

## 情感驱动的自私 MANETs 节点协商机制

杨 杨\* 邱雪松 孟洛明 高志鹏

(北京邮电大学网络与交换技术国家重点实验室 北京 100086)

**摘要:** 在移动 Ad hoc 网络(MANETs)中, 具有不同工作环境和目标的自私节点追求最大化自身利益, 因此需要一种有效的激励手段促进彼此间的协作和资源共享。情感作为影响节点认知和行为决策的重要因素, 能够帮助节点在资源有限、不可预知的场景中增强适应性和自治性。该文提出一种情感驱动的自私 MANETs 节点协商机制 (Emotion-driven Negotiation of Selfish Nodes in the MANETs, ENSNM), 将情感因素定义为自私 MANETs 节点内在的能力和属性。协商初始阶段, 成就动机的强烈程度支配节点发起或参与一次协商, 同时影响初始价的设定。另外, 在每轮协商开始前遵循韦伯-费希纳定律对协商最后期限进行修正。仿真实验表明 ENSNM 机制能够提高 MANETs 网络的协商效率, 并减少网络流量和通信能耗。

**关键词:** 移动 Ad hoc 网络; 协商; 情感; 成就动机; 韦伯-费希纳定律

**中图分类号:** TP393

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1009-5896(2011)06-1294-07

**DOI:** 10.3724/SP.J.1146.2010.01072

## An Emotion-driven Negotiation Mechanism of Selfish Nodes in the MANETs

Yang Yang Qiu Xue-song Meng Luo-ming Gao Zhi-peng

(State Key Laboratory of Networking and Switching Technology,

Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100086, China)

**Abstract:** As mobile ad hoc networks have become increasingly intricate and intelligent, selfish mobile nodes with different global goals need to be stimulated to cooperation and share resources. Emotion has a crucial impact on an agent's cognition and behaviors, enhances its flexibility to adapt to the resources-restricted and unpredictable conditions. This paper represents an Emotion-driven Negotiation of Selfish Nodes in the MANETs (ENSNM), in which the emotion models such as achievement motivation, Weber-Fechner law that execute throughout negotiation as inherent attributes of mobile nodes. Achievement motivation determines whether a node sponsors or participates in a negotiation as well as the principle of setting initial price in the preliminary stage. Moreover, the deadline of a negotiator is dynamically modified by the Weber-Fechner law throughout the negotiation. Simulation results demonstrate the model can improve negotiation efficiency, reduce network traffic and energy consumption.

**Key words:** MANETs; Negotiation; Emotion; Achievement motivation; Weber-Fechner law

### 1 引言

近年来, 随着移动自组织网络(MANETs)的发展, 日益复杂的用户需求对具有不同工作环境和目标的多个移动节点(笔记本电脑, PDA, 智能手机等)之间的资源共享和协同工作提出了挑战<sup>[1,2]</sup>。MANETs 网络中具有两种不同类型的节点<sup>[3,4]</sup>: 合作节点和非合作节点。合作节点无条件地为其他节点提供服务, 如转发数据包等。非合作节点又分为自私节点和恶意节点, 自私节点追求自身利益最大化,

不愿意为其他节点消耗额外的资源和能量来提供服务, 但这类节点不具备攻击行为。而恶意节点破坏网络通信, 实施窃听、入侵、拒绝服务、剥夺“睡眠”等网络攻击, 威胁到 MANETs 网络的通信安全。

由于节点的自私性所带来的不合作问题, 需要一种有效的协作激励手段取得网络资源共享与节点自身利益最大化之间的平衡。Terminodes 项目<sup>[5]</sup>为激励自私节点参与协作, 每个节点要享受其他节点的服务必须付出一定量的货币, 而节点也可以通过提供服务来获取货币。为了获取最大利益, 自私节点之间可以通过协商达成交易。协商的议题包括提供服务所需的各项资源、服务完成质量、服务完成时间等, 可以采用市场定价机制<sup>[6]</sup>或综合的效用函

2010-10-09 收到, 2010-12-31 改回

国家 973 计划项目(2007CB310703), 国家科技重大专项(2011ZX03005-004-02)和国家自然科学基金(60821001, 60902050, 60802035)资助课题

\*通信作者: 杨杨 yyang@bupt.edu.cn

数<sup>[7,8]</sup>对各项议题进行标准化描述。Kwang 等人<sup>[9]</sup>提出 BLGAN 协商模型, 通过遗传算法修正采用贝叶斯学习保留价时可能出现的误差问题。

另外, 由于使用移动设备的人类用户本身具有不同的情感状态, 受其个性偏好、当前状态、情感历史以及外部刺激影响, 对于服务的协商可能产生各种情绪反应。智能终端设备应该能够建立用户的个性化情感模型, 在与环境或其他移动节点的交互中输出拟人化的行为, 从而不需要人类用户的干预而适应动态变化的网络环境<sup>[10]</sup>。在基于情感(情绪)的各类应用中<sup>[11-13]</sup>, Agent 通过评估某种情绪的量化结果, 形成一定的情绪量, 并以此判断下一步动作。

