

基于信誉的延迟容忍网络激励方案

张 磊,张 希,安成锦,唐朝京

(国防科技大学电子科学与工程学院,湖南长沙 410073)

摘 要: 由于长延迟、频繁中断等特性,延迟容忍网络采用“存储-携带-转发”的路由方式实现报文的传递.这种传输方式建立在网络节点互相信任,诚实合作的假设之上.然而,由于受到自身资源的限制,网络中存在自私节点拒绝参与网络合作的行为,导致网络传输性能下降,甚至无法正常运行.针对此类问题,本文提出一种基于信誉的延迟容忍网络激励方案,鼓励节点共享资源,并约束自私行为.设计了一种观测协议,以解决延迟容忍网络环境下对网络节点行为的观测问题;提出了一种信誉模型,通过信任值评价节点的可信程度,从而优化路由决策,惩罚自私节点.仿真结果表明了本文提出的激励方案的有效性和可行性.

关键词: 延迟容忍网络; 信誉; 激励; 信任; 自私行为

中图分类号: TP393 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2014)09-1738-06

电子学报 URL: <http://www.ejournal.org.cn> **DOI:** 10.3969/j.issn.0372-2112.2014.09.012

A Reputation-Based Incentive Scheme for Delay Tolerant Networks

ZHANG Lei, ZHANG Xi, AN Cheng-jin, TANG Chao-jing

(College of Electronic Science and Engineering, National University of Defense Technology, Changsha, Hunan 410073, China)

Abstract: Due to the long delay and frequent disconnection, “store-carry-forward” manner was designed and adopted for bundle propagation in delay tolerant networks (DTN). The transmission process is on the basis of the hypothesis that DTN nodes depend on each other and participate in cooperation honestly. However, as constrained with the limited communication and bandwidth resources, selfish nodes will usually deny cooperating, which degrades the performance of DTNs. To address the selfishness issue, a reputation-based incentive scheme is proposed for DTN to stimulate nodes to share resources and restrain misbehaving in this paper. An observation protocol is presented to observe other’s behavior. A novel reputation model is proposed to determine the degree of trust, influence routing decision, and punish selfish nodes. The simulation results demonstrate the effectiveness of the proposed scheme.

Key words: delay tolerant network; reputation; incentive; trust; selfishness

1 引言

近年来,在深空通信、军事组网、灾后救援等应用领域都出现了违背传统 Internet 关于端到端路径假设的情况.为满足此类环境下通信组网的要求,延迟容忍网络(Delay Tolerant Network, DTN)^[1~3]的研究日益受到研究者的关注.为克服长延迟和频繁中断对网络通信的影响,DTN 依靠中继节点,采用“存储-携带-转发”的路由模式,实现网络报文的传递.大多 DTN 路由协议要求中继节点共享自身资源实现网络的互联互通,诚实可信地为其其他节点提供报文转发的服务.

然而,DTN 环境中,节点受到能源、存储空间、带宽等资源的限制,可能会拒绝正常的网络合作,丢弃与自身无关的报文,将有限的资源用于维护自身利益.这种自私行为将严重影响网络性能,甚至危害到网络的运行.如何避免自私行为对网络的危害成为 DTN 研究领域需要解决的关键问题之一.信誉的应用为限制节点自私行为提供了一种思路^[4,5].通过观测和记录其他节点行为,给予信誉评分,判断节点可信程度,达到优化路由决策,剔除自私节点的目的.但是,为传统移动自组织网络、P2P 网络设计的信誉方案^[6,7]并不适用于 DTN 环境^[8,9].首先,因为频繁中断和网络割裂等特性,DTN 不

能满足传统网络所依赖的关于端到端路径的假设.其次,DTN 采用的机会传输方式导致混杂监听、源路由等观测手段失效,而这类观测手段恰恰是传统信誉方案获取节点行为信息的基础.第三,为提高通信可靠性,DTN 一般采用多副本路由,这使得为单副本路由设计的信誉方案不能适应该环境.

