

# 机会网络中基于节点效用和能量的路由算法

袁培燕, 黄笑妍

(河南师范大学 计算机与信息工程学院 河南 新乡 453007)

**摘要:** 在不具备完整传输路径的机会网络中,为进一步提高投递率和传输速度,一般使用效用和冗余混合的路由机制,但该机制仍存在较高网络开销以及高效用节点能量消耗过快等问题。本文提出一种基于节点效用和能量的路由方案,考虑到节点关系的自身差异性和动态变化性,综合节点的剩余能量判断节点的转发能力,实现在多备份路由中进一步降低网络开销和均衡节点能量消耗的目标。实验结果表明提出的路由方案在获得较优投递率和传输延时的同时,在网络开销和能量均衡性两方面有较大的改善。

**关键词:** 机会网络; 数据转发; 社会效用; 能量均衡; 路由算法

中图分类号: TP393 文献标志码: A 文章编号: 1671-6841(2022)01-0000-00

DOI: 10.13705/j.issn.1671-6841.2022\*\*\*

中图分类号, 文献标志码, 文章编号, DOI信息不能遗漏

关键词3-8个

## Routing Algorithm Based on Node Utility and Energy in Opportunistic Networks

YUAN Peiyan HUANG Xiaoyan

(College of Computer and Information Engineering, Henan Normal University, Xinxiang 453007, China)

**Abstract:** In the opportunistic network, there did not exist a complete transmission path. A hybrid routing mechanism with utility and redundancy was proposed to improved the delivery rate and transmission speed, but this mechanism still had the problem of high network overhead and energy depletion of efficient nodes. Considering this fact, a routing scheme based on node utility and energy was proposed. Taking into account the influence of self-difference and dynamic variation of node relationship on routing packets, making full use of social relations to calculate the social utility of nodes, and synthesizing sizes the node's residual energy to judge the node's forwarding capability, it was achieved the goal of further reducing network overhead and balancing node energy consumption in multi-copy routing. Finally, compared with other algorithms, the experimental results showed that the proposed routing scheme could achieve better delivery rate and transmission delay, while network overhead and energy balance were greatly improved.

**Key words:** opportunistic network; data forwarding; social utility; energy balance; routing algorithm

英文摘要用一般过去时被动语态

### 0 引言

传统网络中的节点在通信之前必须先找到一条端到端的通信链路,再完成数据包的转发任务,这意

味着传统网络拓扑在大多数时间内是连通的,并且源节点和目的节点之间至少存在一条连通链路。在某些实际应用场景下,源、目的节点对之间通常不存在端到端的多跳链路,导致传统网络的路由策略无法有效运行。为了解决特殊环境下的通信问题,机

双栏排版

收稿日期: 2021-07-07

基金项目: 国家自然科学基金项目(U1404602, U1804164, 62072159)。

第一作者: 袁培燕(1978—),男,教授,主要从事计算机网络研究,E-mail: peiyan@htu.cn。

通信作者: .....

会网络受到科研人员的广泛关注。机会网络利用节点移动过程中形成的相遇机会,采用“存储-携带-转发”的方式进行数据传输<sup>[1-2]</sup>,对节点随机移动、分布密度不定、有限的通信范围等特性,具有较强的适应性。因此机会网络在车载设备所形成的车载网、野生动物信息收集、大型集会(如大型体育赛事现场、演唱会等)、偏远地区以及深空通信等领域具有广泛的应用前景。

机会网络的网络拓扑频繁变化且链路持续时间不确定,所以网络被划分成若干个不连通的子区域,又可分为“间歇性连接网络”<sup>[3]</sup>。在这样的网络环境中进行数据传输不能事先确定转发路径,需要采用边路由边传输的方式选择每一跳节点。数据包在经历多跳后,传送至目的地。路由决策问题一直是机会网络的研究重点,其实质是如何选择合适的中继节点协助完成数据传送任务。到目前为止,机会网络中的路由协议按照选择中继的方式可以分为两类:一类是零信息型路由,不需要依赖复杂的网络信息,仅利用节点移动产生的相遇机会完成数据传输;另一类是信息辅助型路由,需要依靠额外的信息才能做出转发决策,即根据节点信息计算节点的效用值,进一步选择高效用节点路由数据包,又称为效用路由。

