**密级：商业秘密 保密期限：三年**



**硕士学位论文**



**题目： 参与式感知平台激励机制研究与实现**

**学 号： 2013111243**

**姓 名： 王东升**

**专 业： 通信与信息系统**

**导 师： 龚向阳**

**学 院： 网络技术研究院**

**2015年 1月 2日**

独创性（或创新性）声明

本人声明所呈交的论文是本人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢中所罗列的内容以外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得北京邮电大学或其他教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。

申请学位论文与资料若有不实之处，本人承担一切相关责任。

本人签名： 日期：

关于论文使用授权的说明

学位论文作者完全了解北京邮电大学有关保留和使用学位论文的规定，即：研究生在校攻读学位期间论文工作的知识产权单位属北京邮电大学。学校有权保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和磁盘，允许学位论文被查阅和借阅；学校可以公布学位论文的全部或部分内容，可以允许采用影印、缩印或其它复制手段保存、汇编学位论文。（保密的学位论文在解密后遵守此规定）

保密论文注释：本学位论文属于保密在 三 年解密后适用本授权书。

本人签名： 日期：

导师签名： 日期：

参与式感知平台的激励机制研究与实现

# 摘 要

关键词：

RESEARCH AND IMPLEMENTATION OF INCENTIVE MECHANISM FOR PARTICIPATORY SENSING PLATFORM

# ABSTRACT

# 目录

[摘 要 I](#_Toc438205144)

[ABSTRACT II](#_Toc438205145)

[目录 III](#_Toc438205146)

[第一章 绪论 1](#_Toc438205147)

[1.1 研究背景与意义 1](#_Toc438205148)

[1.2 研究内容与目标 2](#_Toc438205149)

[1.3 论文结构 3](#_Toc438205150)

[第二章 相关技术介绍 4](#_Toc438205151)

[2.1 参与式感知 4](#_Toc438205156)

[2.2 平台开发环境和技术路线 4](#_Toc438205163)

[第三章 激励机制的研究 4](#_Toc438205168)

[3.1 激励机制研究综述 4](#_Toc438205172)

[3.2 重要的激励机制分析 4](#_Toc438205173)

[3.3 动态分配预算的激励机制设计 4](#_Toc438205174)

[3.4 激励机制效果仿真 4](#_Toc438205175)

[第四章 激励机制的设计与实现 4](#_Toc438205176)

[4.1 需求分析 4](#_Toc438205181)

[4.2 激励机制的概要设计 4](#_Toc438205182)

[4.3 激励机制的详细设计 4](#_Toc438205183)

[4.4 实现 4](#_Toc438205184)

[第五章 系统测试 4](#_Toc438205185)

[5.1 条目 5](#_Toc438205191)

[5.2 条目 5](#_Toc438205192)

[第六章 总结与展望 5](#_Toc438205193)

[6.1 工作总结 5](#_Toc438205195)

[6.2 工作展望 5](#_Toc438205196)

[参考文献 5](#_Toc438205197)

[致谢 7](#_Toc438205198)

[攻读学位期间发表的学术论文和科研情况 8](#_Toc438205199)

# 第一章 绪论

## 研究背景与意义

## 研究内容与目标

正如上节所提到的，参与式感知在展示巨大潜力、美好前景的同时，距离真正发挥作用还有很多基础工作要研究。本文主要关注如何设计激励机制吸引用户参与到各种感知活动中来，并且利用这种机制促进用户上传优质数据，维持整个社区健康发展。

为什么需要激励机制

所谓激励机制[5]，原本是经济学中常见的原理，是指在组织系统中，激励主体系统运用多种激励手段并使激励规范化和相对固定化，从而与激励客体相互作用、相互制约的结构、方式、关系及演变规律的总和。虽然参与式感知活动主要靠参与者或者称作志愿者的主动参与，但是感知过程不可避免的会产生经济开销（手机的电量消耗、数据流量传输的费用等）和心理开销（定时采集数据需要人工干预、操作流程复杂枯燥等），如果没有适当的激励机制补偿参与者的经济及心理开销，参与者的参与热情必然会不断衰减，最终导致参与式感知应用的失败。

