

# Ad hoc 网络中能量有效路由协议的性能研究

常 莉, 吴 蒙, 王 立

(南京邮电大学 通信与信息工程学院, 江苏 南京 210003)

**摘 要:**与能量相关的路由协议被认为是 ad hoc 和传感器网络的有效解决方案,但一直以来都没有一个统一的能量标准来衡量路由协议的表现。文中对 ad hoc 网络路由中与能量有关的度量标准进行研究和分析。首先根据能量消耗的标准把能量有效的路由协议分成四种类型,分别为传输能量,剩余能量,电池的剩余生存时间和混合能量标准,然后从能量的消耗对它们仿真并根据仿真结果对这几种路由协议进行比较,可以比较出不同路由协议的性能优劣。

**关键词:**Ad hoc 网络; 能量有效; 路由协议

**中图分类号:**TN925+.93

**文献标识码:**A

**文章编号:**1673-629X(2010)04-0047-04

## Investigating Performance of Energy Efficient Routing Protocols for Ad-hoc Networks

CHANG Li, WU Meng, WANG Li

(School of Telecommunication and Information Engineering, Nanjing University of Posts  
and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

**Abstract:** Energy aware routing protocols are consistently cited as efficient solution for ad hoc and sensor network routing. However, there is not a consistent approach to define the energy related cost metrics that are used to guide the routing protocol performance. This paper provides a survey and analysis of energy related metrics used for ad hoc routing. First, the protocols are classified into four categories. For example, the energy cost for transmission, the remaining energy, the estimated node lifetime and the combination of two metrics. Then, it conducted a complete set of simulations to compare and contrast the performance of various energy-related metrics. And can know the advantages and disadvantages of these different routing protocols.

**Key words:** Ad hoc network; energy efficiency; routing protocol

### 0 引 言

移动 Ad hoc 网络是一种自治的无线多跳网络,它是由一些任意移动的节点组成的。因此和有线固定网络相比,它具有动态拓扑、网络寿命短、无固定基础设施等显著特点,同时与蜂窝网络、无线局域网等传统无线网络相比它没有严格的控制中心。因此,Ad hoc 网络路由的设计是具有挑战性的。一些经典的路由协议比如 AODV 和 DSR 都是试图找到路径最短的路由,对无线网络来说路径最短是很重要,但是对于 Ad hoc 网络不一定适用,因为过多的使用最短的路径会使这条路径上的能量耗尽,这样会导致网络断开。

为了解决这个问题,出现了很多能量有效的路由

协议<sup>[1-7]</sup>,在这些研究中大多是把能量消耗作为标准去衡量路由协议的好坏而不是跳数或者是距离。根据已有的研究,可以把能量有效的路由协议分为四种类型。

第一种是以传输能量的消耗作为标准,主要目的是节省每个传输包的能量耗损,但这种协议不考虑节点的能量,因此对网络中的节点来说是不公平的,文献[2]中的 Minimum Total Transmission Power Routing (MTPR)就是一个典型的例子。

第二种是以剩余能量作为标准,也就是说把能量消耗的公平性作为主要考虑的问题,但它们不能保证能量的消耗是最小的,例如文献[1]中的 Minimum Battery Cost Routing (MBCR) 协议。

第三种和第二种类似,只是它是以节点的生存时间而不是节点能量作为路由选择的标准,同样这种协议类型也是为了保证能量消耗的公平性,文献[7]中的路由算法就用到了此标准。

第四种是结合前面所说的两种标准,即既要节省

收稿日期:2009-08-04;修回日期:2009-11-12

基金项目:国家 863 计划项目(2006AA01Z208)

作者简介:常 莉(1984-),女,硕士研究生,研究方向为无线通信与信息安全;吴 蒙,教授,博士生导师,研究方向为无线通信、信息安全。

能量开销又要保证消耗的公平性,文献[1]中的 Conditional Max - Min Battery Capacity Routing(CMMBCR)就实现了这种目的。

