

狭长区域中无线传感网络节点定位技术^①

陈旭, 徐震, 夏静山

(武汉轻工大学 电气与电子工程学院, 武汉 430023)

摘要: 无线传感网络是应用相关性很强的网络, 在各个领域都有广泛应用. 节点定位是其关键技术之一. 针对狭长监测区域节点沿边界均匀分布的特点, 我们提出一种基于 RSSI 的距离无关定位算法(PB-RSSI), 该法选取目标节点周围信标节点中的任意两个, 作它们的垂直平分线, 从而把定位区域分割为更多的子区域, 再比较接收信号强度值确定目标节点所在子区域, 并将其质心作为目标节点的位置坐标. 仿真结果显示, 与近似三角形内点测试法(APIT)相比, PB-RSSI 分割的子区域数量更多, 计算复杂度更低, 定位精度更高, 鲁棒性更好, 能量消耗更低.
关键词: 无线传感网络; 接收信号强度指示; 垂直平分线; 节点定位

Location Technology of Wireless Sensor Networks in Narrow and Long Area

CHEN Xu, XU Zhen, XIA Jing-Shan

(School of Electrical and Electronic Engineering, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, China)

Abstract: Wireless sensor network(WSN) has been widely used in various fields. Node localization is one of the most important technologies. According to the characteristics of uniform deployment of nodes along the boundary of narrow and long regions, we propose a range-free localization algorithm based on RSSI--the location regions may be divided into more location sub-areas by a perpendicular bisector of any two beacon nodes next to the target node, determining which one the target node is located by comparing the value of signal strength received, finally, the centroid of which is used as the position coordinates of the target node. Simulation results show that, compared with the Approximate Point-in-Triangulation Test (APIT), it has more division areas of PB-RSSI, lower computable complexity, higher location accuracy, better robustness and lower energy consumption.

Key words: wireless sensor networks; received signal strength indicator; perpendicular bisector; node localization

随无线传感网络是应用性很强的网络, 针对不同的监测环境区域, 节点分布会有很大差别, 定位算法也会有优劣之分. 质心算法^[1]适用于节点分布比较均匀, 信标节点密度比较高的网络区域; 凸规划算法^[2]适合信标节点放置在网络边缘的网络区域, 否则节点的位置估计将会向网络中心偏移, 定位误差较大; APIT^[3]算法适合无线信号传播模式不规则和传感器节点随机部署, 网络连通性较好的网络区域. 针对链式狭长区域, 本文提出的一种新颖的基于 RSSI 的定位算法 PB-RSSI.

在链式狭长区域里, 地理形状很长, 很窄, 可以

在距离上延伸几百英里, 如道路、地下矿山隧道、河流和桥梁等. 在狭长的区域中有两种监测任务: 第一种是监测环境条件, 如矿井隧道的瓦斯浓度, 河流的水位, 桥梁的变形; 另一种是定位移动的物体, 如道路上的车辆, 地下隧道的矿工, 和河流上的船只等. 无线传感器网络可用于在这种狭长区域中完成相关任务. 这种网络与传统的无线传感器网络有很大的区别, 在这类网络中, 传感器节点依据狭长区域的地理形状进行部署, 形成一个链型的拓扑. 因此, 我们称之为链式无线传感器网络. 与其他类型的无线传感器网络相比, 链式无线传感器网络具有以下特点^[4]:

① 通信作者:徐震, E-mail:albert_xu@tom.com

收稿时间:2016-05-22;收到修改稿时间:2016-06-20 [doi: 10.15888/j.cnki.csa.005596]

(1) 传感节点的部署受监测区域的限制, 经常放置在监测区域的边界线上, 边界线外的监控节点非常少;

(2) 网络的拓扑是链式的。

在链式无线传感器网络中, 所监测的目标往往是移动的物体, 监测环境十分恶劣, 两个通信节点之间的实际距离很难获得。在节点定位时有两个方面需要考虑: (1) 传感器节点可能被损坏, 这会降低节点密度和定位精度, 甚至导致目标节点因为定位节点太少而不能被定位; (2) 定位算法具有低计算复杂度和高精度。

为此我们提出了一种适用于链式无线传感器网络的基于 RSSI 的垂直平分分割的定位算法。

1 系统模型

1.1 定位模型

链式无线传感网络定位模型如图 1 所示。两条黑色宽实心线表示监测区域的边界, 两条线之间是无线传感网络的监测区域。黑实心圆圈表示信标节点, 信标节点根据部署策略有选择地放置在监测区域的边界上(或附近), 每个空白圆圈表示一个目标节点。我们预先得知监测区域的地理形状和信标节点的坐标值。

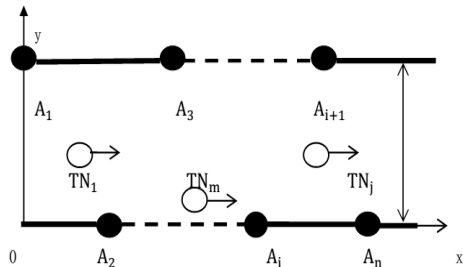


图 1 定位模型

链式定位模型表示如下:

$MLocation = \langle Location N_s, Target N_m, Location INF, Location ALG \rangle$ (1)

其中, $Location N_s = \{A_1, A_2, \dots\}$ 代表定位节点集合, A_i 表示第 i 个信标节点, 共有 n 个。 $Target N_m = \{TN_1, TN_2, \dots, TN_m\}$ 表示目标节点, TN_i 表示第 i 个目标节点, 共有 m 个。当目标节点移动时, 信标节点通过不断地接收目标节点的信号强度来感知和定位目标节点; 这些信标节点即为感知节点。 $Location INF$ 代表定位信息, 比如监测区域的地理形状(长 L , 宽 W)和定位节点的位置坐标, 这些都是已知的。

