

无线传感器网络单跳与多跳路由的选择性

李小亚, 黄道平, 吴洪艳

(华南理工大学自动化科学与工程学院, 广州 510640)

摘 要: 针对无线传感器网络选择恰当的路由路径对节省节点能量的重要性, 分析无线传感器网络单跳与多跳路由路径的能量消耗情况, 发现数据压缩或融合时, 对于给定的不同压缩或融合比存在一个不同的临界距离, 当大于这个临界距离时, 选择多跳路由比单跳路由更节省能量, 反之则选择单跳路由比多跳路由更节省能量。仿真结果显示该文的分析是正确的, 这对无线传感器网络选择路由路径具有实际的指导意义。

关键词: 无线传感器网络; 单跳路由; 多跳路由; 选择性

Selectivity of Single-hop or Multi-hop Routing for Wireless Sensor Network

LI Xiao-ya, HUANG Dao-ping, WU Hong-yan

(College of Automation Science and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640)

【Abstract】 To select routing line is very important to save energy in wireless sensor networks. This paper investigates the energy consumption of single-hop and multi-hop routing in wireless sensor networks, and a critical distance is found, under the condition of specified compression ratio or fusion ratio. Multi-hop routing consumes less energy than single-hop routing when the distance transmitting data from node to clustering-heads or base station is no less than the critical distance. The simulation results show analysis done is right and it has application significance to select routing line in wireless sensor networks.

【Key words】 wireless sensor network; single-hop routing; multi-hop routing; selectivity

1 概述

无线传感器网络是一种全新的信息获取和处理技术, 它集成了传感器、机电系统和网络 3 大技术, 能够协作地实时监测、感知和采集网络分布区域内的各种监测信息, 并对这些信息进行处理, 传送给需要这些信息的用户。无线传感器网络在军事、工业、医学、环境等领域具有广阔的应用前景^[1-2]。无线传感器网络通常运行在人无法接近的远程环境中, 能源无法替代, 所以, 设计有效的策略来延长网络的生命周期成为核心问题。

目前, 相当多文献提出的一些算法以节省能量消耗为目的, 它们大多采用多跳的路由路径^[3-4], 但它们并没有具体分析多跳与单跳相比是否真正节省能量以及在什么情况下节省能量。

多跳路由可分为簇内多跳和簇间多跳 2 种, 簇内多跳指簇内的一个传感器节点传递信息时借助本簇内的其他节点中继它的信息到簇头节点(当整个传感器网络场作为一个簇时, 基站就为簇头节点), 簇间多跳指一个簇头节点的信息通过其他簇头节点来中继它的信息到达基站。

2 无线能量模式

对于网络中传感器节点的无线通信能量消耗, 根据无线传感器之间和无线传感器与基站之间接收、发送器距离的不同, 使用自由空间传播和多路衰减模型^[5]。如果接收、发送器之间的距离小于某个临界值 d_0 , 则使用自由空间模型, 如果接收、发送器之间的距离大于某个临界值, 则使用多路衰减模型。这样使用该无线信道发送 1 bit 数据信息到相距为 d

的接收装置, 所消耗的能量为

$$E_{TX}(l, d) = E_{TX-elec}(l) + E_{TX-amp}(l, d) = \begin{cases} lE_{elec} + l\epsilon_{fs}d^2 & d < d_0 \\ lE_{elec} + l\epsilon_{amp}d^4 & d \geq d_0 \end{cases} \quad (1)$$

接收 1 Byte 信息消耗的能量为

$$E_{RX}(l) = E_{RX-elec}(l) = lE_{elec} \quad (2)$$

其中, $E_{TX}(l, d)$ 表示发送端的能量消耗; $E_{RX}(l)$ 表示接收端的能量消耗; E_{elec} 表示发射电路消耗的能量; ϵ_{fs} 和 ϵ_{amp} 是放大器的系数; d_0 是临界距离。

对于节点聚合 m 个 1 Byte 信息消耗的能量为

$$E_{DA} = mE_{da} \quad (3)$$

其中, E_{da} 表示聚合单位比特数据消耗的能量。

3 单跳与多跳的能量消耗

假设无线传感器网络场中传感器与传感器之间、传感器与基站之间都能直接通信。

采用与文献[6]中相同的单跳与多跳的模型, 设信息源传感器到簇头或基站的距离为 D , 将这段距离分成若干多跳的形式, 为方便讨论, 这里讨论最简单的直线等分方式, 如图 1 所示。

基金项目: 广东省自然科学基金资助项目(06300232)

