

受限网络中基于转发历史异步路由及中继数量研究

陈 辉¹⁾ 樊秀梅¹⁾ 单志广²⁾

¹⁾(北京理工大学计算机科学技术学院智能信息技术北京市重点实验室 北京 100081)

²⁾(国家信息中心信息化研究部 北京 100045)

摘 要 由于节点的移动性、稀疏链路和节点的不可靠,受限网络节点之间在大部分时间处于断开状态,现有的同步路由方法不能适用这种实际情况,所以必须从异步角度来考虑这类网络环境下的路由问题.文章完全从异步的角度思考无线自组织网中的路由问题,利用分组转发的历史信息智能做出路由决策,并研究中继节点数量对性能的影响,以减少由于复制大量分组而产生的网络流量.文章详细介绍了作者提出的方法,并通过仿真实验和一些相关算法进行比较,分析算法性能.

关键词 路由;受限网络;机会通信;容迟网络
中图法分类号 TP393

Forwarded History-Based Asynchronous Routing for Challenged Networks and Research of the Number of Relays

CHEN Hui¹⁾ FAN Xiu-Mei¹⁾ SHAN Zhi-Guang²⁾

¹⁾(Beijing Laboratory of Intelligent Information Technology, School of Computer Science, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081)

²⁾(Department of Information Research, State Information Center, Beijing 100045)

Abstract For the reason of the mobility, fallibility of nodes, and the sparsity of Links, most of the time links in challenged networks are disconnected. Traditional synchronous routing methods are unsuitable for this circumstance, thus we should consider the routing problem of challenged networks in an asynchronous way. This paper proposes a totally asynchronous routing algorithm, which uses the forwarded history of the messages to make routing decision. This method could decrease network traffic caused by message flooding. In addition, the authors study of the influence of the number of relays on the performance. This paper elaborates the method and analyses the performance of the method by comparing the simulation result with some other methods.

Keywords routing; challenged networks; contact; delay tolerant network

1 引 言

无线自组织网(Mobile Ad-hoc Network, MANET)是一种典型的分布式网络模式,这对节点间的相互通信提出了很多挑战.针对无线自组织网

的路由问题,大量算法已被提出^[1-5].为了研究问题的简单化,大多数学者的研究都基于这样的假设:只有在相互连接的同一云图中的节点间的通信才是有意义的,即通信都是同步的.然而在实际的应用中这种假设被越来越多地打破,在实际中可能需要在不同的连接云图中通信,或者是某一地区由于某些原

因,比如节点比较稀疏、节点能量管理或是节点移动比较频繁,使网络中很难维持稳定的网络拓扑结构.此外,在目前的一类越来越重要的所谓“受限网络(Challenged network)^[6]”中,由于较大的网络延时、频繁的网络断开和间歇连接使得很难维持节点持续的连通性.在以上情况下使用现有的同步路由算法很明显不能满足这些情况下的端到端通信.异步通信很自然地适用于这些部分连接的网络环境.

“受限网络”的最基本要求就是在尽量小的延迟下保证分组的成功送达,本文使用基于分组转发历史来进行路由决策,并选择较好的节点作为分组的携带者的方法来满足“受限网络”的特殊性.我们通过在 DTNsim2^① 异步事件仿真平台上实现我们提出的路由算法,并和流行性算法(Epidemic algorithm)^[7]、Simple Contact 算法和 Global Knowledge 算法^[8]进行比较,分析算法性能.

2 无线自组织网络中的异步通信

我们在日常生活中可能经常使用 Internet 和距离很远的其他用户进行及时通信或文件传输.在这些同步通信的情况下,源节点和目标节点在一条端到端的路径上发送消息分组.如果由于某些原因(如网络异常),某一个分组发送失败,源节点会重新给目标节点发送该分组.但是若在文献[9]中提到的环境中,不同部落间的节点可能没有这样的端到端的路径,采用同步的方法就不能进行通信,因而提出了异步工作模式的需求.

