



基于双向拍卖的 DTN 拥塞感知激励策略

蒋庆丰^{1,2}, 门朝光¹, 贾美娟², 程晓旭²

(1. 哈尔滨工程大学计算机科学与技术学院 哈尔滨 150001;

2. 大庆师范学院计算机科学与技术学院 大庆 163712)

摘要:为激励 DTN 自私节点在自身缓存有限时,有效地转发其他节点的消息,提出一种基于双向拍卖的拥塞感知激励策略。该策略中节点根据当前空闲缓存大小和消息接收速率确定自身拥塞程度,结合消息的传递概率和拥塞度并基于双向拍卖模型进行消息的买卖,从而实现节点间的合作。在真实数据集上进行仿真验证,结果表明由于进行了拥塞感知,该策略能够进一步激励自私节点进行合作转发,提高消息传递成功率,减小消息传递时延。

关键词:时延容忍网络;自私;激励;双向拍卖;拥塞

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2015027

Congestion-Aware Incentive Scheme Based on Double Auction for DTN

Jiang Qingfeng^{1,2}, Men Chaoguang¹, Jia Meijuan¹, Cheng Xiaoxu²

(1. College of Computer Science and Technology, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China;

2. College of Computer Science and Information Technology, Daqing Normal University, Daqing 163712, China)

Abstract: To stimulate the DTN selfish nodes to cooperatively forward messages when the buffer was limited, a congestion-aware incentive scheme based on double auction for DTN was proposed. In the scheme, nodes determined the self congestion degree according to the current free buffer and message receiving rate. Combining the message delivery probability and congestion degree, nodes traded the message based on double auction model, thereby achieved the cooperation between nodes. Extensive simulations were carried out on real-world traces to evaluate the proposed scheme. The experimental results show that, due to the congestion aware, the incentive scheme can further stimulate selfish nodes to cooperatively forward messages, improve the message delivery ratio and reduce the message delivery delay.

Key words: delay tolerant network, selfish, incentive, double auction, congestion

1 引言

DTN(delay tolerant network,时延容忍网络)是具有长

时延、链路频繁中断、节点存储和计算能力低等特点的网络^[1],在环境监测、军事战略、深空探测、水下探测、灾难救援等领域具有广泛的应用前景。

收稿日期:2014-10-06;修回日期:2015-01-05

基金项目:黑龙江省教育厅科学技术研究项目(No.12543005);大庆师范学院自然科学基金项目(No.12zr01)

Foundation Items: Science and Technology Research Projects of the Education Department of Heilongjiang Province (No.12543005); Natural Science Foundation of Daqing Normal University(No.12zr01)



路由是 DTN 网络层的主要功能,是 DTN 节点间通信以及提高网络连接性的基础。由于 DTN 处于间歇连接、频繁割裂的状态,且节点能量、存储空间有限,因此中断时需要由中间节点采用“存储—携带—转发”方式临时存储消息,在与目的节点相遇时将消息发送给目的节点。

为提高消息传递效率,目前已提出多种路由协议,如单副本路由协议^[2,3]和多副本路由协议^[4,5]。单副本路由中只存在一份消息,节点将消息转发给下一跳节点后立即删除缓存中的消息,下一跳节点存储并携带消息,当遇到效率更高的下一跳节点时转发消息,直到将消息发送给目的节点。多副本路由中每个消息同时存在多个副本,在资源充足时可以增大消息传递成功率并减小时延,但会消耗更多的资源。

上述路由协议假设节点间是非自私、完全合作的,而没有考虑节点的自私性。相关研究表明,当网络中存在大量自私节点时,这些节点会拒绝转发其他节点的消息,使得路由性能严重下降^[6,7]。因此,针对 DTN 节点的自私性,设计一种能够促使节点进行合作转发,提高路由效率的激励策略具有重要意义。

目前已有一些相关激励策略被提出,但这些激励策略只是专注于如何促使节点进行合作转发,而没有综合考虑节点的传递概率和节点的自身拥塞情况。在拥塞时由于缓存资源有限,会导致大量数据分组被丢弃,影响效率。因此,为促使 DTN 节点进行合作转发,本文提出一种基于双向拍卖^[8]的拥塞感知激励策略 (congestion-aware incentive scheme based on double auction, CAISDA)。CAISDA 促使双方节点为了获取更多的货币,基于双向拍卖进行消息的买卖,根据消息传递概率和自身拥塞程度进行消息的定价,将消息传递给消息期望值更大的节点,实现节点间的合作。

2 相关工作

针对 DTN 节点的自私性,如何设计有效的激励感知机制来促使节点进行合作,已经成为该领域的研究热点^[9],目前已有一些学者进行了深入的研究。

参考文献[10]分析了节点的自私性后,提出一种采用 TFT(tit-for-tat)方式的 DTN 激励感知路由。TFT 中每个节点统计邻居节点为其转发的消息数量,然后为邻居节点转发相同数量的消息,从而实现合作。由于 DTN 的链路经常中断,当消息的目的节点收到消息后,会发送一个确认消

