

# 移动群智网中基于人群搜索优化和协作竞争的用户激励机制

李志刚<sup>1</sup> 汤学明<sup>2</sup>

(江苏科技大学计算机科学与工程学院 镇江 212003)<sup>1</sup> (华中科技大学计算机科学技术学院 武汉 430074)<sup>2</sup>

**摘 要** 针对移动群智网的用户激励和保护问题,基于人群搜索优化和协作竞争研究了一种用户激励机制。在该机制中,根据时域、空域和频域对感知区域内的移动节点给出定位信息定义,并对发送信号和接收信号进行人群搜索优化,同时根据特征值进行协作竞争,最后通过调整特征值、协作竞争和退出来实现用户激励和保护。实验结果证明,与基于静态路径的信道优先分配和无协作竞争最优功率分配的用户激励机制相比,所提出的用户激励机制在系统能量使用率、传输时延和系统负载上具有明显优势。

**关键词** 群智感知,人群搜索优化,协作竞争,移动管理,用户激励

**中图分类号** TP319 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2016.11.036

## User Incentive Mechanism Based on Crowd Search Optimization and Cooperative Competition for Mobile Crowd Sensing Networks

LI Zhi-gang<sup>1</sup> TANG Xue-ming<sup>2</sup>

(School of Computer Science and Engineering, Jiangsu University of Science and Technology, Zhenjiang 212003, China)<sup>1</sup>

(School of Computer Science, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)<sup>2</sup>

**Abstract** According to the issue of user incentive and protection of mobile node, a kind of user incentive mechanism was studied based on crowd search optimization and cooperative competition. In the mechanism, according to the time domain, space domain and frequency domain, a definition of position information was given for mobile node in the sensing area, and the transmitted signal and the received signal were conducted population search optimization. At the same time, cooperation and competition were done according to the characteristic values. Finally, user incentives and protection were achieved through adjusting the feature value, competition and cooperation and exiting. Experimental results prove that the proposed user incentive mechanism has obvious advantages in system energy usage rate, transmission delay and the load of system compared with the incentive mechanism based on priority assignment of static path channel and optimal power allocation without cooperative competition.

**Keywords** Crowd sensing, Crowd search optimization, Cooperative competition, Mobility management, User incentive

移动群智网可以将用户作为移动节点,通过协作方式在主动或被动的情况下完成数据感知、收集、转发和处理的任  
务,于是得到了广泛关注和应用<sup>[1]</sup>。目前的主要研究热点包  
括群智感知、数据收集和激励机制<sup>[2]</sup>等。其中,如何激励和保  
护用户成为关键问题之一。

在资源分配和用户搜索方面,文献[3]提出了一种适用于  
云环境的双向组合拍卖式智能资源分配机制。文献[4]将逐  
维搜索、Metropolis 准则等相结合,研究了改进组搜索优化算  
法。文献[5]研究了离散群搜索优化算法优化工件加工的总  
流水时间,从而优化中间存储有限的 Flow Shop 调度。文献  
[6]通过分析不同类型搜索的特点和局部拓扑信息构建索引,  
研究了一种启发式优化方法。

另外,文献[7]为了降低深空通信系统链路损耗、缩短时  
延并解决优化频繁中断问题,研究了多天线的深空中继通信系  
统的中断概率和各态历经信道容量。文献[8]研究了一种动  
态多信道 MAC 协议,用于为网络内部节点和外部 WiFi 网络

提供抗干扰能力。文献[9]分析端到端信道状态,基于功率分  
配,结合路由最小功率,研究了一种协作路由算法。文献[10]  
在频率选择性衰落信道的频域估计的基础上,基于训练提出  
了一种最小二乘信道估计算法。

在用户激励与保护方面,文献[11]针对一个共生结构研  
究了中继与多个主用户频率激励认知机制;文献[12]研究了一  
种协同交互的多视角视频流激励机制;文献[13]分析了激励  
机制的设计挑战,鼓励用户参与到用户所提供的网络;文献  
[14]分析了现有的无线传感器网络安全解决方案的不足,提  
出了移动人群中用户隐私和数据可信分析机制;文献[15]研  
究了一种在多通道传感器网络中使用无源传感器的方法,  
其通过接收信号强度进行人群检测。

在已有研究结果的基础上,从激励用户加入协作通信和  
移动节点保护角度出发,开展如下研究工作:1)将感知区域划  
分为时域、空域和频域三维,并为移动节点定义了定位信息;  
2)基于群搜索优化算法对发送信号和接收信号进行函数

到稿日期:2015-07-02 返修日期:2015-09-02 本文受江苏省教育厅项目(KB33872)资助。

李志刚(1971-),男,硕士,讲师,主要研究方向为计算机网络技术,E-mail: lizhigangzj@163.com; 汤学明 博士,主要研究方向为计算机信息安全等。

