

自私性机会网络中的节点激励策略研究

李向丽 宣茂义

(郑州大学信息工程学院 郑州 450001)

摘要 机会网络中的节点由于自身资源受限,在转发消息时具有自私性。为了激励节点相互合作,已经提出的激励策略用虚拟货币激励自私节点转发消息,但存在虚拟货币不足和虚假报价的问题。为解决上述问题,提出一种基于可透支虚拟货币机制的节点激励策略。该策略设计了可透支的虚拟货币机制,以节点消息转发能力作为货币透支担保来解决虚拟货币不足的问题;策略中的交易机制保持资源状态和财富状态公开,如果消息交易无法一次完成,交易双方将根据对方的资源状态和财富状态友好地进行二次议价来抑制节点虚假报价的问题。仿真实验验证了该策略中节点激励机制的有效性以及可透支虚拟货币机制的有效性,并证明该策略有效地抑制了节点的虚假报价现象。

关键词 机会网络,自私节点,虚拟货币,虚假报价

中图分类号 TP393.01 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2017.04.046

Research on Incentive Strategy of Nodes in Selfish Opportunistic Network

LI Xiang-li XUAN Mao-yi

(School of Information Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract Nodes in opportunistic network are selfish due to limited resource when transmitting messages. In order to encourage nodes to cooperate with each other, the incentive strategies have been proposed to use virtual currency to motivate selfish nodes to transmit messages, but there exist problems of virtual currency shortage and mendacious offer. With the purpose of solving the above problems, this paper proposed a node incentive strategy based on the mechanism of overdraft virtual currency. The strategy designs mechanism of overdraft virtual currency, which uses the ability of messages transmitting of a node as monetary overdraft guarantee to solve the problem of virtual currency shortage. The resource and wealth status are public in the trading mechanism of the strategy, if the message transaction cannot be completed once, the two sides will friendly bargain based on resource and wealth status to suppress the issue of mendacious offer. Simulation results show that the proposed strategy is of effectiveness of the strategy and mechanism of virtual currency, and can suppress the issue of mendacious offer.

Keywords Opportunistic network, Selfish nodes, Virtual currency, Mendacious offer

1 引言

机会网络(Opportunistic Networks, ON)^[1]是一种具有一般容迟容断网络(Delay Tolerant Networks, DTN)^[2]特征的移动自组织网络(Mobile Ad Hoc Network, MANET)^[3],广泛应用于车载网络、野生动物追踪、边远地区通信等。不同于传统的MANET,机会网络不依赖稳定的端对端链路进行通信,而是利用节点移动带来的相遇机会进行通信,这就需要节点间相互合作来转发消息;然而,节点由于自身缓存和能量的限制,为了节省资源会拒绝帮助其他节点转发消息,资源受限引起的节点自私性行为会让现有路由协议无法有效运行,因此现有的路由协议大部分是以节点合作为前提的。目前,越来越多的研究人员开始研究如何解决机会网络中节点的自私性问题。

为了解决资源受限节点的自私性问题,研究人员引入经济学中的博弈论,通过设计有效的机制,使节点获得相对于自私性行为更好的长期收益,激励节点相互合作。目前主要有3种激励策略:基于Reputation的策略^[4]、基于tit-for-tat(TFT)的策略^[5]和基于Credit的策略^[6]。在基于Reputation的策略中,节点维护一张记录其他节点信誉值的表,选择信誉值较大的节点作为转发节点;TFT策略是一种对称的互惠策略,节点帮助其他节点转发的消息量与其他节点帮助该节点转发的消息量相同;基于Credit的策略将消息转发过程抽象成一次交易过程,引入虚拟货币,源节点在交易过程中向转发节点支付一定的费用。

基于Credit的策略有两种:1)存在第三方监督的情况;2)P2P交易^[7]的情况。在缺乏基础设施和全局知识的前提下,对节点的交易行为进行监督是相当困难的;基于P2P的

到稿日期:2016-03-04 返修日期:2016-05-14 本文受河南省教育厅科技研究重点项目(14A520021)资助。

李向丽(1965—),女,硕士,副教授,CCF会员,主要研究方向为计算机网络、数据挖掘,E-mail:625649120@qq.com;宣茂义(1989—),男,硕士生,主要研究方向为计算机网络。

