

MANET 中基于邻居节点的重传控制算法*

陶 洋, 王寸金, 刘 成

(重庆邮电大学, 重庆 400065)

摘要: 针对移动 Ad hoc 网络传统重传机制存在的局限性, 提出了一种新的重传控制算法 (EX-TCGM), 利用传输路径上的邻居节点传输丢失的数据包, 使得路由上的任何节点都能够重传; 并从理论上对该算法的有效性进行了分析。通过仿真, 与按需距离矢量路由协议 (AODV)、机会路由协议 (ExOR) 和基于分组移动的传输控制方法 (TCGM) 进行了性能对比和分析, EX-TCGM 相对原协议在端到端平均时延和吞吐量上有所提高, 数据包平均成功传输率相对其他协议显著增加。

关键词: 移动 Ad hoc 网络; 数据重传; 机会路由; 按需距离矢量路由协议

中图分类号: TP393.04 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2012)07-2642-03

doi: 10.3969/j.issn.1001-3695.2012.07.066

Retransmission control algorithm based on neighbor nodes in mobile Ad hoc networks

TAO Yang, WANG Cun-jin, LIU Cheng

(Chongqing University of Posts & Telecommunications, Chongqing 400065, China)

Abstract: For limitations of traditional retransmission mechanism in mobile Ad Hoc networks, this paper proposed a new retransmission control algorithm (EX-TCGM). It could use any terminal along the whole transmission route, thus enabling autonomous and distributed retransmission from any point on the route, and analyzed the validity of the algorithm in theory. Through computer simulates, made a performance comparison and analysis among AODV, ExOR (extremely opportunistic routing) and TCGM (transmission control method with group mobility). It proves that EX-TCGM relative to the original protocol in the average end-to-end delay and throughput has increased and the average successful packet transmission rate increases significantly relative to other protocols.

Key words: mobile Ad hoc networks; retransmission algorithm; opportunistic routing; Ad hoc on-demand distance vector routing (AODV)

0 引言

移动 Ad hoc 网络 (mobile Ad hoc networks, MANET)^[1,2] 是一种节点完全对等的无线网络, 没有有线基础设施支持的网络, 其节点均由移动主机构成。

在 Ad hoc 网络中, 相互之间不能直接通信的节点, 通过其无线电范围内的中间节点多跳转发进行通信。Ad hoc 网络的无线通信易受无线电干扰和其本身的缺陷, 容易造成频繁丢包。虽然一些数据链路层协议, 如 IEEE802.11, 使用链路逐段进行数据包重发, 它们不能从长期连续的丢包中恢复, 这就是所谓链路损耗; 如果使用传输控制协议 TCP 通信^[3], 所有丢失的数据包必须进行重传, 以保证数据到达。传统的路由协议, 如 AODV^[4] 使用端到端的重传控制机制。在这些协议中, 源节点必须重传路由发现数据包来发现可用链路, 通过重建路由来重传丢失的数据包, 此操作会增加网络流量和数据包的传输时延。为了解决这一问题, 网络层多路径路由协议和重传机制层出不穷; 机会路由 ExOR^[5,6] 广播每个数据包到在其转发器列表的邻居节点, 并不使用特定的传输路径。每条链路的成功传

输率用来决定哪个节点应转播数据包到目标节点。在高移动环境下, 成功传输率的值是很难确定的; 此外, 过多的广播会增加节点和网络的开销。

基于分组移动的传输控制方法 TCGM^[7], 考虑到节点的移动性, 围绕目标节点定义了一个传输分组, 在该分组的节点重传丢失的数据包。尽管这种方法没有数据参数, 但存在一个致命的问题, 即仅围绕目标节点定义一个传输组。这意味着, 只有目标节点的邻居节点可以重传丢失的数据包, 所以传输策略不总有效。为了使数据包在 Ad hoc 网络中更高效地传输, 本文提出了一种新型的重传控制方法。该方法可以使用整个传输路径上的任何节点, 而使路由上的任何点可以自主地分布式重传数据包。

1 相关工作

1.1 传统的重传机制

TCP 协议是目前最流行的传输层协议, 为用户预测端到端的可靠通信。如果, TCP 协议用在 Ad hoc 网络中, 在每个会话中使用以下两个重传机制:

收稿日期: 2011-10-22; **修回日期:** 2011-11-23 **基金项目:** 重庆市科技攻关计划资助项目 (CSTC, 2009AB2245)

