

一种面向路由负荷的自适应均衡 Ad hoc 路由协议*

李彦^{1,2}, 陈卓¹

(1. 重庆理工大学 计算机科学与工程学院, 重庆 400050; 2. 重庆理工大学 机械检测技术与装备教育部工程研究中心, 重庆 400054)

摘要: 针对 Ad hoc 网络中的路由协议通常采用基于数据路径最短的标准选路, 而缺乏对网络负荷这一重要因素进行考察, 这最终导致所选择的路径可能产生拥塞, 并使某些过载节点寿命降低, 提出一种根据节点的网络负载进行自适应路由选择的协议 (ADMAR)。该协议把网络当前的动态负荷因素纳入考虑的指标, 在节点选路过程中选择负荷较轻的路径, 以达到合理地分担网络中负荷的目的。通过基于 OPNET 的仿真实验对该协议的性能和效果进行分析评估, 实验结果说明 ADMAR 具有较好的负荷分担能力, 并尽可能降低网络热点区域产生的可能性。

关键词: Ad hoc 网络; 路由协议; AODV 协议; 自适应协议; 仿真

中图分类号: TP393.04

文献标志码: A

文章编号: 1001-3695(2012)07-2635-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.07.064

Routing load oriented adaptive dispersive Ad hoc routing protocol

LI Yan^{1,2}, CHEN Zhuo¹

(1. College of Computer Science & Engineering, Chongqing University of Technology, Chongqing 400050, China; 2. Engineering Research Center of Mechanical Testing Technology & Equipment Ministry of Education, Chongqing University of Technology, Chongqing 400054, China)

Abstract: Most of Ad hoc routing protocols select route based on the metric of shortest path first mechanism, which do not take network load into consideration. This may lead to congestion occur in the selected path. Correspondently, the lifetime of the loaded nodes will be reduced. This paper put forward an adaptive dispersive mobile Ad hoc routing protocol (ADMAR), which took the index of dynamical load of current network into consideration. A node in network selected the path based on the network load reasonably. This could lead the whole network become load balanced one. Finally, this paper also evaluated this novel protocol through OPNET based simulation. The simulation shows that ADMAR can reduce the possibility of occurrence of network hotspot area.

Key words: Ad hoc network; routing protocol; AODV protocol; adaptive protocol; simulation

Ad hoc 网络由一组无线用户 (节点) 组成的自治集合。它不需要固定基站支持, 无中心管理, 可临时组织, 并且具有高度移动性, 在军事、应急通信、可穿戴系统等领域有广阔的应用前景。设计高效的 Ad hoc 网络路由协议是当前在该领域的研究热点。国外已有很多研究机构提交了路由协议草案。相比之下, 针对路由协议的评估却较少。

本文提出一种能够自适应对 Ad hoc 网络负载进行合理均衡的路由协议 ADMAR, 并利用 OPNET 仿真平台, 设计了该协议的网络模型、节点模型和处理模型, 并对该路由协议进行了仿真, 还与 AODV 协议进行了性能比较。

1 Ad hoc 路由协议

Ad hoc 网络的路由协议 (算法) 主要分为两类: a) 表驱动 (table-driven) 路由协议^[1-5], 其特点是: 无论是否存在实际的数据通信, 节点间总会周期性地交换路由信息, 节点保持一个或多个路由表来存储路由信息, 当网络的拓扑结构变化时, 通过在整个网络中传播更新消息来保持路由的正确性, 这类协议

的路由查找的延时较小, 主要代表协议有 DSDV^[1] 等; b) 按需激发 (on-demand) 的路由协议, 其特点是: 只有当有通信的需求时才会产生路由请求, 从而达到减少路由代价的目的, 节点需要维护路由表保存它们作为源节点或者中间节点时, 到达某目的节点的路由信息。这类协议的主要代表有 AODV^[6]、DSR^[7] 等, 其中 AODV 协议是以最大程度上降低广播信息及降低传输延迟为设计目标的, 综合了 DSDV 和 DSR 的优点, 其性能通常较其他按需激发的 Ad hoc 路由协议较好。