激励机制中存在虚拟货币不足以及虚假报价的问题,因此本文在深入研究基于 Credit 的策略的基础上,提出一种基于可透支虚拟货币机制的节点激励策略——NIS(Node Incentive Strategy based on overdrawn virtual currency mechanism),该策略设计了合理的可透支的虚拟货币机制来保证虚拟货币充足;同时考虑了交易双方的资源属性和消息属性,为交易双方设计消息估价函数,并允许双方进行二次博弈议价,通过交易双方资源状态和财富状态的公开化来抑制转发节点虚假报价。

2 相关工作

目前,已有一些引入博弈论的机会网络节点激励策略。文献[8]充分考虑了节点环境属性和消息属性,提出了一种基于买卖模型的节点激励策略(Bargaining based Incentive Protocol, BIP),该策略为源节点和转发节点分别设计了出价函数和要价函数,若要价函数值小于等于出价函数值,则说明转发节点愿意在将获得的虚拟货币值作为出价函数值的前提下帮助源节点转发消息;反之交易取消。然而, BIP 策略中的出价函数忽略了能量因素对消息价格计算的影响,要价函数忽略了消息属性对转发节点的影响,而这些因素都会影响节点是否转发消息。另外, BIP 策略未考虑可能出现的虚拟货币不足和虚假报价的情况。文献[9]为解决现有基于议价博弈的概率路由协议中存在的过度依赖虚拟货币的问题,提出一种基于多方议价博弈的高吞吐量、低开销的概率路由协议(High-throughput and Low-overhead Probabilistic Routing based on Multi-player bargaining Game, HLPR-MG),该协议引入“以物易物”的机制,在保留虚拟货币支付的情况下,允许源节点采用帮助转发节点转发消息的方式代替虚拟货币支付。但是,这种机制只适用于完全对称的网络业务,对解决虚拟货币不足的问题的帮助有限。另外, HLPR-MG 协议没有抑制虚假报价的机制。文献[10]为了抑制转发节点虚假报价,提出一种新的基于博弈论的激励策略(Game-based Incentive Strategy, GIS),该策略利用 3 次讨价还价博弈让交易双方在无第三方监督管理的情况下也能以合理的价格进行交易。GIS 策略在一定程度上抑制了转发节点的虚假报价,但是交易双方的资源状态和财富状态不公开,3 次讨价还价导致高时延和高能耗,由于机会网络中通信链路频繁断裂, GIS 策略具有很大的局限性,且没有改善虚拟货币不足的机制。文献[11]提出了一种使网络服务商、内容发布节点(A 类节点)和内容订阅节点(B 类节点)互惠共赢的激励策略 RIS (Reciprocal Incentive Scheme),该策略中的节点可以使用虚拟货币获取感兴趣的内容,也可以通过储存自己不感兴趣的内容以转发给其他节点以赚取虚拟货币;为了使收益最大化,节点通过计算不感兴趣内容的收益期望值来决定是否储存该内容; RIS 策略还深入探讨了节点维护网络拓扑信息的范围与节点选择决策的关系。RIS 策略提高了接收率,降低了平均时延和内容获取费用,但未考虑虚拟货币不足和节点虚假报价的问题。

在上述文献研究的基础上,针对虚拟货币不足、转发节点虚假报价等问题,本文提出一种基于可透支虚拟货币机制的节点激励策略——NIS,该策略根据博弈论原理,激励节点在

可以获得长期收益的前提下放弃自私性行为。借鉴现实生活中的信贷机制,设计了可透支的虚拟货币机制,用节点自身消息转发能力为虚拟货币提供透支担保,以解决虚拟货币不足的问题;同时,引入新的议价机制,综合考虑交易双方资源属性和消息属性,设计合理的估价函数,并允许交易双方进行二次博弈议价,二次议价时,交易双方资源状态和财富状态是公开的,通过这种方法来抑制转发节点的虚假报价行为。

3 NIS 策略

NIS 策略以现有的概率路由协议 PRoPHET^[12]为基础,引入了经济学中的博弈理论,设计了有效解决虚拟货币不足和虚假报价问题的节点激励机制,使得 NIS 策略可以在自私性机会网络路由协议中得到有效应用。

3.1 虚拟货币机制

虚拟货币是用来激励节点相互合作的,在现有的基于 Credit 的策略中虚拟货币是固定值。在网络中,节点若频繁为消息转发支出虚拟货币则可能导致虚拟货币不足。为此, NIS 策略将节点消息转发能力作为虚拟货币的透支担保,把节点的资源属性设定为衡量消息转发能力的标准,资源属性包括节点缓存空间和能量。NIS 策略中的虚拟货币由两部分组成:初始虚拟货币和透支额度。初始虚拟货币定义为网络初始化时为每个节点设置的虚拟货币值;透支额度定义为在节点初始虚拟货币不足时由节点消息转发能力作担保而超额使用的虚拟货币值。

