

移动 Sinks 无线传感器网络的能量效率分析

余华平¹, 邬春学², 郭梅¹

(1. 长江大学计算机科学学院, 荆州 434023; 2. 上海理工大学计算机与电气工程学院, 上海 200093)

摘要: 能量效率是无线传感器网络的关键性问题, 无线传感器网络通过移动 sinks 节点延长了网络的生命周期。讨论一些关键性要素对能量效率的影响, 如簇的大小、移动 sinks 的速度、数量和数据包生命周期等。分析基于能量效率的单跳、多跳路由模式, 提出最优跳数的簇路由模式, 并以仿真实验验证移动 sinks 无线传感器网络的系统性能。

关键词: 无线传感器网络; 移动性; 簇; 能量效率

Energy Efficiency Analysis of Mobile Sinks Wireless Sensor Network

YU Hua-ping¹, WU Chun-xue², GUO Mei¹

(1. College of Computer Science, Yangtze University, Jingzhou 434023;

2. College of Computer and Electrical Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093)

【Abstract】 Energy efficiency is a pivotal problem of Wireless Sensor Network(WSN). WSN can efficient prolong the lifetime of WSN via mobile sinks. Some fundamental design parameters in Mobile Wireless Sensor Network(MWSN) are investigated in this paper, such as cluster size, mobile sink velocity, mobile sink number, packet lifecycle and the impact of them on energy efficient. It proposes the optimization cluster hops scheme through careful analysis single hop scheme and multi hops scheme, and the extensive simulations is designed to evaluate the performance of mobile sinks WSN in terms of energy consumption.

【Key words】 Wireless Sensor Network(WSN); mobility; cluster; energy efficiency

1 概述

根据传统的无线传感器网络的定义, 其突出特点就是一定密度的静态节点预先部署, 它的数据通过多跳的方式进行传输。然而, 随之带来了一系列问题: 传感器节点的能量消耗不均匀, 越靠近 sinks 节点的节点能量消耗的越快, 当节点因能量耗尽而失效时, 无线传感器网络的连通性和覆盖范围将不能得到保证。因此, 一些研究人员开始使用移动节点来提高无线传感器网络的性能^[1]。典型的移动无线网络(Mobile Wireless Sensor Network, MWSN)结构如图 1 所示, 其结构包括 3 层:

(1)传感器(sensors)层, 由收集不同类型数据, 且资源有限的传感器节点组成, 它们根据一定规则组成若干个簇结构。

(2)移动 sinks(mobile sinks)层, 主要由移动电话、掌上电脑等移动设备组成, 他们的资源相对传感器层节点更为充裕(更大的计算和存储能力与能量可补充), 负责从传感器层收集数据并转发给基站层。

(3)基站(base station)层, 指最后的数据汇集点, 主要是移动通讯基站, 数据管理员可以从其得到需要的信息。

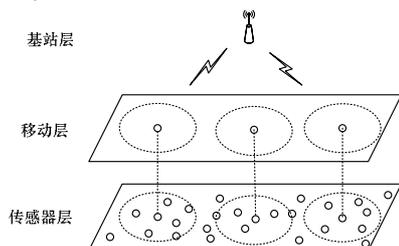


图 1 移动无线传感器网络

本文主要研究传感器层节点的能量使用效率与均衡、移动 sinks 对系统性能的影响等问题。

2 移动无线传感器网络能量模型

在节点 i 与节点 j 之间传输数据的能量消耗定义如下:

$$E_t(i, j) = \alpha \cdot f_{i,j} \quad (1)$$

$$E_r(j, i) = \beta \cdot f_{i,j} \quad (2)$$

其中, $E_t(i, j)$ 表示节点 i 以位速率 $f_{i,j}$ 传输数据到节点 j 时的能量消耗; $E_r(j, i)$ 表示节点 j 以位速率 $f_{i,j}$ 接收数据时的能量消耗; 参数 $\beta = 50$ nJ/bit 表示接受成本。设 $d_{i,j}$ 表示位传输距离; d_{\max} 表示节点大最大传输距离; d_{\min} 表示能传输数据的最近距离, 参数 α 为发送成本, 定义为

$$\alpha = \begin{cases} a + b \cdot d_{i,j}^2 & d_{\min} \leq d_{i,j} \leq d_{\max} \\ a + b & 0 \leq d_{i,j} < d_{\min} \end{cases} \quad (3)$$

其中, $a = 50$ nJ/bit, $b = 100$ (pJ·bit⁻¹)/m²。

3 移动无线传感器网络能量有效性分析

3.1 无线传感器网络中能量消耗源分布

在无线传感器网络中, 节点消耗能量的模块包括传感器模块、处理器模块和无线通信模块。典型的传感器节点能量消耗分布见图 2^[2]。

基金项目: 湖北省教育基金资助重点项目(D200512002); 湖北省教育厅科研计划基金资助项目(J200512001)

