

具有上下文认知的高能效多径路由算法研究

徐 方^{1,2}, 查文亮²

(1 湖北工程学院 现代教育技术中心, 湖北 孝感 432000; 2 武汉大学 计算机学院, 湖北 武汉 430072)

摘 要: 针对移动 Ad Hoc 网络终端能量资源受限对全网路由的影响, 提出了一种基于上下文认知的高能效多径 Ad Hoc 网络路由算法. 该算法面向 Ad Hoc 网络环境综合考虑节点的能耗、传输路径的能耗和多径路由选择等要素. 经过 NS2 仿真实验并且与其他相关路由算法进行比较, 结果表明在相同的实验环境下, 该路由算法能够有效地节约能量, 降低了端到端的时延, 提高网络的吞吐量.

关键词: 上下文认知; 能量路由; 多径; 自学习

中图分类号: NT915

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2014)05-0121-04

An Energy-efficient Multi-path Routing Algorithm with Context-aware

XU Fang^{1,2}, ZHA Wen-liang²

(1 Technique Center of Modern Education, Hubei Engineering University, Xiaogan 432000, China;

2 Computer School, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: A context-aware energy-efficient multi-path routing algorithm (CAEMR) was presented to minimize the effect of limit energy supply of terminals in Ad Hoc network. In the novel algorithm, node energy consumption and the energy consumption of the transmission path and multi-path routing were considered for Ad Hoc network environments. Simulations were carried out on NS2 platform. The results show that, in the same simulation environment, comparing to other routing algorithm, this routing algorithm performs more effectively on saving energy for network, reducing end-to-end delay and increasing the network throughput.

Key words: context-aware; energy routing; multi-path; self-learning

1 引言

在 Ad Hoc 无线局域网中, 负载平衡和能量分布均匀是非常重要的. 目前已经设计了一些应用于无线通信的能量感知路由算法. 最小总传输功率路由 (MTTR)^[1] 是设计能量感知路由算法的早期尝试之一. 相对于 MTTR, 最低电池成本路由 (MB-CR)^[2] 选择每一个的移动设备总的剩余电池容量作为一个度量, 而不是沿每条路径所消耗的能源. 它计算出每一个可能的路线总剩余能量水平, 然后选择一个剩余能量最高的路径为最佳路由. 文献[3]是在 AODV 路由协议基础上, 测算中间节点上链路的能量消耗来进行路由选择, 该算法在保护了被过度使用的节点. 文献[4]是在 TORA 协议的基础上, 为了

延长网络生存时间, 结合传输路径上的跳数和节点的剩余能量进行路由选择.

现有的解决方案考虑的是设备运行在相同上下文背景下, 使用节点能量水平或电池容量来计算路由成本. 这并不适合目前的智能设备为主的无线通信场景, 把不同的上下文放入相同的设备上, 可能会导致不同的能量寿命预期^[5]. 本文提出了一个适合 Ad Hoc 网络环境的上下文感知的高能效多径路由算法 (context-aware energy-efficient multi-path routing algorithm, CAEMR).

2 上下文认知自学习过程

智能移动通信设备使用的上下文信息包括: 应用的性能, 设备的功能 (如屏幕大小, 电池容量), 网

收稿日期: 2013-07-28; 修回日期: 2013-09-16

基金项目: 湖北省高等学校青年教师深入企业行动计划项目 (XD2012373); 湖北工程学院自然科学基金项目 (Z2012006)

络状况和用户的喜好,这些方面的内容往往与能量相关.与拥有较小的屏幕和更大的电池容量设备相比,那些配备了更大的屏幕和较小电池容量的设备在一次充电周期内的使用寿命是相对较短的,除非无线链路接收信号不好,成功的通信可能需要多次重传.

