

# 群智感知中激励机制实验综述及展望

## Experimental Incentive Mechanisms for Crowd Sensing

刘驰/LIU Chi

(北京理工大学 软件学院, 北京 100081)  
(School of Software, Beijing Institute of  
Technology, Beijing 100081, China)

智能设备(包括智能手机、平板电脑等)不仅可以作为移动设备进行日常通信,而且还因为其本身所含的嵌入式传感器,如加速传感器、数字罗盘、陀螺仪、全球定位系统(GPS)、麦克风、摄像头等,而将其作为强大的感知单元。利用这些传感器使招募普通人来收集和共享感知数据变成了可能,“群智感知”便是基于这一新兴应用发展而来的一个新研究领域<sup>[1]</sup>。通过使用上述的嵌入式传感器,普通人作为“参与者”从周围环境中收集多维度的数据并且用现存的通信基础设施分享这些数据<sup>[2]</sup>。群智感知已经在诸如医疗保健、社交网络、安全设施、环境检测和公共交通等不同应用领域中显示出它巨大的潜力。比如, Yang 等人提出了基于群智感知系统的室内定位方案,任意参与者可以把他们的位置信息上传给服务器,然后那些和他们在同一地点的参与者可以下载这些定位信息进而完成定位<sup>[3]</sup>。Massung 等人使用群智感知系统<sup>[4]</sup>来支持社区环保行动,他们使用自己开发的应用来让参与者承担轻量级的环境数据收集任

收稿日期: 2015-09-20  
网络出版时间: 2015-10-29  
基金项目: 国家自然科学基金(61300179)

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2015) 06-0010-04

**摘要:** 通过对激励机制的讨论,认为激励机制是群智感知中最重要的研究内容之一,在保证参与者数量和提高感知数据准确性、覆盖率和及时性上起着不可忽视的重要作用。激励机制与群智感知中其他主要研究问题密切相关,如参与者选择、能耗优化、所收集数据质量优化等,所以此方面近来从实验到理论方案的研究,都是为了提供更综合、全面的激励步骤和保障各方利益。同时,还指出了激励机制在未来面临的一些挑战和机遇。

**关键词:** 群智感知;激励机制;实验研究;未来展望

**Abstract:** In this paper, by discussing the experimental studies of incentive mechanisms, we point out that incentive mechanism, one of key research issues in crowd sensing, plays an important role in guaranteeing a stable, optimal group of participants and increasing the accuracy, coverage, and timeliness of the sensing results. As incentive mechanisms are closely related to other important research issues in crowd sensing, such as participant selections, energy optimizations and improving the quality of sensing results, therefore, a considerable amount of research have been conducted recently, ranging from experimental studies to theoretical solutions. These aim to provide more comprehensive incentive procedures and/or protect benefits of different system stakeholders. We also point out some opportunities and challenges of incentive strategies used in crowd sensing.

**Keywords:** crowd sensing; incentive mechanism; experimental studies; future direction

务。Mason 等人设计了一个系统允许野生探索的参与者上传老虎的照片和 GPS 信息,以用来追踪野生老虎的踪迹<sup>[5]</sup>。

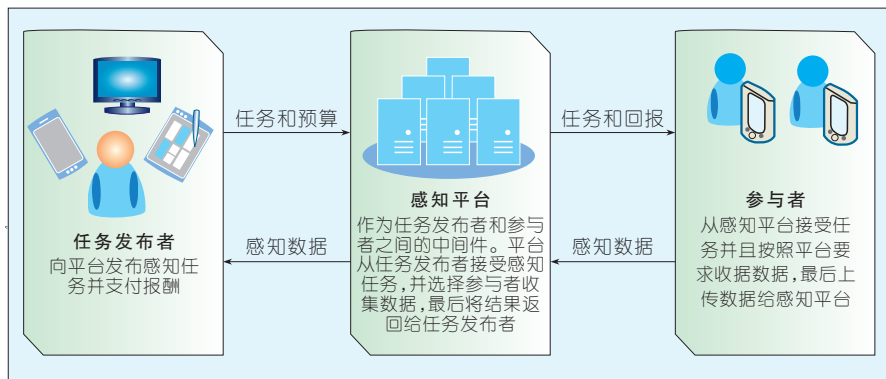
群智感知的一般流程如图 1 所示,包括 3 部分:任务发布者、感知平台和参与者。当任务发布者需要一些感知数据,他会把相应的任务要求以及收集数据的预算发送给感知平台,这些要求包括感知数据的精度、粒度、时间和数量等;接着感知平台根据实际需要招募参与者去收集数据并且根据一定的方案给参与者回报;之后参与者把数据传给感知平台,感知平台最后把数据传给任务发

