

DTN 网络中 ED 算法的分析与改进^①

陈元甲 刘卫国 施荣华 (中南大学 信息科学与工程学院 湖南 长沙 410083)

摘要: 详细研究了延迟容忍网络(DTN)的一种确定性路由算法—ED(Earliest-Delivery), 分析了其计算延时开销函数, 并在此基础上充分考虑了传播延时、节点之间链路的连接规律, 引入链路连接状态表来选取路由决策时刻, 优化延时开销的计算。实验结果表明, 改进后的 ED 算法可以有效地降低延时, 提高路由成功率。

关键词: 延迟容忍网络;路由算法;延时开销;最早传递算法

Analysis and Improvement of Earliest-Delivery Routing Algorithm Based on DTN

CHEN Yuan-Jia, LIU Wei-Guo, SHI Rong-Hua

(School of Information Science and Engineering, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: This paper focuses on one of DTN's deterministic routing algorithms—ED (Earliest-Delivery) and makes an analysis of its calculation of the delay cost function. To select the accurate time of routing decision-making and optimize the calculation of delay cost, a link connection state table is employed. On this basis, the transmission delay and rules of node-link connection are taken into account. Experimental results show that the improved ED can effectively reduce the delay and improve routing success rate.

Keywords: delay tolerant network (DTN); routing algorithm; delay cost; earliest delivery (ED)

1 引言

近年来, 越来越多的研究人员致力于长延时、间歇性连接以及能量和存储受限的网络的研究, 如陆地移动网络、星际网络和无线自组织网络等。为使受限网络更好地与现有 Internet 之间互操作, 并改善网络的传输性能, Fall 等人于 2002 年在 ICIR 会议上提出了延迟容忍网络(DTN)^[1]。

由于 DTN 网络拓扑结构的动态特性, 链路的中断可能比连接更加频繁, 可能在某段时间内不存在端到端的路径^[2-4], 因此设计合理有效的路由成为 DTN 的关键。目前, 研究者提出了多种不同路由算法, 其中按照节点掌握的网络拓扑信息可将它们分为确定性路由和随机性路由^[5,6]。本文讨论确定性路由, 即网络将来的拓扑变化是确定的或可预知的。文献[7]根据链接信息、队列信息和通信需求三种先验知识, 提出了 MED、ED 等算法, MED 是最小期望延迟算法, 其延

时开销是时不变的, ED 是最早传递算法, 其延时开销是随时间变化的。文献[8]引入了一个精确性因子来修正延时开销计算结果, 进而提出了一种增强型 ED 算法—AED(Advanced ED), 但该算法没有具体考虑等待延时和传播延时之间的关系以及路由决策时刻的选取。文献[9]得出了 DTN 链路间断随时间变化的规律, 预测了链路未来的连接趋势。本文根据 DTN 链路的特性, 提出了建立链路连接状态表来选取路由决策时刻的策略, 减小了延时开销的计算误差, 从而改进了 ED 算法的性能。

2 ED算法分析

如图 1 所示, 在 DTN 网络中, 消息从节点 A 通过边 e 传输到节点 B 的延时主要由三部分^[8]组成: 一是传输延时 td , 即将一条消息发送到一条边上所需要的时间; 二是等待时间 tw , 即消息在节点的队列中等

^① 基金项目:国家自然科学基金(60173041)

收稿时间:2010-02-10;收到修改稿时间:2010-04-06

待直到有可用的链接出现的时间；三是传播延时 t_p ，即消息在链路上传播所花费的时间。考虑到延迟容忍网络中的链路断开时间会很长，等待时间 t_w 就成了主要延时部分。

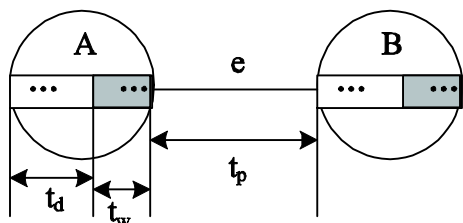


图 1 DTN 中延时的组成

如果每条边上的开销是非时变的，路由选择可以使用 Dijkstra 最短路径算法。然而，如果每条边上的开销是时变的，直接采用 Dijkstra 最短路径算法就不妥了。因此需要对 Dijkstra 算法作两个修正以适应开销是时变的情况。第一是需要事先预测好一个消息到达一个节点的时间。第二是这个到达的时间必须被用来计算这个消息在下一条边上传输的开销。