为解决上述问题,本文提出了一种基于信誉的延迟容忍网络激励方案,以提高存在自私节点情况下的网络传输性能.其中,为解决 DTN 环境下对节点行为的观测,本文引入一种成功转发凭据(Successful Forwarding Credential, SFC)的概念,以此作为节点成功转发行为的凭证.将 SFC 的生成与传输融入到本文提出的一种观测协议之中.采用可验证的签名技术保证该凭证的认证性和完整性.为实现激励方案的公平性,本文提出一种新的信誉模型.该模型依据节点提供转发服务的次数和成功率确定节点的可信程度.如果节点想要取得良好的信誉评分,需要不断为其他节点提供诚实守信的转发服务.同时,在本方案的设计中,DTN 节点将优先为诚实节点提供服务,并排除低于信誉门限的自私节点,从而激励用户提供诚实可信的报文转发服务,积极参与网络合作.

2 基于信誉的 DTN 激励方案

2.1 系统方案

在本文的网络模型中,一系列配置无线设备的移动车辆构成了车载延迟容忍网络.因为广大区域中网络节点的稀疏分布以及有限的传输能力,节点之间往往缺乏一条持续的端到端路径,网络数据依靠“存储-携带-转发”的方式通过机会链路进行传递.当两个移动节点进入到彼此的通信覆盖范围之后,并保持连接一段时间数据才能够转发.如果两个节点在彼此的传输距离之外,则报文的传递依靠中间节点采用多条的方式进行转发.

首先假设一种多副本转发机制.源节点 S 生成报文 B 的多个副本,以逐跳的方式依靠中继节点,传递到目的节点 D .节点在转发报文之前,需要附加一定的信息 I_A ,由以下部分组成:报文的基本信息 I_B ,其中包含源节点和目的节点的身份信息、报文全局统一会话号、生存期等;中继节点的相关信息 I_H ,其中除了自身身份信息之外还包括上一跳和下一跳中继节点的身份信息;报文的时间戳 T_s 以及提供完整性和认证性保护的签名信息 Sig.

通过引入 SFC 概念实现对节点行为的观测,然后通过观测协议的设计,将其与报文的传输过程相结合,由此每个 DTN 节点能够获取直接交互节点的行为信息.每个节点 i 维护并不断更新节点列表 N_i ,该列表包

括了所有与节点 i 有过直接交互的节点以及从其他节点处获取到行为信息的节点.节点 i 维护该列表中节点 j 的两个直接观测参数:

t_{ij} :表示节点 j 向节点 i 提供转发服务的总数;

c_{ij} :表示经过确定的节点 j 成功向节点 i 提供的转发服务总数,即节点 i 获得并成功验证的 SFC 的总数;

获取交互节点的行为数据后,节点将在时间 τ 内,更新节点的直接观测参数,规则描述如下:在报文成功发送后,节点 N_i 会收到来自节点 N_{i+1} 的 SFC_{i+1} 作为响应,则记录节点 N_{i+1} 行为的直接观测参数 $t_{i(i+1)}$ 自动增加 1.在节点 N_{i+1} 成功转发报文后,将得到由下一跳中继节点签名的 SFC_{i+2} ,以此作为成功转发的凭证发送给节点 N_i ,经过验证之后,节点 N_i 确定了节点 N_{i+1} 提供了诚实可靠的转发服务,直接观测参数 $c_{i(i+1)}$ 自动增加 1.

仅仅依靠个体的直接交互经验判断自私节点,会导致自私节点的辨识度较低.因此,通过信誉交互过程,在 DTN 节点之间共享节点的行为数据,使得节点能够在合作失败之前,通过来自其他节点的交互经验辨识自私节点.其他节点行为数据的交互可以在报文转发过程中捎带,且两个节点在每个时间段 τ 内仅仅交互以此,以免过多消耗网络资源.

