

机会网络动态摆渡路由协议研究^①

姜海涛^{②*} 郭雅娟* 张 宏** 廖 俊** 李千目**

(* 江苏省电力公司电力科学研究院 南京 211103)

(** 南京理工大学计算机科学与工程学院 南京 210094)

摘 要 针对在节点移动性较低但非静止的条件下,机会网络的传统摆渡路由策略并不适用的问题,提出了一种适应于动态网络环境下的实时确定信使移动路线的摆渡路由协议。信使通过识别网络中的节点,动态确定移动路线,实现节点访问与数据传递。利用多个信使的协同工作,克服单一信使的性能瓶颈,保证数据的传输成功率。通过延时分析和仿真实验,验证了增加信使数目可以降低路由协议的延时。同时利用仿真实验说明了提出摆渡路由的可行性与合理性。

关键字 机会网络,时延容忍网络,摆渡路由,信使调度

0 引 言

在机会网络或者延迟容忍网络中,由于节点的稀疏性和节点的频繁移动导致网络拓扑的不稳定,通常在源节点和目的节点之间不存在端到端的链路,数据传递通过存储转发的异步方式实现。文献[1]分析了机会网络的应用前景,并指出在乡村或者欠发达地区,机会网络可以为人们提供廉价的通信服务。近年来许多学者都围绕机会网络路由协议的设计与实现展开研究,并取得了一些成果。本文进行了机会网络动态摆渡路由协议研究,并针对传统摆渡路由策略不适用于节点移动性较低但非静止的条件,提出了一种适应于动态网络环境下的摆渡路由协议。

1 相关工作

无线移动自组织无线网络可以根据节点的密度和移动性划分网络类型,图 1 给出了分类结果。在传统的移动自组织网络(MANET)中^[2],节点的密度较高,可以通过建立端到端的链路实现数据的传递。其余情况下,节点往往处于孤立的状态,难以维持稳

定的链路,这些情况都属于机会网络的研究范畴。

在节点移动性较高的情况,使用多副本路由协议,依靠节点移动带来的接触机会完成数据的传递。根据最初的洪泛类路由协议^[3],节点将数据副本复制并转发给遇到的所有节点,最终数据包会传递给目的节点。这种方法在带来较低的传输延时的同时,会导致网络负载的急剧增加,因此文献[4]限制了数据包的副本数目,提出了喷雾等待路由。文献[5]分析比较了不同喷雾方式的路由代价和延时性能。运用启发式的路由算法^[6,7],节点根据网络中的信息智能地确定副本数目中继节点等关键路由因素。

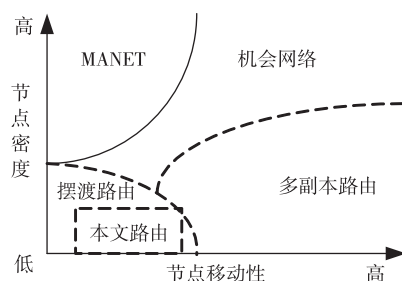


图 1 移动自组织无线网络的分类

① 国家自然科学基金(60903027),江苏省自然科学基金重大研究 973 项目(BK2011023),江苏省自然科学基金(BK2011370)和南京理工大学自主科研专项基金(2010XQTR04)资助项目。

② 男,1985 年生;博士;研究方向:无线网络路由协议与电力信息系统;联系人,E-mail:jianghaitaoxin@163.com
(收稿日期:2012-07-04)

在节点密度较低且静止的情况下, 文献[8]引入专门的移动信使负责节点之间的数据传输, 提出了摆渡路由协议。文献[9]将单个信使推广到多个信使, 分析了几种不同的信使调度策略并比较了它们之间的优劣。文献[10]研究了节点移动性较高条件下, 固定信使移动路线的摆渡路由方法。节点预知信使的移动路线, 并以此制定自己的移动路线, 定期主动访问信使, 以实现数据的传递。

在节点移动性较低但非静止的情况下, 传统的摆渡路由没有考虑节点移动的因素, 因此并不适用。由于节点移动性较低, 带来的接触机会较少, 基于副本路由协议的性能也不理想。针对传统的路由协议不适用于节点移动性较低情况的问题, 本文提出了实时确定信使移动路线的摆渡路由方法。为了降低传输延时, 同时避免单个信使的性能瓶颈, 进一步提出了多个信使协同工作的方式。最后通过仿真实验验证了协议的可行性, 并分析了不同条件下协议的性能。

