

## 一种基于信誉的移动自组网区分服务激励机制

蒋小杰\* 芮兰兰 郭少勇 邱雪松

(北京邮电大学网络与交换技术国家重点实验室 北京 100876)

**摘要:** 为了有效解决移动自组网节点在自觉提供服务方面的自私行为问题, 该文提出了一种基于信誉的区分服务激励机制。该机制通过建立一种分簇全局信誉模型, 并结合节点能力将服务与信誉进行等级关联, 提供差异化服务; 信誉级别越高的节点可以使用级别越高的服务, 使用服务或者故意不提供服务会减少节点的信誉, 节点需要积极提供可靠服务提高信誉才能保障服务的使用。仿真结果表明所提机制能有效抵制节点的自私行为, 激励节点积极提供可靠服务。

**关键词:** 移动自组网; 信誉; 区分服务; 激励机制; 提供服务

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2012)07-1697-06

DOI: 10.3724/SP.J.1146.2011.01168

## A Reputation-based Service Differentiated Incentive Mechanism for MANETs

Jiang Xiao-jie Rui Lan-lan Guo Shao-yong Qiu Xue-song

(State Key Laboratory of Networking and Switching Technology,

Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

**Abstract:** A Reputation-based Service Differentiated Incentive (RSDI) mechanism is proposed in this paper to solve the selfish behavior of nodes during consciously supporting services efficiently for Mobile Ad-hoc NETWORKS (MANETs). With a clustering global reputation model and associating services with reputation using grades, RSDI provides differentiated services based on reputation; The nodes which have higher reputation level can consume higher level services, consuming services or refusing to provide services intentionally will reduce nodes' reputation, nodes need positively provide trustworthy services to increase their reputation in order to ensure consuming services. Simulations show that RSDI can resist the selfish behavior of nodes, and motivate nodes to positively provide trustworthy services effectively.

**Key words:** Mobile Ad-hoc NETWORKS (MANETs); Reputation; Service differentiated; Incentive mechanism; Services providing

### 1 引言

泛在环境下, 用户基于兴趣或目的, 可利用临时快速组成一个有共同目标、拓扑相对稳定的移动自组网, 通过设备协作和服务共享, 用户各取所需实现双赢, 网络实现各种移动业务应用。但是上述场景依赖于移动终端都积极协作贡献各种服务, 现实中移动终端往往因为各种资源(能量、无线带宽、计算能力、存储空间等)受限成为自私节点, 自私节点在网络层中表现为: 不提供数据包的转发服务甚至不参与路由服务以节省大量的能量, 随着时间的推移, 会严重影响到网络正常通信; 自私节点在应用层中表现为: 不提供文件下载、存储、数据处理

等服务共享, 只想通过 Free-Riding 享受其他节点共享的服务, 随着时间推移, 将严重打击节点共享服务的积极性, 移动自组网提供服务难以为继。

因此, 设计一种有效的激励机制使移动自组网中的节点积极提供可靠的服务, 提高网络的业务能力是关键问题。

目前, 国内外关于激励机制的研究工作已经取得了不少成果, 主要分为 3 类: 分别是基于博弈论激励机制<sup>[1-4]</sup>, 基于微支付激励机制<sup>[5-7]</sup>, 以及基于区分服务思想激励机制<sup>[8-12]</sup>。

基于博弈理论的激励机制通过博弈论方法建模节点的合作行为, 节点根据外部环境做出相应的行为决策, 激发自身合作动机, 从而获得最佳路径或达到收益平衡。博弈模型的基本假设: 节点是追求自身利益最大化的理性个体, 其决策将影响自己和其它参与者的收益。这种机制的局限性在于效用函数的实用有效与否直接决定激励机制的好坏。

2011-11-10 收到, 2012-03-12 改回

国家科技重大专项(2011ZX03005-004-02), 国家 863 计划项目(2011AA01A102), 国家科技支撑计划项目(2012BAH06B02)和国家自然科学基金(61121061)资助课题