本文将情感因素定义为 MANETs 节点设备内在的能力和属性, 情感调节贯穿于整个协商流程, 能够接受协商环境刺激、感知节点心理活动并调整协商行为。在情感计算和协商理论的基础上, 提出情感驱动的自私 MANETs 节点协商机制(Emotion-driven Negotiation of Selfish Nodes in the MANETs, ENSNM), 将成就动机、韦伯-费希纳定律等情感模型引入到自私节点的服务协商中去, 通过模拟人类的出价心理和情绪变化, 提高节点出价的竞争力, 更贴合实际的协商场景。本文第 2 节提出自私 MANETs 节点的协商模型, 并在第 3 节描述了 ENSNM 实现机制。第 4 节对 ENSNM 模型进行仿真验证。第 5 节总结全文。

## 2 服务协商模型

本文在以前工作<sup>[14]</sup>的基础上进行扩展, 将 Ad hoc 网络中的资源(能量资源、计算资源、存储资源、带宽等)和各种高级应用抽象成服务, 每个节点要享受其他节点的服务就必须支付一定量的钱币, 而节点也可以提供服务以获取货币。在一次协商中, 一个买方可与多个服务卖方建立协商线程。随着每个卖方达到最后的协商期限, 协商线程的个数也随着卖方数量的减少而动态减少。如果买方与某个卖方达成交易, 则终止剩余的协商线程, 以避免不必要的等待。

每个协商者必须具备初始出价 IP, 保留价(卖方的保留价是卖方提供一项服务的成本价, 买方的保留价定义为买方能够为所购买的服务支付的最大钱币数量)RP, 最后协商期限 $r^{(\max)}$ 和协商策略 $\pi$ 。除初始出价外, 后 3 项均为节点自身的私有信息, 对手的私有信息只能根据每轮报价进行推测。为避免协商陷入无效状态, 协商者的初始价和保留价需要满足下列条件:  $IP_b < RP_{s_i}^{(n)} < RP_b^{(n)} < IP_{s_i} (\exists s_i \in S_{rm}^{(n)})$ 。  $S_{rm}^{(n)}$  是第  $n$  轮协商发起前剩余卖方的集合。

定义服务买方  $b$  的出价向量为  $O_b = \langle IP_b, O_b^{(1)}, \dots, O_b^{(n)}, \dots, RP_b^{(\max)} \rangle$ , 在协商动机的驱使下, 买方首先发出一份协商邀请(包含初始出价  $IP_b$ )至数个卖方, 通过每轮的价格让步  $O_b^{(n)}$ , 逐步达到其保留价  $RP_b^{(\max)}$ 。收到协商邀请的卖方  $s_i$  评估自身能力和偏好, 根据自己的成就动机模型决定是否参与协商, 若同意则给出初始出价  $IP_{s_i}$ , 并逐渐让步至其保留价  $RP_{s_i}^{(\max)}$ 。在每轮协商开始前, 每个协商者(买方  $b$  或卖方  $s_i$ )采用韦伯-费纳希定律重新评估自身的最大协商期限( $r_b^{(\max)}$  或  $\forall s_i, r_{s_i}^{(\max)}$ )。买卖双方第  $n$  轮报价定义为

$$O_b^{(n)} = IP_b + \alpha^{(n)}(RP_b^{(n)} - IP_b) \quad (1)$$

$$O_{s_i}^{(n)} = RP_{s_i}^{(n)} + (1 - \alpha^{(n)})(IP_{s_i} - RP_{s_i}^{(n)}) \quad (2)$$

$$\alpha^{(n)} = \begin{cases} k_j^a + (1 - k_j^a) \left( \frac{\min(n, r^{(\max)})}{r^{(\max)}} \right)^{1/\beta}, & \text{多项式型} \\ e^{\left( 1 - \frac{\min(n, r^{(\max)})}{r^{(\max)}} \right)^\beta \ln k_j^a}, & \text{指数型} \end{cases} \quad (3)$$

其中  $\alpha^{(n)}$  为多项式型 (polynomial) 或指数型 (exponential) 时间依赖策略<sup>[8,9]</sup>,  $\beta$  为凸度, 决定让步至保留价的速度。根据对手第  $n$  ( $0 \leq n \leq \min(r_b^{(\max)}, \max(\exists s_i, r_{s_i}^{(\max)}))$ ) 轮的出价, 服务买方(卖方)对自己的上一轮出价进行让步。当达到最大协商期限  $\min(r_b^{(\max)}, \max(\exists s_i, r_{s_i}^{(\max)}))$  时退出协商, 或双方出价满足  $\exists s_i, \arg \min(O_{s_i}^{(n-1)}) < O_b^{(n)}$  (买方接受交易) 或  $O_b^{(n)} > O_{s_i}^{(n)}$  (卖方接受交易) 时达成交易, 使得效用最大。

$$\max(U_a^{(\text{agr})}), \quad \text{s.t. } U_a > 0, a \in \{b, \forall s_i\}, s_i \in S_{rm}^{(\text{agr})} \quad (4)$$