目前国内外关于移动 Ad hoc 网络的研究主要集中于如何以低信息交换量来实现快速路由查找, 并选择合理的度量方式来选择可能存在的多条路径中最优的一条进行数据通信。最常用的是以路径最短的标准来选择路径, 例如: AODV 协议规定在活动路径上的源节点和中间节点都以 RREP 分组中目的序列号 (seq_num) 较大和跳数 (hop_cnt) 最少的路径作为选取标准^[6]。这类路由协议在网络规模较小, 相互通信的节点对较少时表现良好; 但随着网络规模的扩大, 通信量增加后暴露出一些问题, 如不能有效地进行 QoS 控制, 不能合理分配网络

收稿日期: 2011-10-18; **修回日期:** 2011-11-18 **基金项目:** 国家科技部科技型中小型企业创新基金资助项目 (10C26215113110); 重庆市教委资助项目 (KJ110831)

作者简介: 李彦 (1976-), 男, 湖南岳阳人, 副教授, 博士研究生, 主要研究方向为计算机网络、嵌入式系统 (ly@cqu.edu.cn); 陈卓 (1980-), 男, 重庆九龙坡人, 博士研究生, 主要研究方向为网络协议、Ad hoc 网络、嵌入式系统。

负荷,可能会使 Ad hoc 网络在较短时间内出现局部热点,导致网络寿命降低等。

通过分析,由于在这类协议设计的用于建立路由的信息包中主要维护的是代表最短路径的信息及生命周期等信息,缺乏对通信路径的负荷进行考虑。如果通过某条活动路径上的数据量较小,不会出现问题;但如果出现多队节点在进行通信的时候都共用了部分路径,则可能会出现这部分路径上的通信量过大形成局部“热点区”,使得位于该条路径上的节点的负荷大大高于其他网络节点,最终导致这些节点的能源较快地耗尽并消亡。而同时,其他节点可能却长时间处于空闲状态。另外,由于通过部分路径的数据量较大,网络拥塞容易产生,端到端的 QoS 也难以得到保证。因此,针对移动 Ad hoc 网络在路由问题上的不足,本文提出一种能够对网络通信量进行自适应的路由协议 ADMAR,该协议能较好均衡网络负荷。

2 ADMAR 协议的设计

2.1 协议原理

由于 AODV 协议提供了比较完善的路由发现和路由维护机制,并且支持 IP,因此选择将 AODV 作为基础来设计 ADMAR 协议。移动 Ad hoc 网络的 MAC 层提供对无线信道的接入的控制,能为上层协议提供快速可靠的分组传送支持,基于 IP 的网络层提供路由功能。如果能将 MAC 层和网络层相结合进行跨层设计^[8-13],即:通过 MAC 层提供给网络层表示当前节点通信负载的负荷因子,并在 AODV 的交换信息数据帧头加入表示负荷因子的域;并把负荷因子作为选择合理路由的另一个标准,从而实现这样的设计。

2.2 协议实现

定义一个表示 Ad hoc 节点通信繁忙程度的量 T_i ,即节点 i 的负荷因子,网络中的某个节点 i 的负荷因子如下定义:

$$T_i = \frac{\sum_{m=1}^{k_1} TX_m}{\sum_{n=1}^{k_2} RX_n} \quad (1)$$

在式(1)中,设节点 i 有 k_1 条数据发送路径,通过这 k_1 条路径一共完成的数据发送速率为 $\sum_{m=1}^{k_1} TX_m$, k_1 可视为节点 i 的出度;同时,数据从 k_2 条路径发送至该节点,总的的数据接收速率为 $\sum_{n=1}^{k_2} RX_n$, k_2 可视为节点 i 的入度。如果节点转发分组的效率较高,则 T_i 较大,如果节点接收分组的效率较高,则 T_i 较小。 T_i 值越大,说明节点 i 当前接受数据负荷的能力越强,即是越“空闲”,而对于 TX_m 和 RX_n 的计算都采用对前一次计算出的值和当前新计算出的值进行加权计算得出,利用 TX_{old} 和 TX_{new} 得到 TX_m ,即: $TX_m = \alpha TX_{old} + (1 - \alpha) TX_{new}$, 利用 RX_{old} 和 RX_{new} 计算出 RX_n ,即: $RX_n = \alpha RX_{old} + (1 - \alpha) RX_{new}$ 。为了较好地反映节点当前的负荷状态,设置 α 为较小的值 0.4,这样可以让计算结果受新测试得到的值 RX_{new} 和 TX_{new} 的影响更大。从 T_i 的计算方式说明:当一个节点的输出通道越多,数据发送速度越快,节点的 T_i 越大;相反,如果节点的输入通道越多,数据输入速度越快,节点的 T_i 越小。另外,将采样时间间隔(Sample Interval)设定为 4 s,即每过 4 s 时 MAC 层协议会计算一次 T_i 。

