

# 机会网络中阶段性非增殖型传递算法的研究

关培源 陈志刚 吴嘉 郭霖

(中南大学软件学院 长沙 410075) (“移动医疗”教育部-中国移动联合实验室 长沙 410083)

**摘要** 目前,机会网络算法中,绝大部分都采取“数据包增殖”策略,即通过数据包的复制,来提高数据包在网络系统中的传递成功率。无论是以 Epidemic 算法还是以 Spray and Wait 算法为原型的改进型算法,其核心思想都是增殖。因此对传输过程进行了某种时段上的划分,提出了阶段性非增殖型传递算法 NPST(Non Proliferation Stage Transfer Algorithm)。该算法的核心思想是:在系统运行的初期,系统按照其他经典算法运行;当节点中缓存的数据包达到某种条件时,系统改用非增殖型策略,节点间数据包的转发不再产生新的副本,而是以“交换”的方式进行;在系统运行的中期及后期,该算法能有效降低系统整体的路由开销及能量消耗,提高网络性能。

**关键词** 机会网络,非增殖型策略,阶段性,路由开销,能量消耗

**中图分类号** TN929.5 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2016.4.007

## Study on Non Proliferation Stage Transfer Algorithm Based on Opportunistic Network

GUAN Pei-yuan CHEN Zhi-gang WU Jia GUO Lin

(School of Software, Central South University, Changsha 410075, China)

(“Mobile Health” Ministry of Education-China Mobile Joint Laboratory, Changsha 410083, China)

**Abstract** At present, the vast majority of algorithms in opportunistic networks take “packet proliferation” strategy, namely using the packet replication to improve the success rate of data packet transmission in network system. The core idea of the improved algorithms based on Epidemic algorithm or Spray and Wait algorithm is the proliferation. In this paper, the transmission process was divided into a certain period of time, and the stage of non proliferative transfer algorithm NPST(Non Proliferation Stage Transfer Algorithm) was proposed. The core idea of this algorithm is that in the early stage of system operation, system operation runs in accordance with the other classical algorithms, and when the data packets in node cache meet some condition, the system uses non proliferative strategy, and the transmission of packets between nodes no longer generates new copies, instead, the packets transmit by the way of “exchange”. In the middle and later stages of system operation, the proposed algorithm can effectively reduce the routing overhead of the whole system, and improve the performance of the network.

**Keywords** Opportunity network, Non proliferation policy, Stage, Routing overhead, Energy consumption

## 1 背景介绍

机会网络<sup>[1]</sup>的部分概念来源于早期的延迟容忍网络(Delay Tolerant Network, DTN)<sup>[2]</sup>研究。DTN 最初是容迟网络研究组(DTNRG)为星际网络(Interplanetary Network, IPN)<sup>[7]</sup>通信而提出来的,其主要目标是支持具有间歇性连通、延迟大、错误率高等通信特征的不同网络的互联和互操作,如互联 Internet 和传感器网络、移动自组织网络等。DTN 网络体系由多个底层运行独立通信协议的 DTN 域组成,域间网关利用“存储-转发”的模式工作,当去往目标 DTN 域的链路存在时转发消息;否则,将消息存储在本地持久存储器中等待可用链路。机会网络可以看成是具有一般 DTN 网络特

征的无线自组网。

机会网络算法主要研究信息如何进行传递。传统的机会网络算法将结点信息进行复制拷贝,直接将拷贝信息传递到目标结点<sup>[3,4]</sup>,但是该过程会使得信息传输的延迟时间过长,造成网络传输效率低下。在该算法的基础上,基于 epidemic 的洪泛算法<sup>[5,6]</sup>在机会网络中得到应用,它能够降低结点等待传输数据包的时间,但是过度的洪泛会使得整个网络资源消耗偏大,冗余信息过多。在近几年的研究中,基于邻居结点信息传递的算法在机会网络相关研究中取得了一定的进展。

然而,无论是基于 Epidemic 算法还是基于 Spray and Wait 算法的改进型算法,其核心思想都是对需要传递的数据包进行复制,然后采用某种策略控制数据包副本的传输过

到稿日期:2015-06-01 返修日期:2015-07-25 本文受国家自然科学基金(61379057,61309001,61272149),教育部博士点基金优先发展领域课题(20120162130008),中南大学中央高校基金科研业务费专项资金(2015zzts232,2015zzts233)资助。