布者。

激励机制作为系统的一个主要方面,也被广泛应用于其他领域。如, Wang 等人在自治网络中提出了动态的激励机制<sup>[6]</sup>; Zhao 等人使用激励协议去鼓励末端节点协作以使 P2P 网络能提供稳定强大的服务<sup>[7]</sup>; Huang 等人为点对点移动网络中的单个人提供激励去鼓励相互协作<sup>[8]</sup>。

把报酬奖励引入群智感知系统,有以下两方面的原因:

(1) 参与者参与感知任务可能会产生费用花销,以及移动设备的电量消耗等,报酬奖励可以用来抵消并且鼓励参与者忽略这些成本,进而贡献



▲图1 群智感知系统的一般流程

数据。

(2)不同于那些可以利用汇聚节点完全控制所有节点的传统传感器网络,移动智能设备更私有化,它完全由其所有者控制,什么时候收集数据、持续收集的时间都由智能设备的所有者决定。所以奖励可以用来或多或少地影响所有者的这些决定,继而帮助提高收集数据的整体质量。

Wang 等人也说过如果没有合适的激励机制,那么由私人提供给大众的信息总是不能达到最令人满意的状态<sup>[6]</sup>。在群智感知系统中,我们面临两个挑战<sup>[9]</sup>:如何去招募并且留住更多的参与者;如何去估计他们的贡献。第1个挑战可以站在参与者的角度去理解,只有在参与者的需求、目的和他们所关注的内容完全被理解之后,激励才能发挥它的作用和效果。也就是说,我们应该如何提供利益、安全和公平的参与机会以维持足够的参与者。第2个挑战需要站在任务发布者和平台的角度的角度来看,因为不同的任务需要不尽相同的感知持续时间和数据质量<sup>[10]</sup>,所以如何利用最小的回报去得到更高质量的数据是一个挑战。

文章回顾并讨论了激励机制实验的相关学术成果,然后展望了其研究方向。

## 1 群智感知中的激励实验

文献[11]—[13]研究了不同激励策略对参与者人数和感知平台所收

集到数据的数量所产生影响,是最具代表性的3篇文章。表1总结了这3篇文章的实验信息和结果。

### 1.1 实验参数

少量现金回报策略<sup>[11]</sup>是在真实世界测试激励表现的首步工作之一。研究人在美国的一所大学召集了55名年轻参与者进行了5周的实验。研究人要求参与者在校园里拍垃圾桶中垃圾的照片以查看这所校园的垃圾回收情况。任务完成后参与者通过亚马逊土耳其机器人(MTurk)领取少量现金回报。实验通过参与者上传照片数量的多少衡量他所做的贡献。

噪声地图这个实验召集了49名参与者进行了5周的实验<sup>[12]</sup>。参与者用麦克风收集他所在区域的噪声水平并和他的运动轨迹一同上传到感知平台。不同于文献[11]中使用现金激励,研究人使用虚拟积分作为对参与者的回报。实验通过参与者所录声音片段的时长来衡量他所做出的贡献。

文献[13]中的研究人召集了85名参与者进行了近11周的实验。值得

注意的是:不同于文献[11]、[12]中的实验,这个实验中的参与者来自于不同的社会阶层,他们的年龄和文化背景也不相同。实验要求使用参与者手机的麦克风、摄像头和GPS传感器。和文献[11]一样,文献[13]中的实验使用现金作为参与者的回报。实验把参与者上传照片的数量和所录声音片段的时长通过计算的数值来衡量他所做的贡献。

### 1.2 激励策略

尽管这3篇文献中所提出并使用的激励策略不同,但是他们都使用比较试验的方法显示激励策略的影响。

文献[11]使用的是少量现金回报方式,研究人把所有参与者随机分成A、B、C、D、E 5组。A组的参与者不管他们贡献了多少数据,都会得到固定数量的现金回报;B、C和D组的参与者会依据他们的实际贡献获得回报,但是各个组中每张照片回报的金额不同,B组金额最少,C组中等,D组给的金额最多,E组根据参与者的排名给他们回报。