\*通信作者: 蒋小杰 muxi@bupt.edu.cn

基于微支付激励机制通过借鉴经济学中私有物品的生产与消费需要遵循商品市场的公平交换规律,服务请求节点通过向服务提供节点支付虚拟货币而获得相应的服务和资源,而服务提供节点可以通过向系统贡献资源而赚取虚拟货币。在这种“支付-补偿”的激励机制下,节点之间会逐渐形成一种协作关系。这种机制的局限性在于需要有防止用户篡改信息的硬件以及可信的第三方支持,且虚拟货币不具有通用性,在移动自组网中这种局限性更加明显。

基于区分服务激励机制通过对节点的行为观测和度量,设计相应指标标识节点类型,设计合理、有效的策略使节点所获收益与节点类型呈关联关系。基于信誉是实现区分服务激励机制的有效手段。文献[8]提出了一种基于信誉的区分服务机制,通过将服务、节点划分等级激励节点进行路由转发解决路由层中的自私行为问题,保证网络的基本功能的正常执行,该机制没有提出服务、节点等级划分方法,也不涉及到信誉的计算公式,最重要的是它不能解决应用层中的服务自觉提供中的自私行为问题。文献[9]提出的 Eigentrust 和文献[10]提出的 Peertrust 是两种典型的面向服务的基于信誉的区分服务激励机制,它们通过引入信誉等级概念,根据结点的历史行为和网络中其它结点对其历史行为的评价得出信誉值来建立信誉系统,并以此提供差异化服务,但是它们对服务的信誉刻画存在片面性,计算代价和通信开销大,并且把信誉作为服务选择的依据,可以提高服务交易成功率却容易导致信誉等级高的节点超负载工作,最重要的是对服务的自觉提供方面的激励效果并不明显。

本文通过建立一种分簇全局信誉模型,并结合移动自组网中节点的能力设置规则将服务与信誉进行等级关联,提出一种新的基于信誉的区分服务激励 (Reputation-based Service Differentiated Incentive, RSDI) 机制。分簇全局信誉模型克服了 Eigentrust, Peertrust 中信誉模型的不足,并结合移动自组网中节点的能力设置规则将服务与信誉进行等级关联,将信誉作为服务查询的依据,进而对服务请求进行有效控制,并在服务提供时进行针对性的激励措施,克服 Eigentrust, Peertrust 对服务的自觉提供方面的激励效果并不明显的缺陷。仿真结果表明,RSDI 能有效解决移动自组网节点在自觉提供服务方面的自私行为问题,并且提高移动自组网中的平均服务满意度。

## 2 RSDI 激励机制

### 2.1 RSDI 基本思想

本文假设节点之间能力差距不大,不会出现部分节点能力太低以致不能提供服务或提供的服务不被使用的情况,它们组成一个具有共同目标的分簇移动自组网,簇内节点向簇头注册服务信息和能力信息,并且各簇头周期性相互交互后保存网络中节点各项能力的最大值:CPU 最大值  $\text{Max}(C)$ ,内存最大值  $\text{Max}(M)$ ,磁盘空间最大值  $\text{Max}(S)$ ,物理带宽最大值  $\text{Max}(B)$ ,以备下面的计算使用。

**定义 1** 服务:节点提供的可被其他节点利用的软件或硬件资源,例如打印、扫描、存储、数据处理、应用程序等,表示为  $N_s = \{\text{NodeId}, \text{ClusterId}, \text{CUsed}, \text{MUsed}, \text{SUsed}, \text{BUsed}\}$ ,其中,  $\text{CUsed}$  为服务消耗的节点 CPU 的值,  $\text{MUsed}$  为服务消耗的节点内存的值,  $\text{SUsed}$  为服务消耗的节点磁盘空间的值,  $\text{BUsed}$  为服务消耗的节点带宽的值。

**定义 2** 能力:节点向其他节点提供服务和保障服务质量的能力,由其 CPU、内存、存储空间、网络带宽决定,表示为  $N_a = \{\text{NodeId}, \text{ClusterId}, \text{CPU}, \text{Memory}, \text{Storage}, \text{Bandwidth}\}$ 。