3.1.1 透支额度

透支额度在节点虚拟货币不足时使用,当节点帮助其他节点转发消息而获得虚拟货币时,需要立即归还透支的虚拟货币,这样可以减少由于虚拟货币不足而造成消息无法转发的情况发生。本文采用节点当前缓存大小与能量大小的数值之和来衡量透支额度的大小,透支额度 C 的计算如式(1)所示。

$$C = B + E \quad (1)$$

其中, B 代表节点当前的缓存空间大小, E 代表节点当前的能量;当透支额度 $C < C_{\min}$ 时表示节点的资源已不足,停止透支虚拟货币。 C_{\min} 表示资源短缺门限值,根据实验结果,将其设为 C 的 0.25 倍。

3.1.2 节点财富状态

节点的财富由两部分组成:固定虚拟货币和透支额度。节点的财富状态以持有的虚拟货币为标准。本文将节点的财富状态分为 3 个等级,如果当前虚拟货币 V_0 小于贫困门限 V_{\min} ,则节点处于贫困状态;如果 V_0 大于富裕门限 V_{\max} ,则节点处于富裕状态;其余情况说明节点处于一般状态。

节点的财富状态 S_n 的取值如式(2)所示。

$$S_n = \begin{cases} \frac{V_0}{V_{\min}}, & V_0 < V_{\min}, \quad \text{贫困} \\ 1, & \text{其他情况,} \quad \text{一般} \\ \frac{V_0}{V_{\max}}, & V_0 > V_{\max}, \quad \text{富裕} \end{cases} \quad (2)$$

3.2 交易模型

自私性机会网络中,消息的转发可以抽象成一次交易过程。在交易过程中,交易双方不仅要知道对方的消息价格,还

要相互告知资源状态和财富状态来避免虚假报价。

3.2.1 源节点估价函数

源节点定义为将消息转发出去的节点,将一条消息转发出去时,需要向转发节点支付一定的虚拟货币,在支付之前,源节点会考虑自身资源状态、财富状态和消息属性;在相同的财富状态和消息属性的情况下,源节点在资源状态不良时,为了减轻自身资源压力,希望尽快将消息转发出去,消息的价格会偏高;在相同的资源状态和消息属性的情况下,源节点在财富状态较好时,会乐于以较高的价格完成本次交易;在相同的资源状态和财富状态的情况下,考虑消息属性时,鉴于消息不宜在缓存中长久保留,估价函数需要使用价格因素督促节点尽快将消息转发出去。综合考虑上述因素,NIS策略定义的源节点估价函数如式(3)所示。

$$M=L * [\alpha * (1 - \frac{B(t)}{B}) + \beta * (1 - \frac{E(t)}{E}) + \kappa * (1 - \frac{ttl}{TTL})] * S_n \quad (3)$$

其中, L 表示消息的大小, $B(t)$ 表示当前时刻的缓存空间大小, B 表示初始缓存空间大小, $E(t)$ 表示当前能量, E 表示初始能量, ttl 表示消息剩余生存时间, TTL 表示消息初始生存时间, S_n 表示源节点的财富状态, α, β, κ 是权重因子,表示缓存大小、能量和剩余生存时间对消息价格的影响程度,且 $\alpha + \beta + \kappa = 1$, α, β, κ 的经验取值分别为0.45, 0.1, 0.45。

由式(3)可以看出,相同的资源状态和财富状态下,节点会尽快将消息转发出去,因为随着消息在本地缓存保留的时间变长,源节点需要为该消息支付的价格变高,及时转发该消息不仅可以支付较少的货币,还可以减轻本地缓存的压力;同时考虑源节点财富状态对估价的影响,源节点处于贫困状态时, S_n 小于1,源节点的支付价格较低,反之源节点乐意支付较高的价格。

