

A Communication Mechanism in the Dynamic Clusters Based on Link Quality in WSN Target Tracking

XIN Ling, CHEN Di*, LI Yaowei

(School of Information Science and Engineering, Shandong University, Jinan 250100, China)

Abstract: In many papers, the idealized binary perfect-reception-within-range model used in common network simulation. But many studies have revealed the existence of three distinct reception regions in a wireless link: connected, transitional, and disconnected. So, we propose a communication mechanism in the dynamic clusters based on link quality in WSN target tracking. A voting approach was developed for the cluster head selection by taking the LQI into consideration in the paper. When the cluster members communicate with cluster head, we adopt multi-hop reliable communication way. We used MATLAB to simulate the improve solution. The simulation results show that the new mechanism reduce the network packet loss rate, the network energy consumption and the network delay.

Key words: wireless sensor network (WSN); target tracking; dynamic cluster; link quality indication (LQI); multi-hop reliable communication

EEACC: 6150P; 7230

doi: 10.3969/j.issn.1004-1699.2012.06.025

WSN跟踪中基于链路质量的动态簇簇内通信机制

辛玲, 陈涤*, 李耀伟

(山东大学信息科学与工程学院, 济南 250100)

摘要: 短距离低功耗的无线传感器网络的链路往往采用理想的通断模型, 未考虑实际的链路质量问题。真实的无线传输区域中存在连接区、过渡区和非连接区。针对实际的工程环境, 提出了一种应用于目标跟踪的基于链路质量的动态簇簇内通信机制。该机制在竞选簇头时把衡量链路质量的指标 LQI (Link Quality Indication) 也作为考虑因素。在簇成员与簇头通信时, 采用了多跳可靠通信方式。利用 MATLAB 对该机制进行了仿真。仿真结果表明, 该机制降低了网络平均丢包率, 减少了网络能量消耗, 降低了网络时延。

关键词: WSN; 目标跟踪; 动态簇; LQI; 多跳可靠通信方式

中图分类号: TP212.9

文献标识码: A

文章编号: 1004-1699(2012)06-0847-07

WSN 中基于动态簇的目标跟踪机制主要包括动态簇的管理和目标的定位与预测两部分。动态簇的管理包括初始簇的创建(竞选簇头、招募簇成员)和簇结构的调整(变换簇头、簇成员的添加或删除)^[1-3]。目标定位算法有 TOA、TDOA、AOA、RSSI、质心算法、凸规划、DV-Hop、MDS-MAP、APIT 等。目标预测算法有轨迹拟合、线性预测、卡尔曼滤波^[4]、粒子滤波^[5]等。本文主要讨论 WSN 目标跟踪中的动态簇管理部分。在目前有关动态成簇机制的文献中, 大部分研究者所采用的算法没有考虑实际的链路质量问题, 而是简单假设当节点间的距离小于通信半径时, 数据包接收率 $PRR = 100\%$, 大于通信半

径时, $PRR = 0$ 。这种假设在实际应用中会对算法的性能造成很大的影响, 实际的无线信道的自由衰落、阴影衰落等造成通信过程中发生丢包, 链路不可靠, 解决这一问题的最简单方法就是数据重传, 而数据重传对能量有限的无线传感器节点既会造成节点能量的消耗, 也会带来延时等问题, 不适用对实时性要求较高的情况。图 1^[6]为发射功率 0dbm 时连接区、过渡区的范围和在过渡区 PRR 的变化情况。由图 1 可知, 过渡区存在非常高的不可靠链路。

为此本文将衡量链路质量的指标 LQI 作为选择簇头的影响因子之一, 在簇成员与簇头通信时采用多跳可靠通信方式代替多数文献所采用的单跳通信方式。

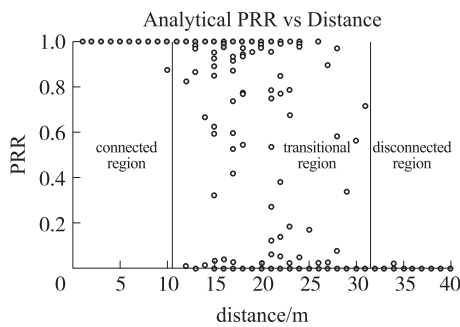


图1 短距离无线信道模型

1 动态簇跟踪机制

1.1 初始动态簇的组建

本文中,跟踪目标在移动过程中周期发送射频信号,传感器节点随机分布在监控区域,为了节省电量,目标未出现在监测区域时,所有节点处于周期性侦听休眠状态,目标第一次出现在监测区域时,监测到目标的节点竞选簇头,并招募簇成员,形成初始簇。