本方案框架如图 1 所示:信任值的信息来源包括三个方面内容,即历史信任值信息,通过直接交互获取的节点行为数据,以及在信誉交互过程中获取的行为观测数据.当节点需要转发报文时,会首先获取通信范围内的节点列表.通过查询列表所包含节点的信任值,按照信誉判断准则确定诚实节点.自私节点被排除在诚实节点列表之外,下一跳的转发节点将根据路由协议在诚实节点之中进行选择.本文提出的激励方案可以与 DTN 的路由相结合,避免自私节点参与路由过程,从而改善网络性能.

2.2 观测

本节提出一种对 DTN 节点行为进行观测并获取节点行为数据的观测协议,将 SFC 的生成和传输引入到报文转发的过程之中,该协议由系统初始化、报文生成和报文转发三个阶段组成.

定理 1 令 G_1 和 G_2 分别表示 q 阶的加法循环群和乘法循环群,用 P 表示 G_1 的生成元.双线性映射 $\hat{e}: G_1 \times G_1 \rightarrow G_2$ 满足以下性质:

- 双线性(bilinear): $\forall R, S \in G_1$ 且 $a, b \in \mathbb{Z}_q^*$, 则有 $\hat{e}(aP, bP) = \hat{e}(P, P)^{ab}$ 成立;
- 非退化性(nondegenerate): $\hat{e}(P, P) \neq 1_{G_2}$;
- 可计算性(computable): 存在一种有效的算法可以计算 $\hat{e}(R, S), \forall R, S \in G_1$.

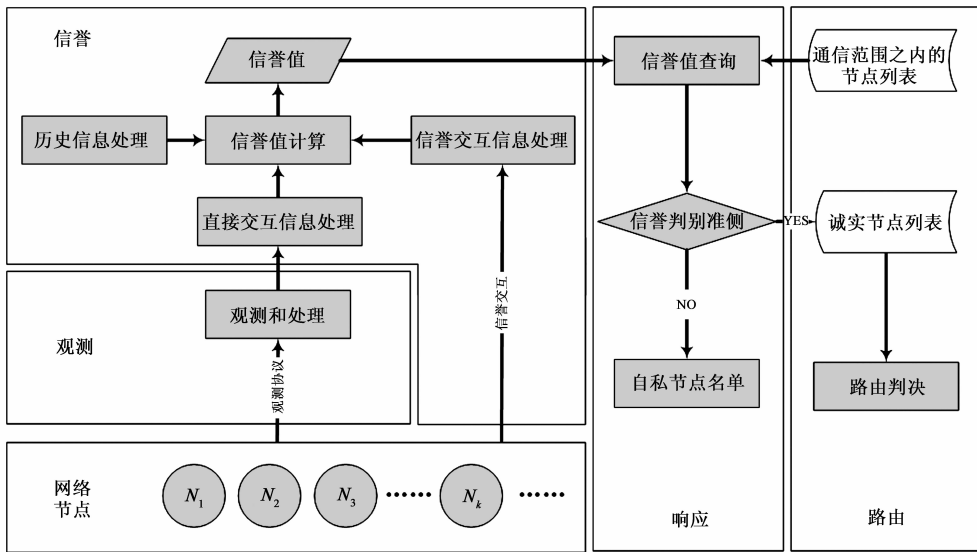


图1 信誉激励方案框架

2.2.1 系统初始化

假设在网络中存在一个离线的安全中心(OSM)负责密钥的分发.每个节点在加入 DTN 之前需要在安全中心注册,并获取密钥.依据定理 1,应用双线性对技术生成密钥,OSM 选择 $s \in Z_q^*$ 作为私钥,计算其公钥 $P_{pub} = sP$,并选取哈希函数 $H: \{0,1\}^* \rightarrow G_1$. OSM 采用 $\{G_1, G_2, \hat{e}, P, P_{pub}, H\}$ 作为系统参数,在注册过程中配置给每个 DTN 节点.在验证注册的 DTN 节点身份信息 ID 后,根据节点身份信息计算私钥 $sk = sH(\text{ID})$,并以 $pk = H(\text{ID})$ 作为节点公钥.