作者简介: 陶洋 (1964-), 男, 重庆人, 教授, 博士 (后), 主要研究方向为自组织网络、网络管理技术研究及应用 (wangwenshuai198706@126.com); 王寸金 (1987-), 女, 重庆人, 硕士研究生, 主要研究方向为自组织网络、网络管理及应用; 刘成 (1988-), 男, 重庆人, 硕士研究生, 主要研究方向为自组织网络、通信与信息系统。

a) 链路链接机制,是工作在数据链路层的协议,如 IEEE 802.11,这就从根本上重新传输丢失的数据包,两个节点之间的确认帧(ACK)用来确保每跳传输。如果,由于数据包在链路上丢失,发送节点没有收到来自接收端的确认帧,那么发送节点重传该数据包;这个机制在一个多跳传输路径上的每一条链路上被自动调用。

b) 端到端机制,是 TCP 的功能。在每条链路重新转发之后,发送节点到目的节点的端到端传输就会被调用。这种机制也使用 ACK 控制,即目的节点接收到一个数据包之后,给发送节点发送一个确认帧;如果发送节点没有收到 ACK,重传这个丢失的数据包。在传输路径上,由于链路丢包,可能导致两种重传机制都会发生。在这种情况下,源节点必须发现和重建新的路由到目的节点,这种路由发现机制一般工作在网络层路由协议中。

一般的重传机制存在几个问题;首先,它增加了多余的的网络流量。在损坏的链路上,重传总是失败,新的路由发现机制就会产生很多的控制数据包;在端到端的重传中,成功传递到一个中间节点的数据包被丢弃,源节点又要重传,从而降低了网络的效率。其次是延迟的问题。重建路由所花费的时间通常比 TCP 的一个计时器超时时间要长,TCP 不可避免地进入拥塞控制阶段,从而降低了 TCP 发送端的传输速率,导致 TCP 的吞吐量下降。

1.2 机会路由协议

为了解决重建路由引起的端到端时延,提出了机会路由协议 ExOR(extremely opportunistic routing)^[3,6]。ExOR 的包传输机制是基于广播的机制,以实现更高的吞吐量和较短的端到端时延。发送数据包之前,源节点在其候选者列表中选择具有较高传输率的节点以减少多余的广播。

在 ExOR 中,使用广播发送数据包,发送节点的每个邻居节点都会同时收到这个数据包。每个接收者都会检查包含在数据包中的候选者列表,如果发现自己在这个列表中,每个接收者依据它在列表里的位置重新转播数据包。

广播数据包的节点顺序是由每个无线链路的传输成功率决定的,然而,在高流动性的环境中,这个值是很难确定。首先,由于节点的移动,每条链路的成功传输率是不固定且动态变化的,因此,传输成功率这个数值的寿命是很短的。其次,为了获得邻居节点的信息,频繁地发送 HELLO 报文,增加了网络流量。此外,ExOR 是基于广播机制的,这会增加网络流量和节点的开销,可能比传统的单播传输机制需要更多的数据包传输。

数据包在 ExOR 中的传输操作,如图 1 所示。图中的数字代表成功传输的速率,源节点 A 传输数据包到目的节点 E,ExOR 使用广播机制,因此,在 A 无线电范围内的邻居节点可以接收到该数据包;由于成功的传输速率低,C 和 E 的接收数据包失败,B 和 D 收到的该数据包,它们检查包中的转发器列表。在这个例子中,假设转发器列表包含 B 和 C,那么 B 重新广播这个数据包到 E,没有从 B 到 E 可用的直接链路,相应地 C 接收并转发数据包到 E。

1.3 组移动性的传输控制方法

在 Kato 等人^[5]提出的组移动性的传输控制方法(简称 TCGM),移动方向一致的邻居节点定义成同一个分组。如果,

节点在同一个分组,它们的相对位置和无线网络的拓扑结构不会发生太大变化。因此,即使不频繁地重传 HELLO 报文,丢失的数据包也可以在这些节点之间有效传输。

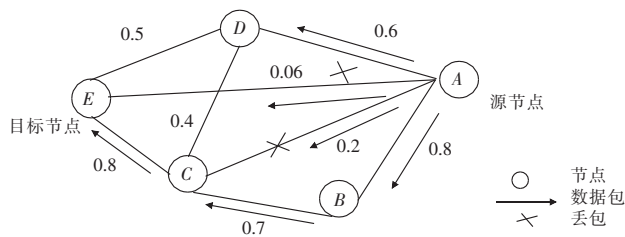


图 1 机会路由

当一个节点接收到运往另一个节点的数据包时,检查数据包的目的地址是否在邻居节点列表所代表的分组中。如果找到地址,节点保存这个数据包一段时间,以防重传;否则,丢弃该数据包。如果一段时间之后,该节点没有收到目标节点发送的 ACK,则代表源节点重传丢失的数据包。