虽然很多文章在研究能量有效路由协议时都是用来评价其性能的,但是它们大多数是与经典的路由协议(AODV 和 DSR)比较的,忽视了其他研究的结果。为了全面合理地研究这些不同路由协议的特点,用网络仿真软件 NS-2 来实现,并且都用 AODV 作为基础协议。

## 1 能量有效的路由协议的分类

对于移动 Ad hoc 网络来说一个关键的问题就是如何延长网络的生存时间,因为受无线装置中电池能量的限制网络的生存时间是有限的。另外某个节点的能量的耗尽会使通信中断,严重时会使整个网络中断。因此,能量的有效性对路由协议来说是非常关键的。近年来,出现了很多和能量相关的路由协议,可以把它们相应的度量标准分为四类:传输能量,剩余能量,节点的生存时间,组合能量标准。每一种度量标准用在某一特定的路由协议中,通常考虑一个  $k$  跳的路由  $R = v_0, v_1, \dots, v_k$  从源节点  $v_0$  到目的节点  $v_k$ ,在下面的内容中还会用到下列的符号参数(见表 1):

表 1 符号参数

参 数	意 义
$C_R$	路径 $R$ 传输所需能量
$P_T(i)$	节点 $v_i$ 的传输能量
$P_R(i)$	节点 $v_i$ 的接收能量
$E_r^i(t)$	$t$ 时刻节点 $v_i$ 的剩余能量
$E_0^i$	节点 $v_i$ 的初始能量
$T_r^i(t)$	$t$ 时刻节点 $v_i$ 的剩余生存时间
$DR_i(t)$	$T$ 时刻节点 $v_i$ 消耗能量的速度

### 1.1 传输能量

根据文献[8]中的传播模型,接收信号能量的衰减为  $d^{-n}$ ,  $d$  为传输距离,当  $n = 2$  时为短距离传输,  $n = 4$  时为长距离传输,为了节省能量,发送者会动态地调整传输能量和传输距离的比例。文献[1]中的 MTPR 算法使用传输能量作为度量标准,路径  $R$  传输所需能量为:

$$C_R = \sum_{i=0}^{k-1} P_T(i) \quad (1)$$

MPTR 算法选择传输所需能量最小的路径,因此它能保证每个发送包的能量消耗是最小的。 $P_T(i)$  与  $\|v_i, v_{i+1}\|^n$  成正比,  $\|v_i, v_{i+1}\|$  是节点  $v_i$  和  $v_{i+1}$  之间的距离,因此,MPTR 将会选择有更多跳数的路径,这种路径意味着会有更多的节点和更长的端到端的延迟。节点  $v_{i+1}$  接收一个数据包所需的能量同样要加入

路径的消耗中,即:

$$C_R = \sum_{i=0}^{k-1} (P_T(i) + P_R(i+1)) \quad (2)$$

和原本的 MPTR 相比  $P_R(i+1)$  可以使跳数减少。可以看出如果无线发送者不能调节传输能量,MPTR 和最小跳数的路由算法就是一样的。

文献[3]和[4]都用了类似的度量标准来选择路由使总的传输能量最小,在文献[4]中,作者提出 Minimum Power Routing(MPR) 算法,使用了一个精细的模型来计算传输能量:

$$P_T(i) = \frac{\epsilon \|v_i, v_{i+1}\|^n}{S_{i,i+1}} \quad (3)$$

$\epsilon$  是一个常数,  $S_{i,i+1}$  表示当前信道状况和链路  $(v_i, v_{i+1})$  上的干扰,  $S_{i,i+1}$  是一个动态因子,它是由历史数据估算出来的。和 MTPR 相比,在路由选择过程中 MPTR 能够更加准确地估计出传输能量的大小。