息,消息源节点收到消息后统计邻居节点为其转发的消息数量。参考文献[11]针对 DTN 的自私节点,设计了 Give2Get 协议。该协议中转发节点需向源节点提供转发证明,如果将消息丢弃不能提供证明,源节点将通知授权中心,授权中心接收到通知后,会将自私节点排出系统。Give2Get 协议没有考虑节点自身拥塞情况,当节点由于拥塞而导致消息丢弃时,其他节点会拒绝转发其消息,严重影响路由性能。参考文献[12]针对 DTN 的自私节点,提出一种基于虚拟货币的安全多层激励路由 SMART。SMART 使用层次货币作为节点转发消息的支付和奖励形式,并且为保证消息安全性,转发节点通过线性对加密技术对所在层进行签名。参考文献[13]提出 MobiCent 策略来激励 DTN 自私节点合作转发,该策略结合虚拟货币和加密技术来解决“边插入”和“边隐藏”攻击,并针对目标为最小支付和最小消息传递时延,根据博弈论的算法机制设计理论提供了两种不同的支付策略来激励自私节点进行合作。参考文献[14]提出一种基于博弈论的激励策略 Multicent,激励节点为实现最小的传递时延、最大的传递成功率等目标而合作转发消息。

参考文献[15]设计了一种自私性 DTN 中网络服务商和移动节点间可以达到共赢的互惠激励机制,与无激励机制相比,该激励机制能够提高网络分发性能。针对 DTN 的节点自私性,参考文献[16]提出一种基于交换思想的数据分发机制。该机制中由一些特殊的源节点产生消息,每个节点将从源节点下载的自己感兴趣的消息作为主消息,不感兴趣的消息作为附属消息。当两个节点相遇存在互补消息时,即自己的附属消息是对方的主消息,则可以通过交换的方式获得自己的主消息,从而提高消息传递成功率,减小发送时延。为促进自私节点进行合作转发,参考文献[17]提出 MuRIS 激励策略来促使自私节点进行数据分发,同时 MuRIS 激励策略还能够阻止节点的“边插入”攻击。参考文献[15~17]研究的是一对多的数据分发机制,不同于本文研究的一对一单播路由模式。

3 系统模型

CAISDA 系统模型如图 1 所示,系统包括 3 个部分:CCC(credit clearance center,货币清算中心)、固定网络、DTN 节点。

CCC 作为授权中心,负责为每个移动节点颁发公、私密钥证书,并且根据票据信息完成 DTN 节点的货币清算工作。

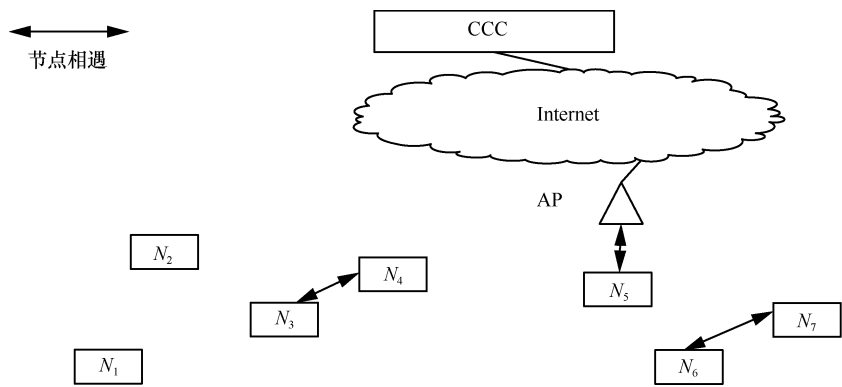


图 1 CAISDA 系统模型

固定网络包括有线的 Internet 和 AP(access point, 接入点), 负责连接 CCC 和 DTN 节点。当消息的目的节点和 AP 节点相遇时, 将票据信息通过固定网络发送给 CCC, 由 CCC 完成 DTN 节点货币清算工作。

$N_1 \sim N_7$ 为携带具有蓝牙、Wi-Fi 等高速、短距离无线通信功能设备的 DTN 节点, 节点间会相互发送各种消息。当一个消息被成功传递到目的节点时, 目的节点需要为最后一个转发节点支付固定的货币值。由于节点需要为收到的消息支付货币, 所以每个节点资源充足时需要为其他节点转发消息以获得一定的货币。

4 基于拍卖的激励策略

4.1 激励策略概述

当两个节点相遇时, 对于一个消息来说, 如果其中一个节点能够获得的消息期望货币值小于另一个节点, 则此节点可以将消息卖给期望值高的节点, 这样卖方节点可以节省缓存等资源, 而买方节点也可以获得一定的货币值, 因此通过双向拍卖过程实现了双方的互利。