关于无线自组织网中的异步路由算法目前已有了一些成果^[7-14].一种最简单的方法是源节点将分组洪泛给区域中的所有节点,直到目标节点接收到该消息,这种算法被称为流行性算法.虽然这种算法能保证消息以最小的延迟发送给目标节点,同时保证很高的发送成功率,但这种算法也产生了过多的网络流量,对此也有一些改进思路^[10-12,15].由于无线网络中的节点没有持续的能量供给,节点的存储能量和计算能力都是有限的,特别是在用于特殊场合的传感网络中,如文献[13]中用于监测斑马活动规律的斑马网中,带有 GPS 定位系统的无线传感节点被安装在斑马身上,这些节点一旦安装完毕就不能再更换电池,所以我们希望电池能用尽量长的时间.这样,因为流行性算法产生太多的网络流量而使节点处于活动的时间会大大增加,同时节点要处理更多

的分组,过大的计算量同样会消耗掉很多能量.另一方面,由于网络中节点存储能量有限,如果节点接收到的分组超过了节点的缓存的范围,节点就会丢掉一些优先级低或时间比较久的分组,这最终影响到分组发送的成功率.所以,实际的路由算法应该是挑选部分较好节点来转发分组,以减少不必要的网络流量.现有的大量路由算法都是围绕着如何选取较好的中继节点转发分组,如何在复制较少分组的情况下仍然能达到较好的传输效果.

Fall 等人提出了几种依靠网络知识来转发分组的算法^[8].这些算法使用一种类似于传统网络路由协议的链接量度,每个节点都建立一个全局网络拓扑结构图,最终在这个图上运行最小路径算法来计算出一条最小路径,使用这条路径上的节点转发分组.

Musolesi 等人提出了一种 Context-Aware Routing 路由算法^[11].这种算法里节点利用环境信息合成传输可能性信息来进行路由决策.在同步路由时,节点周期性地发送同步路由需要的潜在信息,给其它节点传输可能性的列表.节点收到这些消息后更新自己的路由表.对于异步路由,每一个节点都维持一个列表,这个列表中保存(目标节点,最好节点,传输可能性)这样的组.当一个节点被选为消息携带者并接收到消息后,节点把消息存入缓冲区中.这个携带消息的节点执行同样的操作,直到消息送达目标节点.此外,他们还提出了使用卡尔曼滤波(Kalman filter)^[16]来预测节点环境的变化和优化带宽的使用.

Ghosh 等人研究在 ETN Zurich 校园中无线用户的移动性轨迹来验证他们在文献[17-18]中提出的社会性轨迹^[10],即移动节点经常访问一些重要地方(称作“网络中心”),这些地方形成节点的一个“网络中心”列表并且通过混合贝努利分布把这些“网络中心”列表形成簇.簇使用“网络中心”列表和与其相关联的访问可能性,并利用这些簇作为“移动轮廓”,使用这些轮廓为移动节点提供有效的路由决策.

Fall 等人提出了容迟网络(delay tolerant network)体系结构^[6]来处理不同“受限网络”类型间的节点的通信问题.同时,基于文献[6]的思想他们提出了几种需要网络知识的路由算法^[8],这些算法在节点间定义一种量度,这样节点和节点间的通信机会形成一个加权图,然后利用最小路径算法寻找一

① DTNsim2 dtn simulator. University of Waterloo[Online]. Available: <http://shoshin.uwaterloo.ca/dtnsim2/>

条较好的路径来转发消息. Jones 等人对该算法进行了改进^[19].

Wang 等人提出基于擦除码(eraser-coding)的消息转发算法来提高简单的消息复制算法^[16]. 在基于擦除码的算法中,首先在源节点对消息进行编码产生大量的编码块,然后这些编码块平均在前 N 个到了的中继间分配,让它们负责转发编码块. 当有部分代码块到达终端节点即可使用它们重新恢复消息. 除了有效的路由以外,这种方法也能应对比较差的通道质量或网络拥塞造成的分组丢失.

这些方法从不同的角度考虑无线自组网中异步路由问题,但这些方法都在某些方面存在一定的问题. 我们提出的方法可以和这些方法进行一定的融合,最终形成一种混合的路由方法,这种方法需要较少的网络知识、复制较少的消息、选择合适的中继点及中继点数量,并且能考虑到网络中大部分影响路由的因素.

