

基于信誉值维护的机会网络自私节点检测机制

唐作用¹, 袁艺嘉¹, 董永强^{1,2}, 吴国新^{1,2}

(1. 东南大学 计算机科学与工程学院, 江苏 南京 211189; 2. 东南大学 计算机网络和信息集成教育部重点实验室, 江苏 南京 211189)

摘要: 机会网络中自私节点的存在严重影响路由转发的性能。为在路由时避开此类节点、消除其对网络性能的影响, 提出了一种基于信誉值维护的自私节点检测机制, 通过两跳 ACK 消息来监测节点行为, 利用监测信息计算节点的信誉值, 并将其作为判断节点是否自私的依据。在多种路由算法上加载该检测机制进行仿真实验, 结果表明该检测机制可准确识别机会网络中的自私节点, 提高消息投递的成功率, 并能有效控制消息副本数和网络开销。

关键词: 机会网络; 自私节点; ACK; 信誉机制

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1000-436X(2012)Z2-0217-05

Detection of selfish nodes based on credit mechanism in opportunistic networks

TANG Zuo-yong¹, YUAN Yi-jia¹, DONG Yong-qiang^{1,2}, WU Guo-xin^{1,2}

(1. School of Computer Science and Engineering, Southeast University, Nanjing 211189, China;

2. Key Laboratory of Computer Network and Information Integration, Southeast University, Nanjing 211189, China)

Abstract: The existence of selfish nodes seriously affects the routing performance of opportunistic networks (OppNet). To protect the OppNet against the nodes' selfish behavior, a credit-based selfish nodes detection mechanism was proposed to make it possible to keep away from such nodes during the process of message forwarding. The mechanism leverages 2-ACK messages to observe the nodes' behavior. Then the credit value was calculated based on the observation information and accordingly acts as the metric to distinguish the selfish nodes. Simulation results show that, when coupled with various routing algorithms, the mechanism could detect selfish nodes out accurately, and improve network performance effectively in terms of delivery rate and traffic load.

Key words: opportunistic network; selfish node; ACK; credit mechanism

1 引言

机会网络是一种不需要源节点和目的节点之间存在完整路径, 利用节点移动带来的相遇机会实现通信的移动自组织网络^[1]。机会网络的路由依赖于多跳的、相互协作的通信。一般认为中间节点无

偿为其余节点提供转发服务, 但网络中可能会存在较自私的节点, 只享受网络为自己提供的服务, 而不为其余节点提供转发服务。

根据节点参与网络的程度, 将自私节点分成 3 类: 第 1 类节点只接收消息而不转发其余节点的消息; 第 2 类节点直接忽略其余节点的消息, 既不接

收稿日期: 2012-11-02

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61272532); 江苏省自然科学基金资助项目(BK2010414); 计算机网络和信息集成教育部重点实验室开放基金资助项目(K93-9-2010-26)

Foundation Items: The National Natural Science Foundation of China (61272532); The Natural Science Foundation of Jiangsu Province (BK2010414); The Key Laboratory of Computer Network and Information Integration, Ministry of Education. (K93-9-2010-26)

收,也不转发;第3类节点的行为以自身的状态为条件,自身资源充足时表现为合作节点,自身资源匮乏时表现为自私节点,或者根据自身的喜好,对不同的节点表现出不同的合作行为。

本文讨论对第1类自私节点的检测。这类节点采取各种策略来逃避转发任务,最直接的策略是丢弃其他节点转发来的消息。这种不合作行为严重影响了网络性能。一方面消息正常到达目的节点的机会减少,因而投递成功率下降;另一方面自私节点接收消息的开销成为网络无效流量,影响了网络开销^[2]。

如图1所示,节点*i*与节点*j*、*k*相遇,节点*j*是合作节点,节点*k*是自私节点。当节点*i*把消息转发给节点*k*,节点*k*可能不把消息转发出去,节点*k*接收消息的流量成为无效流量。并且,由于机会网络中节点连通时间有限,节点*i*可能错失把消息转发给节点*j*的机会,而使部分消息无法成功投递。