当节点的通信半径大于等于两倍的目标的传输半径 R_t , 即 $R_s \geq 2R_t$ 时,监测到目标的所有节点之间都可以实现相互通信。本文假设 $R_s = 2R_t$ 。

1.1.1 竞选初始簇头:

目标进入监测区域后,监测到目标的节点竞选簇头。在选择簇头时把链路质量指示 LQI (Link Quality Indication) 也作为考虑的因素。Zuniga 在文献[6]中证实了无线链路中连接区、过渡区、非连接区的存在,并给出了这3个区域中单位时间内接收器成功收到的数据包个数占发送器已发送包个数的比例 PRR (Packet Reception Rate) 的变化情况。假设两个节点的距离为 d , 定义在连接区内 $PRR > 90\%$, 在过渡区内 $10\% \leq PRR \leq 90\%$, 在非连接区内 $PRR < 10\%$ [6]。PRR 是最能明确、直观反映链路质量的指标,但获得 PRR 需要发送足够大数量的探测包,会引发能量消耗、信道阻塞、延时等一系列的问题。RSSI 和 LQI 是衡量链路质量的另外两个指标,并且可以由无线射频芯片直接获得。LQI 的取值范围是 0~255, 大于 RSSI 的取值范围,且精度较高。另外 LQI 可以直接从 MAC 层读取,无需转换。考虑到 LQI 可以做归一化处理,并且文献[7]已证明 LQI 均值与 PRR 有很好的相关性,所以本文选用 LQI 作为衡量链路质量的指标。目前,并不是所有的无线射频芯片都能提供 LQI 值, Mica2 之前的通信芯片只能提供 RSSI 值,而 Chipcon 公司后续产品如 MicaZ, Telos 等产品均既可以提供 RSSI 值,又可

以提供 LQI 值[8]。在网络初始化时,节点通常利用 802.15.4 协议定期发送广播“Hello”消息,并计算其与邻居节点之间的正向及反向帧的 LQI 均值评估链路质量。LQI 均值 μ_{lqi} 的计算如下式:

$$\mu_{lqi} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m LQI_i \quad (1)$$

m 为测得的 LQI 值的数目。

LQI 值的变化范围在 0~255 之间,可使用下面的公式对其进行归一化处理[9],使 LQI 值变化范围在 0~1 之间

$$\mu_{lqi-ij} = \frac{\mu_{lqi}}{255} \quad (2)$$

其中 μ_{lqi-ij} 表示节点 i 到节点 j 链路的 LQI 均值。网络中节点 i 和节点 j 分别计算出 μ_{lqi-ij} 和 μ_{lqi-ji} 。 $\mu_{lqi-ij} \neq \mu_{lqi-ji}$, 不具有对称性。利用下面的公式可得出监测到目标的节点 i 与其他节点之间的平均链路质量:

$$\mu_{lqi-i} = \sum_{j=1}^{N-1} \frac{\mu_{lqi-ji}}{N-1} \quad (3)$$

N 为监测到目标的节点的数目。

μ_{lqi-i} 越高,表明该节点与其他节点的平均链路质量越高,数据包接收率越高,有利于增强链路的稳定性,减少能量消耗和时延。

设 t_0 时刻感应到目标的节点 $i (i=1, 2, 3, \dots, N)$ 当前相对剩余能量 $e_i = E_i / E_{\max} (0 < e_i \leq 1)$, E_i 为节点当前剩余电量, E_{\max} 为节点最大电池电量,节点距目标的距离 d_i , 考虑链路质量的影响,我们根据下面的模型选择簇头:

$$A_i = (1 - e_i)^\alpha (d_i / R_s)^\beta (1 - \mu_{lqi-i})^\gamma \quad e_i \geq e_0 \quad (4)$$

