

Ad Hoc 网络中基于 DSR 的节能路由协议研究

张登银, 姬广芹

(南京邮电大学 计算机学院, 江苏 南京 210003)

摘要: 移动 Ad Hoc 网络依靠有限寿命的电池供电, 因此有效的节能策略在 Ad Hoc 网络的研究中显得极为重要, 而 DSR 路由协议由于其在无线网络中的优越性, 成为节能路由协议研究的热点。介绍了 DSR 路由协议以及 Ad Hoc 网络中节能路由协议的技术, 然后围绕节点剩余能量和节点生存时间这两个节能参数, 从节能效果、网络生存时间、协议复杂度、延迟等方面对基于 DSR 的各种节能路由协议进行了详细的对比分析, 从而总结出基于 DSR 的节能路由协议的优缺点, 最后指出了 Ad Hoc 网络节能路由协议研究的发展方向。

关键词: Ad Hoc; DSR; 节能

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2009)08-0015-04

Research on DSR - Based Energy Routing Protocols for Ad Hoc Networks

ZHANG Deng-yin, JI Guang-qin

(College of Computer, Nanjing University of Posts & Telecommunications, Nanjing 210003, China)

Abstract: Efficient energy conservation strategy plays an important role in the research on mobile Ad Hoc networks, because mobile hosts in such networks usually work relying on limited - battery. The dynamic source routing (DSR) has many advantages in the wireless networks, so it becomes the hot research subject of energy conservation routing protocols. Briefly introduces DSR and the concepts of energy conservation routing in Ad Hoc networks. And then uses two parameters of energy - saving which include the node's remaining energy and node's survival time to make detailed analysis and compare among some energy conservation routing protocols based on DSR in the aspects of energy - saving effects, the network survival time, the protocol complexity, delay and other aspects. Then the advantages and weaknesses of energy conservation routing protocols based on DSR are concluded. Finally, the development orientations of Ad Hoc energy conservation routing studies are pointed out.

Key words: Ad Hoc networks; dynamic source routing; energy conservation

0 引言

Ad Hoc 网络由于移动特性, 节点依靠有限寿命的电池供电, 一旦节点的电池能量耗尽, 将会影响网络中数据包的转发, 进而影响网络的性能。近年来, 对于 Ad Hoc 网络如何节能已做了一系列的研究, 如传输功率的控制, 网卡动态关闭策略, 节能路由协议等^[1]。其中, 如何在节点间选择合适的节能路由, 是 Ad Hoc 网络节能技术研究的一个核心问题。目前, 传统的 Ad Hoc 网络的路由协议分为表驱动路由协议(如 DSDV、WRP)和按需路由协议(如 DSR、AODV)。文献[2]从网络性能的多个方面对它们做了比较, 指出由于 Ad

Hoc 网络规模、节点的移动性、无线带宽和能量等的限制, 按需路由协议由于能够有效地节约网络资源, 更适合应用在此类移动无线网络。文献[3]从能量的角度指出, 与其它经典的路由协议如 DSDV、AODV 相比, DSR 协议在整个系统的总能量消耗和节点的能量均衡负载方面都具有明显的优势。

1 路由协议原理与节能问题分析

1.1 路由协议

为了在 Ad Hoc 网络中实现简单高效的寻路方案, IETF 专门设计了基于源路由方式的按需路由协议 DSR (Dynamic Source Routing)^[4]。DSR 协议主要包括路由发现和路由维护两部分, 前者用于源节点获得到达目的节点的路由; 而后者则用于当路径中的节点由于移动、关机等原因而使路由失效时来检测当前路由的可用性。此外, 为了提高系统性能, 在 DSR 协议中

收稿日期: 2008-11-09; 修回日期: 2009-01-03

基金项目: 国家 863 计划项目(2007AA701302, 2008AA701202)

作者简介: 张登银(1964-), 男, 江苏靖江人, 研究员, 博士, CCF 会员, 研究方向为信号与信息处理、IP 网络技术、QoS 与信息安全。

还引入了路由缓存机制。

1) 路由发现。当一个节点要发送分组时,首先检查它的路由缓存,如果发现有效的路由就转发数据包;如果没有就启动路由发现机制,向邻居节点广播“路由请求”(RREQ)。当中间节点收到 RREQ 后,对数据包进行检查,如果是重复路由请求,则丢弃这个分组;如果目标节点是自己或缓存中有相应路由,则向源节点发送“路由响应”(RREP)报文;否则继续转发该路由请求,直至源节点收到目的节点的路由应答分组。