根据 DTN 中的长延时特点，以延时作为 Dijkstra 算法的权重因子，并考虑到延时的三个组成部分，定义开销函数^[7]为：

$$w(e,t,m,s) = t'(e,t,m,s) - t + d(e,t') \quad (1)$$

$$t'(e,t,m,s) = \min\{t' \mid \int_{x=t}^{t'} c(e,t) dx \geq (m + Q(e,t,s))\} \quad (2)$$

其中 e 是边， m 是消息的数据量， s 是当前节点， t 是计算延时开销的时间， t' 是消息到达边 e 并开始传输的时间， $d(e,t')$ 是传播延时函数， $c(e,t)$ 是节点的容量函数， $Q(e,t,s)$ 是本地队列函数。因此， $w(e,t,m,s)$ 就表示了从 t 时刻开始，一个数据量为 m 的消息从当前节点 s 到通过边 e 总的延时。

ED 算法的基础是当前节点各链接的瞬时延时，即为时变的，所以它的延时就可以用上面定义的开销函数来计算。但 ED 算法没有考虑队列信息，其队列函数 $Q(e,t,s)$ 的值就恒等于零。

由于 ED 算法没有考虑队列信息，所以当节点不存在排队等待消息或者当链接容量足够大时，它是最优化的路由算法。在实际应用中，往往存在多个消息在同一节点等待传输的情况。这样就会造成路由决策时刻 t' 的不准确，也就影响了传播延时的计算。ED 算法是一种源路由选择算法，一个节点的不精确就会影响后面节点延时的计算，整个误差累计起来后总的

延时计算值就偏离了原来的值，最终得到的路由就不是最优的，甚至会导致数据包到不了目的节点。例如，假定有 A, B, C, D 四个节点，节点之间的延时开销如图 2 所示。现在节点 A 有数据包 m 要发送到节点 D。根据 ED 算法，选择路径 A-B-D，总的延时为 0.5。但如果在节点 A 处有大量排队等待的数据包，当数据包 m 到达边 AB 的时候，AB 之间的链接可能已经断开。此时选择路径 A-C-D 可能更好。另外如果路径中每个节点在延时上有一个小的误差，这些误差积累下来就可能造成最终选择的路径并不是最优的。

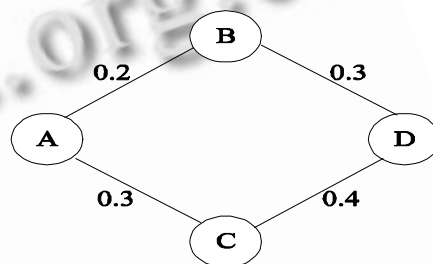


图 2 节点链路状态对路由的影响

3 对ED算法的改进

基于以上分析，下面将对路由决策时刻 t' 进行分析讨论，根据链接信息提出一种优化策略，从而改进 ED 算法，使之能适应开销函数误差累积以及存在排队消息的情况。

3.1 建立链路连接状态表

根据文献[9]中得出的 DTN 网络中由确定性事件影响的节点间链路连接特性随时间变化的规律，针对路由决策时刻 t' 的精确性，本文提出在节点之间建立链路连接状态表来优化路由决策时刻 t' 的选取的策略，达到降低延时开销计算误差的目的。

在节点 A 建立一张链路连接状态表，如图 3 所示。

current node	next node	k	t_s	t_e	$t_e - t_s$
--------------	-----------	---	-------	-------	-------------

图 3 节点链路状态表组成

其中是 **current node** 是当前节点，**next node** 是下一节点，**k** 是当前节点与下一节点的接触次数， **t_s** 是连接开始时间， **t_e** 是连接结束时间， **$t_e - t_s$** 是两节点间第 k 次连接持续时间。