通过对节点负荷因子的计算,进一步可以得出某条路径 R_i 的负荷值的计算机方法。定义某条 Ad hoc 网络的路径为 R_i

($N_1, N_2, N_3, \dots, N_n$), 即数据从源节点 N_1 开始经多个中间节点到达目的节点 N_n 。对于该条路径的负荷值 T_{ri} 的计算方法为

$$T_{ri} = \begin{cases} \text{DefVal} & \text{hop_cnt} = 1 \\ \min(T_{ri}, N_j \neq N_1, N_2) & \text{hop_cnt} > 1 \end{cases} \quad (2)$$

当源和目的节点只经过一条路由时,采用默认值 DefVal;当跳数大于 1 时,以路径中多个中间节点 T 最小的值作为该节点所在的路径的 T_{ri} 值。

AODV 协议的数据源节点在收到 RREP 分组后,会按照分组中的序列号(seq_num)及跳数(hop_cnt)来选择路由。即:序列号较大表示一条全新的路由,最优先作为考虑,当序列号相同的情况下,选择跳数最小的路径作为实际的路由。在引入负荷因子后,选择路由多了一个衡量标准,序列号较大者仍作为最优先考虑,当序列号相同的情况下按照路径负荷 T 最大进行选择,如果 T 相同,最后按照跳数最小的路由进行选择。穿过“热点区”路径的负荷较小,在引入负荷因子后,数据源会选择负荷较小的路径,这样就可以绕开“热点区”,保证网络负荷的自适应分配。

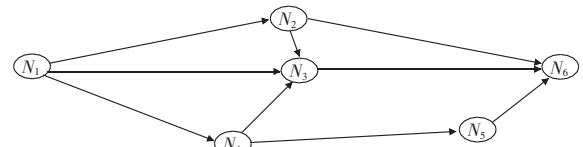


图 1 合理的路由转发

图 1 为数据源节点 N_1 选择合理的路由发送数据至目的节点 N_6 的示意图。在某个时刻,MAC 协议得到各节点当前的负荷因子,假设为:节点 $T_2 = 2, T_3 = 1, T_4 = 3, T_5 = 2$, 可假设可供节点 N_1 选择的路由包括: $R_1(N_1, N_2, N_6), R_2(N_1, N_3, N_6), R_3(N_1, N_2, N_3, N_6), R_4(N_1, N_4, N_3, N_6), R_5(N_1, N_4, N_5, N_6)$, $T_{r1} = 2, T_{r2} = 1, T_{r3} = 1, T_{r4} = 1, T_{r5} = 2$, 根据式(2)的计算结果来选择合适的路由,由于经过路径 R_1 和路径 R_5 的负荷相同,说明这两条路径的网络繁忙程度相当,相对于 R_2, R_3, R_4 空闲。应根据跳数进一步选择路由,由于 R_1 的 hop_cnt 为 2, 而 R_5 的 hop_cnt 为 3, 应选择跳数较小者,因此最终选择 R_1 作为实际路由。当一次分组发送完成以后,第二次发送分组的时候会向相邻节点发送 RREQ 广播分组;然后再次选择最合适的路由,这样可以保证网络在出现热点区域以前新的路由可以绕开这一区域。中间节点的路由更新采用了 AODV 的更新原理,即只有当确实发现更优的路由或当路由表信息超时时才进行路由更新。中间节点选择最优路由的标准按照目的序列号、网络负荷、跳数的次序来进行选择。