优化;3)定义3类特征值,据此实现多移动节点的协作竞争;4)建立实时更新特征值、调整协作竞争和退出等多阶段,提出了一种高效可靠的激励机制。

### 1 基于群感知的人群搜索优化算法

在感知区域内部署了  $n$  个移动节点,每个移动节点装有相同类型的传感器。任一移动节点  $M_i$  的定位信息定义为  $M_i(t, s, f)$ ,其中  $t$  表示时间,  $s$  表示空间,  $f$  表示频率。

时域上,设定一轮感知时长为  $T$ ,以感知周期为单位将  $n$  个移动节点划分为  $j$  组,时域表示如图 1(a)所示,并且满足式(1)所示关系。

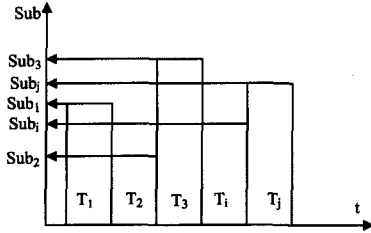
$$\begin{cases} \sum_{i=1}^j T_i = T \\ \sum_{i=1}^j \text{Sub}(T_i) = n \end{cases} \quad (1)$$

其中,  $\text{Sub}(T_i)$  表示满足第  $i$  个感知周期的移动节点个数。

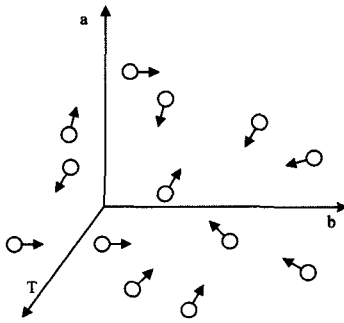
空域上,根据高度、移动速度和时域上的感知周期,对感知区域进行划分,如图 1(b)所示,同时满足式(2)所示关系。

$$\begin{cases} \begin{bmatrix} G_{11} & G_{12} & \dots & G_{1b} \\ \dots & \dots & \ddots & \dots \\ G_{a1} & G_{a2} & \dots & G_{ab} \end{bmatrix} \\ \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b G_{ij} = n \end{cases} \quad (2)$$

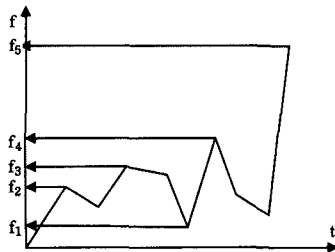
其中,  $G_{ab}$  表示感知区域划分后结点的个数,  $a$  表示移动速度最大值,  $b$  表示高度最大值。



(a)时域



(b)空域



(c)频域

图 1 三维区域感知结构图

频域上,根据时间,计算空域上同一区域的移动节点工作

频率最大值与最小值的绝对值差,如果该差值大于时域上定义的感知周期最小值,则进行频域划分,并定义子信道,且满足式(3)所示关系,划分情况如图 1(c)所示。

$$\begin{cases} t_k |f_k - f_{k+1}| > T_{\min}, 1 < k < j \\ \sum_{k=1}^j t_k \leq F_{\text{sv}} \end{cases} \quad (3)$$

其中,  $f_k$  和  $f_{k+1}$  分别表示相邻移动节点的工作频率,  $T_{\min}$  表示  $j$  个时域分段即感知周期内的最小值,  $F_{\text{sv}}$  表示移动群智系统的总带宽。

综上,基于时域、空域和频域,结合移动节点的运动轨迹和发送功率,得出源移动节点的发送信号,如式(4)所示。

$$x_s = \frac{\sqrt{P_s} |h_s|^2}{\sqrt{\sum_{i=1}^{\text{Sub}(T_s)} P_i |h_{s,i}|^2}} f_s \delta_{s,D} \quad (4)$$

其中,  $P_s$  为源移动节点发射功率,  $\text{Sub}(T_s)$  为源移动节点所在空域单元的移动节点个数,  $f_s$  为源移动节点工作频率,  $\delta_{s,D}$  为源移动节点与目的移动节点之间的信道衰落因子,  $h_s$  和  $h_{s,i}$  分别为源移动节点和空域单元内节点的信道系数。

