

移动 Ad hoc 网络基于信誉系统的节点协作方案

王立, 吴蒙, 常莉

(南京邮电大学通信与信息工程学院, 江苏南京 210003)

摘要:在移动 Ad hoc 网络(MANET)中,节点的远距离通信需要中间节点的协作,中间节点通过转发数据包将信息传递给目的节点。但是,自私节点为了节省资源(如电池电量,带宽)将不属于自己的数据包丢弃。如果没有合理的机制处理自私节点,正常的节点将会过载,从而使整个网络的性能退化。提出在 Ad hoc 网络中针对自私节点促使其转发数据包的一种分布式协作方案。方案采用信誉和货币机制相结合的策略达到减少自私节点、改善网络环境的目的。理论分析和仿真结果表明,该方案比传统的方法更快更准确地检测到自私节点,提高合作节点,减少自私节点的吞吐量。

关键词: MANET;信誉系统;自私节点;节点协作

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2010)03-0032-04

A Scheme to Node Cooperation Based on Reputation System in Mobile Ad hoc Networks

WANG Li, WU Meng, CHANG Li

(College of Telecommunication & Information Engineering, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

Abstract: In MANET, long-distance communication between nodes needs cooperation of intermediate nodes, which transmit the information to destination through forwarding packets. But for saving its own resources (e.g. battery power, bandwidth) selfish node drops packets which are not belonging to itself. If have not proper mechanism to prevent these selfish nodes, non-selfish nodes will be overloaded, therefore the whole network will degrade. Propose an distributed scheme on selfish nodes to force them to forward packets. Combine reputation-based and currency-based to mitigate selfish nodes and improve the environment of network. Theory analysis and the results of emulator shows that the proposed scheme detects selfish nodes faster and accurately. This scheme increases throughput of well-behaving nodes and decreases selfish nodes' throughput.

Key words: MANET; reputation system; selfish node; node cooperation

0 引言

MANET 是一组无线移动节点随机组合而成的多跳自治网络,不需要依附任何事先存在的设施或中央管理系统。在这个自治网络中,每个节点不仅是终端也是路由器,有发送和接收数据包的“权利”,也有转发数据包的“义务”。

MANET 根据它们的组网技术大致分为两种模式^[1]:管理模式和纯模式。管理模式下的 Ad hoc 网络保留了可信任的第三方,这类网络需要预先对网络的容量和环境有一个大概的了解。相比之下,纯模式下

的 Ad hoc 网络只有一些自发的节点组织而成,又因为节点转发数据包要消耗电池电量、带宽等资源。如果没有合理的激励机制,它们是不愿意为其他节点转发数据包的。

在 MANET 中增强节点协作性方案可以大致分为基于市场和基于信誉两大类。基于市场的系统在源节点或是目的节点的账户上扣除相应的费用来补偿中间节点转发数据包所消耗的资源,代表方案有 Nulglets^[2], Sprite^[3]。信誉机制依赖的是节点间的监听以及对邻居节点的信任,鼓励所有的节点行为正常化,防止不信任节点接入网络^[4],代表方案有 Watchdog and Pathrater^[5], CONFIDANT^[6], CORE^[7]。

协作节点的缺少将会迅速降低整个网络的性能^[1,2,5]。基于信誉系统,提出了在移动 Ad hoc 网络中激励并促使自私节点协作的方案。网络中的节点监控一跳范围内的邻居节点并对它们进行信誉评价,为了

收稿日期:2009-07-17;修回日期:2009-10-19

基金项目:国家 863 计划项目(2006AA01Z208)

作者简介:王立(1985-),男,硕士生,研究方向为无线通信与信号处理技术;吴蒙,博士生导师,研究方向为无线通信与信号处理技术和信息安全。

改善评价的精确性,同时考虑其它节点的意见。任何时候节点发送数据包,都可以选择最可靠的路由,避开自私节点。此外,节点之间应该根据信誉值进行相应的服务,保持与其他节点间的账户平衡。