假设节点 N_i 和 N_j 相遇, 其进行消息双向拍卖过程如图 2 所示, 包括如下步骤。

- (1) 双方节点交换消息列表 L_i, L_j 。
- (2) 对于节点 N_i 的消息列表 L_i 中的消息 m_i , 节点 N_i 和 N_j 根据自身消息传递概率计算消息期望值。
- (3) 如果节点 N_i 的期望值小于节点 N_j , 则根据自身拥塞程度和消息期望值, 按照第 4.2 节的双向拍卖模型进行买卖。 N_j 中消息交易过程同理。
- (4) 如果交易成功, 则将消息 m_i 加入节点 N_i 的消息发送集合 $SendS_i$; 否则, 选择下一个消息进行交易。 N_j 中消息同理。
- (5) 节点将消息发送集合的消息依次发送给对方节点, 当消息被成功发送给对方节点后, 买方节点生成图 2 所示

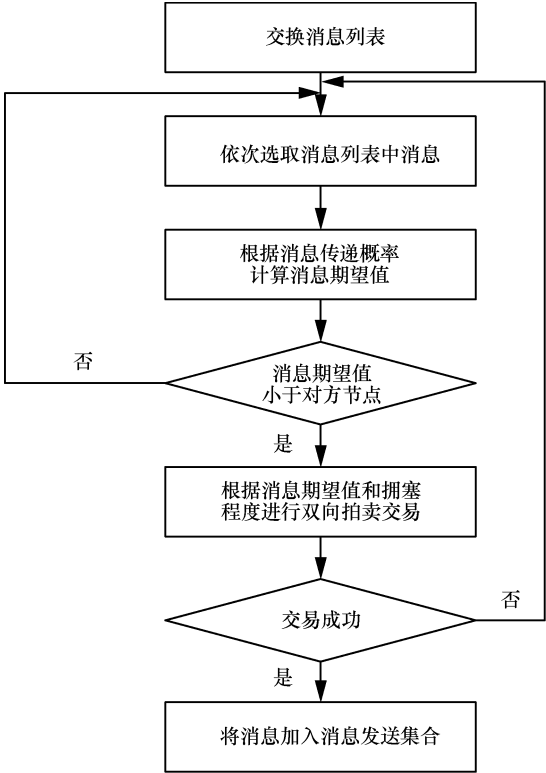


图 2 CAISDA 激励策略流程

的交易票据并签名, 交给卖方节点, 当卖方节点和 CCC 相遇时, 将交易票据交给 CCC 并获得相应的货币。

图 3 的交易票据中: $messageID$ 表示交易消息的标识; $seller$ 表示消息卖方节点; $buyer$ 表示消息买方节点; $price$ 表示消息交易价格; sig_{buyer} 表示 $buyer$ 对消息摘要信息的签

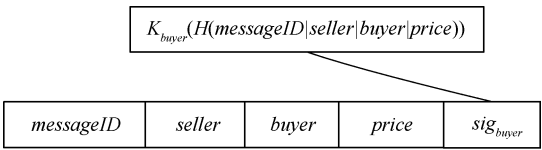


图 3 交易票据



名,以保证消息的完整性和机密性。

4.2 节点拍卖模型

4.2.1 消息期望值计算

进行消息交易时,节点需根据当前时刻的消息传递概率计算消息的期望值,只有卖方节点的消息期望值小于买方节点的消息期望值才能完成交易。消息的期望值计算过程如下。

同参考文献[18]和参考文献[19]一样,假设 DTN 节点之间接触时间服从参数为 λ_{ik} 的指数分布, λ_{ik} 为两节点 N_i 和 N_k 的接触率,如式(1)所示。

$$\lambda_{ik} = n / \sum_{l=1}^n t'_{ik} \quad (1)$$

其中, $t'_{ik}, t'_{ik}, \dots, t'_{ik}$ 为节点 N_i 和 N_k 的 n 个接触时间样本。节点 N_i 和 N_k 在 t_{ik} 时间间隔内相遇的概率密度函数为:

$$f(t_{ik}) = \lambda_{ik} e^{-\lambda_{ik} t_{ik}} \quad (2)$$

如果节点 N_i 中消息 m 的目的节点为 N_k , 且剩余生存时间为 t_{remain} , 则节点 N_i 对消息 m 的传递概率,即和目的节点相遇的概率 $P_{ik}(t_{remain})$ 为:

$$\begin{aligned} P_{ik}(t_{remain}) &= P(t_{ik} \leq t_{remain}) \\ &= \int_0^{t_{remain}} f(t_{ik}) dt_{ik} = 1 - e^{-\lambda_{ik} \times t_{remain}} \end{aligned} \quad (3)$$

