

基于流量的 Ad Hoc 网络负载均衡路由协议

沙 毅, 张 婷, 陈 进, 王光兴
(东北大学 信息科学与工程学院, 辽宁 沈阳 110004)

摘 要: 提出了一种基于流量的负载均衡路由协议 T-LBRP(traffic-based load balancing routing protocol)。该协议根据 MAC 层接口队列长度计算流量负载, 将网络的平均负载定义为阈值, 并引入动态阈值概念。在路由发现阶段节点将自身的负载与动态阈值比较, 根据结果有选择地转发 RREQ 分组, 以阻止在重负载节点上建立路由; 同时在目的节点采用延时应答的方法选择最佳的轻负载路径回复应答分组。仿真结果表明: 与 AODV 协议相比, T-LBRP 协议使端到端时延和归一化开销分别降低约 25% 和 45%, 与此同时, 分组投递率上升约 7%。

关 键 词: Ad hoc 网络; 负载均衡; 网络流量; 路由协议

中图分类号: TP 393 文献标志码: A 文章编号: 1005-3026(2010)03-0350-04

Traffic-Based Load Balancing Routing Protocol in Ad Hoc Network Prediction

SHA Yi, ZHANG Ting, CHEN Jin, WANG Guang-xing

(School of Information Science & Engineering, Northeastern University, Shenyang 110004, China.
Correspondent: SHA Yi, associate professor, E-mail: shayi@mail.neu.edu.cn)

Abstract: Proposes a traffic-based load balancing routing protocol (T-LBRP), where the traffic load is computed according to the interface queue length of MAC layer, with the average network load defined as the threshold value. The idea of dynamic threshold is introduced to judge if an intermediate node is overloaded in the route discovery phase. Then, the RREQ messages are forwarded selectively according to the load status of each node so as to prevent heavily loaded nodes from routing. At the destination node, the response messages along the optimum lightly loaded route are selected via delayed response. Simulation results proved that the T-LBRP can raise the delivery ratio by about 7%, with the end-to-end delay and normalized routing reduced by about 25% and 45%, respectively, in comparison with conventional protocols.

Key words: Ad hoc network; load balancing; network traffic; routing protocol

移动 Ad hoc 网络^[1]是由一组移动节点通过自组连接形成的多跳无线网络, 不同于有线网络, 该网络中节点是可以任意运动的, 这就要求路由协议必须有足够快的处理速度以适应节点移动所导致的网络拓扑结构的变化, 因此设计高效率、动态性能好的路由协议成为优化 Ad hoc 网络性能的一个挑战。

目前的路由协议, 如动态源路由协议 DSR^[2]和 Ad hoc 距离矢量协议 AODV^[3], 以最小跳数为选路原则, 在路由选择和维护过程中都没有考虑

网络中各节点的实际负载情况, 这样有可能会造成数据流业务过分集中在某些节点, 导致这些节点负载过重, 使节点的处理时延加长, 丢包率增加, 节点的能量消耗过快, 甚至因为能量耗尽而死亡, 最终造成网络瘫痪。因此制订一种根据负载状态采取优化措施的路由协议是非常必要的。

1 研究现状

目前 Ad hoc 网络负载均衡协议大多研究 MAC 层、路由层的流量特性。文献[4-10]对负载

收稿日期: 2009-06-08

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(10878017)。

作者简介: 沙 毅(1959-), 男, 江苏无锡人, 东北大学副教授; 王光兴(1937-), 男, 辽宁沈阳人, 东北大学教授, 博士生导师。

均衡路由协议均有研究. 文献[4]介绍了一种多路径的负载均衡路由协议, 该协议在维护多条路径时花费了大量开销. 文献[5]提出根据路径的能量和流量两个参数状况分配负载的方法, 其中没有考虑单个节点拥塞对网络产生的影响; 但在实际网络当中, 路径中任意一个节点的消亡都可能导致链路的断裂, 从而影响数据的正常传输. 文献[6]在假设网络通信状态是静止的前提下, 设计了根据路径的拥塞程度分配流量负载的算法, 该算法虽然有效地提高了平均时延性能, 但实际的 Ad hoc 网络的带宽能力和流量状况都是实时变化的, 这限定了算法的使用范围. 文献[7]提出从节点的角度实施负载分配的分布式路由协议, 该协议缺少整体路径性能的比较, 导致最后选择的路由未必理想. 文献[8]提出协议 ABR, 以联合稳定度作为路由选择的度量, 将路径负载因素作为次要的选路依据; 该协议将负载定义为经过节点的路由数目, 并不计算实际的流量负载. 文献[9]提出一种能够动态获知负载状况的协议 DLAR, 单纯地由目的节点选择负载最小的路径; 但是仅仅从一条路径的业务流负载总和上无法判断路径中所有链路的拥塞情况, 有可能出现一条路径虽然业务流总和较小但中间节点拥塞较多的情况. 文献[10]提出 LWR 协议, 该协议根据信道利用率、队列长度、邻居节点数目等多个参数来综合评估网络负载状况. 但此协议由于需收集的信息过多, 有可能无法及时反映动态 Ad hoc 网络状态.