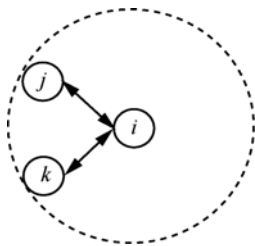


图1 自私节点对网络的影响

2 相关工作

现有的移动自组织网络对自私节点的检测方案,通常包括2部分内容:一是对节点行为的监测;二是信誉值的计算和维护。

节点行为监测大多采用了类 Watchdog 的方法。Watchdog 在文献[3]中首次提出,它的工作原理是:节点把发送给下一跳节点的消息放在缓冲区中,然后利用广播信道的特性,侦听下一跳节点是否转发了该消息。若在规定的时间内下一跳节点无更改地转发了此消息,则说明下一跳节点行为良好;反之说明下一跳节点出现了不合作行为。Watchdog 在普通移动自组织网络中效果良好,但机会网络邻居节点相对不固定,节点往往无法直接监测下一跳节点是否转发了消息。因此这种监测方法在机会网络中并不可行。

信誉值^[4]是节点在以往与其余节点交互的过程中积累的对其行为的量化评价。信誉值可作为判断

节点是否合作的依据,现有方案在信誉值维护的策略上不尽相同。

Watchdog & Pathrater^[3]和 OCEAN^[5]统计节点的行为,若观察到节点正常转发消息则信誉值增加,出现不合作行为则信誉值减小,当信誉值低于某个阈值时则认定其为自私节点。这2种方案都只利用了节点自身对邻居节点的观察信息,在计算信誉值时缺少与其余节点的交互。

CONFIDANT^[6]的节点在观察到不合作行为时,向其余节点发送告警消息。在计算信誉值时,综合考虑了节点自身的观察信息、邻居节点的观察信息以及其余节点的告警信息,并给不同的信息赋予不同的权值。由于考虑了网络中其余节点的监测信息,信誉值更准确了。但告警消息仅反映节点的不合作行为,对合作行为缺乏交互。

CORE^[7]的信誉值包括主观信誉值、间接信誉值和功能性信誉值,最后的信誉评价是这三者的综合。其中,间接信誉值来自社区中的其他节点,社区中节点的交互增强了信誉值的准确性。但在机会网络里,节点移动性较强,邻居节点不固定,社区划分不明显,CORE 的准确性得不到保证。

本文的信誉值维护方案从已有几个方案发展而来,节点之间保持最大程度的信誉值交互,提供相对全面客观的信誉信息。

3 机会网络自私节点检测机制

本文提出一种适用于机会网络的自私节点检测机制,包括3部分:基于2-ACK的节点行为监测;基于节点间交互的信誉值维护;基于综合信誉值的自私节点检测。

3.1 基于2-ACK的节点行为监测

所谓2-ACK,指的是某节点正确接收到上一跳节点转发来的消息后,主动向其再上一跳节点发送ACK确认消息的机制。ACK消息在网络中以泛洪的方式传播,节点通过监听向下第二跳节点发送的ACK消息,判断其下一跳节点是否正确转发了消息。

设定网络中每个节点均有记录合作行为的 α 计数器和记录非合作行为的 β 计数器。节点对与之有过交互的每一个节点均设置这2个计数器,2个计数器的值作为信誉值计算的基本参数。

如图2所示,节点*S*将消息转发给节点*i*。

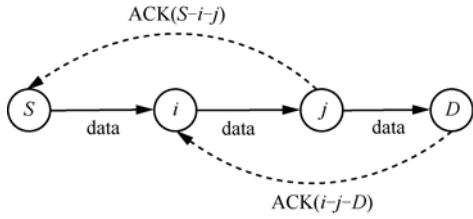


图2 节点行为监测

若节点 i 为合作节点，将消息转发给节点 j 。节点 j 收到消息后，产生一个以节点 S 为目的地址的 ACK 消息，表明节点 i 已正确将数据消息转发给了下一跳节点 j 。节点 S 收到 ACK 消息后检查其有效性，确认节点 i 成功将消息转发给了某下一跳节点，则节点 S 对节点 i 的 α 计数器自增 1。

若节点 i 为自私节点：节点 i 没有将消息正确转发给下一跳节点，在规定的时间内，节点 S 不能收到任何关于节点 i 的 ACK 报文，在截止时间到达时，节点 S 对节点 i 的 β 计数器自增 1。

