

DOI: 10.7652/xjtuxb201504015

机会网络中高效低时延多摆渡节点路由算法

李季碧, 邓科, 任智, 黄堰江, 陈前斌, 刘东远
(重庆邮电大学移动通信技术重庆市重点实验室, 400065, 重庆)

摘要: 针对机会网络中带网关节点的多摆渡节点路由算法(MMFGW)存在部分区外消息冗余等待、数据转发次数偏多和相邻区摆渡节点之间无协作的情况,提出了一种新的多摆渡高效低时延路由算法(ERMF)。当网关节点的邻居节点有数据发送时,ERMF 算法通过查询跨层旁听机制建立区外属性表,确认表中有匹配,则数据不再经过本地摆渡节点转发,而是向网关节点直传。另外,跨区域摆渡节点之间相遇时,通过彼此交换自己区域内的节点信息获取属于本区域内的有效数据,这 2 种直接通信的协作机制均可优化节点间单一的数据交互方式,促进区域间数据的快速传输,在不影响原有数据传输功能的前提下降低数据分组时延和转发开销。仿真结果表明,与 MMFGW 算法和节点中继算法相比,ERMF 算法的数据分组转发开销和平均端到端时延分别降低了 8.1%和 7.3%以上。

关键词: 机会网络;路由算法;消息摆渡;转发开销;端到端时延
中图分类号: TP393.04 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-987X(2015)04-0091-07

An Efficient and Low-Delay Routing Algorithm for Multiple Ferries in Opportunistic Networks

LI Jibi, DENG Ke, REN Zhi, HUANG Yanjiang, CHEN Qianbin, LIU Dongyuan
(Key Laboratory of Mobile Communications Technology of Chongqing, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China)

Abstract: An efficient and low-delay routing algorithm based on multiple ferries (ERMF) is proposed to address the problems that appear when the multiple message ferries gateway-based algorithm (MMFGW) is applied to opportunistic networks, such as some outside information redundancy is waiting for transfer, the number of data forwarding is a little large, and there is no collaboration among neighboring regions. When the neighbor nodes of a gateway node have data to send, the ERMF algorithm makes a decision through querying an attribute table of outside regions, which is established based on a cross-layer overhearing mechanism. If there exists a match in the table, the data is directly transferred to the gateway instead of forwarding through a local ferry node. When the ferries between the two regions are encountered, each ferry obtains valid data in its own region through exchanging information of nodes in their own regions. These two coordination mechanisms of direct communication optimize the single data interaction mode, realize fast data transmission between two regions, and reduce the delay and cost of data forwarding without affecting the function of original data transmission. Simulation results and

comparisons with the MMFGW and the node relaying algorithm show that the proposed ERMF reduces the forward overhead and the average end-to-end delay of packets by about 8.1% and 7.3%, respectively.

Keywords: opportunistic network; routing algorithm; message ferry; forward overhead; end-to-end delay

机会网络是一种在无线链路断开和网络分裂情况下即使不存在端到端路径也能够传输信息的新网络^[1],而这种新型网络的特性给路由设计带来了一些挑战。由于路由算法的好坏直接影响着网络的性能^[2],因此人们在机会网络场景中设计了多种最优的路由算法^[3],其中带可控移动节点的多区域摆渡路由设计是人们更为关注的一个研究热点。多摆渡(Ferry)路由算法不同于单摆渡路由算法^[4],它不仅关注每个摆渡节点如何选择最优路径,而且要考虑多个摆渡节点间如何高效地交互协作^[5-6]。因此,如何最大限度减少时延和转发开销就成了学者研究的重点。