3 基于转发历史的路由

我们提出一种基于转发历史的智能路由算法(Routing algorithm based on Transfer History, 简称为 FH),该算法的目标是让节点能够智能地做出路由决策,选择一些将同类消息成功送达目标节点成功率比较高的节点作为中继点来转发分组. 同时 FH 算法使用尽量少的网络知识,便于网络的部署和扩展. FH 算法用来做出路由决策的信息是基于对以往消息转发历史的统计来得到的,在算法运行初期和流行性算法类似,在这一阶段节点建立转发信息表,一旦转发信息表建立成功就开始选取部分节点而不是所有节点来转发消息.

3.1 系统模型

间歇性断开的网络通常被建模成一系列的移动性节点,每个节点可以搜索通信范围内的其它节点并建立连接,节点具有一定的消息缓存能力和有限的带宽. 当两个节点进入彼此的通信范围后,建立连接并相互发送分组消息. 在传输中,发送方给接收方发送一个分组后并不将自身的分组拷贝删除. 节点可以直接或通过其它中间节点将分组发送给目标节点. 假设目标节点有足够的空间存储接收的消息,则只有传输中的分组受有限存储空间的限制. 间歇性断开网络中节点之间的通信机会持续的时间远小于节点间断开的时间.

我们的研究实验基于图 1 所示的模型,模型是一个有向图结构,图中的节点表示网络节点,图中的边表示节点间所拥有的通信机会(通信机会是双向的,并且按照一定的规律到来). 异步路由算法的目标就是利用这些通信机会,将尽量多的消息从源节点发送到目标节点.

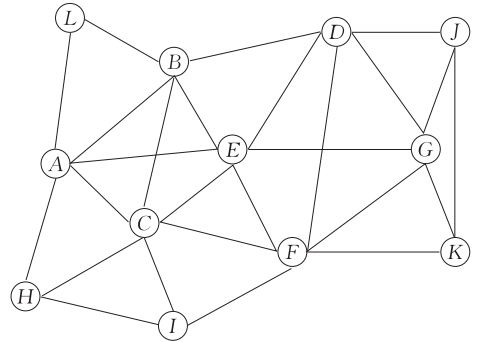


图 1 实验场景示例

3.2 研究中的一些假定

Juang 等人曾提出一种基于历史的路由算法^[13],他们统计每个节点和接收消息的基站通信机会的历史,利用这些历史信息计算一个量度值. 当一个节点要发消息时,他将消息复制给那些和它有通信机会的量度值较高的一些节点,这样消息沿着一条越来越接近基站的方向传输. 这是一种坡度路由的方法,等级越高的节点在基站附件活动越频繁,同时和基站的通信的机会越多. 然而这种方法存在明显的“慢启动”问题^[13],特别是在大规模网络环境中. 在规模比较大的网络中,同源节点有通信机会的中继可能都离目标节点比较远,很可能没有和目标节点通信的机会,所以他们不可能有很高的成功率让我们选择他们为中继. 这样源节点或其它中继在转发给下一跳时很难做出正确的判断. 我们的算法根据转发历史记录来做出智能决策,可以很好地解决这个问题.

本文提出的路由算法基于如下假定:(1)网络中的节点有一定的移动规律;(2)如果某条消息沿着某一条路径发送成功率比较高,那么沿相反的方向发送消息也有几乎同样的成功率;(3)网络中的节点是时钟同步的. 第一条假设在大部分实际受限网络场景中都是满足的,比如节点运行轨迹精确的星联网^[6,20]、依靠携带无线节点的公共汽车连接的偏远村庄组成的网络^[3]、斑马网^[13]和校园使用移动设备的用户所组成的网络^[12]. 在斑马网中携带无线传感器的节点,在水源和生长比较快的草地附近的机会更大,这样每个节点的运行看似随机,其实也存

在很强的规律性. 我们的第 2 个假设受两个因素的影响, 反向路径的可靠性可能受节点或链路的不稳定或不对称的消息传输率所影响. 但是链路和节点的不稳定对所有的链路和节点发生的概率都是相同的, 另外我们假设反向路径有同样高的转发成功率是为了向参与成功转发消息的节点发送确认消息, 而我们的确认消息数据量非常小, 即使反向的数据传输率比较低, 也不会造成很大的影响.