其中效用函数定义为

$$U_a^{(\text{agr})} = \begin{cases} \frac{RP_a^{(\text{agr})} - O_a^{(\text{agr})}}{RP_a^{(\text{agr})} - IP_a^{(0)}}, & a \text{ 为买家} \\ \frac{O_a^{(\text{agr})} - RP_a^{(\text{agr})}}{IP_a^{(0)} - RP_a^{(\text{agr})}}, & a \text{ 为卖家} \end{cases} \quad (5)$$

## 3 基于情感的协商实现

使用 MANETs 网络的用户对于服务的协商将产生不同的情绪反应, 智能终端设备应该能够从用户角度出发, 建立个性化情感模型, 模拟人类思维处理服务协商。

### 3.1 协商的动机模型

Atkinson<sup>[15]</sup>将成就动机描述为对成功的期望和对失败的恐惧的合力。本文中协商的初始阶段, 即协商的发起和参与, 以及初始价的设定受到成就动机的支配。例如, 当一个节点新加入网络时, 它拥有较少的虚拟钱币, 以致无法享受其他节点提供的服务。强烈的成功渴求将促使它更为积极地参与到

其他节点发起的协商中,以“赚取”更多虚拟钱币。初始价基于保留价制定,同时受到成就动机的影响,本文将初始价定义为

$$IP_a = \begin{cases} RP_a^{(0)}(1 - e^{-MDF_a}), & a \text{ 为买家} \\ RP_a^{(0)}(1 + 2e^{-MDF_a}), & a \text{ 为卖家} \end{cases}, \quad MDF_a > 0 \quad (6)$$

其中  $MDF$  为成就动机的决策函数,其取值取决于积极协商动机(Positive Motivation, PM)和消极协商动机(Negative Motivation, NM)。积极动机包括协商成功的倾向、成功的概率和成功所能获得的最大效用。然而,节点对失败的恐惧和回避(消极动机)在行为决策中同样扮演着重要角色。Atkinson 认为失败的恐惧值可通过消极倾向、失败概率和失败刺激等因素量化。为消除各个节点变量(钱币数量、能量、计算资源、效用、卖方数量和最大协商期限等)间的量纲关系,所有变量需经过标准化处理,每项变量的取值范围缩小至  $[0,1]$  范围内。

### 3.1.1 买方的成就动机

(1)买方的积极动机 对于服务买方而言,成功倾向  $ST(UL_b)$  可根据服务执行的紧迫感和对买方的重要程度进行量化,具体地可根据服务提供的最后期限、服务质量和对该服务的需求程度等因素从  $[0,1]$  范围内对服务进行分级 ( $0 \leq UL_b \leq 1$ ), 服务等级越高,则买方对协商成功的渴望和倾向越大。

成功概率  $pb_b^{suc}$  是发起协商前买方对本次协商是否成功的预测,可由历史记录中接受协商邀请的卖方数量的平均值  $N(r_b^{(0)})$ 、协商期限和买方在发出协商邀请时的保留值  $RP_b^{(0)}$  共同决定。

$$pb_b^{suc} \propto r_b^{(max)} \cdot N(r_b^{(0)}) \cdot RP_b^{(0)} \quad (7)$$

成功的奖励价值确定了买方在协商成功后所体验到的欢乐感与自豪感,文中表示为达成交易时(第  $r_b^{(agr)}$  轮)的最终效用  $U_b^{(agr)}$ 。鉴于买方还未正式发起协商,  $U_b^{(agr)}$  可根据历史记录进行评估和预测得到,用  $\hat{U}_b^{(agr)}$  代替。

(2)买方避免失败的消极动机 一次失败的协商不仅使买方无法购买到服务,而且消耗有限的电量和计算资源,假设买方拥有到任意卖方  $s_i$  的路由表  $Route(buyer \leftrightarrow \forall s_i)$ , 则买方的消极倾向  $FT_b$  定义为

$$FT_b = ae^{\theta(\widehat{EP}_b^{(0)}, \widehat{CP}_b^{(0)})} = a \exp \left\{ \sum_{r=0}^{r_b^{(max)}} \left[ \widehat{E}_{b,e}^{(r)} + \sum_{s_i \in S_{rm}^{(r)}} \sum_j \widehat{E}_{j,t}^{(r)} \right] + \sum_{q=1}^L \gamma_q C_{b,q}^{(r)} \right\} \quad (8)$$

$\forall j \in Route(b \leftrightarrow s_i)$

其中  $a$  是  $(0,1)$  上分布的随机数。假定服务买方  $b$  上共具有  $L$  项计算资源,  $r_b^{(max)}$  是  $b$  允许的协商期限,

$\widehat{EP}_b^{(0)}$  和  $\widehat{CP}_b^{(0)}$  为第 0 轮(发出协商邀请之前)对将要发起的协商中所耗费的能量资源和计算资源。具体地,包括第  $r$  ( $0 \leq r \leq r_b^{(max)}$ ) 轮协商用于信息判断和决策所消耗的本地计算能量估计值  $\widehat{E}_{b,e}^{(r)}$ , 本地第  $q$  ( $q = 1, 2, \dots, L$ ) 项计算资源消耗估计值  $\widehat{C}_{b,q}^{(r)}$  ( $\gamma_q$  是第  $q$  项资源的权重), 以及用于和卖方  $s_i$  通信而消耗的转发能量  $\widehat{E}_{j,t}^{(r)}$ 。