目前,根据摆渡节点间的协调部署方式不同,多摆渡节点路由算法主要分为单路径算法(SIRA)和多路径算法(MURA)2大方向^[7]。其中典型的MURA算法又分为2类:一类是摆渡中继算法(FRA),其思想是摆渡节点按照预先设定路线需同时同地到达才可交互数据,它属于一种直接通信方式,但该方式要求摆渡节点具有直接同步交互能力,实时性很高,因此在现实中很难实现;另一类是节点中继算法(NRA),它是一种间接通信方式,其思想是通过摆渡节点和放置在邻区位置的中继节点之间的协调配合来完成数据的传输,比如文献[8]提到的一种附带具有大缓存空间的特殊转发节点——Throwbox节点的星型拓扑MRT-Star路由方案,以及文献[9]谈到的一种将区域信使和独立信使2类节点充当不同类型的摆渡节点来转发数据的路由策略,这类算法在处理节点间分配方式和数据交互方式上不仅不够优化而且缺乏相互协作,造成区域间数据更新滞后。最具代表性的是文献[10]提出的带网关节点的多消息摆渡节点路由算法(MMF-GW),该算法利用网关节点来为各类摆渡节点间提供交互和中继区外消息服务,但我们在研究中发现网关节点和摆渡节点交互阶段以及相邻区摆渡节点间相遇阶段存在以下2个问题:①网关节点的邻居节点发送的区外信息等待时延过长和中间转发次数偏多;②相邻区摆渡节点间相遇时,节点间无协作,缺乏数据的直接交互,减缓了区域间数据的快速传

输。针对以上问题,本文提出了一种新的多摆渡高效低时延路由算法(ERMF),通过采用不同类型节点之间区外消息的直接交互策略,可以促进区域间数据的快速传输,达到减少控制开销和平均时延的目的。

1 机会网络模型

由于村庄之间的地理位置具有随机性,因而会存在空白区域和村庄相邻的情况。如图1所示的网络划分为3个区域,每个区域代表一个村庄,区域内包含一个本地摆渡节点(local ferry, LF)和静态网关节点(Gateway)以及若干个普通节点。LF的运动轨迹需要覆盖区域内的所有路点,并通过最短路径算法计算旅行商问题(Travelling Salesman Problem, TSP)获得全局摆渡节点GF(Global Ferry)沿着固定的路径移动,它的移动路径覆盖所有的网关节点。因此,LF负责与本区域内普通节点和Gateway节点交互数据,而GF主要负责与Gateway节点区域间的数据传输。

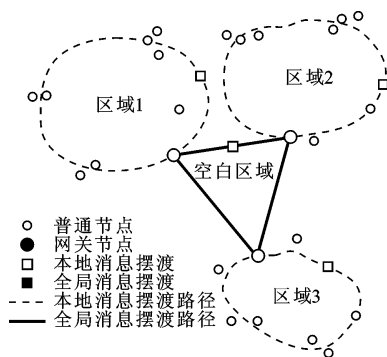


图1 机会网络模型

2 ERMF 算法

ERMF 算法包含2种新机制:普通节点向网关节点直传数据和跨区域摆渡节点间的数据传输。

定义1 区内消息:指源节点地址和目的节点地址属于同一区域的消息。

定义2 区外消息:指源和目的节点地址属于不同区域的消息。

2.1 ERMF 算法新机制

2.1.1 普通节点向网关节点直传数据 图2为普通节点和网关节点直接通信示意图。图中G节点、F节点和D节点分别代表网关节点、本地摆渡节点LF和全局摆渡节点GF,而S节点、Q节点和H节点都代表普通节点。该机制主要运用在以下2种情况:①Gateway节点和LF节点通信时所覆盖的公共邻居节点;②Gateway节点通信范围内覆盖的所有普通节点。

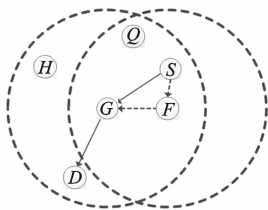


图2 普通节点和网关节点直接通信示意图

普通节点向网关节点直传数据的设计思想是:当Gateway节点的邻居节点监听到摆渡节点和Gateway节点之间在通信时,通过跨层信息共享的方式^[11],通告网络层并创建节点区外属性表,待这些区域的普通节点有区外消息要发送时,不用经过本地摆渡节点,而是直接转发给Gateway节点。