### 1.2 剩余能量

网络的生存时间定义为从建立连接开始到网络中第一个节点能量耗尽为止,MPTR 可以使每个数据包的能量消耗最小,但它可能由于过多地使用某个节点而导致这个节点能量过早地耗尽从而使通信中断。因此,网络的生存时间是不能确保的,为了使网络的生存时间达到最大,出现了很多以剩余能量作为度量标准的路由协议,不同的算法对能量消耗有不同的定义,在文献[1]中,作者提出 MBCR 算法并以剩余能量作为度量标准,能量消耗函数定义如下:

$$C_R = \sum_{i=1}^{k-1} f(E_r^i(t)) \quad (4)$$

$$f(E_r^i(t)) = \frac{1}{E_r^i(t)} \quad (5)$$

从公式中可以看出,为了保证选择剩余能量最大的路径,MBCR 会选择能量消耗最小的路径,这样会使一些能量较小的节点被选中,为了解决这个问题文献[1]对上述能量消耗函数进行了改进:

$$C_R = \max_{i=1}^{k-1} f(E_r^i(t)) \quad (6)$$

这种新的方法称为 Max - Min Battery Capacity Routing(MMBCR),它选择具有最大剩余电池量的路径,因此 MMBCR 能使网络的生存时间达到最大。文献[5]中的 Max - Min Routing Protocol(MMRP)和文献[6]中的 Max - Min Energy DSR(MME - DSR)用了 MMBCR 中的度量标准和能量消耗函数。

### 1.3 预估节点生存时间

一些研究者称有些情况下剩余能量这种标准并不能保证节点的生存时间,因为当一个节点承受很高的通信量时,即使它本身具有很高的能量也有可能被很

快耗尽。在文献[9]中,作者提出一个新的标准,消耗速度,即指定的节点能量消耗的速度,相应的消耗能量函数被定义为:

$$C_R = \min T_r^i(t) \quad (7)$$

$$T_r^i(t) = \frac{E_r^i(t)}{DR_i(t)} \quad (8)$$

$DR(i)$  指在时刻  $t$  节点  $v_i$  的能量消耗速度,路径  $R$  的生存时间就是由此路径上  $T_r^i$  的最小值决定的,其中 Minimum Drain Rate(MDR) 机制选择具有最大生存时间的路径,这种方法中,在给定的时间间隔内每个节点都对它自身的能量节点进行监测,同时用 EWMA(Exponential Weighted Moving Average) 的方法来保持能量消耗的速度值,即:

$$DR_i(t) = \alpha \times DR_i(t - \tau) + (1 - \alpha) \times DR_i^{\text{sample}} \quad (9)$$

$DR_i(t - \tau)$  和  $DR_i^{\text{sample}}$  分别代表当前的和最新监测到的能量消耗速度。

#### 1.4 组合能量标准

近年的研究已经出现了一些路由协议能同时减少数据包的能量损耗,延长网路的生存时间。例如,文献[1]中提出的 CMIMBCR,在 CMIMBCR 中,路径  $R$  的电池能量被定义为此路径中节点的电池最小剩余能量,路径选择分为两步:首先,CMIMBCR 在路由发现过程中找到所有可能的路径,然后,对于集合  $A$  中的每条路径检查,如果路径中节点的最小剩余能量比预定义的值  $\gamma$  大,就把这条路径归入集合  $Q$ ,路径选择依据如下:

1) 如果  $Q \neq 0$ ,选择 MPTR 方案,即,选择具有最小传输能量的路径;

2)  $Q = 0$ ,选择 MMBCR 方案,即选择具有最大电池能量的路径。这里的  $\gamma$  定义为占总能量的比例,从 0 到 100 变化:

- (1)  $\gamma = 0$ , 与 MTPR 相同;
- (2)  $0 < \gamma < 100$ , 视具体情况而定;
- (3)  $\gamma = 100$ , 与 MMBCR 相同。

可以看出 CMIMBCR 可以利用设定门限值  $r$  来保护具有较低能量的节点。

## 2 性能评价

在 NS-2 环境中实现并分析比较以下路由协议: MTPR, MBRCR, MMBCR, MDR, CMIMBCR, 并且这些都是在 AODV 基础上实现的。

### 2.1 能量模型

NS-2 使用 914MHz 的 lucent WaveLAN Dsss 无线电接口,节点使用全向天线,传输范围设为 250 米。传输和接收时所需功率是固定的,分别为 0.66 瓦和