1 节点协作方案

该方案可在 Ad hoc 网络中的任何路由协议下使用,促使节点协作,惩罚不协作节点。

1.1 实施前提

- (1)该方案所指的自私节点是在行为上只发送自己的数据包,不为其他节点转发数据包;
- (2)不考虑恶意节点和密谋节点;
- (3)每个节点的无线接口支持混合模式,节点总能够监听到信号范围内的邻居节点;
- (4)每个节点的天线都是全向的,所有的链路都是双向的,且每个节点的信号范围是相等的。

1.2 方案的详细内容

方案包含了4个主要模块:监控模块、评价模块、信誉和账户模块、路由和转发模块。所有的模块都安装在节点上组成该节点的信誉系统,图1显示了模块之间的关系。

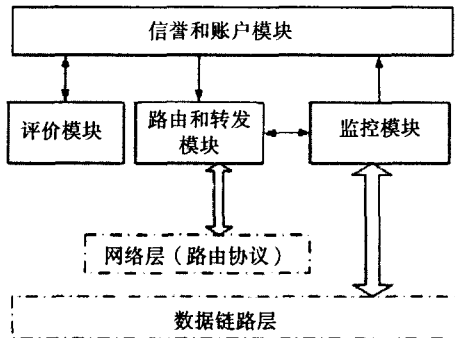


图1 系统模块组成

1.2.1 监控模块

该模块收集节点的转发信息。在混合模式下,节点使用看门狗机制^[5]监听信号范围内的所有邻居节点,并观察它们的转发行为。看门狗使用两个计数器——RF和HF,跟踪每一个邻居节点的转发行为。RF_i(j)代表节点i请求节点j转发数据包的数量;HF_i(j)代表j为i转发数据包的数量,这两个值在检测周期T_p内保持更新。

图2显示了看门狗的工作原理。当i向n发送数据包时,需要中间节点j的转发。i把数据包发送给j的同时,也向g,f,e发送了数据包。j转发数据包时,i,f,g,e都在监听j的行为。监听时,它们把要发送的数据包拷贝到自己的缓存区,缓存区里每增加一个数据包,计数器RF就加1,最后设定每个包最长转发时间T。

在时间T内,若j转发一个数据包,i,g,f,e就从缓存区中移除一个数据包,计数器HF加1;若超过时间T,j还没有转发,HF不增加,它们继续从缓存区中移除数据包。一般情况下,当j收到数据包时,为了增加HF值,无论从哪个节点发送过来,都会转发。

数据包转发链路

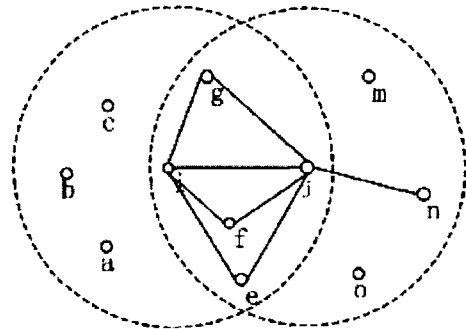


图2 看门狗工作原理

监控模块根据现有条件计算出新值ω,称为节点的可靠度。ω_i(j)可由公式ω_i(j) = HF_i(j) / RF_i(j)得出,表明在检测周期T_p内,j转发的数据包越多可靠度越高。

此外,监控模块还收集其他邻居节点在周期T_p内获得的j转发数据包的数量(如HF_k(j),k ∈ {e, f, g})。最后将这些节点的可靠度ω_i(k)及HF_k(j)一并上传给信誉和账户模块。

1.2.2 评价模块

该模块周期性地对邻居节点进行信誉评价(直接评价),同时收集其他节点的意见(间接评价),然后将这些评价发送到信誉和账户模块。在周期T_p内,对同一节点的重复评价将被删除。由于考虑了其他节点的意见,减少了因某些节点的谎报行为而影响最终信誉值的可能性。

1.2.3 信誉和账户模块

该模块根据评价模块和监控模块上传来的数据,计算出信誉值,并最终将信誉值发送到路由和转发模块,供路由选择用。

每个节点的信誉和账户模块都有一张信誉表,记录了三个指标:节点ID号(如图2所示的i,j,k,...),信誉值R(如i观察j的信誉值记为R_i(j)),借贷账户D(如i关于j的借贷账户为D_i(j))。