2 单信使路由协议

本文信使移动策略的核心思想是: 信使在网络中周期性地运动, 实时识别节点并确定移动路线访问静止的节点, 不追踪移动中的节点。

每个信使以及节点都需要两种通信方式: 远距离低带宽的通信方式, 例如无线射频; 近距离高带宽的通信方式, 例如蓝牙、WiFi^[11]。信使通过第一种通信方式可以发现节点, 并传递节点的位置和移动情况等信息, 本文称这种远距离通信信号为识别信号。节点与信使利用第二种通信方式实现数据的传递, 本文称这种近距离通信信号为传输信号。

图2示出了基础坐标的确定方法。图2(a)和图2(b)分别使用正四边形和正六边形确定基础

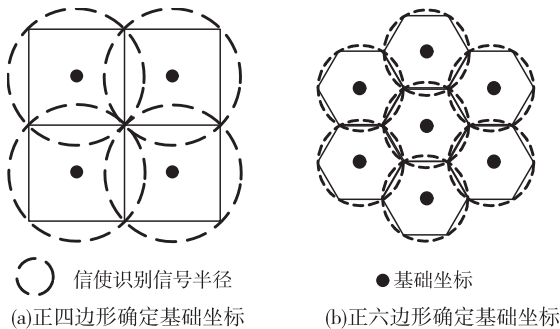


图2 基础坐标的确定方法

坐标。

假设信使识别信号的覆盖半径为 R , 在网络中选取若干个固定坐标 $\{d_1 d_2 \cdots d_m\} = d$ 满足网络中的任何坐标 c , 则存在某个 $d_i \in d$, 使得 c 和 d_i 之间的距离小于 R 。在这些坐标中, 信使识别信号的识别范围叠加可以完全覆盖整个网络, 本文将这些坐标称为基础坐标。本文使用正多边形对网络进行划分, 并保证正多边形的外接圆半径小于 R , 同时将正多边形的中心设为基础坐标。

图3显示了信使的调度策略, 其中 *ferry* 表示信使, *node* 表示移动节点, *point* 表示基础坐标, *packet* 表示数据包。信使通过求解经典 TSP (traveling salesman problem) 问题的算法计算一条访问所有基础坐标路线 (1 行)。信使轮询每个基础坐标, 在每个坐标使用识别信号发现信号覆盖范围内的节点, 进一步得到节点的位置信息, 并计算一条轮询这些节点的子线路 (3—6 行)。根据计算线路, 信使访问静止的未访问过的节点 (7—9 行)。信使在和每个节点的通信过程中, 接收节点新产生的数据包, 并将以该节点为目的数据包传递给该节点, 以完成路由过程 (10—15 行)。在所有基础坐标完成对节点的识别以及访问之后, 信使返回初始基础坐标, 开始新一轮的工作。对于移动中的节点, 在该节点静止以后, 信使会在某个基础坐标识别到该节点并访问该节点。

```

1 ferry calculate a path with all points;
2 while(ferry is working){
3   for(each point on path){
4     ferry move to the point;
5     ferry identify nodes in its coverage;
6     ferry calculate a subpath with all identified nodes;
7     for(each node in subpath){
8       if(node is not moving and ferry has not visited the node in this cycle){
9         ferry move to the node;
10        for(each packet in ferry buffer){
11          if(destination of the packet is this node){
12            ferry send packet to node and remove the packet;
13          }
14        }
15        node send its new packets to ferry;
16      }
17    }
18  }
19 }

```

图3 单一信使调度策略

图4说明了单个信使的工作过程。图4(a)中, 信使识别到1号和2号节点, 但是由于2号节点处于运动中, 因此信使只访问1号节点, 之后前往下一个基础坐标; 图4(b)中, 信使识别并访问4号节点;

