

混合群智感知中服务节点优化选择机制

何欣¹ 刘天须² 丁爽^{1,3} 白琳²

(河南大学软件学院 开封 475000)¹ (河南大学计算机与信息工程学院 开封 475000)²

(同济大学计算机科学与技术系 上海 201804)³

摘要 移动群智感知应用依赖于以人为主导的移动用户参与,用户的移动规律和用户所携带感知设备的剩余资源等都会制约其参与感知服务的能力,从而影响系统的感知质量。现有研究工作对服务节点的选取操作比较单一,因此有必要设计合理的节点优化选择机制,选择到达并覆盖目标区域的最优服务节点集,从而保证对目标区域的感知质量。针对服务节点的优化选取展开研究,基于人的移动特性,定义节点服务度量标准,并结合遗传算法设计服务节点优化选取算法,从而提出一种新的服务节点优化选择机制。仿真实验表明,该机制可以有效选取最优服务节点集,达到提高混合群智网络感知服务质量的目的。

关键词 移动群智感知,最优服务节点集,节点优化选择机制,遗传算法

中图分类号 TP393 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2017.01.022

Optimization Selection Mechanism for Service Nodes in Hybrid Crowd Sensing

HE Xin¹ LIU Tian-xu² DING Shuang^{1,3} BAI Lin²

(College of Software, Henan University, Kaifeng 475000, China)¹

(College of Computer and Information Engineering, Henan University, Kaifeng 475000, China)²

(Department of Computer Science and Technology, Tongji University, Shanghai 201804, China)³

Abstract The application of crowd sensing depends on the participation of mobile users. The sensing ability of the user is subject to their movement pattern, the remaining resources of the portable device, and other factors. Existing research work on service nodes selection is relatively simple, therefore it is necessary to design an optimization selection mechanism for selecting optimal service nodes set, ensuring the sensing quality of the target area. Based on the movement characteristics of the user, we proposed and defined the service metrics. Then, we designed the optimization selection mechanism using the genetic algorithm. The simulation results show that optimization selection mechanism can effectively select the best service nodes set, and then improve the service quality of the hybrid crowd sensing.

Keywords Crowd sensing, Optimal service nodes set, Optimization selection mechanism, Genetic algorithm

1 引言

普通用户的移动设备(手机、平板电脑等)作为基本感知单元,通过移动互联网进行有意识或无意识的协作,实现感知任务的分发与感知数据的收集,完成大规模、复杂的社会感知任务称为群智感知^[1]。群智感知(“众包感知”^[2])以大量用户参与作为基础,利用普适的移动设备提供大规模的、复杂的、透彻而全面的感知服务^[3],是“众包”^[4]思想与移动感知相结合的产物。

一个典型的移动群智感知网络通常由感知平台和移动用户两部分构成^[5-7]。感知平台由位于数据中心的多个感知服务器组成,是处理和分析中心,并负责制定感知任务分发和感知数据收集的策略;移动用户则利用随身携带的智能设备采集各种感知数据并上报到感知平台。与以往利用特定的有意识部署的传感器提供感知服务不同,移动群智感知网络中的移动设备随其载体人做不受控制的移动,随时随地进行感知,

并采用“存储-携带-转发”的机会传输模式^[8]传输数据。

移动群智感知网络最重要的特点是“以人为中心”^[1],人将参与整个感知过程,既是感知数据的消费者,也是感知数据的生产者,是提供服务和享用服务的对象。人移动的随机性和时空的复杂性,使得移动群智感知网络的感知覆盖和数据传递均具有机会性因素,无法提供可靠的服务。另外,与传统的无线传感器网络相比,移动群智感知网络具有部署成本低、可扩展性强的特点,但每个节点的计算和存储功能有限,严重损害了感知服务质量。因此,如何有效地组织移动节点进行协作感知,实现感知任务的分发与感知数据的收集,提高感知服务质量,必将成为面临的根本问题。

