

一种具有移动特征的 ad hoc 网络电源感知路由协议

何 晖,于 勇,侯 迪,齐 勇

(西安交通大学 电子与信息工程学院,陕西 西安 710049)

摘 要:在 ad hoc 网络中,节点通常采用电池一类的可耗尽电源,而且每个节点既是主机又是路由器,很容易因某个节点的电源耗尽而导致网络分裂,节能是一个非常重要的问题。电源感知路由协议通常追求两个目标:一个是传输数据时选择能量消耗最低的路由,另一个是尽可能最大化网络的生存时间。文中提出了一个改进的 ad hoc 网络电源感知路由算法。该算法在选择路由时不仅考虑节点的传输能耗和剩余电量,还考虑了节点的移动速度,从而在选择能量消耗最低的路由的同时可以尽可能最大化网络的生存时间,并能够带来较稳定的路由。仿真结果表明,该算法具有较优的性能。

关键词:移动;电源感知;ad hoc 网络;路由

中图分类号:TP393

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2009)08-0011-04

A Mobility Based Battery Aware Routing Protocol for ad hoc Networks

HE Hui, YU Yong, HOU Di, QI Yong

(School of Electronics and Information Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: In ad hoc networks, nodes are powered by batteries which are exhaustible, and every node serves as host and router, which will lead to network break up when some node's battery is drained. So, power saving is a very important aspect. Usually, battery aware routing protocols pursue two goals: one is to select the route with the lowest transmitting energy cost, another is to maximize the lifespan of network. In this paper, present an enhanced battery aware routing protocol for ad hoc networks. The proposed algorithm can achieve the lowest transmitting energy cost routing, maximize the lifespan of network and bring stable routing by considering not only the node's transmission energy cost and power leavings, but also the node's moving speed. Simulation study shows that the presented scheme performs better.

Key words: mobility; battery aware; ad hoc network; routing

0 引 言

移动网络是支持普适计算的一种重要技术,一般来说,有两种方法实现无线移动节点的相互通信:一种是有固定设施的网络。传统的无线移动网络是通过类似基站的接入点将无线终端接入固定网络中,这类网络的典型例子有 GSM, UMTS, WLAN 等。另一种是没有固定设施的网络,此即 ad hoc 网络。通常,ad hoc 网络是由一组带有无线收发装置的移动节点组成的一个多跳的临时自治系统,不需要现有的网络基础设施或者集中管理,不受时间和空间限制,可应用于救援、

会议、战场等环境中的目标监控等场合。

ad hoc 网络中的节点可以自由移动和任意组织,节点间的路由一般包括多跳,于是网络的无线拓扑会经常变动,而且是不可预测的。节点的随机移动和路径质量的不确定性导致传统路由协议不再适用,所以 ad hoc 网络的路由协议一直是一个研究的热点问题^[1]。另外,ad hoc 网络中的节点通常采用电池一类的可耗尽电源,而且每个节点既是主机又是路由器,很容易因某个节点的电源耗完而导致网络分裂,所以研究基于能量的路由协议便成为了重中之重。

(1) ad hoc 网络通信模型。

ad hoc 网络中,每个节点既是主机又是路由器,节点间的路由一般包括多跳。这样的网络可以表示成一个图 $G = (V, E)$,其中 G 是网络中所有节点的集合, $E \subseteq V^2$ 是边的集合,如果边 $(u, v) \in E$,则表示节点 u 可以发送信息给节点 v ,即假设节点 v 和节点 u 之间的距离为 $d(u, v)$,节点 u 的通信范围为 $r(u)$,如

收稿日期:2009-04-01;修回日期:2009-04-10

基金项目:微软亚洲研究院合作研究项目;陕西省自然科学基金(2005F14);西安市科技计划项目(YF07010)