TCGM 存在一定的局限性;如果目标节点不属于任何分组,重传是不可能的。另外一个致命的问题是仅围绕目标节点定义一个分组,相应的重传策略仅工作在最后一个跳组。

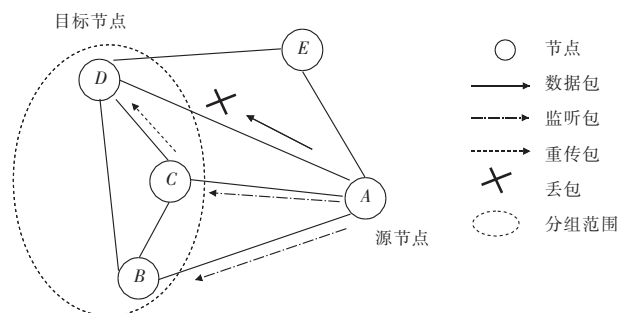


图 2 组移动性传输控制方法

最后一跳传输数据包到目标节点 D,如图 2 所示,A 发送数据包到 D。提前在邻居节点之间,包括属于同一分组的 B、C 和 D,发送 HELLO 报文。假设,在 A 和 D 之间的链路上,数据包丢失,位于 A 无线电范围内的 B、C 和 E 可以接收到这个数据包。当 B、C 和 E 接收到这个数据包,核查这个数据包的目标节点是否与其属于同一个分组。在这个例子中,D 不在 E 的分组列表里,E 将会丢弃该数据包;同时,B 和 C 保存这个数据包一段时间,防止重传。

如果一定的时间之后,B 和 C 还没有接收到 D 发送给 A 的 ACK,它们中的任意一个随机选择重传这个丢失的数据包。在这个例子中,C 代表 A 试着重传这个数据包到 D。

2 基于邻居节点的重传控制算法

2.1 概念

前一章描述了传统的数据传输协议和重传机制,通过利用目标或者发送节点的邻居节点,减少端到端的时延和改善端到端的吞吐量;多次广播消耗网络资源或者仅在最后一跳重传;因此,这些方法的性能存在局限性。

本文提出一种新的重传控制算法 EX-TCGM,使用路由邻居节点重传丢失的数据包而没有重建一条端到端的传输路径。该算法不是基于机会路由,而是基于路由转发的机制,是 TCGM 的扩展版本。EX-TCGM 与传统的 TCP 和 TCGM 之间的主要区别在于,可以从传输路径的邻居节点传输丢失的数据

包。这使得路由上的每个节点都能够重传,从而提高了重传的效率。

2.2 重传控制算法的具体操作

EX-TCGM 使用邻居节点列表,每个节点都有自己的邻居节点列表,这个列表通过定期交换 HELLO 报文更新。无线 Ad hoc 网络的一个共同特征,发送节点无线电范围内的所有节点,即使不是真正的接收器,也可以监听到数据包。一般的数据链路层协议,如果数据包中的目标地址不是该节点地址,该节点丢弃监听到的数据包。相反,在 EX-TCGM 中,节点把接收到的所有数据包转发到网络层,然后检查,以确定下一跳节点是否在其邻居节点列表内。如果该表包括下一跳的节点,则保存数据包一段时间,以防重传。

重传控制操作描述如下:

- 当一个节点接收到运往另外一个节点的数据包,通过其邻居节点列表,检查这个数据包下一跳是否位于自己的无线电范围内。
- 如果下一跳节点在其邻居节点列表内,该节点保存接收到的数据包一段时间,防止重传;否则,丢弃该数据包。
- 如果一段时间之后没有收到下一跳节点发送的 ACK,则该节点代表源节点重传丢失的数据包。
- 如果该节点接收到下一跳节点发送的 ACK 或者另一个节点重传的数据包,停止重传控制的操作顺序,并丢弃相关保存包。