本文提出一种基于流量的负载均衡路由协议 (T-LBRP). 协议引入动态阈值的概念, 该阈值实时地反映网络的平均负载状态. 在路由发现过程中, 中间节点将自身的负载与动态阈值比较后, 根据判断结果有选择地转发路由请求 (RREQ) 分组, 避免重负载节点出现在所建路径当中; 其次中间节点不回复路由应答 (RREP), 保证选路的过程中始终运用最新的负载信息; 最后目的节点从接收到的几个路由请求中, 通过延时应答的方式选择相对的轻负载路径回复应答, 全面实现负载均衡. 这样处理不但能够缩短节点的处理时延, 同时还能降低 RREQ 的广播风暴, 使网络处于负载相对平衡状态, 提高网络的处理能力, 保证数据传输的可靠性.

2 基于流量的负载均衡路由协议——T-LBRP

2.1 负载探测

设计负载均衡路由协议的首要工作是要确定

以什么参数作为负载的度量. 现有的均衡协议主要以 MAC 层接口队列分组个数、节点处理分组的时延、节点有效带宽、邻居节点个数、信道利用率等参数作为度量负载的标准. 其中 MAC 层接口队列中分组的长度不仅是业务流量的具体表现形式, 而且间接反映网络节点对共享广播信道的竞争程度. 因此本文以 MAC 层接口队列中分组的长度信息计算节点和路径的流量负载, 并根据流量负载状态实现均衡的目的.

2.2 流量负载及阈值的计算

假设节点 i 的流量负载由当时 MAC 层接口队列中分组长度 Q_i 表示, 于是路径总流量负载 Q_{sum} 的计算公式如下:

$$Q_{\text{sum}} = \sum_{i=1}^n Q_i,$$

其中 n 为路径中节点的总数. 路径的负载信息存储在路由请求分组 RREQ 和路由表项中, 为后文做准备.

2.3 负载均衡路由协议的实现

现有的负载均衡路由协议大体分为单路径和多路径两种方案. 多路径方案把网络负载平均地分布在网络中的多条路径上以实现负载平衡. 然而, 维护不同的路径需要额外的路由表空间和计算开销. 另外, 多路径方案只有在多个路径互不相交的情况下才有效, 但这在 Ad hoc 网络中是很难实现的^[11]. 因此本文采用单路径方案.

2.3.1 均衡机制

与传统 AODV 协议相比, T-LBRP 协议增加了中间节点判别机制和目的节点延时应答机制.

1) 中间节点判别机制: 收到 RREQ 分组的中间节点不是立即转发此分组, 而是先将自身的负载与阈值比较. 如果小于阈值, 说明有能力处理到达的流量业务, 就正常转发; 否则意味着该节点为重负载节点, 丢弃分组. 判别公式如下:

$$\left. \begin{array}{l} \text{若 } Q(t_1) > \quad, \quad \text{丢弃分组;} \\ \text{若 } Q(t_1) \quad, \quad \text{正常转发;} \end{array} \right\} \quad (1)$$

其中 \quad 是网络平均负载值, 它随着网络业务量的不同而实时变化, 故称动态阈值, 计算公式如下:

$$= \frac{\sum_{i=1}^{n_i} Q_j + L_{\text{ave}} + Q_i}{n_i + 2}. \quad (2)$$

其中: n_i 为节点 i 的邻居节点个数; Q_j 为邻居节点 j 的流量负载; L_{ave} 是 RREQ 分组中携带的网络负载平均值.

中间节点与阈值比较后, 将本次阈值 \quad 更新到 RREQ 分组的 L_{ave} 后继续转发. 经过这样处理

后的阈值就能动态反映网络负载的均值状况,于是式(1)的含义可表述为:如果节点的负载大于网络中节点的平均负载,则此节点就丢弃分组,避免此节点负载进一步加重;如果节点的负载小于网络中节点的平均负载,则节点就接受此 RREQ 分组,增加自身的业务量,可以说通过这种方法保证了网络中节点有大致相同的业务量,避免 Ad hoc 网络流量负载的不均衡。

2) 目的节点延时应答机制:目的节点在等待应答的一段时间里,对收到的来自同一个源节点的路径信息进行比较并更新,其更新条件如下:

RREQ 分组中的序列号大于路由表中存储的序列号;