由于移动群智感知应用依赖于以人为主导的移动用户参与,用户的移动规律、用户所携带感知设备的剩余资源等都会制约其参与感知服务的能力,从而影响系统的感知质量。尽管人的移动导致了覆盖的不确定性,但其具有时空特性和社会性^[9,10]。相关研究工作也表明,人或车的移动轨迹总是有

到稿日期:2015-12-02 返修日期:2016-02-06 本文受国家自然科学基金(U1304615),河南省科技攻关计划项目(162102210172),河南省教育厅高等学校重点科研项目(17B520004)资助。

何欣(1974—),男,博士,教授,主要研究方向为机会网络、智能计算;刘天须(1988—),男,硕士生,主要研究方向为机会网络;丁爽(1982—),女,博士生,讲师,主要研究方向为机会网络、智能计算, E-mail: ds@henu.edu.cn(通信作者);白琳(1992—),女,硕士生,主要研究方向为机会网络。

一定的稳定性,只需要部分历史轨迹即可准确地预测未来的轨迹^[10-12]。因此,可以利用节点的历史移动轨迹分析挖掘人的行为规律,有效地选择针对目标区域的感知服务节点,提高感知覆盖质量。

本文针对混合群智感网络中的服务节点优化选取展开研究,基于人的移动特性,定义节点服务度量标准,结合遗传算法设计服务节点优化选取算法,从而提出一种新的服务节点优化选择机制。该机制首先将移动节点分为若干候选服务节点集,然后利用遗传算法对候选服务节点集进行优化,使最有可能到达目标区域的节点得到选择,从而选择到达并覆盖目标区域的最优服务节点集。该选择机制的应用极大地降低了数据的投递成本,减小了网络负载,达到了提高混合群智网络感知服务质量的目的。

本文第 2 节介绍了相关研究工作;第 3 节介绍了网络模型和设计目标;第 4 节介绍了服务节点集优化选择中的基于遗传算法的服务节点集编码机制、效益值函数和遗传算子;在此基础上第 5 节介绍了优化过程及遗传算法的实现;第 6 节通过实验对算法的性能进行了分析与评价;最后总结全文。

2 相关工作

文献[5,6]以城市感知为背景,针对大范围的稀疏传感器网络开展研究,引入了“以人为中心进行数据感知”的概念。现有大部分研究工作对服务节点的选取操作比较单一,往往依靠 GPS 数据进行简单选取,未考虑人移动的时空特性和社会性。目前,考虑到上述因素的研究工作还处在起步阶段。文献[7]基于静态节点与移动节点共同参与感知的情况;文献[9]基于只有移动节点参与感知的情况,对服务节点的选取做了研究。但上述研究都是针对单节点进行的研究。另外,文献[10]从给定的节点集合的历史移动轨迹中选择最少个数的节点子集,使其满足所有有效覆盖网格单元的覆盖质量需求,从而实现覆盖质量和能量消耗的平衡。本文所提出的服务节点选择机制针对多节点,利用遗传算法对服务节点进行优化选择,很大程度上提高了选择效率。

3 网络模型和设计目标

本文基于文献[13]提出的混合群智感网络框架(见图 1),对服务节点选择机制开展研究。该混合群智感网络包括静态节点和移动节点。静态节点拥有较强的计算、存储能力;移动节点的移动可扩大整个网络的感知服务区域。设计合理的节点优化选择机制,选择到达并覆盖目标区域的最优服务节点集,从而保证对目标区域的感知质量,是本文的目标。本文采用遗传算法作为节点优化选择算法,该算法在静态节点上运行。