关培源(1987-),男,硕士生,主要研究领域为机会网络,E-mail: peiyuanguan@qq.com;陈志刚(1964-),男,博士,教授,主要研究领域为无线网络、分布式计算,E-mail: czg@mail.csu.edu.cn;吴嘉(1983-),男,博士生,主要研究领域为机会网络、软件工程,E-mail: jiawu5110@163.com;郭霖(1990-),男,硕士生,主要研究领域为无线认知网络、机会网络,E-mail: guolincs@gmail.com。

程<sup>[7]</sup>。这样一来,随着时间的推移,系统中将不可避免地充斥着各种数据包的副本。如果系统一直采用这种增殖策略来传播数据包,对单个数据包而言,其路由开销过大;对单个结点而言,其能量消耗不小;对整体网络而言,可能面临完全堵塞的情况。

通过对上述问题的分析,本文提出了阶段性非增殖型传递算法 NPST(Non Proliferation Stage Transfer Algorithm)。该算法将系统运行状态划分为两个阶段,在系统运行的中后期采用交换而非增殖的数据传播方式,从而有效降低系统整体的路由开销,提高网络性能。

## 2 相关工作

机会网络中的经典算法有 Epidemic, Spray and Wait, 而 Binary Spray and Wait 则是一种典型的基于 Spray and Wait 算法改进而来的算法。目前绝大部分的机会网络算法都采用了数据包增殖策略,以提高传输成功率。

Datta A 等人在文献[8]中提到, Epidemic 算法主要是通过相遇转发的方式实现信息的传递过程。该过程类似于“传染病”的感染模式。当携带信息的源结点和它的邻居相遇时,源结点和邻居结点会同时交换对方没有的信息给对方,这样的传递采用异或的模式;当完成信息的拷贝交换后,结点再将各自信息传递给其他相遇的结点。这样的方式使得网络中存在大量的冗余副本,结点的存储空间也会被大量占用,造成有用信息利用率较低的情况。

Spyropoulos T 等人在文献[9]中提到了 Spray and Wait 算法,其工作原理是:当源结点周围没有邻居结点时,源结点会寻找目标结点,并且直接将信息传递到目标结点;如果源结点周围存在邻居结点,源结点将自己的信息通过“喷洒”的方式传递到所有的邻居结点,每个邻居结点接收到源结点的信息后再进行信息的传递,重复上述的阶段。该算法改善了原有算法的长时间等待情况,但是由于没有考虑到邻居结点的数量问题,当邻居结点过多时,会因为源结点过多地“喷洒”造成结点的快速死亡。所以该算法在没有考虑选择邻居结点的情况下,在机会网络中不能取得很好的效果。

Wang G 等人在文献[10]中提到 Binary Spray and Wait 算法,其工作原理是:源结点先产生  $N$  个副本,之后在遇到第一个邻居结点时,将一半的副本发送给这个邻居;此后所有拥有该副本的结点在遇到新的邻居结点时,都将自己的一半副本发送出去,直到所有结点都只有一个副本。该算法在 Spray and Wait 算法的基础上进行了改进,但其问题和 Spray and Wait 算法相同,若邻居结点过多,源结点产生的副本数量  $N$  过大,情况不理想。

李季碧等人在文献[11]中提到一种自适应动态功率控制的机会网络路由算法(ERAPC)。该算法通过拓展确认字符(ACK)帧的使用改进了基于接收信号强度指示值(RSSI)的节点测距机制,将功率控制的范围从部分数据消息扩展到全部,以减少节点能耗;通过等待收发节点尽可能靠近后才传送数据,进一步减小节点能量消耗;通过提出一种更简捷的矢量消息交换新机制,减少网络控制开销。

马华东等人在文献[12]中提到移动机会网络基于节点接

触形成的通信机会逐跳转发数据,是满足物联网透彻感知与泛在互联的一种重要技术手段。机会路由作为实现间歇式连通环境下节点通信的基本方法,具有十分重要的研究意义。该文详细阐述了机会路由算法的评价指标、设计需求与转发机制,并介绍了研究进展;最后,对机会路由未来的研究趋势进行了分析与展望。

通过对相关工作进行综合比较与分析,本文提出了将系统运行状态进行划分,在不同状态下采用不同数据包传输策略的思想,形成了阶段性非增殖型传递算法(Non Proliferation Stage Transfer algorithm, NPST),从而降低了数据包传输过程中的路由开销,其可用于解决一些相关工作遗留下来的问题。