R的变化范围在-1和1之间。R为正,代表被观察节点的行为是协作的,若为负,则是不协作的。对于刚进入网络的节点,R的初始值为0。

D的初始值为0。i为j每转发一个数据包,D_i(j)减1;j为i每转发一个数据包,D_i(j)加1。D_i(j)出现负值意味着i为j转发的数据包多于j为i转发的数据包。D_i(j)的下限由R_i(j)来判定,即要视j在网络中

的转发行为来定。

从节点 i 的角度看, 决定 j 的信誉值有两部分, 一部分是 i 对 j 的直接观察, 一部分是其他节点对 j 的间接观察。

节点 i 对 j 的直接观察可由公式 $R_{i, new}(j) = \alpha^x \cdot R_{i, old}(j) + (1 - \alpha^x) \cdot O_i(j)$ 得出。其中 $O_i(j)$ 代表当前 i 观察 j 的结果, $O_i(j)$ 为正, 代表 j 的行为是协作的, 同时置 x 为 1; 若为负, 代表 j 的行为是不协作的, 此时置 x 为 2。 $R_{i, old}(j)$ 代表 j 的历史信誉值。 α 是 $R_{i, old}(j)$ 的权值, 依赖于 $HF_i(j)$, 变化范围在 $0 \sim 1$ 之间。 j 转发数据包越多, 可靠度就越高, 相应 α 值也会增加, α 可由公式 $\alpha = 1/2(1 + \lambda \cdot C_i(j))$ 得出。其中 $C_i(j)$ 是 $HF_i(j)$ 的正规化值, 在 $0 \sim 1$ 之间变化。如果 α 的值为 1, 就会出现 $R_{i, new}(j) = R_{i, old}(j)$, 说明周期 T_p 内没有数据包转发活动, 但事实上是不可能的。为防止以上情况, 故设 λ 为 $C_i(j)$ 的调节因子, 变化范围在 $0 \sim 0.9$, 相应 α 的值就在 $0 \sim 0.95$ 之间。

其他节点对 j 的间接观察可由公式 $R_m(j) = [\sum_{k \in s_i \cap s_j} \omega_i(k) \cdot R_k(j)] / [\sum_{k \in s_i \cap s_j} \omega_i(k)]$ 得出。其中 s_i 代表在 i 信号范围内的观察节点, s_j 代表在 j 信号范围内的观察节点, k 选取在 i, j 信号范围交集内的节点, 保证了 i 获得关于 j 最准确, 时延最小的信息。

在周期 T_p 末, j 的信誉值的更新要依赖于 i 的直接观察和其他节点的间接观察, 公式如下:

$$R_i(j) = \gamma \cdot R_{i, new}(j) + (1 - \gamma) \cdot R_m(j)$$

参数 γ 是 $R_{i, new}(j)$ 的权值, γ 越高, 说明 i 对 j 的评价越重要, γ 的最低门限值为 0.5, 计算公式为:

$$\gamma = \frac{1 + C_i(j)}{1 + C_i(j) + 1/2 \cdot \delta \cdot \bar{\omega}_i(v_j) \cdot (\bar{C}_m(j) + Q(v_j))}$$

其中 $\bar{\omega}_i(v_j)$ 代表所有观察节点的平均可靠度; $\bar{C}_m(j)$ 代表在周期 T_p 内其他节点观察 j 转发数据包数量的正规化均值; $Q(v_j)$ 代表观察节点数量的正规化值; δ 是对其他节点评价的调节因子, 取值 $0.5 \sim 1$ 之间。

1.2.4 路由和转发模块

该模块直接与路由协议接触, 根据信誉信息考察现有路由的可靠性, 然后选择最短的可靠路由。路由的可靠性取决于路径上所有中间节点的可靠性, 公式为 $P_i(p_n, j) = \prod_{k \in p_n} \omega_i(k)$, i 代表源节点, j 代表目的节点, p_n 代表数据包从 i 到 j 所经过的路径。

该模块根据信誉值评价节点的行为, 一旦源节点被认为是自私节点, 那么从该节点发送的数据包将会被中间节点丢弃; 若目的节点被认为是自私节点, 那么发送给目的节点的数据包也会被中间节点丢弃。