3.2.2 转发节点估价函数

转发节点定义为帮助源节点转发消息的节点。转发节点在转发消息时为自己的转发服务估价,在估价时主要考虑自身资源状态、财富状态和消息对自身资源状态的影响。在相同的财富状态和消息属性的情况下,在转发节点自身资源紧张时,其转发意愿会大幅下降,需要用更多的虚拟货币来激励;在相同的资源状态和消息属性的情况下,节点处于贫困状态时,需要获得虚拟货币来缓解财富状况;在相同的资源状态和财富状态的情况下,也需要督促转发节点尽快将消息转发出去,而且要考虑接收消息后对转发节点的资源状态的影响。综合考虑上述因素,NIS策略定义的转发节点估价函数如式(4)所示。

$$Z=L * [\omega * (1 - \frac{B(t)-L}{B}) + \xi * (1 - \frac{E(t)-E(L)}{E}) + \lambda * (1 - \frac{ttl}{TTL})] * \frac{1}{S_n} \quad (4)$$

其中,除 $\omega, \xi, \lambda, E(L)$ 外,其余符号的意义与式(3)相同, $E(L)$ 表示接受消息时消耗的能量, ω, ξ, λ 是权重因子,表示缓存大小、能量和剩余生存时间对消息价格的影响程度,且 $\omega + \xi + \lambda = 1$, ω, ξ, λ 的经验取值分别为0.45, 0.1, 0.45。

从式(4)可以看出,转发节点在估价时不仅考虑了自身资源状态和财富状态,还考虑了将要接收的消息对自身的影响。

当转发节点处于贫困状态时, S_n 小于1,在相同的资源状态和消息属性的情况下,消息价格较大,这符合现实交易的实际情况;在相同的资源状态和财富状态的情况下,如果接收消息的长度较小, ttl 较大,则说明该消息不仅具有更大的再次转发价值,而且消耗的本地资源较少,消息价格也较小。

通过对式(3)、式(4)的分析,可以看出NIS策略全面考虑了资源因素、财富因素和消息属性,对消息的价格估计是合理的。

3.2.3 交易规则

当两个节点进入彼此射频范围内时,源节点与转发节点开始进行消息交易,用 m 表示源节点给出的价格,用 z 表示转发节点给出的价格,用 C_m 表示源节点的资源状态, C_z 表示转发节点的资源状态, S_m 表示源节点的财富状态, S_z 表示转发节点的财富状态。NIS策略的交易规则如下(所有规则在透支额度 $C > C_{min}$ 的情况下有效)。

(1)NIS策略中的虚拟货币允许透支,节点持有虚拟货币后需要优先归还透支的虚拟货币。

(2)源节点和转发节点不仅需告知对方消息的价格,还需要告知对方自己的资源状态和财富状态。

(3) $z \leq m$ 时,消息交易成功,继续下一条消息的交易。

(4) $z > m$ 时,基于NIS的可透支虚拟货币机制的节点激励策略,交易双方进入二次议价阶段,根据资源状态和财富状态重新给出消息价格,二次议价按规则(5)进行操作。

(5)当 $S_z \geq 1$,即转发节点处于富裕状态时,源节点估价 m 不变。由于转发节点无法保证一定能将消息送至目的节点,因此将消息要价以相遇概率为折扣系数进行打折以尝试完成消息交易,打折后的价格 z 按式(5)进行计算。

$$z = z_1 * p \quad (5)$$

其中, z_1 表示转发节点的第一次出价, p 表示转发节点与消息目的节点的相遇概率。

当 $S_z < 1, S_m \geq 1$,即转发节点处于贫困状态,源节点处于富裕状态时,转发节点估价 z 不变。二次议价时需考虑源节点的资源状态,当节点资源状态良好时,节点没有消息转发压力,因此价格 m 可以小幅增加以尝试完成当前交易;当节点资源状态不佳时,节点希望尽快转发消息,缓解缓存压力,大幅提高价格 m 不仅可以促成当前消息交易,还可以缓解转发节点的财富状态。基于上述考虑,令源节点价格 m 按式(6)进行计算。

$$m = m * S_m * \frac{B_m + E_m}{B_m^2 + E_m^2} \quad (6)$$

其中, B_m 表示源节点剩余缓存空间百分比, E_m 表示源节点剩余能量百分比。

当 $S_z < 1, S_m < 1$,即转发节点、源节点均处于贫困状态时,双方均需要改变消息价格,源节点价格 m 按式(7)进行计算。

$$m = m * S_m \quad (7)$$

转发节点的要价 z 按式(5)计算。

(6)如果双方在二次博弈议价中达成一致,即 $z \leq m$ 时,按规则(3)处理;如果双方在二次博弈议价中无法达成一致,则取消该消息的交易,并开始交易下一条消息。