RREQ 分组中的序列号等于路由表中存储的序列号,并且新路径的负载 $Q(t_1)$ 小于路由表项中原路径的负载 $Q(t_0)$ 。

两者满足其一就更新路由表项,当预先设定的延时时间到达后立即对路由表项中更新后的最优路径作出应答,实现均衡的目的。其中预先设定的延时时间参数由实验得到,详细过程见仿真。

2.3.2 协议描述

本协议改进了 AODV 协议的路由发现阶段,路由维护过程与 AODV 路由协议完全相同。

1) 源节点的操作:源节点与另一节点通信时,首先在路由表中查找到目的节点的路由表项。

如果路由表项存在且有效,则按照已存表项的路径发送数据。

如果相应的路由不存在或者路由存在但已经过期,源节点就启动路由发现过程。源节点向其邻居节点广播 RREQ 分组,这个过程一直持续到发现路由或者 RREQ 分组发送次数 TTL 值达到允许的最大值为止。

2) 中间节点的操作:中间节点对源节点发送的 RREQ 分组进行处理。

Step 1 首先判断自己是否是源节点:是,则丢弃这个 RREQ 分组;否则转入 step 2。

Step 2 根据 RREQ 分组中的广播号来判断是否已经接收处理过该包;若是,则丢弃分组;不是,则转入 step 3。

Step 3 启动中间节点判别机制:如果该节点不为重负载节点则正常转发;否则,转入 step 4。

Step 4 查询自己的反向路由表。

如果反向路由表不存在则建立,并且存入 RREQ 分组中携带的流量信息后继续转发。

如果反向路由表存在,根据路径更新规则处理继续转发。

3) 目的节点收到 RREQ 分组的请求。

目的节点查询反向路由。

如果反向路由不存在,建立路由表并记入当前时刻的路径总负载。如果第一次收到来自某个源节点的路由请求,就启动计时器开始倒计时,当计时器减为 0 后,立即对目的节点选择机制处理后的路由条目发送 RREP 分组。

若反向路由表存在,处理过程同中间节点。经过上面的处理,目的节点从收到的来自同一个源节点的几个 RREQ 分组中找出一条最优路径(即负载最轻)回复应答。

当源节点收到目的节点发送的 RREP 后,开始发送数据,至此,路由发现阶段结束。

3 仿真及结果分析

本文在 NS-2 仿真平台上对 T-LBRP 协议进行了仿真,50 个节点随机分布在 $1\,000\text{ m} \times 1\,000\text{ m}$ 的场景区域,物理信道带宽为 2 Mbit/s ,最大移动速度为 5 m/s (18 km/h),节点发射半径为 250 m ,链路层采用 IEEE802.11 MAC 层协议,信源采用固定比特率,每个分组长度为 512 B ,一共启动 30 个 CBR 流,仿真通过改变信源发送分组的频率来改变网络负荷,本文选取 5 种 CBR 数据流进行仿真,分别为 2, 4, 6, 8, 10 包/s。

仿真之前需要确定等待时间参数,图 1 为在上述仿真环境中,等待时间对时延的影响曲线。

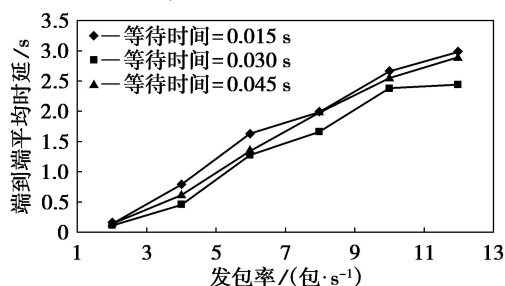


图 1 等待时间对时延参数的影响

Fig. 1 Average end-to-end delay vs. data packet transmitting rate

等待时间过长,一方面可能导致网络的总体时延加大,另一方面选择的路由有可能超过生存周期变为无效,这违背了本文的出发点;等待时间过短,又有可能导致搜集的路径信息过少,不能选出最佳路径。从仿真曲线可以看出,当等待时间取 0.030 s 时性能最佳。

图 2 为 T-LBRP 协议和 AODV 协议的分组投递率性能比较曲线,结果显示:与传统 AODV 协议相比,T-LBRP 协议的分组投递率有所提高,特别是负载增加时,优势更加明显。这是因为 T-

LBRP 协议所建立的路径中不包括重负载节点，于是减少了数据包因节点拥塞而被丢弃的概率。

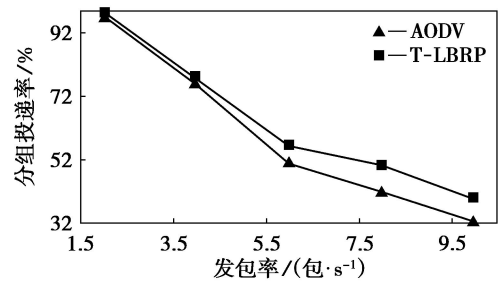


图 2 分组投递率
Fig.2 Packet delivery ratio

图 3 为 T-LBRP 协议和 AODV 协议的网络开销性能比较曲线，T-LBRP 协议在路由发现阶段避免重负载节点成为路径的中间节点，从而降低了 RREQ 的广播风暴，另外中间节点不回复 RREP 也进一步降低了网络开销，当网络负载加重时，这种优势更加明显，在发包率为 10 包/s 时，T-LBRP 比 AODV 协议的开销降低了约 45 %。