由于 ADMAR 协议引入了负荷因子,该因子的值保存于数据帧头部。而 AODV 协议没有包含该因子,因此基于 AODV 的帧头实现了 ADMAR 帧头。另外,ADOV 协议使用了分布式的基于路由表的路由方式,路径中的每个节点都要执行维持和管理路由信息,由于引入负荷因子,需要改进路由表中保存的信息。在 MAC 层协议进行采样时,同时会通过 Hello 分组向相邻节点广播,告知自己当前的负荷因子,如果某节点收到来自相邻节点的 Hello 分组中负荷因子大于自己路由表中的 Load_Factor 值,这说明相邻节点相对以前的负荷减轻了,应修改 Load_Factor 为 Hello 分组中的负荷因子值。ADMAR 协议由于采用通过 Hello 分组中捎带负荷因子的方法,在提供考察路径数据负载的同时不会增加网络的额外负担。

对于 MAC 层协议,本文采用 802.11 无线局域网协议,由于 ADMAR 增加了负荷因子这一个衡量标准,为了提供给网络层采样支持,并对标准的 802.11 协议进行了部分修改。

3 ADMAR 协议的仿真

本章通过仿真实验考察 ADMAR 协议的性能,与该协议进行比较的对象是 AODV 路由协议,使用 OPNET^[14]作为仿真环境,实现的网络模型包括 16 个移动节点,编号为:mobile_node_ i ($1 \leq i \leq 16$),该 16 个节点均匀分布于 $1\,000\text{ m} \times 500\text{ m}$ 的范围内,通过无线链路实现数据通信。

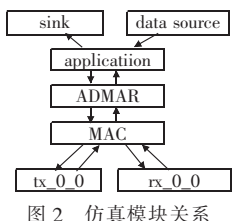


图2 仿真模块关系

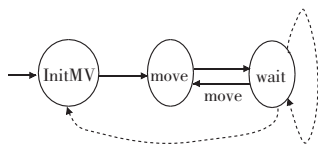


图3 仿真数据流动关系

对于 ADMAR 协议的节点模型,如图 2 基于 OPNET 提供的 IP 模块实现了 ADMAR Routing 模块。在该节点模型中提供了一个 data source 模块产生数据,同时提供了一个 sink 模块接收数据。另外,mobility 模块提供给该网络节点移动的模型,采用了随机 waypoint 模型^[15],该模型的基本原理为节点首先在网络空间中计算一个随机选择的目的点位置,并以随机选择的恒定速度向节点移动,到达该节点后,节点暂停一个等待时间再计算下一个目的节点。该模型的处理模型如图 3 所示,引入了节点移动因子,节点 mobile_node_ i 的位置定义为: $LOC_i = |X_i - Y_i|$;因此所有节点的相对距离为: $D = \sum_{i=1}^{n_1} \sum_{j=1}^{n_2} |LOC_i - LOC_j|$,当网络环境中的每个节点发生移动以后,处于 wait 状态的计算一次相对距离。当节点 i 移动到新的位置,相对距离为 D' ,因此在节点移动的时间段 t 内,移动因子为 $Mobile_Factor = \sum |D' - D|/t$ 。Ad hoc 路由协议的性能受到 pause_time 及节点移动速度的影响很大,因此设置了当等待时间 pause_time 分别为 0 s、30 s、60 s、120 s、300 s 时对应的 ADMAR 协议的性能,当为 0 s 时表示节点没有等待时间;当为 300 s 时表示节点不移动。最大移动速度 max_speed 为 20 m/s,且节点移动的速度在 $[0, \text{max_speed}]$ 区间服从均匀分布。

在利用 OPNET 进行仿真的时候,设置每个节点的数据分组的到达时间间隔服从 $\lambda = 0.1$ 的指数分布,节点的通信距离设置为 200 m,仿真时间设置为 5 min。主要考察:a)对于不同的 CBR(固定码率)的情况下 AODV 和 ADMAR 的端到端的传输时延;b)对于不同 CBR 的情况下网络的吞吐量;c)路由协议受到节点移动因子影响时,性能下降的趋势。

