

doi:10.3969/j.issn.1001-2400.2015.02.009

面向虚拟社区物联网的信任推荐算法

郭晶晶¹, 马建峰^{1,2}

(1. 西安电子科技大学 计算机学院, 陕西 西安 710071;

2. 通信信息控制和安全技术重点实验室, 浙江 嘉兴 314033)

摘要: 现有的基于信任的推荐模型中,交互请求者都会选择当前信任度最高的对象进行交互,这会造成虚拟社区中的资源不能被充分利用,可信度高的对象也会因为超负荷而造成响应延时,引起信任度的下降.为了解决该问题,提出了一个考虑社区节点信任度稳定性与社区利益的推荐算法.该算法采用李雅普诺夫优化的思想,社区控制中心根据目前各成员节点的状态与请求者的特征做出满足请求者的约束条件,同时保证社区节点信任度稳定性,并使得社区所得利益最大的决策.对算法进行理论分析与仿真实验表明,与传统方法相比,该算法使得社区节点的信任度与工作负荷更加稳定,同时可使整个虚拟社区与资源请求者获得更多的利益.

关键词: 虚拟社区;物联网;网络安全;信任推荐算法;李雅普诺夫优化

中图分类号: TP393.08 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-2400(2015)02-0052-06

Trust recommendation algorithm for the virtual community based Internet of Things(IoT)

GUO Jingjing¹, MA Jianfeng^{1,2}

(1. School of Computer Science and Technology, Xidian Univ., Xi'an 710071, China; 2. Science and Technology on Communication Information Security Control Laboratory, Jiaxing 314033, China)

Abstract: In available trust based recommendation schemes, users always tend to transact with the entity with the highest trust value, which will result in the fact that the virtual community's resource cannot be fully utilized. The entity with the highest trust value will also delay the response because of its capacity constraint, so that its trust value will be bound to decline. To resolve this problem, we propose a recommendation algorithm which takes the community benefit and the stability of the entities' trust value into account. The community's control center adopts the Lyapunov optimization method to make a decision which can give it the maximum benefit on the premise of satisfying the desired constraint of the interaction requester, meanwhile guaranteeing the stability of the community nodes' trust value. Theoretical analysis and experiments show that our algorithm can stabilize the community nodes' trust value, and that it also can enable the whole community and resource requester to get more benefits.

Key Words: virtual community; internet of things; network security; trust recommendation algorithm; Lyapunov optimization

物联网^[1]集合了传感技术,通信技术,计算机网络与控制技术于一体,将物理世界与网络空间连接起来.其应用前景非常广阔,例如电子医疗^[2]等,在未来更可能结合虚拟化云计算与 SOA 等技术来实现物联网泛在服务: TaaS(Thing as a Service)^[3]. 文中的背景是基于虚拟社区的物联网系统,即将虚拟社区引入到物联

收稿日期:2013-11-04

网络出版时间:2014-07-10

基金项目:长江学者和创新团队发展计划资助项目(IRT1078);国家自然科学基金委员会-广东联合基金重点基金资助项目(U1135002);
国家科技部重大专项资助项目(2011ZX03005-002)

作者简介:郭晶晶(1988-),女,西安电子科技大学博士研究生,E-mail: xdgjj@foxmail.com.

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/doi/10.3969/j.issn.1001-2400.2015.02.009.html>

网中,用虚拟技术来抽象、组合、分配和管理物联网中的资源.传统的虚拟社区仅仅局限于信息和文件共享,而在这种虚拟社区中,计算资源,文件资源等都可以共享.每一个虚拟社区中都有控制中心对社区中的资源等进行调度与管理,以确保整个社区的资源可以有效地利用,社区可以良好地运作.当网络中的实体进行交互时,由于系统的不稳定、网络干扰与对交互对象缺乏了解等原因,导致了实体间的会话充满了不确定性.因此,需要一个信任管理模型来评估与管理实体间的信任关系,使得一个实体可以与可信的实体进行交互.