作者简介: 余华平(1978 -), 男, 讲师、硕士, 主研方向: 计算机检测与控制, 无线传感器网络; 邬春学, 教授、博士; 郭梅, 助教、硕士

收稿日期: 2008-10-20 **E-mail:** yhpjz@126.com

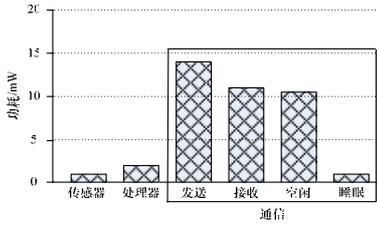


图 2 传感器节点的能量消耗分布

与纯粹的静态传感器网络相比, 移动无线传感器网络的能量消耗的最大优势在于每个静态节点的能量消耗能做到基本平衡, 这样就保证了网络的联通性和更长的网络生命周期。从图 2 中可以看出, 要延长移动无线传感器网络的生存时间, 应提高传感器层的能量使用效率。

3.2 优化分析

在传感器节点与移动 sink 节点间进行通信可选择多跳节能或单跳节能。如果选择多跳节能, 则应求出最优跳数。

假设源节点和 sinks 间距离固定, 传输速率也固定, 且源节点与 sinks 间每跳距离相等时, 则应求出可使全网能耗最少的源节点和 sinks 间每跳距离及需要的跳数。

图 3 为一个一维线性网络模型。

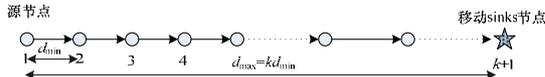


图 3 简单的线性网络模型

不失一般性, 假设 $d_{\max} = kd_{\min}$ 。源节点存在 2 种极端的数据传送备选方案:

(1) 直接传送到移动 sinks 节点。对直接一跳从源节点 1 传输到移动 sinks 节点 $k+1$, 传输 1 bit 的能量消耗计算如下:

$$E_{s-hop} = E_t(1, k+1) + E_r(k+1, 1) = 2a + b(kd_{\min})^2 \quad (4)$$

在多跳传输情况下, 传输 1 bit 能量消耗表示为

$$E_{m-hop} = \sum_{i=1}^k E_t(i, i+1) + \sum_{j=2}^{k+1} E_r(j, j-1) = 2ka + bkd^2_{\min} \quad (5)$$

当 $E_{s-hop} = E_{m-hop}$ 时, 采用单跳最节省能量, 此时, $k = 2a / (bd^2_{\min})$ 。

(2) 通过 k 跳 d_{\min} 距离的多跳中继传输到移动 sinks 节点。当 $k = 2a / (bd^2_{\min})$ 时, 假设存在最优跳数为 N 使传输总能量 E_{m-hop} 最小。由已知源节点到移动 sinks 节点间物理距离为 D , $d_{i,i+1} = D/N, \forall i$, 将其代入式(5), 重新计算得到单调递增函数 $E_{m-hop} = 2aN + bD^2/N$, 在 $N = 2aN^2 / (bD^2)$ 的整数区间上求 E_{m-hop} 的最小值。计算得 $N_{opt} = D / (\sqrt{2a/b})$ 。

从 $N_{opt} = D / (\sqrt{2a/b})$ 中可以看出, 在最优跳数情况下, 每跳间的物理距离 $d_{opt} = \sqrt{2a/b}$, 称为最优距离。并且特征距离独立于 D , 仅与参数 a, b 有关。由于这 2 个参数对某一个网络一般是常数并且可知, 因此最优距离 d_{opt} 也为常数可知。

综上所述, 当 $d_{\min} < d_{opt}$ 时, 单跳最节省能量, 否则最优跳数有 N_{opt} 能使传输总能量 E_{m-hop} 最小。

结论 给定源节点到移动 sinks 节点间距离为 D , 且节点间最短传输距离为 d_{\min} 。存在最优距离 d_{opt} , 当 $d_{\min} < d_{opt}$ 时, 单跳最节省能量, 否则最优跳数有 N_{opt} 能使传输总能量 E 最小。其中, $d_{opt} = \sqrt{2a/b}$, $N_{opt} = \frac{b}{2a} D = \frac{1}{d_{opt}} D$ 。

4 基于最优距离的混合路由模式

能量高效是移动无线传感器网络设计的一个重要目标。

最经济的方式是让传感节点把数据暂存在缓存中, 直到移动 sink 到来。相似的协议在文献[3-4]中有研究。然而如果传感数据需要很长时间才能等到移动 sink 节点, 则将导致大量数据需要缓存, 从而增加丢包率和不可预期的时间延迟。