现有激励机制的主要方向介绍

激励机制可以利用实际的报酬方式或者虚拟的积分方式。利用报酬方式时，付给参与者的报酬必须足够多以来抵消参与者的感知开销并且激励其持续参与到感知活动中，同时也要足够少使得服务提供商可以在预算范围内维持感知活动的运行。参与者的开销是用户的私人信息，参与同一次感知活动不同参与者的开销不尽相同，而且参与者也有充分的动机高报开销来获取更高的报酬。所以参与式感知应用的激励机制要设计得使感知服务提供者经济上可行，同时激励参与者真实报价并保证一定的服务质量。

本文主要研究了参与式感知中通用的激励机制设计原则和已有的方案比较，并且根据论文依托的实验平台具体设计一种激励机制，仿真对比激励机制效果。同时还负责参与式感知实验平台的数据处理部分的设计与实现，包括需求分析、架构设计和技术实现，主要完成了平台对感知数据的接收、图片的分布式存储和高并发访问，以及平台开放的规范的REST接口的设计与实现。

## 论文结构

本文共分为6章：

绪论介绍研究背景和意义、阐述研究内容和目标、论文结构等；第二章介绍了本文中的关键技术；第三章详细介绍激励机制研究现状，包括其要解决的问题和解决方案，理论和实验结果；第四章设计并实现了实验平台中的激励机制；第五章是系统测试；第六章对本文的工作进行了总结，并对以后的工作进行了分析展望。

# 第二章 相关技术介绍



## 参与式感知

什么是参与式感知，来龙去脉。

近年来，乘着摩尔定律的浪潮，手机性能在飞速的提高，处理能力更强、嵌入的传感器更丰富、存储空间更大、网络传输速率更快。今天的手机已经从仅仅能打电话的功能机阶段进化到有丰富计算、感知和通信能力的智能设备时期。根据ITU的数据【1】，截止到2015年末，全球移动蜂窝用户会达到70亿，其中有20亿智能手机用户，并且据调查，83%的互联网用户更喜欢用他们的移动设备上网。随着手机技术和通信技术的进步，手机已进入到大众生活的各个角落，在此条件下，一种新型的完成大规模感知任务的方案——“参与式感知”应运而生【2】【3】。参与式感知的关键思路是使普通大众有能力对周边环境用手机进行感知，并且分享收集到的感知数据。

优点、缺点

虽然手机不是特别制造来用作感知的，但事实上手机可以很好地作为复杂的传感器来工作。相机可以作为视频或图片传感器，麦克风是2倍人声频率的音频传感器，嵌入的GPS接收器可以提供位置信息，其他的嵌入传感器如陀螺仪、加速计和接近传感器可以综合利用来感知和估计手机携带者的环境信息，比如手机携带者是在走路还是骑行等等。另外，通过蓝牙或有线连接，外置传感器可以容易的和手机连接，例如空气质量检测仪等，所以手机作为传感器集成平台有灵活的可扩展性。

典型的参与式感知应用工作在一种中心型的方式，即志愿者通过手机传感器采集的数据，通过无线数据通信上传到中央服务器进行处理。手机端的感知任务可以手动触发、自动触发（更多的称作机会感知）或根据环境上下文触发；在服务器端，数据被分析、处理成可用的形式，通过数据可视化技术在个人的手机上或web界面中展示出来。如下图所示

参与式感知对比于传统的传感器网络有四点优势，后者通常需要部署大量固定的无线传感器设备，尤其是在都市区域。第一，因为参与式感知利用现有的感知（手机中的传感器）和通信（蜂窝或WiFi）基础设施，部署开销几乎为零；第二，手机用户固有的移动性使得参与式感知能提供空前的时空覆盖范围，而传统固定传感器网络所感知的范围是固定不变的；第三，手机应用的开发工具和发布平台都很成熟，使得参与式感知应用的开发和部署变得简单；最后，将普通大众吸引到参与式感知活动中，可以宣传环保等概念，这将巨大地改变人们的生活方式。