信任管理作为计算机网络安全中的研究热点,已经在推荐系统中得到了广泛使用.目前国内外的研究学者在信任管理领域已经进行了一系列研究^[4-10]与分析^[11-14].然而在基于信任评估的推荐模型中,实体往往倾向于选择当前信任度最高的实体作为合作者,从而得到最好的交互结果^[15-17],文中将这类方法称之为贪心算法.在现实中,由于每个对象拥有的资源都是有限的,当其任务超过了一定负荷时必会导致响应延时,而一个实体的服务响应速率通常是衡量其信任度的一个重要因素,因此,这将对其信任度产生负面影响,从而影响整个社区的表现.显然,贪心算法会导致高可信实体的负荷过大造成其信任值的下降,而其他实体的资源被闲置的现象.因此,在资源有限的情况下,在为实体推荐合作者时,以当前的信任度作为惟一标准是不合适的,因为这样未必可以使该实体得到最满意的交互结果,同时有可能对社区的利益造成影响.

针对以上分析,笔者提出了一种新的推荐算法可以在满足交互请求者的约束条件,同时使得在社区实体的信任度尽可能稳定的前提下,交互双方得到尽可能大的利益.

1 系统模型

一个虚拟社区中包含若干个节点,这些节点都由社区控制中心管理.笔者给出了虚拟社区的系统模型,如图1所示,其中的 a, b, c, x, y, z 表示社区中的成员节点,社区控制中心对整个虚拟社区进行管理(如存储、管理社区内各节点的信息,进行任务调度等),信任管理中心的职责是评估并存储虚拟社区内各节点的综合信任度,其他组成部分与文中所解决问题关联较少,由于篇幅问题在此省略.当节点 x 需要与其他虚拟社区的节点进行交互时,需要完成以下几个步骤:首先,它向其所在社区控制中心(图1中的“社区控制中心B”)发送请求,对应图1中的步骤1.然后,社区控制中心查找可以响应该请求的虚拟社区(图1中的“社区控制中心A”),并将请求发送给该社区,对应步骤2.接下来,可以完成该请求的社区控制中心根据请求的内容以及社区内各节点的负荷及信任度等信息,利用文中提出的算法做出决策由哪个节点响应该请求(图1中的节点 b),对应步骤3.接着请求响应节点(节点 b)与请求发起节点(节点 x)进行交互,对应步骤4、5、6.交互结束后,请求发起者(节点 x)将对此次交互的节点(节点 b)进行信任评估,并将评估结果反馈给响应者所在社区的信任管理中心,对应步骤7,信任管理中心将根据这些反馈信息评估该节点的综合信任度以供社区控制中心做出决策.

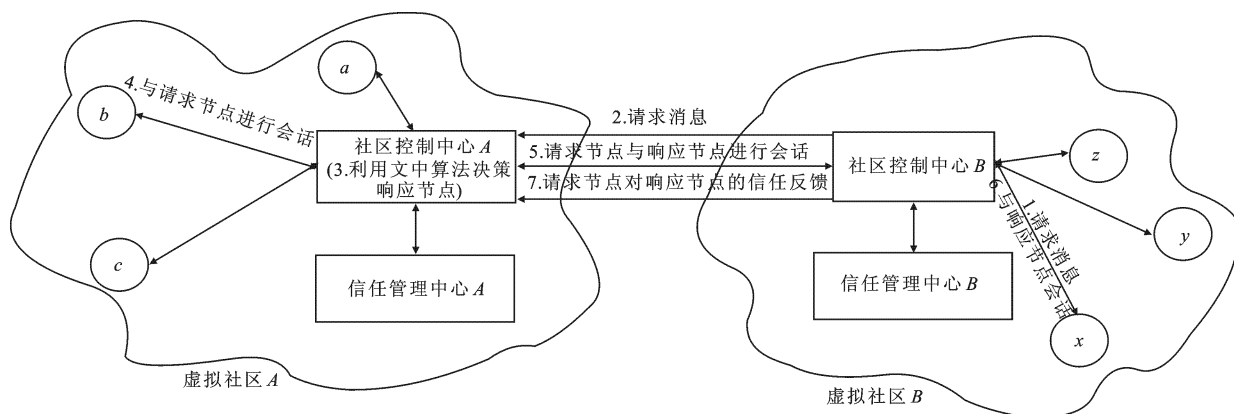


图1 系统模型

下面介绍文中用到的各种变量(以下各公式中的 $i \in \{1, \dots, K\}$, K 为社区节点的数量):

$w(t)$ 表示社区控制中心在 t 时刻处理的交互请求, $w(t) = \langle w_{td}, w_{QoS}, w_{cpl} \rangle$, 其中, w_{td} 表示响应时延在信任反馈中所占权重, w_{QoS} 表示交互结果质量在信任反馈中所占权重, w_{cpl} 表示该请求的复杂度(复杂度越

高,需消耗的资源越多),并满足 $0 \leq w_{td}, w_{QoS}, w_{cpl} \leq 100, w_{td} + w_{QoS} = 100$.

d_i 表示节点 i 的单位时间处理能力,并满足 $0 \leq d_i \leq 100$. d_i 越大,表示节点 i 在单位时间内可以处理更多请求.