普通节点向网关节点直传数据机制的具体操作分为以下3个步骤。

步骤1 摆渡节点按照预定轨道周期性广播HELLO消息,当Gateway节点收到该消息后回复ECHO消息,双方进入数据传输阶段。

步骤2 若Gateway节点的邻居节点的MAC层监听到LF节点向Gateway节点发送的数据帧(或者Gateway节点向GF节点发送的数据帧)时,则将该数据帧解封后产生的数据分组提到网络层,并立即通过跨层信息共享的方式通告网络层,在该层做出判断处理后,创建节点区外属性表,然后将提取到的分组IP头部的目的地址写入到该表内,并删除此消息的数据部分。

步骤3 收到如同步骤2的数据帧仅需把该帧包含的数据分组所携带的目的地址填入到此表内,经过一段时间后,该区域节点的区外属性表的记录都趋于完整,此时若再有消息发送,首先去查询该表,查看该消息的目的节点的区域属性是否在表中有记录。若有,则直接转发给Gateway节点,否则等待转发给LF节点。

2.1.2 跨区域摆渡节点间的数据传输 图3为相邻区摆渡节点间通信示意图。图中F节点代表全

局摆渡节点GF,而S节点、D节点、Q节点分别代表不同区域摆渡节点LF,新机制主要思想是若相邻区摆渡节点相遇时,会彼此交换自己区域内节点的有效数据。如果是本地摆渡节点之间通信,只交换属于对方区域内的区外消息;如果是本地摆渡节点和全局摆渡节点之间通信,则本地摆渡节点会把全部区外消息交给全局摆渡节点。

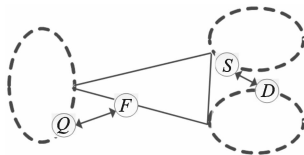


图3 相邻区摆渡节点间通信示意图

跨区域摆渡节点间数据传输机制的具体操作步骤如下。

步骤1 一个给定区域的摆渡节点沿着默认的路径运动,并使用短距离通信方式周期性广播HELLO消息。

步骤2 若该摆渡节点在移动过程中侦测到有相邻区摆渡节点发送的HELLO消息时,会回复ECHO消息。

步骤3 双方确认互为邻居节点后,则进入交互数据阶段,此时若LF节点的MAC层收到标识的源MAC地址、目的MAC地址分别为GF节点、LF节点的控制帧,则双方会把自己缓存区内的区外消息全部交给对方;若LF节点的MAC层收到标识的源MAC地址和目的MAC地址都为LF节点的控制帧,则LF节点彼此只交换属于对方区域内的区外消息。

步骤4 待彼此交互完数据后,摆渡节点继续按照自己的路线运动,等待和相应的网关节点通信。

2.2 ERMF 路由算法操作

由ERMF网络模型可知,网络中拥有4种类型节点:普通节点、网关节点Gateway、本地摆渡节点LF、全局摆渡节点GF。

(1)普通节点操作。如果Gateway节点通信范围内的普通节点有区外消息要发送时,则将消息直接转发给Gateway节点,然后删除该消息以避免造成消息冗余;否则,等待转发给LF节点。

(2)LF操作。LF和其他节点交互阶段,即作为动态转发节点有以下3个步骤:①LF维护一个包含本簇内所有普通节点的位置信息以及消息丢弃率的链表,这个链表可以通过GPS获得,并且在计算LF的移动轨迹前要更新这些信息;②如果LF缓存内的消息的目的节点属于本区域内部,则LF遇到相应的目的节点就转发此消息,并从缓存中删除消

息副本;③如果 LF 缓存内的消息需要转发到区域外的节点,则 LF 遇到相邻区摆渡节点,此时就将相应的区外消息转发给它,否则转发给本区域的 Gateway 节点。

(3)GF 操作。GF 和其他转发节点的交互过程有以下 3 个步骤:①GF 沿着覆盖所有 Gateway 的最短路径巡回移动;②如果 GF 遇到与自己缓存中消息相符的目的节点,那么将此消息转发给目的节点,并在缓存中删除消息副本;③如果 GF 遇到 LF 则将消息转发给它,否则送往目的节点所在区域的 Gateway。

