

一种 LEPS 路由协议的分析与改进

夏海燕¹, 许 勇¹, 丁绪星², 闫倩倩¹

(1. 安徽师范大学 数学计算机科学学院, 安徽 芜湖 241003;

2. 安徽师范大学 物理与电子信息学院, 安徽 芜湖 241003)

摘 要: LEPS 是 TinyOS 中的一种多跳路由协议, 适用于数据聚集型传感器网络。该协议根据跳数和链路质量选择父节点, 每个节点向自己的父节点发送数据, 并沿最短路径传送到汇聚节点, 建立一个以汇聚节点为根节点的树型拓扑。在具体分析了该协议的基础上, 针对其选择父节点所依赖的标准的不足提出一种改进的路由协议——ILEPS, 并在由 micaz 节点组建的实际网络中进行实验, 比较分析二者的性能。结果证明, ILEPS 在几乎不牺牲端到端时延的基础上, 网络通信中数据丢包率平均降低了 33.86%。当某父子节点之间链路质量突然变差时, ILEPS 的这种优势更为明显。

关键词: TinyOS; LEPS 路由协议; 链路质量; 丢包率

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2009)12-0217-04

An Analysis and Improvement of LEPS Routing Protocol

XIA Hai-yan¹, XU Yong¹, DING Xu-xing², YAN Qian-qian¹

(1. College of Mathematics and Computer Science, Anhui Normal University, Wuhu 241003, China;

2. College of Physics and Electronic Information, Anhui Normal University, Wuhu 241003, China)

Abstract: LEPS is a multihop routing protocol in TinyOS, which is applied in aggregated data-rate sensor network. It forms a tree-like topology in the network with a shortest-path-first algorithm. In this topology, each node delivers the data to its parent node, and the parent node forwards it to the sink node along the optimized path based on the hop counts and link quality. This paper analyses the protocol in details and gives an improved routing protocol ILEPS to deal with its shortcoming on parent-choosing. Finally, the two protocols are analyzed by comparison based on our deployed sensor network of micaz nodes. The result shows that, compared to LEPS, the data-loss of ILEPS decreases 33.86% without affecting the time delay too much. When the link quality between the parent and the child node becomes worse suddenly, the priority of ILEPS will be more obvious.

Key words: TinyOS; LEPS routing protocol; link quality; data loss

0 引 言

无线传感器网络 (Wireless Sensor Network, WSN)^[1,2] 是一种由大量微小的集成有传感器、数据处理单元和短距离无线通信模块的节点组成的, 以数据为中心的分布式计算机网络系统, 是一种特殊的 Ad Hoc 网络。它被认为是对 21 世纪产生重大影响的先进技术之一, 是近年来学术界和工业界研究的重点方向, 并得到快速发展。

与传统 Ad Hoc 网络相比, 无线传感器网络具有如下特点^[3]:

(1) 电源能量有限。由于传感器节点一般采用电

池供电, 所在环境不便于能量的补充。为了延长网络的寿命, 相关协议的设计必须以节约能源为首要设计目标。

(2) 硬件资源有限。传感器节点由于要受成本、体积的限制, 一般硬件设计较为简单。

(3) 通信能力、计算和存储能力有限。

(4) 自组织、以数据为中心的网络。在传感器网络应用中, 部分传感器节点由于电池能量耗尽或环境因素造成失效, 为了能适应网络拓扑的动态变化, 要求网络具有自组织性。

无线传感器网络在军事和民用领域中存在着广泛的应用前景, 如战场监视、环境和交通监测、灾难救助等^[4], 吸引了众多研究者对其中的各个领域进行了广泛的研究, 路由协议即为无线传感器网络研究中最关键的问题之一。为了提高网络的性能, 各式各样的路由协议层出不穷, 如经典的 Flooding^[5] 和 Gossiping^[6]

收稿日期: 2009-04-14; 修回日期: 2009-07-10

基金项目: 芜湖市科技计划重点项目 (2008320)

