

# 一种基于网络坐标的低成本 WSN 绿色位置路由<sup>\*</sup>

刘艺琴<sup>1</sup>, 王文琳<sup>2</sup>

(1. 云南开放大学 传媒与信息工程学院, 云南 昆明 650223; 2. 重庆邮电大学 移通学院, 重庆 401520)

**摘 要:** 现有无线传感器网络的绿色位置路由在实际部署中通常存在两大问题: 一是利用 GPS 来获得节点位置信息的成本较高; 二是没有评估定位误差对路由性能和节能效果的影响。鉴于此, 提出一种定位误差条件下的低成本绿色位置路由算法。其主要思路是: 该算法采用分布式网络坐标算法获取节点间相对位置信息, 以此节省成本; 提出数据收集环机制以缩小邻居候选节点集来降低选择最优中继/转发节点时的能耗, 并且采用自适应传输机制扩大节点无线收发范围以提高数据包投递率。仿真结果表明, 该算法的定位误差明显低于 MDS 和 MDS-MAP, 而其路径能量消耗和数据包投递率较 LED 算法相比分别降低 43% 和提高 55% 左右。

**关键词:** 无线传感器网络; 位置路由; 定位误差; 网络坐标

**中图分类号:** TP393 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-9793(2013)03-0048-09

## 1 引 言

在环境监测<sup>[1]</sup>、目标跟踪<sup>[2]</sup>和灾难监测<sup>[3]</sup>等无线传感器网络(WSN, wireless sensor network)应用中, 获知传感器节点的位置信息, 不仅可以提高 WSN 的路由效率和覆盖质量, 而且可以实现网络的负载均衡和拓扑自配置<sup>[4]</sup>。而传感器节点的能量有限, 设计一种高能效的位置感知路由算法, 对降低节点能耗、延长网络生存周期就显得非常重要。

目前已提出了多种高能效路由算法, 其中基于地理位置信息的路由更容易在 WSN 中实现。LAR<sup>[5]</sup>算法提出将路由请求分组在地理位置信息的导向下进行区域性泛洪以减少大量无用分组的传递, 从而降低节点能耗。但它仍然是基于链路状态建立端到端的路由, 不适合在网络拓扑变化较快的场景中应用<sup>[6]</sup>。GeRaF<sup>[7]</sup>、GERA<sup>[8]</sup>和 EAGR<sup>[9]</sup>等位置信息路由算法则是仅利用自身、邻节点及目标节点的位置信息进行路由发现和路由维护, 无需不断地更新路由表, 因此其最大的优势是能有效避免路由探测包的盲目泛洪。然而, 该类算法通常存在两大问题: 一是获得节点间位置信息的成本较高, 例如 GPS。在实际部署中, 传感器节点在能耗、价格和尺寸方面的限制使得安装 GPS 变得不现实。此外, GPS 在室内或是卫星信号覆盖不到的茂密森林等环境中定位效果很差, 无法得到广泛应用。二是没有评估定位误差对路由性能和节能效果的不利影响。而定位误差是客观存在的, 文献[10]指出定位误差会影响中继/转发节点的选择, 并且可能会造成数据包丢失、回传和发送给非最优中继/转发节点等诸多问题, 导致数据包投递率降低和节点的能量消耗加快, 最终恶化路由性能和节能效果, 致使网络生存周期无法得到预期的延长。针对部署 GPS 的成本高的问题, 文献[11][12]分别提出 MDS 和 MDS-MAP 等定位算法。但这两种定位算法事先需要在网络中部署锚节点, 是集中式的定位算法。此外, 文献[13]指出当 WSN 覆盖区域不规则时, MDS-MAP 算法会产生较大定位误差。而针对问题二, 文献[10]详细

\* 收稿日期: 2012-12-24

基金项目: 云南省教育厅一般资助项目(2012C234)。

作者简介: 刘艺琴(1979-), 女, 河南三门峡人, 硕士, 讲师, 主要从事计算机应用方面研究。

分析了定位误差对路由性能和节能效果的影响,并提出一种定位误差条件下的最优中继/转发节点选择算法:Least Expected Distance(LED)。但LED算法存在一个明显的不足,即当邻居候选节点个数较多时,该算法会浪费节点较多能量选择下一跳最优中继/转发节点。