## 3 模型设计与算法分析

### 3.1 问题讨论

在机会网络中,由于不存在稳定的点对点之间的通讯链路,使得数据包的传播必须以“携带-转发-携带”的形式进行。大部分结点的运行轨迹可以概括为一个模糊的集合,但在具体的时间点上结点位置具有随机性。如果某数据包 1 需要从结点 A 传递到结点 B,则必须采取多副本的传递策略,以提高传输成功率,减少传输所需要消耗的时间,这是由机会网络本身的特点所决定的。但是,无论在数据包增殖的过程中采取何种措施,随着系统运行时间的推移,网络中必然会存在大量的数据包副本,造成结点快速死亡或可用缓存过低,从而导致网络性能严重下降。因此,能否采用某种策略控制网络系统中的数据副本数量成为一个重要课题。

### 3.2 机会网络中的数据包发送和接收过程

目前,在机会网络理论中,较为成熟且应用比较广泛的算法有 Spray and Wait 和 Binary Spray and Wait 等。

Spray and Wait 算法的特点是:结点在某个时刻将自己携带的全部数据包“喷洒”出去,传递给周围的所有邻居,实现数据包的转发。但是这种做法存在很大的问题。首先,邻居结点的存储空间比较有限,大部分情况下不能接收全部的数据包,这样会造成数据传输不完整,从而导致传输成功率降低;其次,在邻居结点数量较大的情况下,一次性发送大量的数据包给邻居容易造成较高的网络路由开销,消耗过多的结点能量。所以 Spray and Wait 算法不是理想的数据转发方案。

Binary Spray and Wait 算法在 Spray and Wait 算法的基础上进行了优化。它的核心思想是结点将  $1/2$  的数据包传递给邻居,自己保留剩余的数据包。这种做法能减少数据包的发送,有利于邻居结点的接收,也减少了能量消耗。但是,该算法只适用于结点较少的情况,如果结点数量大幅增长,随着发送数据包数量的增加,也会出现与 Spray and Wait 算法相同的问题。

上述两种算法都是典型的增殖策略算法,即数据包副本在网络中不断增加,从而达到传输的目的。然而,这种增殖型算法都有一个共同的固有缺点:无论采用何种控制方式,随着时间的推移和结点的交汇,数据包副本的数量还是会不断增长,造成网络性能下降。

因此,本文提出将数据包的传递分解为两个阶段,在第二

个阶段中采用非增殖型的交换算法,从源头上控制数据包副本规模的增长。

### 3.3 模型设计

NPST算法的核心在于根据不同的情况采用不同的策略,因此,要采用该算法模型,首先需要确定以下3个问题:以何种根据将系统划分为两个阶段?第一阶段采用什么算法?第二阶段采用什么算法?

系统之所以划分为两个阶段,是因为在采用单一经典算法的网络系统中,数据包副本的增长趋势明显表现为两个阶段。在系统运行的初期,由于大部分结点所携带的数据包副本都不多,因此结点相遇时有较大概率完成“复制-传播”这一过程,数据包副本增长较快。当系统运行到中后期时,大部分结点都面临着可用缓存不足、能量消耗过大等问题,此时即使结点经常相遇,但数据包副本的增长并不明显。因此,采用什么标准将系统划分为两个阶段直接影响到NPST算法的性能表现。

本文中采用“待发送数据包已复制次数”这一指标来衡量是否转换发送策略。对某结点A来说,假设A的待发送文件X已经复制过N次,则认为文件X在系统中已经经过充分的传播。当结点A再次发送X时,不再产生新的X副本,而是将X文件传递给邻居结点,而后将自身拥有的X文件删除。若A的待发送文件Y的复制次数不足N,则认为文件Y尚未传播足够多的副本,继续采用增殖型算法完成传播。

本文第一阶段采用Spray and Wait算法。如图1所示,该算法是典型的增殖型算法。针对数据包X,源结点将向系统中注入N个副本,而接收了副本的结点成为新的源结点,继续这一过程。