3.3 博弈分析

NIS策略中博弈的双方是源节点和转发节点,本文将通

过分析节点的行为对收益的影响来证明 NIS 策略可以激励节点相互合作。

(1)源节点 S 不转发消息 M, 消息 M 的 t_{tl} 会逐渐变小, 在相同的资源状态下, 在理论上源节点 S 需要支付更多虚拟货币, 多支出部分可由式(8)计算。

$$I_1 = L_M * \kappa * S_n * \frac{t_{tl}^t - t_{tl}^{t+1}}{TTL} \quad (8)$$

其中, L_M 表示消息 M 的大小, t_{tl}^t, t_{tl}^{t+1} 分别表示 M 在 t 时刻和 t+1 时刻的剩余生存时间, 其余符号意义与式(4)相同。

(2)源节点 S 未在 t 时刻及时将消息 M 转发出去, 导致占用了本地缓存, 在 t+1 时刻转发其他消息时计算的价格也会偏大, 多支出部分可由式(9)计算。

$$I_2 = L_2 * \partial * S_n * \frac{L_M}{B} \quad (9)$$

L_2 表示 t+1 时刻转发的消息的长度, L_M 表示 M 的长度。

综合上述两种情况, 由于不转发消息 M, S 需要付出的代价至少为 I, 如式(10)所示。

$$I = \min\{I_1, I_2\} \quad (10)$$

而如果 S 转发 M, 那么 S 比预期估价节省的虚拟货币 W 可以由式(11)计算。

$$W = m - z \quad (11)$$

显然 $W > 0 > -I$ 成立, 因为 S 转发消息 M 的收益要大于不转发 M 的收益, 所以 S 必然会把 M 转发出去。

对于转发节点 D, 接收 M 可以立即获得数量为 z 的虚拟货币; 不接收 M, 没有收益。所以, D 也乐于接收消息 M。接收消息 M 后, D 也会尽快将 M 转发出去, 原理分析同 S。

从以上分析可知, NIS 策略可以有效规范节点行为, 激励节点相互合作。

4 仿真结果和分析

4.1 仿真环境

为了验证 NIS 策略的性能, 本文使用基于 Java 的机会网络仿真平台 The ONE (Opportunistic Network Environment) 进行实验。详细仿真参数的设置如表 1 所列。

表 1 仿真参数设置

参数	数值
仿真时间/h	15
仿真区域/m ²	10000×15000
传输范围/m	100
节点数/个	40
移动速率/km/h	40
消息大小/kB	500~1024
传输速度/kB/s	250
缓存大小/MB	30
TTL/h	5
初始能量/J	2000
传输功率/W	1

4.2 性能参数

本文选取消息交付率、平均时延和平均能耗作为性能参数来验证 NIS 策略的性能。

4.2.1 消息交付率

消息交付率 $Delivery$ 是指成功交付到目的节点的消息

总数 $M_{delivered}$ 与产生的消息总数 $M_{created}$ 的比值。

$$Delivery = \frac{M_{delivered}}{M_{created}} \quad (12)$$

4.2.2 平均时延

平均时延 $Latency$ 是指消息从产生到交付到目的节点所花费时间的平均值。

$$Latency = \frac{\sum_1^N (T_D - T_S)}{N} \quad (13)$$

其中, T_D 代表到达目的节点的时间, T_S 代表消息产生的时间, N 代表消息总数。

4.2.3 平均能耗

平均能耗 $EnConsumption$ 是指转发消息所消耗的平均能量。

$$EnConsumption = \frac{E_{init} - E_{rem}}{N} \quad (14)$$

其中, E_{init} 代表初始能量, E_{rem} 代表仿真结束后的剩余能量, N 代表成功转发的消息总数。

4.3 仿真结果分析

本文需要验证自私性机会网络中 NIS 策略激励节点相互合作的有效性、可透支虚拟货币机制的有效性和抑制节点虚假报价的性能。

4.3.1 NIS 策略激励节点相互合作的有效性

自私节点比例定义为网络中自私性节点数占节点总数的比例, 图 1—图 3 分别示出了自私节点比例对消息交付率的影响、自私节点比例对平均时延的影响和自私节点比例对平均能耗的影响。