2.2.2 报文生成

假设源节点 S 需要向目的节点 D 发送报文 B ,节点 S 需要按照如下步骤:

步骤 1 按照协议规范定义的格式生成报文 B ;

步骤 2 确定下一跳中继节点列表,需要保证中继节点的信誉值超过预设的信誉门限;

步骤 3 选择 $r \in Z_q^*$,依据 Sakai-Ohgishi-Kasahara 身份签名方案^[10],计算 $\sigma_1 = sk_s + rH(B \parallel I_B \parallel I_H \parallel T_s)$ 以及 $\sigma_2 = rP$,获取附属信息的签名 $\text{Sig} = (\sigma_1 \parallel \sigma_2)$.

步骤 4 将报文 B 和附属信息转发给列表包含的下一跳节点:

$$S \rightarrow \text{List}: B, I_{A_s} \quad (1)$$

本方案能够与 DTN 多副本路由协议兼容,为了描述简便,假设一条报文转发路径 $S \rightarrow N_1 \rightarrow \dots \rightarrow N_{i-1} \rightarrow N_i \rightarrow N_{i+1} \rightarrow \dots \rightarrow D$,并以此为例,进一步描述该协议的细节.

2.2.3 报文转发

当中继节点接收报文后,将按照以下步骤验证 B 和 I_A :

步骤 1 验证报文的生存期和时间戳,确定报文在生存期之内;

步骤 2 验证附属信息 I_A 的生存期和时间戳,确定其有效性;

步骤 3 通过验证下式,确定签名有效性:

$$\hat{e}(pk_{N_{i-1}}, P_{pub}) \hat{e}(H(B \parallel I_B \parallel I_H \parallel T_s), \sigma_2) = \hat{e}(\sigma_1, P) \quad (2)$$

如果验证通过,中继节点 N_i 将执行以下步骤:

步骤 1 生成 SFC,其中以 I_s 表示转发凭据应用到凭据生成节点、报文转发节点以及凭据目的节点等三个节点的身份信息集合.

步骤 2 将该凭据发往上一跳节点 N_i 作为其成功转发的证据: $N_i \rightarrow N_{i-1}: \text{SFC}_{N_i}$,其中

$$\text{SFC}_{N_i} = (I_B \parallel I_{s_{N_i}} \parallel T_s \parallel \text{Sig}_{N_i}) \quad (3)$$

步骤 3 按照上述规则,确定下一跳中继节点,生成新的附属信息;

步骤 4 向选定的中继节点发送报文和附属信息;

$$N_i \rightarrow N_{i+1}: B, I_{A_{N_i}} \quad (4)$$

步骤 5 节点 N_{i+1} 按照上述步骤验证信息后,发送 SFC,其中 I_s 包含了 N_{i-1} 、 N_i 和 N_{i+1} 的身份信息: $N_{i+1} \rightarrow N_i: \text{SFC}_{N_{i+1}}$,其中

$$\text{SFC}_{N_{i+1}} = (I_B \parallel I_{s_{N_{i+1}}} \parallel T_s \parallel \text{Sig}_{N_{i+1}}) \quad (5)$$

步骤 6 节点 N_i 在接收到凭据 $\text{SFC}_{N_{i+1}}$ 后,将其转发给上一跳节点 N_{i-1} : $N_i \rightarrow N_{i-1}: \text{SFC}_{N_{i+1}}$,其中

$$\text{SFC}_{N_{i+1}} = (I_B \parallel I_{s_{N_{i+1}}} \parallel T_s \parallel \text{Sig}_{N_{i+1}}) \quad (6)$$

步骤 7 如果 SFC 验证成功,则节点 N_{i-1} 确定节点 N_i 提供了诚实可靠的转发服务,会根据观测参数的更新准则记录节点 N_i 的转发行为.需要注意的是,在报文

传递到目的节点前,每个中继节点都会采用上述步骤.