作者简介:何 晖(1970-),女(满族),河北承德人,博士,讲师,研究方向为移动计算技术;齐 勇,教授,研究方向为操作系统,中间件及普适计算。

果 $d(u, v) \leq r(u)$, 则存在边 (u, v) 。边的集合 E 可用公式(1)来定义:

$$E = \{(u, v) \in V^2 \mid d(u, v) \leq r(u)\} \quad (1)$$

(2) ad hoc 网络能耗模型。

通常, ad hoc 网络中任一节点 u 进行数据传输时所消耗的能量 $E(u)$ 主要取决于它的发射距离 $r(u)$ [2,3]:

$$E(u) = r(u)^\alpha \quad (2)$$

其中 $\alpha \geq 2$ 。ad hoc 网络中某一条路由的总能耗可以表示为:

$$E = \sum_{u \in V} E(u) \quad (3)$$

于是, 为了达到节能的目的, 每个节点可以调整自己的发射距离, 降低自己的发射功率, 从而降低自己的传输能耗, 这样总的传输能耗也就降低了。

1 现有几种 ad hoc 网络电源感知路由协议

由于能源对 ad hoc 网络的性能起着非常重要的作用, 目前, 节能路由协议的研究成为了热点问题。为了降低能耗、提高电源的利用率, 路由协议可以从两方面来进行优化: 一个是传输数据时选择能量消耗最低的路由, 另一个是通过避免网络中的每个节点过多地消耗能源来尽可能最大化网络的生存时间。为了达到上述目标, 许多研究人员提出了各自的电源感知路由协议 [2~12], 这类协议在选择路由时通常会考虑节点的电源状态。

1.1 最小总传输能量路由协议

文献[9]指出, 由于 ad hoc 网络与有线网络的不同, Dijkstra 最短路由算法不能适用于 ad hoc 网络中, 该文提出了最小总传输能量路由协议 (MTPR, Minimum Total Transmission Power Routing)。算法在选择路由时, 考虑到传输的能源消耗与节点的发射距离成正比, 即 $E(u) = r(u)^\alpha$, 又由于存在公式(4):

$$E(u) + E(v) = kr(u)^\alpha + kr(v)^\alpha \leq k[r(u) + r(v)]^\alpha \quad (4)$$

如果忽略节点接收信息所需的能耗, 那么从一个源节点发送数据到目标节点时, 选择多跳路由会节约能源。于是 MTPR 路由算法会选择具有更多跳数的路由。但该算法没有考虑到的问题是: 路由包含的跳数越多, 则端到端的时间延迟越长, 而且中间节点越多, 则中间节点迁移的可能性越大, 从而会导致路由的不稳定。

1.2 最小电池消耗路由协议

MTPR 协议有效地降低了网络的整体能耗, 但忽略了节点的生存时间: 包含在若干条最低能耗路由中的某个节点可能会很快耗尽电源, 这样就有可能导致

网络的分区。针对这一问题, 文献[10]提出了 MBCR (Minimum Battery Cost Routing) 协议。该协议为了尽量延长网络的生命期, 在选择路由时考虑的因素是每个节点的剩余电量, 所以它选择的路由是各个节点剩余电量之和最高的路由, 如公式(5)所示。

$$\text{Router} = \arg \min \left\{ \sum_{i=0}^{D-1} \frac{1}{C_i} \mid j \in A \right\} \quad (5)$$

其中, $C_i(0, 100)$ 是某一时刻 t 节点 i 的电池电量, A 是所有可能路由的集合。

该算法存在的问题是: 选择路由时考虑的是路由中各节点剩余电量之和, 而没有考虑单个节点的剩余电量, 所以有可能出现这样的情况: 被选中的路由中各节点的剩余电量之和最高, 但该路由中某个节点所剩余的电量却是最低的, 这就有可能导致这个节点过早耗尽电源。

1.3 最小-最大电池消耗路由协议

MMBCR (Min - Max Battery Cost Routing) 协议解决了 MBCR 协议存在的问题。算法选择的路由是这样的: 该路由中剩余电量最低的节点, 其剩余电量高于其他任何一条路由中同类节点的剩余电量。可以看出, 该协议尽量避免路由中包含剩余电量最少的节点, 从而不会导致某个节点过早耗尽电源。但该算法不能保证所选中的路由是传输能耗最低的。

$$\text{Router} = \arg \min \left\{ \max_{i \in \text{Router}_j} \left(\frac{1}{C_i} \right) \mid j \in A \right\} \quad (6)$$