针对上述两个问题,本文提出一种定位误差条件下基于分布式网络坐标算法的低成本绿色位置路由:GGRL(Geographic Green Routing with Low-cost in the presence of localization errors)。分布式网络坐标算法是基于软件实现的,事先无需部署锚节点,具有无尺寸限制、低部署成本等诸多优点,故文中首次提出用其获取节点位置信息以节省成本,并从距离测量误差和连接度两方面与MDS或MDS-MAP算法进行定位性能比较。为了降低节点从众多邻居候选节点中选择最优中继/转发节点时的能耗,GGRL算法提出数据收集环机制以缩小邻居候选节点集,使节点以最小的能耗确定下一跳最优中继/转发节点。此外,GGRL算法采用自适应传输机制扩大节点无线收发范围以降低数据包丢失的可能性,达到提高数据包投递率的目的。

最后仿真结果表明无论是距离测量误差,还是连接度,网络坐标算法的定位性能都优于MDS或MDS-MAP算法。与LED算法相比,GGRL算法能达到更高的数据包投递率和更低的路径能量消耗。

## 2 低成本节点位置信息获取算法

网络坐标算法是一种具有可扩展性的距离预测方案。它利用空间嵌入的思想将网络中节点之间的距离嵌入到某一特定维数的几何空间中,建立起网络节点与该空间点的映射关系,网络中每个节点对应几何空间中的一组相应的坐标,而节点之间的距离可以通过空间中两点之间的测度距离来预测<sup>[14]</sup>。其中具有代表性的两种网络坐标算法分别是GNP<sup>[15]</sup>和Vivaldi<sup>[16]</sup>。与GNP相比,Vivaldi算法的预测准确度在相同的评估条件下高出大约35%,且它是分布式网络坐标算法,具有无尺寸限制、无锚节点和低部署成本等优点<sup>[17]</sup>。

### 2.1 Vivaldi 网络坐标算法简介

Vivaldi算法将距离预测误差之和最小化问题模拟为弹簧系统势能最小化问题。弹簧的原始长度表示两节点之间的实际距离,当前长度是通过节点坐标计算出的预测距离。根据两者关系,弹簧将相应地伸长或压缩。最终,弹簧在预测值与测量值相等时达到平衡状态。此时,节点的坐标即为最优嵌入坐标。该算法的原理如图1所示, $\delta$ 代表本地计算步长,用来调整节点坐标每次更新的幅度, $rtt$ 是节点A和节点B之间的实测时延值,表示节点*i*和*j*的实际距离, $\|x_i - x_j\|$ 是节点*i*和*j*的欧式距离, $u(x_i - x_j)$ 代表弹簧力的作用方向。

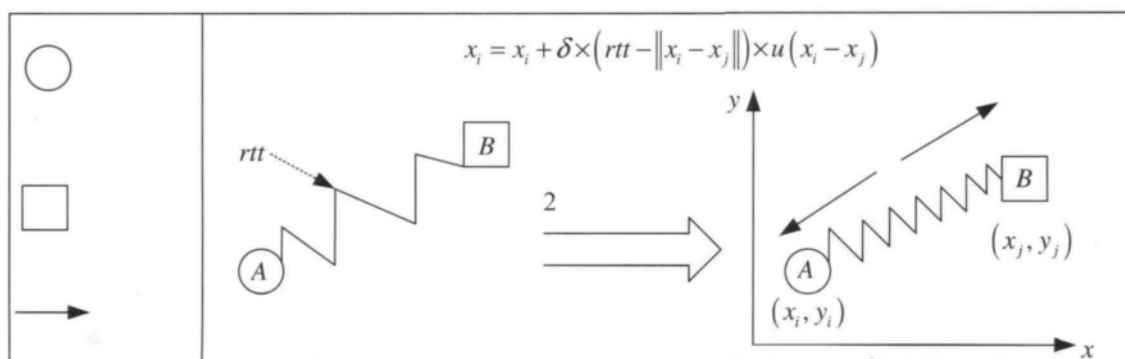


图1 Vivaldi 算法坐标更新示意图

Fig.1 Vivaldi algorithm coordinate update schematic diagram

### 2.2 Vivaldi 算法与 MDS 或 MDS-MAP 算法定位性能比较

MDS-MAP 是一种集中式定位算法,对一个包含  $N$  个节点的网络来说,该算法的计算复杂度为

$O(N^3)$  [13], 而 Vivaldi 算法的计算复杂度仅为  $O(N)$  [17], 大大降低了计算开销和节点能耗。另外, 本节分别从距离测量误差和连接度两方面分析比较 Vivaldi 和 MDS 或 MDS-MAP 算法的定位性能。仿真节点随机分布在  $100\text{m} \times 100\text{m}$  的正方形区域内, 传感器节点的收发范围为  $50\text{m}$ , Vivaldi 和 MDS-MAP 算法的维度空间设置均为 2, 且 MDS-MAP 算法部署有 3 个锚节点。