文献[13]中的所有参与者被分成两组,第一组为奖金支付组(BPG),它会根据参与者的排名给予相应的额外奖励,这类似于文献[3]中的E组;第2组为数据竞争组(DCG)类似于文献[11]中的A组。但是不同于文献[3],E组中竞争失败的参与者会没有任何回报,BPG组中竞争失败的参与者依然会有“底”回报。

在文献[12]中,研究人用两种不同的方案去吸引参与者,即“内部激励”和“外部激励”。内部激励方案为参与者提供的回报是用虚拟积分换取的虚拟成就,而外部激励为参与者

▼表1 3篇文章中的实验信息

文献	参与者人数	持续时间/周	传感器种类	激励策略	结果
[11]	55	5	摄像头和GPS	少量现金	每天3~13.5张照片
[12]	49	7	麦克风和GPS	虚拟积分	每天0.13~0.24 h的声音片段
[13]	85	11	摄像头、麦克风和GPS	大量现金	每天0.83~1.16张照片,每天0.25~0.32 h的声音片段

提供的回报是用虚拟积分作为比较因素换取的名次。在文章中我们把外部激励组称作竞争组,而内部激励组称作非竞争组。

总的来说,这3组实验主要的区别是:文献[3]提供的“按数据份数计量”的现金激励;文献[12]提供的是“按数据份数计量”的虚拟积分激励;文献[5]提供的是有保底回报的大量现金激励。他们的基本特点是都使用比较策略,即用竞争策略去和非竞争策略作一系列的比较以研究激励的性能表现。

### 1.3 实验结果评估

如表1所示,文献[11]中A—E组日平均数据贡献分别是3、5.57、6.7、4和13.5张照片。A—D组中每天的日贡献量没有太大变化。但值得注意的是:E组的日贡献量变化幅度很大,在开始的几周里参与者贡献量增长迅速,但是最后几周贡献量几乎跌到0点。文献[12]中竞争组和非竞争组的结果非常明显,分别是每天平均0.13 h的声音片段和0.24 h的声音片段。文献[13]的结果显示BPG组的日平均贡献是1.16张照片和0.32 h的声音片段,DCG组日平均贡献是0.83张照片和0.25 h的声音片段。我们接下来根据他们的结果纵向比较并得出如下结论:

(1)关于参与者的贡献。文献[11]和[13]的结果好于文献[12],也就是说现金回报要比虚拟积分回报更能吸引参与者贡献数据。

(2)依据参与者的实际贡献支付回报比给参与者固定回报的方式能获得更多的数据。比如,按数据份数计量激励策略要好于不按份数计量策略。这个现象已经在文献[11]和[13]中得到了证实,文献[13]中对参与者支付了更多的回报但是收到了更少的数据。

(3)具有竞争性质的激励机制比没有竞争性质的激励机制更有效率。但是文献[11]中的E组和文献

[13]中的BPG组有不同的结果:E组的参与者虽然在开始时贡献多,但是许多参与者逐渐退出实验,但是BPG组的参与者虽然贡献的数量不如E组,但是仍然可以看作是相当可观的贡献量。这种结果是由使用的机制造成的。不同于E组,BPG组竞争失败的参与者仍然可以得到保底的回报。所以对竞争失败甚至没有贡献的参与者,给予他们合适的回报有助于未来他们继续参与感知任务。

(4)E组中B、C、D组有一个有趣的事实,随着每张照片所得回报的价钱增多,感知平台可以接受到的数据数量并没有增多。D组参与者每张照片可得到的回报最多,但是他们却贡献的照片数量最少。我们相信这是由实验的设置造成的,由于参与者不允许从一个组调换到另一个组,而且没有新的参与者加入进来,这就造成了组内没有竞争,所以才有这样的结果。

(5)以上3个文献中所涉及的实验没有一个使用了复杂的激励策略,也没有需要较长时间的参与者协商阶段。

## 2 群智感知中激励机制的展望

群智感知领域未来所面临的挑战挑战和机遇有以下5个方面。

### 2.1 将任务发布者和平台分离

任务发布者和平台是两个独立的经济实体,应该区别对待。一个任务发布者可能会在就近的不同平台上发布任务,而这些平台可能会基于不同的数据需求(比如所需数据的新旧、粒度的粗细等)招募不同的参与者。根据这些不同的需求,任务发布者需要支付数量不等的费用,用来优化参与者的整体收入。

