut Algorithm for the Symmetric Two-echelon Capacitated Vehicle Routing Problem [J]. Transportation Science, 2013, 47(1): 23-37.
- [7] 赵坤, 嵇启春, 李玲燕. 基于动态离散势场的迷宫机器人路径规划 [J]. 计算机工程, 2013, 39(12): 242-246.
- [8] Crainic T G, Perboli G, Mancini S, et al. Two-echelon Vehicle Routing Problem: A Satellite Location Analysis [J]. Procedia-Social and Behavioral Science, 2010, 2(3): 5944-5955.
- [9] 吴拥民, 张斌. 虚拟场景中有宽度物体移动路径的优化方法 [J]. 计算机工程, 2014, 40(10): 308-313.
- [10] Baldacci R, Mingozzi A, Roberti R. An Exact Algorithm for the Two-echelon Capacitated Vehicle Routing Problem [J]. Operations Research, 2013, 61(2): 298-314.
- [11] Perboli G, Tadei R, Vigo D. The Two-echelon Capacitated Vehicle Routing Problem: Models and Math-based Heuristics [J]. Transportation Science, 2011, 45(3): 364-380.
- [12] Avella P, Boccia M, Vasilyev I. A Branch-and-cut Algorithm for the Multilevel Generalized Assignment Problem [J]. IEEE Access, 2013, 25(1): 475-479.
- [13] Oliveira H, Vasconcelos G C, Alvarenga G B. A Multi-start Simulated Annealing Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Time Windows [C]//Proceedings of the 9th Brazilian Symposium on Neural Networks. Washington D. C., USA: IEEE Press, 2006: 137-142.
- [14] Cho J H, Kurup P U. Decision Tree Approach for Classification and Dimensionality Reduction of Electronic Nose Data [J]. Sensors and Actuators B: Chemical, 2011, 160(1): 542-548.
- [15] 胡立, 陈健. 基于用户轨迹聚类分析的推荐算法研究 [J]. 计算机研究与发展, 2012, 22(10): 250-256.
- [16] Do T M T, Gatica-Perez D. The Places of Our Lives: Visiting Patterns and Automatic Labeling from Longitudinal Smartphone Data [J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2014, 13(3): 638-648.
- [17] Xiao H, Wang W J, Zhang X. Identifying the Stay Point Using GPS Trajectory of Taxis [J]. Applied Mechanics and Materials, 2013, 353: 3511-3515.
- [18] Lin C F, et al. Data Mining for Providing a Personalized Learning Path in Creativity: An Application of Decision Trees [J]. Computers & Education, 2013, 68: 199-210.
- [19] Bao T, Cao H. A Demonstration of Mining Significant Places from Cell ID Trajectories through a Geo-grid Based Approach [C]//Proceedings of the 13th International Conference on Mobile Data Management. Washington D. C., USA: IEEE Press, 2012: 328-331.
- [20] Baumann P. The Influence of Temporal and Spatial Features on the Performance of Next-place Prediction Algorithms [C]//Proceedings of 2013 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing. New York, USA: ACM Press, 2013: 449-458.

编辑 金胡考

编辑 陆燕菲

(上接第278页)



论文写作，论文降重，
论文格式排版，论文发表，
专业硕博团队，十年论文服务经验



SCI期刊发表，论文润色，
英文翻译，提供全流程发表支持
全程美籍资深编辑顾问贴心服务

免费论文查重：<http://free.paperyy.com>

3亿免费文献下载：<http://www.ixueshu.com>

超值论文自动降重：http://www.paperyy.com/reduce_repetition

PPT免费模版下载：<http://ppt.ixueshu.com>

阅读此文的还阅读了：

- [1. 一种基于RFID的室内车载监控系统定位方法的设计与实现](#)
- [2. 基于JavaEE的电子商务推荐系统的设计与实现](#)
- [3. 基于对中国经济有效增长的思考与探究](#)
- [4. 基于Hadoop的电子商务推荐系统的设计与实现](#)
- [5. 一种新的平衡（节选）](#)
- [6. TD-SCDMA室内分布系统的干扰及解决方案](#)
- [7. 基于TDOA的超声波室内定位系统的设计与实现](#)
- [8. 高校能源消耗管理信息系统的设计与实现](#)
- [9. 基于矩阵分解的兴趣点推荐算法研究](#)
- [10. 基于内容挖掘的博客推荐系统的设计与实现](#)
- [11. 高等职业教育改革创新型基础会计教材建设研究](#)
- [12. 基于Wi-Fi和基站信号强度的室内定位系统设计与实现](#)
- [13. 基于PDM的多模式集成CAPP系统](#)
- [14. 基于RFID的室内车辆跟踪及定位仿真系统的设计与实现#](#)
- [15. 基于RFID的室内车辆跟踪及定位仿真系统的设计与实现](#)
- [16. 基于手持设备的室内定位系统设计与实现](#)

- [17. 基于室内位置信息的服务推送系统的设计与实现](#)
- [18. 基于Web的多模式网络监控系统的设计与实现](#)
- [19. 基于ZigBee网络的室内定位系统的设计与实现](#)
- [20. 基于特征的多模式CAPP系统的研究](#)
- [21. 基于项目之间相似性的兴趣点推荐方法](#)
- [22. 基于协同过滤的WhuRecomm推荐系统的设计与实现](#)
- [23. 高速率多模式RS编解码系统的设计与实现](#)
- [24. 基于AD9954的多模式信号源电路的设计与实现](#)
- [25. 传统建筑室内装饰的系统性](#)
- [26. 铝塑复合管外墙敷设问题的探讨](#)
- [27. 基于RFD5800的室内环境监控系统设计与实现](#)
- [28. 银证通双赢方案——分账式银证转账系统的设计与实现](#)
- [29. 基于企业薪酬体系设计的岗位评价](#)
- [30. 基于RFID的室内人员定位系统的设计与实现](#)
- [31. 基于下坂地水库建成投入运行后与灌区水资源联合调度方案的思考](#)
- [32. 基于 WEB 的通信企业电子化学习管理平台的构建](#)
- [33. 基于PDM的多模式CAPP系统的研究](#)
- [34. Multi-mode Spiral Wave in a Coupled Oscillatory Medium](#)
- [35. 基于位置感知的个性化推荐系统的设计与实现](#)
- [36. 基于Zigbee的室内定位系统设计与实现](#)
- [37. 投标报价基TGM \(1, 1\) 灰色动态模型的主材价格预测](#)
- [38. 基于专家系统的个性化推荐系统的设计与实现](#)
- [39. 基于工作过程的《临床诊断知识与技术》精品课程建设](#)
- [40. 谈室内给水管道系统施工过程控制](#)
- [41. 基于Web的网络计算机技术在高校教学中的应用与开发](#)
- [42. 基于B/S的就业指导系统的设计与实现](#)
- [43. 基于MATLAB/Simulink的电机拖动系统的仿真分析与实现](#)
- [44. 基于新旧会计准则下投资核算的差异分析](#)
- [45. 基于 ArcGIS 的地籍管理信息系统的设计与实现](#)
- [46. 基于工作过程的《临床诊断知识与技术》精品课程建设](#)
- [47. 浅谈基于文化视角的散杂货成本管理](#)
- [48. 关于消火栓的多方位探讨](#)
- [49. 浴室内如进入PE线，须纳入该室内的局部等电位联结系统](#)
- [50. 基于TDOA的超声波室内定位系统的设计与实现](#)