经过多节点协作传输后到达目的节点,接收信号包括源移动节点和中继节点合并信号,如式(5)所示。

$$y_d = \sum_{k=1}^n E(P_k) |h_{k,d}|^2 x_k + \sqrt{P_s} x_s \quad (5)$$

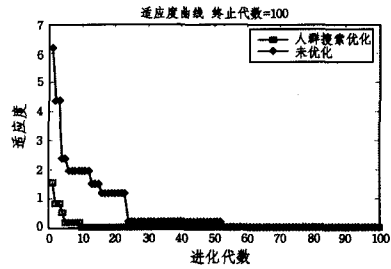
其中,  $E(P_k)$  为中继移动节点发送功率的均值。

为了优化移动群智网的全局性能,采用人群搜索优化算法对式(4)和式(5)进行函数优化,以便从空域、时域和频域上以最优通信性能为目标确定中继移动节点。

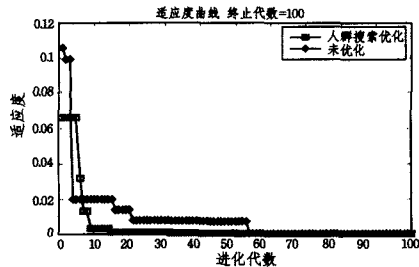
对于任一移动节点,根据其信息定义,给出其属性  $\{d_f, d_t, d_s\}$ ,搜索时可按照式(6)所示方向进行优化。

$$\begin{cases} S_{e,t}(M) = \alpha x_{k,T_k} - P_k \\ S_{e,f}(M) = \beta x_{k,f_k} - E(P_k) \\ S_{e,s}(M) = \lambda x_{k,s_k} - E(T_k, f_k) \end{cases} \quad (6)$$

其中,  $\alpha, \beta$  和  $\gamma$  分别为时域、频域和空域上搜索随机加权因子。以全局通信性能最佳为目标,沿 3 个方向进行搜索,寻找最佳移动节点组合,采用人群搜索优化和未采用两种情况下的适应度随进化代数的分析结果如图 2 所示。



(a)发送信号函数



(b)接收信号函数

图 2 适应度对比

从图2中可以看出,采用人群搜索优化算法后,适应度函数数值明显小于未采用的情况,表明该算法可用于移动群智网,并且具有可靠性高、收敛快和以全局优化为目标等优点。

## 2 移动群智协作竞争算法

基于移动节点信息定义和属性定义,给出移动特征定义。

(1)自优特征  $ac1$ :根据历史移动轨迹寻找该节点的最佳位置以提高自身通信性能。一般以源移动节点或目的节点为重,其特征值设置得较大,其它移动节点设置得较小。

(2)全优特征  $ac2$ :与邻居移动节点建立竞争同盟,以全局历史移动轨迹为参考,寻找为当前通信提供最优保障的位置。中继协作移动节点的该项特征值较大。

(3)随机特征  $ac3$ :移动节点具有不确定性和模糊性,该特征有助于完成第1节中人群搜索优化,自适应地为当前通信提供协作移动节点。

同时,上述3个特征之和等于1,即  $ac1+ac2+ac3=1$ 。所有移动节点初始化时,  $ac1=0.2, ac2=0.3, ac3=0.5$ 。

在移动群智网中,为了避免多节点信道竞争造成资源浪费和延迟,基于群智感知和竞争权重,竞争移动节点规模与信号冲突具有如式(7)所示的关系。

$$\eta = \exp\left(\frac{\sum_{i=1}^L P_i |h_i|^2}{2\sigma_L^2 \sum_{i=1}^L x_i}\right) \quad (7)$$

其中,  $\eta$  为竞争度,  $L$  为竞争移动节点个数,  $\sigma$  为随机分布均值。

如果某一周期内,竞争度  $\eta$  较大,且大于  $(ac3 * L / Sub(T_s))$ ,则导致源移动节点无法接入信道,系统性能急剧下降,表明此时  $ac3$  无法满足人群搜索优化条件,难以寻找使全局性能优化的中继移动节点。因此,必须先通过协作竞争方式更新感知区域内所有移动节点的信息、属性和特征值。

$ac3$  的值可通过式(8)实时更新,其中考虑了人群搜索优化的3个方向的相关性。 $ac3$  的增大或减小,直接影响到  $ac1$  和  $ac2$  的值,可由当前移动节点的任务角色或属性信息进行调整。

$$ac3 = \frac{\sqrt{-\ln(\eta)}}{\sigma_k} \quad (8)$$

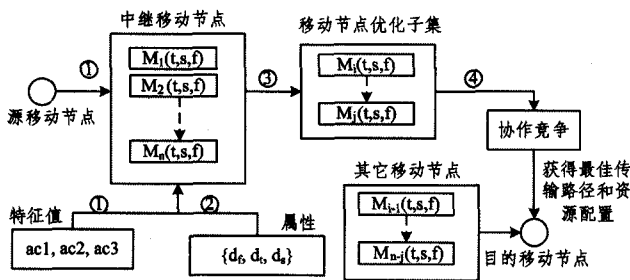


图3 协作竞争流程

因此,移动群智网中协作竞争算法如图3所示,具体流程描述如下:

