

面向物联网移动感知的服务节点发现算法

安健^{1,2}, 桂小林^{1,2}, 张进³, 卿杜政³

(1. 西安交通大学电子与信息工程学院, 710049, 西安; 2. 陕西省计算机网络重点实验室, 710049, 西安;
3. 北京仿真中心航天系统仿真重点实验室, 100854, 北京)

摘要: 针对物联网移动感知场景中节点移动性、随机性在时间和空间两方面给数据感知、数据传递造成的问题,提出一种基于节点社会关系认知的目标区域感知服务节点发现算法.引入交互因子和距离因子对节点社会关系进行量化,构建节点移动概率表和凝聚子群,通过信任传递与社会关系最优路径树的计算,确定目标区域感知服务节点集.仿真实验表明,该算法缩短了移动节点间最短距离以及网络平均距离,提高了感知服务节点的发现效率,解决了稀疏网络的感知空洞问题,改善了物联网感知服务质量.

关键词: 物联网;移动感知;感知服务节点发现算法;最短距离;服务质量

中图分类号: TP393 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-987X(2011)12-0006-04

An Algorithm to Discover Service Nodes for Mobility-Aware in the Internet of Things

AN Jian^{1,2}, GUI Xiaolin^{1,2}, ZHANG Jin³, QING Duzheng³

(1. School of Electronics and Information Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China;
2. Shaanxi Province Key Laboratory of Computer Network, Xi'an 710049, China; 3. Science and Technology on Special System Simulation Laboratory, Beijing 100854, China)

Abstract: An awareness algorithm to discover service nodes is proposed to deal with the problem of data-awareness and data-transmit in both time and space in mobility-aware of Internet of Things (IoT), which is caused by nodes mobility and random. The algorithm bases on social relations cognition, and quantizes the social relation of all nodes by introducing interconnection factor and distance factor. Then, cohesive subgroups and a node-mobile probability table are constructed to predict the trace of mobile nodes. Finally, awareness service nodes in the objective regions are determined through trust-transference and probability tree calculation. Simulation experiments show that the proposed method effectively reduces both the shortest distance among mobile nodes and the network average distance, improves the way of date acquisition and increases the quality of awareness service in IoT.

Keywords: Internet of Things; mobile-awareness; awareness service nodes discovery algorithm; shortest distance; quality of service

物联网最大的变革在于实现了物理世界的情景感知、处理和控制在这一闭环过程,真正成为了物-物、物-人、人-人间信息连接的新一代智能互联网络^[1].

人作为新的感知节点的出现,其移动性、随机性和时空复杂性将给数据感知、数据传递带来新的技术挑战.

收稿日期: 2011-05-23. 作者简介: 安健(1983—),男,博士生;桂小林(通信作者),男,教授,博士生导师. 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60873071,91018011,61172090);国家“863计划”资助项目(2008AA01Z410);IBM共享大学研究(SUR)资助项目(SUR201001X).

网络出版时间: 2011-10-08

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1069.T.20111008.0833.005.html>

在现有研究工作中,通常假设感知节点间是相互信任并能够接收、转发和传递任何数据的,而实际的应用场景却是:①移动节点间并不存在事先的信任关系,一个节点只会转发其熟识节点的数据或感知请求,对陌生节点传输而来的请求或数据可能会置之不理;②伴随技术的发展,手机、PDA 等附着在人身上的各种移动设备功能不断强大,各种微型传感设备都可嵌入其中,实时获取用户感兴趣的信息^[2]。此外,手机等新的移动感知设备的出现,跨越了 WSN 中通信半径受限的约束,通信半径将大幅提升,甚至任何两个节点间均通信可达。

在上述实际应用场景中,如果某个用户需要获取指定区域的情景信息,就必须在该目标区域内发现并选择一个移动感知节点,为自己提供所需要的情景信息,而如何选择或发现上述移动感知节点并与之交互成为研究技术难点。本文通过引入社会网络的相关理论^[3-5],分析物联网移动感知节点间的社会关系,挖掘节点间的内在联系和活动规律,指导目标区域内移动感知节点的选择,以提高目标区域感知节点发现的速度和效率,提升感知服务的成功概率。

1 移动节点社会关系量化

定义 1 移动节点社会关系 S 可以表示为 $S = \langle N, R, V, f \rangle$ 四元组,其中 N 是移动节点集合, $N = \{n_1, n_2, \dots, n_m\}$, R 是移动节点社会属性集合, V 是社会关系量化值, $f: N \times R \rightarrow V$ 是社会关系映射函数。