图 4(c)中,2 号节点已经静止,信使识别并访问 5 号和 2 号节点;图 4(d)中,信使识别并访问 6 号和 3 号

节点,至此结束一个轮询周期,返回初始基础坐标。

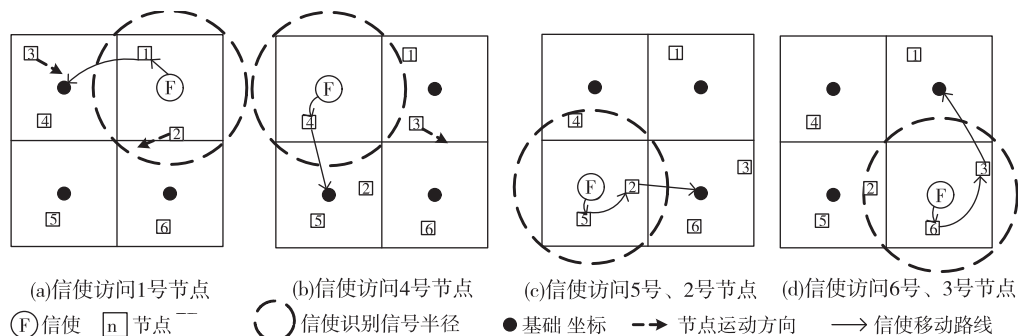


图 4 单信使调度策略

3 多信使路由协议

单个信使可以保证网络的连通性并实现数据传递,但是由于单一信使的存储和转发能力有限,通常会带来较大的端到端的延时。因此本文在单个信使的基础上,扩展出多信使摆渡路由。为了实现信使之间的异步通信,在网络的中心设置一个固定设施,称为中心设施。根据信使的数目 $l \geq 2$,将整个网络从中心划分成 l 个大小基本一致的区域,每个区域内放置一个信使。信使周期性地轮询区域内的节点,并在调度周期结束后访问中心设施。

图 5 显示了 4 个信使的网络结构。图 5(a)中,网络被划分成 4 个区域,每个区域内有一个信使,网络中心放置固定的中心设施。图 5(b)显示了单个信使的调度策略,一个周期内信使轮询本区域内的节点之后返回中心设施。

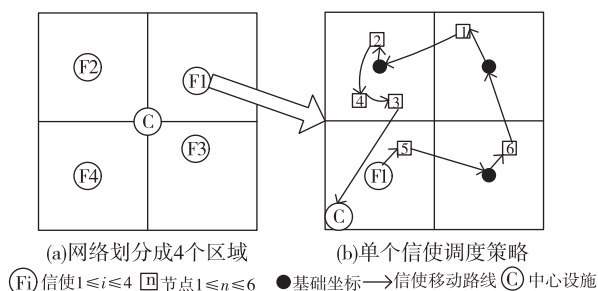


图 5 多个信使调度策略

信使使用 *acklist* 存放完成传递数据包的标识, *odelist* 存放识别到的节点。在单信使协议的基础上,信使轮询区域内节点的过程中,将完成传递数据

包的标识加入 *acklist*, 并将访问过的节点标识加入 *odelist*。

图 6 显示了多信使路由中,信使的调度策略。其中 *center* 表示中心设施。算法的 1—3 行是信使访问节点的过程,4—18 行主要描述了信使与中心设施通信过程。信使将缓冲区内无法传递的数据包交给中心设施,并清空缓冲区(5—10 行)。之后中心设施根据信使的 *acklist*, 删除完成传递的数据包(11 行)。接着信使从中心设施获取目的节点在 *odelist* 中的数据包的副本,并试图完成这些数据包的传递(12—16 行)。最后信使清空 *odelist* 和 *acklist*, 开始新一轮的节点轮询工作(17 行)。

```

1 ferry calculate a path with center and all points in its region;
2 while(ferry is working){
3   ferry visit nodes in its region;
4   ferry return to center;
5   for(each packet in ferry buffer){
6     if(center does not have the packet){
7       ferry send this packet to center;
8     }
9   }
10  ferry clear its buffer;
11  center remove all packets which id in ferry acklist;
12  for(each packet in center buffer){
13    if(destination of the packet in ferry oodelist){
14      center send a copy of the packet to ferry;
15    }
16  }
17  ferry clear oodelist and acklist;
18 }

```

图 6 多信使调度策略

上述算法中,少部分数据包被信使接收之后,会在本区域内完成传递,其余大部分数据包都会被先缓存于中心设施。对于中心设施缓存的任意一个数据包 $packet_i$, 识别到 $packet_i$ 目的节点 $node_i$ 的信使

会从中心设施获取 $packet_i$ 的一个副本, 并尝试在下一个轮询周期完成 $packet_i$ 的传递。但是由于节点的移动性, 信使无法保证再次遇到 $node_i$, 因此中心设施并不会将 $packet_i$ 删除。如果 $node_i$ 位置的发生改变, 静止后会被其余信使识别, 再次尝试传递 $packet_i$ 的副本。 $packet_i$ 会一直缓存在中心节点, 直到某个信使完成 $packet_i$ 副本的传递后通过 $acklist$ 通知中心设施将其删除, 这样保证了数据包的传输成功率。