提出的基于转发历史的路由算法分为三部分: (1) 中继选择算法(RELAY_SELECT); (2) 分组传输算法(PACKET_TRANSFER); (3) 路由信息更新(RINFO_UPDATE). 中继选择算法在节点准备发送分组时或作为中继接收到消息时被执行, 为分组选择较好的下一跳中继. 分组传输算法在两个节点的通信机会到来时执行, 进行分组的传输. 路由更新算法在节点收到回馈信息后执行, 更新路由信息表.

3.3 中继选择算法

因为在间歇性连接网络中节点大部分时间处于断开状态, 不同的节点的通信机会的到来并不在同一时间, 所以必须在发送消息前做出路由决策, 挑选较好的节点得到消息的复制.

<i>D</i>	分组的目标节点
<i>T_m</i>	终点为 <i>D</i> 的条目中最大的平均时间
<i>T_a</i>	中继 <i>R</i> 通信机会到来的平均时间
<i>S_c</i>	中继 <i>R</i> 成功发送数量
<i>D_c</i>	中继 <i>R</i> 发送消息数量
<i>N</i>	挑选较好中继的个数
<i>M</i>	路由信息建立所发的消息个数

RELAY_SELECT(*D*).

1. 从路由表中查询出终端节点是 *D* 的条目.
2. 利用公式 $t=1-T_a/T_m$ 将各个条目中的平均时间映射到 0~1 范围内. 计算各个条目的转发成功率 $r=S_c/D_c$.
3. 合成路由量度 $M=K1\times t+K2\times r$, 平均时间和转发成功率分别被赋予不同的权值 *K1* 和 *K2*. 挑选 *M* 值较大的 *N* 个节点作为中继, 对 $D_c<M$ 的中继同样得到消息的复制来建立路由信息.
4. 将选择的中继记录, 等待这些节点的通信机会的到来.

3.4 分组传输算法

当两个节点的通信机会到来时, 分组传输算法被执行. 相遇的两个节点执行同样的方法将分组传输给对方. 为了充分利用通信机会, 我们按不同的顺序来传输各种消息, 确认消息首先得到传输, 其次是

目标节点是通信的另一方的消息, 最后发送其它的消息. 这样保证确认消息尽快得到传输以及时地更新路由信息表, 另外优先发送直接到达的节点使中继尽早释放消息所占用的存储空间并避免消息被新的分组覆盖, 提高分组传输成功率.

PACKET_TRANSFER(*X,Y*).

1. *X* 节点向 *Y* 节点发送应该由 *Y* 转发或发往 *Y* 的分组的关键字的列表 *L*. 等待 *Y* 的回复.
2. 节点 *Y* 把 *L* 中没有接收到的消息的关键字的列表 *L2* 发送给 *X*.
3. 发送 *L2* 中的确认消息给 *Y*.
4. 发送终点是 *Y* 的分组给 *Y*.
5. 发送其它分组给 *Y*.
6. 路由算法在通信机会结束或所有消息传输完毕后结束.

3.5 路由信息更新

发送分组的节点或得到分组复制的节点在将分组加入存储区时在消息头中标记节点的标识关键字和当前时间. 分组的终端节点在接收到分组后从分组头中取出参与分组发送的节点列表 *N_s* 和各个节点收到消息的时间, 计算出每跳所使用的时间 *T_s*. 创建确认消息, 将 *N_s* 和 *T_s* 作为确认消息的数据, 按相反路径转发给参与该分组转发的节点和分组的源节点.

在消息发送过程中, 我们在消息头里面记录消息发送所走的路径, 当终端节点成功接收到消息时利用该路径的相反方向给路径上的节点发确认消息. 节点接收到确认消息后更新路由信息表. 比如一条消息沿着 *A*→*B*→*E*→*G* 的路径将一条消息成功发送, 则 *G* 按 *G*→*E*→*B*→*A* 路径来发送确认消息. 假设节点 *A* 收到了确认消息, 这不但表明它使用节点 *B* 为中继成功给 *G* 发送了一条消息, 同时也表明它使用节点 *B* 为中继成功给 *E* 发送了一条消息和它成功给 *B* 发送了一条消息, 则在 *A* 的路由信息标准要更新以 *B* 为中继, *G*, *E*, *B* 为目标节点的 3 个条目的信息.