通过引入不同的平台,他们之间的竞争将成为另一个研究方向。一方面,不同平台通过竞争,从不同任务发布者中接受感知任务。这样以

来,对于每个平台在数据质量的要求下最小化感知成本就成为了一个需要优化问题,此外当平台提供不同质量的感知结果时,如何精确地预算成本也是一个新的挑战;另一方面,不同平台将会通过竞争招募和维持一定数量的参与者。现有的激励策略假设平台占据着主要位置,而地位低的参与者则被要求降低他们的报价来获得参与感知的权利。通过在平台间引入竞争,每个平台在高价格招募更多参与者和低价格增加自己的利润这两者间进行权衡,进而不得不重新分配他们提供给参与者的报价。这样,不仅参与者的利益得到了更好的保障,而且会吸引更多的任务发布者。

### 2.2 将历史感知数据应用到新任务中

平台可以将收集到的历史数据卖给其他的平台和任务发布者,因为不同任务可能在空间和时间上有所重叠,唯一区别是不同任务要求的数据质量不同。根据这个特点,一种使参与者和平台都能得到奖励的激励方案将被提出,进而演化成如何优化双方的利益这个研究问题。虽然历史数据可以应用到新任务,但是问题依然存在,比如平台如何权衡历史数据的应用和参与者招募这两者的关系。使用较少的历史数据而招募更多的参与者可能会使平台的利润减少,但是使用较多的历史数据而招募更少的参与者可能会使参与者数量流失。所以,需要一个能使这两方面长期保持平衡的动态方案。

### 2.3 有关节能方面的考虑

现有的一些激励机制没有明确调查参与者智能设备的电量水平,他们模拟的参与成本都是基于智能设备同样电量水平、同样满电量和同样带宽使用率基础上。其实,参与过程中的不便因素是群智感知系统的主要问题。据我们最近进行的一项在线问卷调查显示:参与者移动设备的

剩余电量和设备充电时间是左右参与者执行感知任务意愿的两个主要因素,而这两个因素正影响他们的激励期望。这种新的优化目标催生了一个新的激励机制,即根据参与者的剩余电量、设备使用度和运动轨迹来分配给参与者合适的奖励以达到最大化各方利益的目的。

#### 2.4 基于信誉度值的激励机制

如图2所示,信誉机制和激励机制之间有着明显的联系。当参与者

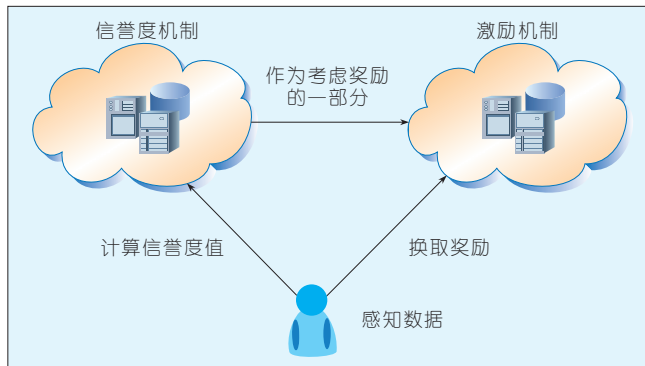


图2 信誉机制和激励机制之间的联系

向平台上传感知数据之后,平台会估计并量化这份数据的质量,之后平台会根据质量值计算参与者的信誉度值并决定相应的激励分配。参与者的信誉度值会影响到他今后的奖励。例如,如果一个参与者经常提供高质量的数据,那么他的信誉度值就会比其他人高。较高的信誉度值能为参与者换来额外的奖励以激励他今后多提供高质量的数据。

#### 2.5 竞价阈值的合理设定

基于竞拍方式的激励机制的一个缺点是:平台不得不接收所有竞价或者用所有感知数据去计算出数据质量的合格阈值,进而决定去接受哪些数据。这样参与者就需要等待较长的时间才能知道平台的决定和奖励。虽然这种方法似乎能在一定预算的前提下得到高质量的数据,但是参与者只能一直等待,如果竞价失败,参与者将得不到任何回报,这种方法并不利于维持参与者数量。

Zhang 和 Zhao 等人把这种方法叫做“线下竞价”,同时他们都提出了另外一种“线上竞价”的方法<sup>[14-15]</sup>。但是,这种方法仍然有它的缺点:他们在开始时就设定了价格门槛,或者根据第一批参与者的竞价和数据质量来决定价格门槛。由于在开始平台没有设定准确的竞价或者数据质量阈值,这就导致了第一批参与者或超出或低于他们应得的奖励。这样会浪费平台的利润或者降低感知数据的真实准确性。所以如何决定开始的竞