$\gamma_i(t)$ 表示节点 i 在 t 时刻的信任值,文中假设节点的信任值是 0 到 100 之间的整数,信任值为 0 表示该节点完全不可信,信任值为 100 表示该节点完全可信.

$$\alpha_i(t) = \begin{cases} 1 & , \quad \text{请求 } w(t) \text{ 被分配给节点 } i \\ 0 & , \quad \text{节点 } i \text{ 在时刻 } t \text{ 没收到请求} \end{cases}$$

表示在时刻 t 社区控制中心对其成员节点 i 做出的决策,很显然,在时刻 t 一个虚拟社区中最多只有一个节点的 $\alpha_i(t)$ 为 1.

$Q_i(t)$ 表示节点 i 在 t 时刻的负荷,且有 $Q_i(0) = 0, Q_i(t+1) = Q_i(t) + y_i(t)$,其中 $y_i(t)$ 表示节点 i 在时刻 t 到 $t+1$ 期间负荷的变化,即该时间段内新增加的负荷与被处理的负荷间的差异, $y_i(t) = Y_i(\alpha(t), w(t)) = \alpha_i(t)e_i^w(t) - \min\{Q_i(t), d_i\}$,其中 $e_i^w(t) = \gamma_i(t)w_{cpl}(t)$,表示如果任务 $w(t)$ 被分配给节点 i ,那么节点 i 完成该任务会增加的负荷,该值与节点的信任度与任务的复杂度成正比.

假设每个交互完成后,交互双方都会得到一定的利益,用 $r_e(t)$ 表示完成 $w(t)$ 后响应节点所在社区得到的利益,用 $w_d^w(t)$ 表示任务 $w(t)$ 的请求节点在完成交互后得到的利益:

$$r_e(t) = \sum_{i=1}^K \left\{ \alpha_i(t) \gamma_i(t) \frac{w_{cpl}(t)}{\max\{Q_i(t)/d_i, 1\}} \right\},$$

$$w_d^w(t) = \sum_{i=1}^K \left\{ \alpha_i(t) \left(w_{QoS} \gamma_i(t) - w_{td} \left(\frac{Q_i(t)}{d_i} \right) \right) \right\}.$$

定义李雅普诺夫方程 L 为 $L(t) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^K Q_i(t)^2$,那么 $\Delta(t) = L(t+1) - L(t)$,可用来表示社区的负荷变化.

笔者希望节点负荷保持稳定,同时使社区与交互请求者的利益最大化.因此, $\Delta(t) + Vp(t)$ 就是 drift-plus-penalty^[18] 函数,其中 V 是权值, $p(t) = P(\alpha(t), w(t)) = -r_e(t)$,是惩罚函数.那么需要解决的问题就是,在社区各节点的负荷不会无限增大(各节点的负荷变化的极限非正)、请求者在交互结束后得到的利益为正的前提下,其最小化惩罚函数(即最大化社区利益).该问题可描述如下:

$$\text{目标函数: } \min \left\{ \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{1}{t} \sum_{\tau=0}^{t-1} E[p(\tau)] \right\},$$

$$\text{约束条件: } \begin{cases} \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{1}{t} \sum_{\tau=0}^{t-1} E[y_i(\tau)] \leq 0 & , \quad \forall i \in \{1, \dots, K\} \\ w_d^w(t) > 0 & . \end{cases}$$

2 基于李雅普诺夫优化的信任推荐算法

由第 1 节可知, $Q_i(t+1) \leq Q_i(t) + y_i(t)$,因此,存在常数 B ,使得

$$\Delta(t) = L(t+1) - L(t) \leq \frac{1}{2} \sum_{i=1}^K y_i(t)^2 + \sum_{i=1}^K Q_i(t) y_i(t) \leq B + \sum_{i=1}^K Q_i(t) y_i(t),$$

$$\Delta(t) + Vp(t) \leq B + Vp(t) + \sum_{i=1}^K Q_i(t) y_i(t),$$

笔者希望提出的算法既能保证社区节点的负荷与信任值的稳定性,又能得到最小的惩罚函数,即社区得到最多的利益.因此,必须利用最小化二者之和来达到目的.那么社区控制中心需要在每个时刻 t 根据各节点的负荷状态与 $w(t)$ 做出决策使得 $Vp(t) + \sum_{i=1}^K Q_i(t) y_i(t)$ 最小.算法 1 给出了社区控制中心的决策算法,该算法的输入为当前时刻的请求 $w(t)$ 与社区各节点当前的负荷状态与信任值,输出为控制中心的决策结果.