**定义 3** 本地信誉:通过节点间直接服务交易的历史经验来获得,代表服务请求者对服务提供者的局部看法。

**定义 4** 推荐信誉:整合网络中与服务提供者交易过的其他节点对其信誉评价,代表网络中其他节点对服务请求者的看法。

**定义 5** 综合信誉:综合网络中所有与服务提供者交易过的节点对其信誉评价,作为服务提供者积极提供诚实可靠服务的行为的度量。

**定义 6** 全局信誉:每个节点在网络中存在一个全局信誉,直接体现节点的服务贡献程度,是服务查询的依据。

RSDI 激励机制中结合移动自组网特性提出了一种分簇全局信誉模型:包括本地信誉、推荐信誉、综合信誉以及全局信誉;信誉评估中综合本地信誉和推荐信誉,得出服务提供者的综合信誉,将其与网络中设置的信誉阈值  $R_y$  进行比较,结果作为服务请求决策的一个依据(另一个依据是服务的唯一性,当服务仅有一份的时候,服务请求者有可能明知服务提供者信誉较低也会进行服务请求),全局信誉与其他信誉不存在直接依赖关系,它直接体现节点的服务贡献程度,作为服务查询的依据,在服务交易结束后进行更新。在计算本地信誉时,为了克服以往算法的缺点、更好地支撑 RSDI 激励机制,模型面向服务考虑了服务实体诚实度、服务能力、服

务意愿3个维度,使节点能更准确、客观地计算关于服务提供节点的本地信誉;在推荐信誉信息收集过程中,先由各簇头收集簇内与服务提供节点有过交易记录的簇内节点关于服务提供节点的推荐信誉并进行过滤计算,然后发送给服务请求节点,这样避免了Eigentrust, Peertrust中每次交易要引起整个网络节点的迭代运算,导致计算复杂,通信流量大的情况;此外各簇头还需要维护簇内节点的全局信誉信息并提供全局信誉查询功能,全局信誉信息表示为  $Nr = \{NodeId, ClusterId, Rg, ispunish, deadline\}$ , 其中,  $Rg$  表示节点的全局信誉,  $ispunish$  用于标识节点是否成为被惩罚自私节点,  $deadline$  表示节点的惩罚期限时间。

**RSDI 激励机制的实现:**结合节点的能力信息将服务效益量化,然后设置规则使其与信誉进行等级关联。在节点进行服务请求时基于信誉提供差异化服务,信誉级别越高的节点可以使用级别越高的服务,使用服务或者故意不提供服务会减少节点的信誉,并且针对节点自私行为受限于电池能量时表现得尤为明显的情况,根据节点剩余电量引入一个信誉加成系数激励服务提供者积极提供可靠服务。节点如果成为自私节点将在一定期限内受到劳改惩罚:即不响应其服务请求,并且强制要求其提供无偿服务,否则将被排除出网络;节点必须积极提供可靠服务提高自己的信誉才能保障其服务使用。

## 2.2 RSDI 相关计算及规则

**2.2.1 服务效益计算** 服务要与信誉关联,实现信誉级别越高的节点可以使用级别越高的服务,使用服务或者故意不提供服务会减少节点信誉的目标,首先需要结合节点的能力对服务提供带来的信誉效益(即服务效益  $Su$ )进行计算,  $Su$  由其消耗的资源决定,如式(1)所示:

$$Su = \alpha \frac{CU_{sed}}{\text{Max}(C)} + \beta \frac{MU_{sed}}{\text{Max}(M)} + \sigma \frac{SU_{sed}}{\text{Max}(S)} + \varsigma \frac{BU_{sed}}{\text{Max}(B)},$$

$$\alpha + \beta + \sigma + \varsigma = 1, \quad \alpha, \beta, \sigma, \varsigma \in (0, 1) \quad (1)$$

其中  $\alpha, \beta, \sigma, \varsigma$  为相应的权值系数,本文根据功能将服务分为数据处理,数据储存,文件下载3类,它们对节点的资源各有偏重,如数据处理偏重CPU和内存性能,数据储存偏重磁盘空间,文件下载则更偏重带宽,这种偏重使  $\alpha, \beta, \sigma, \varsigma$  的取值动态变化。