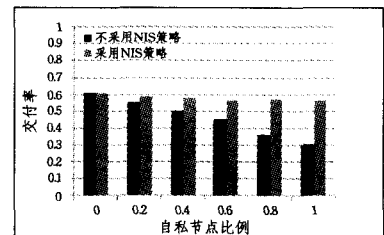


图 1 自私节点比例对消息交付率的影响

从图 1 中可以看出, 不采用 NIS 策略时, 随着自私节点比例上升, 消息交付率明显下降; 采用 NIS 策略时, 随着自私节点比例上升, 消息交付率没有明显变化。这是因为不采用 NIS 策略时, 自私节点拒绝为其他节点转发消息, 导致消息交付率下降; 而采用 NIS 策略时, 利用虚拟货币激励自私节点帮助其他节点转发消息, 因此消息交付率没有明显变化。

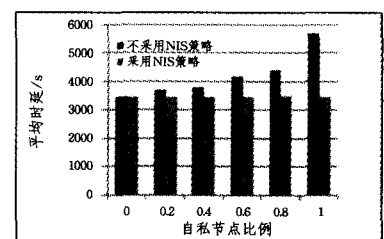


图 2 自私节点比例对平均时延的影响

从图 2 中可以看出, 不采用 NIS 策略时, 随着自私节点比

例上升,平均时延显著增大;采用 NIS 策略时,随着自私节点比例上升,平均时延仅有很小的波动。这是因为不采用 NIS 策略时,自私节点会拒绝帮助其他节点转发消息,尤其是当自私节点比例为 1 时,相当于消息转发采用的是直接交付的方式,只有遇到目的节点时才会转发消息,这样必然导致平均时延大幅增加;而采用 NIS 策略后,节点间相互合作,平均时延波动不大。

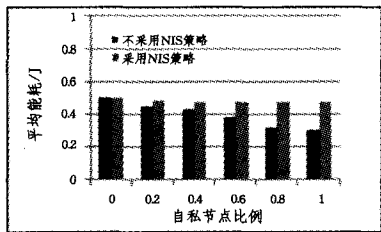


图 3 自私节点比例对平均能耗的影响

从图 3 可以看出,不采用 NIS 策略时,随着自私节点比例上升,平均能耗显著下降;采用 NIS 策略时,平均能耗波动不大。这是因为不采用 NIS 策略时,随着自私节点的增加,网络中消息转发活动越来越少,平均能耗自然越来越低;采用 NIS 策略后,自私节点在支付虚拟货币后会进行消息转发,相对于节点合作的情况,平均能耗变化不大。

图 1—图 3 的结果可以证明,在激励节点合作方面 NIS 策略是有效的。

4.3.2 可透支虚拟货币机制的有效性

图 4 示出了可透支的虚拟货币机制对虚拟货币不足问题的影响。

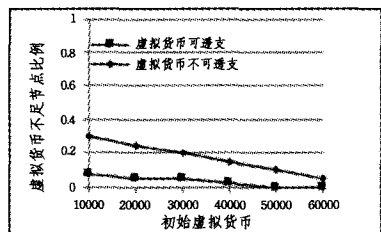


图 4 初始虚拟货币对节点虚拟货币的影响

从图 4 可以看出,随着初始虚拟货币的增加,虚拟货币不足的节点都在减少,然而采用可透支的虚拟货币时虚拟货币不足的节点明显减少,甚至不存在。这说明可透支的虚拟货币机制可以很好地解决节点虚拟货币不足的问题。

4.3.3 抑制虚假报价的性能

GIS 策略和 NIS 策略均有抑制节点虚假报价的机制,本文将 NIS 策略与 GIS 策略进行对比,证明 NIS 策略不仅可以抑制虚假报价,而且在消息交付率、平均时延和平均能耗方面表现略优。由于是抑制节点虚假报价的性能对比,因此这对交付率、平均时延和平均能耗的影响不大。在下文中,所有节点都是自私节点,虚假报价的自私节点被称为恶意节点。恶意节点比例定义为网络中恶意节点数占节点总数的比例。图 5—图 7 分别示出了恶意节点比例对消息交付率的影响、恶意节点比例对平均时延的影响和恶意节点比例对平均能耗的影响。