<http://www.xdxb.net>

算法1 基于李雅普诺夫(Lyapunov)优化的推荐算法

输入: $w(t)$, $Q_i(t)$, $\gamma_i(t)$, $i \in \{1, \dots, K\}$

输出: 决策结果

```

① int  $D = \infty$ ;
② for  $i = 1 \rightarrow K$ 
③    $\alpha_j(t) = 0$ ;  $j \in \{1, \dots, K\}$ 
④    $\alpha_i(t) = 1$ ;
⑤    $T = Vp(t) + \sum_{i=1}^K \left\{ Q_i(t) Y_i(\alpha_i(t), w(t)) \right\}$ 
⑥   if  $T < D$  and  $w_{\alpha}^w(t) > 0$ 
⑦      $D = T$ ;
⑧     control_action =  $i$ ;
⑨   endif
⑩ endfor
⑪ return control_action.
```

3 实验与分析

3.1 理论分析

通过证明可以得到关于所提方法的以下结论:

结论1 存在一个理论下界,可以使整个系统的平均利益不低于该下界.

证明 如果社群中各节点没有资源限制,那么该推荐系统的决策就只依赖于交互请求的信息($w(t)$),而不需考虑各节点的状态,将该情况下控制中心的决策记为 $\alpha^*(t)$.假设存在 $\alpha^*(t)$ 满足: $E[P(\alpha^*(t), w(t))] = p^*$, $E[Y_i(\alpha^*(t), w(t))] \leq 0$, $i \in \{1, \dots, K\}$,其中 p^* 是前面的小节中所描述问题的最优(最小)平均惩罚(很显然, p^* 是负数),存在常数 B, C 满足不等式

$$\Delta(t) + Vp(t) \leq B + Vp(t) + \sum_{i=1}^K Q_i(t) y_i(t) \leq B + C + VP(\alpha^*(t), w(t)) + \sum_{i=1}^K Q_i(t) Y_i(\alpha^*(t), w(t)),$$

对上式两边分别取期望值,有

$$E[\Delta(t) + Vp(t)] \leq B + C + VE[P(\alpha^*(t), w(t))] + \sum_{i=1}^K E[Q_i(t)] E[Y_i(\alpha^*(t), w(t))] \leq B + C + Vp^*,$$

所以,有

$$\begin{aligned} \sum_{\tau=0}^{t-1} E[\Delta(\tau) + Vp(\tau)] &\leq (B + C + Vp^*)t, \\ E[L(t)] - E[L(0)] + V \sum_{\tau=0}^{t-1} E[p(\tau)] &\leq (B + C + Vp^*)t, \\ V \sum_{\tau=0}^{t-1} E[p(\tau)] &\leq (B + C + Vp^*)t, \\ \frac{1}{t} \sum_{\tau=0}^{t-1} E[p(\tau)] &\leq p^* + (B + C)/V, \\ \frac{1}{t} \sum_{\tau=0}^{t-1} E[r_e(\tau)] &\geq -p^* - (B + C)/V. \end{aligned}$$

证毕.

结论2 存在一个理论上界,可以使整个系统的平均负荷不超过该上界.

证明 假设存在 $\alpha^*(t)$ 和 ϵ ,使 $E[Y_i(\alpha^*(t), w(t))] \leq -\epsilon$, $\forall i \in \{1, \dots, K\}$,设 $P_{\min} \leq P(\cdot) \leq P_{\max}$,

<http://www.xdxb.net>

则有

$$\Delta(t) + VP_{\min} \leq B + C + VP_{\max} + \sum_{i=1}^K Q_i(t) Y_i(\alpha^*(t), w(t)) ,$$

和

$$E[\Delta(t)] + VP_{\min} \leq B + C + VP_{\max} + \sum_{i=1}^K E[Q_i(t)](-\epsilon) .$$