当数据包重传正确,下一跳节点试图发送 ACK 到源节点;如果源节点与下一跳节点之间的链路丢失,那么 ACK 不能被发送。注意,重传丢失数据包的节点也应该提出 ACK 确认。在该算法中,所有节点以一个分布式的和自主的方式运作,因此,有可能存在两个或更多的节点重传丢失的数据包。在这种情况下,只对第一个接收到的数据包处理,其他的全部丢弃。

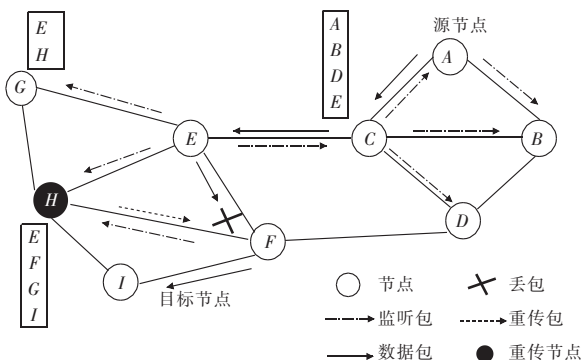


图3 EX-TCGM

EX-TCGM 的重传过程,如图3所示,A 传送一个数据包到 I,数据包的传输路径为 A→C→E→F→I。假设,E 和 F 之间的链路丢失,C、G 和 H 监听到 E 发送的数据包。每个监听到该数据包的节点检查下一跳节点 F 是否在其邻居列表。F 不在 C 和 G 的邻居列表内,因此,C 和 G 丢弃监听到的数据包。同时,H 保存该数据包一段时间,以备重传。如果,H 没有监听到 F 发送到 E 的 ACK,则推断数据包已丢失,然后重传保存的数据包到 F。

EX-TCGM 相对传统方法利用了更多节点进行重传,其传输性能预计会更好。此外,节点以一种分布式的和自主的方式运作,额外的控制数据包无须发送,即减少了重传流量。

3 评估

3.1 仿真环境

采用计算机仿真分别对一般的路由协议、ExOR、TCGM 和 EX-TCGM 进行了评估。对于一般的路由协议,选择 AODV^[8];本文使用以下的模拟环境:这里采用 NS-2^[9] 仿真上述方法;节点随即放置在 1 km² 的区域内,节点的数量在 40 ~ 200 内变化,在该区域的所有节点随机选择源节点和目标节点;源节点传输 1 MB 的数据,使用 1024 Byte 的数据包到达目的节点;使用随机点模拟节点的运动,等待时间设置为 20 s;本文选择 IEEE 802.11 作为无线电设备,设置其射频半径为 100 m;在每个方法中,每个节点每三秒发送一个 HELLO 报文来更新其邻居列表。在 ExOR 中,HELLO 报文用来计算成功传输率;TCGM 用来构造分组。

对上述方法的端到端的成功传输率、端到端时延、端到端吞吐量和节点开销进行了评估。端到端的成功传输率代表了数据包到达目标节点的可能性,数值越高代表性越好;仅当数据包传输成功,端到端时延才计算。当数据包需要重传,路由发现阶段增加数据包传输时延。此外,端到端时延降低端到端的吞吐量;因此,端到端时延和吞吐量用来评估传输性能。节点开销数值显示了每个节点传输或重传了多少个数据包。

3.2 仿真结果

端到端的数据包的平均成功传输率,如图4所示。该结果不考虑控制包 HELLO 报文的投递成功率。EX-TCGM 表现较好,比常规方法的成功传输率增加约 10%;即使在网络中仅有少数节点,EX-TCGM 也以较高的传输成功率传输数据包,这是因为 EX-TCGM 是使用更多的节点而非广播重传。多个节点合作性地尝试重传丢失的数据包,传输率也得到改善。

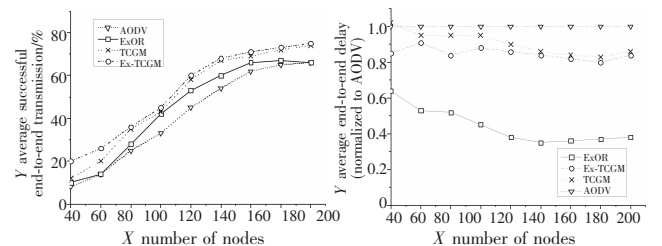


图4 端到端平均成功传输率

图5 端到端平均时延

源节点与目的节点的平均传输时延,如图5所示。为了使该图更容易理解,时延数值标准化为 AODV 的时延值。结果表明,ExOR 比其他方法达到了更低的端到端时延,EX-TCGM 优于基于路由方法的 AODV 和 TCGM。如上所述,EX-TCGM 使用更多的邻居节点传输数据包,重传故障较少发生,减少了必须完成的重建路由的次数和端到端传输时延。