零信息型路由没有考虑网络中节点的异质性,采用较为单一的路由方式完成数据包的交换和传递。信息辅助型路由是当前路由工作研究的重点,评估函数根据不同类型的参数信息对节点路由数据包的能力进行判断。这些信息可以分为节点的历史接触信息<sup>[4-6]</sup>、节点的社会性信息<sup>[7-11]</sup>、节点的位置信息<sup>[12-15]</sup>、节点能量信息<sup>[16-18]</sup>等。机会网络中的许多路由协议是互有交叉和联系的<sup>[9-10,14]</sup>,最终目的是针对不同的网络环境,综合节点的多方面信息,衡量节点的转发能力以提高网络性能。为进一步提高网络的投递率和传输速度,在信息辅助型路由的基础上,研究人员提出了效用和冗余混合的路由方案,但该方案可能存在较高的网络开销。此外,数据包始终朝着高效用节点方向传输会造成高效用节点的能量过多消耗。特别是在能量有限的情况下,一旦高效用节点的能量消耗殆尽,将加剧网络间歇性,使得网络性能急剧下降。考虑到依靠节点的社会属性信息选择中继已经被证明可以取得较好的路由性能,本文利用节点的社会效用指导路由,进一步降低网络开销,均衡节点在数据传输过程中的能量消耗,以避免高效用节点过快的能量耗尽。

基于上述分析,本文提出了一种基于节点效

用和能量(probability and energy, ProEnergy)的多副本路由算法,在保证较优网络性能的前提下充分利用节点的效用降低网络开销和均衡节点的能量消耗。

文章中的缩写词首次出现要写出英文全称

## 1 算法设计思路

参考文献按照出现顺序依次引用

### 1.1 路由设计思路

机会网络中的节点大多由人携带的智能终端构成,其表现出的社会活动可能遵循某些社会特征<sup>[19]</sup>。不同的路由协议利用节点的中心性、相似性、社区属性等不同的社会度量来选择合适的中继节点<sup>[20-22]</sup>。在以往的基于社会属性的路由工作中,忽略了节点关系的自身差异性和动态变化性对路由数据包的影响,所以本文提出新的效用指标衡量节点的社会关系。为避免多备份路由中出现过高网络开销的问题,该路由算法研究如何充分利用节点关系进一步降低网络开销。此外,为防止网络中高效用节点因过多的数据传输导致能量过快耗尽而加重网络的间歇性。在数据转发过程中,利用节点的社会效用和剩余能量共同判断节点的转发能力,以实现均衡节点能量的目的。

本文提出的路由算法的设计思路如图1所示,首先构建网络模型,维护节点的接触信息和信息更新机制,为变量用单字母表示,矩阵、向量用黑斜体表示,一般变量用白斜体表示,设计了基于识别亲密节点、构建冗余模型、路由决策三大步骤。

### 1.2 基于社会属性的机会网络模型

本文利用具有时间属性的接触图 $G_t(V, E)$ 构建具有社会特征的网络模型。假设网络中有 $n$ 个节点, $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ 表示节点集合, $t_x$ 表示时间,相关定义如下。

**定义1** 邻居节点集合。网络中任意两节点 $v_i$ 和 $v_j$ 的距离小于某个阈值 $d$ ,则两节点互为彼此的邻居节点。节点 $v_i$ 在 $t_x$ 时刻下的邻居节点集合为 $Nb(v_i)$ ,表示为

公式按顺序编号

$$Nb(v_i) = \{v_j \mid D(v_i, v_j) < d\}, \quad (1)$$

其中: $D(v_i, v_j)$ 为节点 $v_i$ 和 $v_j$ 的通信距离, $d$ 为两节点可通信的最

变量第一次出现要解释其含义

**定义2** 接触信息。节点 $v_i$ 和节点 $v_j$ 的累计接触时长定义为 $CT_{v_i}^t(v_j)$ ,节点 $v_i$ 和节点 $v_j$ 的累计断开时长定义为 $OT_{v_i}^t(v_j)$ 。

即包含节点  $v_j$  的事务中出现节点  $v_i$  的条件概率作为节点  $v_j$  能够将数据包转发给节点  $v_i$  的转发效用。当 2-项集  $\{v_i, v_j\} \notin L_2^t$ , 则  $p_{(v_j \Rightarrow v_i)}^t = 0$ , 认为节点  $v_i$  与  $v_j$  建立潜在关联的概率较小, 可忽略不计。