4 路由协议延时分析

延时是机会网络路由的一个重要性能指标^[5], 本节分析摆渡路由的理论延时, 下一节验证本节的结论。首先分析单信使路由协议的延时。假设整个网络的面积为 S , 节点数目为 n , 基础坐标个数为 m , 那么相邻的节点之间或者节点和基础坐标的平均距离为 $\sqrt{\frac{S}{(n+m)}}$ 。

在节点静止的情况下, 信使在一个周期内访问所有节点和基础坐标, 移动线路的长度为 $(n+m) \cdot \sqrt{\frac{S}{(n+m)}}$ 。

整个延时 D 可以分成源节点等待信使的延时 D_w 和信使将数据包传递给目的节点的延时 D_t 两个部分。假设信使的速度为 u , 那么平均情况下, 信使的轮询周期为 $\frac{\sqrt{(n+m) \cdot S}}{u}$ 。静止节点等待信使的平均延时为信使运动周期的一半, 即 $D_w = \frac{\sqrt{(n+m) \cdot S}}{2u}$ 。

考虑节点的运动, 假设节点平均移动时间占总时间的百分比为 p ($0 \leq p \leq 1$)。由于信使忽略对移动节点的访问, 移动线路的长度为 $\sqrt{(n(1-p) + m) \cdot S}$, 那么等待延时 D_w 表达式为

$$\begin{aligned} D_w &= \frac{\sqrt{(n(1-p) + m) \cdot S}}{2u} \cdot (1-p) \\ &+ 2 \cdot \frac{\sqrt{(n(1-p) + m) \cdot S}}{2u} \cdot p \cdot (1-p) \\ &+ \dots + n \cdot \frac{\sqrt{(n(1-p) + m) \cdot S}}{2u} \cdot p^{n-1} \\ &\cdot (1-p) (n \rightarrow \infty) \\ D_w &= \frac{\sqrt{(n(1-p) + m) \cdot S}}{2u} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\cdot (1-p) \sum_{i=1}^{\infty} i \cdot p^{i-1} \\ D_w &= \frac{\sqrt{(n(1-p) + m) \cdot S}}{2u(1-p)} \end{aligned} \quad (1)$$

其中 $0 \leq p \leq 1$ 。

信使将数据包传递给目的节点的过程可以视为目的节点等待信使的过程, 因此 D_w 和 D_t 是基本一致的:

$$D_t = D_w = \frac{\sqrt{(n(1-p) + m) \cdot S}}{2u(1-p)} \quad (2)$$

其中 $0 \leq p \leq 1$ 。

综合式(1)和式(2), 整个延时为:

$$D = \frac{\sqrt{(n(1-p) + m) \cdot S}}{u(1-p)} \quad (3)$$

其中 $0 \leq p \leq 1$ 。

从式(3)中可以看出, 端到端的延时随着节点移动时间占总时间的百分比的增加而增加, 这一结论会通过实验得到验证。

接下来分析多信使路由协议的延时。通常端到端的延时可以分成两部分: 源节点通过信使将数据包传递给中心设施的延时 D_1 ; 中心设施通过另一个信使将数据包传递给目的节点的延时 D_2 。

考虑到网络被划分成 l 个区域, 每个区域内部节点和基础坐标的数目平均为 $\frac{(n+m)}{l}$, 那么信使的轮询周期为 $\frac{\sqrt{(n(1-p) + m) \cdot S}}{u} \sqrt{l}$ 。

源节点等待信使的延时与单信使等待延时相似, 为

$$D_{w1} = \frac{\sqrt{(n(1-p) + m) \cdot S}}{2u(1-p) \sqrt{l}} \quad (4)$$

其中 $0 \leq p \leq 1$ 。

信使将数据包传递给中心设施的平均延时为信使轮询周期的一半:

$$D_{t1} = \frac{\sqrt{(n(1-p) + m) \cdot S}}{2u \sqrt{l}} \quad (5)$$

综合式(4)和式(5), D_1 为

$$\begin{aligned} D_1 &= D_{w1} + D_{t1} = \frac{\sqrt{(n(1-p) + m) \cdot S}}{2u(1-p) \sqrt{l}} \\ &+ \frac{\sqrt{(n(1-p) + m) \cdot S}}{2u \sqrt{l}} \\ &= \frac{\sqrt{(n(1-p) + m) \cdot S}}{2u \sqrt{l}} \cdot \frac{2-p}{1-p} \end{aligned} \quad (6)$$