定义 2 任意节点 A 与 B ($A, B \in N$) 的社会关系量化值表示为

$$V(A, B) = \omega L(A, B) + (1 - \omega) I(A, B) \quad (1)$$

式中: $L(A, B)$ 是距离因子,它是时间周期内节点 A 与 B 在同一感知区域内的相遇频度的量化; $I(A, B)$ 是时间周期内节点 A 与 B 的交互因子,本文采用节点间的通话记录来衡量; ω 是社会属性加权因子。

定义 3 移动节点 A 在时间周期内的轨迹信息表示为 $G = \{\bigcup_{i=1}^k \langle L_i, S_i, E_i, \alpha \rangle\}$,其中 L 是感知区域位置信息, S, E 分别是节点到达、离开该区域的时间, α 是时间阈值,用于控制不同节点到达目标区域的时间间隔。节点 A 与 B 的距离因子表示为

$$L(A, B) = \frac{\sum_{i=1}^k \text{sim}(G_i(A), G_i(B))}{T} \quad (2)$$

式中: T 是时间周期; $\text{sim}(G_i(A), G_i(B))$ 是移动节点 A 与 B 的位置相似函数,它反映了不同移动节点

在位置 i 的相遇持续时间,表示为

$$\begin{aligned} \text{sim}(G_i(A), G_i(B)) = \\ \max\{S_i(A), S_i(B)\} - \min\{E_i(A), E_i(B)\} \\ \text{s. t. } \begin{cases} L_i(A) = L_i(B) \\ |S_i(A) - S_i(B)| \leq \alpha \end{cases} \end{aligned} \quad (3)$$

定义 4 设移动节点 A 在时间周期内的通话记录为 $T_i(A)$,其中 $i \in \{\text{in}, \text{out}\}$,分别代表打入和打出的通话记录,节点 A 与 B 之间的通话总时间为 $T(A, B)$,则节点 A 与 B 的交互因子表示为

$$I(A, B) = P(A)P(B) \quad (4)$$

$$P(A) = \frac{T(A, B)}{\sum_i T_i(A)}; P(B) = \frac{T(A, B)}{\sum_i T_i(B)}$$

2 移动概率表的构建与凝聚子群划分

2.1 移动概率表的构建

移动节点的运动轨迹是移动节点行为的直接表现。在现实世界中,通过观察可发现移动用户的轨迹和用户行为活动(例如校园内学生上课、吃饭等)之间存在相关性,节点移动是受到事件驱动的^[6]。

定义 5 节点移动模式 $D = (T, P, \beta)$, $T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$, β 为位置概率阈值。 $p_{t_i}(L_i)$ 是节点在时刻 t_i 到达位置 L_i 的概率,可由下式得出

$$\left. \begin{aligned} p_{t_i}(L_i) = \frac{M(L_i)}{\sum_{j \in k} M(L_j)} \\ t_i \in T \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

式中: $M(L_i)$ 是节点在时刻 t_i 到达位置 L_i 的次数; $\sum_{j \in k} M(L_j)$ 是节点在 $0 \sim t_m$ 时间段所有可能到达的位置。

通过采集时间周期内节点的活动规律,设置概率阈值对数据进行二次筛选,挖掘具有实际代表性的节点活动规律集,在分析提取节点的活动事件集的基础上,构建节点移动位置概率表来预测节点的行为,如表 1 所示。

2.2 凝聚子群划分

凝聚子群的构建是在感知服务发起者和服务提供者之间建立一条信任链路,以发现中间信任节点,提高服务请求的转发效率,最终实现信息的有效传递。本文在参考现有复杂网络聚类算法^[7]的基础上,通过定义移动网络中间人作为子群间的桥,计算不同节点对之间的社会关系最优路径(即社会关系相乘值最大),并构造节点的社会关系最优路径树,最后统计、分析中间节点并删除节点之间的权值边,重

复这个过程直到满足聚类要求. 图 1 为包含 4 个不同社区的移动节点社会网.

图 2 是以节点 A 为源节点的社会关系最优化路径树,通过统计全局网络中每个节点对的社会关系最优路径,可以发现中介值最大的边集就是所要寻找的连接不同子群的桥.

表 1 节点 A 的移动概率表

时刻	到达不同位置的概率				
	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5
7:00	0.95				
7:30	0.18	0.63	0.14		
8:00	0.13		0.11	0.72	
⋮	⋮				
12:00	0.16		0.41		0.37
12:30	0.61		0.17		0.13
⋮	⋮				
21:30	0.12	0.23		0.62	
22:00	0.92				