其中,剩余时间 t_{remain} 的值如式(4)所示, t_{tl} 为消息的生存期, t_{create} 为消息生成时刻, $t_{current}$ 为当前时刻。

$$t_{remain} = t_{tl} + t_{create} - t_{current} \quad (4)$$

则节点 N_i 传递消息 m 所能够获得的消息期望值为:

$$Value = C_{redit} \times P_{ik} \quad (5)$$

其中, C_{redit} 为消息 m 被成功传递时,目的节点需要支付的货币值 P_{ik} ,如式(3)所示为节点 N_i 对消息 m 的传递概率。可以看出,节点的消息传递概率越大,其消息期望值就越大。

4.2.2 节点间消息拍卖

双方节点计算出消息的期望值后,如果卖方节点的消息期望值 V_{seller} 小于买方节点的消息期望值 V_{buyer} ,则节点同时出价进行消息的买卖。本文采用“约束型零信息”博弈模型^[20]报价策略进行消息的双向拍卖。“约束型零信息”模型中,双方节点在报价区间上随机报价,如果卖方节点出价小于买方的出价则成交,具体过程如下。

(1)买方节点在报价区间 $[V_{seller}, V_{buyer}]$ 上随机出价,即按照式(6)进行出价。

$$Price_{buyer} = V_{seller} + k(V_{buyer} - V_{seller}), 0 \leq k \leq 1 \quad (6)$$

其中, k 为 0~1 之间的随机数。

(2)卖方节点和买方节点同时出价。与买方节点不同,卖方节点在计算报价区间时需要考虑自身缓存拥塞情况。因为对于一个消息,如果买卖双方没有成功交易,在消息的剩余时间内,空闲缓存很小,而消息接收速率很大,会导致卖方节点缓存拥塞而不能接收新的消息,减少其获得的货币值,所以卖方节点应该在当前时刻根据自身拥塞程度降低其报价区间的上限值,以增大成交概率。过程如下。

将时间按时间段 ΔT 分为多个周期,第 i 个周期的消息接收速率 R_i 通过式(7)进行计算。

$$R_i = (BufferFree_{i-1} - BufferFree_i) / \Delta T \quad (7)$$

其中, $BufferFree_{i-1}$ 和 $BufferFree_i$ 分别为节点第 $i-1$ 个周期和第 i 个周期结束时刻的空闲缓存大小。

假设当前交易时刻在第 i 个周期,则通过式(8)的 EWMA (exponentially weighted moving average, 指数加权移动平均法)来预测第 $i+1$ 个周期的消息接收速率值 $R_{i+1}^{predict}$ 。

$$R_{i+1}^{predict} = \alpha \times R_i + (1 - \alpha) \times R_i^{predict}, 0 \leq \alpha \leq 1 \quad (8)$$

其中, α 为比例因子, $R_i^{predict}$ 为第 i 个周期的预测接收速率。

当节点空闲缓存 $BufferFree_i$ 小于一定门限值 $Threshold$ 时,需要根据消息接收速率按照式(9)和式(10)调整其出价上限。

$$\beta = 1 - (BufferFree_i - R_{i+1} \times t) / Threshold, 0 \leq \beta \leq 1 \quad (9)$$

其中, $t = \min(t_{remain}, T)$ 。 β 为调整因子,节点接收速率越大,空闲缓存越小,则 β 值越大。卖方节点根据式(10)在区间 $[0, V_{buyer} - V_{seller}]$ 上设置调整值 V_{adjust} 的大小。

$$V_{adjust} = \beta(V_{buyer} - V_{seller}) \quad (10)$$

根据 V_{adjust} , 卖方节点的出价区间调整为 $[V_{seller}, V_{buyer} - V_{adjust}]$, 按照式(11)进行出价, k 为 0~1 之间的随机数。

$$Price_{seller} = V_{seller} + k(V_{buyer} - V_{adjust} - V_{seller}) \quad (11)$$

(3)如果 $Price_{seller} < Price_{buyer}$, 则最终交易价格为 $Price_{final} = (Price_{seller} + Price_{buyer}) / 2$, 卖方收益为 $Price_{final} - Price_{seller}$, 买方收益为 $Price_{buyer} - Price_{final}$ 。

(4)如果 $Price_{seller} > Price_{buyer}$, 则买卖失败。

5 实验结果和分析

5.1 参数设置

本文采用 ONE^[21]模拟器在真实数据集 Infocom 05^[22]上对路由性能进行仿真验证。Infocom 05 数据集收集了 41 个

设备的信息,时间跨度为 274 883 s。默认情况下,数据传输速度为 250 kB/s,消息大小为 1 MB,节点缓存大小为 60 MB,消息产生间隔为 10~20 s,目的地址随机产生,TTL 为 12 h。式(7)中 $\Delta T=5\ 000$ s,式(8)中 $\alpha=0.5$,式(9)中 $Threshold=5$ MB。预热期为 30 000 s,为防止尾部效应,最后 30 000 s 仿真结果不统计。