2) 路由维护。建立路由后,源节点将进行数据传送,在此过程中需要对已建立的路由进行维护。如果数据分组传送路径上的某个中间节点发现链路失败,它会向源节点回传一个“路由错误”(RERR)报文,收到或串听到错误分组的节点删除包含该链路的路由。源节点收到 RERR 报文后,从缓存中寻找其它可用路由,否则,重新发起路由发现过程。

3) 路由缓存。由于无线广播信道的特点,节点可以处于“混合监听”状态,即可以听到相邻节点发出路由请求、路由响应等报文,节点通过缓存这些路由信息,可以尽量减少每次发送新报文时启动的路由发现过程,以提高系统的效率。同时,中间节点在收到源节点的路由请求时,如果本节点路由缓冲区中有到目的节点的路由,可以直接回复路由响应消息。

1.2 节能路由技术分析

在 Ad Hoc 网络中,传统的路由协议以跳数为路由度量来选路。要实施节能路由的策略,一般涉及以下三个方面:

1) 获得满足应用需求和网络环境所需的有效的能量度量。传统的 DSR 路由协议以最小跳数为路由衡量尺度,没有考虑节能问题。当前的一些节能路由协议主要根据节点的剩余能量和节点的生存时间来构造新的路由代价函数,能量参数的选择要满足应用需求和 Ad Hoc 网络的特点,最终达到节能目的。

2) 建立满足节能需求的路径。如果要满足不同的条件,将约束引入优化问题,则算法将变得复杂。多约束路由选择通常是 NP 完全问题,可以去度量相关性或转化为单一度量来降低计算复杂度。

3) 维护已建立的路径。由于受到节点失效、移动及周围环境的影响,网络拓扑变化频繁,路由更新和获取较为困难。这就要求协议必须具有应变能力,尽量在路由失效前尽快发现问题,及时更换路由,而避免路由中断和重新发起路由请求。

2 基于 DSR 的节能路由协议实现机制

Ad Hoc 网络中,基于 DSR 的节能路由协议是在

传统的 DSR 路由协议基础上,加入能量参数进行改进以达到节能目的。其宗旨是最大化网络生存时间,即如何使网络中的节点生存时间更长。从加入的能量参数角度考虑,节能路由协议的实现策略可以分为三类:一是考虑节点剩余能量;二是考虑节点生存时间;三是综合考虑节点剩余能量和节点生存时间。

2.1 考虑节点剩余能量的 DSR 节能路由协议

考虑节点剩余能量的 DSR 节能路由协议,通过缩小网络中节点间的能量水平差异,并且使节点间负载均衡,从而达到避免关键节点过早“死亡”,延长网络生存时间的目的。目前考虑节点剩余能量的 DSR 节能路由协议,典型的有 OLEAR (Optimal Localized Energy Aware Routing)^[5]、SDDRP (Source - Destination Determined Delay Routing Protocol)^[6]和 DMEDSR (Dispersion based Minimum Energy DSR)^[7]这三种。

1) OLEAR 协议。

OLEAR 协议^[5]的节能策略,是节点根据自身的剩余能量决定是否参与路由。源节点发起路由请求后,接收到 RREQ 报文的中间节点只有当剩余能量大于阈值 Thr 时,才转发该 RREQ 报文。若源节点接收到 RREP 报文,则立即用此路由转发数据;否则,再次发起路由请求,接收到 RREQ 报文的节点均降低其阈值,然后再进行判断以决定是否加入路由。

OLEAR 协议在选路时考虑了节点的剩余能量,保护了剩余能量不多的节点。当节点能量充足时,可以很快找到满足条件的路由,减少了延时;但当节点剩余能量远远小于阈值 Thr 时,可能要很长时间才能找到合适的路由,从而大大增大了延时。