参与式感知应用场景。

【2】最早提出参与式感知的概念，构想将参与式感知应用到公众健康、城市规划、社会现象记录和自然资源管理等方面。【4】中将参与式感知应用分为两类：个人中心型和环境中心型。个人中心型中，DietSense用手机记录饮食信息，参与者可以将信息分享给医生或营养专家；PEIR (Personal Environmental Impact Report)使得用户通过手机了解到自己所处的环境的污染程度；BikeNet提供了监测参与者骑行体验的系统；PetrolWatch通过参与者对车外的加油站服务牌进行拍照，上传到中央处理器后处理分析得到汽油价格，人们可以检索感兴趣区域的虽便宜的汽油价格。环境中心型中，Haze Watch利用外接传感器测量、、 、 的浓度，与气象站对比，手机测量精确度可能要差，但是参与式感知的方式可以提供更大的覆盖范围，参与者的移动性也有机会观测到突发的污染情况，这是固定观测站无法提供的服务，所以可以用参与式感知的方式，获取细粒度覆盖范围的观测样本作为高保真固定观测站数据的补充；类似的，EarPhone通过手机中的麦克风采集声音，绘制城市级别的噪音地图来研究噪音和相关社会行为的关系；Nericell利用嵌入的加速计传感器、麦克风和定位系统（GPS、GSM基站辅助定位）综合判断路况条件，比如坑洼、碰撞、刹车和鸣笛（可以进一步判断交通拥堵等信息）可以通过手机来采集并上传。概括起来，参与式感知应用的普遍目标是尽可能精确地观察、发现一些现象、过程或状态，然后分发给感兴趣的人们，取之于民、用之于民。

基于参与式感知的应用如雨后春笋般出现，展示出巨大的活力和潜力，但是这些应用真正的成功部署到人们的日常生活中还需要解决一系列问题。很多参与式感知应用的成功依赖于大量用户的参与和贡献足够数量和质量的数据，如何设计激励机制吸引用户参与是亟待解决的问题。由于系统无法控制参与者的行为，平台收到的数据在时间和空间上具有随机性，会造成数据集的不完整。而很多应用需要推断用户所处环境上下文和活动状态信息，这需要综合各种传感器的数据结合机器学习技术还识别人类活动模式。应用采集了用户的各种周边环境数据，很多都会揭露用户隐私，例如位置信息、轨迹数据和拍摄的图片、视频等，如何保护用户隐私是消除用户疑虑、保证其积极参与的重要工作。同时，参与式感知应用还要有能力鉴别数据的真实性、准确性，否则良莠不齐甚至充斥伪数据的数据集将毫无价值。最后但也是很重要的一点，参与式感知应用要考虑减少手机的资源开销，参与者对于手机电量和流量的消耗比较敏感。



## 平台开发环境和技术路线

tomcat应用服务器，hbase分布式的数据库，HTTP、json、文件上传、Spring MVC

由第三章中的需求分析，客户端需要上传文本文件、二进制文件到平台，当检索资源时也需要下载文本文件和图片等二进制文件到客户端，根据网络分层模型，可以利用可靠地面向连接的TCP协议实现客户端和平台的通信。但是通过socket链接，客户端和服务器都需要做很多连接、通信过程中的琐碎工作，而现有的应用层协议，比如HTTP、FTP都可以完成我们的需求，并且简化工作量，客户端开发中iOS、Android平台也提供了丰富的SDK支持，所以我们不需要基于TCP定制应用层协议来开发。

采用http协议进行数据通信（还有其他选择吗？），http协议是啥？

Hypertext Transfer Protocal是无状态的应用层协议，应用于分布式的、协作的、超文本信息系统中。HTTP建立在可靠的传输层或会话层连接之上，通过交换消息来通信。HTTP客户端与HTTP服务器建立连接，发送一个或更多的HTTP请求。HTTP服务程序接受连接，通过发送HTTP响应来服务HTTP请求。

客户端通过请求消息给服务器发送HTTP请求，请求消息由请求行开始，包括请求方法、URI和协议版本，接下来是头部，头部由一个空行来结束，最后是消息体。

服务器通过一次或多次HTTP响应消息来回应客户端的请求。每个响应消息也包括三部分，开始行是状态行包括协议版本、成功或失败状态码，之后是用于说明状态码的文本，接着是响应头部（包括服务器信息、资源元数据和展示元数据），空行代表头部结束，之后是响应消息体。

Client request:

GET /hello.txt HTTP/1.1

User-Agent: curl/7.16.3 libcurl/7.16.3 OpenSSL/0.9.7l zlib/1.2.3

Host: www.example.com

Accept-Language: en, mi

Server response:

HTTP/1.1 200 OK

Date: Mon, 27 Jul 2009 12:28:53 GMT

Server: Apache

Last-Modified: Wed, 22 Jul 2009 19:15:56 GMT

ETag: "34aa387-d-1568eb00"

Accept-Ranges: bytes

Content-Length: 51

Vary: Accept-Encoding

Content-Type: text/plain

Hello World! My payload includes a trailing CRLF.