因为 ED 算法是确定性路由算法，可以进行统计分析来得出链路的连接规律，预测链路未来的发展趋

势，得到两节点间的链路连接状态表。当网络拓扑发生变化时，节点间的链路也会相应地随之改变，此时就需要更新链路连接状态表的信息，或者重新建立相关的链路连接状态表。

3.2 优化路由决策时间

在公式(1)中， $t'(e,t,m,s)-t$ 的值就是传输延时，即消息在节点中的传输时间。 $d(e,t')$ 是传播延时，即消息在边 e 中的传输时间。而这两个延时的值都与 t' 这个时刻有关，也就是说 t' 的精确度将会影响整个延时开销的计算，从而影响最优路径的选择。

t' 的值一开始是由公式(2)估算出来的，但考虑到 DTN 网络中链路连接的特点，消息到达边 e 时可能这个连接是断开的，那么此时消息就不能马上在边 e 上传输，实际延时就与 ED 算法计算出来的延时有偏差。因此，考虑将 t' 与链路的连接状态进行分析，得到一个最佳值。

例如在一个周期时间内，得到某一节点 A 的链路状态表如表 1 所示。

表 1 节点 A 链路状态表

current node	next node	k	t_s	t_e	t_e-t_s
A	B	1	t_{s1}	t_{e1}	$t_{e1}-t_{s1}$
A	B	2	t_{s2}	t_{e2}	$t_{e2}-t_{s2}$

如图 4 所示，在一个周期时间内，节点 A 和节点 B 之间的链路连接了两次，第一次连接的时间是从 t_{s1} 时刻到 t_{e1} 时刻，第二次连接的时间是从 t_{s2} 时刻到 t_{e2} 时刻，其余时间段链路处于断开状态。第一种情况，如果路由决策时刻 t' 落在链路连接的时间段内，例如 t' 落在了第一次连接的时间段 $t_{e1}-t_{s1}$ 中，那么消息就可以马上从边 AB 传播， t' 的值就比较精确。第二种情况，如果路由决策时刻 t' 落在链路断开的时间段 $t_{s2}-t_{e1}$ 中，那么消息将会等到第二次连接的开始时刻 t_{s2} 到来时才可以在边 AB 传播。此时 t' 的值选择第二次连接开始时刻 t_{s2} 就更精确些。

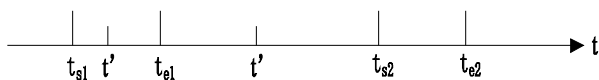


图 4 路由决策时刻 t' 的分布情况

3.3 改进后的 ED 算法流程

基于以上分析讨论，改进后的 ED 算法流程可描

述如下：

(1) 统计分析链路连接和断开时间数据，得出链路随时间变化规律，建立节点的链路连接状态表。

(2) 根据链路连接状态表，选取准确的路由决策时刻 t' 来计算节点之间的延时开销。

(3) 用 ED 算法找出从源节点到目的节点的最小总延时开销的路径。

(4) 当网络拓扑发生变化时，更新节点的链路连接状态表，回到(2)。

4 仿真和分析

本文使用 NS2 仿真工具对 MED[7]、AED[8]和本文提出的改进型 ED 算法—IED (Improved ED) 三种确定性路由算法进行了实验比较。仿真环境如下：共有 15 个节点，两节点间链接持续的平均时间约为 1s 量级，而链接断开的平均时间分为 2s, 6s, 8s 三个量级。每两个节点之间的链接按照给定的规则连接和断开，也就是说建立两节点之间的链路状态连接表。在这种网络设定下，每隔一定时间随机选取一个源节点和目的节点对，发送一个数据包。仿真过程中共发送约 1000 个数据包，每个数据包大小约 1000byte。通过实验，记录每种路由算法下的平均延时、路由成功率、存储消耗等特性。DTN 中主要考虑的限制条件是节点的缓存大小，实验中从 1kb 开始逐步增加各节点的缓存到 14kb，各算法的表现分别如图 5 和图 6 所示。

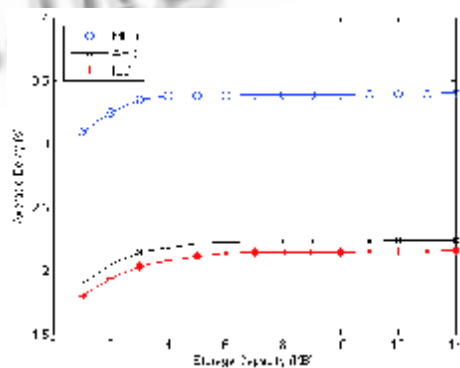


图 5 平均端到端延时

图 5 反映的是各算法在节点不同的缓存能力条件下的延时的变化。从中可以看出刚开始缓存较小时，各算法延时变化较大。随着缓存大小增加到 6KB，延时基本没有什么变化了。IED 的延时最小，AED 次之，延时