2) SDDRP 协议。

SDDRP 协议^[6]中,每个节点有一个表示自己剩余能量水平的标识,标识从 0~7 浮动,0 表示节点能量已耗尽,再不能发送或转发分组;7 表示节点满能量。

在路由发现过程中,中间节点在 RREQ 报文中添加自己的剩余能量水平标识,目的节点收到 RREQ 报文后,向源节点回送包含此路由的 RREP 报文,并根据 RREQ 报文中最小能量标识的中间节点能量标识启动定时器,延时 Δt ,继续回送接收到的同样 ID 的路由。源节点收到 RREP 报文后,若能量标识大于预先设定的能量阈值 The ,则立即使用这条路由发送报文,否则延时 Δt 等待满足条件的路由,若 Δt 时间内不存在这种路由,则会按照最大最小准则选取路由。

SDDRP 协议中源目节点均根据最小能量标识来设置延时时间,目的是为了缓存更多的路由,一旦当前路由失效可以尽快更换。但如何合理地设置延时时间,则是一个十分复杂的问题。

3) DMEDSR 协议。

随着网络的运行,可能出现路径中节点间剩余能量偏差逐渐增大的情况,即剩余能量值的离散度增大,最终导致节点的死亡和路径断裂。DMEDSR 协议^[7]提出了一种新的路由代价函数:

$$M = kE \quad (1)$$

其中, M 是联合约束; E 是路径中的节点的最小剩余能量; $k = 1/(1 + S_n)$ 是离散系数, $0 < k \leq 1$, k 越大节点剩余能量值的离散度越小, $S_n = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\bar{E} - E_i)^2}$ 是标准差, 反映了剩余能量值的离散度, $S_n \geq 0$, 标准差越小离散度越小, $\bar{E} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_i$ 为路径中间节点的剩余能量的平均值。源节点需要发送数据包时, 查看路由表, 选择联合约束最大的那条路由。

DMEDSR 协议在考虑路径中节点的最小能量因素的同时, 还考虑了整条路径中节点能量的离散程度这个因素, 使得路径中节点的能量相对较集中, 从而延长了网络的生存时间。但它在某些方面还有不足, 比如数据的传输率, 以及离散因子的效果都不太明显。

上述三种协议的节能策略, 均是根据网络中各节点的剩余能量情况选择路由, 尽量避免选择剩余能量较低的节点, 但它并不能保证找到的路由所消耗的总传能量最小, 而且由于仅考虑节点的剩余能量, 没有综合考虑网络的流量变化情况以及链路本身的一些特性, 此类节能路由协议并不能完全避免节点因负载过重而过早死亡这种情况的出现。

2.2 考虑节点生存时间的 DSR 节能路由协议

考虑节点生存时间的 DSR 节能路由协议是为防止网络中某些剩余能量较多的节点由于负载过大使能量迅速耗竭, 可根据不同时刻节点的剩余能量以及通过它的流量负载情况预测节点的生存时间, 来判断此节点是否进一步参与路由。目前考虑节点生存时间的 DSR 节能路由协议, 典型的有 ES-DSR (Energy-Saving DSR)^[2] 和 ESR (Energy Saving Routing)^[8] 这两种。

1) ES-DSR 协议。

ES-DSR 协议^[2] 是一种基于跳数和节点生存时间的节能路由协议, 其路由由代价函数表示形式如下:

$$\text{Cost}(R_i) = (1-a) \times \frac{E_i}{\bar{E}} + a \times \frac{\bar{H}}{H_i} \quad (2)$$

其中, R_i 代表候选路由集 A 中的某条路由; a 为加权因子; E_i 代表路由由组成节点的最短生存时间, 即节点当前剩余能量与节点经过几个时间段后平均的能量消耗

速度的比值, $\bar{E} = \frac{\sum_{i=1}^N E_i}{N}$; H_i 代表路由 R_i 的跳数, $\bar{H} = \frac{\sum_{i=1}^N H_i}{N}$ 。加权因子 a 根据路由由候选集中各条路由的组成节点的剩余能量情况来确定, 其表示形式为:

$$a = \sum_{R_i \in A} \frac{\min_{n_{i,j} \in R_i} \{re(n_{i,j})\}}{IE \times N} \quad (3)$$