**2.2.2 服务与信誉等级关联规则** 通过式(1)可使服务效益  $Su \in (0, 1]$ , 根据  $Su$  我们将服务分为4级:最高级  $Su \in (0.9, 1]$ , 高级  $Su \in (0.7, 0.9]$ , 标准级  $Su \in (0.4, 0.7]$  和普通级  $Su \in (0, 0.4]$ , 服务请求者使用服务将减少信誉,而服务提供者则可相应增加信

誉。对应于服务,根据节点的全局信誉  $Rg$  将节点分为5类:完全可信节点-  $Rg \in (0.9, 1]$ , 相当可信节点-  $Rg \in (0.7, 0.9]$ , 可信节点-  $Rg \in (0.4, 0.7]$ , 中立节点-  $Rg \in [0.1, 0.4]$ , 自私节点-  $Rg \in [0, 0.1]$ 。完全可信节点可使用全部服务,相当可信节点可使用除最高级外的服务,可信节点可使用标准级和普通级服务,中立节点只能使用普通级服务。节点如果成为自私节点将在一定期限内受到劳改惩罚:即不响应其服务请求,并且强制要求其提供无偿服务,否则将被排除出网络,这种惩罚措施可在节点加入网络时给予通告。

**2.2.3 信誉的计算** 信誉的计算是信誉评估中的关键环节,对于RSDI的实现至关重要,过于简单的计算很容易遭受攻击,太过复杂则因移动自组网的节点能力有限又不易实现,就算实现也需要耗费大量的资源,大大降低网络性能,RSDI中的算法力求平衡。

(1)节点  $i$  对节点  $j$  的综合信誉  $R_{ij}$  通过综合本地信誉  $Rl_{ij}$  和推荐信誉  $Rr_j$  得到

$$R_{ij} = \lambda Rl_{ij} + (1 - \lambda)Rr_j, \quad \lambda \in (0, 1) \quad (2)$$

其中  $\lambda$  为置信因子,用来表示  $i$  对其本身判断的自信程度。

(2)节点  $i$  对节点  $j$  的本地信誉  $Rl_{ij}$  通过节点间直接服务交易的历史经验来获得,代表节点  $i$  对节点  $j$  的局部看法,由节点  $i$  对节点  $j$  的服务实体诚实度 ( $Rh_{ij}$ ), 节点  $i$  观察到的节点  $j$  服务意愿 ( $Rw_{ij}$ ), 节点  $j$  的服务能力 ( $Rs_j$ ) 决定,服务实体诚实度和服务意愿是动态变化的,随时间衰减。

$$Rl_{ij} = \gamma Rh_{ij} + \eta Rs_j + \mu Rw_{ij},$$

$$\gamma + \eta + \mu = 1, \quad \gamma, \eta, \mu \in (0, 1) \quad (3)$$

(3)服务实体诚实度  $Rh_{ij}$ : 节点  $i$  对节点  $j$  提供服务的诚实度的评价,初始值为0,即

$$Rh_{ij} = \begin{cases} \frac{1}{P} \sum_{M=1}^P Rh_{ij} e^{-(P-M)}, & P > 0 \\ 0, & P = 0 \end{cases} \quad (4)$$

其中  $Rh_{ij}$  为每次服务提供后节点  $i$  对节点  $j$  提供服务参照服务注册时保证的质量给出评价,值在  $(0, 1]$  之间,  $e^{-(P-M)}$  为时间衰减函数,  $P$  为节点  $i$  加入网络后节点  $j$  对其提供服务的总次数,  $M$  为服务完成序数。

(4)服务能力  $Rs_j$ : 节点  $j$  的客观提供服务的能力,由节点的CPU、内存、存储容量、网络带宽属性值进行归一化处理得到

$$Rs_j = \alpha \frac{C_j}{\text{Max}(C)} + \beta \frac{M_j}{\text{Max}(M)} + \sigma \frac{S_j}{\text{Max}(S)} + \varsigma \frac{B_j}{\text{Max}(B)},$$

$$\alpha + \beta + \sigma + \varsigma = 1, \alpha, \beta, \sigma, \varsigma \in (0,1) \quad (5)$$