4.1 基于最优距离混合路由传输模型

根据上节的介绍和证明, 本文设计一种基于最优距离的能量高效的簇模式, 如图 4 所示。

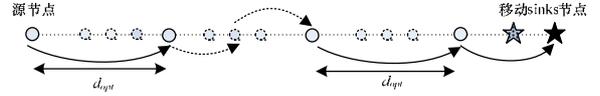


图 4 基于最优距离混合路由传输模型

为保证感测数据的实时性, 数据的生命周期参数作为 1 个时间戳随每个数据包被发送。当数据包被接收后, 接受节点根据生命周期 T_d 和估计的传播时延 T_e 的大小来决定怎样处理该数据包。

如果 $T_d < T_e$, 数据包立即直接发送给移动 sinks 节点。否则, 数据包在簇内基于最优距离 d_{opt} 存储或转发给簇首方向的下一个传感器节点, 当过程中遇到与移动 sinks 节点间的距离小于等于 d_{opt} 时, 直接发送给移动 sinks 节点。其流程如图 5 所示, 其中, d_{\max} 和 $d_{s,ms}$ 分别表示传感器节点最大的传输距离和传感器层节点与移动 sinks 的当前距离。

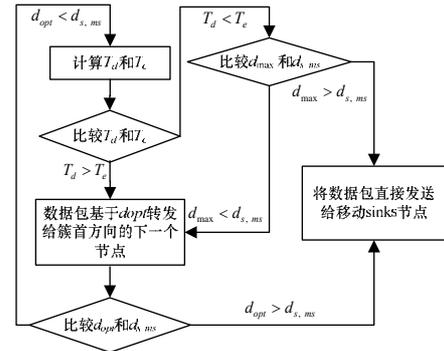


图 5 基于最优距离和数据包生命周期的数据转发流程

4.2 仿真实验分析

本文对最少跳、最多跳和基于 d_{opt} 多跳的能量性能进行比较。移动 sinks 节点的速度为 $v=2$ m/s, 每个节点的数据包的生命周期为 2 s, 其他参数默认。假设数据丢包率为 0, 结果如图 6 所示。

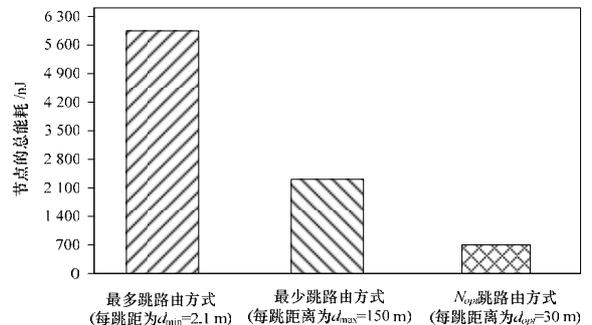


图 6 最小跳数、最多跳数和最优跳数能量消耗比较

从图 6 中可以看出, 基于 d_{opt} 比基于 d_{\max} 和 d_{\min} 的要节省能量, 其结果和 3.2 节分析的一致。

基于 Random Waypoint 移动模型^[5], 仿真实验验证了移动 sinks 节点相关参数对网络能量消耗的影响, 其结果如图 7、图 8 所示。

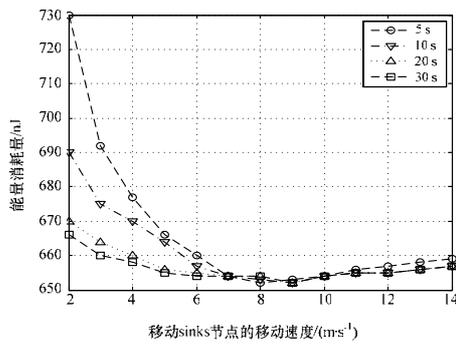


图7 移动 sink 节点速度对能量消耗量的影响

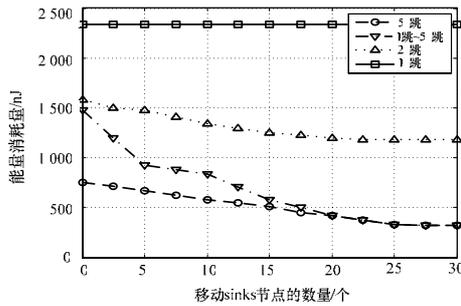


图8 移动节点数量和簇大小对平均能量消耗的影响

在图7中,分别设置数据包生命周期为5 s, 10 s, 20 s, 30 s, 移动节点的速度从 $v=2$ m/s 逐渐增加, 单跳距离设为 $d_{opt}=30$ m。假设算法根据不同的数据包生命周期要求, 采用单跳与多跳的混和路由策略保证了数据包丢包率为0。可见, 能量消耗随着移动 sinks 节点速度的提高逐渐减少, 但当速度提高一定程度后, 能量消耗趋于稳定, 并有一定程度的增加。主要因为移动速度增加可以减少传感器节点采用长距离单跳传输的次数, 从而减少了能量消耗, 但当速度过快时, 可能