其中 R_s 为传感器节点的感知半径。 α, β, γ 为权衡因子,取正数。 e_0 为节点工作所需要的最小相对剩余能量。根据实际的需求可以通过设定 α, β, γ 的值改变各个影响因素的权重。由式(4)可知,剩余能量越大,距目标越近,与监测到目标的其他节点之间的平均数据包接收率越高的节点,其 A_i 值越小。目标进入监测区域,监测到目标的节点中选 A_i 值最小的节点担任簇头。

1.1.2 招募簇成员

选举出簇头后,簇头就进行簇成员的招募,竞选簇头失败的节点成为候选簇成员。竞选簇成员的节点如果相对剩余能量小于 e_0 , 则退出簇成员的竞选,转入睡眠状态。由文献[7], LQI 均值通常在 50 到 110 之间,在发射功率为 0 dBm 时, PRR 为 10% 时, LQI 均值大约为 65, PRR 为 90% 时, LQI 均值大约为 90。考虑簇成员 j 与簇头 i 之间的链路 $j \rightarrow i$, 若 $\mu_{lqi-ji} < 65/255$, 则该链路位于非连接区; $65/255 \leq \mu_{lqi-ji} \leq 90/255$, 则该链路位于

过渡区;若 $\mu_{i_{qi}-j_i} > 90/255$, 则该链路位于连接区。若簇成员选择链路质量 $\mu_{i_{qi}} > 90/255$ 的节点作为下一跳节点, 则节点之间的通信为可靠通信。

首先我们先提出下面几个概念:

(1) 最优功率 能保证两节点之间通信时的最小发射功率。

(2) 可靠功率 能保证两节点之间通信时链路位于连接区时的发射功率。

(3) 最优可靠功率 能保证两节点之间通信时链路位于连接区时的最小发射功率。

(4) 单跳不可靠通信方式 两节点之间通信方式为单跳, 但通信链路位于无线传输区域的过渡区。

(5) 单跳可靠通信方式 两节点之间通信方式为单跳, 但通信链路位于无线传输区域的连接区。

(6) 多跳不可靠通信方式 两节点之间通信方式为多跳, 但每一跳链路位于无线传输区域的过渡区。

(7) 多跳可靠通信方式 两节点之间通信方式为多跳, 但每一跳链路位于无线传输区域的连接区。

以上概念(4)~(7)中的单跳、多跳通信方式不同于目前多数文献中的单跳、多跳通信方式。目前多数文献中的单跳、多跳通信方式并不区分连接区、过渡区、非连接区, 只要两节点之间可以通信即可。也就是说, 在这种情况下, 链路可能位于无线传输区域的连接区, 也可能位于过渡区或过渡区, 链路质量不能得到保证。

在以上概念的基础之上, 针对较高链路质量的应用环境提出了3种对单跳、多跳通信方式的改进方案。

方案1 单跳通信方式变为多跳可靠通信方式。

如图2所示, 节点A、B之间的距离小于节点的通信半径, 采用A→B单跳通信的方式。在节点A、B之间的链路位于过渡区时, 该链路是不可靠的。在此情况下, 可以采用多跳可靠路由A→C→D→B。具体实现方式: 选取两节点之间链路位于连接区的节点作为下一跳节点, 即两节点之间的距离位于连接区范围内。如果有多条路径, 选择跳数最少的路径。如果多条路径跳数相同, 则选择每一跳距离短的路径, 以减少路径损耗。

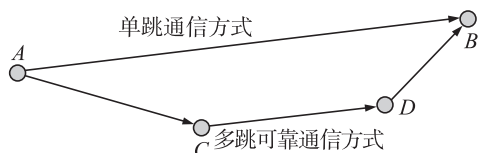


图2 单跳通信方式变为多跳可靠通信方式

方案2 单跳通信方式变为单跳可靠通信方式。

如图3所示, 节点A、B之间的距离小于节点的通信半径, 采用A→B单跳路由的方式。在节点A、B之间的链路位于过渡区时, 该链路是不可靠的。若在发射功率可调的前提下, 实际的工程应用环境要求有较高的链路质量, 可以调整节点的发射功率为最优可靠发射功率, 使节点A、B之间的距离位于连接区范围内, 保证可靠通信。

单跳通信方式和单跳可靠通信方式相比, 在丢包率方面, 单跳可靠通信方式的丢包率要明显低于单跳通信方式。在能量消耗方面, 为实现单跳可靠通信, 节点增大了发射功率, 总体能量消耗肯定增大。