作者简介: 夏海燕 (1986-), 女, 硕士研究生, 研究方向为无线传感器网络; 许 勇, 博士, 教授, 研究方向为计算机网络、网络安全。

等平面路由协议、LEACH(Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy)和 TEEN(Threshold sensitive Energy Efficient sensor Network protocol)^[7]等分层路由协议以及在诸协议上的一些改进协议,都在其关注的范围内取得了快速的发展。

TinyOS是加州大学伯克利分校(U. C. Berkeley)为传感器网络设计的微型操作系统。它对硬件的要求很低,能够运行在 8 位低功耗微处理器上,且使用了轻量级线程技术、主动消息通信技术、事件驱动模式等,有利于软件结构的简化和模块化开发,符合传感器网络对节点软件的要求^[8]。

LEPS(Link Estimation and Parent Selection)协议是 TinyOS 的多跳路由协议,其实现的基本思想是通过节点间发送邻居信息,建立到汇聚(sink)节点的最短通信路径,同时也考虑了链路的可靠性因素,但稳定性和可靠性有所欠缺。文中在研究 LEPS 路由协议的基础上,针对该协议的上述不足,提出了一种改进的路由协议 ILEPS(Improved Link Estimation and Parent Selection),并在由 Crossbow 公司开发的 micaz 节点组建的实际网络中进行性能评估。结果表明,ILEPS 在几乎不牺牲端到端时延的同时,网络通信数据丢包率降低了 33.86%。

1 LEPS 路由协议分析

在 LEPS 路由算法执行的过程中,除了路由状态信息广播,所有节点的数据都是通过其父节点转发到汇聚节点。因此,父节点的选择是算法最核心的部分,父节点性能的优劣直接影响着算法性能的好坏。

1.1 链路质量评估及父节点的选择

1.1.1 链路质量评估

在 LEPS 路由中,链路质量是指节点间的双向链路通信质量,通过统计邻居节点间分组的发送成功率估计(SendEst)和接收成功率估计(RcvEst)来衡量,并综合原先的收发成功率决定新的收发成功率,将二者的乘积作为链路质量估计(Est)^[8]。

以互为邻居节点 A、B 为例。节点在周期性路由状态广播中包括自己到每个邻居节点的发送分组计数,经过一段时间的统计后,二者均可以得到接收来自对方的分组数目及路由状态广播中告知的发送往对方的分组数目。则节点 A 接收节点 B 发送的分组的成功率(用 $RcvEst_{A/B}$ 表示)为:

$$RcvEst_{A/B} = RcvCount_A / SendCount_B \quad (1)$$

由于节点在短时间内收到的分组数量随时间不同抖动比较大,为了减少链路评估的抖动,LEPS 路由进一步采用指数加权位移平均(Exponential Weighted

Moving Average, EWMA)计算最终的链路估计值。在 LEPS 路由中,原先接收成功率($RcvEst_{Old}$)占有比例为 μ ,而新接收成功率($newAve$)占有比例为 $1 - \mu$ 。最后的接收成功率($RcvEst$)为这二者的加权平均,即

$$RcvEst_{A/B} = RcvEst_{Old_{A/B}} * \mu + newAve_{A/B} * (1 - \mu) \quad (2)$$

在实现中, μ 的取值为 75%。

同理可计算出节点 B 接收节点 A 的发送分组的成功率 $RcvEst_{B/A}$ 。在节点 B 的周期性路由状态广播中报告自己到所有邻居节点的接收成功率,其邻居节点 A 将节点 B 的接收成功率作为自己的发送成功率,即:

$$SendEst_{A/B} = RcvEst_{B/A} \quad (3)$$

由此得出链路质量估计值为:

$$Est_{A/B} = SendEst_{A/B} * RcvEst_{A/B} \quad (4)$$

1.1.2 父节点选择的过程及依据

从汇聚节点开始,所有节点周期性地广播自己的路由状态,节点根据路由状态信息建立起以汇聚节点为根节点的树型拓扑。节点广播的路由状态信息包括节点自身的 ID、到汇聚节点的跳数、到邻居节点的链路质量评估信息及消息编号等。所有节点在接收到路由状态广播后,都将该信息保存到路由表中,节点定期检查路由表,在 $SendEst$ 和 $RcvEst$ 都在 $1/10$ 以上且 Est 值大于 $1/6$ 的邻居节点中选择跳数最小的作为父节点。如果有多个最小跳数相等的节点,则选择由链路质量评估算法计算出的链路质量最好(即 Est 值最大)的作为父节点。