(4)Gateway 操作。Gateway 作为静态转发节点与其他节点交互操作的具体步骤如下:①如果消息的目的节点在 Gateway 范围内,直接将消息转发给目的节点,并在缓存中删除消息;②如果 LF 进入 Gateway 的通信范围,则 Gateway 将从 LF 节点接收发往本区域外节点的信息,并等待 GF 的到来,将消息转发给 GF,在缓存中删除对应的消息副本;③如果 GF 进入 Gateway 的通信范围,Gateway 从 GF 接收来自其他区域转发给本地区域的消息,当 LF 到来时,将消息转发给 LF,进一步转发给位于本区域中的目的节点。

2.3 ERMF 算法分析

为确定 ERMF 算法的正确性和有效性,本文进行了详细的理论分析如下。

引理 1 ERMF 算法的转发开销低于 MMFGW 算法。

证明 假设网络中有 M 个 LF 区域,每个 LF 区域分 A 和 B 2 个分区, A 代表普通节点无监听区, B 代表普通节点监听区。每个分区内普通节点又分为 2 类消息:区内消息和区外消息。令 A_{in} 、 A_{out} 分别代表 A 分区普通节点发送的区内消息和区外消息个数, B_{in} 、 B_{out} 代表 B 分区普通节点发送的区内消息和区外消息个数。

假定成功率为 1,转发开销单位为一个,且每个包大小都相同,则第 i ($1 \leq i \leq M$) 个 LF 区域内消息从源节点成功到达目的节点所产生的转发开销为

$$C_i = C_{A_{in}} + C_{A_{out}} + C_{B_{in}} + C_{B_{out}} \quad (1)$$

式中: $C_{A_{in}}$ 、 $C_{A_{out}}$ 分别代表 A 分区普通节点发送的区内消息和区外消息产生的转发开销; $C_{B_{in}}$ 、 $C_{B_{out}}$ 分别表示 B 分区普通节点发送的区内消息和区外消息产生的转发开销。

相比于 MMFGW 算法,在 ERMF 算法中 B 分区普通节点发送的区外消息不再经过 LF 节点的转发,而是向 Gateway 节点直传,因此在该分区内每

一个区外消息到达目的节点时都会减少一次转发。

所以,ERMF 算法 B 分区内的区外消息所产生的转发开销均小于 MMFGW 算法,即

$$C_{B_{out}}^{ERMF} < C_{B_{out}}^{MMFGW} \quad (2)$$

又因为 ERMF 算法 A 分区的区内消息和区外消息以及 B 分区的区内消息均未受新机制影响,因此在 ERMF 算法中 $C_{A_{in}}$ 、 $C_{A_{out}}$ 、 $C_{B_{in}}$ 均等于 MMFGW 算法的转发开销。

根据式(1)得,ERMF 算法区域 i 内的转发开销小于 MMFGW 算法,即

$$C_i^{ERMF} < C_i^{MMFGW} \quad (3)$$

因此可得出,在整个网络区域内,ERMF 算法转发开销小于 MMFGW 算法,即

$$\sum_{i=1}^M C_i^{ERMF} < \sum_{i=1}^M C_i^{MMFGW} \quad (4)$$

$$C^{ERMF} < C^{MMFGW} \quad (5)$$

证毕。

引理 2 ERMF 算法的平均传输时延低于 MMFGW 算法。

证明 由消息摆渡机制的时延公式得

$$d = \sum_{i=1}^M T_{ii} d_i + \sum_{i \neq j}^M T_{ij} d_{ij} \quad (6)$$

式中: T_{ii} 表示区域 i 内不同节点间产生的业务量; T_{ij} 代表区域 i 内的节点到区域 j 内的节点之间的业务量; d_i 表示消息在区域 i 内节点间传送所产生的时延; d_{ij} 表示消息从区域 i 内节点传送到区域 j 内节点所产生的时延。