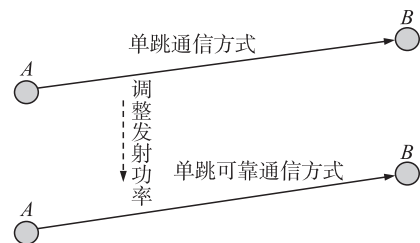


图3 单跳通信方式变为单跳可靠通信方式

方案3 多跳通信方式变为多跳可靠通信方式。

如图4所示, 节点A、D之间通过多跳路由A→B→C→D的方式实现通信。在采用理想的通断模型时, 不能保证链路的可靠性。若在发射功率可调的前提下, 实际的工程应用环境要求有较高的链路质量, 可以调整每一跳链路(A→B, B→C, C→D)的节点的发射功率为最优可靠发射功率, 使得每一跳链路位于连接区从而保证整个多跳路由的可靠通信。

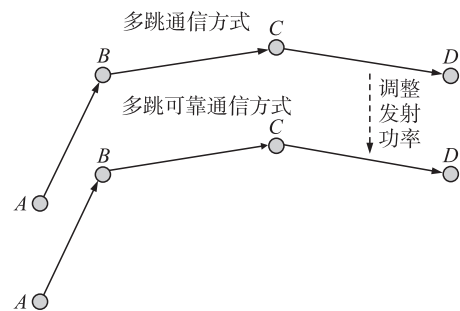


图4 多跳通信方式变为多跳可靠通信方式

多跳通信方式和多跳可靠通信方式相比, 在丢包率方面, 多跳可靠通信方式的丢包率要明显低于多跳通信方式。在能量消耗方面, 为实现多跳可靠通信, 节点增大了发射功率, 总体能量消耗肯定增大。

形成初始簇后, 选用合适的通信方式。对于本文特定的跟踪应用环境, 能量有限又对实时性要求比较高, 即要求较高的链路质量。所以本文采用方案一的改进方式。即簇成员与簇头通信时, 若簇成

员与簇头之间的链路位于连接区,则仍采用单跳通信方式;若簇成员与簇头之间的链路位于过渡区,则采用多跳可靠通信方式,但当簇成员与簇头之间的链路位于过渡区但找不到满足连接区链路质量的路径时,则仍采用单跳通信方式。

初始簇形成流程如图 5 所示。

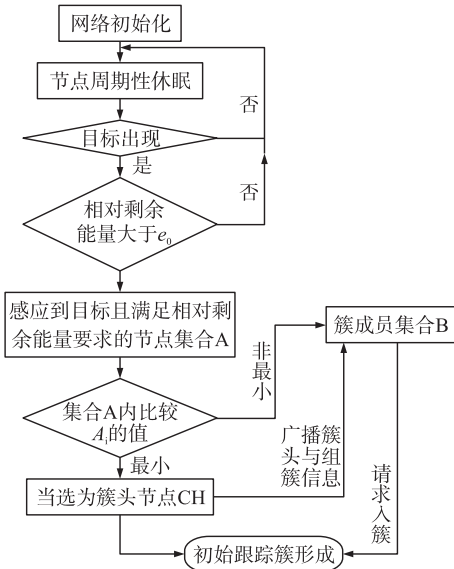


图 5 初始簇形成流程

1.2 簇成员的调整

随着目标的移动,如果目标出了节点的监测范围,簇成员连续 3 个抽样周期没有接收到目标信号,则向簇头申请退出该簇。簇头节点收到簇成员的申请后,将该节点从簇成员列表中删除。如果有新的节点监测到目标,该节点的剩余能量大于则申请加入该簇,簇头将该成员加入到簇成员列表中。簇成员调整流程如图 6 所示。