数据包从中心设施传递到目的节点的过程可以

视为源节点将数据包传递给中心设施的逆过程,因此 D_2 与 D_1 相似,整个延时为

$$D = D_1 + D_2 = \frac{\sqrt{(n(1-p) + m) \cdot S}}{u \sqrt{l}} \cdot \frac{2-p}{1-p} \quad (7)$$

其中 $0 \leq p \leq 1$ 。

从式(7)可以看出,端到端的延时随着信使数目 l 的增加而减少,实验中也会对此给出验证。式(7)给出了一般情况下的延时,如果源和目的节点静止在同一个区域内,数据包的传递可能通过单个信使完成,延时会小于式(7)。

5 仿真实验及结果分析

本文在 Opportunistic Network Environment (ONE) 平台上^[12]编写仿真程序,通过仿真实验验证本文提出的机会网络摆渡路由协议的可行性。实验的参数设置如表 1 所示。

表 1 实验参数

仿真区域大小	4000m × 4000m
仿真时间	12h
单个节点产生数据包个数	3/h
产生数据包的时间	0-10h
信使数目	1-16
节点数目	50-150
节点、信使传递信号半径	10m
信使识别信号半径	141m
节点、信使移动速度	10m/s

实验中使用边长为 200m 的正四边形确定基础坐标,因此信使识别信号的半径为 141m。信使与节点之间的通信半径为 10m,仿真时间为 12h,前 10h 内平均每个节点每小时产生 3 个数据包。节点每次移动会在整个环境中随机选择一个坐标作为目的地。实验有一个初始化的过程,计算基础坐标,如果有多个信使,为每个信使分配所属区域,并安置中心实施。在上述环境中,实现了本文提出的多信使路由。同时实现了以下 3 种多信使路由协议作为比较:

(1)简单多信使协议:每个信使按照独立的运行单信使的路由协议,信使之间不存在协作。

(2)网格多信使协议^[8]:将整个环境划分成若

干区域,每个区域内有一个信使按照单信使路由策略轮询节点,并且任意 2 个相邻区域内的信使都可以传递数据。不同区域内节点的数据传递依靠信使之间的协作实现。

(3)树状多信使协议^[9]:将整个环境划分成若干区域,每个区域内有一个信使按照单信使路由策略轮询节点,可以直接传递数据的信使构成树状的拓扑结构。不同区域内节点的数据传递依靠信使之间的协作实现。

网格和树状协议中,假设存在某种机制可以让信使共享识别到的节点信息。实验过程中,通过改变节点数目、信使的数目以及节点的移动时间占总时间的百分比,从延时、成功率、网络负载三个方面对上述路由协议的性能进行评估。

5.1 不同节点数目条件下路由协议的性能

多信使实验中,设置信使的数目为 9 个,节点数目设置为 50-150 个,每次增加 10 个。节点移动时间占总时间的百分比为 5%。图 7 和图 8 分别显示了路由协议的传输成功率和延时。