### 2.2.1 距离测量误差对定位误差的影响

图 2 的仿真结果是在连接度为 3 时得到的。从图 2 可以看出, 不论网络中节点个数是 10 还是 20, 随着距离测量误差的增大, 两种算法的定位误差都是增大的, 但是 Vivaldi 算法定位误差要小于 MDS 算法。当网络中节点个数为 10 时, Vivaldi 的定位误差比 MDS 低 10%, 而当网络中节点个数为 20 时, Vivaldi 的定位误差比 MDS 低 14%。

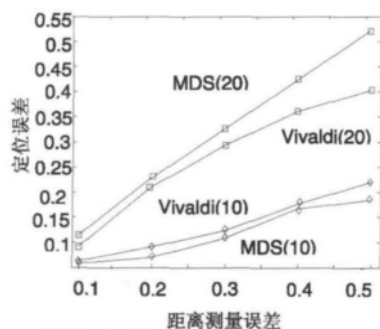


图 2 距离测量误差不同对定位性能的影响

Fig. 2 Distance measuring error on positioning performance influence

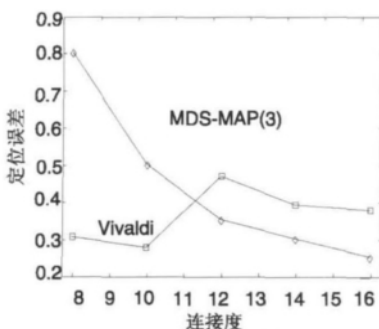


图 3 连接度对 Vivaldi 定位误差的影响

Fig. 3 Connection degree on error influence Vivaldi positioning

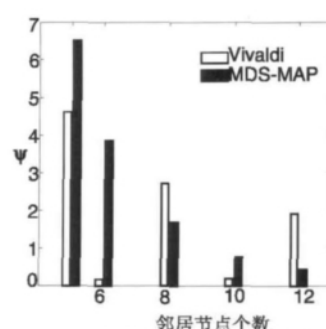


图 4 连接度不同时  $\psi$  值比较

Fig. 4  $\psi$  value comparison on connection degree different

### 2.2.2 连接度对定位误差的影响

图 3 的仿真结果都是在维度为 2 时得出的。从图 3 可以看出, 当连接度较少时, Vivaldi 算法的定位误差远小于 MDS-MAP, 但当连接度多于 11 时, MDS-MAP 算法的定位误差反而小于 Vivaldi。而连接度越多, 在选择最优中继/转发节点时消耗的能量越多, 为了同时兼顾定位性能和节能效果, 我们将定位误差和路径能耗的乘积值作为一个整体, 仿真了当连接度不同时, 此值的变化情况, 其具体定义如下: 定义 1: 假设定位误差用  $error$  表示, 在此定位误差下数据包从源节点发送到 sink 节点的路径能耗为  $E$ , 那么均衡指数  $\psi$  为:

$$\psi = error \times E \quad (1)$$

仿真结果如图 4 所示, 可以明显看出, 与 MDS-MAP 定位算法相比, 当连接度为 6 时, Vivaldi 算法的  $\psi$  值是最小的, 因此, 我们在后面阐述路由算法以及仿真验证中选择邻居候选节点个数时, 定为 6 个。

综合以上分析, Vivaldi 算法的定位性能总体上优于 MDS、MDS-MAP 等定位算法。从降低部署成本和节点的能耗等方面考虑, GGRL 用 Vivaldi 定位算法获取节点间位置信息。

## 3 定位误差条件下的绿色位置路由

本文提出的绿色位置路由的核心思想是利用 Vivaldi 算法获得传感器网络中节点之间的距离信息, 然后提出数据收集环机制确定邻居候选节点区域。当邻居候选节点过多时, 提出 SEC (sector select) 算法缩小邻居候选节点集, 进而限制邻居候选节点个数。最后结合 LED 算法, 选择最优下一跳中继/转发节点进行路由。

我们将传感器节点模拟为三维空间的点 (如图 5 所示),  $x$  轴和  $y$  轴表示节点位置信息获取平面,  $z$  轴表示节点的能量开销, 记为  $E_{total}$ 。在仿真中, 采用文献 [18] 中的能量消耗模型计算传感器节点的能耗, 其中  $\epsilon_{dec}$  表示发射电路和接收电路每发送或接收单位比特数据的能耗, 取决于数字编码、调制等因