0.365 瓦。假设一数据包  $p$  时间长度为  $t(p)$ ; 当一个节点传输数据包  $p$  时,它的能量就会降低  $E_{tx}(p) = 0.66 \times t(p)$ ; 当一个节点接收能量  $p$  时,它的能量大小就会降低  $E_{rx}(p) = 0.395 \times t(p)$ 。因此,在这种模型下 MPTR 和最小跳数的路由协议是一样的。像在第 2 部分所表述的一样,根据传输距离来调整传输功率是可以通过修改这种模型来实现的。

### 2.2 网络设置

模拟了一个包含 100 个移动节点的网络,这 100 个移动节点随机分布在  $600\text{m} \times 600\text{m}$  的区域内,每次运行时间为 900s,节点的移动速度是随机分布在  $0 \sim 20\text{m/s}$  范围内的。同时模拟了移动和静止两种方案,对于移动的方案,设置暂停时间为 0。在通信模型中,使用 CBR 源,但在网络中源-目的对是随机选择的。在不同设置的仿真中,不同的连接数目分别代表不同程度的通信负载。另外,等待目的节点应答 RREQ 信息的时间设置为 50ms,CMIMBCR 中的门限值  $r$  设置为 15%。

### 2.3 性能

通过在各种情况的仿真对这五种协议的性能进行评估,主要从能量方面考虑。

静止的情况:图 1 和图 2 显示了在这种情况下各种不同的协议在能量方面的性能。从网络消耗的能量来看,MPTR 的性能应该是最佳的,但从图中看出在静止的情况下,MPTR 消耗的能量并不是最小的,其中一个原因可能是 MPTR 常会选择距离最短的路径,这样会导致邻居节点间产生大量的冲突,从而消耗节点的一部分能量。剩余能量的偏差也说明了这一点,在所有的情况中,MTPR 的偏差都是最大的,因为其他协议都会考虑到剩余能量这个标准。

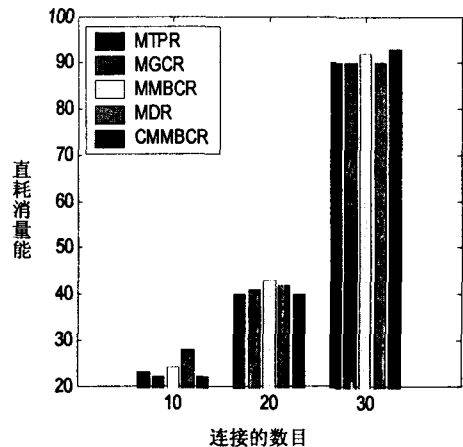


图1 平均能量消耗(静止)

移动的情况:图 3 和图 4 显示了移动情况下能量方面的性能。对于负载较轻的网络,移动情况下的性能比静止时差,但在高负载情况下,则相反,这表明移

动性能改善高负载情况下的路由性能。此结果比静止情况下可以更明显地看出, MTPR 和其他协议相比, 能量消耗较小, 剩余能量的标准偏差较大。

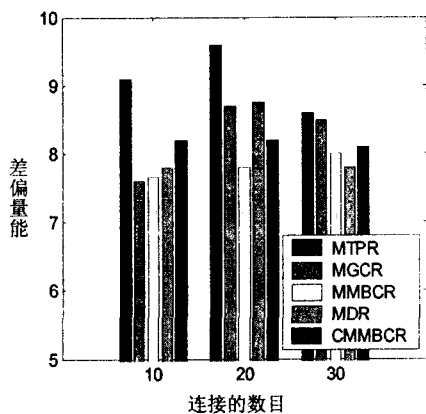


图 2 标准能量偏差(静止)

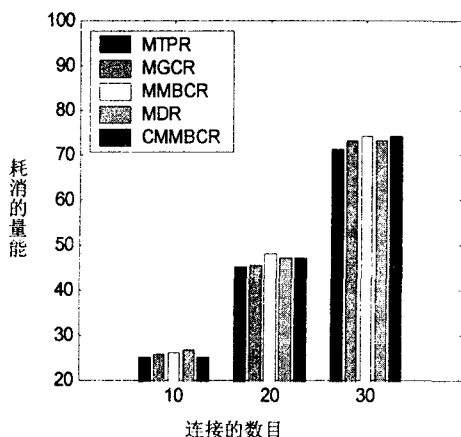


图 3 平均能量消耗(移动)