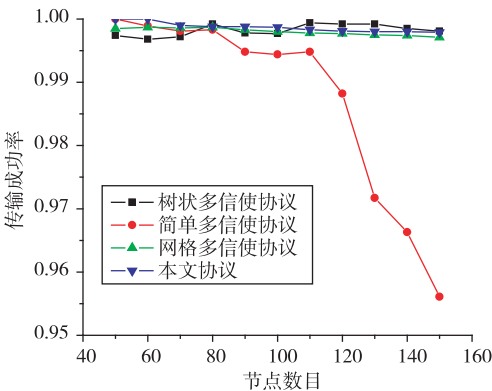


图 7 不同节点数目条件下不同路由协议传输成功率

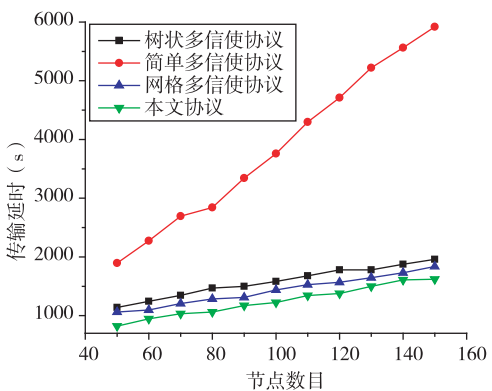


图 8 不同节点数目条件下不同路由协议传输延时

从图7中可以看出,本文提出的摆渡路由可以达到100%的传输成功率,这说明了本文的路由方法是可行的。图8显示随着节点数目的增加,信使轮询节点的周期变长,因此延时也随之增加。简单多信使协议中,每个信使都会轮询网络中的所有节点,节点数目的增加会增加信使的轮询周期,因此传输延时随着增加。在实验结束时依然有部分数据包保留的信使的缓冲区内,造成图7中显示的传输成功率下降。其余3种多信使协议,通过信使的协作,都可以有效降低传输延时。比较4种不同的摆渡协议,本文提出的协议具有较低的传输延时。

网络负载可以从存储数据包的消耗及转发数据包的消耗两个方面考虑。在摆渡路由中,信使通常具有较大的缓冲区存储数据包。因此,实验过程中统计信使传递数据包的总数作为网络负载。图9显示了路由协议的网络负载。

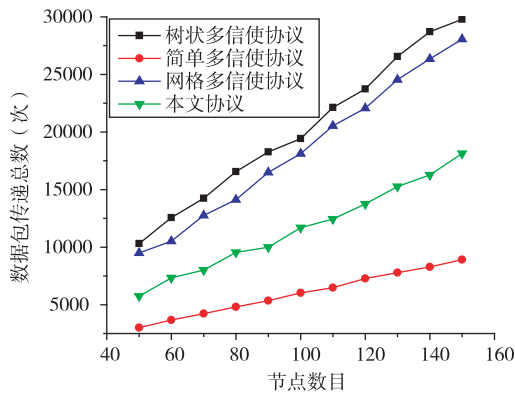


图9 不同节点数目条件下不同路由协议数据包传输总数

图9显示,随着节点数目的增加,产生数据包的总数增加,各种协议传递数据包的总数也随之增加。简单多信使路由协议,由于数据包经过一个信使即可完成传递,因此每个数据包只存在一次发送和一次接收,数据包传递总数维持在数据包总数2倍的水平。本文多信使协议,通常经过两个信使就可以完成数据包的传递,因此可以将传递总数控制数据包数目4倍的水平。网格多信使协议与树状多信使协议,由于一些数据包要经过多个信使才能到达目的节点,因此具有较高的传递总数。

5.2 不同信使数目条件下路由协议的性能

实验中,信使数目设置为2~16个,每次递增一个,节点数目固定为100个,节点移动时间占总时间的百分比为5%。实验结果显示,在不同信使数目条件下,不同路由协议的传输成功率都接近100%。

图10和图11分别显示了路由协议的延时和网络负载。

从延时的角度分析,随着信使数目的增加,各种路由协议的延时都有所减少,并且当信使数目较大时延时趋于稳定,这与式(7)的结果是一致的。从图中还可以看出,当信使数目大于5时,本文提出的路由协议的延时要优于网格或树状多信使路由协议的延时。

本文的多信使路由协议,在信使数目较少的情况下,数据包的源节点和目的节点有较高的概率在同一个区域内,单个信使就可以实现数据的传递,因此数据包的传递总数较低。随着信使数目的增加,可以将传递总数维持在数据包总数4倍的水平。对于网格与树状多信使路由协议,信使数目的增加会增加数据包在信使之间的转发次数,传递总数随之提高。而简单多信使协议依然具有最少的传递总数,但也带来了最高的延时。