1.2 协议的优缺点

协议本身非常简单,对节点计算和存储资源的消耗都非常少。LEPS 路由通过最短路径优先算法建立网络拓扑,每个节点到汇聚节点的路径都经过最少的中间节点,减少了端到端延迟。但由于将跳数作为选择父节点的首要依据,所以当某邻居节点的跳数最少,即使链路质量较差也会选择该邻居节点作为父节点,增大了丢包的隐患,且跳数越小的节点离汇聚节点越近,网络中就有越多节点的数据都要通过该节点转发到汇聚节点,如果此节点的链路质量不高,无疑也增大了丢包的可能性。更有可能由于节点负载的不均衡,造成父节点过早失效的问题。如果父节点的失效频繁发生,那么整个网络的生命周期也必然降低。

2 LEPS 路由协议的改进

从 LEPS 路由算法中可以看出,节点在选择父节点时,虽然排除了链路质量极差($SendEst$ 且 $RcvEst >$

1/10, 或 $Est < 1/6$) 的邻居节点被选为父节点资格, 再依据先跳数小再链路质量好选择父节点, 但是没有充分考虑到链路质量好坏的问题, 增大了丢包的可能性, 具有一定的盲目性。

为了能改善 LEPS 路由协议的丢包问题, 文中提出一种改进策略——将跳数和链路质量二者结合起来同时考虑作为选择父节点的依据。在文中, 称改进后的路由协议为 ILEPS (Improved LEPS)。

2.1 ILEPS 思想描述

为了与 1.1.1 节保持一致, 记 Est 的倒数为链路估计 $Lest$, 即 $Lest = 1/Est$, 跳数为 Hop_Count , 选择参数 α , 将选择父节点的依据定义为 HL , 用公式表示为:

$$HL = \alpha * Hop_Count + (1 - \alpha) * Lest \quad (5)$$

当节点收到邻居广播的路由状态信息时, 选择 HL 值最小的作为父节点, 若有多个邻居节点的 HL 值最小, 可以根据侧重点不同选择跳数最小或链路质量最好的作为父节点。文中为了保证所选父节点具有好的链路质量, 选择 $Lest$ 值最小的作为父节点。

在实现中, α 的取值为 0.4。经大量实验证明, 当 α 取该值时, 算法效率最高。

2.2 ILEPS 算法分析

众所周知, 在网络通信中, 跳数的多少直接影响了端到端的延时, 通信链路质量的好坏则影响数据包的丢失率。ILEPS 算法选 HL 值最小的邻居节点作为父节点, 结合了跳数和链路质量两方面的因素。一方面, 避免了所选的父节点跳数小但链路质量较差或者链路质量好但跳数较大的情况发生, 从而可以在不太牺牲端到端延时的情况下, 选择链路质量最好的节点作为父节点, 降低网络通信的丢包率; 另一方面, LEPS 只选择跳数最小的邻居作为父节点, 越靠近汇聚节点的节点跳数越小, 则越靠近汇聚节点的节点负担越重, 能量消耗很大, 节点有可能由于电池电量不足而失效, 增大了丢包的可能性。ILEPS 算法中, 离汇聚节点相对较远的节点也有可能被选为父节点, 减轻了离汇聚节点较近节点的负担, 从一定程度上增大了网络的生命周期, 减小了数据丢包的发生。

由于 ILEPS 算法仍采用 LEPS 算法的链路评估方法, 节点对链路质量的评估和最近一段时间的信道质量以及通信量都有关系, 所以信道质量会产生抖动的现象, 造成网络拓扑不稳定。另外, 该算法不太适用于直线型分布的网络。因在节点的邻居表中, 只记录父节点没有子节点的记录, 在周期选择父节点时, 子节点也参与父节点的选择。一旦该节点的父节点的 HL 值大于或等于其子节点的 HL 值时, 该节点会选择其子节点作为父节点, 从而形成消息的循环, 遇到这种情况