素;  $\alpha$  为路径损耗系数,取值范围为 2 到 5;  $\epsilon_{amp}$  是一个常数,取决于接收机的灵敏度和噪声指数。

定义 2: 发送  $k - bits$  的数据到  $d$  处,传感器节点消耗的能量为:

$$E_{Tx}(k, d) = E_{Tx-dec}(k) + E_{Tx-amp}(k, d) = k\epsilon_{dec} + k\epsilon_{amp}d^a \quad (2)$$

定义 3: 接收  $k - bits$  的数据,传感器节点的能耗为:

$$E_{Rx}(k) = E_{Rx-dec}(k) = k\epsilon_{dec} \quad (3)$$

由式(2)和式(3)可以得出中继/转发节点发送和接收  $k - bits$  的数据消耗的能量为:

$$E_{total}(k, d) = E_{Tx}(k, d) + E_{Rx}(k) = 2 \times k\epsilon_{dec} + k\epsilon_{amp}d^a \quad (4)$$

定义 4:  $k - bits$  的数据从源节点发送到 sink 节点,路径能量消耗为:

$$E_{N_{hops}}^{tot} = \sum_{i=1}^{N_{hops}} (E_{total}(k, d)) = \sum_{i=1}^{N_{hops}} (2 \times k\epsilon_{dec} + k\epsilon_{amp}d^a) \quad (5)$$

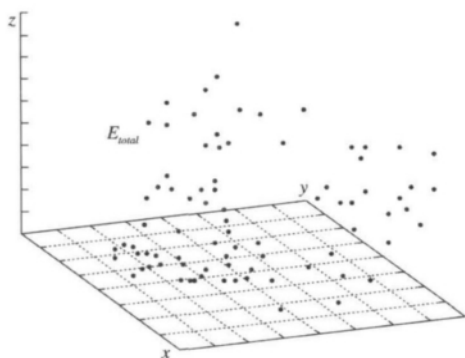


图5 传感器节点分布图

Fig.5 The sensor node distribution map

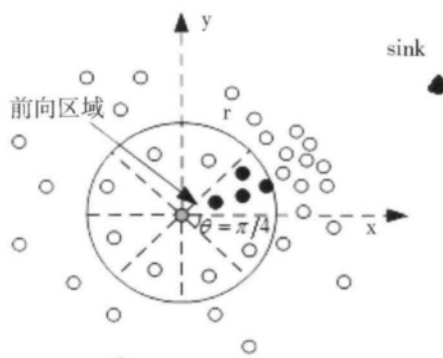


图6 前向区域确定示意图

Fig.6 Forward area determining sketch map

### 3.1 能量有效路由算法

文献[10]提出通过计算最优中继/转发节点和其各邻居节点之间的距离的统计平均值,在邻居候选节点中选择与此统计平均值最接近的一个邻居节点作为最优中继/转发节点进行数据包的接收和发送,以此形成路由将数据包传送到 sink 节点。但当邻居候选节点个数较多时,该算法会消耗节点很多能量用于确定最优下一跳中继/转发节点,并容易造成回环路由。为此,本节提出数据收集环机制,该机制限制了邻居候选节点区域,若邻居候选节点个数小于 6,GGRL 算法采用 LED 算法选择最优中继/转发节点;若邻居候选节点数多于 6,GGRL 算法新提出 SEC(sector select)算法限制邻居候选节点个数,直至小于 6。