协商失败的概率定义为  $pb_b^{fai} = 1 - pb_b^{suc}$ 。任务失败的概率越高,则失败不会引起个体太大的负疚和悲伤,即失败的刺激越低。因此,失败的刺激值定义为  $I_b^{fai} = 1 - pb_b^{fai} = pb_b^{suc}$ 。

对成功的渴望和对失败的恐惧的合成作用,要么使一个买方开始发起协商,或逃避协商。当且仅当  $MDF_b > 0$  ( $PM_b > NM_b$ ) 时,买方决定发起一次协商,并且提供初始报价:

$$MDF_b = PM_b - NM_b = ST(UL_b) \cdot pb_b^{suc} \cdot \widehat{U}_b^{(agr)} - FT_b \cdot (1 - pb_b^{suc}) \cdot pb_b^{suc} \quad (9)$$

### 3.1.2 卖方的成就动机

(1)卖方的积极动机 卖方  $s_i$  所拥有的虚拟钱币数量  $D_{s_i}$  和在网络中剩余时间  $t_{s_i}$  决定了卖方的成功倾向  $ST(D_{s_i})$ 。

$$ST(D_{s_i}) \propto t_{s_i} / D_{s_i} \quad (10)$$

卖方协商成功的概率  $pb_{s_i}^{suc}$  由卖方  $s_i$  的当前资源占用率  $Occ_{s_i}$ 、 $s_i$  在参与协商的所有节点中的资源能力估计值排名  $Abi_{s_i}$ 、最大协商轮数和保留价决定。

$$pb_{s_i}^{suc} \propto \frac{r_{s_i}^{(max)}}{RP_{s_i}^{(0)}} \cdot \frac{Abi_{s_i}}{Occ_{s_i}} \quad (11)$$

(2)卖方避免失败的消极动机 一次失败的协商不仅不会增加卖方所拥有的钱币数目,反而消耗卖方的剩余电量和计算资源,因此卖方的消极倾向  $FT_{s_i}$  定义如下,参数的具体定义参见公式(8)中的定义:

$$FT_{s_i} = ae^{\theta(\widehat{EP}_{s_i}^{(0)}, \widehat{CP}_{s_i}^{(0)})} = a \exp \left\{ \sum_{r=0}^{r_{s_i}^{(max)}} \left[ \widehat{E}_{s_i,e}^{(r)} + \sum_j \widehat{E}_{j,t}^{(r)} \right] + \sum_{q=1}^L \gamma_q C_{q,r} \right\}, \quad (12)$$

$\forall j \in Route(b \leftrightarrow s_i)$

卖方的失败概率和失败刺激值定义为  $pb_{s_i}^{fai} = 1 - pb_{s_i}^{suc}$  和  $I_{s_i}^{fai} = 1 - pb_{s_i}^{fai} = pb_{s_i}^{suc}$ 。类似地,若一个卖方追求成功协商的动机大于回避失败的动机 ( $PM_{s_i} > NM_{s_i}$ ), 则此卖方决定参与协商。

### 3.2 协商期限更新模型

协商期限作为节点自主定义的一项主观反应量,关系到买卖双方进行协商的效率高低,缩短协

商期限能够加速协商者让步至保留价的速度, 而延长协商期限, 协商者则以协商效率为代价试图获取更多的利益。协商期限受协商者内、外环境的变化, 应在每轮协商开始前重新评估, 为其下一轮出价提供更准确的参考。

韦伯-费希纳定律(Weber-Fechner, W-F)<sup>[16]</sup>从心理学角度描述并量化了人体反应量与客观环境刺激量之间的函数关系。本文修正韦伯-费希纳定律, 令  $Will_b^{(n)}$  是服务买方  $b$  第  $n$  轮评估的最后期限遵从原值的心理强度, 第  $r_b^{(n)}$  轮协商中卖方的数量  $N(r_b^{(n)})$ 、剩余电量  $B_b^{(n)}$  和被占用计算资源  $C_b^{(n)}$  等参数作为内、外环境的刺激强度, 则  $Will_b^{(n)}$  定义为

$$Will_b^{(n)} = \omega_{b1} \lg l / C_b^{(n)} + \omega_{b2} \lg B_b^{(n)} + \omega_{b3} \lg N(r_b^{(n)}) \quad (13)$$

服务买方的最后协商期限发生变化的最小可觉察  $\Delta Will_b^{(n)}$  定义为

$$\begin{aligned} \Delta Will_b^{(n)} = Will_b^{(n)} - Will_b^{(n-1)} = & \omega_{b1} \lg \frac{C_b^{(n-1)}}{C_b^{(n)}} \\ & + \omega_{b2} \lg \frac{B_b^{(n)}}{B_b^{(n-1)}} + \omega_{b3} \lg \frac{N(r_b^{(n)})}{N(r_b^{(n-1)})} \end{aligned} \quad (14)$$

如果  $\exists |\Delta Will_b^{(n)}| > Will_b^{(0)} \cdot k_{web}$  ( $k_{web}$  是韦伯常数, 本文定义为  $1/30$ ), 则买方倾向于更新协商期限。