由于任意区域 i 可分为 A 和 B 2 个分区(A 代表普通节点无监听区, B 代表普通节点监听区),则消息从区域 i 传送到区域 j 产生的时延为

$$d_{ij} = (d_{iA_j} + d_{iB_j})/2 \quad (7)$$

式中: d_{iA_j} 、 d_{iB_j} 分别代表消息从区域 i 内 A 分区节点、 B 分区节点到区域 j 内节点所产生的时延。

由于 B 区节点的消息在传输过程中省略了 LF 节点的转发,缩短了到 Gateway 节点的时延,因此

$$d_{iB_j}^{ERMF} < d_{iB_j}^{MMFGW} \quad (8)$$

因为 ERMF 算法 A 分区的时延未受新机制影响,因此根据式(7)可得,ERMF 算法区域 i 到区域 j 的时延小于 MMFGW 算法,即

$$d_{ij}^{ERMF} < d_{ij}^{MMFGW} \quad (9)$$

在同等条件下,区域 i 内节点到区域 j 内节点的业务量 T_{ij} 相同,则不同区域间总业务量的平均传输时延的关系为

$$\sum_{i \neq j}^M T_{ij}^{ERMF} d_{ij}^{ERMF} < \sum_{i \neq j}^M T_{ij}^{MMFGW} d_{ij}^{MMFGW} \quad (10)$$

类似地,因为 2 种算法中同一区域内总业务量产生的平均时延相等,即

$$\sum_{i=1}^M T_{ii}^{\text{ERMF}} d_i^{\text{ERMF}} = \sum_{i=1}^M T_{ii}^{\text{MMFGW}} d_i^{\text{MMFGW}} \quad (11)$$

所以

$$d^{\text{ERMF}} < d^{\text{MMFGW}} \quad (12)$$

证毕。

2.4 计算复杂度

假设 N 个静止的普通节点均匀分布在面积为 S 的正方形网络中。整个网络被均分为 M 个小区域,且每个小区域均匀分布着 N/M 个普通节点,1 个 LF 和 Gateway 节点部署在中心位置,整个网络仅分配 1 个 GF,GF 和 LF 沿着自己预定的轨迹都以恒定的相同速率 V 运动,节点产生消息的速度为 m ,网络运行时间为 T 。以下从时间、存储和通信 3 个方面来分析 ERMF 算法的复杂度。

2.4.1 时间复杂度 假定 c 表示与网络拓扑相关的系数, r 表示与每个摆渡相关的中继数目,相邻节点间距离 d 为 $\left(\frac{S}{N}\right)^{1/2}$,2 个相邻中心位置之间的距离可以近似为 $\left(\frac{S}{M}\right)^{1/2}$,根据最近邻点算法,LF 节点的最短巡回路径长度为

$$L_{\text{LF}} \approx \left(\frac{N}{M} + cr\right)d = \left(\frac{N}{M} + 2^{1/2} - 1\right)\left(\frac{S}{N}\right)^{1/2} \quad (13)$$

GF 节点的最短巡回路径长度为

$$L_{\text{GF}} \approx M\left(\frac{S}{M}\right)^{1/2} = (MS)^{1/2} \quad (14)$$

一个数据分组在最极端的情况下需要经过 LF、GF、Gateway 节点转发才能到达目的节点,因此节点在最极端情况下需运动的距离 D 为

$$D \approx 2(L_{\text{GF}} + L_{\text{LF}}) =$$

$$2\left[\left(\frac{N}{M} + 2^{1/2} - 1\right)\left(\frac{S}{N}\right)^{1/2} + (MS)^{1/2}\right] \quad (15)$$

消耗的时间为

$$t = D/V \quad (16)$$

从而得其时间复杂度 F_t 为

$$F_t = O\left(\frac{2}{V}\left[\left(\frac{N}{M} + 2^{1/2} - 1\right)\left(\frac{S}{N}\right)^{1/2} + (MS)^{1/2}\right]\right) \quad (17)$$