价阈值需要更深层次的研究。

### 3 结束语

激励机制是群智感知系统中不可缺少的环节。文章先对最具代表性的3篇实验类文章做了比较,内容包括它们的实验人数、持续时间的设定,使用的激励策略以及实验结果;然后对其进行了总结;最后我们提出了对未来激励机制的一些展望。

#### 参考文献

- [1] LANE N D, et al. A Survey of Mobile Phone Sensing [J] IEEE Communications Magazine, 2010, 48(9): 140-150
- [2] KANHERE S S. Participatory Sensing: Crowdsourcing Data from Mobile Smartphones in Urban Spaces[C]// Proceedings of IEEE MDM 2011, Luleå, Sweden, 2011: 3-6
- [3] YANG S, DESSAI P, VERMA M, and GERLA M. FreeLoc: Calibrationfree Crowdsourced Indoor Localization[C]// Proceedings of IEEE INFOCOM 2013, San Francisco, CA, USA, 2013: 2481-2489
- [4] MASSUNG E, COYLE D, CATER K F, JAY M, and PRESIT C. Using Crowdsourcing to Support Pro-Environmental Community Activism[C]// in Proceedings of ACM SIGCHI 2013, Paris, France, 2013: 371-380

- [5] MASON A D, MICHALAKIDIS G, and KRAUSE P J. Tiger Nation: Empowering Citizen Scientists[C]// in Proceedings of IEEE DEST 2012, Campione d'Italia, Italy, 2012: 1-5
- [6] WANG Y, NAKAO A, and VASILAKOS A V. Heterogeneity Playing Key Role: Modeling and Analyzing the Dynamics of Incentive Mechanisms in Autonomous Networks [J]. ACM TAAS, 2012, 7(3): 31
- [7] HUANG E, CROWCROFT J, and WASSELL I. Rethinking Incentives for Mobile ad hoc Networks[C]// in Proceedings of ACM SIGCOMM Workshop Practice Theory Incentives Network System 2004, 2004:191-196
- [8] DOAN A, RAMAKRISHNAN R, and HALEVY A Y. Crowdsourcing Systems on the World-Wide Web [J]. Communications of the ACM, 2011, 54 (4): 86-96.doi: 10.1145/1924421.1924442
- [9] AFLAKI S, MERATNIA N, BARATCHI M, and HAVINGA P J. Evaluation of Incentives for Body Area Network-Based Healthcare Systems[C]// in Proceedings of IEEE ISSNIP 2013, pp. 515-520
- [10] SCEKIC O, TRUONG H L, and DUSTDAR S. Programming Incentives in Information Systems[C]//Advanced Information Systems Engineering, Springer Berlin Heidelberg, 2013: 688-703
- [11] REDDY S, ESTRIN D, HANSEN M, and SRIVASTAVA M. Examining Micropayments for Participatory Sensing Data Collections [C]// in Proceedings of ACM UbiComp, 2010, pp. 33-36
- [12] SCHWEIZER I, MEURISCH C, GEDEON J, BARTL R., and MUHLHAUSER M. Noisemap: Multi-Tier Incentive Mechanisms for Participative Urban Sensing [C]// in Proceedings of ACM PhoneSense 2012, Toronto, Canada, 2012: 9:1-9:5
- [13] CHON Y, LANE N D, KIM Y, ZHAO F, and CHA H. A Large-Scale Study of Mobile Crowdsourcing with Smartphones for Urban Sensing Applications[C]//in Proceedings of ACM UbiComp 2013, Zurich, Switzerland, 2013: 1-10
- [14] ZHANG X, et al. Free Market of Crowdsourcing: Incentive Mechanism Design for Mobile Sensing [J]. IEEE Transactions Parallel Distributed System, 2014, 25(12): 3190-3200
- [15] ZHAO D, LI X.-Y., and MA H. How to Crowdsource Tasks Truthfully without Sacrificing Utility: Online Incentive Mechanisms with Budget Constraint[C]// in Proceedings of IEEE INFOCOM 2014, Toronto, Canada, 2014: 1213-1221

#### 作者简介



刘驰,北京理工大学软件学院教授,入选2015年国家人社部“高层次留学人才回国资助计划”;主要研究领域为大数据、物联网和云计算技术;先后主持国家自然科学基金、工信部、教育部、交通部等项目10余项;已发表论文70多篇,其中被SCI/EI检索60余篇。