其中  $\alpha, \beta, \sigma, \varsigma$  的含义与式(1)中一致。

(5)服务意愿  $Rw_{ij}$ : 节点  $i$  关于节点  $j$  的服务提供自愿程度的评价, 如式(6)所示:

$$Rw_{ij} = \begin{cases} \frac{1}{K} \sum_{L=1}^K \frac{SL_{ij} - FL_{ij}}{SL_{ij} + FL_{ij}} e^{-(K-L)}, & K > 0 \\ 0, & K = 0 \end{cases} \quad (6)$$

其中  $K$  为  $i$  向  $j$  请求服务总次数,  $L$  为请求序数,  $SL_{ij}$  为  $j$  向  $i$  提供服务次数,  $FL_{ij}$  为  $j$  拒绝向  $i$  提供服务次数。

(6)节点  $j$  的推荐信誉  $Rr_j$ : 整合网络中与节点  $j$  交易过的其他节点对其信誉评价得到, 即

$$R_{Ci}^j = \begin{cases} \frac{1}{Cn-2} \sum_{k=1}^{Cn-2} Rk_j, & Cn > 2 \\ 0, & \text{其它} \end{cases} \quad (7)$$

$$Rr_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N R_{Ci}^j$$

其中  $R_{Ci}^j$  表示簇  $i$  对节点  $j$  的信誉评价。计算节点  $j$  的推荐信誉首先由  $N$  个簇头  $Ci$  收集簇内与节点  $j$  有过交易记录的共  $Cn$  个节点对节点  $j$  的推荐信誉计算得到  $R_{Ci}^j$ , 其中为了合谋攻击, 先对收集到信誉进行排序处理, 然后去掉一个最高值和一个最低值后再取平均; 接着节点  $i$  根据  $N$  个簇头返回的  $R_{Ci}^j$  计算得到关于节点  $j$  的推荐信誉  $Rr_j$ 。

(7)服务结束后, 如果服务提供完成, 节点  $i$  所在簇的簇头会更新节点  $i$  的全局信誉  $Rg_i$ , 即

$$Rg_i = \max \left\{ Rhg_i - \frac{Su}{5}, 0 \right\} \quad (8)$$

其中  $Rhg_i$  为节点  $i$  的全局信誉历史值, 初始值等于其服务能力  $Rs_i$ , 计算时服务权重系数  $\alpha, \beta, \sigma, \varsigma$  分别取值为  $1/6, 1/6, 1/3, 1/3$ , 其他节点同理。

如果节点  $j$  不是被惩罚的自私节点, 节点  $j$  所在簇的簇头会更新节点  $j$  的全局信誉  $Rg_j$ , 即

$$Rg_j = \max \{ \min \{ Rhg_j + J(Su, b), 1 \}, 0 \}$$

$$J(Su, b) = \begin{cases} \frac{Su}{5}, & b = 1, E_{\text{left}} > E_h \\ \frac{E_h}{E_{\text{left}}} \frac{Su}{5}, & b = 1, E_{\text{left}} < E_h \\ -\frac{E_{\text{left}}}{E_h} \frac{Su}{5}, & b = 0, E_{\text{left}} > E_h \\ 0, & \text{其它} \end{cases} \quad (9)$$

其中  $b=1$  表示节点  $j$  完成服务提供,  $b=0$  表示节点  $j$  拒绝提供服务。考虑到节点自私行为受限于电池能量时表现得尤为明显的情况, 本文设置了一个电量阈值  $E_h$ , 当簇头检测到服务提供者的电量  $E_{\text{left}}$  低于  $E_h$  时, 服务提供者提供服务, 他所得到的信誉增量将有加成, 加成系数为  $E_h / E_{\text{left}}$ ; 同理, 当簇头检测到服务提供者的电量  $E_{\text{left}}$  高于  $E_h$  时, 服务提供者理应提供服务, 但是如果其故意不提供服务, 他所得到的信誉减量将有加成, 加成系数为  $E_{\text{left}} / E_h$ , 这样可刺激节点积极进行服务提供, 也可以加快检验出自私节点的速度。