### 3 ProEnergy 路由方案

本文提出的 ProEnergy 路由算法主要步骤如下。

输入:  $M$  是数据包,  $d_M$  是  $M$  的目的节点,  $t_x$  是网络运行的当前时刻,  $GM(1, 1)$  保存了  $t_{x-5}$  到  $t_{x-1}$  时刻下节点间接触强度

输出:  $M$  是否转发

只能用三线表, 使中英文标题

- 1) for 任意节点  $a, b, \dots$
- 2) if  $a$  和  $b$  相互通信且  $M$  由  $a$  携带 then
- 3) 基于  $CT_a^t(b)$  和  $OT_a^t(b)$ , 计算  $CS_a^t(b)$ , 更新  $GM(1, 1)$
- 4) if  $b$  没有携带  $M$  的副本 then
- 5) if  $a$  和  $b$  的能量大于 50 then
- 6) if  $b$  是  $M$  的目的节点 then
- 7) 更新包信息,  $a$  转发  $M$  给  $b$
- 8) else
- 9) 计算  $CS_a^t(d_M)$  和  $CS_b^t(d_M)$ , 更新  $GM(1, 1)$ , 计算  $CS_a^t(d_M), CS_b^t(d_M), CS_a^t(b), ACS_a, ACS_b, ACS_{d_M}$ , 更新  $R$
- 10) 基于  $R$  计算  $L_1$  和  $L_2$ , 计算  $p_{(a \Rightarrow d_M)}^t$  和  $p_{(b \Rightarrow d_M)}^t$ , 归一化  $C_a$  和  $C_b$ , 计算  $P(a, d_M)$  和  $P(b, d_M) \dots$

## 4 仿真实验

### 4.1 仿真环境与参数设置

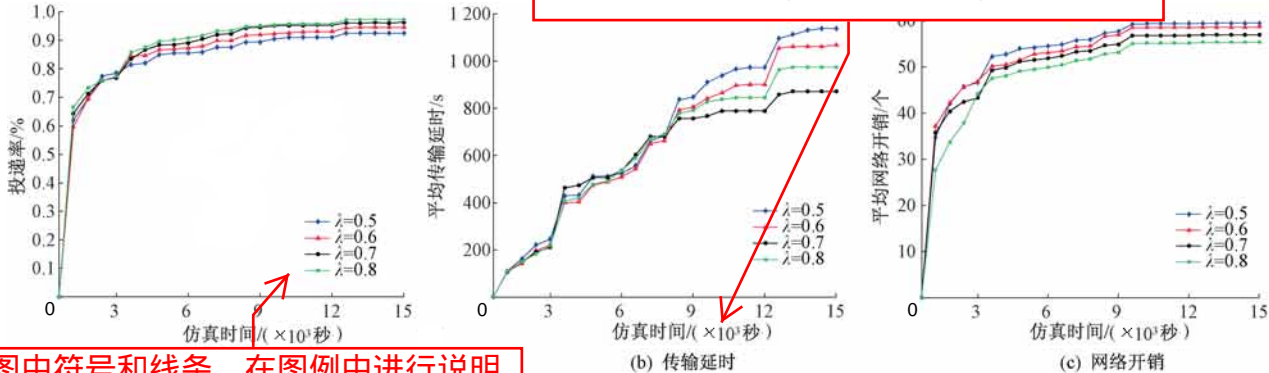
为了性能评估, 本文实验基于移动机会网络模拟器平台<sup>[28]</sup>。节点的移动轨迹使用 RealTrace-KAI-ST 数据集<sup>[29]</sup>, 其他的仿真参数如表 1 所示。利用 Apriori 算法计算关联概率时,  $T_M$  为最小支持度设置为 45。本文使用数据包的投递率、传输时延、网络开销、总能量消耗、能量消耗标准差 5 个指标来评价路由算法的性能, 并与 Prophet 算法、PageRank 算法、GeoSocial 算法进行对比。