- (1)所有移动节点信息、属性和特征值初始化。
- (2)参考式(1)~式(3),在感知区域内进行三维区域划分。
- (3)从源移动节点出发,以目的移动节点为目标,采用人群

搜索优化,得到竞争移动节点搜索方向:  $(\alpha x_{k,T_k} - P_k \beta x_{k,f_k} - E(P_k) \lambda x_{k,s_k} - E(T_k, f_k))$ ,其中,  $k=1,2,\dots,n$ 。

(4)根据式(8)计算得到协作竞争门限值  $\overline{ac3}$ ,大于该门限值的移动节点可以由式(7)来作为优化目标进行更新。

(5)更新所有移动节点信息、属性和特征值。

采用协作竞争和普通竞争的通信延迟如图4所示。从图中可以看出,低信噪比即信道质量较差时,移动节点以自优为目标的竞争方式导致  $\eta$  增大,信号冲突显著,数据包碰撞导致性能下降,大量数据包重传,增大了延迟。而协作竞争方式通过实时调整特征值  $ac1, ac2$  和  $ac3$ ,加大全优和随机特征值,为源移动节点和目的移动节点端到端通信建立具有较强鲁棒性和实时性的中继信道。

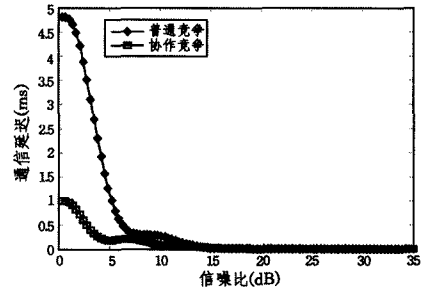


图4 延迟

## 3 用户激励机制

为了保证移动群智网应用具有可靠的服务质量,需要激励更多用户移动节点的加入,完全靠自愿行为难以保证加入的移动节点的健壮性和协助规模,因此本文提出了一种基于人群搜索优化传输过程和基于协作竞争提高资源利用率的用户激励机制,记为 UI-CSOCC。同时,一方面为了保证用户移动节点不因协作通信而资源枯竭导致无法满足自身服务,另一方面为了提高移动群智网的抗毁性并保证系统性能,在 UI-CSOCC 中加入退出机制,退出因素包括:剩余能量、CPU 负载、剩余空间和通信时长。

用户激励机制系统模型如图5所示的其中源移动节点作为任务发起者,向群智网发布广播信息,通过人群搜索优化,如图5所示,传输路径在该路径的邻居移动节点作为待激励用户对象,建立协作通信后到达目的移动节点,然后转发至基站,完成一轮数据转发。

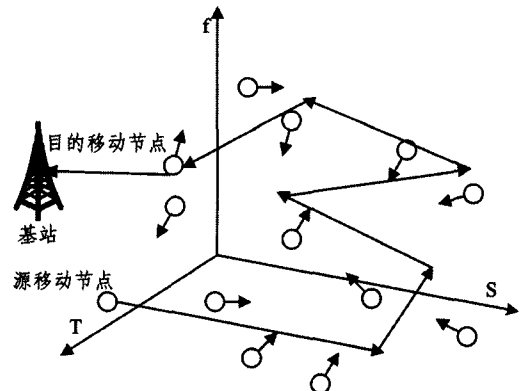


图5 移动群智网用户激励模型

为了激励传输路径上用户移动节点的积极加入,可在3

个搜索方向上以感知周期为单位更新其特征值,如式(9)所示。

$$\begin{cases} ac1=ac1 * \alpha + xd_f \\ ac2=|ac2 * \beta - xd_T| \\ ac3=|ac3 * \lambda - xd_s| \end{cases} \quad (9)$$

其中,在频域上增大  $ac1$ ,通过增加用户移动节点下一轮数据传输频带和信道竞争优势,激励用户加入。同时,分别在时域和空域上减小其全优及随机性特征值,使其能够以更大的可能性为自身应用提供稳定的服务质量。

同时,根据式(10)更新其它未加入此次数据协作通信的用户移动节点的特征值。

$$\begin{cases} ac1=|ac1 * \alpha - xd_T| \\ ac2=ac2 * \beta + x\eta d_T \\ ac3=ac3 * \lambda + x\eta d_s \end{cases} \quad (10)$$

其中,通过在时域上减小  $ac1$  值即缩短移动节点为自身应用提供服务的时间,从而必须进行多次竞争才能占用信道。以全局优化为目标,在时域和空域上增大  $ac2$  和  $ac3$  的值,鼓励其积极加入协作通信。同时,考虑了竞争度,目的是鼓励未加入协作通信的移动节点积极加入协作竞争,一方面为自身争取更高概率来占用信道,另一方面避免无效的信道竞争。