2.3 信誉

信誉的应用目的在于通过节点行为数据的收集,将其转化为节点可信程度的度量标准,并以此影响节点的网络交互行为.信誉的应用能够激励节点参与网络合作,同时为合作的对象选择提供依据.在本方案中,根据节点行为数据的信息来源,定义如下.

定义 1 直接信誉值是指通过直接交互获取的节点行为数据,经过计算得到的节点 i 对节点 j 的评分,用 $DV_{ij}(\tau_n)$ 表示第 n 个时间段 τ 的直接信誉值.

定义 2 推荐信誉值是指通过节点间信誉交互过程获取的节点行为数据,经过计算得到的节点 i 对节点 j 的评分,用 $IV_{ij}(\tau_n)$ 表示第 n 个时间段 τ 的推荐信誉值.

定义 3 信任值是指节点 i 通过信誉计算最终获得的关于节点 j 可信程度的评分,用 $T_{ij}(\tau_n)$ 表示第 n 个时间段 τ 的信任值.

通过上述定义,节点信任值计算公式为:

$$T_{ij}(\tau_n) = e^{-\sigma(\tau_n - \tau_{n-1})} \cdot T_{ij}(\tau_{n-1}) + DV_{ij}(\tau_n) + IV_{ij}(\tau_n) \quad (7)$$

其中,参数 σ 是历史系数,决定历史信任数据对信任值的影响. σ 越大,则历史信任值对信任值的影响越小.根据与其他节点的直接交互数据,节点 i 通过下式计算节点 j 的直接信誉值:

$$DV_{ij}(\tau_n) = e^{-\theta(\tau_n - \tau_{n-1})} \cdot \frac{n}{\sum_{k \in N_{i,t}, k \neq j} t_{ik}(\tau_n)} \cdot [(1 + \gamma) \cdot c_{ij}(\tau_n) - \gamma \cdot t_{ij}(\tau_n)] \quad (8)$$

其中, θ 是直接信誉参数,决定直接信誉值对信任值的影响,该系数越大,则直接信誉值对信任值的影响越小. γ 为惩罚参数,表示节点对不诚实转发行为的惩罚程度.为了体现公平性原则,直接信誉值的计算中引入直接观测参数的平均值.由直接信誉值的计算公式可知,节点需要不断以较高的成功率更多地为其他节点提供转发服务,才能获取较高的信任值.在本方案的设计中,为网络的互联互通做出更多贡献的节点,将比其他“懒惰”节点获得更高的信任值.然而,为了保证在每次信誉更新后,诚实节点的信任值能够增长,自私节点的信誉值保持下降,惩罚参数的选择需要满足以下条件:

$$\begin{cases} (1 + \gamma) \cdot c_{ih} - \gamma \cdot t_{ih} > 0 \\ (1 + \gamma) \cdot c_{is} - \gamma \cdot t_{is} < 0 \end{cases} \quad (9)$$

其中, c_{ih} 和 t_{ih} 分别表示节点 i 对诚实节点的直接观测参数;而 c_{is} 和 t_{is} 分别表示对自私节点的直接观测参数.采用 P_D 和 P_M 分别表示 SFC 的传输概率以及节点出现自私行为的概率.得到惩罚参数的选择条件:

$$\frac{P_D \cdot (1 - P_M)}{1 - P_D \cdot (1 - P_M)} < \gamma < \frac{P_D}{1 - P_D} \quad (10)$$

得到直接信誉值之后,通过下式计算节点 i 对节点 j 的推荐信誉值:

$$IV_{ij}(\tau_n) = \frac{1}{N} e^{-\omega(\tau_n - \tau_{n-1})} \frac{\sum_{k \in N_{i,t}, k \neq j} T_{ik}(\tau_{n-1}) c_{kj}(\tau_n)}{\sum_{k \in N_{i,t}, k \neq j} T_{ik}(\tau_{n-1}) t_{kj}(\tau_n)} \quad (11)$$

其中, ω 是推荐信誉参数,决定推荐信誉值对信誉计算中的影响,该系数越大,则直接信誉值对信任值的影响越小.参数 N 表示参与信誉交互过程的节点数目.