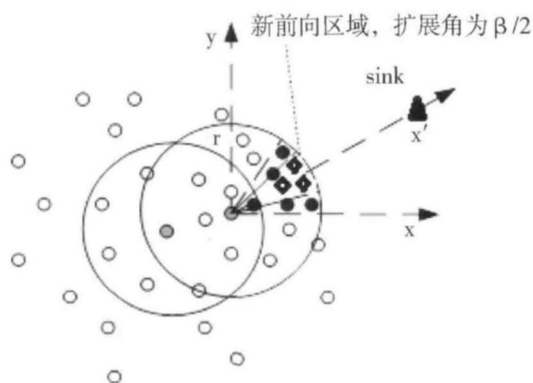


图7  $a > 6$  时邻居候选节点集一次确定示意图

Fig.7 Neighbor candidate node set time

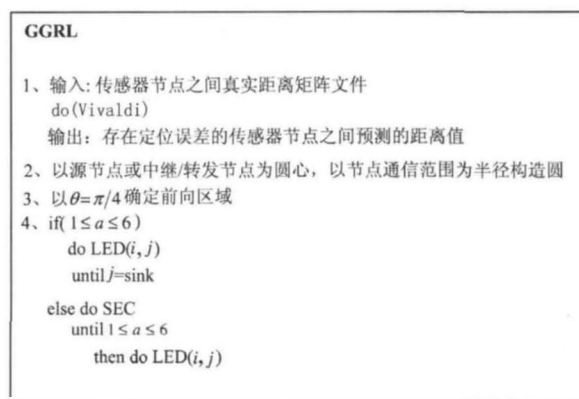


图8 GGRL 算法伪代码图

Fig.8 GGRL algorithm pseudo code chart diagram when  $a > 6$

### 3.1.1 数据收集环机制

该机制的实现大致分为两个阶段。第一个阶段是前向区域的确定;第二个阶段是最优邻居候选节点集的选择。

前向区域的确定方法是首先以源节点所在位置为圆心,以传感器节点的无线收发范围为半径做圆,再以  $\theta = \pi/4$  把圆均匀分成 8 个区域。由圆、角平分线和  $x$  轴组成的且处于 sink 节点方向的扇形区域就是前向区域。如图 6 所示。

在确定了前向区域之后,GGRL 算法根据前向区域中连接度选择邻居候选节点集。假设  $a$  表示前向区域中连接度,当  $a < 6$  时,GGRL 算法直接采用 LED 算法选择最优邻居候选节点作为中继/转发节点;当  $a > 6$  时,提出 SEC 算法确定最优邻居候选节点集,限定邻居候选节点个数,具体步骤如下:

1) 连接源节点和 sink 节点,以它们形成的直线作为  $x'$  坐标轴;

2) 以  $\beta$  为中心角,  $x'$  坐标轴为角平分线做扇形区域。此扇形区域就是前向区域,该区域中的节点组成邻居候选节点集,如图 7 所示,角度大小为:

$$\beta = \frac{\pi}{\log_2 a} \quad (6)$$

3) 此时,若此区域中的邻居候选节点个数仍然大于 6,则以  $\beta/2$  为中心角,重复步骤 2),直到前向区域中邻居候选节点集中节点个数小于 6 个;

4) 另一方面,若此前向区域内节点个数为 0,则扩大扇形区域,将中心角增加为  $2\beta$ ,重复步骤 2),如果依然没有的话,就继续扩大,直到前向区域中存在邻居候选节点;

5) 如果扇形区域扩大到圆的一半时,仍然没有发现邻居节点,则反向延长  $x'$  坐标轴,延长的长度为:

$$d = 2 \times \frac{r}{\log_2 a} \quad (7)$$

6) 以  $x = -d$  的长度做  $x'$  坐标轴的垂直线  $y'$ ,在  $y'$  坐标轴以内的节点作为邻居候选节点集,如果该区域依然为空则继续以  $-2d$  的长度扩大前向区域,直至扩大到整个圆。

### 3.1.2 最优中继/转发节点选择

在确定了邻居候选节点集后,GGRL 算法采用文献[10]提出的 LED 算法选择最优中继/转发节点。即计算最优节点和其所有邻居节点之间距离的统计平均值,从邻居候选节点集中选择有与此统计平均值最接近的邻居节点作为中继/转发节点。这样,在存在定位误差的情况下,与 LED 算法相比,GGRL 算法更能降低整条路径上能耗。GGRL 路由算法的伪代码如图 9 所示。

### 3.2 自适应传输机制

当存在定位误差时,虽然按照 GGRL 算法能够以最少的能量选择最优的中继/转发节点进行数据包的转发,节省了传感器节点的能量。但是,下一跳节点一旦确定,数据包仍然可能丢失。所以,本文采用文献[10]中提出的自适应传输机制以提高数据包投递率。

定义 5: 存在定位误差时,数据包从源节点到 sink 节点的成功投递率(数据包投递率):

$$PDR = \prod_{i,j=1}^{N_{hops}} (1 - \Pr\{r_i < D_{ij}\}) = \prod_{i,j=1}^{N_{hops}} \left(1 - Q_1\left(\frac{\eta_{ij}}{\sigma_{ij}}, \frac{r_i}{\sigma_{ij}}\right)\right) \quad (8)$$

其中,  $\sigma_{ij}$  为标准差,  $Q_1$  是 MarcumQ 函数,  $m = 1$ [19].  $r_i$  是节点的通信半径,且  $0 < \eta_{ij} \pm \sigma_{ij} \leq \min\{r_{\max}^i, r_{\max}^j\}$ ,  $r_i^{ext} = r_i - \eta_{ij}$ .