2.4.2 存储复杂度 由于消息与 m 、 T 、 N 等正相关,在极端情况下,节点在运行 t 时间后,消息始终未寻到目的节点,则存储复杂度为

$$F_s = O(mTN) \quad (18)$$

2.4.3 通信复杂度 由于一个数据消息在最极端的情况下需要经过 $N-1$ 次转发才能到达目的节点,因此通信复杂度为

$$F_i = O(N) \quad (19)$$

3 仿真实验

本文通过改变网络的普通节点个数 N 、LF 个数 M ,采用了平均传输时延、转发开销和消息传输成功率 3 个性能评价指标。对 3 种多 Ferry 路由算法 NRA、MMFGW 和 ERMF 的性能进行了比较分析。

3.1 仿真设置

仿真实验平台为 ONE (opportunistic networking environment simulator)^[12]。普通节点处于静止状态,在不同的网络区域内随机均匀分布。用 3 个不同的节点网络层进程模型分别实现 NRA、MMFGW 和 ERMF 算法。主要仿真参数设置如表 1 所示。

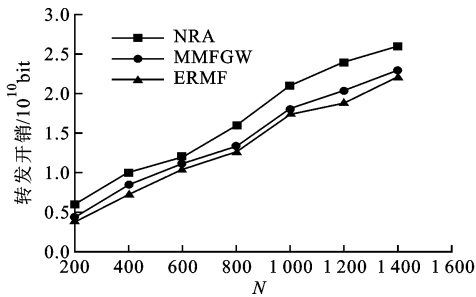
表 1 仿真参数配置

仿真参数	取值
仿真区域范围 km×km	12×12
默认网络区域 LF 个数	8
节点个数	200,400,600,800, 1 000,1 200,1 400
节点通信方式	802.15.4
普通节点通信半径/m	150
节点缓存大小/MB	5
摆渡节点通信半径/m	300
摆渡节点的移动速率/m·s ⁻¹	20
网络带宽/kB·s ⁻¹	20
消息大小/kB	1
消息产生间隔/s	10
仿真时间/s	26 500

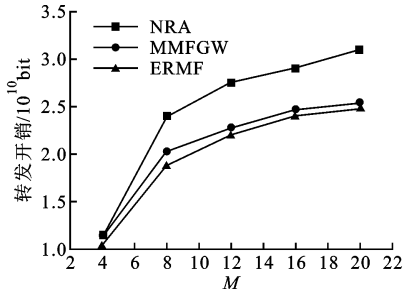
3.2 仿真结果分析

在每个仿真场景下分别运行 NRA、MMFGW 和 ERMF 算法,并统计这 3 种算法在不同场景下的转发开销、平均时延和消息成功率。针对普通节点数和 LF 个数 2 种情况,每组实验分别进行 7 次和 5 次,实验结果求平均值,所得实验结果如图 4~图 6 所示。

图 4a、4b 分别显示了普通节点个数 N 和 LF 个数 M 对网络的转发开销的影响。由图 4 可以看出,ERMF 算法在转发开销上至少下降了 8.1%,其原因主要在于:①当 Gateway 节点的邻居节点有消息要发往区外节点时,这些消息不用经过本地摆渡节



(a)普通节点数对转发开销的影响

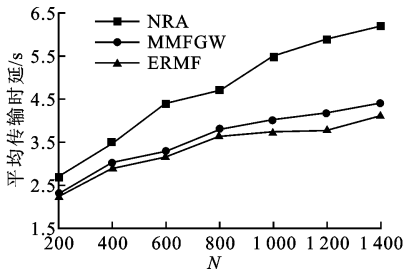


(b)LF 个数对转发开销的影响

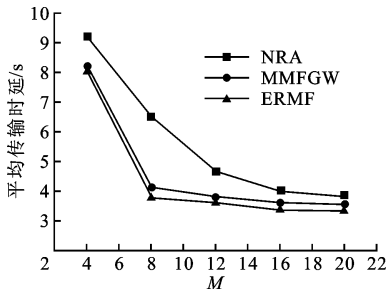
图 4 3 种算法的转发开销比较

点的转发,而是直接转发给 Gateway 节点,而 MMFGW 算法则规定要先发给本地摆渡节点,这样,ERMF 算法就减少了一次转发操作;②当相邻区域的摆渡节点相遇时,它们可以直接传送数据,不必经过 Gateway 节点中转。这样,随着转发次数的减少,转发开销也相应降低。