所以,有

$$\frac{1}{t} \sum_{\tau=0}^{t-1} \sum_{i=1}^K E[Q_i(t)] \leq \frac{B + C + V(P_{\max} - P_{\min})}{\epsilon} . \quad \text{证毕.}$$

由以上分析可知,增大 V 可以使社区利益的平均期望值趋近于最优值,却会导致系统的平均负荷的期望值增大. 当 V 增大到一定程度时,系统的平均负荷不断增大,对请求的响应延时越来越大,那么交互请求者得到的利益就会变小,从而导致其对节点的信任评估下降,那么系统的所得利益也会降低. 因此,一味地增大 V 并不会使社区的利益无限趋近于最优值.

3.2 数值实验

为了验证文中提出的算法的有效性,笔者进行了一些数值实验. 实验环境为 Intel 奔腾双核处理器 Q9550, 2.83 GHz, 4 GB 内存, Windows 7 操作系统, Dev-C++ 编程环境. 实验中采用的虚拟社区的相关参数,如表 1 所示. 在实验中,用户对社群节点的信任评估采用文献[14]中提出的信任值计算方法,每一次循环都会随机产生一个服务请求事件,控制中心将根据文中提出的算法做出决策.

表 1 节点参数设置

节点类型	d	提供优质服务的概率	数量
高可信节点	40	0.85	40
较可信节点	40	0.70	20
较不可信节点	40	0.55	30
恶意节点	40	0.25	10

3.2.1 节点信任值稳定性分析

笔者在执行文中提出的算法与贪心算法时,对社区的高可信节点信任值的变化情况进行了比较,图 2 给出了比较结果. 从图 2 可以看出,文中提出的算法是在保证社区负荷稳定性的前提下做出让社区利益最大的决策,因此,高可信节点的信任值保持着良好的稳定性,而贪心算法会令高可信节点的信任值波动很大,这是因为每次都选择目前信任值最大的节点,会使该节点的负荷不断增大,从而对交互请求的响应时延也越来越大,造成其信任值的下降. 当其信任值下降到一定程度时,它得到的请求就会减少,其负荷也会随时间逐渐减小. 当它再次收到新的交互请求时便可以及时地响应,又会使其信任值逐渐升高,接下来,该节点的信任值也会一直保持这样的循环.

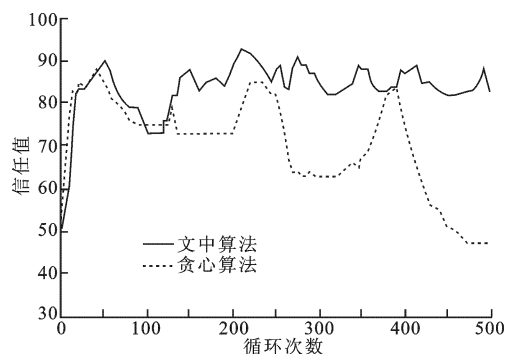


图 2 可信节点的信任值变化情况

3.2.2 社区所得利益分析

在前面的小节中,定义了一个节点完成交互后得到的利益. 现在定义整个社区从起始时刻到时刻 t 所得

到的利益为 $b(t) = \sum_{\tau=0}^{t-1} r_e(\tau) / 100$, 笔者分别对贪心算法与文中提出的算法下社区所得利益进行比较,图 3 给出了实验结果.

图 3 中的 optimal 代表了社区节点没有资源限制的理想情况下,社区可以获得的利益,greedy 表示了贪心方法下社区的所得利益,笔者分别对 V 取不同的值来分析参数 V 与社区利益之间的关系. 已知社区利益与节点信任度成正比,因此,社区得到更多的利益也意味着社区节点的整体信任度更高,可以为交互请求者提供更好的响应,使得交互请求者得到更大的利益. 从图 3 中可以看出,在前 100 次循环中,每种方法使社区得到的利益并没有很大差别,这是由于在系统运行初期,每个节点的负荷都为 0,因此,可以及时响应交互请

求,这时所得利益与理想状况下所得的利益差异并不大.随着交互请求的增加,节点的负荷越来越大,其他4种方法下社区的所得利益与理想状态下的所得利益的差距越来越大.从图3中还可以看出,当 $V=40$ 时,社区所得利益比 $V=20$ 时的更大,而当 $V=60$ 时,社区所得利益反而比 $V=40$ 时有所下降.因此, V 的取值并非越大越好,这与前面小节中的分析结果是一致的.