作者简介: 李小亚(1974—), 男, 博士研究生, 主研方向: 无线传感器网络, 智能检测与智能控制; 黄道平, 教授、博士生导师; 吴洪艳, 博士研究生

收稿日期: 2008-10-30 **E-mail:** liyax66@yahoo.com

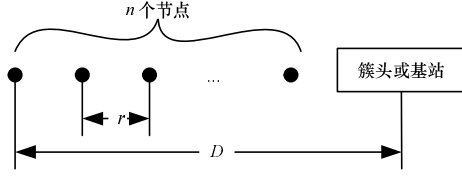


图1 单跳和多跳的简单线性模型

在图1中, $D=n \times r$, n 为等分的跳数($n \geq 2$), r 为等分的距离。

传感器到簇头或基站若采用单跳(直接通信)方式, 则能量消耗为

$$E_{\text{direct}} = \begin{cases} E_{\text{elec}} \cdot l + \varepsilon_{\text{fs}} \cdot l \cdot n^2 \cdot r^2 & nr < d_0 \\ E_{\text{elec}} \cdot l + \varepsilon_{\text{amp}} \cdot l \cdot n^4 \cdot r^4 & nr \geq d_0 \end{cases} \quad (4)$$

若采用多跳(通过其他节点或簇头中继)方式, 则能量消耗为

$$E_{\text{multihop}} = E_{\text{Rx}} + E_{\text{DA}} + E_{\text{Tx}}$$

(1)若 $r < d_0$, 设 c 为数据的压缩或融合比率(表示数据压缩或融合后与压缩或融合前的比值), 则有

$$E_{\text{multihop}} = (E_{\text{elec}} \cdot l + \varepsilon_{\text{fs}} \cdot l \cdot r^2)_1 + (E_{\text{elec}} \cdot l + E_{\text{da}} \cdot l + E_{\text{elec}} \cdot c \cdot l + \varepsilon_{\text{fs}} \cdot c \cdot l \cdot r^2)_2 + (E_{\text{elec}} \cdot c \cdot l + E_{\text{da}} \cdot c \cdot l + E_{\text{elec}} \cdot c^2 \cdot l + \varepsilon_{\text{fs}} \cdot c^2 \cdot l \cdot r^2)_3 + \dots + (E_{\text{elec}} \cdot c^{n-2} \cdot l + E_{\text{da}} \cdot c^{n-2} \cdot l + E_{\text{elec}} \cdot c^{n-1} \cdot l + \varepsilon_{\text{fs}} \cdot c^{n-1} \cdot l \cdot r^2)_n$$

1)当 $0 \leq c < 1$ 时,

$$E_{\text{multihop}} = E_{\text{elec}} \cdot l \cdot (2 - c^{n-1} - c^n) / (1 - c) + E_{\text{da}} \cdot l \cdot (1 - c^{n-1}) / (1 - c) + \varepsilon_{\text{fs}} \cdot l \cdot r^2 \cdot (1 - c^n) / (1 - c) \quad (5)$$

2)当 $c=1$ 时,

$$E_{\text{multihop}} = E_{\text{elec}} \cdot l \cdot (2n - 1) + E_{\text{da}} \cdot l \cdot (n - 1) + \varepsilon_{\text{fs}} \cdot l \cdot r^2 \cdot n \quad (6)$$

(2)同理, 若 $r \geq d_0$

1)当 $0 \leq c < 1$ 时,

$$E_{\text{multihop}} = E_{\text{elec}} \cdot l \cdot (2 - c^{n-1} - c^n) / (1 - c) + E_{\text{da}} \cdot l \cdot (1 - c^{n-1}) / (1 - c) + \varepsilon_{\text{amp}} \cdot l \cdot r^4 \cdot (1 - c^n) / (1 - c) \quad (7)$$

2)当 $c=1$ 时,

$$E_{\text{multihop}} = E_{\text{elec}} \cdot l \cdot (2n - 1) + E_{\text{da}} \cdot l \cdot (n - 1) + \varepsilon_{\text{amp}} \cdot l \cdot r^4 \cdot n \quad (8)$$

4 能量消耗分析

下面分析在特定的压缩或融合比条件下, 单跳和多跳能量消耗情况。设压缩或融合比率 $c=0.5$, 若要求多跳路由比单跳更节省能量, 必须满足条件:

$$E_{\text{multihop}} \leq E_{\text{direct}} \quad (9)$$

将式(4)、式(5)或式(7)代入式(9), 求得:

当 $n=2$ 时, $r \geq 49$ m, 即 $D=n \times r \geq 2 \times 49=98$ m;

当 $n=3$ 时, $r \geq 34$ m, 即 $D \geq 102$ m;

当 $n=4$ 时, $r \geq 27$ m, 即 $D \geq 108$ m;

当 $n=5$ 时, $r \geq 22$ m, 即 $D \geq 110$ m;

当 $n=6$ 时, $r \geq 18$ m, 即 $D \geq 108$ m;

当 $n=7$ 时, $r \geq 16$ m, 即 $D \geq 112$ m;

...