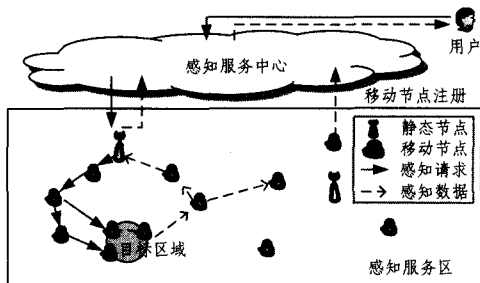


图 1 混合群智感网络框架图

4 服务节点集的优化选择

本文将遗传算法运用到服务节点的优化选择中,从而简化了优化过程,加快了服务节点的优化速度。

4.1 基于遗传算法的服务节点集编码机制

本文基于遗传算法进行编码。假设在感知服务区内有 m 个可供选择的服务节点,则整个服务节点集可表示为 $O=\{o_1, o_2, \dots, o_i, \dots, o_m\}, i=1, 2, \dots, m$ 。遗传算法种群个体的染色体可表示为 $G=\{g_1, g_2, \dots, g_i, \dots, g_m\}, i=1, 2, \dots, m$,即每个个体都由 m 个基因组成,其中 g_i 对应服务节点。被选定的服务节点集可表示为 $O', O' \subseteq O, |O'|=n, n(n \leq m)$ 为被选中服务节点的个数。当选择移动节点时,将其对应的个体基因位置为 1,否则置为 0,即

$$g_i = \begin{cases} 1, & \text{选择移动节点 } i \\ 0, & \text{未选择该移动节点 } i \end{cases}$$

4.2 效益值函数

在遗传算法中,通常利用效益值函数对群体中的个体进行定量评价,进而为选择、交叉等操作提供决策参考。在此对效益值函数进行设计时,涉及到 3 个指标:节点到达联合概率、节点目标联合距离和节点联合剩余资源。

(1)节点到达联合概率。节点到达联合概率为该服务节点集中被选定的节点至少有一个节点到达目标区域的联合概率,用 P 表示:

$$P=1-\prod_{o_i \in O'} (1-P_i) \quad (1)$$

其中 $P_i (0 \leq P_i \leq 1)$ 表示被选定的节点中第 i 个节点到达目标区域的概率。 P 的值越大,代表服务节点集中被选中节点到达目标区域的概率越高。

(2)节点目标联合距离。节点目标联合距离为每个服务节点集中被选定的节点到达目标区域的距离倒数的平均值,用 D 表示:

$$D=\frac{\sum_{o_i \in O'} D_i}{n} \quad (2)$$

其中, $D_i (0 < D_i < 1)$ 表示被选定的服务节点中,第 i 个节点到达目标区域的距离的倒数。 D 值越大,代表服务节点集中被选中节点与目标区域的距离越小。

(3)节点联合剩余资源。节点联合剩余资源为每个服务节点集中被选定的节点目前所剩余的资源量的平均值,用 S 表示:

$$S=\frac{\sum_{o_i \in O'} S_i}{n} \quad (3)$$

其中, $S_i (0 \leq S_i \leq 1)$ 表示被选定的节点中第 i 个节点目前所剩余的资源量。 S 值越大,代表服务节点集中的被选中节点所剩余的资源总量越多。

因此,效益值函数 f 可表示为

$$f=\omega_1 P+\omega_2 S+\omega_3 D \quad (4)$$

$$\text{s. t. } 0 < \omega_1, \omega_2, \omega_3 < 1, \omega_1 + \omega_2 + \omega_3 = 1$$

其中, $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ 表示 3 个指标对总体适应度的影响权值,在实际应用中,可以根据实际情况对其进行确定或调整。

4.3 遗传算子

本文采用的遗传算子有 3 个,即选择、交叉和变异。

(1)在选择操作中,采用冒泡排序的方法将效益值函数值

高的个体以较大的概率保留下来,由式(4)可知,效益值较高的个体通常是那些到达目标区域的概率较高且与目标区域的距离较近、剩余的资源总量较多的个体。因此,可以将最有可能到达目标区域的个体保留在下一代种群中。

(2)通过交叉算子使算法具有全局空间搜索能力。对选择的父个体进行重组操作,以便在全局范围内寻求具有较少冗余的节点。

(3)在新产生的种群中对个体进行变异操作,可以避免算法局部收敛,克服早熟现象。在变异操作中,变异概率对最优解和迭代次数的影响较大,取值过小,容易陷入局部最优,或者使得迭代次数较大;取值过大,会因为变异个体较多而导致最终值反复变化,无法收敛于最优解。