对于在搜索优化路径上的用户移动节点,实时检测其剩余能量、CPU 负载、剩余空间和通信时长信息,分别记为  $\{E_R, C_L, S_R, R_C\}$ ,按照式(11)进行评价。如果该值大于门限值,可加入下一轮协作通信,否则必须退出。

$$\begin{cases} M_{E,k} = \frac{E_R}{x_S} + \frac{C_L}{S_R} P_k + \frac{R_C}{T_k} \\ M_{E,K} = \sum_{k=1}^K \frac{E_R}{x_S} + \frac{C_L}{S_R} P_k + \frac{R_C}{T_k} \\ \tau = \begin{cases} 1, & M_{E,K} > \eta * E(M_{E,n}) \\ 0, & M_{E,K} \leq \eta * E(M_{E,n}) \end{cases} \end{cases} \quad (11)$$

其中,  $M_{E,k}$  表示第  $k$  个用户移动节点的评价值;  $M_{E,K}$  表示此次搜索优化路径上  $K$  个用户移动节点的总体评价值;  $\tau$  表示用户移动节点准入因子,为 1 表明积极加入,为 0 表示必须退出;  $E(M_{E,n})$  为所有移动节点的评价值的均值,因为激励用户是以全局最优为目标。

因此,可以将上述过程分为 7 个阶段,分别为发布、搜索、协作竞争、激励、评价、更新和退出。一个感知周期内的上述多阶段工作流程如图 6 所示。

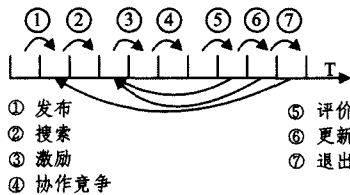


图 6 多阶段工作流程

其中,正常情况下按照阶段①到⑦顺序工作。不过,阶段⑤和⑥反馈阶段③,阶段⑦反馈阶段②可分支工作。通过用户激励与退出机制协同工作,确保实现全局优化目标。

综上所述,将基于人群搜索优化和协作竞争的用户激励机制 UI-CSOCC 算法描述如下。

## 算法 多阶段 UI-CSOCC

输入:  $M_i(t, s, f), \{d_f, d_t, d_s\}, \{ac1, ac2, ac3\}, T_{min}, U_{active}$

/\* 初始化上述信息、属性和特征值 \*/

$$1. x_S = \frac{\sqrt{P_S |h_S|^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n P_i |h_{S,i}|^2}} f_S \delta_{S,D}$$

$$2. y_d = \sum_{k=1}^n E(P_k) |h_{k,d}|^2 x_k + \sqrt{P_S} x_S$$

3. While  $t < T$  do

4. for  $1 < i < n$

5.  $S_{e,t}(M), S_{e,f}(M), S_{e,s}(M)$

6. if  $M_{E,K} > \eta * E(M_{E,n})$  then

7.  $M_k \in U_{active}$

8.  $ac1 * \alpha + xd_f, |ac2 * \beta - xd_T|, |ac3 * \lambda - xd_s|$

9. else  $|ac1 * \alpha - xd_T|, ac2 * \beta + x\eta d_T, ac3 * \lambda + x\eta d_s$

10. 协作竞争获得更多资源配置

11. 评价  $U_{active}$  内所有移动节点,为新一轮通信做准备

12. end

13.  $T = E(T + T_{min})$

14. end

## 4 实验分析

为了分析与验证所提用户激励机制在移动群智网的性能表现,分别将其与基于静态路径的信道优先分配用户激励机制(记为 CPASP)和无协作竞争最优功率分配用户激励机制(记为 NCOP)从传输延迟、系统负载和系统能效等 3 个方面进行对比。

模拟一个长方形市区道路,东西向距离为 1.3km,南北向距离为 1.6km,40 个用户移动节点从东、西、南、北 4 个方向随机移动到该区域,移动速度为 0~40km/h。实验时间为 3600s,用户移动节点到达服从泊松分布,到达率取值为闭合区间  $[0.1, 0.8]$ ,步长为 0.05。

系统平均能效如式(12)所示。

$$\varphi = \frac{1}{\sum_{i=1}^n P_i} \left( \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^{S_j} P_i x_j \right) \quad (12)$$