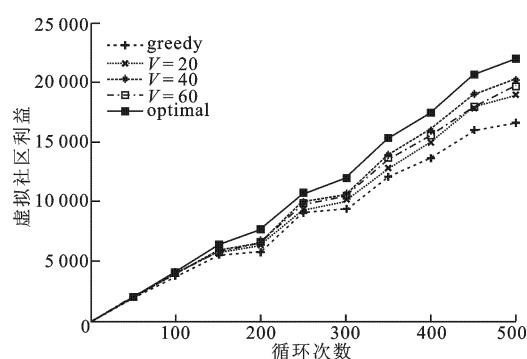


图3 社区所得利益

4 结束语

针对当前信任管理模型下,虚拟社区中的资源不能充分利用,社区成员的信任度稳定性较差的问题,笔者提出了一种考虑社区成员的资源限制与当前信任值的推荐算法.该算法基于李雅普诺夫优化,可以使得社区控制中心做出保证社区成员信任度稳定性的同时,使社区利益最大化的推荐决策.理论分析与仿真结果表明,控制中心利用笔者提出的算法推荐交互对象,使得社区的利益比传统的贪心方法有明显的增加,同时社区成员的信任度也比贪心选择时的信任度具有更好的稳定性.

参考文献:

- [1] Lee G M, Crespi N, Choi J K, et al. Internet of Things[J]. Evolution of Telecommunication Services, 2013, 7768: 257-282.
- [2] Jara A J, Zamora-Izquierdo M A, Skarmeta A F. Interconnection Framework for mHealth and Remote Monitoring Based on the Internet of Things[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2013, 31(9): 47-65.
- [3] 周洪波. 物联网: 技术, 应用, 标准和商业模式 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2010.
- [4] Cho J H, Swami A, Chen I R. Modeling and Analysis of Trust Management with Trust Chain Optimization in Mobile Ad Hoc Networks[J]. Journal of Network and Computer Applications, 2012, 35(3): 1001-1012.
- [5] Fan X, Li M, Ma J, et al. Behavior-based Reputation Management in P2P File-sharing Networks[J]. Journal of Computer and System Sciences, 2012, 78(6): 1737-1750.
- [6] Kuter U, Golbeck J. Sunny: a New Algorithm for Trust Inference in Social Networks Using Probabilistic Confidence Models[C]//Proceedings of the 22nd National Conference on Artificial Intelligence. Menlo Park: AAAI, 2007: 1377-1382.
- [7] Shaikh R A, Jameel H, d'Auriol B J, et al. Group-based Trust Management Scheme for Clustered Wireless Sensor Networks[J]. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2009, 20(11): 1698-1712.
- [8] Meng X, Ding Y, Gong Y. @ Trust: a Trust Model Based on Feedback-arbitration in Structured P2P Network[J]. Computer Communications, 2012, 35(16): 2044-2053.
- [9] 詹阳, 庞辽军, 朱晓妍, 等. 一种分布式自治信任计算模型[J]. 西安电子科技大学学报, 2008, 35(3): 469-473.
Zhan Yang, Pang Liaojun, Zhu Xiaoyan, et al. An Autonomous Distributed Trust Mode [J]. Journal of Xidian University, 2008, 35(3): 469-473.
- [10] 孙鹏岗, 权义宁, 刘俊萍. L-模糊集信任机制的网格计算任务调度方法[J]. 西安电子科技大学学报, 2008, 35(1): 110-115.
Sun Penggang, Quan Yining, Liu Junping. Task Scheduling Based on Trust Mechanism of the L-fuzzy Set in Grid Computing[J]. Journal of Xidian University, 2008, 35(1): 110-115.
- [11] Han G, Jiang J, Shu L, et al. Management and Applications of Trust in Wireless Sensor Networks: a Survey[J]. Journal of Computer and System Sciences, 2013, 80(3): 620-617.
- [12] Alzaid H, Alfaraj M, Ries S, et al. Reputation-based Trust Systems for Wireless Sensor Networks: a Comprehensive Review[J]. Trust Management: Ⅷ, 2013, 401: 66-82.
- [13] Omar M, Challal Y, Bouabdallah A. Certification-based Trust Models in Mobile Ad Hoc Networks: a Survey and Taxonomy [J]. Journal of Network and Computer Applications, 2012, 35(1): 268-286.