3.6 仿真实验与性能比较

我们在 DTNsim2 异步事件仿真平台上实现了流行性算法(Epidemic Protocol, EP)、直接通信机会(Simple Contact, SC)、全局知识路由(Earliest Delivery, ED)及我们提出的基于转发历史路由(Routing algorithm based on Transfer History, FH)等算法, 并对仿真结果进行比较. 所有算法仿真都基于表 1 所示的同样参数.

表 1 仿真参数

仿真区域/m	节点数/个	消息大小/kb	带宽/kbps	仿真时长/天	建立路由信息发送消息数/个	选择较好的中继数/个
4500×3400	16	400	800	5	8	4

实验场景采用 Jörg Ott 等人在文献[12]中使用的一个经过对移动设备用户的活动规定进行统计而得出的一个实际的场景,在这个场景里节点以不同的频率出现在各个被称为“网络中心”的地方,例如餐厅、教室,同时出现在一个“网络中心”的两个节点具有相互识别并进行通信的能力。

仿真使用的节点移动模型是 Ghosh 等人通过对 ETN Zurich 校园中无线用户的移动性轨迹进行跟踪而得到的节点移动性模型^[10]。在这个模型里,节点以不同的概率在各个被称为“网络中心”的地方出现,当两个节点出现在同一个“网络中心”时这两个节点处于连通状态,开始进行通信。我们选择的移动性模型中的节点的移动有一定的规律性也存在一定的随机性。这些节点的移动虽然看似随机,但是实际中某些节点在某些“网络中心”出现的概率可能比其它“网络中心”出现的概率高,同样在同一个“网络中心”中出现的概率相似的节点拥有更多的通信机会。

在相同环境下,我们对本文提出的基于转发历史的路由算法、直接发送算法、全局知识算法和流行性算法在仿真实验中进行比较,分析比较了它们的一些性能参数指标。

图 2 是在带宽和节点数确定为 16 个的情况下,通过设定不同的缓冲区值来仿真而得到的数据传输率的曲线图。从图中看到基于转发历史的路由方法在性能上比流行性算法和全局知识算法稍差,而又比直接传递方法好。因为直接传递方法受消息的源节点和目标节点直接的通信机会的次数的限制,而流行性算法是以大量消息为代价的,此外全局知识算法不仅需要节点交换大量的消息,而且要进行大量的最小路径的计算。这两种方法对节点的能量都有很大的消耗。最后,流行性算法和全局知识算法受缓存区的大小影响较大,我们可以看到,随着缓冲区大小的增加,这两种算法的数据传输率增加很快,而

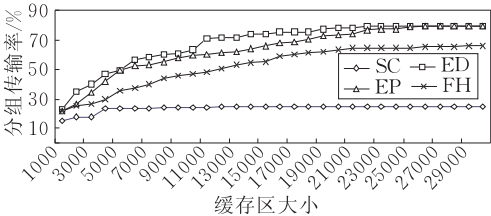


图 2 缓存区大小与分组传输率的关系

基于转发历史的路由方法和直接传递的方法则变化得相对较慢。这表明基于转发历史的路由方法受缓存区大小的影响比较小,因为基于转发历史的路由方法在网络中产生的流量比较少。

图 3 是在设置不同的缓冲区大小的情况下,网络中所发送的消息的数量。我们可以看到无论缓存的大小是多少,流行性算法所发送的数据量大于基于转发历史的路由方法。另外实验结果表明,全局知识算法所传输的数据量远远大于其它算法。而直接传递方法产生的消息量很小,而且随缓冲区大小的增加基本保持不变。流行性算法的曲线增加基本是随着数据发送成功的量的增加而增加,因为更多的消息发送到终点就需要复制更多的消息。基于转发历史的算法消息量的变化稍微和缓些,因为我们在每一次做路由决策时只选择 4 个最好的节点,相比于流行性算法把消息复制给所有的节点基本上少了三分之一的消息量。而且,流行性算法发送消息量是随着节点数增加指数级增长的 $(N+1)^M$,基于转发历史的算法是乘数级增长的 $(N+1) \times M \times k$ (N 是网络节点数, M 是发送的总消息数, k 是 FH 算法选择的较好中继数)。