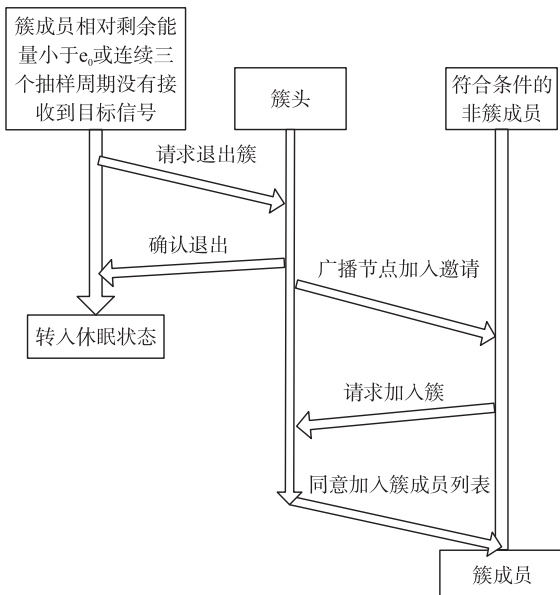


图 6 簇成员调整流程

1.3 簇头的调整

随着目标的移动,目标距簇头越来越远,当其间的距离满足条件 $d_{CH} > \epsilon R_s$ ($0 < \epsilon < 1$) 或簇头的剩余能量小于 e_0 时,启动簇头移交机制,此时当前簇头退化为临时簇头,临时簇头发送簇头调整信号。簇成员在向簇头发送目标信息的同时,与感应到目标的非簇成员节点比较 A_i 值重新竞争簇头。当新的簇头确定后,原簇头 CH 发送簇结束信号,簇头退化为普通节点。簇头调整流程如图 7 所示,整个动态簇跟踪算法流程如图 8 所示。

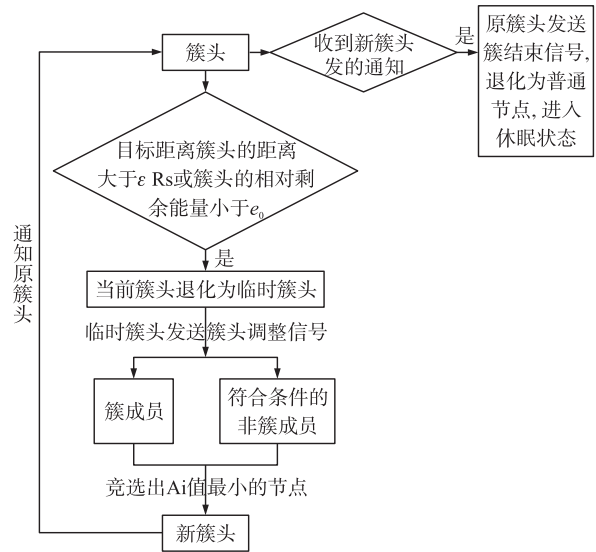


图 7 簇头调整流程

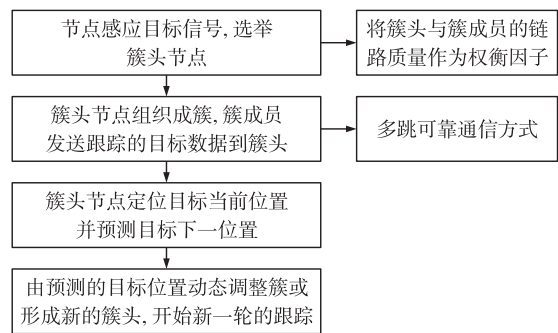


图 8 动态簇跟踪算法流程

2 目标的定位与预测

2.1 目标的定位

在某一个采样时间 t ,簇头和簇成员将接收到的 RSSI 值通过公式 (5) 得到距目标的距离 d 。

使用改进型无线电自由空间传播模型^[10-11]:

$$P(d) [\text{dBm}] = P(d_0) [\text{dBm}] - 10n \lg(d/d_0) \quad (5)$$

其中, $P(d)$ 表示节点与目标距离为 d 时的接收功率强度; $P(d_0)$ 表示基准距离为 d_0 时的信号强度; n 表示路径长度和路径损耗之间的比例因子,依赖于建筑物的结构和使用的材料。节点获得距目标的距离后,按取

样的先后将值记录在自己的内存中, 然后发送给簇头。簇头节点根据簇成员的位置信息和 d , 利用极大似然估计法对目标进行定位, 得到目标在 t 时刻的位置。

2.2 目标的预测

目标预测就是预测目标下一时刻的位置和速度, 据此进行任务和资源的重新分配。目标预测算法主要有目标轨迹拟合法、线性预测法、卡尔曼滤波、粒子滤波等。为减少迭代等复杂计算带来的能量损耗和时间延迟, 选取最小二乘法曲线估计对目标进行预测。设目标运动曲线服从下列多项式函数分布:

$$p_n(x) = \sum_{j=0}^n a_j x^j \quad (6)$$

当使下列式子取最小值时, $R = \sum_{i=0}^m [p_n(x_i) - y_i]^2 =$

$\sum_{i=0}^m [\sum_{k=0}^n a_k x_i^k - y_i]^2 = \min$ 最逼近实际函数分布, 即

$\frac{\partial R}{\partial a_i} = 2 \sum_{i=0}^m (\sum_{k=0}^n a_k x_i^k - y_i) x_i^i = 0$ 。最后得到下式:

$$\begin{pmatrix} m+1 & \sum_{i=0}^m x_i & \cdots & \sum_{i=0}^m x_i^n \\ \sum_{i=0}^m x_i & \sum_{i=0}^m x_i^2 & \cdots & \sum_{i=0}^m x_i^{n+1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sum_{i=0}^m x_i^n & \sum_{i=0}^m x_i^{n+1} & \cdots & \sum_{i=0}^m x_i^{2n} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ \vdots \\ a_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_{i=0}^m y_i \\ \sum_{i=0}^m x_i y_i \\ \vdots \\ \sum_{i=0}^m x_i^n y_i \end{pmatrix} \quad (7)$$

求得 a_k 即可得到目标的函数分布, 由此预测下一时刻的位置。

3 仿真分析及讨论

3.1 目标跟踪模型

为了评估所提出的簇内通信机制的可行性, 利用 Matlab 对该机制进行了仿真。假设 200 个节点随机分布在 $200 \text{ m} \times 200 \text{ m}$ 的区域内。目标做匀速直线运动, 目标初始位置为 $(0, 0)$, $v_x = v_y = 1 \text{ m/s}$ 。

图 9 为 $t = 100 \text{ s}$ 采样时刻簇组织情况。

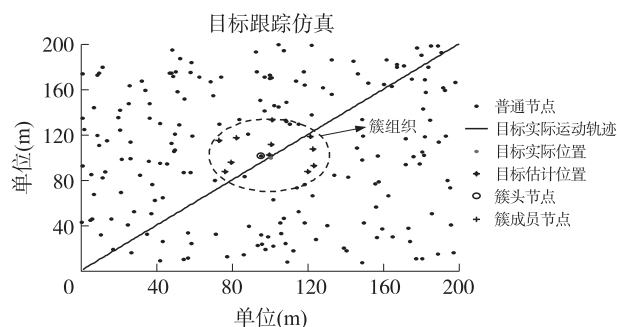


图 9 $t = 100 \text{ s}$ 时跟踪情况

算法的参数设置如表 1 所示。

表 1 仿真参数设置

参数	描述	取值
R_s	节点通信半径	32 m (发射功率为 0 dBm)
R_t	目标的传输半径	16 m
R_r	可靠通信距离	11 m (发射功率为 0 dBm)
e_0	节点相对剩余能量	0.1
α, β, γ	权重因子	1, 1, 1
ε	簇头移交因子	0.4
Δt	采样周期	1 s
d_0	基准距离	1 m
n	路径长度和路径损耗之间的比例因子	2

3.2 仿真分析

3.2.1 单跳通信方式和多跳可靠通信方式的网络平均丢包率比较分析

假设一个簇成员 i 向簇头通过单跳通信方式发送信息, 数据包接收率用 PRR_1 表示, 重传次数为 n_i 。一个簇内簇成员的数目为 N , 则一个簇内所有簇成员的重传次数为 $\sum_{i=1}^N n_i$; 若通过多跳可靠通信方式发送信息, 每一跳的 $\text{PRR} \approx 1$, 所以整个多跳路径的 $\text{PRR} \approx 1$ 。

图 10 给出了当节点总数逐渐增加时, 单跳通信方式和多跳可靠通信方式的平均丢包率随节点总数的变化情况, 仿真时在不同的节点总数下各重复 100 次试验, 取 100 次实验的平均值。由仿真结果可知, 多跳可靠方式的丢包率明显减少。因为多跳可靠通信方式不一定能找到满足连接区链路质量的下一跳节点, 对于这样的节点仍采取单跳通信方式。所以多跳可靠通信方式的 PRR 不能达到 100%。随着节点数目的增大, 能够找到满足连接区链路质量的下一跳节点的链路增多, 所以网络平均丢包率减少。