(下转第179页)

为了评估提出算法的有效性,设计了一系列的实验对提出的算法进行评估. 将所提出的 AMP_PALM 方法与 IVTCG_Land 和 L1LS_L1LS 分别进行单目标重建和双目标重建的实验. 实验结果表明,AMP_PALM 方法的重建效果是最佳的.

参考文献:

- [1] Ntziachristos V, Ripoll J, Wang L V, et al. Looking and Listening to Light: the Evolution of Whole-body Photonic Imaging[J]. Nature Biotechnology, 2005, 23(3): 313-320.
- [2] Tian J, Bai J, Yan X, et al. Multimodality Molecular Imaging: Improving Image Quality[J]. IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine, 2008, 27(5): 48-57.
- [3] Weissleder R, Mahmood U. Molecular Imaging[J]. Radiology, 2001, 219(2): 316-333.
- [4] Baritau J C, Hassler K, Unser M. An Efficient Numerical Method for General L_p Regularization in Fluorescence Molecular Tomography[J]. IEEE Transactions on Medical Imaging, 2010, 29(4): 1075-1087.
- [5] Mohajerani P, Eftekhari A A, Huang J, et al. Optimal Sparse Solution for Fluorescent Diffuse Optical Tomography: Theory and Phantom Experimental Results[J]. Applied Optics, 2007, 46(10): 1679-1685.
- [6] Yang A, Zhou Z, Ganesh A, et al. Fast L_1 -Minimization Algorithms for Robust Face Recognition [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2013, 22(8): 3234-3246.
- [7] Han D, Yang X, Liu K, et al. Efficient Reconstruction Method for L_1 Regularization in Fluorescence Molecular Tomography[J]. Applied Optics, 2010, 49(36): 6930-6937.
- [8] He X, Liang J, Wang X, et al. Sparse Reconstruction for Quantitative Bioluminescence Tomography Based on the Incomplete Variables Truncated Conjugate Gradient Method[J]. Optics Express, 2010, 18(24): 24825-24841.
- [9] Yi H, Chen D, Qu X, et al. Multilevel, Hybrid Regularization Method for Reconstruction of Fluorescent Molecular Tomography[J]. Applied Optics, 2012, 51(7): 975-986.
- [10] Wang X, Cao X, Bai J, et al. A Hybrid Reconstruction Algorithm for Fluorescence Tomography Using Kirchhoff Approximation and Finite Element Method[J]. Medical and Biological Engineering, 2013, 51(1): 7-17.
- [11] 侯彦宾, 屈晓超, 陈多芳, 等. 一种新的多光谱光学参数等效方法[J]. 西安电子科技大学学报, 2012, 39(4): 62-67.
Hou Yanbin, Qu Xiaochao, Chen Duofang, et al. New Equivalent Method for Multi-spectral Optical Coefficient[J]. Journal of Xidian University, 2012, 39(4): 62-67.
- [12] Xiao L, Zhang T. A Proximal-gradient Homotopy Method for the Sparse Least-squares Problem[J]. SIAM Journal on Optimization, 2013, 23(2): 1062-1091.

(编辑: 齐淑娟)

(上接第 57 页)

- [14] Bao F, Chen I R, Guo J. Scalable, Adaptive and Survivable Trust Management for Community of Interest Based Internet of Things Systems[C]//IEEE Eleventh International Symposium on Autonomous Decentralized Systems. Piscataway: IEEE, 2013: 1-7.
- [15] Mustapha N, Voon W P, Sulaiman N. User Recommendation Algorithm in Social Tagging System Based on Hybrid User Trust[J]. Journal of Computer Science, 2013, 9(8): 1008.
- [16] Anand D, Bharadwaj K K. Pruning Trust-distrust Network via Reliability and Risk Estimates for Quality Recommendations[J]. Social Network Analysis and Mining, 2013, 3(1): 1-20.
- [17] Pitsilis G, Knapik S J. Social Trust as a Solution to Address Sparsity-inherent Problems of Recommender Systems [C]//Proceedings of the Workshop on Recommender Systems and the Social Web. Tilburg: Sun SITE Central Europe CEUR-WS, 2009: 33-40.
- [18] Neely M J, Modiano E, Li C P. Fairness and Optimal Stochastic Control for Heterogeneous Networks [J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2008, 16(2): 396-409.

(编辑: 李恩科)

<http://www.xdxb.net>