5.2 性能比较

将 CAISDA 和直接发送路由策略 Direct、完全合作转发路由策略 Full、TFT 策略^[10]和 Give2Get 策略^[11]进行性能对比。Direct 策略中每个节点只存储自身消息,不为其他节点转发消息,当遇到目的节点时将消息直接发送给目的节点;Full 策略中每个节点按照消息的传递概率完全合作转发。

使用传递成功率、平均传递时延和负载率 3 个性能评价指标来对路由进行性能评价。传递成功率为传递成功的消息数与发送消息数之比,平均传递时延是指所有传递成功消息的传递时延的平均值,负载率为消息转发的总次数与传递成功的消息数的比值。下面通过改变缓存、TTL、数据传输速度的值来验证路由性能。

5.2.1 缓存对性能的影响

缓存对传递成功率的影响如图 4 所示,可以看出 5 种策略的消息传递成功率都随着缓存的增大而增大,因为缓存越大,节点可以携带更多的消息,所以传递成功率增大。Direct 策略由于节点只缓存自身消息,不能即时转发给传递率大的节点,导致部分时延大的消息由于缓存有限或 TTL 过期而被丢弃,所以传递成功率最低。因为 TFT 策略中当节点间消息数非对称时,消息量小的节点不会转发多余的消息,并且通过确认消息不能即时统计对方节点转发的消息数,所以导致其传递成功率较低。

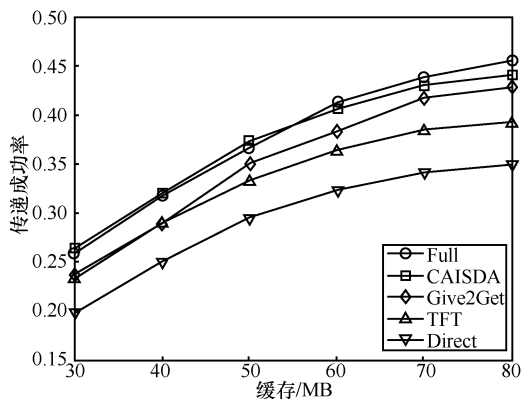


图 4 缓存对传递成功率的影响

Give2Get 策略由于节点不能感知自身拥塞程度,在拥塞时导致数据分组丢失,而被拒绝转发消息,所以传递成功率低于 CAISDA 策略。CAISDA 策略中,即使两个节点的消息量非对称时也能即时转发消息,并结合消息传递概率和拥塞程度进行交易转发,所以传递成功率高于 TFT 策略。Full 策略中由于节点完全转发其他节点消息,所以传递成功率最大。

缓存大小对时延的影响如图 5 所示,可以看出所有路由策略的消息传递时延都随着缓存的增大而增大。因为当缓存增大时,节点可以多存储并成功传递部分时延大的消息,所以消息平均传递时延会增大。Direct 策略由于每个节点只缓存自身消息,不能即时将自身消息转发给传递时延更小的其他节点,所以平均传递时延最大。Full 策略中由于节点完全合作转发,消息能够被即时转发,所以平均传递时延最小。CAISDA 的平均传递时延小于 TFT 策略和 Give2Get 策略,大于 Full 策略。

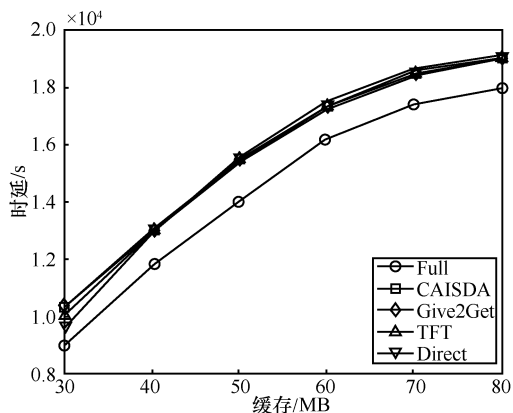


图 5 缓存对平均传递时延的影响

缓存大小对负载率的影响如图 6 所示,由于 Direct 策略中节点只缓存自身消息,不经过其他节点转发,所以负载率始终为 1。对于其他 4 种策略,一方面,缓存的增大会增加消息的转发机会从而增大消息转发次数;另一方面,随着缓存的增大,成功转发的消息数也会增大。当第一方面起主导作用时负载率会增大,当第二方面起主导作用时负载率会减小。Full 策略中由于节点完全转发,所以负载率最大。CAISDA 策略由于节点间进行消息买卖,能够有效地转发消息,所以负载率略大于 TFT 策略和 Give2Get 策略,远低于 Full 策略。