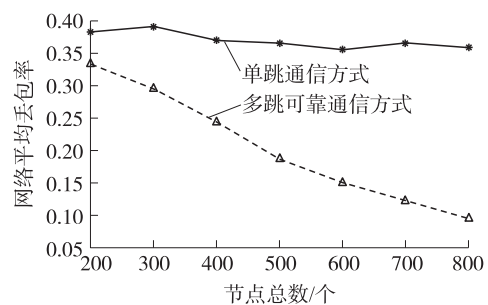


图 10 网络平均丢包率仿真

3.2.2 单跳通信方式和多跳可靠通信方式的能量消耗比较分析

此处仿真的能量消耗仅限于节点发送、接收数据的能量消耗。设数据聚合比率为 1。采用文献

[12-13]的能量消耗模型。在距离为 d 上传输 k bit 消息,其发送和接收能耗为

$$E_{Tx}(k, d) = E_{Tx-elec}(k) + E_{Tx-amp}(k, d) = \begin{cases} kE_{elec} + k\epsilon_{fs}d^2 & d < d_0 \\ kE_{elec} + k\epsilon_{mp}d^4 & d > d_0 \end{cases} \quad (8)$$

$$E_{Rx}(k) = E_{Rx-elec}(k) = kE_{elec} \quad (9)$$

其中 d_0 为阈值,文中约为 87.7 m,如果距离小于阈值,采用自由空间模型,否则采用多路衰减模型,电路能耗 $E_{elec} = 50$ nJ/bit, $\epsilon_{mp} = 0.0013$ pJ/(bit·m⁻⁴), $\epsilon_{fs} = 10$ pJ/(bit·m⁻²),数据聚合能耗 $E_{DA} = 5$ nJ/(bit·message⁻¹),每次发送的数据包大小为 4 000 bit。

对于节点聚合 m 个 1 byte 信息消耗的能量为

$$E_A = mE_{DA} \quad (10)$$

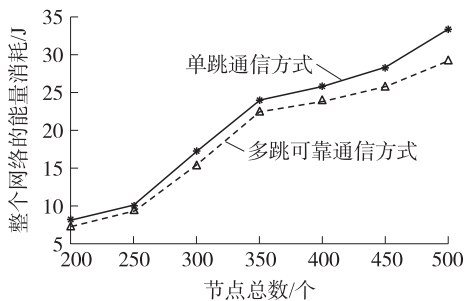


图 11 网络能量消耗仿真

仿真时在不同的节点总数下各重复 100 次试验,取 100 次实验的平均值。在这里整个网络的能量消耗是指从(0,0)运动到(200,200),采样周期为 1 s,整个网络通信所消耗的能量。由图 11 可知,在此仿真环境下,在同一节点总数下多跳可靠通信方式比单跳通信方式更节省能量,随着节点总数的增加,仍然有这种特点。并且,随节点数目的增多,整个网络的能量消耗逐渐增大。由文献[14],多跳路由中的每一跳间的距离越大,多跳路由相比较单跳路由而言就越节省能量。随着目前传感器节点的通信半径逐渐变大,连接区范围也相应增大,多跳可靠通信方式在能耗方面比单跳通信方式会更有优势。

3.2.3 单跳通信方式和多跳可靠通信方式的时延比较分析

仿真时在不同的节点总数下各重复 100 次试验,取 100 次实验的平均值。

此处时延仿真仅考虑数据传输时间,未考虑二进制退避时间。监测到目标的节点只发送一个数据包,发送的数据包大小为 4 000 bit。数据传输速率为 250 kbit/s。

由图 12 可知,在此仿真环境下,在同一节点总数下多跳可靠通信方式比单跳通信方式时延更小,

随着节点总数的增加,仍然有这种特点。并且,随节点数目的增多,整个网络的时延随节点数目的增多而逐渐增大。单跳通信方式节点发送数据包在链路质量低时会数据重传,而多跳可靠通信方式将部分单跳不可靠链路转换成可靠链路,这部分数据不需要重传,所以减少了时延。