定义 6: 传感器节点无线收发范围扩大后会附加产生的路径能量消耗,其定义如下:

$$E_{N_{hops}}^{ext} = \sum_{i=1}^{N_{hops}} (2 \times k\epsilon_{elec} + k\epsilon_{amp} (r_i^{ext})^{\alpha})$$

(9)

4 性能分析

4.1 仿真环境

本文使用 VC++6.0 和 Matlab 对 GGRL 和 LED 算法进行定位误差条件下路由性能和节能效果的仿真比较。源节点和 sink 节点分别位于二维平面所构成的矩形区域的对角线的两端,且源节点位于的坐标原点处,其他节点随机的分布在 1 000m×1 000m 的区域内。每个传感器节点的能量有限,使用 Vivaldi 算法获得位置信息,且定期地向 sink 节点发送固定长度的数据包。这里用高斯分布( $\mu=0, \sigma$  有限)来描述节点的定位误差, $\sigma$  为定位误差的标准差,并且为方便不同场景的比较,将定位误差归一化为传感器节点的通信半径<sup>[10]</sup>。假设所有传感器节点的覆盖范围可变,其最大覆盖范围为  $\eta_{ij} + \sigma_{ij}$ ,具体仿真参数设置见下表 1。

表 1 仿真参数设置  
Table 1 Simulation parameters

仿真参数	值
仿真面积	1 000m×1 000m
节点数	20,50,100,150
无线收发范围	270(m)
$\epsilon_{elec}$	50nJ/bit
$\epsilon_{amp}$	100pJ/bit/m <sup>2</sup>
k	100bps
$\alpha$	3

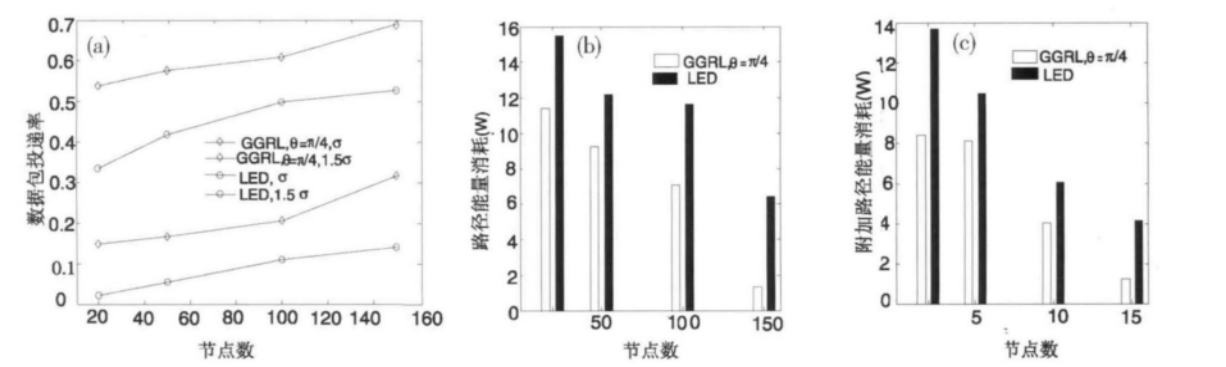


图 9 节点密度对(a)数据包投递率,(b)路径能量消耗,(c)路径附加能量消耗的影响

Fig.9 The influence of density of node on(a)data packet delivery rate,  
(b)path of energy consumption,(c)additional path energy consumption

4.2 GGRL 和 LED 在节点密度变化情况下的性能比较

该场景是在  $\theta = \pi/4$ , 定位误差标准占通信半径的比例为 32%时进行的。随着节点个数增加,网络中节点密度变大,网络连接的可能性增大,节点间形成端到端的链路的概率也增大,所以数据包投递率是增大的。从图 9(a)可以看出,当  $r_i^{ext} = \sigma$  时,GGRL 算法的数据包投递率平均比 LED 算法高出 67%

左右,当  $r_i^{ext} = 1.5\sigma$  时,GGRL 算法的数据包投递率平均比 LED 算法高出 40% 左右。图 9(b)表明了随着节点密度的变大,两种算法的路径能量消耗都是降低的,并且 GGRL 算法比 LED 算法平均降低路径能量消耗大约 43%。特别地,当网络中节点个数为 150 时,与 LED 算法相比,GGRL 算法节省的能量最多。图 9(c)所示为当  $r_i^{ext} = 1.5\sigma$  时,两种算法附加的路径能量消耗的比较。从图中可以明显看出,GGRL 算法消耗的附加能量远小于 LED 算法,前者节省的路径能量比后者多出 45%。仿真结果充分表明了 GGRL 算法比 LED 算法能更好地适应网络规模较大的场景,具有更好地网络性能和更低的节点能量消耗。