2.4 响应

激励方案的设计并不仅仅是通过信誉值判断自私节点,避免在路由过程中使用自私节点提供转发服务,提高路由效率,还需要通过拒绝向自私节点提供服务,达到隔离自私节点的目的.隔离自私节点有几种原因:首先,避免自私节点转发报文,能够减少报文被丢弃的概率,从而提高网络传输率.其次,隔离自私节点可以对网络节点形成良好激励,鼓励网络节点提供诚实服务;再次,通过隔离自私节点能够减少自私行为对网络的危害.

在本方案的设计中,根据网络运行状况,给出信誉评价准则:

$$\begin{cases} T_{ij}(\tau_n) \geq \eta_H & \Rightarrow \text{Honest} \\ \eta_S < T_{ij}(\tau_n) < \eta_H & \Rightarrow \text{Normal} \\ T_{ij}(\tau_n) < \eta_S & \Rightarrow \text{Selfish} \end{cases} \quad (12)$$

其中, η_H 和 η_S 分别表示诚信门限和自私门限.根据上述判断条件可知,如果节点被判定为诚实节点,那么该类节点的报文转发请求将优先得到响应,节点也会优先为诚实节点提供转发服务,以此激励节点更好的为网络提供服务;如果节点被判定为普通节点,那么该类节点在网络交互过程中不能享受优先权;如果节点判定为自私节点,那么节点不会响应来自自私节点的所有请求,同时,拒绝转发自私节点的相关报文.最终,自私节点将被网络隔离作为其自私行为的惩罚.

3 仿真分析

为验证本文激励方案的有效性,基于 ONE (Opportunistic Networking Environment) 仿真器构建仿真平台.在真实的城市环境下,建立 $4500 \times 3500 \text{m}^2$ 的仿真场景,按照基于地图的最短路径移动模型随机分布 300 个移动节点,构成范围广大的 DTN,使得仿真具有更高的真实性.仿真场景建立在 DTN 的 Spray and Wait (SW) 多副本路由协议之上,也验证了本方案与 DTN 路由的兼容性.仿真分析中通过以下四项指标衡量 DTN 的性能差异:

(1) 网络传输概率:表示成功传输的报文与生成的报文总量的比值,是衡量网络性能最重要的参数;

(2)平均延迟:表示报文成功传输时间与报文生成时间的差值的平均值;

(3)平均缓存时间:表示网络中报文的平均缓存时间.

(4)报文消耗比例:多副本路由方案所特有的参数,表示由中间节点缓存的报文总量与成功传输的报文总量的比值,是衡量网络消耗的参数.仿真参数如表 1 所示.

为了验证本文方案的有效性和实用性,在验证自私节点比率对 DTN 网络性能影响之外,测试了路由副本数目对性能的影响.在本场景中,路由副本数目分别设置为 4 和 16,比较了应用本方案前后的网络性能差异,仿真结果见图 2.

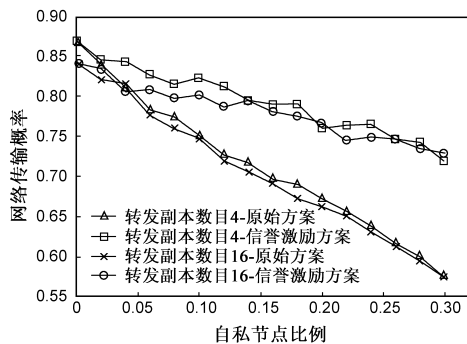
如图 2(a)所示,当自私节点比率从 0% 增加到 30%,转发副本数目配置为 4 的原始方案的成功传输率由 0.87 下降到 0.57,接近 30%.这说明,自私行为严重危害了网络性能.由于网络资源的过度消耗,配置为 16 的原方案在传输成功率上始终低于配置为 4 的方案.当网络中更多的自私节点开始丢弃报文之后,对网络资源的过度消耗才得到缓解.因此,当自私节点比率达到一定门限之后,两条虚线之间的差距变小.对于本文提出的信誉激励方案而言,将路由副本数目设置为 16 导致了网络资源的消耗,自始至终在成功率上与配置为 4 的方案相比较低.由于本方案的应用使得节点能够判断自私的合作者节点,因而,与原方案相比一直保持较大优势.