5 遗传算法的优化过程

根据第 4 节所提出的编码机制和效益值函数,利用 3 种基本遗传算子的操作,设计如下优化过程及遗传算法。具体的遗传算法的优化过程如下:

1)初始化种群。

2)利用式(1)一式(4)计算个体效益值,并判断是否达到收敛条件或最大迭代次数。若达到终止条件,结束迭代过程,输出最优效益值下的最优服务节点集;否则,转入步骤 3)。

3)根据个体效益值,依次进行选择、交叉、变异操作,产生新一代种群并返回步骤 2)。

6 仿真实验与性能分析

6.1 仿真平台和实验环境设置

算法采用 Matlab 编写完成。假设在一个 $100\text{m} \times 100\text{m}$ 的矩形区域内,随机产生有 k 个个体的种群,每个个体的一个基因代表一个服务节点,每个节点在区域内随机分布。为每个节点随机分配到达目标区域的概率 P_i 、距离目标区域的距离倒数 D_i 和剩余资源量 S_i 的值,每个个体随机选取若干个基因作为候选服务节点。

6.2 结果与分析

(1)服务节点评价指标

在仿真中,本文根据效益值函数对仿真数据进行分析,提出能够到达目标区域进行感知服务的服务节点评价指标,即联合概率、联合距离和联合剩余资源。文献[5-7]都认为感知覆盖问题为机会覆盖,即只能给出其概率性的表示。因此,当联合概率大于 0.99,联合距离大于 0.80,联合剩余资源大于 0.50 时,认为所选服务节点可以到达目标区域进行感知服务。该次仿真设置的节点密度为 200,服务节点数为 3~10 个, $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ 分别取 0.4, 0.4, 0.2。通过仿真实验所得指标数据如图 2 所示。

从图 2(a)可以看出,当服务节点数增多时,联合概率的增大趋缓。从图 2(b)可以看出,当选择的服务节点数增多时,联合距离有增大的趋势。因此应合理选取服务节点的个数,避免选择的服务节点数较多。从图 2(c)可以看出,当选择的服务节点数增多时,联合剩余资源变少。因此,当有感知服务请求时,可以直接将服务请求发送给所选的服务节点,而不用采取广播的形式,从而避免了消息副本大量复制的情况,降低了网络负载。

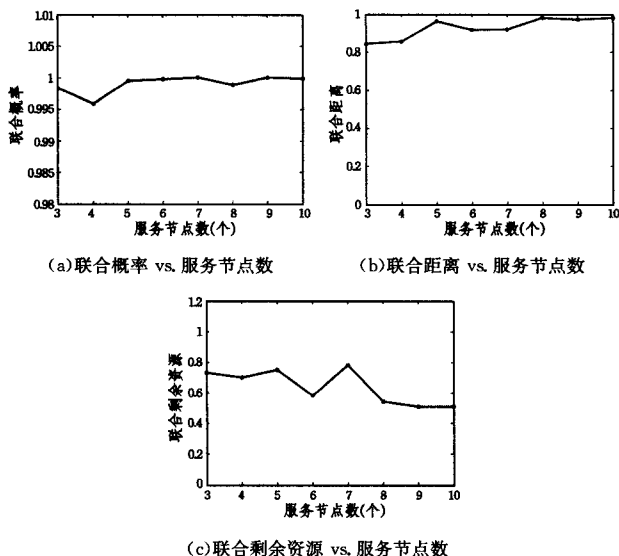


图 2 服务节点评价指标 vs. 服务节点数

(2)迭代次数

在给定感知目标被成功覆盖的情况下,设置不同的网络节点密度进行服务节点的优化选择。在此认为,当联合概率大于 0.99,联合距离大于 0.80,联合剩余资源大于 0.50 时,所选服务节点可以到达目标区域进行感知服务;选取服务节点个数为 4, $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ 分别取 0.4, 0.4, 0.2, 网络节点密度依次设置为 100~600 个。通过仿真实验,得到迭代次数与节点总数的关系图,如图 3 所示。