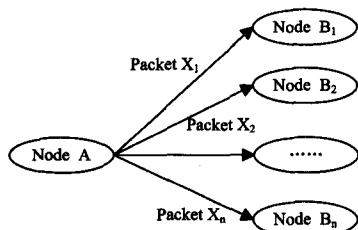


图1 Spray and Wait算法

第二阶段,如图2所示,结点之间通过数据包的直接转移来实现信息的传播,而不再对数据包进行复制。

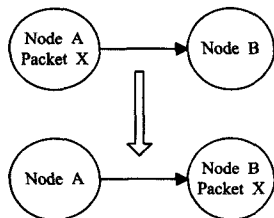


图2 交换算法

### 3.4 路由开销与能量消耗分析

对于SW算法来说,网络中的结点每发送一个数据包需要一个单位路由开销。根据发送数据包的数量可以得到一个结点的路由开销公式。假设节点A向外传播数据包X的副本,数量为N个,而获得第i个副本的结点再向其m个邻居结点传播数据包X,则节点A在传播数据包X的过程中所产生的路由开销可以由下列公式计算得到:

$$O_{node_a} = \sum_{i=1}^n (\sum_{j=1}^m O_{node_j});$$

可以看出,随着传播次数的增长,结点路由开销将急剧增大。如果在系统运行的中后期采用交换算法,则节点A在传播数据包X的过程中路由开销始终等于1。由于NPST算法显著降低了路由开销,系统在传播过程中的能量消耗也将相应下降。

### 3.5 算法设计

通过模型分析,可以对NPST建立一个算法,算法的伪代码如表1所列。

表1 NPST算法伪代码

Input node P[], node neighbor, packet[];
Start
P[i]=packet[j]
while(P[i]!=NULL)
for j=1 to m {
If(packet[j] copies < n)
{
Packet[j]->node neighbor
}
Else{
Packet[j]->node neighbor
Node P[i] destroy packet[j]
}
}
End
End
End

## 4 仿真实验与分析

本文采用机会网络仿真模拟平台(Opportunistic Network Environment, ONE)<sup>[11]</sup>将NPST算法与机会网络算法Spray and Wait(SW)和Binary Spray and Wait(BSW)进行比较。仿真参数设置如表2所列。

表2 仿真参数设置

参数	数值
仿真时间	10h
仿真区域	4100m * 3200m
结点运动模型	社区模型
结点个数	50~400
结点移动速度	0.5~1.5m/s
通信方式	蓝牙
传输范围	12m
传输方式	广播
结点缓存空间	4~32MB
信息传递速率	200kB/s
信息产生间隔	20~30s

实验结果如图3所示。

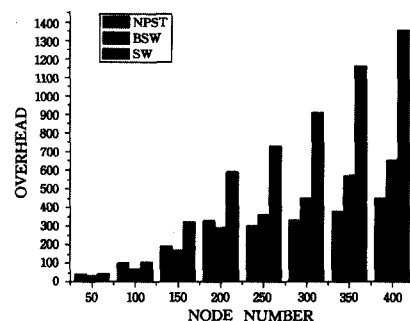


图3 NPST、SW、BSW算法的路由开销比较

图3显示了NPST、SW、BSW算法各自的路由开销情况。通过仿真实验可以看出,SW算法的路由开销随着结点数量的增加而上升。当结点数量超过350个时,路由开销接近1200,这说明该算法对于网络空间的路由开销是相当大的,其效果不能令人满意。整体上来说,使用BSW算法使得网络空间的路由开销大幅减少,但其缺点与SW算法类似,即随着时间推移,路由开销增长明显。NPST在初期实际上和SW算法一样,路由开销增长迅速。在经过初期的快速传播以后,系统中的结点在传送数据包时大部分都采用了第二阶段的交换算法,这时系统总体路由开销增长的势头得到有效控制,甚至某些文件可能因为在缓存队列中等待过久而被清除,导致系统整体路由开销有所下降。而后,因为某些结点之间经过长时间才相遇,导致部分之前未充分传播的数据包再次增殖扩散,但规模有限。

图4显示了NPST、SW、BSW算法各自的能量消耗情况。可以看出,能量消耗与路由开销密切相关。NPST能更好地控制数据包的增长,因此抑制了能量的大量消耗,优化了系统性能。