其中,  $K$  表示激励后加入协作通信的用户移动节点数,  $S_j$  表示每个移动节点在一个感知周期  $T$  内所经历的阶段数。

系统负载可由式(13)得到。

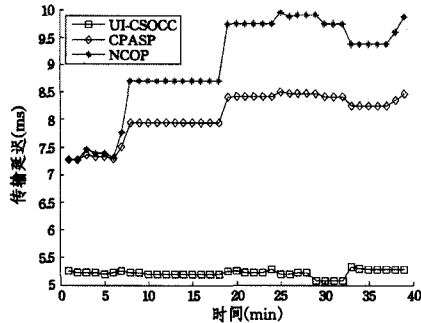
$$\mu = \frac{\sum_{k=1}^K \frac{E_R}{x_S} + \frac{C_L}{S_R} P_k + \frac{R_C}{T_k} + \sum_{i=1}^t P_i |h_i|^2}{\sigma_K^2 \sum_{k=1}^K E(P_k) |h_{k,d}|^2 x_k} \quad (13)$$

图 7 给出了 UI-CSOCC、CPASP 和 NCOP 在 3 方面的性能对比结果。图 7(a) 给出了 40min 内端到端传输延迟的变化情况。从中发现,随着实验时间的变化,所提 UI-CSOCC 保持较低的时延且抖动较小,这主要是由于协作竞争不仅降低了数据包碰撞概率,而且带来了时间增益和信道增益;然而,CPASP 和 NCOP 延迟在 8min 内比较接近,后期抖动明显且 NCOP 延迟明显增大,这是因为普通竞争机制导致大量数据包发生碰撞,进而带来多次重传。

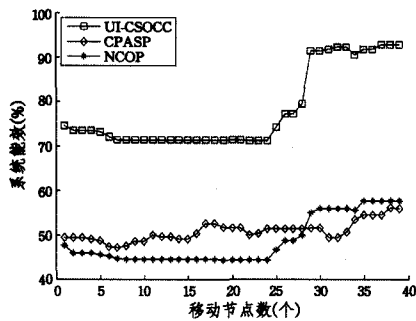
移动节点规模对系统能效的影响如图 7(b) 所示,所提出的 UI-CSOCC 的能效约是 CPASP 和 NCOP 的 1.5 倍,当感知区域内移动节点数超过 25 后,能效迅速提高至 90%,而且

将继续增大至 100%。然而,CPASP 和 NCOP 两种方案的能效始终在 50%徘徊,最大不超过 60%。系统能效上的获益来源于用户激励机制中的特征值实时更新和自适应退出机制,始终以全局优化为目标进行协作竞争。

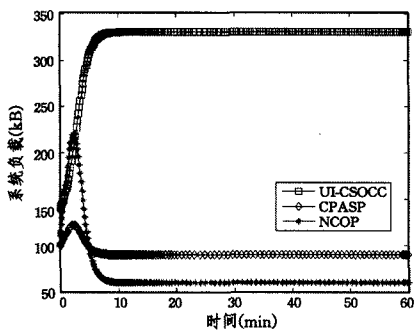
图 7(c)给出了随着时间的变化,3 种机制在系统负载方面的性能表现。可以看出,10min 之前,CPASP 和 NCOP 的系统负载先快速上升然后急速下降,此后一直维持较低的值,这是因为 CPASP 的静态路径上部分移动节点资源耗尽而无法继续提供服务,只能满足少量源移动节点的任务需求,后期无法提供保障。对于 NCOP 而言,无协作的信道竞争与最优功率分配发生冲突,在竞争和功率分配上消耗了较多资源,使得系统实际负载量下降。而所提出的 UI-CSOCC 机制充分考虑上述两种机制的问题,进行了实时优化和更新。



(a) 传输延迟



(b) 系统能效



(c) 系统负载

图 7 用户激励性能分析

**结束语** 为了提高移动群智网中用户参与协作通信的积极性,研究了一种用户激励及补偿机制。首先,针对感知区域内用户移动节点,从时域、空域和频域上给出定位信息定义,在此基础上进行人群搜索优化。然后,通过自适应调整特征值、更新协作竞争和建立退出机制,提出了用户激励机制。仿真分析结果表明,所建立的激励机制不仅可以提高系统能量使用率,而且在缩短传输时延的同时可以增大系统负载。

[1] Ma H D, Zhao D, Yuan P Y. Opportunities in Mobile Crowd Sensing [J]. IEEE Communications Magazine, 2014, 52(8): 29-35

[2] Sun J J, Ma H D. Heterogeneous-belief based incentive schemes for crowd sensing in mobile social networks [J]. Journal of Network and Computer Applications, 2014, 42: 189-196

[3] Sun Jia-jia, Wang Xing-wei, Gao Cheng-xi, et al. The resource allocation mechanism based on neural networks and swarm optimization in cloud environment [J]. Journal of Software, 2014, 25(8): 1858-1873 (in Chinese)