同理, 可求出其他特定压缩或融合比条件下多跳路由比单跳更节省能量的临界距离。

图2显示了简单模型下不同压缩或融合比时跳数与临界距离的关系曲线。从图中可以看出, 相同跳数下, 压缩或融合比越大临界距离也越大; 即压缩或融合效率越高, 多跳比单跳更节省能量需要的临界距离越短。在相同压缩或融合比

条件下, 只要 $c > 0$, 多跳比单跳更节省能量需要的临界距离随着跳数的增加而增加。唯有当 $c=0$, 即每个传感器都将收集到的全部数据压缩或融合成指定字节长度数据时(无论收集到多少数据, 都压缩或融合成一个固定长度字节的数据), 多跳比单跳更节省能量需要的临界距离, 随着跳数的增加而减小, 事实上这种情况几乎不符合现实而不太可能发生。

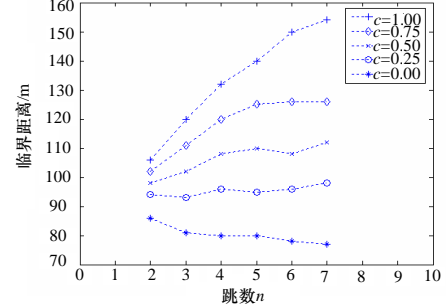


图2 简单模型下不同压缩比时跳数与临界距离的关系

在实际情况下, 数据源传感器的信息经多跳形式传递到簇头或者基站时, 数据源节点、中继节点和簇头节点(或基站)之间很难是等分且直线方式, 除非在特殊的情况下。现实的情况如图3所示, 数据源节点、中继节点和簇头节点(或基站)之间的距离不相等, 且不在一条直线上, 这时可以看出, 多跳的路径比直线时更长, 即 $r_1 + r_2 + \dots + r_n > n \times r$, 显然能推导出实际情况中消耗的能量比直线时更多, 但此时单跳消耗的能量并没有改变, 因此实际情况下临界距离会变得更大。

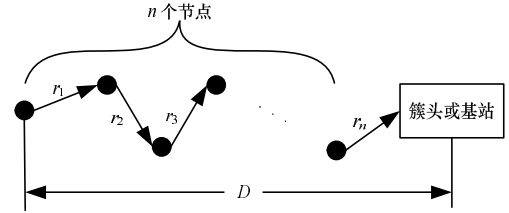


图3 单跳和多跳的实际模型

5 仿真实验

根据上面得到的近似临界距离在 Matlab 下进行仿真, 验证上面的分析。

当采集的数据要传递到簇头或者基站时, 如果数据源传感器到簇头或基站的距离超过临界距离, 在可能的情况下尽量选择多跳路由来节省能量, 否则只能选择单跳路由路径。由于不同跳数时对应的临界距离不同, 取其平均值, 当 $c=0.5$ 时取临界距离为 105 m。

假设有 100 个节点随机分布在 $(-100, 100) \times (0, 200)$ m² 的正方形网络场中, 基站坐标为 $(0, -200)$ m, 节点的初始能量为 0.5 J, 每次发送的数据包大小为 2 000 bit, 其他仿真参数取 $E_{\text{elec}}=50$ nJ/b, $\varepsilon_{\text{fs}}=10$ pJ/b/m², $\varepsilon_{\text{amp}}=0.0013$ pJ/b/m⁴, $d_0=87$ m, $E_{\text{da}}=5$ nJ/b/signal。

用比较成熟的成簇协议 LEACH^[6]进行验证, 虚线表示没有考虑临界距离时的情况, 实线表示考虑了临界距离的情况, 如图4所示。从图中可以看出, 考虑了临界距离比没有考虑临界距离时更节省能量约 2% 左右, 从而验证了上面的分析是正确的。图中显示节省能量的效果不是特别明显, 是因为基站远离网络场, 多跳只能在网络场中进行, 而与基站通信的最后一个节点无法选择多跳形式。如果基站位于网络场内或者网络场边缘, 节能效果会更明显。 (下转第 53 页)