令  $Will_{s_i}^{(n)}$  是卖方  $s_i$  第  $n$  轮评估的最后期限遵从原值的心理强度,  $s_i$  的环境刺激强度受限于剩余电量  $B_{s_i}^{(n)}$ 、被占用计算资源  $C_{s_i}^{(n)}$  和节点排名  $POS_{s_i}^{(n)}$  等参数, 则有

$$Will_{s_i}^{(n)} = \omega_{i1} \lg l / C_{s_i}^{(n)} + \omega_{i2} \lg B_{s_i}^{(n)} + \omega_{i3} \lg POS_{s_i}^{(n)} \quad (15)$$

其中  $\omega_{ij} (i \in S_{rm}^{(n)}, j = 1, 2, 3)$  为权重。  $\forall l \in S_{rm}^{(n-1)}$ ,  $\exists POS_i^{(n-1)} = \text{sorting}(O_{s_1}^{(n-1)}, O_{s_2}^{(n-1)}, \dots)$ ,  $\text{sorting}()$  函数排序第  $n-1$  轮的报价, 评估卖方在上一轮的排名。例如在第  $n-1$  轮的出价集合  $\{45, 51, 43, 47, 49, 46, 50\}$  中,  $s_9$  的  $n-1$  轮报价为 45, 则  $POS_{s_9}^{(n-1)} = 6/7$ 。由于  $r_{s_i}^{(max)}$  需要在第  $n$  轮报价前进行更新, 故而  $POS_{s_9}^{(n)}$  的排名只能根据历史记录进行推测。

定义  $\Delta Will_{s_i}^{(n)}$  是卖方的最后期限发生变化的最小可觉察, 则有

$$\begin{aligned} \Delta Will_{s_i}^{(n)} = Will_{s_i}^{(n)} - Will_{s_i}^{(n-1)} = & \omega_{i1} \lg \frac{C_{s_i}^{(n-1)}}{C_{s_i}^{(n)}} \\ & + \omega_{i2} \lg \frac{B_{s_i}^{(n)}}{B_{s_i}^{(n-1)}} + \omega_{i3} \lg \frac{POS_{s_i}^{(n)}}{POS_{s_i}^{(n-1)}} \end{aligned} \quad (16)$$

协商者  $a$  ( $a$  为 buyer 或  $\forall s_i$ ) 按如下规则更新协商期限:

$$r_a^{(max)} = \begin{cases} r_a^{(max)} + 1, & \Delta Will_a^{(n)} > Will_a^{(n-1)} \cdot k_{web} \\ r_a^{(max)} - 1, & \Delta Will_a^{(n)} < -Will_a^{(n-1)} \cdot k_{web} \\ r_a^{(max)}, & \text{其它} \end{cases} \quad (17)$$

## 4 仿真结果

本文采用 OPNET 软件模拟拥有 30 个节点的 MANETs 网络, 节点的计算资源和电量随时间动态变化, 用以模拟突发的用户应用、电池充电或快速耗电的情况。数据包大小设置为 512 byte, 发包率为 1 pk/s。传送和接收数据包的功率分别为 1.4 W 和 1.0 W。实验模拟产生 40 次协商, 每次服务的买方和紧迫等级随机定义, 每个买方随机选择 6~10 个卖方。MANETs 节点拥有的虚拟钱币初始值设定为 50, 可通过服务的购买或出售来增加或减少钱币数量, 退出节点的钱币数量清零。鉴于节点的各项参数(钱币数量、能量、计算资源、效用、卖方数量和最大协商期限等)的量纲不同, 在实验开始前, 需要对参数进行标准化, 取值均落入  $[0, 1]$ 。

图 1 显示了买方的成就动机对出价的影响。在多项式型(图 1(a))和指数型(图 1(b))的协商策略 ( $\beta = 0.1$  和  $\beta = 10$  仅用于描述出价让步至保留价的速度大小)下, 3 个具有不同 MDF 取值(MIN, MIDDLE, MAX)的买方在每轮协商中的出价情况。假设保留价设定为  $RP_{b1} = RP_{b2} = RP_{b3} = 50$ 。初始价越高, 即成就动机越强烈的买方 ( $IP_b = 40$ , MAX MDF,  $\beta = 10$  和  $IP_b = 40$ , MAX MDF,  $\beta = 0.1$ ) 在每轮协商中出价也越高, 更容易达成交易。假设 3 个服务卖方的保留价均相同, 卖方初始价分别设定为  $IP_{s_1} = 80$ (MIN MDF),  $IP_{s_2} = 70$ (MIDDLE MDF) 和  $IP_{s_3} = 60$ (MAX MDF)。在相同的时间依赖策略下(图 1(c)和图 1(d)), 成就动机最强烈的卖方  $s_3$  在每轮协商出价中都以更低的价格促使交易达成。因此, 当  $\beta$  取值和协商策略固定时, 协商成就动机越强烈的节点使得其  $|IP_a - RP_a|$  ( $a$  为协商者)的差值越小, 节点越容易达成交易。