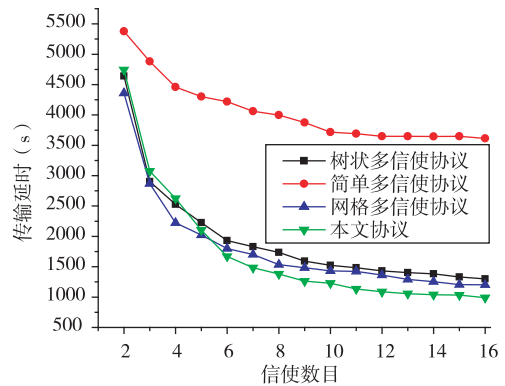


图10 不同信使数目条件下各个协议的延时

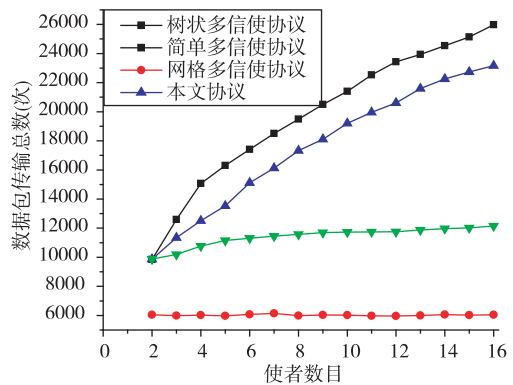


图11 不同信使数目条件下各个协议的网络负载

5.3 不同节点移动概率条件下路由协议的性能

实验中,多信使协议的信使数目设置为9个,节点数目设置为100个。节点移动时间占总时间的百

分比从 0% 增加到 51% ,每次递增 3% 。图 12 和图 13 分别显示了路由协议的成功率和延时。

实验结果表明,随着节点移动概率的增加,各个路由协议的延时都有所增加,这验证了式(3)的结论。信使不会访问移动的节点,在节点移动概率较大的情况下,信使可能长时间没有机会访问到某些节点,部分数据包保留在节点或中心设施的缓冲区无法完成传递,造成传输成功率的下降。各种协议间延时比较的结果与前两组实验的结果是相似的,在节点移动概率较高的情况下,树状摆渡协议的性能甚至不及简单多使者路由。

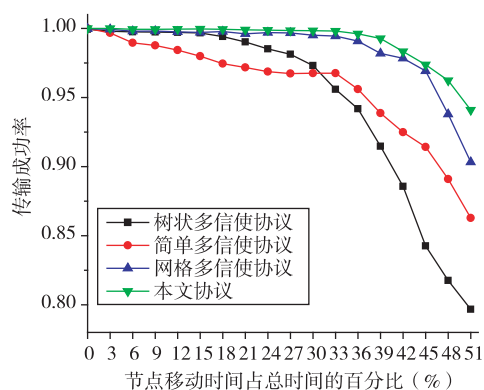


图 12 不同节点概率条件下各个协议的传输成功率

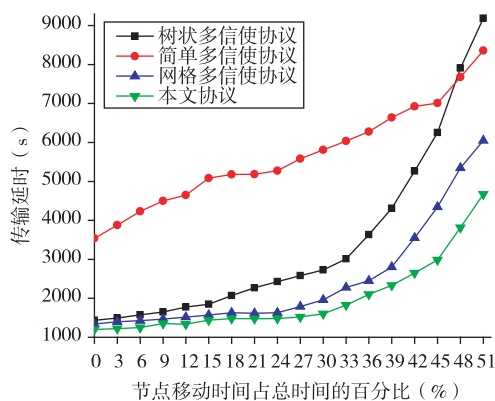


图 13 不同节点移动概率条件下各个协议的延时

图 14 显示了不同路由协议的网络负载。可以看出,单信使路由协议和简单多信使路由协议,存在无法完成传递的数据包,造成传递总数的下降。本文的多信使协议,在节点移动概率较高的情况下,信使从中心区域获取数据包副本后,数据包的目的节点可能已经离开信使所在的区域,这会增加额外的传递次数。但是本文协议的网络负载明显要优于网格与树状多信使路由协议的网络负载。在网格与

树状多信使路由协议中,节点的位置不断发生变化,会导致数据包在信使之间来回传递,因此传递总数随着节点移动概率的增加迅速上升。

综合 3 组实验结果可以看出,本文提出的信使路由策略是可行的,多信使路由策略能够很好地解决单个信使造成的性能瓶颈,在具有较高传输成功率和较低传输延时的同时,可以合理地控制网络负载。另外,在移动概率低于 30% 的情况下,各种协议的性能良好,但当移动概率高于 30% 时,协议的性能呈明显下降趋势,这也符合本文节点移动性较低的前提。对于节点高移动性下摆渡路由的适应性问题,将会是下一步研究的重点。