5.2.2 TTL 对性能的影响

TTL 对传递成功率的影响如图 7 所示,可以看出 5 种

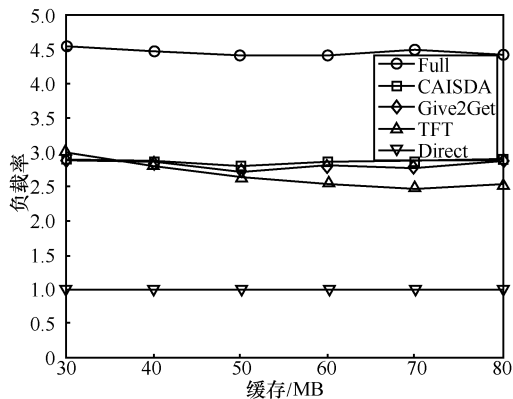


图6 缓存对负载率的影响

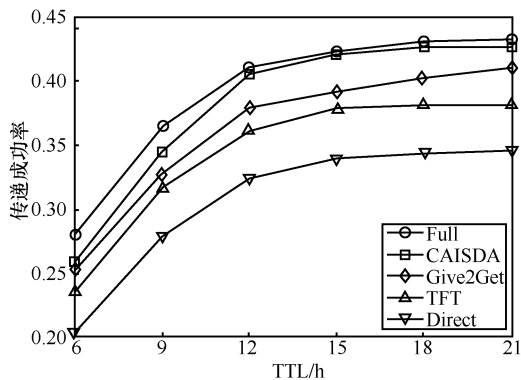


图7 TTL对传递成功率的影响

路由策略的传递成功率都随着 TTL 的增大而增大,这是因为 TTL 增大,可以提高消息的存活时间,增加传递机会,从而增大传递成功率。Direct 策略不能即时将自身消息转发给传递率大的其他节点,所以传递成功率最小。CAISDA 策略在节点间消息非对称时能够通过消息买卖进行消息转发,所以传递成功率高于 TFT 策略。由于 CAISDA 策略能够进行拥塞感知,结合消息传递概率和拥塞程度进行合作转发,所以传递成功率高于 Give2Get 策略。由于 Full 策略中节点完全转发其他节点消息,所以传递成功率最大。

TTL 对时延的影响如图 8 所示,可以看出 5 种路由策略的消息传递时延都随着 TTL 的增大而增大。因为随着 TTL 增大,节点可以成功传递更多时延大的消息,所以平均传递时延增大。由于 Direct 策略中每个节点只缓存自身消息,不能即时将自身消息转发给传递时延更小的其他节点,所以传递时延最大。Full 策略中,消息被快速地传递给时延小的下一节点,所以其传递时延最小。CAISDA 策略平均传递时延小于 Direct 策略、TFT 策略和 Give2Get 策略。

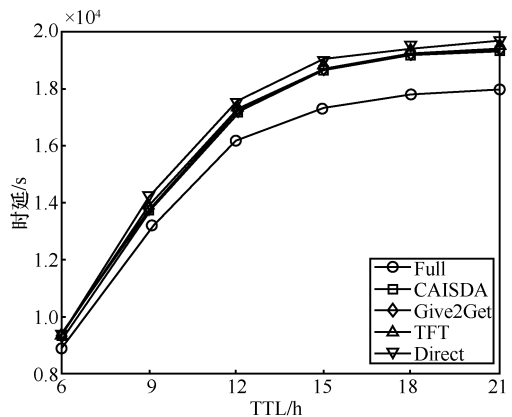


图8 TTL对平均传递时延的影响

TTL 对负载率的影响如图 9 所示,由于 Direct 策略每个节点只缓存自身消息,不需要经过其他节点转发,所以负载率始终为 1。策略 Full、CAISDA、Give2Get 和 TFT 的负载率均随着 TTL 的增大而减小,这是因为随着 TTL 的增大,虽然成功转发消息数和转发次数都在增大,但成功转发消息数的增大速率大于转发次数的增大速率。Full 策略中,由于节点完全转发其他节点消息,所以负载率最大。CAISDA 策略负载率比策略 Direct、TFT 和 Give2Get 的负载率大,低于 Full 策略的负载率。