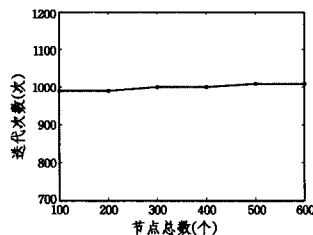


图 3 迭代次数 vs. 节点总数

从图 3 可以看出,当节点密度不断增加时,达到感知服务目标的算法的平均迭代次数在 1000 左右,即可以在有限的迭代次数内花费很短的时间得出优化结果,并选择出服务节点。实验表明,该算法具有较好的收敛性和可扩展性。

(3)最优服务节点个数的推荐值

在给定感知目标的情况下,探讨不同节点密度下对最优服务节点的影响。当算法收敛时,观察所选服务节点的参数指标是否满足服务节点的评价指标,从而得出不同节点密度下最优服务节点的个数。在此认为,当联合概率大于 0.99,联合距离大于 0.80,联合剩余资源大于 0.50 时,所选服务节点可以到达目标区域进行感知服务, $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ 分别取 0.4, 0.4, 0.2, 依次设置节点密度为 100~600 个,如图 4 所示。

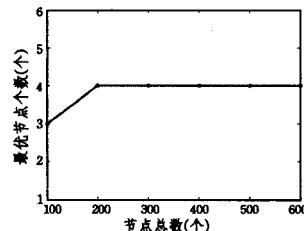


图 4 最优节点数 vs. 节点总数

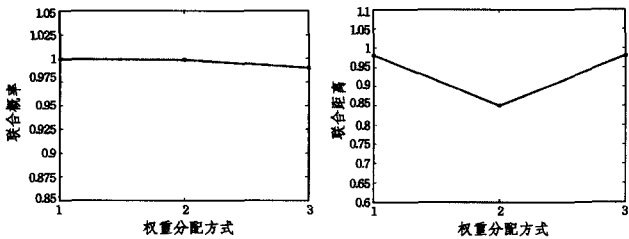
从图 4 可以看出,当节点密度增加时,所选最优服务节点的个数保持稳定,说明针对同一感知目标,当节点密度变化时,所选择的服务节点个数并没有显著变化,只需要很少的服务节点即可满足到达目标区域并进行感知服务的要求。因此,本文可以给出在给定感知目标的情况下,在不同节点密度下所选择的服务节点的个数的推荐值。这可以避免因选择的服务节点过多,导致网络中消息副本过多复制而使得网络负载增大,从而提升了网络性能和感知服务质量。

(4)参数权重对节点选取的影响

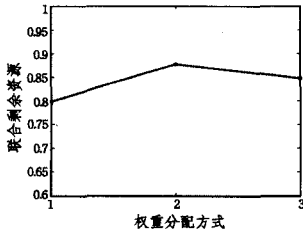
参数权重表示在进行优化选择时主要依据参数的重要程度。设置不同的权重值,3 个参数对算法的影响程度不同。在此认为,当联合概率大于 0.99,联合距离大于 0.80,联合剩余资源大于 0.50 时,所选服务节点可以到达目标区域进行感知服务。在给定感知目标的情况下,为 P, S, D 分别取 3 种不同的权重分配方式,如表 1 所列。3 种不同分配方式下所选节点的 P, S, D 参数与权重分配方式的比较如图 5 所示。

表 1 权重分配方式

权重分配方式	$(\omega_1, \omega_2, \omega_3)$
1	(0.4, 0.4, 0.2)
2	(0.4, 0.2, 0.4)
3	(0.2, 0.4, 0.4)