### 2.3 激励机制的工作流程

下面以簇  $A$  中服务请求者节点  $i$  和簇  $B$  服务提供者节点  $j$  的一次服务交易为例来介绍图 1 所示激励机制的工作流程(簇  $A$  和簇  $B$  可以为同一个):

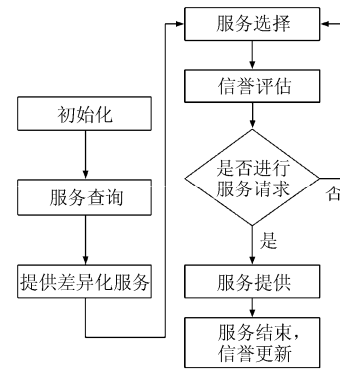


图1 激励机制工作流程图

(1)初始化: 包括初始化信誉阈值、电量阈值  $E_h$  以及设置服务与信誉间的关联规则;

(2)节点  $i$  向各簇头发出服务查询请求;

(3)各簇头协同根据节点  $i$  的全局信誉按照设置的关联规则返回其可使用的服务列表以供其自行选择;

(4)节点  $i$  根据自己的意愿选择服务列表中的某项服务  $S_k$ ;

(5)出于服务的可靠性等因素考虑, 在服务请求前, 节点  $i$  对  $S_k$  的服务提供者节点  $j$  进行信誉评估来决策是否请求该服务。信誉评估过程中节点  $i$  通过式(3)至式(6)获得对节点  $j$  的本地信誉, 通过式(7)获得对节点  $j$  的推荐信誉  $Rr_j$ , 最后根据式(2)获得综合信誉  $R_{ij}$ ;

(6)将  $R_{ij}$  与网络中设定的信誉阈值  $R_y$  进行比较,  $R_{ij} \geq R_y$  则请求该服务, 进入(7), 否则, 回到(4)重新进行服务选择;

(7)服务提供阶段, 簇  $B$  的簇头  $C_B$  通过监控获得节点  $j$  的剩余电量和提供的完成情况;

(8)服务提供结束后，根据服务提供的完成情况，节点*i*更新与节点*j*的服务交易记录，簇*A*的簇头*C<sub>A</sub>*通过式(8)计算得到节点*i*的最新全局信誉*Rg<sub>i</sub>*并保存；*C<sub>B</sub>*通过式(9)计算得到节点*j*的最新全局信誉*Rg<sub>j</sub>*并保存。

### 3 仿真

为了分析和验证文中提出的激励机制 RSDI 的性能，本文使用 Java 开源分布式网络信誉模型模拟器 TRMSim-WSN<sup>[13]</sup>对其进行了仿真测试，并与经典的 Eigentrust 和 Peertrust 进行了比较分析。仿真场景为 100 m×100 m 范围内的 100 个节点，组成一个拥有 14 个簇，每个簇中有 6 或 7 个普通成员的分簇移动自组网。各节点初始剩余电量均为 100%，平均可提供 6 种服务，节点有 50%的概率成为服务请求者。信誉阈值 *R<sub>y</sub>* 设为 10%，式(1)，式(5)中服务权重系数  $\alpha, \beta, \sigma, \varsigma$  分别设为 1/8, 1/8, 1/4, 1/2，式(2)中  $\lambda$  设为 0.5，式(3)中  $\gamma, \eta, \mu$  均设为 1/3，式(9)中电量阈值 *E<sub>b</sub>* 设为 20%。

实验评估指标：服务贡献率，是积极进行服务提供的节点与总节点数的比值，体现了节点对系统的积极贡献程度。平均服务满意度，是网络中服务请求者对服务提供者提供的服务的满意度的平均值。

实验中自私节点分为简单自私节点、共谋自私节点两类。简单自私节点：单纯不提供服务，搭便车享受其他节点提供服务的节点。共谋自私节点：自私节点间互相勾结，诋毁其他节点而提高相互间的信誉评价。

#### 3.1 服务贡献率

图 2 所示为网络中的自私节点概率设为 50%时服务贡献率与服务交易次数关系图，Eigentrust 和 Peertrust 中服务贡献率随着服务交易次数的增长达到 50%左右便遇到瓶颈不再增长；相比较而言，RSDI 中服务贡献率可以稳定增长到 90%左右；图 3 所示为服务次数为 3200 次时服务贡献率与自私节点比例间的关系，Eigentrust 中服务贡献率随着自