上下文相关的信息,可以通过操作系统在应用层获取.因此,上下文认知自学习过程构造了一个组件工作负载描述表,用来描述每个主要的移动设备的硬件组件上的工作负荷和相应的能量消耗速度之间的映射,并且根据当前可用的节点和这个表的描述计算出节点的能量效用.如图 1 所示,基于上下文感知的自学习过程包括三个阶段:初始化阶段、监控阶段和节点能效计算阶段.

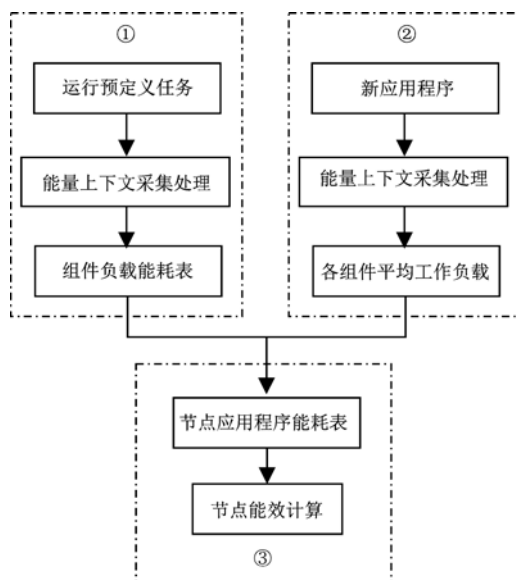


图 1 上下文认知自学习过程

2.1 初始化阶段

初始化阶段如图 1 中的①部分所示,由于移动设备存在不同的规格,相同的应用可能在不同的组件上产生不同的负载.更重要的是,相同工作负载百分比在不同的设备上会产生不同的电池损耗速率.为此,在初始化阶段应先建立一个具有能量效率上下文感知的 Ad Hoc 无线网络.

目前的移动设备的硬件组件中,屏幕上(SCR),图形处理器(GPU),WLAN 接口卡,蜂窝网络的接口模块(CELL)和处理芯片组(CPU)是主要能量消费者,如智能手机或平板电脑^[6].因此,这五个部分是需要特别考虑的.在这些硬件模块上不同应用的能量消耗有很大的差异.

在初始化过程中,CAEMR 在五个不同的移动设备组件上运行一组预定义任务来取得各种负荷

(如 5%, 25%, 50%, 75% 和 100%),并且监测它们的能量消耗.在初始化阶段任何级别能量消耗的测量值的取得是使用线性内插法,虽然它的精确度有限,但却只需要消耗较少的资源,初始阶段输出数据是为每个主要硬件组件的工作负载百分比和消耗的能量之间的关系建立一个对应表.

2.2 监测阶段:

监测阶段如图 1 中的②部分所示,组件负载表存储每个应用运行时的各组件的工作负载.一旦启动一个新的应用程序,该过程开始记录前面所涉及的硬件组件上的工作量.一旦应用程序关闭时,计算平均值,并在应用描述表作中添加一条新的记录.

表 1 显示了一个简单的应用负载描述表.对于应用 j 来说, $CL_{CPU}(j)$ 给出了 CPU 的工作负载. $CL_{GPU}(j)$, $CL_{CELL}(j)$ 和 $CL_{WLAN}(j)$ 也表示类似的含义.值得注意的是,屏幕的工作负载是高度依赖于环境的照度和用户的喜好.

表 1 每个组件上典型应用负载描述

	CL_{CPU}	CL_{GPU}	CL_{CELL}	CL_{WLAN}
App(j)	$CL_{CPU}(j)$	$CL_{GPU}(j)$	$CL_{CELL}(j)$	$CL_{WLAN}(j)$

所有上下文信息的获取和保存都是在自学习处理模块中进行.利用这个处理模块,当前设备的每个应用对应每个硬件组件的工作量都被检测和采样,然后把与应用相关的能量约束被记录在节点应用程序能耗表文件中.自学习处理模块中采用的这种方法,能够适用于目前流行的大多数应用.