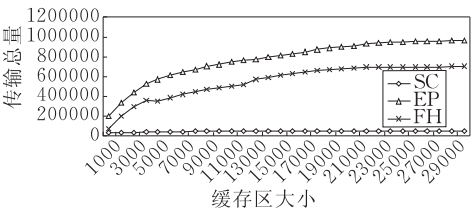


图 3 缓存区大小与传输总量的关系

图 4 是在不同缓存区大小下,消息平均延时的变化图。从图中可以看到 FH 算法消息的平均延时比 EP 算法高,而且随着缓冲区的增加而增加得比较快。这说明虽然我们统计成功率都是最早发送消息成功的路径,但在节点规律性不是很强的场景下,并不能保证我们选择的路径是延时接近最小的路径。另外我们发现全局知识算法的平均延迟在缓存区小于 15000 时比其它算法大,这是因为 ED 算法需要节点间交换大量的路由信息来建立量度,在缓存区小的情况下,发送较少的消息不能有效地建立网络信息。随着网络中发送消息数的增加,ED 算法能做出更准确的路由决策。

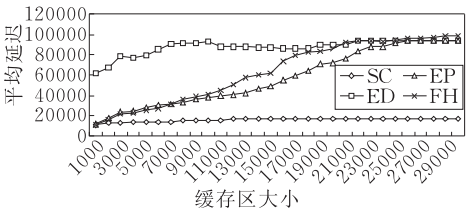


图 4 缓冲区大小与平均延迟的关系

4 中继数量选择研究

本文提出的路由算法有一个重要的参数——选择的较好中继数. 该参数决定在节点转发消息时, 将消息拷贝给几个下一跳节点. 该参数的设置直接影响到本文提出的路由算法的性能, 所以需要进行合理选择. 本节从该参数对发送成功率、平均延迟和路由的效率的影响进行分析.

4.1 中继个数对消息发送成功率的影响

因为挑战网络中节点和链路的不稳定性, 在每一跳需要将消息拷贝给多个下一跳节点来提高消息的可达性. 另一方面, 如果每一跳选择的中继过多, 会造成更多的网络流量, 特别是在网络需要传输的数据量大或缓存资源紧张的情况下. 由于不同的消息竞争缓存空间, 会造成一些较旧的消息被删除, 最终影响消息的可达性. 图 5 所示的是在网络中 30 个节点消息量相同的情况下, 分别把消息缓存区设为 1M 和 30M, 改变较好中继数而得到的结果. 从图 5 可以看到, 消息缓存区为 30M 的时候随着较好中继数的增加消息发送的成功率也增加. 选择 10 个中继比选择两个消息发送成功率增加了大约 23 个百分点, 但是选择 14 个比选择 10 个只增加了不到 1 个百分点, 说明选择超过一定数量的中继对算法性能影响不大, 选择太多的中继效率比较低. 在图 5 中当缓存区设为 1M 时由于消息数量没有改变, 网络中的资源比较紧张, 当选择 14 个中继时消息发送成功率稍微下降, 这说明在资源紧张的情况下较好中继的选择数会影响消息发送的成功率. 从该实验结果的分析可见, 中继个数选择受资源情况和消息量的影响,

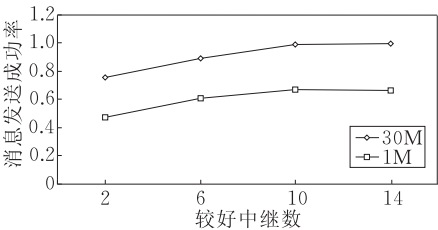


图 5 选择的较好中继数对消息发送成功率的影响

选择合理的较好中继数能提高消息发送成功率.

4.2 中继个数对平均延迟的影响

选择更大的较好中继数使更多的节点携带消息不仅能在一定条件下提高消息发送的成功率, 也能降低消息的平均延迟. 如图 6 所示当选择更多的较好中继时, 缓存区为 1M 和 30M 时平均延迟都有大幅下降, 特别是在缓存区为 1M 时减少的比较多, 这是因为选择较少中继时消息需要传递更多跳. 较好中继数设为 6 时比设为 2 时平均延迟减少了大约 7000, 当较好中继数继续增加时平均延迟减少的越来越慢. 当缓存区为 30M 时, 选择较好的中继数也使平均延迟减小, 但是没有在缓存资源紧张情况下减少的多. 从以上结果分析可得出增大较好中继的个数能减小消息的平均延迟, 特别是在缓存资源紧张的情况下更加明显.