1.4 条件最大-最小电池容量路由协议

针对上述算法存在的问题, C. K. Toh 等人提出了 CMMBCR (Conditional Max - Min Battery Capacity Routing) 协议 [11]。该协议实现了两个目标: 最大化每个节点的生存时间, 公平合理地使用电源。算法通过引入一个阈值 $\gamma(0, 100)$, 将前面提到的 MTPR 和 MMBCR 算法结合了起来, 即: 当源节点和目标节点间存在的所有路由中的节点剩余电量都不低于该阈值时, 则应用 MTPR 算法选择路由, 否则应用 MMBCR 算法选择路由, 如公式(8)、(9)、(10)所示。

算法定义时刻 t 路由 j 的电池容量 R_j^t 如公式(7)

所示, 即: 将一条路由中剩余电量最低节点的电量作为该条路由的电量。

$$R_j^t = \min_{i \in \text{route}_j} C_i^t \quad (7)$$

$$A \cap Q = \{P \mid \min_{n_i \in P} R_i \geq \gamma\}, P \in A \quad (8)$$

$$\text{define } \theta = \{P \mid P \in A \text{ 且 } \min_{n_i \in P} R_i \geq \lambda\} \quad (9)$$

$$\text{Router} = \begin{cases} \arg \min \left\{ \max_{i \in \text{Router}_j} \left(\frac{1}{C_i} \right) \mid j \in A \right\}, \theta = \emptyset \\ \arg \min \left\{ \sum_{i=0}^{N-1} F_{\text{res}}(n_i, n_{i+1}) \mid P \in A \right\}, \theta \neq \emptyset \end{cases} \quad (10)$$

其中 A 是所有可能路由的集合, Q 表示时刻 t 源节点和目标节点之间存在的所有路由, $P_{\text{tran}}(n_i, n_{i+1})$ 表示路由中相邻两节点 n_i 和 n_{i+1} 间的传输能耗。

2 基于移动特性的 ad hoc 网络电源感知路由协议

ad hoc 网络是由若干台移动设备即时连接而形成的,设备的移动性对路由、网络拓扑的影响是很大的。通常,设备的移动速度越快,对路由的影响越大。上述算法在进行路由选择时都没有考虑节点的移动速度问题。我们在 CMMBCR 的基础上提出了基于移动特征的 ad hoc 网络电源感知路由协议 MCMMBCCR (Mobility based Conditional Max - Min Battery Capacity Routing)。在这里,将节点的移动速度也作为了路由选择时的一个考虑因素。

这里, μ 作为一个调节参数, v 表示节点的速度。MCMMBCCR 算法选择路由根据公式(11)、(12) 来进行。从公式可以看出,在相同情况下,算法选择的是移动速度低的节点,从而提高了路由的稳定性。

$$\alpha = \begin{cases} \frac{\mu}{v} & v < > 0 \\ \mu & v = 0 \end{cases} \quad (11)$$

Router =

$$\begin{cases} \text{argmin} \{ \max_{i \in \text{Router}, j} (\frac{\alpha}{C_i}) \mid j \in A \}, \theta = \emptyset \\ \text{argmin} \{ \sum_{i=0}^{N-1} P_{\text{tran}}(n_i, n_{i+1}) \mid P \in A \}, \theta \neq \emptyset \end{cases} \quad (12)$$

3 算法性能仿真和分析

通过仿真实验,将算法 MCMMBCCR 与 DSR 和 CMMBCR 进行了比较。

3.1 仿真环境及设置

OPNET 是一个离散事件仿真器,能够利用它对 ad hoc 网络进行建模和仿真。在本次仿真实验中,环境配置如下:

物理层: two-ray ground reflection

链路层: IEEE 802.11

移动模型: random waypoint model

仿真实验模拟了一个包括 40 个节点的 ad hoc 网络,其中的节点可以在一个面积为 $800\text{m} \times 600\text{m}$ 的区域内随机移动。节点移动 60 秒后会暂停 15 秒,然后重新随机选择一个新的目标,节点的移动速度范围为 $(0, \text{maximum})$ 。节点的最大通信距离为 200 米,发送缓冲为 64 包,节点往返时间设为 30 秒。仿真中节点以 4 包每秒的速率发送信息 (CBR, Continuous Bit Rate