导致数据包分片传输, 反而会增加能量消耗。同时, 提高移动 sinks 节点的速度对低生命周期的数据包减少能量消耗的作用比大生命周期数据包明显。

从图8可见, 当采用最少跳的簇模式时, 能量消耗基本接近常数, 增加移动 sinks 的数量对改善能量消耗没有作用, 而当采用多跳簇模式, 增加移动 sinks 的数量可以较明显的改善能量消耗, 移动 sinks 节点数量越多, 能量消耗越少。

5 结束语

本文讨论移动 sinks 节点对无线传感器网络能量性能的影响, 优化分析最优跳数路由模式。实验结果表明, 借助移动 sink 节点, 能有效提高网络的能量效率。同时, 注意到节能可能会导致网络精度降低、时延增加, 须综合考虑才能提高系统的整体性能。

参考文献

- [1] Somasundara A A, Kansal A, Jea D, et al. Controllably Mobile Infrastructure for Low Energy Embedded Networks[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2006, 5(8): 958-973.
- [2] Estrin D. Wireless Sensor Networks Tutorial Part IV: Sensor Network Protocols[C]//Proceedings of the 8th ACM Mobicom. Atlanta, Georgia, USA: [s. n.], 2002.
- [3] Chakrabarti A, Sabharwal A. Using Predictable Observer Mobility for Power Efficient Design of Sensor Networks[C]//Proceedings of IPSN'03. California, USA: [s. n.], 2003.
- [4] 王结太, 杨少军. 无线传感器网络移动 Agent 的应用[J]. 计算机工程, 2008, 34(3): 133-135.
- [5] Hong Xiaoyan, Gerla M. A Group Mobility Model for Ad Hoc Wireless Networks[C]//Proceedings of the 2nd IEEE MSWiM. Seattle, USA: IEEE Press, 1999.

编辑 金胡考

(上接第126页)

链路所占比重, α 越大, 长链路的比重越大。参数 β 控制网络的平均节点度数, β 越大, 网络平均节点度数越大。 α 取值 0.4, β 取值 0.2。网络的链路时延等于 1~10 之间的一个整数值, 该值与链路距离呈正比。时延约束 Δ 设定为从源点到目的节点的最大时延值的 1.5 倍, 网络节点平均度数为 6。

4.2 实验结果比较和说明

表1、表2分别为以上仿真条件下的 Dijkstra 最短时延路径算法、文献[3]算法、本文算法产生的多播树的时延抖动和网络节点数的关系, 网络节点数目 n 的值在 20~100 之间, 目的节点数目分别为 $0.1n, 0.3n$, 实验在每个数据点仿真 100 次并求平均值。所得时延抖动数据见表1、表2。

表1 目的节点数为 $0.1n$ 时的时延抖动比较

算法	$n=20$	$n=40$	$n=60$	$n=80$	$n=100$
Dijkstra	2.916	4.496	5.370	6.078	6.175
文献[3]算法	1.066	2.485	3.389	3.868	4.462
本文算法	1.065	2.304	3.133	3.592	4.163

表2 目的节点数为 $0.3n$ 时的时延抖动比较

算法	$n=20$	$n=40$	$n=60$	$n=80$	$n=100$
Dijkstra	5.724	7.172	7.753	8.232	8.671
文献[3]算法	4.228	5.854	6.534	7.372	7.613
本文算法	3.927	5.671	6.411	7.346	7.584

从表1、表2可以看出, 本文算法的时延抖动略小于文献[3]算法的时延抖动。文献[3]算法和本文算法的时延抖动小于 Dijkstra 最短时延路径算法的时延抖动。对比表1、表2可以看出, 当网络中的目的节点数目增加时, 3种算法的时延抖动都增加。其原因是非多播节点的减少导致作为合适中转的节点数变少, 可选路径数随之减少。

参考文献

- [1] Rouskas G N, Baldine I. Multicast Routing with End-to-end Delay and Delay Variation Constraints[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1997, 15(3): 346-356.
- [2] Sheu Pi-Rong, Chen Shantai. A Fast and Efficient Heuristic Algorithm for the Delay and Delay Variation Bounded Multicast Tree Problem[J]. Computer Communications, 2002, 25(8): 611-618.
- [3] Cheng Hui, Cao Jiannong, Wang Xingwei. Constructing Delay-bounded Multicast Tree with Optimal Delay Variation[C]//Proc. of IEEE International Conference on Communications. Istanbul, Turkey: [s. n.], 2006: 800-805.
- [4] 余燕平. 多播路由算法的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2002.

编辑 陈晖