图 2 显示了第 3, 15, 27 和 32 次协商等经典场景中协商期限调整而对协商产生的影响。在第 3 次协商中,  $s_{11}$  从第 4 轮和第 11 轮突发的用户应用占用了一部分计算资源, 导致服务所需的可用计算资源减少, 保留价和协商期限分别进行调整:  $RP_{s_{11}}^{(4)} = 22.5$ ,  $r_{s_{11}}^{(max)} = 14$  和  $RP_{s_{11}}^{(11)} = 24.9$ ,  $r_{s_{11}}^{(max)} = 13$ 。达成交易时  $r_{s_{11}}^{(agr)}$  从第 13 轮缩短至第 11 轮, 降低了由于保留价升高而造成的出价偏高(参看  $S_{11}$  updated RP 曲线)的影响,  $s_{11}$  依以最优势的出价与买方达成交易。图 2(b)中, 卖方  $s_5$  的初始报价较  $s_9$  高, 但由于其协商期限较短, 自第 4 轮开始出价一直较具优势, 并最终在第 8 轮与买方签订交易合同。卖方  $s_9$  的报价在前 3 轮协商中不占优势, 若按原有协商期限  $r_{s_9}^{(max)} = 12$ , 则  $s_9$  赢得协商的几率很小, 因此  $r_{s_9}^{(max)} = 12 - 3 = 9$  使出价迅速达到保留价。