2.3 节点能效计算阶段

根据当前运行的节点和上下文自学习处理模块中获得的应用程序能耗表的数据可以计算上下文认知节点的能量开销.只要智能设备通电启动后,当前的应用程序的类型和当前的屏幕亮度可以从操作系统获取.根据这些信息和更新的应用描述表里的记录,可以计算出节点的开销.如果正在运行的应用程序的相关信息没有记录在应用程序能耗表中,上下文认知自学习过程监控上一阶段中所描述的相关的读取数据,并创建一个新的应用程序能耗表的记录.下面的叙述解释了如何根据应用描述表来计算节点的开销.

在式(3)中, G_{app} 表示所有主要设备硬件组件上的应用有关的能量约束条件对应的效用函数:分别是 CPU, 屏幕(SCR), 图形处理器(GPU), WLAN 和蜂窝网络模块(CELL). G_{comp_i} 表示第 i 个移动设备组件上的应用程序的能量约束对应的效用等级.归

一化的权重值用来平衡不同硬件组件效用在总效用函数的贡献。例如,在高度网络密集型应用程序中,WLAN接口卡比其他硬件组件表现出更高的能量消耗。权重值 $W_{\text{comp}i}$ 的获得是通过每个组件的最大能量消耗值除以系统消耗的能量的最大值,如式(2)所示,其中 $\text{Max}E_{\text{comp}i}$ 表示硬件组件 i 的最大能量消耗。对于每个应用方案来说,每个组件的 $G_{\text{comp}i}$ 获得是根据典型的能源消耗 ($E_{\text{comp}i}$) 占最大能量消耗 ($\text{Max}E_{\text{comp}i}$) 的比值,如式(1)所描述。

$$G_{\text{comp}i} = \frac{E_{\text{comp}i}}{\text{Max}E_{\text{comp}i}} \quad (1)$$

$$W_{\text{comp}i} = \frac{\text{Max}E_{\text{comp}i}}{\sum_{i=1}^n \text{Max}E_{\text{comp}i}} \quad (2)$$

$$G_{\text{app}} = \frac{\sum_{i=1}^n W_{\text{comp}i} \cdot G_{\text{comp}i}}{\sum_{i=1}^n W_{\text{comp}i}} \quad (3)$$

由于硬件的规格很多,上下文认知自学习过程主要处理上面提到的几种主要的硬件组件的上下文信息。然而,电池的剩余能量是必须要考虑的。在式(4)中, E_{cons} 是指实时检测到的消耗的能量值, E_{total} 是总的电池容量。 E_{scale} 表示 E_{cons} 与 E_{total} 的比值。式(5)给出了设备中能量级别相关的效用函数。方程式使用的指数式来说明的这样一个事实,设备上的能量越少,设备的运行就越不可靠。 G_{eLevel} 的取值被限定在 0 到 1 的范围内。

$$E_{\text{scale}} = \frac{E_{\text{cons}}}{E_{\text{total}}} \quad (4)$$

$$G_{\text{eLevel}} = \frac{E_{\text{frac}}}{e^{1-E_{\text{scale}}}} \quad (5)$$

式(6)提出的效用函数结合了应用相关的能量消耗和电池能量情况。受两个因素影响,任何单个设备的效用开销 C_{node} 取值在 0 和 1 之间; G_{app} 根据能源相关的应用程序信息所确定的设备的效用等级; G_{eLevel} 是依赖剩余能量值的效用等级。归一化的权重 W_{app} 和 W_{eLevel} 用于协调总效用开销中的各因素的贡献。

$$C_{\text{node}} = W_{\text{app}} \cdot G_{\text{app}} + W_{\text{eLevel}} \cdot G_{\text{eLevel}} \quad (6)$$