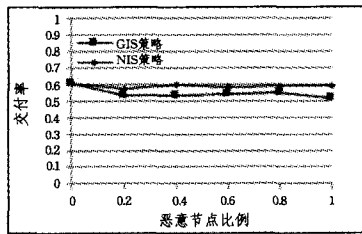


图 5 恶意节点比例对消息交付率的影响

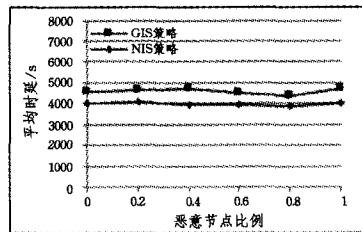


图 6 恶意节点比例对平均时延的影响

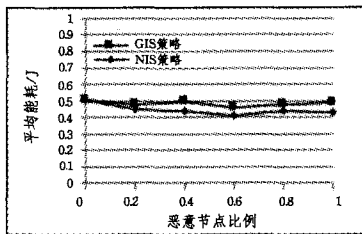


图 7 恶意节点比例对平均能耗的影响

从图 5—图 7 的仿真结果可以看出,NIS 策略在交付率、平均时延和平均能耗方面的表现略优于 GIS 策略,主要原因在于 NIS 策略中的财富状态和资源状态是公开的,减少了不必要的议价博弈,可以利用宝贵的连接时间进行更多的消息交易,提高了消息交付率;同时,NIS 策略避免了三次讨价还价,节约了时间,降低了平均时延,其不需要频繁的通信来确定折扣系数,节约了大量能量,降低了平均能耗。由于采用的路由协议均为 PRoPHET,激励策略下的交付率最多能达到节点完全合作情况下的交付率。

结束语 在研究自私性机会网络路由转发策略的基础上,本文设计了 NIS 策略,从理论和实验两方面证明了 NIS 策略可以有效地激励节点相互合作;仿真实验证明 NIS 策略中的可透支虚拟货币机制可以解决虚拟货币不足的问题,也证明了在资源状态与财富状态公开的情况下的二次博弈议价机制可以很好地抑制恶意节点的虚假报价。

但是,本文中的激励策略旨在激励自私节点相互合作,未有效改善自私性机会网络中的消息交付率,如何在激励自私性节点相互合作的同时提高消息交付率将是下一步研究的重点。

参考文献

[1] COLL-PERALES B, GOZALVES J, FRIDERIKOS V. Opportunistic networking for improving the energy efficiency of multi-hop cellular networks [C] // Consumer Communications and Networking Conference (CCNC). Las Vegas; IEEE Press, 2014: 569-574.

计,建立了能效分析模型,分析了网络能效与竞争窗口、误码率和节点数的关系。测试结果表明,采用本文方法进行 WSN 的路由探测设计时网络的能效较高,传输时延较小,提高了网络的整体性能。