采集的相关传感器信息，可以构造成JSON格式的文本字符串发送给服务器，而二进制的文件（例如照片、音频等）可以通过二进制比特流放在消息体中来传输。

考虑到采集数据中有用户的位置等隐私信息，处于安全性考虑，如果采用HTTP协议，面临窃听、篡改和冒充风险。而HTTPS是HTTP的安全版本，基于SSL/TLS协议之上，其所有的信息都是加密传播的，第三方无法窃听，具有校验机制，一旦被篡改，通信双方会立刻发现，配备身份证书，以防止身份被冒充。SSL（Secure Sockets Layer）由NetScape于1994年发布，后互联网标准化组织ISOC接替Netscape，发布了SSL的升级版TLS，最新版本是2011年的修订版TLS1.2.

SSL/TLS协议采用公钥加密算法，客户端先向服务器索要公钥，然后用公钥加密信息，服务器对收到的密文用自己的私钥解密还原客户端的信息。为了保证开始获取的服务器公钥不被篡改，需要将公钥放在数字证书中，只要数字证书可以验证，公钥就是可信的。而公钥加密计算量很大，为了减少时间消耗，SSL/TLS为每一次会话生成一个会话密钥，公钥只用来加密会话密钥，之后用会话密钥来对称加密本会话中的数据，这样就减少了加解密的计算开销。

iOS9开始苹果也大力推进使用HTTPS进行数据通信，综上所述，我们采用HTTPs协议来进行感知数据的上传和下载。

JSON格式介绍

Spring MVC框架介绍

REST介绍和接口确定

推送



# 第三章 激励机制的研究



## 激励机制研究综述

激励要解决的问题是什么

参与式感知就是通过收集大量参与者上传的平台感兴趣的数据来观察和揭示一种现象的新型的感知方式。仅有一个人上传数据，必然不能提供足够的、精准的感知数据来观测城市范围的观测现象，但是通过集成众多参与者的感知数据，就可以获得高品质、广覆盖的观测现象的测量值。所以，为了使参与式感知获得成功，必须调动大量的参与者投入到感知活动中，在参与式感知上下文中激励机制的研究与设计正是要解决这一问题。下文中所说的激励机制均指在参与式感知上下文中讨论的激励机制，不再特别说明。

解决这个问题的方法

参与式感知应用的成功需要大量用户的参与，除了应用本身有意义、有意思吸引用户之外，有效地宣传、推广和应用分发都是重要环节，用户第一次参与之后的用户存留和用户活跃度维持也需要重视。这些相关研究在互联网应用的领域得到了足够的重视，例如注册送红包等方式增加装机量，分享红包等方式通过社交网络促进装机量和成交量，通过设置升级制、荣誉勋章等提高用户粘度等等。这些措施多是结合用户心理、用户体验等因素制定推广、运营策略，而参与式感知中激励机制要讨论的问题与此侧重点不同，更多的是从传感器网络要达到的目标出发，完成一定的感知任务。本文假设用户有意愿参与到感知活动中（不讨论推广环节），并且是理性的、自私的，在此模型下如何维持用户参与热情，提供更高质量的感知数据，谋求参与者和感知平台的共赢。

没有解决的问题是啥

## 重要的激励机制分析

设计原则

通过阅读大量的激励机制文献，总结出为了成功激励用户参与到感知活动，激励机制主要要考虑如下特点：

1. 经济可行性

对于任何一个参与式感知项目，预算都是重要的要考虑的问题。参与式感知，需要维持大量的参与者来确保感知结果的可靠性和覆盖范围，但是有限的预算可能限制我们达到这个目标。如果采用非金钱的激励方式，可以尝试吸引具有特定兴趣和爱好的用户来参与。这类非金钱的方式包括增强应用的游戏属性、竞争性或者提供社交上的奖励（比如排名、勋章等）。这种想法试图减弱执行参与式感知任务时的负担，使其变得好玩。这类的激励机制可以维持大量兴趣驱动型的参与者，使得系统正常运转，但此类激励机制的设计需要时间和特定领域的知识，多是专家或有经验的设计者来完成。