$$W_{\text{app}} + W_{\text{eLevel}} = 1$$

3 CAEMR 路由算法

本文提出了一种基于上下文认知的高能效多径路由算法 CAEMR。该算法在网络节点内部利用多重 Dijkstra 算法,可以计算出从源节点到目的地节点

间的多条互相没有交集的网络路径,而且不用再额外的消耗网络带宽资源。为了充分利用网络资源,算法计算出的多条路径中,第一条路径为最短路径,其他为备用路径。

本文提出了一种新的数据分组转发方案。同时在该算法计算出的多条路径上转发数据分组,在最初计算的第一条网络路径上,使用逐条路由转发的方式;而在其他备用路径上采用源路由转发。为增加网络的吞吐量,本文进行数据业务流调度的方式是采用能量相关负载均衡的原则。

如图 2 所示,CAEMR 路由算法的基本操作包含三个部分:路由信息交换、多径路由的生成和路径能效计算、多径数据转发。

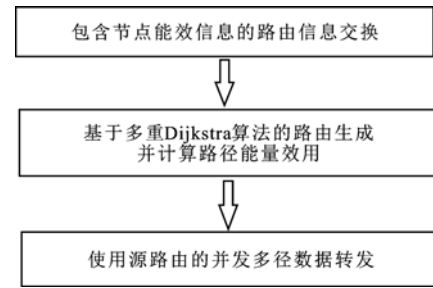


图2 CAEMR 算法基本操作组成

3.1 包含节点能效信息的路由信息交换

在全网的范围内,CAEMR 周期性地路由信息的交换,使得节点可以准确地了解路由状态信息和网络拓扑结构,并及时进行更新操作。CAEMR 参照并扩展了 OLSR 算法的路由交换方法。每个节点在网络中周期性的把自己的邻居节点信息广播给相邻节点,并且把本节点所知道的网络拓扑结构信息和自己的能效情况在全网的范围内进行广播。

3.2 基于多重 Dijkstra 算法的多径路由生成和路径能效计算

网络中的各节点通过第一步中路由信息的交换之后,获得了能效信息与网络拓扑结构信息。然后,在节点内部使用多重的 Dijkstra 算法可以得到从网络源节点到目的节点的各条不相交的路径,同时在各条路径上计算其能效值。在进行网络数据分组的业务调度时,路径的能效值可以作为选择路径的参考依据。多径路由的生成过程和路径能效计算的具体过程如下:

(1)多重 Dijkstra 是在经典的 Dijkstra 算法的基础上进行改进形成的,它在 CAEMR 算法的多路径生成阶段应用。使用下以方法可以根据网络拓扑信息计算出从源节点到目的节点的多条互不相交的

路径.

①在拓扑信息被获取之后,节点第一步使用经典的 Dijkstra 算法计算出一条从源到目的节点的路径.这是具有最小跳数(最短)的路径.

②如果通过运行经典的 Dijkstra 算法不能计算出源到目的节点的路径,表明此时该目的节点是不可达的,那么就停止计算.

③当到达该目的节点的第一条路径(最小跳路径)计算出来之后,在网络节点集合中除去第一条路由中除源和目的节点以外的所有其他节点.然后生成一个新的网络拓扑结构,这样可以保证之后生成的路径与之前生成的路径是不相交的.

④在上述新的拓扑图中再次运行 Dijkstra 算法,计算从源节点到目的节点的最短路径;如果能找到最短路径,则表明有多条路径存在.否则不存在多条路径,算法停止计算.

⑤根据实际情况的需要,重复执行步骤①~步骤④,找到从源节点到目的节点的多条路径.

多重 Dijkstra 算法不仅可以计算出从源节点到目的节点的最短路径,而且能够快速寻找到更多的次短的不相交的路径.所有计算过程都在网络节点内进行,不会额外增加网络带宽的负担.

(2)分别将各条路径上节点的能效和链路的能效相加,作为该路径的能效,以便于进行业务流调度时作为选择路径的参考.