节点的借贷账户依赖于该节点转发数据包的数量

和信誉值。节点转发的数据包越多或者信誉值越高, 则借贷账户的额度越高。当出现 $D_i(j) > 0$ 且 $R_i(j) < 0$ 情况时, i 依旧会为 j 转发数据包, 直到 $D_i(j) = 0$, 如果 $D_i(j) < 0$, 说明 i 为 j 转发的数据包超过了 j 为 i 转发的数据包, 此时 j 就会受到 i 的惩罚, 选择路由时 i 会绕开节点 j 。

2 仿真结果

2.1 参数设置

使用 NS-2^[8] 模拟器对该方案性能进行仿真。仿真环境如表 1 所示。假定自私节点数上限为 20, 自私节点的丢包率控制在 0.1 至 1 之间。仿真时间为 1000s, 每个仿真次数为 20 次。

表 1 NS-2 仿真场景设置

参数	值
模拟区域	1000m×1000m
节点数量	50
最大速率	20m/s
信号覆盖半径	250m
传播模型	Two-Ray Ground Reflection
路由协议	DSR
业务类型	CBR
数据包大小	512bytes
包传输速率	4pkt/s
节点最大连接数	20
λ	0.9
δ	0.95

2.2 结果分析

图 3 显示了随着自私节点(丢包率设为 0.6)的增加, DSR 网络吞吐量下降较明显, 这是因为自私节点仅发送自己的数据包而拒绝转发数据包, 从而使数据包都流向正常节点, 导致正常节点负载过大, 资源迅速耗尽, 最终退出网络。而在该方案中, 由于采用了节点的信誉评价和借贷账户的方法, 自私节点的行为得到了有效的约束, 吞吐量始终保持在较高水平。

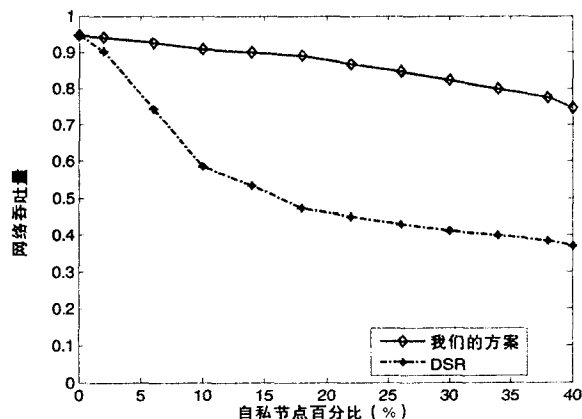


图 3 自私节点与网络吞吐量关系

图 4 说明了随着检测周期 T_p 的延长, 流量开销减小的同时, 未检测出的自私节点(自私节点占有所有节点

的10%,丢包率设为0.6)逐步增多。这是因为周期 T_p 的延长使网络在单位时间内用于检测自私节点的开销减少。开销的减少会引起自私节点的检测率下降。可以看出,在 $T_p = 15s$ 的时候,开销占整个网络流量的13.6%,近14%的自私节点未检测出,两者比例均衡,是一个比较理想的检测周期。

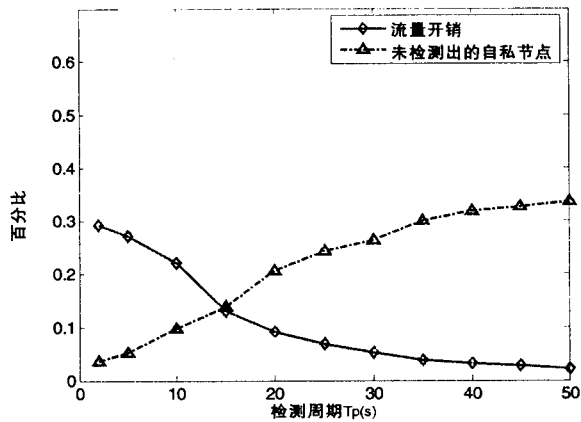


图4 检测周期与自私节点检测率关系

图5说明了在丢包率不同的情况下,随着自私节点的增加,检测率逐步下降。当丢包率为0.9时,检测率还能保持在80%以上;当丢包率为0.3时,自私节点的增多严重影响了检测率,当自私节点到达40%时,检测率迅速降为61.8%。说明相同数量的自私节点,其丢包行为越频繁,系统的检测率越高。