),包大小为 512 字节。仿真时间为 600 秒,当网络中出现第一个耗尽电源的节点时仿真结束。

3.2 平均端到端延迟比较

在节点移动的情况下,比较了 MCMMBCCR 和 DSR 算法的时间延迟。仿真结果如图 1 所示。实验结果表明:在速度比较低时,两个算法的时间延迟都比较低,而且比较接近;但随着节点移动速度的提高,网络拓扑变化较快,无效路由增加,于是时间延迟会提高,在这种情况下,由于 MCMMBCCR 算法考虑到了节点的移动性,所以该算法的延迟要低于 DSR。

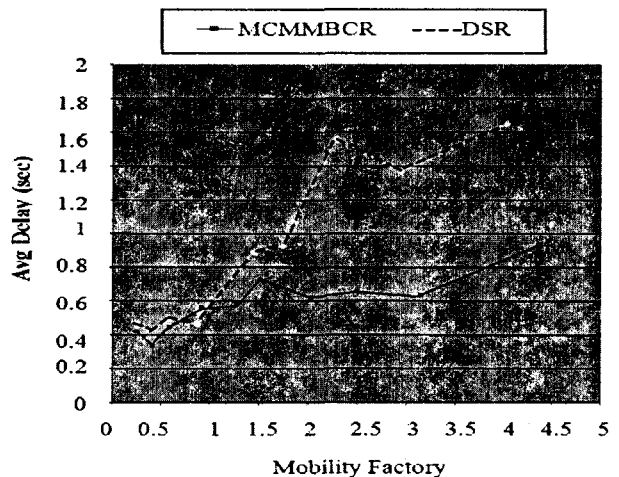


图 1 平均端到端延迟

3.3 网络生存期比较

在这里,比较了 MCMMBCCR 和 CMMBCR 算法在网络生存期方面的差异。仿真中,设 $\gamma = 50$,节点移动的速度范围为 $(0.2\text{m/s}, 4.5\text{m/s})$ 。当第一个节点耗尽电源时仿真结束。

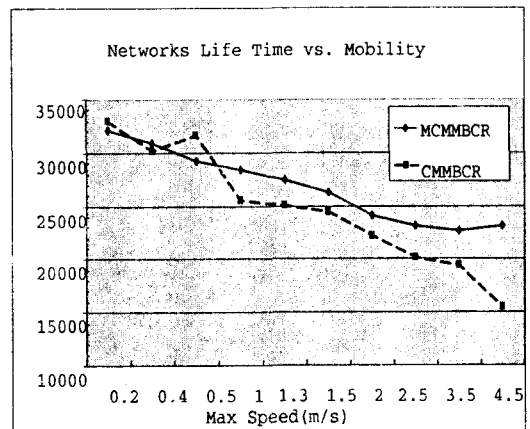


图 2 网络生存期

仿真结果如图 2 所示。当节点移动速度比较低时,对网络生存期的影响不是很大,所以两个算法所带来的网络生存期比较接近。但是随着节点移动速度的提高,节点的移动对路由的影响会越来越大。由于

MCMBCR 算法在选择路由时将节点的移动速度作为一个参数,所以该算法所选择的路由不仅能够均衡使用节点的电源,而且具有较高的稳定性,从而网络生存期相对于 CMBCR 算法来讲也更长。

4 结束语

文中提出了一个具有移动特征的 ad hoc 网络电源感知路由协议 MCMBCR。该算法在选择路由时不仅考虑到节点的电源状态,而且将节点的移动速度作为一个参数来综合考虑。仿真结果表明,该算法可以降低数据传输的时间延迟,带来较稳定的路由,同时能够延长网络的生存期。下一步的工作应该考虑到节点的差异性,即各个节点的处理能力和通信能力不同的情况下,对算法性能带来的影响。

参考文献:

- [1] Ramanathan R, Redi J. A Brief Overview of Ad Hoc Networks: Challenges and Directions[J]. IEEE Communications Magazine: 50th Anniversary Communication Issue, 2002(5): 20-23.
- [2] Feeney L. An energy - consumption model for performance analysis of routing protocols for mobile ad hoc networks[J]. ACM J. of Mobile Networks and Applications, 2001, 3(6): 239-249.
- [3] Cartigny J, Simplot D, Stojmenovic I. Localized minimum - energy broadcasting in ad - hoc networks[C]//Proceedings of INFOCOM 2003: Twenty - Second Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. San Francisco: [s. n.], 2003: 2210-2217.
- [4] 余根坚, 郑宝玉. 一个基于图邻接矩阵模型的多跳 Ad Hoc 网络路由协议及网络性能分析[J]. 计算机科学, 2006, 33(11): 25-28.
- [5] 张德跃, 杨峰, 展中华, 等. 传感器网络的一种能量感知分簇路由算法[J]. 计算机技术与发展, 2007, 17(11): 67-69.
- [6] 冯运仿. 一种提高 Ad Hoc 网络节点能量效率的路由协议[J]. 网络与信息, 2008, 22(1): 38-39.
- [7] 彭革刚, 杨疆湖, 高传善. 移动自组网中基于路径稳定性的 QoS 路由协议[J]. 计算机研究与发展, 2004, 41(6): 916-922.
- [8] 李桓, 黄传河. 移动 Ad hoc 网络路由协议的一种节能策略[J]. 微电子学与计算机, 2004, 21(5): 44-47.
- [9] Singh S, Raghavendra C S. PAMAS - Power Aware Multi - Access protocol with Signalling for Ad hoc Networks[J]. ACM Comm. Review, 1998, 28(3): 5-26.
- [10] Singh S, Woo M, Raghavendra C S. Power - Aware Routing in Mobile Ad hoc networks[C]//Proceedings of MobiCom'98. Dallas, Texas: [s. n.], 1998: 181-190.
- [11] Toh C K. Maximum Battery Life Routing to Support Ubiquitous Mobile Computing in Wireless Ad Hoc Networks[J]. IEEE Communications Magazine, 2001(1): 138-147.
- [12] 许力, 郑宝玉. MANET 环境下基于能量保护的路由策略及其研究进展[J]. 电子与信息学报, 2005, 27(5): 827-834.
- [13] 薛云志, 陈伟, 王永吉, 等. 一种基于 MessyGA 的结构测试数据自动生成方法[J]. 软件学报, 2006, 17(8): 1688-1697.
- [14] Eugenia D, Javier T, Raquel B. Automated software testing using a metaheuristic technique based on Tabu Search[C]//In 18th IEEE International Conference on Automated Software Engineering. Montreal, Canada: [s. n.], 2003: 310-313.
- [15] Tracey N, Clark J, Mander K. Automated program flaw finding using simulated annealing[C]//In Proceeding of ACM SIGSOFT international symposium on Software testing and analysis. Florida, USA: [s. n.], 1998: 73-81.
- [16] 荚伟, 谢军, 奚红宇, 等. 遗传算法在软件测试数据生成中的应用[J]. 北京航空航天大学学报, 1998, 24(4): 434-437.
- [17] Lin J C, Yeh P L. Using Genetic Algorithms for Test Case Generation in Path Testing[C]//In Proceedings of the 9th Asian Test Symposium. Taipei, Taiwan: [s. n.], 2000: 241-247.
- [18] Pei M, Goodman E D, Gao Z, et al. Automated Software Test Data Generation Using A Genetic Algorithm[R]. GARAGe of Michigan State University, 1994.
- [19] 伦立军, 丁雪梅, 李英梅. 基于遗传算法的测试数据生成研究[J]. 计算机工程, 2005, 31(23): 82-84.
- [20] Gao Haichang, Feng Boqin, Zhu Li. A kind of SAaGA hybrid meta - heuristic algorithm for the automatic test data generation[C]//In Proceedings of 2005 International Conference on Neural Networks and Brain. Beijing, China: [s. n.], 2005: 111-114.
- [21] 杜海峰. 免疫克隆计算与人工免疫网络研究与应用[R]. 西安: 西安电子科技大学, 2003.
- [22] Tracey N, Clark J, Mander K, et al. An Automated Framework for Structural Test Data Generation[C]//In Proceedings of 13th IEEE International Conference on Automated Software Engineering. Honolulu, Hawaii, USA: [s. n.], 1998: 285-288.
- [23] Jones B F, Sthamer H H, Eyres D E. Automatic structural testing using genetic algorithms[J]. Software Eng, 1996(9): 299-306.

(上接第 10 页)