时算法直接作失败处理, 造成数据包的丢失。

2.3 ILEPS 算法在 TinyOS 中执行过程

假设要建立一个深度为 N 跳的网络。在节点初始化时, 汇聚节点将自己的跳数置为 0, 其余所有节点的跳数设为最大跳数。汇聚节点的邻居收到汇聚节点的广播后, 选择汇聚节点为自己的父节点, 并将自己的跳数置为 1, 并在下次广播路由状态的时候, 向其邻居节点广播更新跳数后的新信息。如此往复, 经过 N 个广播周期后, 网络中所有节点都更新了自身到汇聚节点的跳数, 形成完整的树型拓扑结构。

拓扑形成后, 节点仍周期性地广播路由状态信息, 根据 1.1.1 节中所述链路质量评估算法对每个邻居节点进行链路质量评估, 更新邻居节点到汇聚节点的跳数, 并计算出 HL 值。此动作完成后, 节点根据 HL 值重新选择父节点。当父节点确定后, 网络层填充数据分组, 将分组发送到下层无线通信模块进行发送。

3 实验验证与性能分析

文中着重以延时和丢包率为出发点, 对算法进行改进, 性能评估主要就这两个方面进行分析。

3.1 实验环境

文中采用 Crossbow 公司开发的 micaz 节点, 工作波段为 2.4 ~ 2.4835 GHz ISM 波段, 具有最大为 250kbps 的数据传输速率且提供 -24 ~ 0dBm 的可编程无线 RF 输出功率。它的通讯模块为 CC2420, 采用 DSSS 扩频技术, 最大收发比特率为 76.8kbps。处理器为具有低功耗、高速率特性的 ATmega128L。将 LEPS 和 ILEPS 分别应用到安徽烽讯电子科技有限公司在 TinyOS 平台下开发的 position 应用程序中, 并装载到 micaz 节点上, 称为识别器。将该公司开发的另一应用程序 mobilenode 装载到 micaz 节点上, 称该节点为标识卡。选择 1 个标识卡触发路由, 5 到 30 个识别器按序编号, 随机分布组建不同规模的无线传感器网络 (非直线型), 0 号识别器作为基站接收其他识别器发送的数据, 通过串口与 PC 机相连, 显示获取的数据。识别器之间的间隔为 3 ~ 5 米, 所有节点的发射功率设置为 0dBm, 除汇聚节点用外接电源外, 其它节点都用充满电的锂电池供电, 在天气晴朗伴有微风的室外条件下对网络进行性能测试。

3.2 性能分析

使用串口通信软件显示数据, 并统计收到的数据包及其传输延时。网络规模按 5 增加, 分别在离基站最远的识别器处开卡 7 次, 计算传输延时, 平均值为最后结果。不同规模的网络稳定后, 15 分钟内识别器之间的通信来计算丢包率。

图 1 显示了 LEPS 和 ILEPS 传输的延时。由图 1 可知,在计算误差和环境影响范围内,可以认为二者的延时基本相同。只有在 30 个节点的网络中,ILEPS 和 LEPS 的延时稍微有点增大。

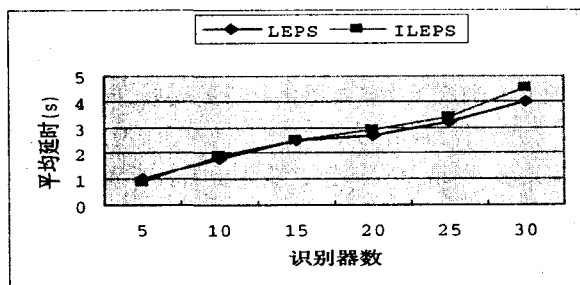


图 1 传输延时比较

表 1 是在不同网络规模下,ILEPS 和 LEPS 丢包率的比较。该表表明,从整体上看,ILEPS 的丢包率比 LEPS 的要低,尤其是在 30 个节点的网络中,ILEPS 比 LEPS 的丢包率要低很多。