参考文献

- [1] ZHAO G R, HAN X, DU W J, et al. Fusion estimator with stochastic sensor gain degradation for uncertain systems[J]. Control and Decision, 2016, 31(8): 1413-1418. (in Chinese)
赵国荣, 韩旭, 杜闻捷, 等. 具有传感器增益退化的不确定系统融合估计器[J]. 控制与决策, 2016, 31(8): 1413-1418.
- [2] QIN N N, YU Y H, WU D E. Autonomous Deployment Algorithm in Mobile Heterogeneous Networks[J]. JEIT, 2016, 38(7): 1838-1842. (in Chinese)
秦宁宁, 余颖华, 吴德恩. 移动混合传感网中节点自主部署算法[J]. 电子与信息学报, 2016, 38(7): 1838-1842.
- [3] DONG G L, RYU K S, BASHIR M, et al. Discovering medical knowledge using association rule mining in young adults with acute myocardial infarction[J]. Journal of Medical Systems, 2013, 37(2): 1-10.
- [4] KHALIL A, SAMI A. SysDetect: a systematic approach to critical state determination for industrial intrusion detection systems using Apriori algorithm[J]. Journal of Process Control, 2015, 27(6): 154-160.
- [5] KASHI S S, SHARIFI M. Coverage rate calculation in wireless sensor networks[J]. Computing, 2012, 94(11): 833-856.
- [6] WANG J, LU J Z, ZENG X F. Data aggregation scheme for wireless sensor network to timely determine compromised nodes[J]. Journal of Computer Applications, 2016, 36(9): 2432-2437. (in Chinese)
- 王洁, 卢建朱, 曾小飞. 可及时确定受攻击节点的无线传感器网络数据聚合方案[J]. 计算机应用, 2016, 36(9): 2432-2437.
- [7] BOUDIA O R M, SENOUCI S M, FEHAM M. A novel secure aggregation scheme for wireless sensor networks using stateful public key cryptography[J]. Ad Hoc Networks, 2015, 32(C): 98-113.
- [8] CHEN S, WANG G, JIA W. Cluster-group based trusted computing for mobile social networks using implicit social behavioral graph[J]. Future Generation Computer Systems, 2016, 55(8): 391-400.
- [9] SUN C, YANG C X, FAN S, et al. Energy Efficient Distributed Clustering Consensus Filtering Algorithm for Wireless Sensor Networks[J]. Information and Control, 2015, 44(3): 379-384. (in Chinese)
孙超, 杨春曦, 范莎, 等. 能量高效的无线传感器网络分布式分簇一致性滤波算法[J]. 信息与控制, 2015, 44(3): 379-384.
- [10] CAO Y L, WANG X M, HE Z B. Optimal Security Strategy for Malware Propagation in Mobile Wireless Sensor Networks[J]. Acta Electronica Sinica, 2016, 44(8): 1851-1857. (in Chinese)
曹玉林, 王小明, 何早波. 移动无线传感网中恶意软件传播的最优安全策略[J]. 电子学报, 2016, 44(8): 1851-1857.
- [11] MAHBOUBI H. Distributed deployment algorithms for efficient coverage in a network of mobile sensors with nonidentical sensing Capabilities[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2014, 63(8): 3998-4016.
- [12] FANG N P. Cross-Layer Energy Balanced Routing Protocol in Wireless Sensor Networks[J]. Journal of Chongqing University of Technology (Natural Science), 2016, 30(10): 122-128. (in Chinese)
房能沛. 无线传感器网络跨层能耗均衡路由协议[J]. 重庆理工大学学报(自然科学), 2016, 30(10): 122-128.
- (上接第 217 页)
- [2] FALL K. A delay-tolerant network architecture for challenged Internets[C]//Proc. of the 2003 Conf. on Applications, Technologies, Architectures, and Protocols for Computer Communications. Karlsruhe: ACM, 2003: 27-34.
- [3] ZHANG Z. Opportunistic routing in mobile ad hoc delay-tolerant networks (DTNs)[M]//Advances in Delay-Tolerant Networks (DTNs). 2015: 159-172.
- [4] LIU J S, ISSARNY V. Enhanced reputation mechanism for mobile Ad hoc networks[M]//Trust Management. 2004: 48-62.
- [5] BUTTYN L, DRA L, FLEGYZHI M, et al. Barter trade improves message delivery in opportunistic networks[J]. Ad Hoc Networks, 2010, 8(1): 1-14.
- [6] BIN C, MUN C C. Mobicent: a credit-based incentive system for disruption tolerant network[C]//Proceedings of InfoCom2010. San Diego: IEEE Press, 2010: 1-9.
- [7] BUCHEGGER S, LE BOUDEC J Y. A robust reputation system for P2P and mobile Ad-hoc networks[C]//Proc of the 2nd Workshop on Economics of P2P Systems. 2004.
- [8] LI Y, YU J H, YOU X H. An incentive protocol for opportunistic networks with resources constraint[J]. Chinese Journal of Computers, 2013, 36(5): 947-956. (in Chinese)
- 李云, 于季弘, 尤肖虎. 资源受限的机会网络节点激励策略研究[J]. 计算机学报, 2013, 36(5): 947-956.
- [9] REN Z, SUO J W, LIU W P, et al. High-throughput and low-overhead probabilistic routing based on multi-player bargaining game for opportunistic networks[J]. Journal on Communications, 2015, 36(6): 2-8. (in Chinese)
任智, 索建伟, 刘文朋, 等. 基于多方议价博弈的机会网络高吞吐量低开销概率率路由算法[J]. 通信学报, 2015, 36(6): 2-8.
- [10] LIU Q L, LIU M S, LI Y. Novel game-based incentive strategy for opportunistic networks[J]. Application Research of Computers, 2015, 32(7): 2128-2132. (in Chinese)
刘期烈, 刘茂松, 李云. 基于博弈论的机会网络激励机制的研究[J]. 计算机应用研究, 2015, 32(7): 2128-2132.
- [11] ZHAO G S, CHEN M. Research of incentive-aware data dissemination in selfish opportunistic networks[J]. Journal on Communications, 2013, 32(4): 73-84. (in Chinese)
赵广松, 陈鸣. 自私性机会网络中激励感知的内容分发的研究[J]. 通信学报, 2013, 32(4): 73-84.
- [12] LINDGREN A, DORIA A, SCHELÉN O. Probabilistic routing in intermittently connected networks[J]. ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review, 2003, 7(3): 19-20.