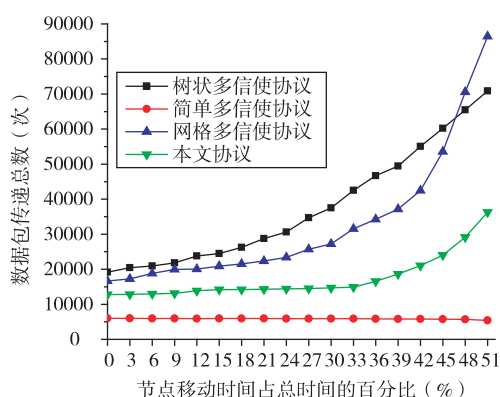


图 14 不同节点移动概率条件下各个协议的网络负载

6 结论

本文提出了一种机会网络动态摆渡路由协议,该协议通过信使动态识别节点信息,并依据此计算移动线路,实现对节点的访问。利用中心设施,实现了多信使的异步协同工作,降低了端到端的延时。进一步的工作可以从以下几个方面入手:(1)考察在节点频繁移动的条件下,摆渡路由的适用性;(2)建立在中心设施基础上的多信使策略是一种相对集中式的方法,研究无需固定基础设施辅助条件下分布式多信使协作策略;(3)研究节点数目与信使的数目的关系,动态确定信使的数目和移动策略。

参考文献

- [1] Nelson D, álvaro G, Santiago Z. Performance analysis of a delay tolerant application for herd localization. *Computer Networks*, 2011, 55(1): 1770-1783
- [2] 廖俊, 蒋黎明, 张宏等. 基于主观信任连通支配集的 MANET 安全分簇算法. *高技术通讯*, 2012, 22(9): 904-911

- [3] Jin Z, Wang J, Zhang S, et al. Epidemic-based controlled flooding and adaptive multicast for delay tolerant networks. In: Proceedings of the 2010 Symposia and Workshops on Ubiquitous, Autonomic and Trusted Computing, 2010. 191-194
- [4] Spyropoulos T, Psounis K, Raghavendra C. Spray and wait: an efficient routing scheme for intermittently connected mobile networks. In: Proceedings of the 2005 ACM SIGCOMM Workshop on Delay-Tolerant Networking, New York, USA, 2005. 252-259
- [5] 徐佳, 李千目, 张宏等. 机会中自适应喷雾路由及性能评估. 计算机研究与发展, 2010, 47(9): 1622-1632
- [6] Etienne C, Oliveira D, Albuquerque C. NECTAR: A DTN routing protocol based on neighborhood contact history. In: Proceedings of the 2009 ACM Symposium on Applied Computing, New York, USA, 2009. 40-46
- [7] Liu C, Wu J. An optimal probabilistic forwarding protocol in delay tolerant networks. In: Proceedings of the 10th ACM International Symposium on Mobile ad hoc Networking and Computing. New York, USA, 2009. 105-114
- [8] Zhao W, Ammar M. Message ferrying: proactive routing in highly-partitioned wireless ad hoc networks. In: Proceedings of the 9th IEEE Workshop on Future Trends of Distributed Computing Systems, 2003. 308-314
- [9] Zhang Z, Fei Z. Route design for multiple ferries in delay tolerant networks. In: Proceedings of the Wireless Communications and Networking Conference, 2007. 3460-3465
- [10] Zhao W, Ammar M, Zegura E. A message ferrying approach for data delivery in sparse mobile ad hoc networks. In: Proceedings of the 5th ACM International Symposium on Mobile Ad hoc Networking and Computing, New York, USA, 2004. 187-198
- [11] Banerjee N, Mark D, Brian N. Design and field experimentation of an energy-efficient architecture for DTN throwboxes. *Transactions on Networking*, 2010, 18(2): 554-567
- [12] Ari K, Jörg O, Teemu K. The ONE simulator for DTN protocol evaluation. In: Proceedings of ACM International Conference on Simulation Tools and Techniques, New York, USA, 2009. 1-10

A dynamic ferrying routing protocol for opportunistic networks

Jiang Haitao^{* **}, Guo Yajuan^{*}, Zhang Hong^{**}, Liao Jun^{**}, Li Qianmu^{**}

(^{*} Jiangsu Electric Power Company Research Institute, Nanjing 211103)

(^{**} School of Computer Science and Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094)

Abstract

In consideration of the problem that traditional ferry routing protocols for opportunistic networks do not suit the condition that nodes have the low mobility but are non-static, this paper proposes a new ferry routing protocol which suits dynamic network environments. and can make real-time determination of messengers' ferry routing. By identifying the nodes in the network, the protocol can dynamically determine the moving path of ferries, and then access nodes and transfer data. By using multiple cooperatively worked ferries, the protocol can overcome the performance bottleneck of single ferry, and also ensure the data delivery rate. The delay analysis and simulation results show that increasing the number of ferries can reduce the routing delay. The simulation results also verify the feasibility and rationality of the proposed routing protocol.

Keywords: opportunistic network, delay tolerant networks, ferry routing, messengers scheduling