表 1 实验参数设置  
Table 1 Setting of experimental parameters

仿真参数	数值
仿真区域/m <sup>2</sup>	600×600
仿真时间/s	15 000
数据包个数	200
节点数/个	90
节点最大通信距离/m	250
$T_M$	45

首先分析  $\lambda$  对网络性能的影响。图 3(a) 给出了  $\lambda$  取值范围在 0.5~0.8 下的投递率情况, 观察可知 4 种情况下的投递率走势相似, 从  $\lambda = 0.8$  到  $\lambda = 0.5$  的投递率依次下降, 是因为节点的社会效用影响逐渐减小。ProEnergy 采用多副本的路由方式, 所以在不同  $\lambda$  取值下均获得较高的传递概率。图 3(b) 给出了传输延时情况, 观察可知  $\lambda = 0.7$  时其传输时延最低; 当  $\lambda = 0.5$  时其传输时延较高……

坐标图中, 必须标注纵、横坐标名称以及国际单位; 标准格式为“名称/单位”, 坐标刻度等间距, 坐标数字等差



图中符号和线条, 在图例中进行说明

图 3 不同  $\lambda$  下的实验结果

Figure 3 Experimental results under different  $\lambda$

## 5 总结

本文提出了一种基于效用和能量的机会路由算法。首先,对节点关系进行分析,构建网络模型,引入 Apriori 算法建立关系模型,计算节点的社会转发效用。其次,添加能优化路由性能。最后,实验结果表明,在保证同时,有效降低了网

参考文献应使用国内外最近几年的文献,中文文献对应的英文文献请以知网检索为主;本刊文献请直接从网站首页HTML查询,或者通过过刊浏览查询

### 参考文献:

中文文献中英文对照

年,卷(期):页码

外文文献姓前名后,姓全称大写,名缩写

[1] WU D P, ZHANG F, WANG H G, et al. Security-oriented opportunistic data forwarding in Mobile Social Networks[J]. Future generation computer systems, 2018, 87: 803-815.

[2] 刘尚坤,魏功,何欣. 一种基于分簇的机会网络路由算法[J]. 郑州大学学报(理学版), 2014, 46(3): 49-53.

LIU S K, WEI G, HE X. Cluster-based opportunistic network data delivery algorithm[J]. Journal of Zhengzhou university ( natural science edition ), 2014, 46(3): 49-53.

[3] YUAN P Y, FAN L L, LIU P, et al. Recent progress in routing protocols of mobile opportunistic networks; a clear taxonomy, analysis and evaluation [J]. Journal of network and computer applications, 2016, 62: 163-170.

[4] PATEL D, SHAH R. Improved PROPHET routing protocol in DTN[J]. International Research Journal of Engineering Technology, 2016,3(6): 503-509.

[9] HUI P, CROWCROFT J, YONEKI E. BUBBLE rap: social-based forwarding in delay-tolerant networks [J]. IEEE transactions on mobile computing, 2011, 10(11): 1576-1589.

[10] QIRTAS M M, FAHEEM Y, REHMANI M H. A cooperative mobile throwbox-based routing protocol for social-aware delay tolerant networks [J]. Wireless networks, 2020, 26(6): 3997-4009.

[11] BOLDRINI C, CONTI M, JACOPINI J, et al. HiBOP: a history based routing protocol for opportunistic networks [C]//2007 IEEE International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks. Espoo: Finland. IEEE Press, 2007: 1-12.

[12] LINDGREN A, DORIA A, SCHELÉN O. Probabilistic routing in intermittently connected networks [J]. ACM SIGMOBILE mobile computing and communications review, 2003, 7(3): 19-20.

DHURANDHER S K, BORAH S, WOUNGANG I, et al. EDR: an encounter and distance based routing protocol for opportunistic networks[C]//2016 IEEE 30th International Conference on Advanced Information Networking and Applications. Crans-Montana: IEEE Press, 2016: 297-302.

.....

.....