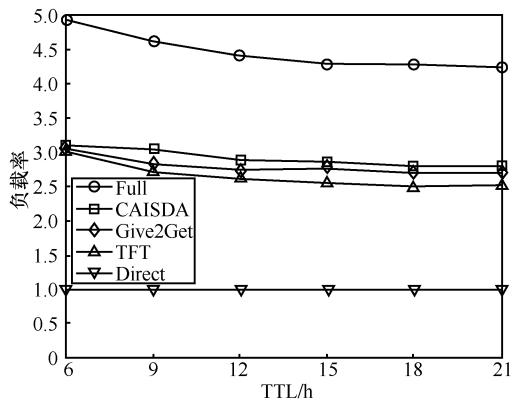


图9 TTL对负载率的影响

5.2.3 数据传输速度对性能的影响

数据传输速度对消息传递成功率的影响如图 10 所示,可以看出随着数据传输速度的增大,消息传递成功率不断增大。因为传输速度越大,节点相遇时能够转发更多的消息,所以会提高消息传递成功率。Direct 策略由于依靠自身转发消息,所以其消息传递成功率最小。CAISDA 策略的消息传递成功率高于 TFT 策略和 Give2Get 策略,略低于 Full 策略。

数据传输速度对消息传递时延的影响如图 11 所示,

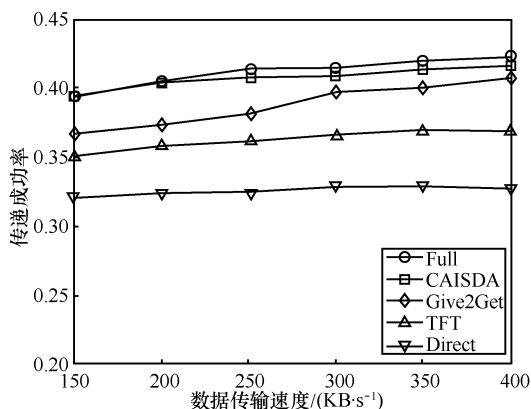


图 10 数据传输速度对传递成功率的影响

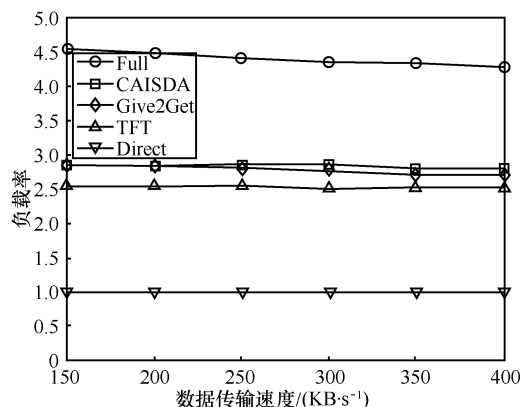


图 12 数据传输速度对负载率的影响

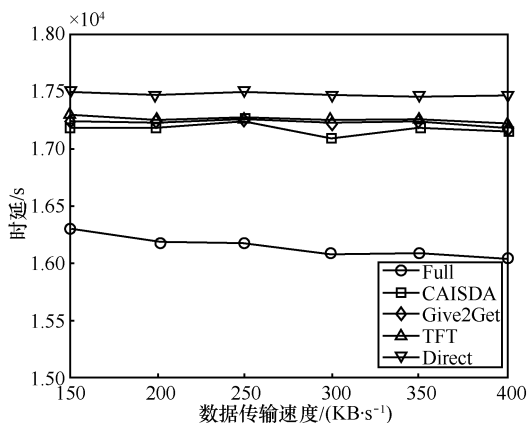


图 11 数据传输速度对平均传递时延的影响

可以看出随着数据传输速度的增大,消息平均传递时延不断减小。因为随着数据传输速度的增大,节点相遇时的数据传输机会也增大,消息可以被快速地转发给传递时延小的节点,所以会减小消息传递时延。CAISDA 策略中由于节点根据消息传递概率和自身拥塞程度进行消息买卖,使得消息能够被快速转发,所以消息的传递时延小于 TFT 策略和 Give2Get 策略。Full 策略由于节点完全合作转发,时延最小。

数据传输速度对负载率的影响如图 12 所示,可以看出 Direct 策略负载率始终为 1, 其他路由策略的负载率随着数据传输速度的增大而减小。数据传输速度的增大会增大节点间数据传输机会,增大转发次数的同时,消息成功传递数也增大,但成功传递消息数的增长速率大于消息转发增长速率,所以导致负载率减小。

6 结束语

为激励 DTN 自私节点合作转发消息,提出一种基于双向拍卖的拥塞感知激励策略 CAISDA。该策略中节点收

到消息时,需要支付转发节点一定货币。因此,为支付收到的消息,每个节点需要为其他节点转发消息以获得一定的货币。为获取更多的货币,两节点相遇时根据消息的传递概率和自身拥塞程度计算出价,进行消息的买卖,在获取更多货币的同时,也实现了节点间的合作。实验表明,该激励策略能够有效促使节点进行合作转发,提高消息传递成功率,减小消息传递时延。