孙佳佳, 王兴伟, 高程希, 等. 云环境下基于神经网络和群搜索优化的资源分配机制 [J]. 软件学报, 2014, 25(8): 1858-1873

[4] Wang Li-jin, Hu Yi-wen, Hu Xin-xin. A solution of multidimensional function optimization improved group search optimization algorithm of [J]. Micro Computer System, 2013, 34(3): 611-616 (in Chinese)

王李进, 钟一文, 胡欣欣. 一种求解多维函数优化问题的改进组搜索优化算法 [J]. 小型微型计算机系统, 2013, 34(3): 611-616

[5] Cui Zhe, Gu Xing-sheng. Solving flow shop scheduling problem with finite intermediate storage discrete group search optimization algorithm [J]. Journal of East China University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2013, 39(6): 713-719 (in Chinese)

崔喆, 顾幸生. 求解中间存储有限 Flow Shop 调度问题的离散群搜索优化算法 [J]. 华东理工大学学报(自然科学版), 2013, 39(6): 713-719

[6] Zhong Ming, Wang Sheng, Liu Meng-ci. A large graph data on known optimization methods to search for [J]. Journal of East China University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2014, 51(1): 54-63 (in Chinese)

钟鸣, 王盛, 刘梦赤. 一种大规模图数据上已知项搜索的优化方法 [J]. 计算机研究与发展, 2014, 51(1): 54-63

[7] Chen Xue-qiang, Wang Cheng-hua, Zhang Xiao-fei, et al. Outage probability and channel capacity of multiple antennas in deep space communication system [J]. Journal of Applied Science, 2014, 32(6): 551-558 (in Chinese)

陈学强, 王成华, 张小飞, 等. 多天线的深空中继通信系统的中断概率和信道容量 [J]. 应用科学学报, 2014, 32(6): 551-558

[8] Zhang Xuan, Liu Ye, Liu Hao. A dynamic multi channel MAC protocol for wireless sensor networks [J]. Journal of Southeast University (Natural Science Edition), 2014, 44(6): 1138-1143 (in Chinese)

张轩, 刘野, 刘昊. 一种无线传感器网络动态多信道 MAC 协议 [J]. 东南大学学报(自然科学版), 2014, 44(6): 1138-1143

[9] Tian Yu, Ma Lin-hua, Tang Hong, et al. Energy allocation and routing algorithm for multi hop cooperative relay networks [J]. Journal of Beijing Institute of Technology, 2013, 33(12): 1247-1252 (in Chinese)

田雨, 马林华, 唐红, 等. 多跳协作中继网络的能量分配及路由算法 [J]. 北京理工大学学报, 2013, 33(12): 1247-1252

[10] Wang Yong-chuan, Chen Zi-li. Frequency domain channel estimation and equalization for distributed STBC-SC-FDE system

with amplify and forward cooperative communication [J]. Journal of Communication, 2013, 34(3): 99-110 (in Chinese)

王永川, 陈自力. 放大转发协作分布式 STBC-SC-FDE 系统的频率域信道估计与均衡[J]. 通信学报, 2013, 34(3): 99-110

- [11] Nadkar T, Thumar V, Merchant S N, et al. Cognitive Relaying with Frequency Incentive for Multiple Primary Users[J]. Wireless Personal Communications, 2014, 74(1): 167-187
- [12] Hu B, Zhao H V, Cheung G. Incentive analysis for cooperative interactive multiview video streaming [J]. Signal Processing-Image Communication, 2014, 29(6): 641-666
- [13] Iosifidis G, Gao L, Huang J W, et al. Incentive Mechanisms for User-Provided Networks [J]. IEEE Communications Magazine, 2014, 52(9): 20-27

[14] He D J, Chan S, Guizani M. User privacy and data trustworthiness in mobile crowd sensing [J]. IEEE Wireless Communications, 2015, 22(1): 28-34

[15] Agarwal R, Kumar S, Hegde R M. Algorithms for Crowd Surveillance Using Passive Acoustic Sensors Over a Multimodal Sensor Network [J]. IEEE Sensors Journal, 2015, 15(3): 1920-1930

[16] Dai Cui-qin, Li Tu. Cooperative relay selection algorithm based on energy equilibrium[J]. Journal of of Chongqing University of Posts and Telecommunications (Natural Science Edition), 2014, 26(2): 201-206 (in Chinese)

戴翠琴, 李途. 能量均衡的协作中继选择算法[J]. 重庆邮电大学学报(自然科学版), 2014, 26(2): 201-206

(上接第 179 页)