源节点与目的节点的平均吞吐量,如图6所示。结果表明,ExOR、TCGM 和 EX-TCGM 相比于 AODV 具有较高的吞吐量。由于 ExOR 不依赖任何的传输路径,可以尽可能快地传输数据包,使 ExOR 具有较高的端到端的吞吐量。EX-TCGM 和 TCGM 减少了路径重建的次数和端到端的时延,因此,这样的传输效率有助于端到端吞吐量的增加。如果节点数量增加,EX-TCGM 和 TCGM 的平均吞吐量非常接近。从图4中也可发现,在网络上使用较多的节点增加了传输速率,即重发次数减少,所以,EX-TCGM 和 TCGM 的吞吐量几乎相同。

(下转第2649页)

(上接第2644页)节点的平均开销,如图7所示,AODV的数值标准化。结果表明,EX-TCGM和传统方法比AODV发送更多的数据包。ExOR不依赖于任何特定的路线,需要一定的数据转发包,比如HELLO报文,克服不确定的端到端的通信。在这些重传机制的方法中,节点必须重传丢失的数据包,因此,转发的次数会有所增加。如果,节点的数量增加,重传方法可以从差的Ad hoc网络通信环境中恢复。

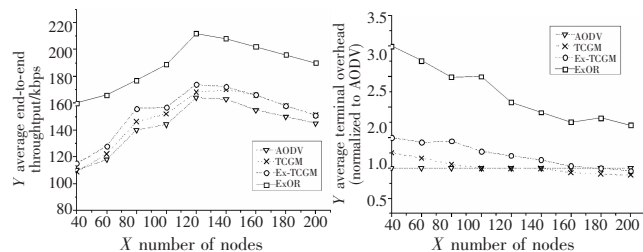


图6 端到端平均吞吐量

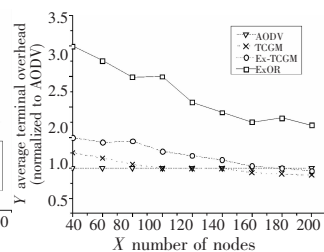


图7 节点平均开销

总之,EX-TCGM减少数据包的丢失和路由重建,从而提高了从源节点到目标节点的成功传输率;由于采用非广播机制,为了保证端到端的通信,需要转发HELLO报文,从而使网络节点平均开销适度增加。然而,出于同样的原因,该算法在端到端时延和端到端吞吐量上不超越ExOR。

4 结束语

本文基于路由邻居节点提出一种新的重传控制算法EX-TCGM,采用计算机仿真,证明该算法的性能优于其他传统方法;虽然EX-TCGM相对ExOR的端到端时延和吞吐量改进

较少,但是基于路由转发机制中,路由发现阶段是不可缺少的。因此,在下一步工作中,将研究端到端时延何时增加,并寻找不同的方法来确定选择哪些节点重传数据包,并进行定时转发。

参考文献:

- [1] CORSON S, MACKER J. RFC 2501, Mobile Ad hoc networking (MANET): routing protocol performance issues and evaluation considerations [S]. 1999.
- [2] 陈林星, 曾曦, 曹毅. 移动 Ad hoc 网络——自组织分组无线网络技术 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2006.
- [3] POSTEL J. IETF RFC 793, Transmission control protocol [S]. 1981.
- [4] PERKINS C, BELDING-ROYER E, DAS S. Ad hoc on-demand distance vector (AODV) routing [EB/OL]. (2003-07). [2011-10]. <https://tools.ietf.org/html/rfc3561>.
- [5] BISWAS S, MORRIS R. Opportunistic routing in multi-hop wireless network [J]. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 2004, 34(1): 69-74.
- [6] BISWAS S, MORRIS R. ExOR: opportunistic multi-hop routing for wireless networks [C] // Proc of SIGCOMM. New York: ACM Press, 2005: 133-144.
- [7] KATO J, MORINO H, MIYOSHI T. Transmission control method with group mobility on Ad hoc networks [C] // Proc of IEICE General Conference. 2006.
- [8] 田敏. AODV路由由协议改进的算法 [J]. 电信快报, 2008(9): 34-37.
- [9] 徐雷鸣, 庞博, 赵耀. NS与网络仿真 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2003.