参考文献

- 1 李向群, 刘立祥, 胡晓惠等. 延迟/中断可容忍网络研究进展. 计算机研究与发展, 2009, 46(8): 1270~1277
Li X Q, Liu L X, Hu X X, *et al.* Delay/disruption-tolerant network study. Journal of Computer Research and Development, 2009, 46(8): 1270~1277
- 2 Spyropoulos T, Psounis K, Raghavendra C S. Efficient routing in intermittently connected mobile networks: the single-copy case. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2008, 16(1): 63~76
- 3 Dalyd E, Haahr M. Social network analysis for information flow in disconnected delay-tolerant MANETs. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2009, 8(5): 1~16
- 4 Burgess J, Gallagher B, Jensen D, *et al.* MaxProp: routing for vehicle-based disruption-tolerant networks. Proceedings of the Conference on INFOCOM, Barcelona, Spain, 2006: 1~11
- 5 Balasubramanian A, Levine B N, Venkataramani A. DTN routing as a resource allocation problem. Proceeding of ACM SIGCOMM, Kyoto, Japan, 2007: 373~384
- 6 Karaliopoulos M. Assessing the vulnerability of DTN data relaying schemes to node selfishness. IEEE Communications Letters, 2009, 13(12): 923~925
- 7 Li Y, Su G L, Wu D O, *et al.* The impact of node selfishness on multicasting in delay tolerant networks. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2011, 60(5): 2224~2238



- 8 詹文杰, 汪寿阳. 评 Smith 奥秘与双向拍卖的研究进展. 管理科学学报, 2003, 6(1): 1~12
Zhan W J, Wang S Y. Review on the Smith's mystery and development of double auctions. Journal of Management Sciences in China, 2003, 6(1): 1~12
- 9 吴越, 李建华, 林闯. 机会网络中的安全与信任技术研究进展. 计算机研究与发展, 2013(2): 278~290
Wu Y, Li J H, Lin C. Survey of security and trust in opportunistic networks. Journal of Computer Research and Development, 2013(2): 278~290
- 10 Shevade U, Song H H, Qiu L L, *et al.* Incentive-aware routing in DTNs. Proceedings of the 16th IEEE International Conference on Network Protocols(ICNP), Orlando, USA, 2008: 238~247
- 11 Mei A, Stefa J. Give2Get: forwarding in social mobile wireless networks of selfish individuals. IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing, 2012, 9(4): 569~582
- 12 Zhu H J, Lin X D, Lu R X, *et al.* SMART: a secure multi-layer credit based incentive scheme for delay-tolerant networks. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2009, 58(8): 4628~4639
- 13 Chen B B, Chan M C. MobiCent: a credit-based incentive system for disruption tolerant network. Proceedings of the Conference on INFOCOM, San, Diego, USA, 2010:1~9
- 14 Chen K, Shen H Y. Multicent: a multifunctional incentive scheme adaptive to diverse performance objectives for DTN routing. Proceedings of IEEE International Conference on Sensing, Communication, and Networking(SECON), New Orleans, USA, 2013: 532~540
- 15 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. 通信学报, 2013, 34(2): 73~84
Zhao G S, Chen M. Research of incentive-aware data dissemination in selfish opportunistic networks. Journal on Communications, 2013, 34(2): 73~84
- 16 Buttyan L, Dora L, Felegyhazi M, *et al.* Barter trade improves message delivery in opportunistic networks. Ad Hoc Networks, 2010, 8(1): 1~14
- 17 Wang Y, Chuah M C, Chen Y Y. Incentive based data sharing in delay tolerant mobile networks. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2014, 13(1): 370~381
- 18 Gao W, Li Q, Zhao B, *et al.* Multicasting in delay tolerant networks: a social network perspective. Proceedings of the 10th ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing, New Orleans, USA, 2009: 299~308
- 19 Krifa A, Barakat C, Spyropoulos T. Optimal buffer management

policies for delay tolerant networks. Proceedings of Fifth Annual IEEE Communications Society Conference on Sensor, Mesh and Ad Hoc Communications and Networks (SECON'08), California, USA, 2008: 260~268

- 20 Gode D K, Sunder S. Allocative efficiency of markets with zero intelligence (ZI) traders: market as a partial substitute for individual rationality. Journal of Political Economy, 1993(101): 119~137
- 21 Keranen A, Ott J, Karkkainen T. The ONE simulator for DTN protocol evaluation. Proceedings of the 2nd International Conference on Simulation Tools and Techniques, Rome, Italy, 2009: 1~10
- 22 Infocom05 data set. <http://crawdad.cs.dartmouth.edu/cambridge/haggle/imote/infocom>, 2006

[作者简介]



蒋庆丰,男,大庆师范学院讲师,主要研究方向为移动计算、可信计算。



门朝光,男,博士,哈尔滨工程大学教授、博士生导师,主要研究方向为移动计算、可信计算。



贾美娟,女,大庆师范学院讲师,主要研究方向为网络安全。



程晓旭,女,大庆师范学院副教授,主要研究方向为网络安全。