私节点比例的增加达到 70%时下降到不足 40%；Peertrust 中更低，接近 30%；而 RSDI 中服务贡献率虽有下降，仍维持在 80%的水平线上。这是因为 Eigentrust 和 Peertrust 中只将信誉用作服务选择依据，对服务的请求没有进行有效限制，对节点激励力度不够，不能有效激励网络中的节点积极进行服务提供，且容易出现信誉高的节点超负载工作情况，进而导致信誉高的节点过早消耗能源退出网络；RSDI 通过设置服务与信誉等级关联规则提供差异化服务，并在服务提供前采取针对性激励措施，能有效地激励节点积极参与服务提供并避免信誉高的节点超负载工作。

#### 3.2 平均服务满意度

图 4 所示为平均服务满意度与简单自私节点比例关系图，Eigentrust 和 Peertrust 中随着网络中自私节点的比例增加平均服务满意度明显下降，相比较而言，RSDI 中平均服务满意度下降更平缓。在自私节点比例为 70%时，Eigentrust 中平均服务满意度已不足 50%，Peertrust 中稍好，但也仅在 60%左右，RSDI 仍然维持在 90%左右。这是因为 Eigentrust 和 Peertrust 中对计算服务提供者的信誉只考虑交易成功率，不能有效评价节点的服务提供行为的信誉；RSDI 中通过多维度准确刻画服务提供者的信誉帮助服务请求者做出正确的服务请求决策。

图 5 所示为平均服务满意度与共谋自私节点比例关系图，Eigentrust, Peertrust 和 RSDI 中在合谋攻击情况下随着网络中的自私节点的比例增加，平均服务满意度都有所下降，但是相比较而言 RSDI 降幅更小，在自私节点比例为 70%时，Eigentrust, Peertrust 中平均服务满意度在 30%左右，RSDI 中平均服务满意度维持在 70%左右。这是因为 Eigentrust 中没有区分节点的评价可信度和提供服务的诚信度，认为提供可靠服务节点提供的评价也可信，这不一定合理；Peertrust 中忽视了节点评价的动态性，且缺少共谋节点的惩罚机制；RSDI 中对推荐信誉进行了过滤处理然后采用平均计算方法计算，对共谋攻击有一定抵御能力。