图 5a、5b 分别显示了普通节点个数 N 和 LF 个数 M 对网络的平均传输时延的影响。由图 5 可以



(a)普通节点数对时延的影响

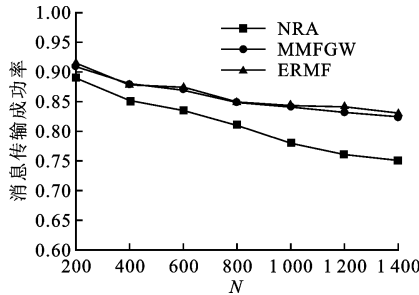


(b)LF 个数对时延的影响

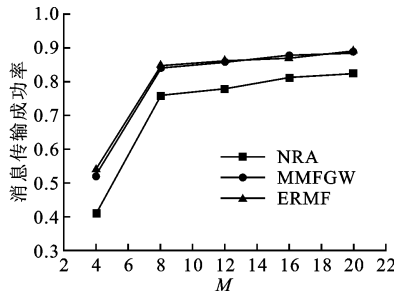
图 5 3 种算法的时延比较

看出,ERMF 算法在平均时延上至少减少了 7.3%。ERMF 算法降低时延的主要原因是:① M 一定, N 增加,使更多的节点落到 Gateway 节点覆盖的区域,Gateway 节点的邻居节点有区外消息发送时,直接转给 Gateway 节点,大大省略了等待 LF 的时间;② N 一定, M 增加时,提高了摆渡节点之间相遇的概率,使得两摆渡节点相遇交互区外消息时能更快到达本区域,明显缩短了该消息到达目的区域的时间。

图 6a、6b 分别显示了不同网络场景下普通节点个数和 LF 个数对成功率的影响。可以看出,ERMF 算法与 MMFGW 算法相比较,成功率基本上持平。其主要原因是:满足条件的节点转发区外消息时,本文算法虽大大缩短了缓存时间,使更多消息在其生存周期内完成了交换,提高了成功率,但由于摆渡节点间交互时相对移动,可能会丢失一部分数据,因此综合分析验证,2 种算法在成功率上相差不大。



(a)普通节点数对消息传输成功率的影响



(b)LF 个数对消息传输成功率的影响

图 6 3 种算法的消息传输成功率比较

4 结 论

本文针对网关节点的邻居节点存在区外消息冗余等待、转发次数偏多和跨区域摆渡节点无协作的问题,提出了一种新的多摆渡高效低时延路由算法——ERMF,新算法分别设计了普通节点向网关节点直传数据和跨区域摆渡节点间的数据传输 2 种机制,实现了普通节点可根据消息的目的地动态选

择转发节点和摆渡节点间的直接通信,从而减少了数据的中间转发,节省了时间。仿真结果表明,与MMFGW和NRA算法相比,本文提出的ERMF算法至少降低了8.1%的转发开销和7.3%的平均时延。