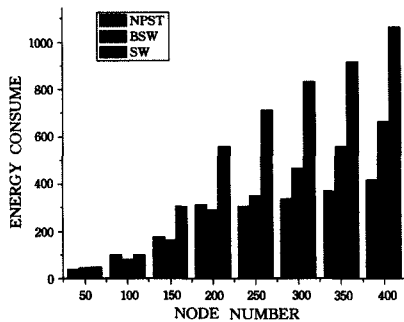


图4 NPST、SW、BSW算法的能量消耗比较

**结束语** 本文对机会网络中结点之间数据包的接收与发送过程进行了分析,提出了阶段性非增殖型传递算法 NPST (Non Proliferation Stage Transfer algorithm)。本文将该算法与 Spray and Wait 算法和 Binary Spray and Wait 算法进行了实验对比,探讨了 NPST 各运行阶段对系统的影响,结果表明 NPST 能够有效降低结点的路由开销、能量消耗,延缓结点死亡时间,可以在机会网络中发挥较好的作用,完成路由和信息传递工作。

### 参考文献

[1] Xiong Yong-ping, Sun Li-min, Niu Jian-wei, et al. Opportunistic Networks[J]. Journal of Software, 2009, 20(1): 124-137 (in Chinese)  
熊永平, 孙利民, 牛建伟, 等. 机会网络[J]. 软件学报, 2009, 20(1): 124-137

[2] Zhang Jun-bao, Luo Guang-chun, Li Jiong, et al. Study on routing protocols in delay tolerant networks[J]. Application Research of Computers, 2012, 29(3): 808-812 (in Chinese)

张俊宝, 罗光春, 李炯, 等. 延迟容忍网络路由协议研究[J]. 计算机应用研究, 2012, 29(3): 808-812

[3] Wu J, Chen Z, Yi X. Optimal Objects of Cooperation Selection for Human Activity in Opportunistic Networks[J]. Smartcr, 2014, 4(2): 118-129

[4] Jia W, Chen Z G. Reducing energy consumption priority selection of node transmission routing algorithm in opportunistic network[J]. Advances in Information Sciences & Service Sciences, 2014, 6(1): 11

[5] Grossglauser M, Tse D. Mobility increases the capacity of ad-hoc wireless networks[C]// Proceedings of Twentieth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. IEEE, 2001, 3: 1360-1369

[6] Sun Jian-zhi, Zhang Ying-xin, Chen Dan, et al. Self-adaptive Epidemic Routing Algorithm[J]. Computer Science, 2012, 39(7): 104-107 (in Chinese)  
孙践知, 张迎新, 陈丹, 等. 具有自适应能力的 Epidemic 路由算法[J]. 计算机科学, 2012, 39(7): 104-107

[7] Chen Liang-yin, Liu Zhen-lei, Zou Xun, et al. Erasre-Coding Algorithm in Mobile Low-Duty-Cycle Opportunistic Networks Based on Energy-Aware[J]. Journal of Software, 2013, 24(2): 230-242 (in Chinese)  
陈良银, 刘振磊, 邹循, 等. 基于能量感知的移动低占空比机会网络纠删编码算法[J]. 软件学报, 2013, 24(2): 230-242

[8] Datta A, Quarteroni S, Aberer K. Autonomous gossiping: A self-organizing epidemic algorithm for selective information dissemination in wireless mobile ad-hoc networks[M]// Semantics of a Networked World. Semantics for Grid Databases, Springer Berlin Heidelberg, 2004: 126-143

[9] Spyropoulos T, Psounis K, Raghavendra C S. Spray and wait: an efficient routing scheme for intermittently connected mobile networks[C]// Proceedings of the 2005 ACM SIGCOMM Workshop on Delay-tolerant Networking. ACM, 2005: 252-259

[10] Wang G, Wang B, Gao Y. Dynamic spray and wait routing algorithm with quality of node in delay tolerant network[C]// 2010 International Conference on Communications and Mobile Computing (CMC). IEEE, 2010, 3: 452-456

[11] Li Ji-bi, Li Bin, Ren Zhi, et al. An Efficient Energy-Saving Routing Algorithm for Opportunistic Networks with Dynamically Adaptive Power Control[J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2014, 48(12): 49-56 (in Chinese)  
李季碧, 李宾, 任智, 等. 自适应动态功率控制的机会网络节能高效路由算法[J]. 西安交通大学学报, 2014, 48(12): 49-56

[12] Ma Hua-dong, Yuan Pei-yan, Zhao Dong. Research Progress on Routing Problem in Mobile Opportunistic Networks[J]. Journal of Software, 2015, 26(3): 600-616 (in Chinese)  
马华东, 袁培燕, 赵东. 移动机会网络路由问题研究进展[J]. 软件学报, 2015, 26(3): 600-616