从图 4、5 可以看到,在移动环境中,引入了负荷因子的 ADMAR 协议能够较好地反映出当前节点的繁忙程度,并在选路由时根据路径负荷高低绕开“热点区”,自适应地选择更优路由,从而在一定程度上使得当数据量较大的情况下网络的端到端延迟受到的影响较小,保证较高的吞吐量。通过图 6 可以看到 ADMAR 协议相对于 AODV 协议受节点移动因子的影响较小。

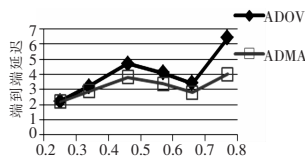


图4 平均端到端延迟

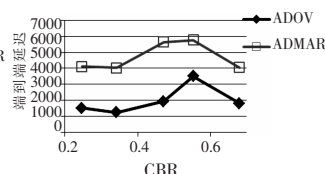


图5 平均端到端吞吐量

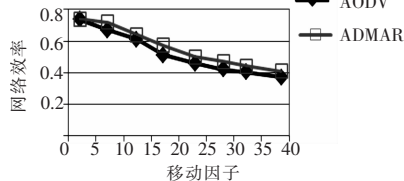


图6 路由协议受移动因子的影响关系

4 结束语

本文提出了一种自适应分配网络负载的路由协议 ADMAR。通过对该路由协议的性能分析和性能仿真,该路由协议在平均端到端的延迟、平均端到端的吞吐量都比已有的经典路由协议如 AODV 更具优越性。笔者将在后续工作中采用随机模型对该路由协议进行性能分析并进一步得到理论结果。

参考文献:

- [1] PERKINS C E, BHAGWAT P. Highly dynamic destination-sequenced distance-vector routing (DSDV) for mobile computers [C]//Proc of ACM SIGCOMM'94. New York: ACM Press, 1994: 234-244.
- [2] ROYER E M, TOH C K. A review of current routing protocols for Ad hoc mobile wireless networks [J]. IEEE Personal Communications Magazine, 1999, 6(2): 46-55.
- [3] QAYYIM A, VIENNOT L, LAOUITI A. Multipoint relaying: an efficient technique for flooding in mobile wireless networks, INRIA Research Report RR-3898 [R]. 2008.
- [4] JIANG Xia, CAMP T. A review of geocasting protocols for a mobile Ad hoc network [C]//Proc of Grace Hopper Celebration (GHC). 2002.
- [5] IWATA A, CHIANG C C, PEI G, et al. Scalable routing strategies for Ad hoc wireless networks [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1999, 17(8): 1369-1379.
- [6] PERKINS C E, BELDING-ROYER E, DAS S. IETF RFC 3561, Ad hoc on demand distance vector (AODV) routing [S]. 2007.
- [7] JOHNSON D B, MALTZ D A, HU Y C. IETF draft-ietf-mane, The dynamic source routing protocol for mobile Ad hoc networks (DSR) [S]. 2004.
- [8] CONTI M, MASALLI Q, TURI G, et al. Cross-layering in mobile Ad hoc network design [J]. Compute Science, 2004, 37(2): 48-51.
- [9] CHIANG M, LOW S H, CALDERBANK R A, et al. Layering as optimization decomposition [C]//Proc of IEEE. Piscataway, NJ: IEEE Press, 2006: 220-229.
- [10] ANDREWS M, KUMARAN K, RAMANAN K, et al. Providing quality of service over a shared wireless link [J]. IEEE Communications Magazine, 2010, 39(2): 150-153.
- [11] LIU Xin, CHONG E K P. Opportunistic transmission scheduling with resource-sharing constraints in wireless networks [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2001, 19(10): 2053-2064.
- [12] BUCHE R, KUSHNER H J. Control of mobile communication systems with time-varying channels via stability methods [J]. IEEE Trans on Automatic Control, 2004, 49(11): 1954-1962.
- [13] BORST S. User-level performance of channel-aware scheduling algorithms in wireless data networks [J]. IEEE/ACM Trans on Networking, 2005, 13(3): 636-647.
- [14] OPNET Technologies Inc [EB/OL]. http://www.opnet.com/.
- [15] BROCH J, MALTZ D A, JOHNSON D B, et al. A performance comparison of multi-hop wireless Ad hoc network routing protocols [C]//Proc of the 4th ACM ICMC/V. New York: ACM Press, 1998: 86-97.