其中 $n_{i,j}$ 代表路由 R_i 中的某个节点, $re(n_{i,j})$ 表示节点 $n_{i,j}$ 的剩余能量, IE 为节点初始能量。由式(3)可见, 当 A 中各条路由由组成节点的能量状况较好时, 算法倾向于选择路由由候选集中跳数较少的路由; 否则选择路由由候选集中组成节点的最短生存时间较长的路由。

在路由发现过程中, 中间节点收到来自同一源节点的相同 ID 的 RREQ 报文后, 若其剩余生存时间值大于当前值, 则添加该路由。源节点收到第一个 RREP 报文后, 打开定时器, 接收其它 RREP 报文, 最后根据路由代价函数选取最佳路由。

ES-DSR 协议综合考虑能量和跳数选取最优路由, 在延长网络生存时间的同时, 避免过多“牺牲”网络的其他性能。通过加权因子的动态设定, 可以根据网络中节点剩余能量采取不同的路由策略。此外, 通过定时器的设置, 可以缓存更多的去往目的节点的路由信息。

2) ESR 协议。

ESR 协议^[8] 在其路由查找阶段, 为了避免节点过早地消亡, 引入节点的期望时间这个度量, 并通过剩余能量和当前传输功率的比值来描述。源端在时间 t 发现路由后, 选择期望时间最大的那条路由。

当路径确定后, 即可根据接收到的数据包信号强度来调整链路间的功率。节点的发送功率由下一跳节点重新计算获得, 调整后的传输功率记录在功率表和 ACK 包中。发送节点接收到 ACK 包后, 在功率表中更新传输功率, 并且以更新后的功率来传送数据包。

ESR 协议集成了传输功率控制和负载均衡两种方式的优点来实现节能路由协议, 在选路和发送数据的过程中都节省了能量。但传输功率控制的引进将会导致无线设备的硬件改动。

从以上两种协议可以看出, 考虑节点生存时间的节能策略除了考虑节点的剩余能量, 还综合考虑了网络流量状况、节点自身的能量变化情况等, 通过预测节点的生存时间, 以期在路由选择时能够尽量避开“瓶颈”节点, 实现最大化网络生存时间的目标。但此类节能路由协议仍不能保证所需的总传能量最小, 会造

成一些能量的不必要浪费。

2.3 综合考虑节点剩余能量和节点生存时间的 DSR 节能路由协议

REECV (Residual Energy and Energy Cost Velocity) 协议^[9]在路由代价函数中引入能量级别阈值 δ , 当网络中所有可能路径中的节点剩余能量 $Eng < \delta$ 时, 表示节点的能量不足, 因此要保护低能量的节点, 防止网络断裂, 此时基于节点剩余的能量考虑; 当 $Eng \geq \delta$ 时, 表示节点的能量充足, 此时基于节点剩余能量消耗速率考虑选取路由。

当路由建立时, 在 RREQ 报文中添加本节点剩余能量对应的路由耗费 $Cost_REng$ 和剩余能量消耗速率对应的路由耗费 $Cost_VEng$ 。中间节点丢弃所有来自同一源节点的相同 ID 的 RREQ 报文, 目的节点收到第一个 RREQ 报文后, 启动定时器等待其它路由的到来, 最终根据代价函数选择最佳路径, 并向源节点返回一个包含该路径的路由应答。

REECV 协议以避免网络分割为目标, 保护网络中能量较低的节点; 同时又考虑链路带宽状况, 以防止出现网络拥塞, 均衡能量较多节点的流量。但如何合理设置能量级别阈值 δ , 仍是一个有待研究的课题。

3 基于 DSR 的节能路由协议性能比较

上面详细介绍了几种节能 DSR 路由协议, 现在从能量路由度量的选择、对 DSR 协议改进的方面、时延、协议的复杂度、能量阈值设置、节能程度、网络寿命、是否跨层等方面对它们做比较, 如表 1 所示。

从表 1 可以看出, 以上节能路由协议的出发点是在路由度量中加入了能量参数来选择最佳路由, 不同的能量参数, 决定了不同的节能的程度和网络寿命的延长程度; 设置时延使得节点可以接收到更多的路由, 从而可以缓存更多的路由数目, 当某一路由失效时, 可以从缓存中选取一条可用路由替换, 避免重新发起路由发现过程; 能量阈值的设置, 使得节点在能量不足时, 及早更换新的路由避免链路中断。