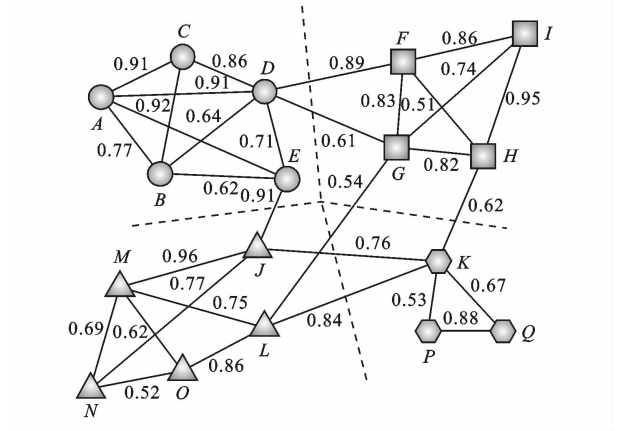


图 1 移动节点社会网

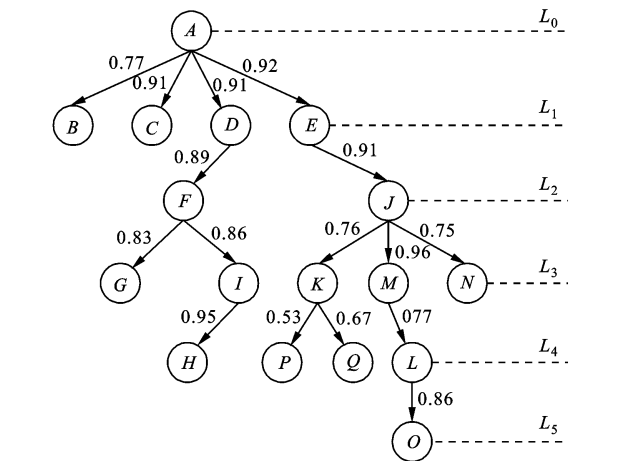


图 2 节点 A 的社会关系最优路径树

2.3 移动感知服务的实现

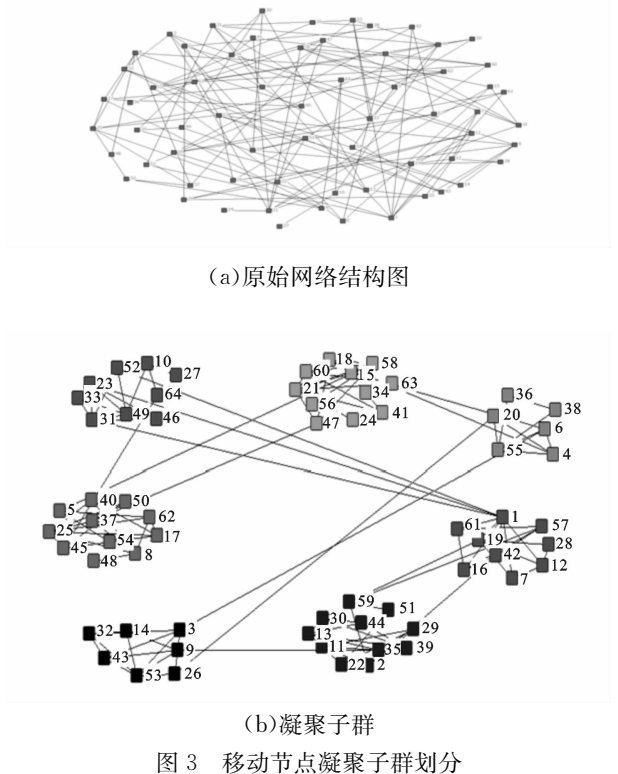
综上所述,当节点 A 在时刻 t_i 希望获得位置 L_i 区域的相关信息时,首先由通过式(5)得出的节点移动概率表可以获得满足要求的服务节点集 H ,具体可分为两类:一类是感知服务请求提交时,所有能够感知目标区域的节点集合;另一类是感知服务请求提交后,在一定的时间范围内所有可能移动到目标区域的节点集合. 当 $|H| \geq 5$ 时,取概率值最大的 5 个节点作为备选节点,其次通过节点社会关系最优路径树计算节点 A 到目标节点集所在子群的社会关系最优化路径,选择合适的转发节点集 F ,最后通过子群间隐含的信任关系与服务节点建立联系,获取感知服务信息.

3 实验结果及分析

通过 Matlab 和 Ucinet 软件进行测试,数据集选用 MIT 的 Reality Mining 提供的标准数据集,该项目记录了 MIT 校园中 100 个携带蓝牙智能手机的学生和职工为期 9 个月的移动轨迹、相遇数据和通话记录^[8]. 本文实验选取了其中 64 个移动节点在 180 d 的相关数据集.

实验 1 移动节点凝聚子群的构建. 通过式(1)~(4)计算 64 个移动节点彼此间的社会关系矩阵 M ,根据算法 1 对 M 进行聚类分析,实验结果如图 3 所示.