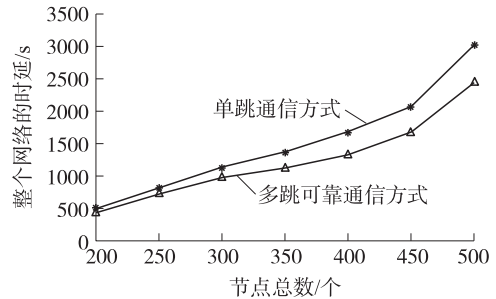


图 12 网络时延仿真

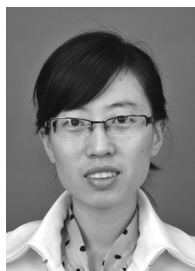
4 结束语

本文考虑了 WSN 跟踪中链路质量对动态成簇(竞选簇头,簇内通信方式)的影响,提出了应用于跟踪的动态簇簇内通信机制,并对性能进行了仿真分析。仿真结果表明,将链路质量作为竞选簇头的权衡因子,簇内通信采用多跳可靠通信方式,提高了整个网络的链路质量,降低了网络的能量消耗,减少了网络时延。

参考文献:

- [1] Zhang W S, Cao G H. DCTC: Dynamic Convoy Tree-Based Collaboration for Target Tracking in Sensor Networks [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2004, 3(5): - .
- [2] Chen W, Hou J, Sha L. Dynamic Clustering for Acoustic Target Tracking in Wireless Sensor Networks [C]//Proceedings of the 11th IEEE International Conference on Network Protocols (ICNP'03), Atlanta, Georgia, USA, November 4-7 2003, 258-271.
- [3] 薛皓,吴银锋,万江文. 时间异步无线传感器网络的目标跟踪动态成簇算法[J]. 高技术通讯, 2010, 20(1): 8-13.
- [4] Tian D, Georganas N D. Connectivity Maintenance and Coverage Preservation in Wireless Sensor Networks [J]. Ad Hoc Networks, 2005, 3(6): 744-761.
- [5] Zhai Y, Yeary B. A New Centralized Sensor Fusion-Tracking Methodology Based on Particle Filtering for Power-Aware Systems [J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2008, 57(10): 2377-2387.
- [6] Zuniga M, Krishnamachari B. Analyzing the Transitional Region in Low Power Link [C]//2004 First Annual IEEE Communications Society Conference on Sensor Hoc Communications and Networks, IEEE Secon 2004, 2004: 517-526.
- [7] Kannan Srinivasan, Philip Levis. RSSI is Under Appreciated. Proceedings of the Third Workshop on Embedded Networked Sensors (EmNets 2006).

- [8] 朱剑,赵海,张希元. 基于 LQI 量度的无线链路质量评估模型 [J]. 东北大学学报:自然科学版,2008,29(9):1262-1265.
- [9] 戴靠柱. WSN 中基于 LQI 的链路感知地理路由. 中国科技论文在线. 2011,17.
- [10] Bahl P, Padmanabhan V N. RADAR: An in-Building RF-Based User Location and Tracking System [C]//Proc of Infocom'2000, Tel Aviv, Israel. 2000,2:775784.
- [11] 丁江鹏,陈曙. 一种基于跳数比的无线传感器网络定位算法 [J]. 传感技术学报,2009,22(12):1823-1827.
- [12] Heinzelman W R, Chandrakasan A, Balakrishnan H. An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2002,1(4):660670.
- [13] 何国圆,陈涤. 基于最优簇首的高能效传感器网络路由协议 [J]. 传感技术学报,2008,21(10):1739-1743.
- [14] 李小亚,黄道平,吴洪艳. 无线传感器网络单跳与多跳路由的选择性 [J]. 计算机工程,2009,35(3):1314.



辛玲(1986-),女,山东潍坊人,电路与系统专业硕士研究生,主要研究方向为无线传感器网络, x. 111223344@163.com;



陈涤(1961-),男,山东曹县人,工学博士,教授,智能测控与网络技术研究所所长,主要从事智能测控系统、计算机应用技术及通信与信息系统的科研工作. 主持和参加国家、省部级科研开发项目 20 余项,获鉴定成果 4 项,发表学术论文 60 余篇. 1994 年在日本国立山口大学进行合作研究,1998 年 4 月至 1999 年 4 月在香港中文大学做访问学者,从 2008 年 2 月至 2009 年在美国弗吉尼亚大学任访问教授, dichen.sdu@hotmail.com;



李耀伟(1985-),男,山东胶南人,电路与系统专业硕士研究生,主要研究方向为无线传感器网络, lywei@live.cn。