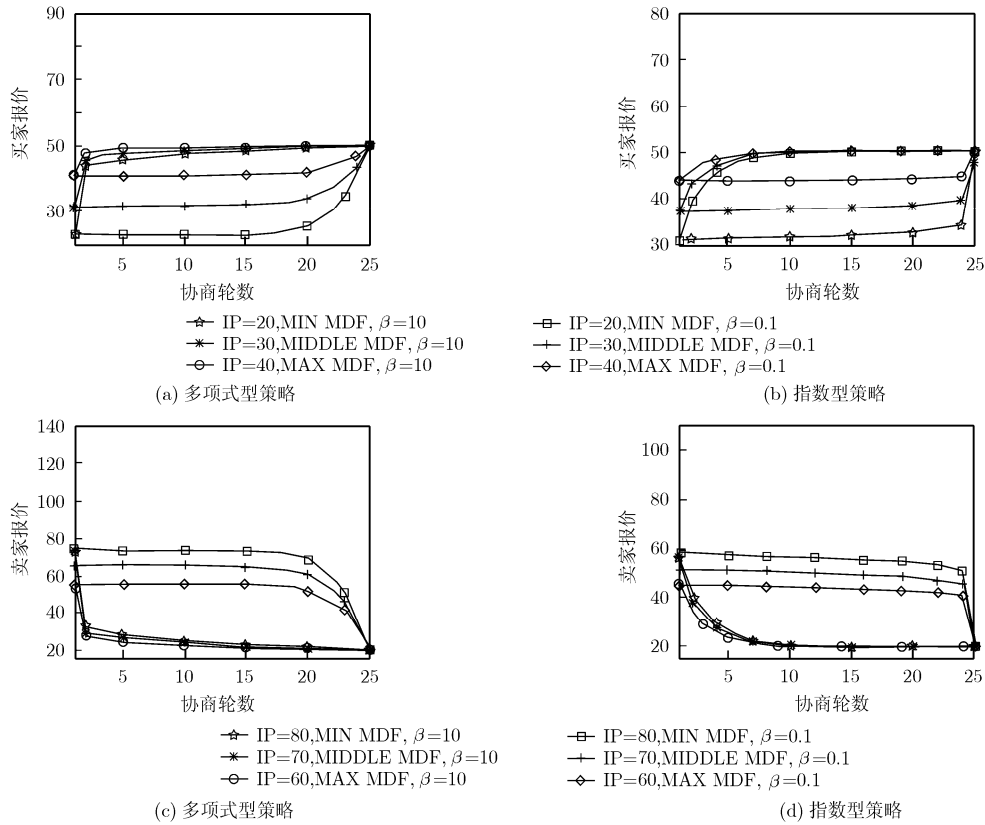


图1 成就动机对交易的影响

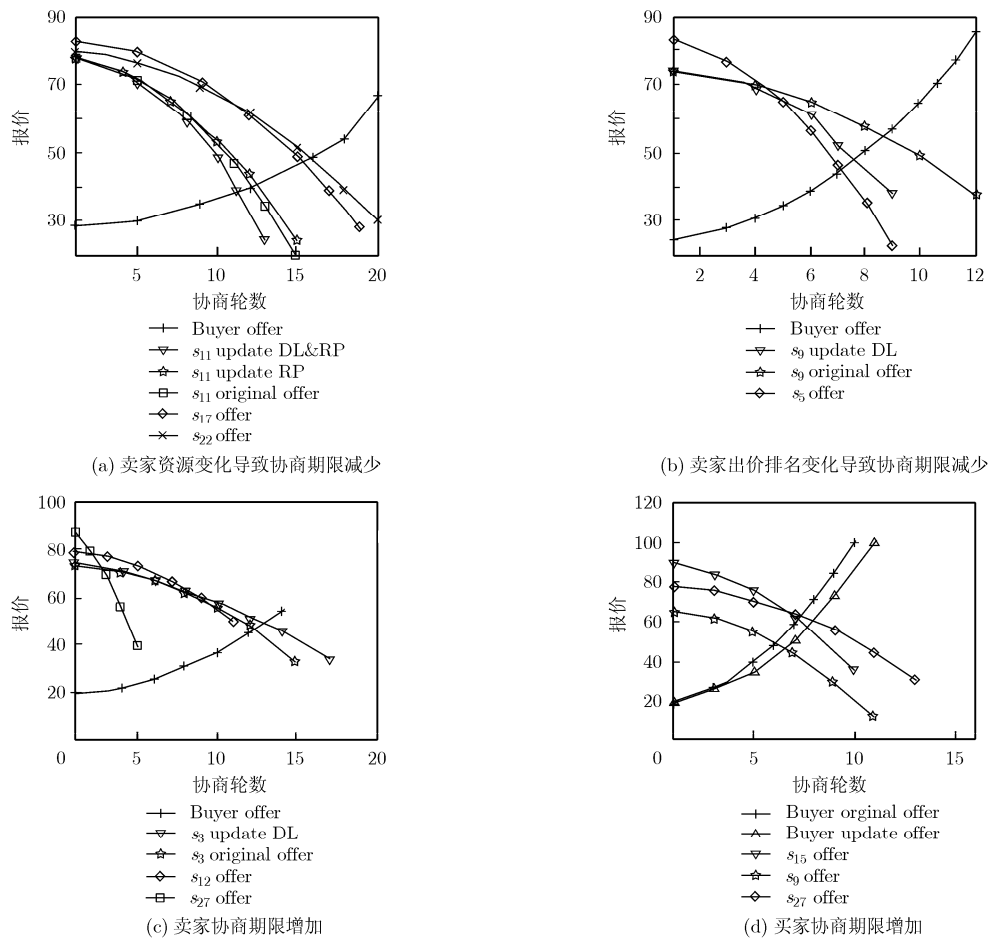


图2 协商期限的调整对协商的影响

$O_{s_9, \text{update}}^{(8)} - O_{s_5}^{(8)} = 45.1 - 33.3 = 11.8 < O_{s_9, \text{original}}^{(8)} - O_{s_5}^{(8)}$   
 $= 57.9 - 33.3 = 24.6$ , 尽管  $s_9$  未能与买方达成交易, 但  $s_9$  与  $s_5$  报价的差值已大大缩减, 说明协商期限的调整能够有效地增加达成交易的几率。

图 2(c)中, 其他卖方(如  $s_{12}$  和  $s_{27}$ )的保留价太高  $RP_{s_{27}} = 39.3$  或协商期限过短  $r_{s_{12}}^{(\max)} = 11$ , 导致在协商后期没有卖方与买方达成交易。 $s_3$  在第 9 和第 13 轮分别设置  $r_{s_3}^{(\max)} \leftarrow r_{s_3}^{(\max)} + 1$ , 若按原  $r_{s_3}^{(\max)}$  成交价为 56.4,  $s_3$  的最终效用为 0.508, 而协商期限修正后成交价为 59.7, 最终效用为 0.582。图 2(d)中 Buyer 分析比较了协商过程中每一轮卖方的出价以及仍旧参与协商的卖方的总数量, 通过延长协商期限增加了协商的最终效用,  $U_{b, \text{update}}^{(\text{agr})} - U_{b, \text{original}}^{(\text{agr})} = 0.603 - 0.511 = 0.092$ 。

图 3 和图 4 显示了 Bourware<sup>[7,8]</sup>、BLGAN<sup>[9]</sup>和 ENSNM 模型 40 次协商过程中每个节点的能量消耗和网络流量的变化情况。

如图所示, ENSNM 模型在每个节点的能量消耗和每次协商引起的网络流量方面比 BLGAN 和 Bourware 模型都取得更好的结果。通过计算节点的能耗均值和网络总流量, Bourware, BLGAN 和 ENSNM 模型中节点的能耗均值分别为 2.07 J, 1.35 J 和 0.96 J, 40 次协商引起的总网络流量分别为  $1.22 \times 10^7$  byte,  $5.54 \times 10^6$  byte 和  $3.34 \times 10^6$  byte, 进一步说明 ENSNM 能够有效地降低节点能量消

耗, 减少协商过程中的网络流量。由于 BLGAN 和 Bourware 模型中收到协商邀请的服务卖方必须参与协商, 卖方数量过多也将降低网络的性能, 导致节点的能量消耗过大。并且 Bourware 模型中在协商初期买卖双方让步幅度较小, 交易通常在接近某一方的最后协商期限时才达成, 导致协商轮数过多, 能耗最大。而 ENSNM 模型中只有当卖方追求成功的动机大于回避失败的动机时, 卖方才决定参与协商, 否则将拒绝本次协商的邀请。通过对成就动机的评估避免了一次无效协商, 节省了自身的能量和计算资源。另外节点在每次协商之前根据当前资源情况和上一轮报价排名, 重新评估最大协商期限, 而协商轮数的减少也有利于降低网络流量和节点的通信能量。