表 1 仿真参数

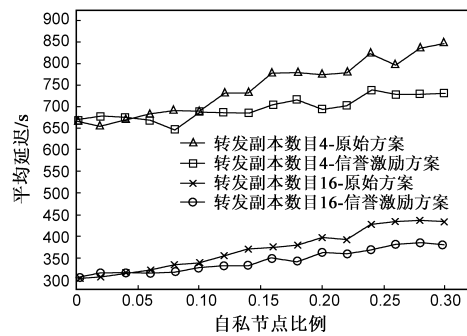
参数名称	参数值
仿真时间	15 h
节点数目	300
节点速度	10 km/h 到 50 km/h
路由协议	SW 协议
通信范围	100 m
移动模型	基于地图的最短路径模型
缓存大小	5 Mb
报文生成间隔	5 s 到 15 s
报文生存期	5 h
报文副本数目	1 到 32

在图 2(b)中,路由副本数目配置越高,按照路由协议的设计,节点会更快的将路由副本发送到网络中.因此,路由副本数目配置为 16 的方案在平均延迟上比配置为 4 的方案要小的多.因为自私节点在路由过程中会丢弃报文,这导致网络中实际存在的报文副本数目要少于设置值.因而,本文方案在平均延迟上相比原方案

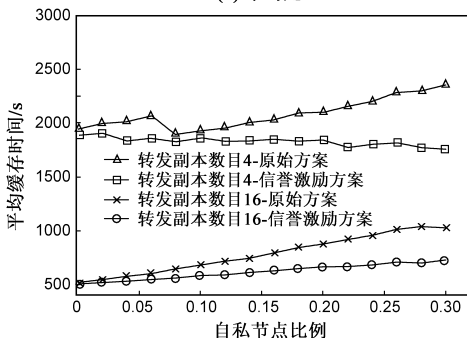
有一定优势.



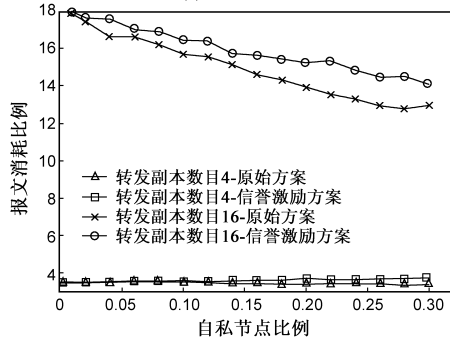
(a) 网络传输概率



(b) 平均延迟



(c) 平均缓存时间



(d) 报文消耗比例

图 2 自私节点存在的情况下 DTN 的性能变化

缓存时间的变化趋势类似于平均延迟,如图 2(c)所示.报文副本数目配置为 16 时,因网络中存在着更多的报文副本可供传递,按照路由协议的设计,节点会迅速将报文传递出去,因而缓存时间下降迅速.需要注意的是,因为信誉激励方案的应用避免了自私节点对报

文的丢弃行为,比未应用信誉方案时,网络实际存在的报文数量多,因而在平均缓存时间上,同样的副本配置,应用本文所提出的信誉方案具有一定的优势。

如图 2(d)所示,在网络消耗比例方面,当报文副本数目配置相等时,应用本文提出的信誉激励方案能够使得网络节点辨识自私节点,在一定程度上抑制了自私节点对网络报文的丢弃,导致网络中传输的报文较多、消耗比较高,但仍在网络允许范围之内。