上述协议虽然达到了节能目的, 但由于只考虑节能因素, 往往要牺牲一部分传统的网络性能, 如为了绕过低能量的节点会选择跳数多的路径, 在数据包中添加能量参数加大了数据包的长度, 增加了路由协议的开销, 路由选择的决策权大都在目的节点和源节点, 这给分组发送带来大量的延迟。

从总体的比较可以看出, 考虑节点剩余能量的 DSR 节能路由协议设计比较简单, 节能效果较好, 但由于没有考虑节点的消耗速率, 网络的寿命较短; 而考虑节点生存时间的 DSR 节能路由协议虽然较好延长了网络的寿命, 但协议的实现较复杂, 总体节能效果不是很好。综合考虑节点剩余能量和节点生存时间的 DSR 路由协议可以根据网络环境的变化采用不同的能量度量在两者之间实现平衡。

因此, 在现有的 Ad Hoc 路由协议中实施节能策略, 合理地选择能量度量尺度非常重要, 要尽量做到在最大程度地实现节能和最大限度地延长网络的寿命的同时, 不要过多地牺牲网络的其它性能。

4 结束语

在传统的 DSR 路由协议中加入能量参数进行协议的改进, 提高了能量的利用率, 避免某些节点过早死亡, 从整体上延长了网络生存时间。文中简述了 Ad Hoc 网络中传统的 DSR 路由协议和节能技术, 详细介绍了三类基于 DSR 的节能路由协议, 并从各个方面进行了比较分析, 指出了它们在节能上的优势。但由于 Ad Hoc 网络自身的特殊性, 文中提到各种协议尚存在一些不足之处, 为此, 提出 Ad Hoc 网络节能路由协议研究发展的两个方向:

其一, 在实现节能的同时, 综合考虑网络的稳定性、安全性、公平性和业务的 QoS 保证等问题;

其二, 节能技术的研究是 Ad Hoc 网络中每个协议层的共同课题, 可以使用跨层体系结构, 尽量用垂直通信代替水平通信来共享其它层的信息, 从而减少能量消耗。

表 1 基于 DSR 的节能路由协议比较

路由协议	路由度量	改进点	选路决策节点	时延	能量阈值	跨层	跳数	复杂度	节能	网络寿命延长
剩余能量	OLEAR	剩余能量	路由发现	中间节点	较小	有	无	中等	较好	中等
	SDDRP	剩余能量水平标识	路由发现, 路由缓存	源节点	中等	有	无	中等		
	DMEDSR	剩余能量, 离散度	路由发现	源节点	较大	无	无	中等		
生存时间	ES-DSR	跳数, 节点最短生存时间	路由发现, 路由缓存	源节点	较大	有	无	较少	中等	较高
	ESR	节点期望生存时间	路由发现, 功率控制	源节点	较大	无	有	较多		
REECV	剩余能量, 消耗速率	路由发现	目的节点	较大	有	无	较多	复杂	较好	较好

6, pentium4 1.8GHz 处理器, 512M 内存, Windows XP 操作系统。

实验结果归纳在表 3 中, GEPKNN 算法在四个数据集上的分类正确率都优于 KNN 和 C4.5 决策树。表中最末一列是使用高斯核函数的核 KNN 在四个数据集上的分类准确率, 其中的参数 δ 设为 15, 这个分类器在 diabetes 上的表现比较差, 在另外几个数据集上的分类性能与 KNN 相当, 这表明核 KNN 的分类性能与核函数紧密关联, 核函数及参数要经过仔细调校才能凸显核 KNN 的分类性能优势。

表 3 实验结果

数据集名称	GEPKNN	C4.5	KNN	高斯核 KNN
bw	0.987	0.945	0.951	0.947
iris	0.993	0.963	0.950	0.956
diabetes	0.793	0.735	0.701	0.661
glass	0.775	0.668	0.719	0.681

3.2 讨论

GEPKNN 算法目前还有几个问题有待进一步研究, 较显著的问题是其训练时间比传统分类算法长(在 diabets 数据集上算法的训练时间长达 5.17min), 这个问题的成因是在计算个体的适应度时采用了比较费时的 k 折交叉验证, 在种群规模较大或数据较多时 GEPKNN 需要花费较多时间更新个体的适应度。