3.2 信誉值维护

为了提高信誉值的准确性，本文结合网络中各节点监测到的信息得出综合信誉值。信誉值的计算过程如图 3 所示。

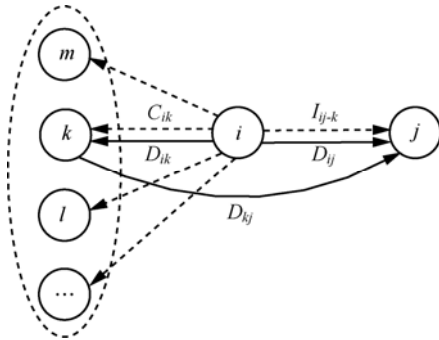


图3 信誉值计算

节点 i 计算对节点 j 的信誉值。图 3 中，节点 m 、 k 、 l 等是网络中除 i 、 j 之外的其他节点，为节点 i 提供关于节点 j 的间接信誉信息。 D_{ij} 、 D_{kj} 分别表示节点 i 、 k 对节点 j 的直接信誉值， D_{ik} 表示节点 i 对节点 k 的直接信誉值， I_{ij-k} 表示节点 i 从节点 k 处获得的对节点 j 的间接信誉值， C_{ik} 表示节点 i 认定节点 k 的可信度。

3.2.1 直接信誉值

直接信誉值 (D_{ij}) 是节点 i 根据监测到的节点 j 的历史转发行为计算出的信誉值， $D_{ij} \in [0, 1]$ 。 D_{ij} 定义为节点 j 为节点 i 转发的消息数与从节点 i 处接收到的消息数的比值，即

$$D_{ij} = \frac{\alpha_{ij}}{\alpha_{ij} + \beta_{ij}} \quad (1)$$

3.2.2 间接信誉值 I_{ij-k}

当节点 i 计算节点 j 的信誉值时，把网络中其他节点 k 对节点 j 的信誉值作为参考。节点 i 从推荐节点 k 处获取到的对节点 j 的间接信誉值 I_{ij-k} ，在数值上等于节点 k 对节点 j 的直接信誉值，即 $I_{ij-k} = D_{kj}$ 。

每个节点维护一个二维的直接信誉值表 (如表 1 所示)，表中第 i 行 j 列的元素记录节点 i 对节点 j 的直接信誉值 D_{ij} ，每个节点对其自身的直接信誉值设为 1。当节点 i 对节点 j 的 α 或 β 变化时，节点 i 更新表中相应元素的信誉值 D_{ij} 。当节点 i 与节点 j 相遇时，节点 i 更新第 j 行的数据，节点 j 更新第 i 行的数据。

	i	j	k	...
i	1	D_{ij}	D_{ik}	...
j	D_{ji}	1	D_{jk}	...
k	D_{ki}	D_{kj}	1	...
...

3.2.3 综合信誉值

节点 k 为节点 i 提供的间接信誉的权值，随节点 i 对节点 k 的信任程度而变化。引入可信度的概念 C_{ik} ，表示节点 i 认定推荐节点 k 的间接信誉值 I_{ij-k} 的可信程度。 C_{ik} 在数值上设定为节点 i 对节点 k 的直接信誉值 D_{ik} 。

考虑直接和间接信誉信息之后得出的综合信誉值如下。

$$T_{ij} = \frac{1}{\sum_{k \in N} D_{ik}} \sum_{k \in N} (D_{ik} * D_{kj}) \quad (2)$$

式(2)中 N 表示提供信誉值的节点集合，是网络中除去节点 j 之后的节点集。节点 i 计算对节点 j 的综合信誉值时，只需从节点 i 的直接信誉值表中读取第 i 行和第 j 列的值并求向量点积，再进行归一化便可得出综合信誉值。

3.3 自私节点检测

综合信誉值是判断节点是否自私的直接依据。网络中每个节点维护并计算对其他节点的综合信誉值，并设定一个信誉值的阈值。若关于某节点的信誉值高于此阈值，认为该节点行为良好；若信誉值低于此阈值，则认定其为自私节点。

通常，机会网络中的节点是否转发数据，取决于节点能否转发和是否愿意转发两方面因素，前者受路由策略的影响。根据上面的方法计算出的信誉值本身并不能区分这两方面情况。为使信誉阈值本身能较准确地反映节点的转发意愿而不受或少受路由策略的影响，节点可根据实测的自身信誉值自适应地设定信誉阈值，作为判断其他节点是否合作的参考标准。

4 仿真实验

本节采用机会网络仿真工具 the ONE^[8]对上述自私节点检测机制的有效性进行验证。

在 Epidemic^[9]、SprayAndWait^[10]、Prophet^[11]和 FirstContact^[12] 4 种路由算法上加载自私节点检测机制，分别表示成 T-Epidemic、T-SprayAndWait、T-Prophet 和 T-FirstContact。加载自私节点检测机制的方法是在路由时避开自私节点，不向自私节点发送消息。