路径的能量效用不仅要考虑节点的能量开销,还要考虑链路的能量开销.链路成本主要考虑接收到的信号强度,在式(7)中, C_{link} 是成功的接收数据包的信号强度阈值,它的范围从0到1.这里认为移动设备数据的传输链路具有最强的信号.

$$C_{link} = \frac{\text{signal_strength_threshold}}{\text{received_signal_strength}} \quad (7)$$

CAEMR 假定在无线网络内的每个节点部署了上下文感知自学习过程,可以计算出由式(6)所表示的效用函数.式(8)提出了如何计算一个路由的开销,它是通过累加一条路径上每个节点和链路的效用开销,然后得到总的路由开销 C_{route} .需要注意的是,在每一个具体网络环境中,可以通过调整权重值来取得最优化的结果.

$$C_{route} = \sum_{i=1}^n (W_{node} \cdot C_{node}^i + W_{link} \cdot C_{link}^i) \quad (8)$$

$$W_{node} + W_{link} = 1$$

3.3 并发多径数据转发

数据转发有三个方面的操作:路径选择、业务流

调度和分组多径传输.路径选择和业务流调度关系到能量的负载均衡,决定了相关路径上数据流量负载的大小.在并行的多条路径上同时传输分组充分体现本路由算法能增加网络吞吐量的优点.如下步骤说明了数据转发阶段的具体流程:

(1)经过路由生成阶段的计算之后,得到了各条路径的能效值.根据分组到达的先后顺序,节点依次处理数据分组.

(2)如果存在多条路径可达目的节点,则对各条路由路径上的能效值进行比较,选择具有较小能效值的多条路径发送分组.

(3)如果分组被发送到第一条路径上,也就是最小路径,则采用逐路转发的方式,即采用传统表驱动由中间节点确定下一路地址的方式.

(4)如果其他路径被选为分组转发路径,则采用源路由方式转发数据,在源节点发送分组时,所有中间节点都被确定,在每个分组的头部包含了整个路由的信息,节点可以根据该头部信息确定数据分组的转发或丢弃.

(5)在源节点发送数据时,按分组到达的先后顺序进行,而在目的节点接到所有数据分组后,在上层按分组序号将分组重新组合成原始数据.

4 性能分析

本文采用 Network Simulator 2 平台对 CAEMR 路由协议算法的能源效率和性能进行评估和分析.

在性能方面,CAEMR 也与 AODV 和 MBCR 进行了比较,主要是在端到端的时延和平均吞吐量方面进行了比较.实验表明,CAEMR 在不同速率的情况下减少端到端的延迟从 30%到 80%不等.在本实验中,虽然 MBCR 比 AODV 实现了 34%较低延迟,但当传输速率增加时,其性能并不稳定.如图 5 所示,因为采用了多径传输,CAEMR 的吞吐量比 AODV 增加了 10%,当传输速率增加时,MBCR 会有一个小幅的吞吐量下降.

5 结束语

本文提出了一个基于上下文感知的高能效多径路由算法 CAEMR. CAEMR 将上下文认知的概念引入 Ad Hoc 网络通信的路由决策中,提出了高能效的多径 Ad Hoc 网络路由协议.该算法为由智能通信设备所组成的网络节约了能量,降低了端到端的时延,增加了网络的吞吐量. (下转第 129 页)