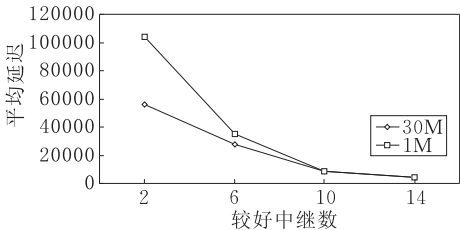


图 6 较好中继数对消息发送成功率的影响

4.3 中继个数选择与效率

我们定义平均消息拷贝数为仿真过程中传输的消息总数除以成功传送的消息的个数. 该值近似于传输成功的消息平均产生的拷贝数, 能在一定程度上反映消息传输的效率. 该值越小表明产生较少的消息拷贝成功传输消息, 所以效率越高. 图 7 可见随着选择较好中继数的增加, 消息传输的效率下降. 特别是在缓存区资源紧张的情况下, 下降得比较多. 这从另一个角度说明, 选择过多的较好中继对性能的影响较小, 效率比较低.

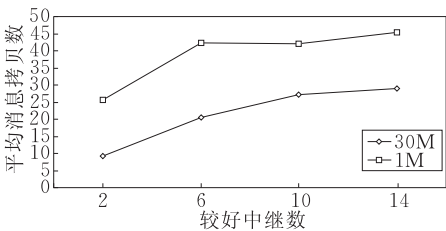


图 7 选择的较好中继数对消息发送成功率的影响

5 结论和展望

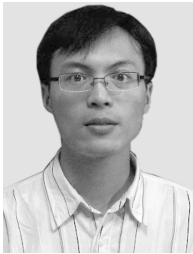
本文中我们提出了一种基于转发历史的异步路

由算法来处理无线自组织网中的异步路由问题,并着重研究了中继点数量对网络性能的影响.无线自组织网中的路由问题受很多因素的影响,这里只考虑了几个最重要的参数因素.FH 算法几乎不需要任何的网络知识,便于网络的布置;同时减少了消息的拷贝数量,减少了网络的负担.另一方面,FH 算法也存在需要发送确认消息的问题,虽然发现的数据量不大,但是过多的消息仍然会增加节点的活动时间,即消耗更多的能量.

下一步我们将考虑使用不用发送确认消息仍能进行转发的成功率的统计,比如统计接收消息的成功率.另外我们还要考虑其他因素,如节点的负载量,使 FH 算法在节点运行规律性不是很强的网络中尽量保证选择的路径有较小的延迟.此外,我们还要考虑在更大规模网络环境下路由表过于庞大的问题,需要考虑把网络划分成不同的区域,在区域内和区域外分层路由.