4 结束语

文中提出的 GEPKNN 算法较好地解决了为核 KNN 选择核函数及其参数的问题, 它依靠 GEP 强大的函数发现能力为核 KNN 自动构造最优的核函数,

实验结果表明 GEPKNN 算法是有效的。

GEPKNN 算法的主要不足是训练时间长, 下一步研究的主要内容包括开发更高效的适应度函数和进化策略, 在避免过拟合训练数据的同时降低算法的时间复杂度。

参考文献:

- [1] Xiong Huilin, Zhang Ya, Chen Xue - Wen. Data Dependent Kernel Machines for Microarray Data Classification[J]. Transactions on Computational Biology and Bioinformatics, 2007, 4 (4): 583 - 595.
- [2] 饶 鲜, 杨绍全, 魏 青, 等. 核的最近邻算法及其仿真[J]. 系统工程与电子技术, 2007, 29(3): 470 - 471.
- [3] 王 东, 吴湘滨. 遗传编程运行期个体多样性分析方法及应用[J]. 计算机技术与发展, 2006, 16(9): 18 - 20.
- [4] 李 钧, 王忠群, 刘 涛. 基于遗传编程的网格资源调度算法[J]. 计算机技术与发展, 2008, 18(2): 129 - 132.
- [5] 余新宁, 王文鹏, 张 俊. 遗传算法程序的模块化设计[J]. 微机发展(现更名: 计算机技术与发展), 2003, 13(3): 4 - 7.
- [6] 李 曲, 蔡之华, 蒋思伟, 等. 基因表达式程序设计在预测中的应用研究[C]//第五届全球智能控制与自动化大会. 杭州: [出版者不详], 2004.
- [7] Ferreira C. Gene Expression Programming in Problem Solving [C]//invited tutorial of the 6th Online World Conference on Soft Computing in Industrial Applications. Berlin: [s. n.], 2001.
- [8] Peng Jing, Tang Chang - jie, Zhang Jing, et al. Evolutionary algorithm based on overlapped gene expression[C]//ICNC - LNCS3612. Berlin: Springer, 2005: 194 - 204.

(上接第 18 页)

参考文献:

- [1] 郑少仁, 王海涛, 赵志峰. Ad Hoc 网络技术[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2005.
- [2] 陈 勇. Ad Hoc 网络的节能路由算法的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2008.
- [3] 何昆鹏, 李腊元. Ad Hoc 网络中按需路由协议的仿真与性能分析[J]. 计算机技术与发展, 2008, 18(3): 81 - 84.
- [4] Johnson D B, Maltz D A, Broch J. DSR: The Dynamic Source Routing Protocol for Multi - Hop Wireless Ad Hoc Networks. in Ad Hoc Networking[M]. Boston, MA, USA: Addison - Wesley Longman Publishing Co., Inc, 2001: 139 - 172.
- [5] Haque I T, Assi C. OLEAR: Optimal Localized Energy Aware Routing in Mobile Ad Hoc Networks[C]//IEEE International Conference on Communications (ICC' 06). Istanbul, Turkey:

IEEE Communications Society, 2006: 3548 - 3553.

- [6] 王敏强, 郑宝玉. 一种新的应用于 Ad Hoc 网络的能量感知路由协议[J]. 南京邮电学院学报, 2005, 25(1): 13 - 17.
- [7] Senouci S M, Naimi M. New Routing for Balanced Energy Consumption in Mobile Ad Hoc Networks[C]//Proc of the 2nd ACM international workshop on Performance evaluation of wireless ad hoc, sensor, and ubiquitous networks. NY, USA: [s. n.], 2005: 238 - 241.
- [8] Tarique M, Tepe K E, Naserian M. Energy Saving Dynamic Source Routing for Ad Hoc Wireless Networks[C]//Third International Symposium on Modeling and Optimization in Mobile, Ad Hoc, and Wireless Networks. Montreal, Quebec, Canada: WIOPT, 2005: 305 - 310.
- [9] 李 鹏. 基于能量的移动自组网路由协议研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2006.