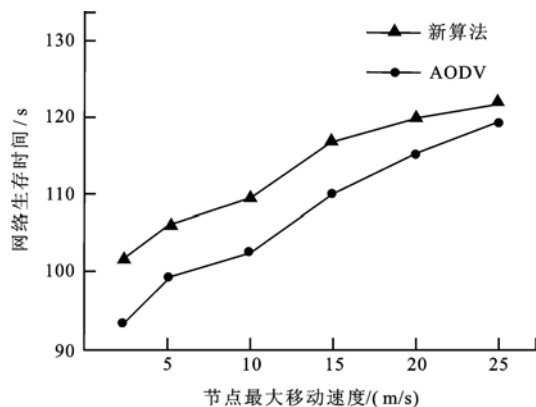


图6 网络生存时间比较

6 结束语

在无线传感网络应用中,环境的复杂性使得网络度量参数具有一定的模糊性,同时不同的应用环境对 QoS 的需求多样.本文采用的 Vague 集多准则评价模糊决策路由选择算法正是基于以上因素的考虑,通过对网络参数模糊化处理,考虑不同应用中各属性权重的模糊量,来解决路由选择中的模糊性和多准则问题.数值计算和仿真试验,证明了本文提出的算法对降低传输时延、增加分组投递率和延长网络生存时间有积极作用.

参考文献:

- [1] 唐琳, 吴际. 异构多媒体传感器网络服务质量研究

[J]. 电子与信息学报, 2013, 35 (4): 965-969.

- [2] 王小明, 卢俊岭, 李英姝, 等. 模糊随机环境下的无线传感器网络多约束多路径路由[J]. 计算机学报, 2011, 34 (5): 779-790.
- [3] 邹永贵, 魏来. 带多约束条件的最优路径选择算法研究[J]. 计算机应用, 2008, 28 (5): 1101-1103.
- [4] 刘良贵, 彭玉旭, 徐伟强, 等. 无线多媒体传感器网络中高效多约束 QoS 路径选择[J]. 应用基础与工程科学学报, 2011, 19(1): 153-164.
- [5] 王镇, 刘学军. WSN 中基于蚁群算法的 QoS 路由协议[J]. 传感技术学报, 2011, 24(11): 1625-1631.
- [6] Dou Y L, Guo H X, Zhou J L. On the shortest path to solve the problem based on vague sets [C]//Fifth international conference on fuzzy systems and knowledge discovery. Shandong: IEEE Computer Society, 2008: 85-89.
- [7] 徐泽水. 直觉模糊信息集成理论及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 5-30.
- [8] 李登峰. 直觉模糊集决策与对策分析方法[M]. 北京: 国防工业出版社, 2012: 6-102.
- [9] Gau W L, Buehrer D J. Vague sets[J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 1993, 23(2): 610-614.

作者简介:

于鹏澎 男, (1988—), 硕士研究生. 研究方向为无线传感网络信息融合技术.

(上接第 124 页)

参考文献:

- [1] Singh S, Woo M, Raghavendra C S. Power-aware routing in mobile Ad Hoc networks[C]//Proceedings of the 4th annual ACM/IEEE international conference on Mobile computing and networking. NY, USA: ACM, 1998: 181-190.
- [2] Toh C. Maximum battery life routing to support ubiquitous mobile computing in wireless Ad Hoc networks [J]. Communications Magazine, 2001, 39 (6): 138-147.
- [3] Ren P, Feng J, Hu P, et al. Energy saving ad-hoc on-demand distance vector routing for mobile ad-hoc networks[C]//Proceedings of the IEEE International Conference on Communications. Presden: IEEE, 2009: 1-5.
- [4] Yu F, Li Y, Fang F, et al. A new TORA-based energy aware routing protocol in mobile Ad Hoc networks [C]//Proceedings of the 3rd IEEE/IFIP International

Conference in Central Asia on Internet, Tashkent: IEEE, 2007: 1-4.

- [5] Ding R, Muntean G. An Energy-Oriented Node Characteristics-Aware Routing Algorithm for Wireless LAN [C]//2011 IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB). Ireland: IEEE, 2011: 1-6.
- [6] Perrucci G P, Fitzek F H, Widmer J. Survey on energy consumption entities on the smartphone platform [C]//Vehicular Technology Conference (VTC Spring), 2011 IEEE 73rd, Yokohama: IEEE, 2011: 1-6.

作者简介:

徐方 男, (1981—), 博士生. 研究方向为无线自组网, 移动通信.

查文亮 男, (1988—), 博士生. 研究方向为无线网络、云计算.