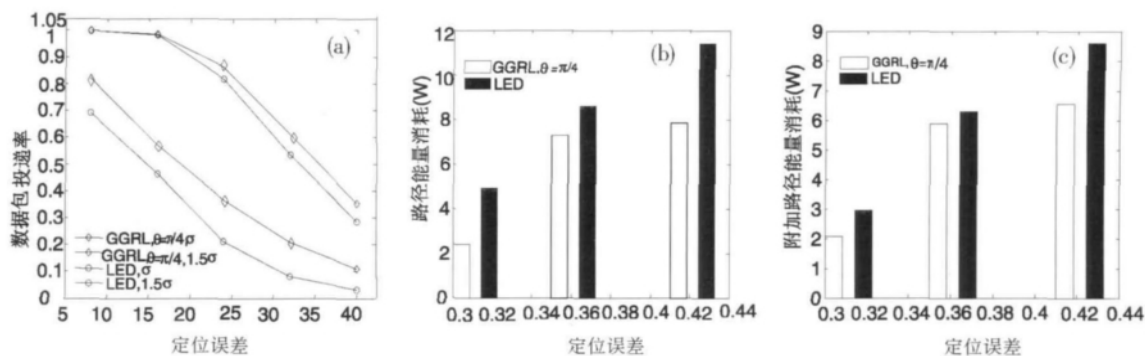


图 10 定位误差对(a)数据包投递率,(b)路径能量消耗,(c)路径附加能量消耗的影响

Fig. 10 The influence of positioning error on(a)data packet delivery rate,  
(b)path of energy consumption,(c)additional path energy consumption

#### 4.3 GGRL 和 LED 在定位误差标准差占通信半径的比例(或定位误差)变化的情况下的性能比较

该仿真结果是在  $\theta = \pi/4$  下进行的,并取各网络节点的数据包投递率、路径能耗和附加路径能耗的平均值得到的。从图 10(a)可以看出,随着定位误差标准差占通信半径的比例的增大,GGRL 和 LED 的数据包投递率都是减小的。但与 LED 算法相比,  $r_i^{ext} = \sigma$  时,GGRL 的平均数据包投递率高出 63.5% 左右,并且定位误差占通信半径的比例越大,GGRL 高出的数据包投递率越高。当  $r_i^{ext} = 1.5\sigma$  时,GGRL 的平均数据包投递率只比 LED 算法高出大约 10%,同样地,定位误差占通信半径的比例越大,GGRL 比 LED 算法表现出更好的性能。当定位误差占通信半径的比例为 40% 时,GGRL 算法的平均数据包投递率高出 24%。如图 10(b)所示,随着定位误差的增大,两种算法的路径能量消耗都是增加的,但与 LED 算法相比,GGRL 算法要平均节省 69% 的能量。从图 10(c)可以看出,GGRL 算法比 LED 算法的附加路径能量消耗平均低 27%。

2 个场景的仿真,证实了在各种因子变化的场景中,GGRL 算法都表现出很好的路由性能和节点效果。特别是当节点密度越大和定位误差越来越大时,GGRL 算法比 LED 算法有更好的数据包投递率和更低的路径能量消耗,这充分说明了 GGRL 算法比 LED 算法更适合应用于网络规模较大和定位误差较大的环境中,更适合实际部署。

## 5 结 论

LED 路由算法具有较高的数据包投递率和较低的路径能量消耗,但是 LED 选择最优中继/转发节点时计算所有邻居候选节点的距离期望值,很大程度上浪费了节点的能量。为了进一步节省节点能量和提高数据包投递率,本文结合 LED 算法和自适应传输机制,提出了一种基于网络坐标的存在定位误

差的低成本位置路由算法。该算法提出用网络坐标算法获得节点间位置信息以节省成本,并用自适应传输机制和数据收集环机制有效地提高了路由性能和节能效果。仿真结果表明,Vivaldi 算法的定位性能明显优于 MDS 或 MDS-MAP 定位算法,且与 LED 算法相比,GGRL 算法能达到更高的数据包投递率和更低的路径能耗。