仿真结果表明本文提出的信誉激励方案能够有效激励节点参与网络合作,减少自私行为对网络的影响。

4 结论

本文提出了一种基于信誉的延迟容忍网络激励方案,减少自私行为对网络性能的影响。提出了一种观测协议解决了该环境下对节点行为的观测问题,通过信誉的设计,将通过观测得到的节点行为数据转化为节点的信任值,判断节点的可信程度;设计信誉评价准则,对节点进行划分,惩罚自私节点,激励节点诚实守信的为其他节点提供转发服务。仿真结果表明了该方案的有效性和可行性。

参考文献

- [1] K Fall. A delay-tolerant network architecture for challenged Internets[J]. Computer Communication Review, 2003, 33(4): 27 - 34.
- [2] K Fall, S Farrell. DTN: An architectural retrospective[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2008, 26(5): 828 - 836.
- [3] 樊秀梅, 单志广, 张宝贤. 容迟网络体系结构及其关键技术研究[J]. 电子学报, 2008, 36(1): 161 - 170.
Fan Xiumei, Shan Zhiguang, Zhang Baoxian. State-of-the-art architecture and techniques for delay-tolerant networks[J]. Acta Electronica Sinica, 2008, 36(1): 161 - 170. (in Chinese)
- [4] Y Yoo, D P Agrawal. Why does it pay, to be selfish in a MANET[J]. IEEE Wireless Communications, 2006, 13(6): 87 - 97.
- [5] S Buchegger, J Y Le Boudec. Self-policing mobile ad hoc networks by reputation systems[J]. IEEE Communications Magazine, 2005, 43(7): 101 - 107.
- [6] 张洪, 段海新, 刘武. RRM: 一种具有激励机制的信誉模型[J]. 中国科学 E 辑: 信息科学, 2008, 38(10): 1747 - 1759.
- [7] 吴鹏, 吴国新, 方群. 一种基于概率统计方法的 P2P 系统信任评价模型[J]. 计算机研究与发展, 2008, 45(3): 408 - 416.
Wu Peng, Wu Guoxin, Fangqun. A reputation-based trust model based on probability and statistics for P2P systems[J]. Journal of Computer Research and Development, 2008, 45(3): 408 -

416. (in Chinese)

- [8] H J Zhu, X D Lin, R X Lu, et al. SMART: A secure multilayer credit-based incentive scheme for delay-tolerant networks[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2009, 58(8): 4628 - 4639.
- [9] R Lu, X Lin, H Zhu, X Shen. Pi: A practical incentive protocol for delay tolerant networks[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2010, 9(4): 1483 - 1493.
- [10] R Sakai, K Ohgishi, M Kasahara. Cryptosystems based on pairing[A]. Symposium on Cryptography and Information Security (SCIS) 2000[C]. Okinawa, Japan: ISEC of IEICE, 2000. 915 - 921.

作者简介



张 磊 男, 1981 年 9 月出生, 山东东营人。2010 年毕业于国防科技大学电子科学与工程学院, 获工学博士学位。现为国防科技大学电子科学与工程学院副教授, 主要从事空间网络安全及协议分析方向的研究。

E-mail: leizhang_nudt@gmail.com



张 希 男, 1983 年 3 月出生, 山东济南人。2013 年毕业于国防科技大学电子科学与工程学院, 获工学博士学位。现为国防科技大学电子科学与工程学院工程师, 主要从事延迟容忍网络路由协议方向的研究。



安成锦 女, 1982 年 9 月出生, 河南民权人。2010 年毕业于国防科技大学电子科学与工程学院, 获工学博士学位。现为国防科技大学电子科学与工程学院讲师, 主要从事网络协议分析与识别、SAR 图像处理等方向的研究。



唐朝京 男, 1962 年 4 月出生, 江苏武进人。国防科技大学电子科学与工程学院教授, 博士生导师。主要研究方向为信息安全、空间通信和量子通信等。