## 5 结束语

本文将情感因素定义为 MANETs 节点内在的一种能力和属性, 贯穿于整个协商流程, 能够接受协商环境刺激、感知节点心理活动并控制和调节其自身的协商行为。本文提出受情感因素驱动的自私 MANETs 节点协商机制, 通过协商者的成就动机评估和协商期限的动态修正, 提高协商效率及最大化自身效用, 同时有效地减少网络流量和通信能耗。本文中卖方仅考虑其他卖方第  $n-1$  轮的出价行为对自己第  $n$  轮出价的影响, 未来工作还需考虑和评估其他竞争者的保留价和最大协商期限等因素的影响, 从而使出价更适应协商环境的变化。

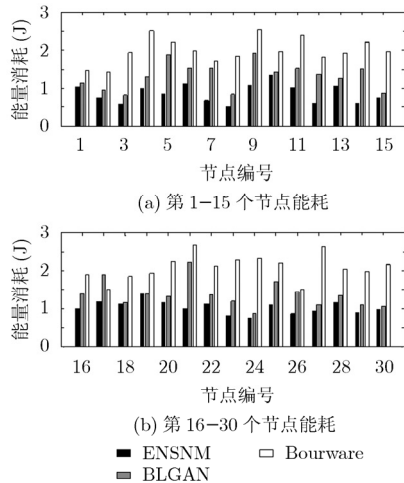


图 3 节点的总能量消耗

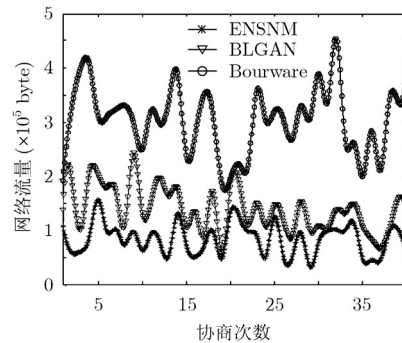


图 4 协商中网络流量的变化情况

## 参考文献

- [1] Argyriou A. Cross-layer and cooperative opportunistic network coding in wireless Ad hoc networks[J]. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2010, 59(2): 803-812.
- [2] Zhu J, Wei Y, and Liu K J R. A belief evaluation framework in autonomous MANETs under noisy and imperfect

observation: vulnerability analysis and cooperation enforcement[J]. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 2010, 9(9): 1242-1254.

- [3] Wu Y W, Tang S J, and Xu P, et al. Dealing with selfishness and moral hazard in noncooperative wireless networks[J]. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 2010, 9(3):

- 420-434.
- [4] 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.
- [5] Hubaux J P, *et al.*. Towards self-organized mobile Ad hoc networks: the terminodes project[J]. *IEEE Communication Magazine*, 2000, 39(1): 118-124.
- [6] 杨明, 刘元安, 马晓蕾, 李立. 一种基于定价与信任的网络资源分配算法. 电子与信息学报, 2010, 32(4): 846-851.  
Yang Ming, Liu Yuan-an, Ma Xiao-lei, and Li Li. A grid resource allocation algorithm based on pricing and trust[J]. *Journal of Electronics & Information Technology*, 2010, 32(4): 846-851.
- [7] Faratin P, Sierra C, and Jennings N. Negotiation decision functions for autonomous agents[J]. *International Journal of Robotics and Autonomous System*, 1997, 24(3/4): 159-182.
- [8] Fatima S S, Wooldridge M, and Jennings N R. An agenda-based framework for multi-issue negotiation[J]. *Artificial Intelligence*. 2004, 152(1): 1-45.
- [9] Kwang M S, Guo Y Y, and Shi B Y. BLGAN: bayesian learning and genetic algorithm for supporting negotiation with incomplete information[J]. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics*, 2009, 39(1): 198-211.
- [10] Cañamero D. A hormonal model of emotions for behavior control[R]. In: VUB AI-Lab Memo 97-06, Vrije Universiteit Brussel, Belgium, 1997.
- [11] Lvarez X M, *et al.*. An emotional model for a guide robot[J]. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans*, 2010, 40(5): 982-992.
- [12] Picard R W. Affective computing: from laughter to IEEE. *IEEE Transactions on Affective Computing*, 2010, 1(1): 11-17.
- [13] Lee-Johnson C P and Carnegie D A. Mobile robot navigation modulated by artificial emotions[J]. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics*, 2010, 40(2): 469-480.
- [14] Yang Yang, Qiu Xue-song, Meng Luo-ming, and Rui Lan-lan. A self-adaptive method of task allocation in clustering-based MANETs[M]. *IEEE Network Operations and Management Symposium (NOMS)*, Osaka, Japan, 2010: 440-447.
- [15] Atkinson J W. *Motives in Fantasy Action and Society*[M]. Princeton: Van Nostrand, 1958: 35-43.
- [16] Reichl P and Egger S, *et al.*. The logarithmic nature of QoE and the role of the weber-fechner Law in QoE assessment[C]. *IEEE International Conference on Communications (ICC)*, Cape Town, South Africa, 2010: 1-5.
- 杨 杨: 女, 1981 年生, 博士生, 研究方向为 Ad hoc 网络管理与协作.
- 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.
- 孟洛明: 男, 1955 年生, 教授, 博士生导师, 研究领域为通信网、网络管理、通信软件.
- 高志鹏: 男, 1980 年生, 副教授, 研究领域为网络与业务管理.