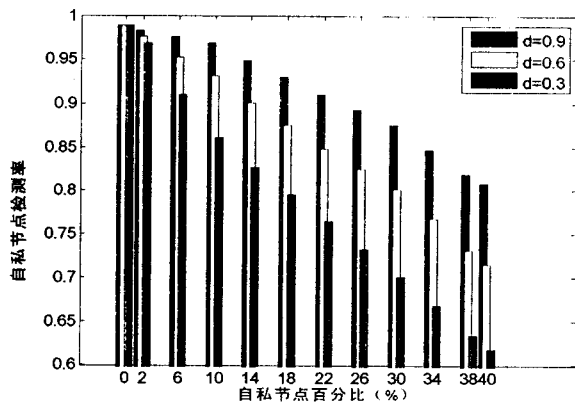


图5 丢包率与自私节点检测率关系

3 结束语

移动 Ad hoc 网络是目前无线网络中研究的热点,其安全性受到越来越多的关注和研究。文中提出了在 Ad hoc 网络中识别并促使自私节点协作的有效方案,通过实验仿真分析了该方案的性能。特点如下:

- 1)方案结合了基于信誉和货币的两种机制,提高了自私节点协作的可能性;
- 2)引入货币策略,保持节点之间的借贷账户平衡,

同时保持节点之间的公平服务;

3)评价节点时,考虑了其他节点的意见,使检测自私节点的效率和精确度有所提高;

4)在路由选择阶段使用信誉值作为参考,建立可靠路由,提高了网络的吞吐量。

方案在对邻居节点进行信誉评价时,只考虑了一跳范围内其他节点的意见。在未来的工作中,可以适当延伸,将两跳范围内的节点意见也考虑进来,从而能更精确地计算出邻居节点的信誉值,当然这会产生更高的流量开销,如何平衡两者是要考虑的问题。

参考文献:

- [1] Pirzada A A, McDonald C H, Datta A. Performance Comparison of Trust - Based Reactive Routing Protocols[J]. IEEE Transaction on Mobile Computing, 2006, 5(6): 695 - 710.
- [2] Buttyan L, Hubaux J. Enforcing Service Availability in Mobile Ad Hoc WANS[C]//Proc. IEEE/ACM Workshop Mobile Ad Hoc Networking and Computing (MobiHOC). Boston, Massachusetts, USA: [s. n.], 2000: 87 - 96.
- [3] Zhong S H, Chen J, Yang Y R. Sprite: A Simple, Cheat - Proof, Credit - Based System for Mobile Ad Hoc Networks [C]//IEEE INFOCOM 2003, Twenty - Second Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. San Francisco, California, USA: [s. n.], 2003: 1987 - 1997.
- [4] Resnick P, Zeckhauser R. Trust among strangers in internet transactions: Empirical analysis of ebay's reputation system [M]//In: Baye M. Advances in Applied Microeconomics: The Economics of the Internet and E - Commerce. [s. l.]: Elsevier Science Ltd. , 2002: 127 - 157.
- [5] Marti S, Giuli T, Lai K, et al. Mitigating Routing Misbehavior in Mobile Ad Hoc Networks[C]//Proc. Sixth Ann. Int'l Conf. Mobile Computing and Networking (MobiCom). Boston, Massachusetts, USA: [s. n.], 2000: 255 - 265.
- [6] Buchgger S, Boudec J. Performance Analysis of the Confidant Protocol: Cooperation of Nodes - Fairness in Distributed Ad Hoc Networks[C]//Proc. IEEE/ACM Workshop Mobile Ad Hoc Networking and Computing (MobiHOC). Atlanta, Georgia, USA: [s. n.], 2002: 226 - 236.
- [7] Michiardi P, Molva R. CORE: A Collaborative Reputation Mechanism to Enforce Node Cooperation in Mobile Ad Hoc Networks[C]//Proc IFIP TC6/TC11 Sixth Joint Working Conf. Comm. and Multimedia Security. Portoroz, Slovenia: [s. n.], 2002: 107 - 121.
- [8] The network simulator ns - 2[EB/OL]. 2009 - 01 - 06. <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>.