仿真环境的相关配置如表 2 所示。实验中，合作节点提供尽力的转发服务，而自私节点以一个较低的概率 TP_i 转发消息。信誉阈值设为实测的动态值，节点 i 根据式(2)可计算自身信誉值 T_{ii} ，若自身为合作节点，设定自身信誉值阈值为 $0.5T_{ii}$ ，若自身为自私节点则设定阈值为 $0.5(T_{ii}/TP_i)$ 。实验中设定自私节点所占比重从 0% 到 80%，观察其对网络性能的影响。

表 2 仿真环境配置	
参数	值
仿真时间	120h
模拟区域大小	4 500m×3 400m
移动模型	ShortestPathMapBasedMovement
节点数量	100
节点移动速率	0.5~1.5m/s
节点通信方式	bluetooth
节点通信半径	10m
数据传输速率	100kbit/s
消息大小	100k
节点缓存大小	30M
自私节点转发消息概率	0%~20%

4.1 检测机制的可靠性

图 4 是在 4 种路由机制之上加载检测机制之后，对自私节点的检测率。

从图 4 中可以看出，节点对网络中自私节点的检测率均在 85% 以上，当自私节点的比例上升时，检测率呈下降趋势。

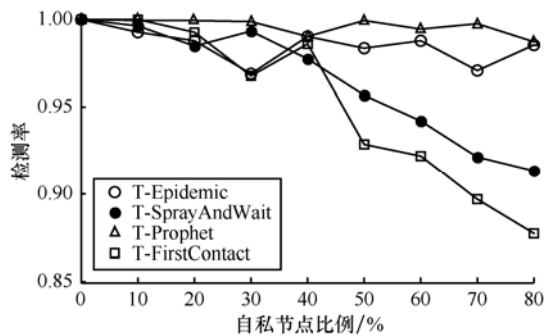


图 4 自私节点检测率

4.2 投递成功率

投递成功率指成功到达目的节点的消息数与源节点创建的消息数的比值。

图 5 显示，在没有加载检测机制时，Epidemic、SprayAndWait、Prophet 和 FirstContact 的投递成功率随着自私节点数量的增加迅速下降。

加载检测机制后，SprayAndWait 和 FirstContact 的投递成功率有显著提高，这是因为二者在网络中的消息副本数有限，尽可能把副本递交给合作节点有利于消息的成功投递。而 Epidemic 和 Prophet 消息副本数目没有限制，因而加载检测机制前后变化较小。