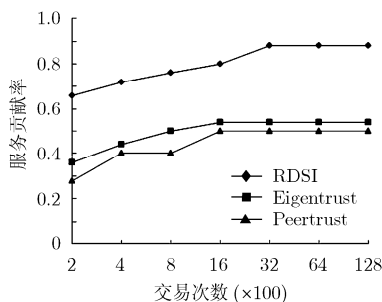


图 2 服务贡献率与交易次数关系

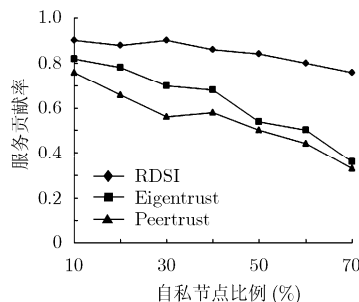


图 3 服务贡献率与自私节点比例关系

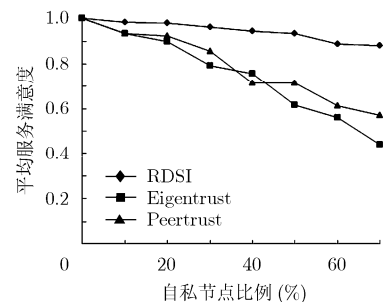


图 4 平均服务满意度与简单自私节点比例关系

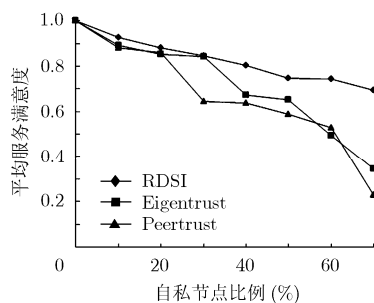


图5 平均服务满意度与共谋自私节点比例关系

综上所述, RSDI 能有效解决移动自组网节点在自觉提供服务方面的自私行为问题, 并且提高移动自组网中的平均服务满意度, 为网络目标做贡献。

#### 4 结束语

本文针对移动自组网中服务的积极提供问题提出一个新的基于信誉的移动自组网区分服务激励机制 RSDI。实验表明 RSDI 能有效抵制自私行为, 激励网络中节点提供可靠的服务, 为网络目标做贡献, 提高移动自组网的业务能力。接下来的工作我们将在此基础上研究移动自组网中面向服务及其组合中的资源合理分配, 进一步提升网络业务能力。

#### 参考文献

- [1] 李莉, 董树松, 温向明. 基于博弈理论建立无线自组网中激励合作机制的研究[J]. 电子与信息学报, 2007, 29(6): 1299-1303. Li Li, Dong Shu-song, and Wen Xiang-ming. The analyses of cooperation mechanism based on game theory in wireless Ad hoc network[J]. *Journal of Electronics & Information Technology*, 2007, 29(6): 1299-1303.
- [2] Jaramillo J J and Srikant R. A game theory based reputation mechanism to incentivize cooperation in wireless Ad hoc networks[J]. *Ad Hoc Networks*, 2010, 8(4): 416-429.
- [3] Liu W D, Peng D S, Lin C, et al. Enhancing tit-for-tat for incentive in BitTorrent networks[J]. *Proceedings of Peer-to-Peer Networking and Applications*, 2010, 3(1): 27-35.
- [4] Park J and Schaar M V D. A game theoretic analysis of incentives in content production and sharing over peer-to-peer networks[J]. *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, 2010, 4(4): 704-717.
- [5] Buttyan L and Hubaux J P. Stimulating cooperation in self-organizing mobile Ad hoc networks[J]. *ACM/Kluwer Mobile Networks and Applications*, 2003, 8(5): 579-592.
- [6] Sirivianos M, Yang Xiao-wei, and Jarecki S. Robust and efficient incentives for cooperative content distribution[J]. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 2009, 17(6): 1766-1779.
- [7] Park J and Schaar M V D. Pricing and incentives in peer-to-peer networks[C]. Proceedings of INFOCOM, San Diego, CA, March 14-19, 2010: 1-9.
- [8] Denko M K. A reputation-based service differentiation scheme for mobile Ad hoc networks[C]. Proceedings of IEEE International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communication(WiMob'05), Montreal, Canada, August 22-24, 2005: 197-204.
- [9] Kamvar S D, Schlosser M, and Garcia-Molina H. The eigentrust algorithm for reputation management in P2P networks[C]. Proceedings of the 12th International World Wide Web Conference, Budapest, Hungary, May 20-24, 2003: 640-651.
- [10] Xiong Li and Liu Ling. Peertrust: supporting reputation-based trust for peer-to-peer communities[J]. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 2004, 16(7): 843-857.
- [11] Buchegger S and Boudee J Y L. Self-policing mobile Ad hoc networks by reputation systems [J]. *IEEE Communications Magazine*, 2005, 43(7): 101-107.
- [12] Zhao B Q, Lui J C S, and Chiu D M. Analysis of adaptive incentive protocol for on P2P networks[C]. Proceedings of the 28th IEEE International Conference on Computer Communications (INFOCOM), Rio de Janeiro, April 19-25, 2009: 325-333.
- [13] Gómez F and Martínez G. TRMSim-WSN: trust and reputation models simulator for wireless sensor networks[C]. Proceedings of the IEEE International Conference on Communications and Information Systems Security Symposium, Dresden, Germany, June 14-18, 2009: 1-5.

蒋小杰: 男, 1987年生, 硕士生, 研究方向为网络管理和终端协同。

芮兰兰: 女, 1979年生, 副教授, 硕士生导师, 研究方向为通信软件与网络管理。

郭少勇: 男, 1985年生, 博士生, 研究方向为终端管理和泛在网。

邱雪松: 男, 1973年生, 教授, 博士生导师, 研究领域为网络与业务管理。