另一方面，金钱类的激励机制提供了另一种解决问题的方案。通用的方法是估计出参与者愿意接受一个感知任务的最少期望报酬-保护价格工资，由系统提供这个保护价格工资来激励用户参与，从而使得参与式感知项目是经济可行的。Addison指出用户保护价格工资会依赖于一些因素随着时间变化，例如手机剩余电量、通信套餐资费和用户当前对手机的使用情况等。将非金钱类的激励因素融入经济类的激励机制中，可以降低保护价格工资，发挥固有的激励因素降低开销。

1. 数据质量

激励机制设计的是否合理，很大程度体现在是否促进高质量数据的上传。为了鼓励高质量数据的上传，可以应用信誉机制。每个具体的参与式感知应用对数据的要求各不相同，通常考虑数据的及时性、图片的清晰度、位置分布等，用户的信誉值可以通过历史参与表现还决定，也可以通过参与者互评，或者综合两种方式。不同的信誉度的用户获得的激励是不同的，一方面可以整体促进高质量数据的上传，另一方面，在所需数据质量要求不高时，可以选择信用值适合的用户来执行任务，降低开销。

1. 区域覆盖

参与式感知依靠随机分布的参与者替代固定部署的传感器来采集数据，优势是空前的时空覆盖范围，但同时也要解决感知数据分布随机性、不可控性的问题。显示应用中容易造成人员密集的学校、写字楼、居民区等区域数据丰富甚至冗余，而公园、郊区、道路等同样需要感知的区域在时间和空间上感知数据分布都很稀疏，无法提供可靠的、有代表性的感知数据。

感知数据分布问题主要有两方面：一是不同区域用户保护价格工资不同（感知相同的数据，有些区域价格便宜，有些区域价格过高），二是如何解决有些某些区域参与者缺失而另一区域参与者过多。如果没有设计好激励机制，做好用户选择，前者会造成只选择最低价格的用户，使得数据覆盖范围不好；后者更为严重，某些区域数据缺失。两种原因造成的结果类似，都是数据覆盖不好，但成因不同，前者是用户选择算法不合理，后者是没有充分利用激励机制和用户的移动性来促进数据分布。

1. 公平性

公平性就是所有潜在参与者都有被选中的机会，是激励机制设计重点需要考虑的问题，对于维持用户参与程度、保证覆盖区域和节省预算都有重要影响。类似于现实中的社会福利，公平性在参与式感知中起到维持系统长时间有效运行的效果。如果仅考虑系统的开销最少，例如采用基于逆向竞拍的模型，选择报价最低的用户执行感知任务，但从一轮任务来看是最优的，但是随着高报价参与者的退出，剩余的参与者完全可以提高报价来获取更高收益，造成开销爆炸，反而增加了支出。当潜在参与者多于所需数据数量时，采用随机方式选择用户公平性最高，而设计激励机制时考虑的公平性就是在支出、覆盖区域、数据质量等因素之间取得适合本应用的折中。

1. 足够数量的参与者

足够数量的参与者是参与式感知成功的关键，也是激励机制要解决的首要问题。如上所述，可以采取金钱类的和非金钱类的激励措施，维持用户持续参与。但过多的采集数据也是不必要的，造成预算的过多支出并增加了系统的传输和处理负担。所需维持的参与者数量，可以通过感知数据获取频率、目标区域的大小、观测现象的种类和变化速度、感知精度需求等因素综合来确定，之后根据激励机制维持不少于此数量的参与者持续贡献数据。

1. 对变化的适应性

参与式感知平台可能新增加服务，感知区域可以变大，用户的开销也会随着时间增加或减少，也有其他同类的参与式感知平台作为竞争对手，所以激励机制要设计的能够适应这些变化，例如固定价格激励方式就需要引入价格确定算法，动态适应感知市场的价格变化，否则会造成预算浪费或竞争力不足而达不到服务要求。

分类

如何分类

已有文献对于激励机制的研究已经比较广泛和深入，对激励机制的分类也有不同的方式。比如有在线的和离线的激励机制分类方法，在线激励机制中，参与者在时间上有先后的到达感知区域，和系统进行交互，平台需要尽快的做出响应，协商感知报酬、用户选择等决定，而在离线的激励机制中，感知平台在响应的时间窗口内收集了所有潜在参与者的用户信息，包括感知的保护价格工资、用户位置信息等用户信息，统一进行用户选择、报酬分配等决策。也有将激励机制分为金钱类激励机制和非金钱类激励机制，侧重与激励机制是否需要预算开销来维持，并且试图充分利用用户自身固有的对感知活动的兴趣来激发其上传数据热情。在金钱类激励机制中又可以细分为静态激励和动态激励，主要区别为是否引入竞争机制，动态激励使参与者之间通过博弈来降低系统的感知开销。