参 考 文 献

- [1] Perkins Charles E, Bhagwat Pravin. Highly dynamic destination-sequenced distance-vector routing (DSDV) for mobile computers//Proceedings of the Conference on Communications Architectures, Protocols and Applications. London, United Kingdom, 1994: 234-244
- [2] Clausen T, Jacquet P. Optimized Link State Routing protocol (OLSR). RFC 2326, October 2003
- [3] Perkins C E, Belding-Royer E M, Das S R. Ad hoc on-demand distance vector (AODV) routing. Experimental RFC 3561, July 2003
- [4] Haas Z J, Pearlman M R. The performance of query control schemes for the zone routing protocol. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2001, 9(4): 427-438
- [5] Yao P, Krohne E, Camp T. Performance comparison of geo-cast routing protocols for a MANET//Proceedings of the 13th IEEE IC3N. Chicago, 2004: 213-220
- [6] Cerf V, Burleigh S, Fall K et al. Delay-tolerant networking architecture. draft-irtf-dtnrg-arch-08.txt, December 2006
- [7] Vahdat A, Becker D. Epidemic routing for partially connected Ad hoc networks. Department of Computer Science, Duke University; Technique Report CS-2000-06, 2000
- [8] Jain S, Fall K, Patra R. Routing in a delay tolerant network//Proceedings of the ACM SIGCOMM'04. Portland, Oregon, USA, 2004: 27-34
- [9] Union I T. Connecting remote communities. Documents of the World Summit on Information Society, <http://www.itu.int/osg/spu/wsis-themes>
- [10] Ghosh Joy, Ngo Hung Q, Qiao Chunming. Mobility profile based routing within intermittently connected mobile Ad hoc networks (ICMAN)//Proceedings of the 2006 International Conference on Communications and Mobile Computing (IWCMC 2006). Vancouver, Canada, 2006: 551-556
- [11] Musolesi Mirco, Hailes Stephen, Mascolo Cecilia. Adaptive routing for intermittently connected mobile Ad hoc networks//Proceedings of the IEEE 6th International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WOWMOM'05). Taormina, Italy, 2005: 183-189
- [12] Ott Jörg, Kutscher Dirk, Christoph Dwertmann. Integrating DTN and MANET routing//Proceedings of the SIGCOMM CHANTS Workshop. Pisa, Italy, 2006
- [13] Juang P. Energy-efficient computing for wildlife tracking: Design tradeoffs and early rxperiences with ZebraNet//Proceedings of the 10th International Conference on Architectural Support for Programming Languages and Operating Systems. San Jose, CA, 2002: 96-107
- [14] Wang Y et al. Erasure-coding based routing for opportunistic networks//Proceedings of the ACM SIGCOMM DTN Wksp. Philadelphia, PA, 2005
- [15] Westphal Cedric. Properties of opportunistic and collaborative Ad hoc networks//Proceedings of the GLOBECOM 2007. Washington, DC, 2007
- [16] Wang Y et al. Erasure-coding based routing for opportunistic networks//Proceedings of the ACM SIGCOMM DTN Wksp. Santa Clara, CA, 2005
- [17] Ghosh J, Philip S J, Qiao C. Poster abstract: Sociological orbit aware location approximation and routing (solar) in manet//Proceedings of the Presented as a Poster in ACM Mobihoc'05. Champaign, IL, 2005
- [18] Ghosh J, Philip S J, Qiao C. Sociological orbit aware location approximation and routing in manet//Proceedings of the IEEE Broadnets'05. Boston, MA, 2005: 641-651
- [19] Jones Evan P C, Li Lily, Ward Paul A S. Practical routing in delay-tolerant networks//Proceedings of the ACM SIGCOMM DTN Wksp. 2005
- [20] Cerf V, Burleigh S, Hooke A, Torgerson L, Durst R, Scott K, Fall K, Weiss H. Delay tolerant network architecture. draft-irtf-dtnrg-arch-02.txt, 2004
- [21] Spyropoulos Thrasyvoulos, Psounis Konstantinos, Raghavendra C S. Efficient routing in intermittently connected mobile networks: The single-copy case//Proceedings of the IEEE SECON. Philadelphia, PA, 2004



CHEN Hui, born in 1983, M. S. . His research activities are in asynchronous unicast routing algorithm and topology planning of wireless mesh networks in urban areas.

FAN Xiu-Mei, born in 1967, Ph. D. , associate professor. Her current major research interests focus on wireless network, routing protocol and NGI QoS.

SHAN Zhi-Guang, Ph. D. , researcher. His current major research interests focus on computer network, Petri network and system performance evaluation.

Background

This article is mainly study of the asynchronous routing algorithm for intermittent networks. There are many type of challenged networks, and in each of them the wireless nodes have different mobility pattern. Even though a message-switched architecture for asynchronous communication has already been proposed, there is not an efficient routing algorithm that suitable for most of the circumstances. Some scholars use network knowledge to accurately decide when and using which relay to forward a message, this method only suitable for networks that nodes have a regular mobility pattern. Some other scholars proposed some method which based on message replication to improve the delivery ratio of messages. These methods generate too much network traf-

fic. Other people consider the routing as a resource problem, and this method has better performance.

In this article, the authors propose an asynchronous routing method which does not need any network knowledge; also this method could decrease the network traffic and has a better performance. This subject is part of the 863 project "New-style Ad-hoc Routing to Hold out Intermittently Connect". This project is aimed to propose an advanced routing protocol which could be used in networks characterized by long delay, frequent interruption, and intermittently connectivity. The significance of this article is to study of the asynchronous routing technology of Ad-hoc Networks, and to promote the enacting of the standard of our country.