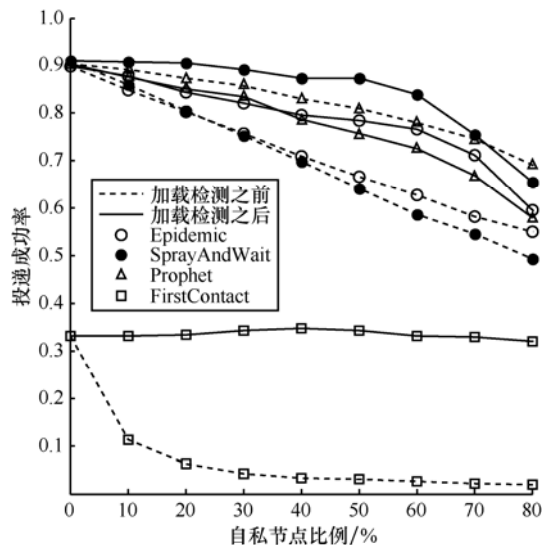


图 5 投递成功率

4.3 网络开销

网络开销指网络中每成功投递一个消息，网络为此付出的代价，计算方法为网络中转发消息的副本总数与成功交付的消息数的比值。该值在一定程度上反映了网络的资源利用率。

加载检测机制之后，由于能较准确识别自私节点，在消息转发时避开自私节点，因而能减少节点

间的无效交互。图 6 表明，各种路由机制都在一定程度上降低了网络开销、减小了无效流量。

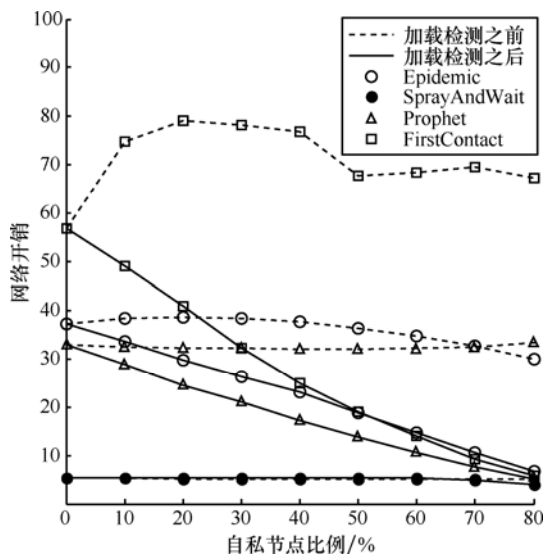


图 6 网络开销

5 结束语

机会网络中节点的非合作行为对消息的投递成功率、网络开销等造成不良影响。本文提出了一种基于 2-ACK 的节点行为监测机制，并利用监测信息计算节点信誉值，将其作为判断节点是否自私的依据。实验表明，该机制能较准确地检测出网络中的自私节点。与典型的机会网络路由机制配合使用后，消息在网络中沿着合作节点进行传递，投递成功率、网络开销等性能指标得到改善。

本文只讨论了第一类自私节点的检测机制，对于另 2 类自私行为的研究，将作为未来工作展开。另外，为减少非合作行为带来的损失，还需要设计一定的奖惩机制以引导自私节点转入合作状态，促使网络良性运转。

参考文献：

[1] 熊永平, 孙利民, 牛建伟等. 机会网络[J]. 软件学报, 2009, 20(1): 124-137.
XIONG Y P, SUN L M, NIU J W, *et al.* Opportunistic networks[J]. Journal of Software, 2009, 20(1): 124-137.

[2] SUN Y L, HAN Z, YU W, *et al.* A trust evaluation framework in distributed networks: vulnerability analysis and defense against attacks[A]. IEEE International Conference on Computer Communications (INFOCOM 2006) [C]. Barcelona, Spain, 2006. 1-13.

[3] MARTI S, GIULI T J, LAI K, *et al.* Mitigating routing misbehavior in

mobile ad hoc networks[A]. International Conference on Mobile Computing and Networking[C]. Boston, USA, 2000. 255-265.

[4] JOSANG A, ISMAIL R, BOYD C, *et al.* A survey of trust and reputation systems for online service provision[J]. Decision Support Systems, 2007, 43(2): 618-644

[5] BANSAL S, BAKER M. Observation-based cooperation enforcement in ad hoc networks[R]. USA: Stanford University, cs/0307012, 2003.

[6] BUCHEGGER S, BOUDECE J L. Performance analysis of the confidant protocol[A]. ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking Computing[C]. Lausanne, Switzerland, 2002. 226-236.

[7] MICHIARDI P, MOLVA R. Core: a collaborative reputation mechanism to enforce node cooperation in mobile ad hoc networks[A]. IFIP TC6/TC11 Sixth Joint Working Conference on Communications and Multimedia Security: Advanced Communications and Multimedia Security[C]. Portoroz, Slovenia, 2002. 107-121.

[8] KER A, NEN J. The ONE simulator for DTN protocol evaluation[A]. International Conference on Simulation Tools and Techniques[C]. Rome, Italy, 2009. 1-10.

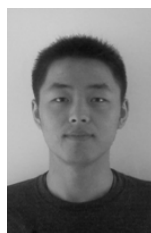
[9] BECKER V D. Epidemic Routing for Partially Connected Ad Hoc NetWorks[R]. USA: Duke University, CS-2000-06, 2000.

[10] SPYROPOULOS T, PSOUNIS K, RAGHAVENDRA C S. Spray and wait: an efficient routing scheme for intermittently connected mobile networks[A]. ACM SIGCOMM Workshop on Delay-tolerant Networking[C]. Philadelphia, USA, 2005. 252-259.

[11] LINDGREN A, DORIA A, SCHEL O, *et al.* Probabilistic routing in intermittently connected networks[J]. SIGMOBILE Mobile Computing Communications Review, 2003, 7(3): 19-20.

[12] SUSHANT J, KECIN F, RABIN P. Routing in a delay tolerant network[A]. Conference on Applications, Technologies, Architectures and Protocols for Computer Communications[C]. New York, USA, 2004. 145-158.

作者简介：



唐作用 (1987-), 男, 湖南邵东人, 东南大学硕士生, 主要研究方向为机会网络。

袁艺嘉 (1987-), 女, 四川绵阳人, 东南大学硕士生, 主要研究方向为机会网络。

通信作者董永强 (1973-), 男, 河南浉池人, 博士, 东南大学副研究员, 主要研究方向为网络资源分配、移动网络计算。E-mail: dongyq@sell.edu.cn。

吴国新 (1956-), 男, 安徽歙县人, 东南大学教授、博士生导师, 主要研究方向为对等/自组织网络、可信计算与分布式系统。