最大的是MED。MED算法只用了链接信息概要,比起AED和IED用到的详细的链接信息,它在延时方面的表现较差。AED算法是在ED算法开销函数上乘了个权重因子,从而来修正最后的总延时的计算值,它并未给出具体的路由决策时刻 t' 的值。因此AED的延时要大于IED的延时,IED的延时更小、更准确。

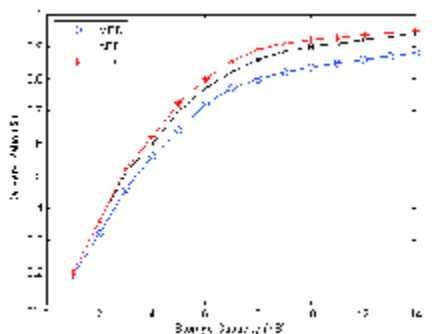


图6 路由成功率

图6反映的是各算法在节点不同的缓存能力条件下的路由成功率的变化。随着各节点缓存大小的增加,各算法的路由成功率急剧上升。这是因为中间节点缓存不断增加,数据包可以暂时存储在缓存中,从而减少了丢包现象的发生。比较三种算法的路由成功率,IED表现最好,AED次之,最差的是MED。MED算法所用的先验知识较少,所以表现不佳。刚开始在缓存有限的情况下,由于这三种算法都没考虑队列信息,路由成功率主要受算法本身特性的影响。IED算法考虑到了链路具体的连接状态,确定了在链路连接和断开两种情况下路由决策时刻 t' 的选取,所以相比AED就能更好的传输数据包,提高路由成功率。随着节点缓存能力进一步的提高,IED和AED的路由成功率就相差不大了。

5 结束语

本文根据路由决策时刻 t' 的值的选取提出了一种改进ED算法。该算法主要在节点间建立一个链路连接状态表,而路由决策时刻 t' 的值则根据此表来选取。仿真实验结果验证了改进的ED算法在DTN网络中可

以有效地降低延时开销计算的误差,提高路由成功率,能更好的选择最佳路径。

参考文献

- 1 Fall K. A delay-tolerant network architecture for challenged internets. Proc. of the 2003 Conference on Applications, Technologies, Architectures, and Protocols for Computer Communication. 2003.27-34.
- 2 Shi RH, Deng YY. An improved scheme for reducing the latency of AODV in mobile ad hoc networks. Proc. of the 9th International Conference for Young Computer Scientists(ICYCS). 2008.594-598.
- 3 Leguay J, Friedman T, Conan V. DTN routing in a mobility pattern space. Proc. of the 2005 ACM SIGCOMM Workshop on Delay-tolerant Networking. Philadelphia, 2005.276-283.
- 4 樊秀梅,单志广,张宝贤,陈辉.容迟网络体系结构及其关键技术研究.电子学报,2008,36(1):161-170.
- 5 Tang L, Zheng QW, Liu J, Hong XY. Smart: a selective controlled-flooding routing for delay tolerant networks. Proc. of Fourth International Conference on Broadband Communications, Networks and Systems. 2007. 356-365.
- 6 Lipsa G Routing strategy for minimizing the packet loss in disruptive tolerant networks. Proc. of 42nd Annual Conference on Information Sciences and Systems(CISS). 2008.1167-1172.
- 7 Jain S, Fall K, Patra R. Routing in a delay tolerant network. Proc. of the 2004 Conference on Applications, Technologies, Architectures, and Protocols for Computer Communication. Portland, 2004.145-158.
- 8 周晓波,卢汉成,李津生. AED: 一种用于DTN的增强型 Earliest-Delivery 算法.电子与信息学报,2007,29(8):1956-1960.
- 9 李云,王晓英,刘占军. DTN 中链路中断特性的分析.通信学报,2008,29(11):232-236.