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 Yongping, SUN Limin, NIU Jianwei, et al. Opportunistic networks [J]. Journal of Software, 2009, 20(1): 124-137.
- [2] 刘乔寿,黄宽,吴大鹏,等. 协作意愿感知的机会网络路由算法[J]. 重庆邮电大学学报, 2012, 24(6): 760-764.
LIU Qiaoshou, HUANG Kuan, WU Dapeng, et al. Cooperative willingness perception based routing algorithm in opportunistic network [J]. Journal of Chongqing University of Posts and Telecommunications, 2012, 24(6): 760-764.
- [3] WANG Yong, PENG Wei, DOU Qiang, et al. Energy-constrained ferry route design for sparse wireless sensor networks [J]. Journal of Central South University, 2013, 20(11): 3142-3149.
- [4] ZHAO W, AMMAR M, ZEGURA E. A message ferrying approach for data delivery in sparse mobile ad hoc networks [C]//Proceedings of the 5th ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc networking and Computing. New York, USA: ACM, 2004: 187-198.
- [5] HE T, SAMI A, LEE K W. Dispatch-and-search: dynamic multi-ferry control in partitioned mobile networks [C]//Proceedings of the Twelfth ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing. New York, USA: ACM, 2011: 17-26.
- [6] SUGANTHE R C, BALASUBRAMANIE P. Improving QoS in disconnected mobile ad hoc network [J]. Journal of Mobile Communication, 2008, 2(4): 105-111.
- [7] ZHAO W, AMMAR M, ZEGURA E. Controlling the mobility of multiple data transport ferries in a delay-tolerant network [C]//Proceedings of 24th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2005: 1407-1418.
- [8] ZHANG Y, WANG L. Route design for multiple ferries and improvement in delay tolerant network [J]. Computer Engineering and Design, 2009, 30(24): 5605-5608.

- [9] LAI Y L, JIANG J R. A genetic algorithm for data mule path planning in wireless sensor networks [J]. Applied Mathematics & Information Sciences, 2013, 7(1): 413-419.
- [10] SUGANTHE R C, BALASUBRAMANIE P. Improving QoS in delay tolerant mobile ad hoc network using multiple message ferries [J]. Network Protocols and Algorithms, 2011, 3(4): 32-53.
- [11] 任智,索建伟,陈红,等. 基于相遇节点跨层感知的机会网络高效低时延路由算法[J]. 通信学报, 2013, 34(10): 1-8.
REN Zhi, SUO Jianwei, CHEN Hong, et al. Efficient low-delay routing algorithm for opportunistic networks based on cross-layer sensing of encountered nodes [J]. Journal on Communications, 2013, 34(10): 1-8.
- [12] KERÄNEN A, KÄRKKÄINEN T, OTT J. Simulating mobility and DTNs with the ONE [J]. Journal of Communications, 2010, 5(2): 92-105.

[本刊相关文献链接]

- 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. 2014, 48(12): 49-56. [doi:10.7652/xjtuxb201412008]
- 崔华力,钱德沛,张兴军,等. 用于无线多跳网络视频流传输的优先级机会网络编码. 2013, 47(12): 13-18. [doi:10.7652/xjtuxb201312003]
- 李刘强,桂小林,安健,等. 采用模糊层次聚类的社会网络重叠社区检测算法. 2015, 49(2): 6-13. [doi:10.7652/xjtuxb201502002]
- 杨建伟,桂小林,安健,等. 一种信任关系网络中的社团结构检测算法. 2014, 48(12): 80-86. [doi:10.7652/xjtuxb201412013]
- 陈皓勇,文俊中,王增煜,等. 能量网络的传递规律与网络方程. 2014, 48(10): 66-76. [doi:10.7652/xjtuxb201410011]
- 李建东,郑杰,刘勤,等. 异构协作网络中采用令牌漏桶的多接入业务分配算法. 2014, 48(8): 7-11. [doi:10.7652/xjtuxb201408002]
- 刘胜,荆奇. 时滞TCP网络滑模预测主动队列管理算法. 2014, 48(8): 42-46. [doi:10.7652/xjtuxb201408008]
- 郑鹏飞,尤佳莉,王劲林,等. 一种多租户云的内部网络共享策略. 2014, 48(8): 54-59. [doi:10.7652/xjtuxb201408010]
- 董哲,伊鹏. 采用链路聚类的动态网络社团发现算法. 2014, 48(8): 73-79. [doi:10.7652/xjtuxb201408013]
- 魏全瑞,刘俊,韩九强. 改进的无线传感器网络无偏距离估计与节点定位算法. 2014, 48(6): 1-6. [doi:10.7652/xjtuxb201406001]

(编辑 刘杨)