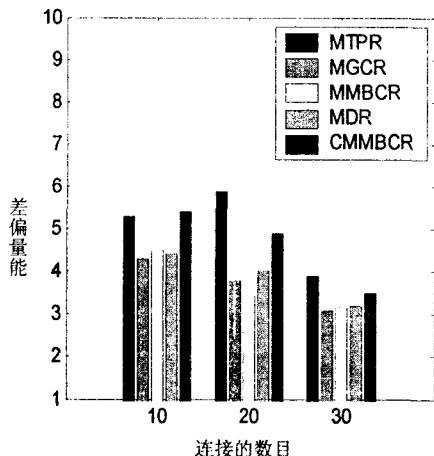


图 4 标准能量偏差(移动)

总结:

(1) 通常情况下 MTPR 比其它算法更能节省能量,但在网络中能量是不能做到均匀分布的;

(2) 其它方法考虑了剩余能量大小或者是电池的剩余生存时间,可以使能量的分布更加均匀。但从仿真中可以看出在所有的算法中并没有最佳的解决方

案,即各有利弊。

### 3 结束语

主要研究了 Ad hoc 网络中能量有效的路由协议, 把它们分成了四类,并在不同的情况下进行了仿真。第一类能够发现消耗能量最小的路径和其他三类相比能节省能量,第二类 and 第三类能够使能量的消耗在网络节点之间分布的更加均匀,也就是说可以延长网络的生存时间,第四种类型把这几种能量标准结合在一起,它们的性能介于前三种类型之间,有些算法比如 CMMBCR 很容易做到这一点,但是至今都很难找到能实现最佳性能的算法。

#### 参考文献:

- [1] Toh C - K. Maximum battery life routing to support ubiquitous mobile computing in wireless ad hoc networks[J]. IEEE Communications Magazine, 2001, 39(6): 138 - 147.
- [2] Singh S, Woo M, Raghavendra C. Power - aware routing in mobile ad hoc networks[C]//in MobiCom '98: Proceedings of the 4th annual ACM/IEEE international conference on Mobile computing and networking. New York, NY, USA: ACM Press, 1998: 181 - 190.
- [3] Srinivas A, Modiano E. Minimum energy disjoint path routing in wireless ad - hoc networks[C]//in MobiCom'03: Proceedings of the 9th annual international conference on Mobile computing and networking. New York, NY, USA: ACM Press, 2003: 122 - 133.
- [4] Subbarao M. Dynamic power - conscious routing for manets: an initial approach[C]//in 50th IEEE Vehicular Technology Conference (VTC'99). Amsterdam, The Netherlands: [s. n. ], 1999: 1232 - 1237.
- [5] Yu W, Lee J. Dsr - based energy - aware routing protocols in ad hoc networks[C]//in International Conference on Wireless Networks (ICWN'02). Las Vegas, Nevada: [s. n. ], 2002.
- [6] Venugopal V, Barto R, Carter M, et al. Improvement of robustness for ad hoc networks through energy - aware routing [C]//in Parallel and Distributed Computing and Systems. Marina del Rey: ACM Press, 2005: 238 - 241.
- [7] Kim D, Garcia - Luna - Aceves J, Obraczka K, et al. Routing mechanisms for mobile ad hoc networks based on the energy drain rate[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2003, 2(2): 161 - 173.
- [8] Rappaport T. Wireless Communications: Principles and Practices[M]. [s. l.]: Prentice Hall, 1996.
- [9] Maleki M, Dantu K, Pedram M. Lifetime prediction routing in mobile ad hoc networks[C]//in IEEE Wireless Communications and Networking, 2003. WCNC 2003. New Orleans: [s. n. ], 2003: 1185 - 1190.