(a) 联合概率 vs. 权重分配方式 (b) 联合距离 vs. 权重分配方式



(c) 联合剩余资源 vs. 权重分配方式

图 5 服务节点评价指标 vs. 权重分配方式

从图 5 可以看出,当权重变化时,若权重较大的两个参数对算法的影响较大,最后得出的这两个参数的值就会较大;若而权重较小的参数对算法的影响较小,它的值就会较小。权重大的两个参数表示在进行服务节点优化选择时主要依据的两个参数。对某个参数而言,它的权重大,则在优化完成后,该参数的值就会比在权重小的情况下要大。因此在不同权重分配方式下,所得服务节点的参数会向着某两个参数收敛。所以在利用本算法进行服务节点的优化选择时,要根据实际情况合理设置参数的权重值,以免影响优化效果。

结束语 本文针对混合群智感知中服务节点的优化选择问题,提出了一种新的服务节点选择机制。利用遗传算法得到所有节点中最优的服务节点集,从而达到感知服务的目的。仿真结果表明,本文方法可以快速找到最优服务节点,并且可

以通过所选节点进行感知服务,减少网络中消息副本的数量,提高感知服务质量。此外,服务节点的选取还受到节点密度的影响,但总体变化趋势较缓,且算法的进化次数被控制在一个较小的范围内。另外,在利用本文方法时,应该注意根据实际情况合理地对参数的权重进行分配。

在本文所研究的基础上,今后需要解决算法局部收敛、早熟以及节点感知的随机性和算法的进一步优化等问题。

参考文献

[1] GANTI R K, FAN Y, HUI L. Mobile crowdsensing: current state and future challenges [J]. Communications Magazine, IEEE, 2011, 49(11): 32-39.

[2] CHATZMLILIOUDIS G, KONSTANTINIDIS A, LAOUDIAS C, et al. Crowdsourcing with smartphones [J]. IEEE Internet Computing, 2012, 16(5): 36-44.

[3] LIU Yun-hao. Crowdsourcing Computation[J]. Communications of the CCF, 2012, 8(10): 38-41. (in Chinese)

刘云浩. 群智感知计算[J]. 中国计算机学会通讯, 2012, 8(10): 38-41.

[4] HOWE J. The Rise of Crowdsourcing [J]. Wired Magazine, 2006, 14(14): 1-5.

[5] Campbell A T, Eisenman S B, Lane N D, et al. People-centric urban sensing[C]// Proceedings of the 2nd Annual International Workshop on Wireless Internet. ACM, 2006: 18.

[6] CAMPBELL A T, et al. The Rise of People-Centric Sensing[J]. Internet Computing, IEEE, 2008, 12(4): 12-21.

[7] EISENMAN S B. People-centric mobile sensing networks[D]. Columbia University, 2008.

[8] CONTI M, GIORDANO S, MAY M, et al. From opportunistic networks to opportunistic computing[J]. Communications Magazine, IEEE, 2010, 48(9): 126-139.

[9] AHMED A, YASUMOTO K, YAMUCHI Y, et al. Distance and time based node selection for probabilistic coverage in people-centric sensing[C]// 2011 8th Annual IEEE Communications Society Conference on Sensor, Mesh and Ad Hoc Communications and Networks (SECON). IEEE, 2011: 134-142.

[10] ZHAO D, MA H, LIU L. Energy-efficient opportunistic coverage for people-centric urban sensing [J]. Wireless Networks, 2014, 20(6): 1461-1476.

[11] SCELLATO S, et al. Next Place: A Spatio-Temporal Prediction Framework for Pervasive Systems[J]. Lecture Notes in Computer Science, 2011, 6696(1): 152-169.

[12] HSU W J, DUTTA D, HELMY A. CSI: A paradigm for behavior-oriented profile-cast services in mobile networks[J]. Ad Hoc Networks, 2012, 10(8): 1586-1602.

[13] DING S, HE X, WANG J, et al. Static Node Center Hexagonal Deployment in Hybrid Crowd Sensing[C]// 2015 IEEE 7th International Symposium on Cyberspace Safety and Security (CSS), 2015 IEEE 12th International Conference on Embedded Software and Systems (ICCESS), 2015 IEEE 17th International Conference on High Performance Computing and Communications (HPCC). IEEE, 2015: 515-520.