实验 2 移动社会网结构分析. 分别根据移动节点



(a)原始网络结构图

(b)凝聚子群

图 3 移动节点凝聚子群划分

的交互信息、相遇信息以及加权求和的方法构造 3 种不同的网络结构,分析其社会关系数、网络整体密度、度数中心势、中间中心势,实验结果如表 2 所示.

实验 3 移动节点最短距离. 分析移动节点间的最短距离以及网络平均距离. 通过图 4 可发现,随着节点社会关系的增加,节点间的最短路径以及整个网络的平均距离都在减小,这与实验 2 的分析结果相一致.

表 2 移动社会网结构分析表

网络	节点个数	关系总数	整体网密度	度数中心势	中间中心势
1(交互信息)	64	132	0.032	0.126	0.295
2(相遇信息)	64	186	0.046	0.114	0.217
3(加权求和)	64	230	0.057	0.086	0.133

4 结 论

本文在提取距离因子和交互因子作为社会关系量化参数的基础上,通过构建面向目标区域的节点凝聚子群和移动概率树,实现目标区域感知服务节点的发现. 在以后的工作中,将从以下两个方面来进行改进:①构建面向全局的感知服务中心,实现移动节点位置信息、交互信息的实时获取以及自动分析;②设计面向目标区域的感知服务路由算法,实现节点间数据的信任传递,解决数据传递过程中的延时、断路、聚合时间有限等问题.

参考文献:

[1] ATZORI L, IERA A, GIACOMO M. The internet of things; a survey[J]. Computer Networks, 2010, 54: 2787-2805.

[2] LANE N D, MILUZZO E, LU Hong, et al. A survey of mobile phone sensing [J]. IEEE Communications Magazine, 2010,48(9):140-150.

[3] YANG Shusen, YANG Xinyu, ZHANG Chao, et al. Using social network theory for modeling human mobility[J]. IEEE Network, 2010,24(5):6-13.

[4] 李小勇,桂小林. 可信网络中基于多维决策属性的信任量化模型[J]. 计算机学报, 2009, 32(3):405-416.

LI Xiaoyong, GUI Xiaolin. Trust quantitative model with multiple decision factors in trusted network[J]. Chinese Journal of Computers,2009, 32(3):405-416.

[5] ZHANG Huiqi, DANTU R. Predicting social ties in mobile phone networks [C] // Proceedings of 2010 IEEE Intelligence and Security Informatics. Piscataway,NJ,USA:IEEE, 2010:25-30.

[6] GIANNOTTI F, NANNI M, PEDRESCHI D, et al. Mining mobility behavior from trajectory data[C] // Proceedings of 12th IEEE International Conference on Computational Science and Engineering. Piscataway, NJ,USA:IEEE, 2009:948-951.

[7] 杨博,刘大有,LIU Jiming,等. 复杂网络聚类算法[J]. 软件学报, 2009, 20(1):54-66.

YANG Bo, LIU Dayou, LIU Jiming. Complex network clustering algorithms [J]. Journal of Software, 2009,20(1):54-66.

[8] EAGLE N, PENTLAND A, LAZER D. Inferring friendship network structure by using mobile phone data[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2009,106(36):15274-15278.

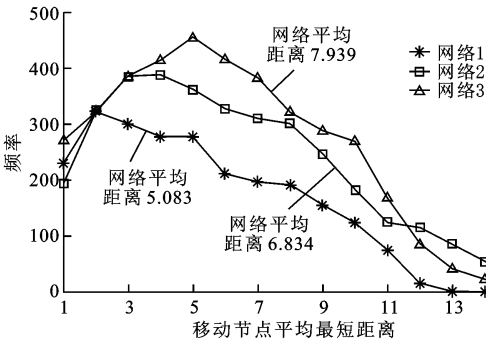


图 4 移动社会网节点距离分析

实验 4 感知服务节点发现算法效率. 分别在移动节点数为 15、25、35、45、50、55、60、64, 查找次数为 50 的情况下, 计算移动感知服务节点的查找成功率, 实验结果如图 5 所示, 可以发现随着节点个数的增加, 网络密度不断增大, 节点的位置信息种类更加丰富, 感知服务节点查找成功率也随之提高.

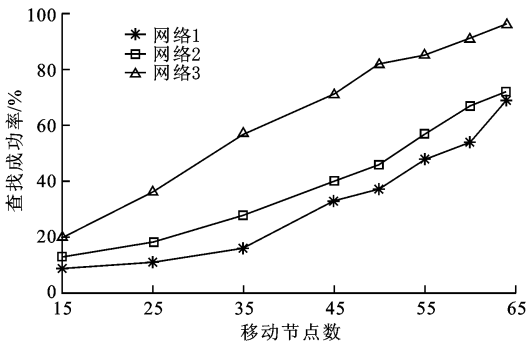


图 5 感知服务节点查找成功率

(编辑 荆树蓉)