### 参 考 文 献:

- [1] WERNER-ALLEN G, LORINCZ K, WELSH M, et al. Deploying a wireless sensor network on an active volcano [J]. IEEE Internet Computing, 2006, 10(2): 18–25.
- [2] FANG QING, ZHAO FENG, GUIBAS L. Lightweight sensing and communication protocols for target enumeration and aggregation[C]. Proc of the 4th ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing, Annapolis, Maryland, USA, 2003, 165–176.
- [3] HAENGGI M. Handbook of sensor networks compact wireless and wired sensing systems[C]. Opportunities and Challenges in Wireless Sensor Networks. Boca Raton, FL: CRC Press, 2005.
- [4] MAO G, FIDAN B, ANDERSON B. Wireless sensor network localization techniques[J]. Computer Networks, 2007, 51(10): 2529–2553.
- [5] YOUNG-BAE KO, NITIN H. Vaidya, Location-aided routing (LAR) in mobile ad hoc networks[C]. Proceedings of the 4th annual ACM/IEEE international conference on Mobile computing and networking, 1998, 66–75.
- [6] 张衡阳, 李莹莹, 刘云辉. 基于地理位置的无线传感器网络路由协议研究进展[J]. 计算机应用研究, 2008, (01): 24–27.
- [7] ZORZI M, RAO R. Geographic random forwarding (GeRaF) for ad hoc and sensor networks: multihop performance[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2003, 2(4): 337–348.
- [8] SANTOS R A, EDWARDS A, ALVAREZ O, et al. Geographic Routing Algorithm for Wireless Sensor Networks [C]. Electronics, Robotics and Automotive Mechanics Conference, 2006, 64–69.
- [9] SHARMA S, GUPTA H M, DHARMARAJA S. EAGR: Energy Aware Greedy Routing scheme for wireless ad hoc networks[C]. Performance Evaluation of Computer and Telecommunication Systems, 2008, 122–129.
- [10] PENG B, KEMP A H. Energy-efficiency geographic routing in the presence of localization errors[J]. Comput. , Netw. , 2010, doi:10.1016/j.comnet. , 2010. 10. 020.
- [11] JI X, ZHA H. Sensor positioning in wireless ad-hoc sensor networks using multidimensional scaling[C]. IEEE INFOCOM, 2004, 4: 2652–2661.
- [12] Shang Y, Ruml W, Zhang Y, et al. Localization from mere connectivity[C]. Proc of the 4th ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing, Annapolis, Maryland, USA, 2003, 201–212.
- [13] 马震, 刘云, 沈波. 分布式无线传感器网络定位算法 MDS-MAP(D)[J]. 通信学报, 2008, 29(6): 62–67.
- [14] 刑长友, 陈鸣. 网络距离预测技术[J]. 软件学报, 2009, 20(9): 2470–2482.
- [15] NG AND T S E, ZHANG H. Predicting Internet network distance with coordinates-based approaches[C]. In Proceedings of IEEE Infocom, 2002, 170–179.
- [16] DABEK F, COX R, KAASHOEK F, et al. Vivaldi: a decentralized network coordinate system. Proceedings of the 2004 conference on Applications, technologies, architectures, and protocols for computer communications (SIGCOMM'04), New York, NY, USA: ACM, 2004, 15–26.
- [17] 陈阳. 网络坐标计算模型与应用研究[D]. 北京: 清华大学电子工程系, 2009.
- [18] HEINZELMAN W, CHANDRAKASAN A, BALAKRISHNAN H. An application specific protocol architecture for wireless microsensor networks[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2002, 1 (4): 660–670.



- [19] PAPOULIS A, PILLAI S U, PROBABILITY. Random Variables and Stochastic Processes[M]. McGraw-Hill Press, 2002.

## A Green Geographic Routing of WSN with Low-cost in the Presence of Localization Errors

LIU Yi-qin, WANG Wen-lin

(1. College of Media & Information Engineering, Yunnan Open University, Kunming 650223, China;  
2. College of Mobile Telecommunications, Chongqing University of Posts and Telecom., Chongqing 401520, China)

**Abstract:** Existing energy-efficient geographic routing algorithms of wireless sensor network have two problems in practical deployment. Firstly, the cost for getting the geographic location information of nodes incurs too expensive to implement, such as GPS. Then, they ignore the exist of location errors and the evaluation of the influence to the routing performance and energy-saving. In order to solve these two problems, an green geographic routing with low-cost is proposed. Distributed network coordinate algorithm is employed to obtain relative location information between nodes to save costs. Moreover, evaluating the localization performance of network coordinate and classical location algorithm of WSN(such as MDS or MDS-MAP) are compared. Data-gathering ring scheme is presented to narrowed down the neighbor candidate nodes set to reduce the energy cosumption and an adaptive transmission strategy is employed to enlarge the transmissino range to cope with the transmission failure. Extensive simulation results show that the localization errors of network coordinate are obviously less than MDS or MDS-MAP. Comparing with LED, our proposal exhibits significant routing performance improvement and decrease of energy consumption.

**Key words:** Wireless sensor work; Geographical routing; Location errors; Network coordinate