**结束语** 物联网环境下实时任务传输调度的性能决定了物联网中传感节点的进程管理和内存管理效率, 研究任务调度优化方法, 对改善物联网的系统控制性能, 提高网络的连通性和数据的准确收发能力具有重要意义。本文提出一种基于高效时分多址时隙分配的物联网环境下实时任务传输的分簇调度算法。首先进行了物联网的实时任务调度模型设计和任务信息流的数学模型构建, 提取任务信息流的时隙分配尺度特征, 通过设计高效时分多址协议, 进行物联网环境下的实时任务协同分布式分簇的调度, 实现算法改进。研究结果表明, 采用该算法进行任务调度的均衡性较好, 准确度较高, 降低了计算开销, 性能优越。

## 参考文献

[1] Hou Sen, Luo Xing-guo, Song Ke. A Maximum Entropy Weighted Trust-Analysis Algorithm Based on Sources Clustering[J]. Chinese Journal of Electronics, 2015, 43(5): 993-999 (in Chinese)

侯森, 罗兴国, 宋克. 基于信息源聚类的最大熵加权信任分析算法[J]. 电子学报, 2015, 43(5): 993-999

[2] Zhang Pu-ning, Liu Yuan-an, Wu Fan, et al. An Entity State Matching Prediction Method for Content-based Search in the Internet of Things[J]. JEIT, 2015, 37(12): 2815-2820 (in Chinese)

张普宁, 刘元安, 吴帆, 等. 物联网中适用于内容搜索的实体状态匹配预测方法[J]. 电子与信息学报, 2015, 37(12): 2815-2820

[3] Benedikt O, Kay R, Friedemann M, et al. A real-time search engine for the web of things[C]// Internet of Things. Tokyo, 2010: 1-8

[4] Cuong T, Kay R. Content-based sensor search for the web of things[C]// Global Communications Conference. Atlanta, 2013: 2654-2660

[5] Ainomae A, Trump T, Bengtsson M. Distributed diffusion LMS based energy detection[C]// 2014 6th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops(ICUMT). St. Petersburg, 2014: 176-183

[6] Cattivelli F S, Sayed A H. Distributed detection over adaptive networks using diffusion adaptation[J]. IEEE Transactions on

Signal Processing, 2011, 59(5): 1917-1932

[7] Yang Shi-qi, Yu Hong-fang, Luo Long. Fast routing micro-loop avoidance algorithm in IP network[J]. Journal of Computer Applications, 2015, 35(12): 3325-3330 (in Chinese)

杨诗琦, 虞红芳, 罗龙. IP 网络中的快速路由微环避免算法[J]. 计算机应用, 2015, 35(12): 3325-3330

[8] Clad F, Merindol P, Pansiot J J, et al. Graceful convergence in link-state IP networks: a lightweight algorithm ensuring minimal operational impact[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2014, 22(1): 300-312

[9] Pan Li-qiang, Li Jian-zhong, Luo Ji-zhou. A temporal and spatial correlation based missing values imputation algorithm in wireless sensor networks[J]. Chinese Journal of Computers, 2010, 33(1): 1-11 (in Chinese)

潘立强, 李建中, 骆吉洲. 传感器网络中一种基于时空相关性的缺失值估计算法[J]. 计算机学报, 2010, 33(1): 1-11

[10] WANG Guang-hao, WU Yue. Data Trust Model for Road Information in Vehicular Ad hoc Network [J]. Computer Science, 2014, 41(6): 89-93 (in Chinese)

王光浩, 吴越. 一种车载自组织网络路况信息的数据信任模型[J]. 计算机科学, 2014, 41(6): 89-93

[11] Cui Yong-jun, Zhang Yong-hua. Linux System Dual Threshold Scheduling Algorithm Based on Characteristic Scale Equilibrium [J]. Computer Science, 2015, 42(6): 181-184 (in Chinese)

崔永君, 张永花. 基于特征尺度均衡的 Linux 系统双阈值任务调度算法[J]. 计算机科学, 2015, 42(6): 181-184

[12] Chen Zhi-tao. Design of Protocol for Hybrid Server with High Output Capacity and Anti-interference in Internet of Things[J]. Bulletin of Science and Technology, 2014, 30(4): 65-67 (in Chinese)

陈志涛. 高吞吐量抗干扰性物联网混合服务器协议设计[J]. 科技通报, 2014, 30(4): 65-67

[13] Zhang Tuo, Wang Jian-ping. Glowworm swarm algorithm for solving grid task, scheduling optimization problem [J]. Journal of Chongqing University of Posts and Telecommunications (Natural Science Edition), 2015, 27(5): 654-659 (in Chinese)

张拓, 王建平. 网格任务调度问题求解的萤火虫算法[J]. 重庆邮电大学学报(自然科学版), 2015, 27(5): 654-659