表 1 不同网络规模丢包率比较

	5	10	15	20	25	30
LEPS	0.0051	0.0084	0.0092	0.0099	0.0118	0.0451
ILEPS	0.0045	0.0077	0.0087	0.0089	0.0099	0.0243

出现如图现象的原因是:我们对 30 个节点组成的网络进行了特殊处理,验证链路质量突然变差时二者丢包率的情况。在 30 个节点组网稳定后,通过串口通信软件观察节点间的父子关系,在某个节点与其父节点之间设置障碍,使二者的链路质量突然变差,导致丢包的数量增加,运行 LEPS 协议的节点仍选择原节点作为其父节点,而运行 ILEPS 协议的节点重新选择了链路质量好的邻居节点作为其父节点,从而降低了丢包率,这也是造成延时和丢包率在 30 个节点的网络中比其它规模网络高很多的原因。另外,在 30 个节点组建的树型网络中,在不同层设置障碍,对 ILEPS 和 LEPS 丢包情况进行了比较,如表 2 所示。规定,0 号节点为第 0 层,其它节点分别处于第 1,2...层,表中形如“ $i-j$ ”表示在第 i 层父节点和第 j 层子节点之间设置障碍。

表 2 设置障碍于不同层丢包率比较

	3-4	2-3	1-2	平均丢包上升比
LEPS	0.0511	0.0993	0.5528	2.8051
ILEPS	0.0321	0.0901	0.1883	1.4483

从表 2 中可以看出,障碍设置离汇聚节点越近时,

ILEPS 丢包的上升比要比 LEPS 小很多,说明改进后的 ILEPS 协议具有更好的稳定性和组网灵活性,从而验证了当父子节点之间链路质量突然变差时,ILEPS 具有更明显的优势。

4 结束语

LEPS 路由是 TinyOS 中针对传感器网络特点设计和实现的一个多跳路由协议。所有的数据源节点都有一条到汇聚节点的优化路径,但是在最后形成的网络拓扑中,节点可能选择跳数少,但是信道质量非常不好的节点作为父节点,容易引起严重的数据丢包现象。文中具体分析了 LEPS 协议及存在的不足,提出一种改进的协议 ILEPS,并对该协议进行了详细的分析。在基于组建的实际网络中对两种协议的性能进行比较分析。结果表明,ILEPS 在不太影响端到端的传输延时上,网络丢包率降低了 33.86%。当某父子节点之间链路质量突然变差时,ILEPS 的优势更为明显。

该算法已应用于安徽烽讯电子科技有限公司开发的矿井人员定位系统中,取得了较好的试验结果。

参考文献:

- [1] Akyildiz I F, Su W, Sankarasubramaniam Y, et al. A survey on wireless sensor networks[J]. Computer Networks, 2002, 38(4):393-398.
- [2] Chong Chee-Yee, Kumar S P. Sensor networks: Evolution, opportunities, and challenges[J]. Proceedings of the IEEE, 2003, 91(8):1247-1256.
- [3] 张顺亮,叶澄清,李方敏. 移动 Ad Hoc 网络路由协议综述[J]. 计算机科学, 2003, 30(12):27-30.
- [4] 毕俊蕾,任新会,郭拯危. 无线传感器网络路由协议分类研究[J]. 计算机技术与发展, 2008, 18(5):131-134.
- [5] Jiang Qiang-Feng, Manivannan D. Routing protocols for sensor networks[C]//Consumer Communications and Networking Conference(CCCN). Las Vegas, NV: First IEEE, 2004:93-98.
- [6] Hedetniemi S, Liestman A. A survey of Gossiping and protocols in communication networks[J]. Networks, 1998, 18(4):319-349.
- [7] Manjeshwar A, Agrawal D P. TEEN: A routing protocol for enhanced efficiency in wireless sensor networks[C]//International Proceedings of 15th Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS). San Francisco, CA: IPDPS, 2001:2009-2015.
- [8] 颜庭莘,孙利民. TinyOS 路由协议原理及性能评估[J]. 计算机工程, 2007, 33(1):112-113.