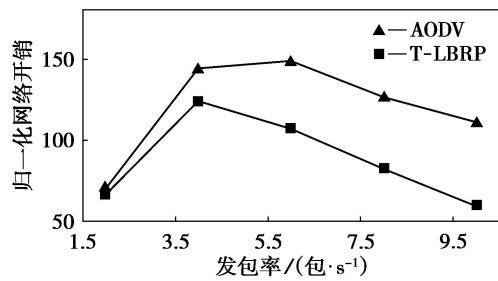


图 3 归一化路由开销
Fig.3 Normalized routing overhead

图 4 为 T-LBRP 协议和 AODV 协议网络时延性能比较曲线，T-LBRP 有效地避免了重负载节点成为所选路径的中间节点，这就缩短了数据包在节点缓存队列中等待处理的时间，另外目的节点对收到的几条路径中负载最轻的路径进行了应答，也使传输时延大为缩短，在测试的发包率范围内，端到端时延最大改善达 25 %。

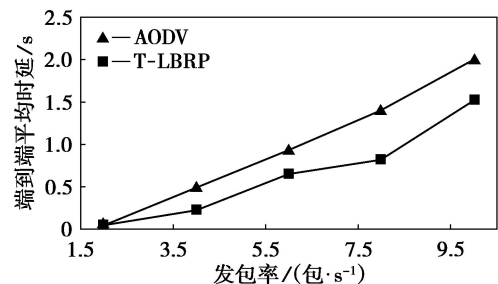


图 4 端到端平均时延
Fig.4 Average end-to-end delay

4 结 语

本文提出一种基于流量的负载均衡路由协议

T-LBRP，该协议引入动态阈值概念，将中间节点的流量与该阈值比较，以此限制拥塞节点出现在所建路径中；其次利用目的节点选取最佳路径回复应答的方法实现了负载均衡的目的，仿真表明：T-LBRP 协议改善了整个网络的性能，对于 T-LBRP 协议目的节点等待时间参数的确定还应该继续研究。

参考文献：

[1] 陈林星,曾曦,曹毅. 移动 Ad hoc 网络[M]. 北京:电子工业出版社, 2006:1 - 40. (Chen Lin-xing, Zen Xi, Cao Yi. Mobile Ad hoc networks [M]. Beijing: Publishing House of Electronic Industry, 2006:1 - 40.)

[2] Johnson D B, Maltz D A. Dynamic source routing in ad hoc wireless networks[J/ OL]. [2009 - 04 - 08]. <http://www.stanford.edu/class/cs344e/papers/dsr.pdf>.

[3] Perkins C E, Royer E M. Ad hoc on demand distance vector routing [C] The Second IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications. New Orleans: IEEE, 1999:90 - 100.

[4] Darehshoorzadeh A, Javan N T, Dehghan M, et al. LBAODV: a new load balancing multipath routing algorithm for mobile ad hoc networks[C] NCTT-MCP. Putrajaya, Malaysia: IEEE, 2008:344 - 349.

[5] Qin Y, Wen Y Y, Ang H Y, et al. A routing protocol with energy and traffic balance awareness in wireless ad hoc networks [C] The 6th International Conference on Information, Communications & Signal Processing. Singapore:IEEE, 2007:1 - 5.

[6] Sheng M, Li J D, Shi Y. Routing protocol with QoS guarantees for ad hoc network [J]. *Electronics Letters*, 2003, 39(1):143 - 145.

[7] Lee Y J, Riley G F. A workload-based adaptive load-balancing technique for mobile ad-hoc networks[C] IEEE Wireless Communications and Networking Conference. [S. l.]:IEEE, 2005:2002 - 2007.

[8] Toh C K. Associativity based routing for ad hoc mobile networks[J]. *Wireless Personal Communications Journal*, 1997, 4(2):103 - 109.

[9] Lee S J, Gerla M. Dynamic load-aware routing in ad hoc networks [C] IEEE International Conference on Communications. Helsinki: IEEE, 2001:3206 - 3210.

[10] Yi Y J, Kwon T J, Gerla M. A load aware routing (LWR) based on local information [C] 12th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications. San Diego: IEEE, 2001:65 - 69.

[11] Ganjali Y, Keshavarzian A. Load balancing in ad hoc networks: single-path routing vs. multi-path routing[C] The 23rd Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. [S. l.]: IEEE, 2004:1120 - 1125.