本文综合以上分类思想的特点，鉴于主要关注金钱类激励机制的研究，将激励机制根据激励价格的变化情况分为『固定价格』和『动态价格』两种，根据激励分配方法的不同侧重点分为『以用户为中心』和『以平台为中心』两种，根据激励机制中的激励协商方法的不同流程，分为『定价优先』和『数据上传优先』两种，根据激励机制中用户选择的及时性区别，分为『在线型』和『离线型』两种。下一小节将根据分类分别介绍相关类别激励机制的主要特点和代表性的设计。

理论研究

不同的激励定价方式

固定价格

不同的激励分配目标

以用户为中心和以平台为中心的最主要区别是，以用户为中心的激励机制更关注如何使更多的用户参与到感知活动中来、维持其在平台的活跃程度；而以平台为中心的激励机制更关注降低平台的感知开销、提高平台的结余。

以用户为中心的激励机制

实验数据

总结

## 3.3 动态分配预算的激励机制设计

专利中的设计

## 3.4 激励机制效果仿真

三种激励机制

从哪几方面对比效果

1. 平台角度
   1. 单位预算获得的数据量
   2. 参与者人数维持
   3. 每轮任务完成的QoS
2. 用户角度
   1. 总收益
   2. 公平性（被选中）

# 第四章 激励机制的设计与实现



## 需求分析

用例图

## 激励机制的概要设计

## 激励机制的详细设计

## 4.4 实现

# 第五章 系统测试



## 测试说明

## 功能测试

# 第六章 总结与展望



## 工作总结

## 工作展望

# 参考文献

1. Statistics I T U. The world in 2014: ICT facts and figures[J]. 2015.
2. Burke J A, Estrin D, Hansen M, et al. Participatory sensing[J]. Center for Embedded Network Sensing, 2006.
3. 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.
4. Kanhere S S. Participatory sensing: Crowdsourcing data from mobile smartphones in urban spaces[C]//Mobile Data Management (MDM), 2011 12th IEEE International Conference on. IEEE, 2011, 2: 3-6.
5. 王慧贤. 社交网络媒体平台用户参与激励机制研究[D]. 北京邮电大学, 2013.
6. Reddy S, Estrin D, Hansen M, et al. Examining micro-payments for participatory sensing data collections[C]//Proceedings of the 12th ACM international conference on Ubiquitous computing. ACM, 2010: 33-36.
7. Mukherjee T, Chander D, Mondal A, et al. CityZen: A cost-effective city management system with incentive-driven resident engagement[C]//Mobile Data Management (MDM), 2014 IEEE 15th International Conference on. IEEE, 2014, 1: 289-296.
8. Yang D, Xue G, Fang X, et al. Crowdsourcing to smartphones: incentive mechanism design for mobile phone sensing[C]//Proceedings of the 18th annual international conference on Mobile computing and networking. ACM, 2012: 173-184.
9. Lee J S, Hoh B. Sell your experiences: a market mechanism based incentive for participatory sensing[C]//Pervasive Computing and Communications (PerCom), 2010 IEEE International Conference on. IEEE, 2010: 60-68.
10. Dong Zhao; Xiang-Yang Li; Huadong Ma, "How to crowdsource tasks truthfully without sacrificing utility: Online incentive mechanisms with budget constraint," Proceedings of INFOCOM'14, IEEE , 2014
11. Jaimes L G, Vergara-Laurens I, Labrador M A. A location-based incentive mechanism for participatory sensing systems with budget constraints[C]//Pervasive Computing and Communications (PerCom), 2012 IEEE International Conference on. IEEE, 2012: 103-108.

# 致谢

# 攻读学位期间发表的学术论文和科研情况

论文

宋涛，王洪波. 面向垂直检索的知识图谱系统研究与设计，中国科技论文在线. 2014-11-02. 论文编号201411-16.

科研项目

* + - 1. 横向研究项目：基于云计算的垂直搜索引擎系统开发
      2. 国家 863 项目：云计算中心网络大容量交换机关键技术与系统