1.2 感知节点群模型

(1) 相关术语概念

信标节点: 网络中信标分组已知的节点, 也叫信标节点, 包括节点 ID、位置信息等。

接收信号强度指示(RSSI): 节点接收到的无线信号强度大小。

感知节点群: 在定位目标节点时, 许多信标节点可以同时感知到目标节点, 这些信标节点便建立起一个感知节点群。

(2) 模型建立

假设信标节点均匀地放置, 则一个定位群中的感知节点的数目可能会随着目标节点的移动而有规律的变化。假设所有的传感器节点是一样的, 感知节点群建立模型如图 2 所示。

图 2 中, 目标节点的感知区域与监测区域边界交于 A, B, C, D 四点。假设在 t 时刻, 目标节点移动到 A_i 和 A_{i+1} 之间; r 是传感节点通信半径, d 是两个邻居节点之间的距离, d_c 是两个邻居节点间沿着监测区域边界的直线距离, h 是目标节点在垂直方向上到一条边界的距离。

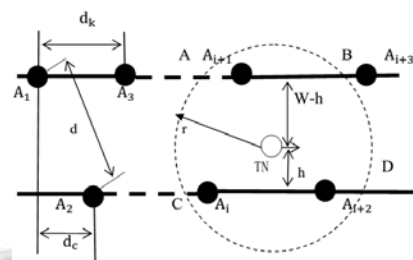


图 2 感知节点群模型

感知群建立算法如下:

- 第 1 步: 输入监测区域地理形状;
- 第 2 步: 输入所有定位节点坐标, 并按上升顺序分类;
- 第 3 步: 根据目标节点的移动状态计算它的坐标;
- 第 4 步: 计算 A, B, C, D 四点的坐标;
- 第 5 步: 筛选出坐标在 $[A, B]$ 或 $[C, D]$ 范围内的定位节点即为感知节点, 它们组成一个感知节点群。

2 基于RSSI的PB算法(PB-RSSI)设计

2.1 垂直平分分割法

基于垂直平分线我们提出了一种定位分割方法, 原理如图 3 所示。

在图 3 中, 黑色实心点表示传感节点, 放在狭长监测区域的边界上(黑色粗线), 目标节点在监测区域内. 和 APIT 一样, PB 也是通过比较从目标节点获得的信号强度 RSSI 值来定位目标节点. 原理如下:

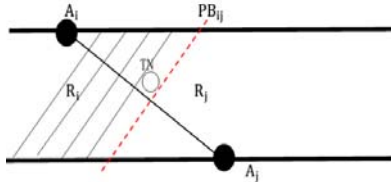


图 3 定位模型

- (1) 如果传感节点 A_i 和 A_j 同时探测到目标节点 TN, 则用直线连接节点 A_i 和 A_j ;
- (2) 绘制 $A_i A_j$ 垂直平分线, 用 PB_{ij} 表示. PB_{ij} 将监测区域分成两个子区域: R_i 和 R_j , 其中 R_i 离节点 A_i 较近, R_j 离 A_j 较近;
- (3) 根据目标节点的 RSSI 确定目标节点 TN 位置. $RSSI(A_i)$ 和 $RSSI(A_j)$ 分别表示 A_i 和 A_j 从目标节点 TN 所接收信号的信号强度, 如果 $RSSI(A_i) > RSSI(A_j)$, 则目标节点 TN 在子区域 R_i , 否则在子区域 R_j .

2.2 PB-RSSI 算法设计

针对链式狭长监测区域, 我们提出了基于 RSSI 的垂直平分定位算法 PB-RSSI. PB-RSSI 包括两个步骤: 寻找感知节点群去定位和感知目标节点. 首先, 找到所有的信标节点, 然后根据信标节点接收到的 RSSI 去定位目标节点.

PB-RSSI 的定位原理如图 4 所示.

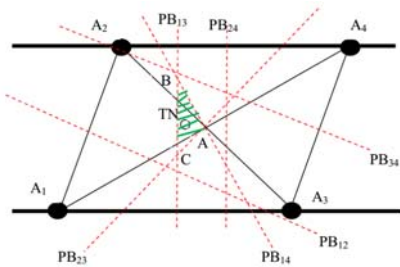


图 4 PB-RSSI 定位示例

PB-RSSI 详细步骤如下:

- (1) 寻找信标节点;
- (2) 信标节点分别接收目标节点的信号, 并获得信号强度值;
- (3) 利用 PB 分割法分割监测区域, 获得最小的分

割区域, 如图 4 阴影部分 ABC;

- (4) 计算该区域的质心坐标作为目标节点的位置.

PB-RSSI 的定位精度取决于两个因素: 传感器节点发送信号的信号强度和分割区域的节点密度. 分割区域的节点密度是最重要的因素, 对于一个给定的监测区域, 定位节点的数目越大, 分割区域的数目越多, 定位精度就越高. 传感器节点接收信号的信号强度是由传感器节点的硬件结构和无线通信方式决定的.

PB-RSSI 定位算法

输入: n 个信标节点 $\{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ 的位置; 监控区域大小
输出: 目标节点 TN 的位置

1. set $i=1$
2. while ($i < n$) do {
3. 选择信标节点 A_i 和 A_{i+1} , 作其垂直平分线 PB_i . PB_i 把监控区域分为 2 个子区域 Z_i 和 Z_{i+1} , 并相交于 V_i 和 V_{i+1} .
4. 节点 TN 根据收到的 RSSI 强度, 判断处于哪个子区域
5. $i=i+1$
6. 求出和上一次所处子区域的交集 }
7. 相交区域的质心即为目标节点 TN 的位置

3 性能评价

在地下隧道中定位矿工是很重要的. 无线传感器网络可以通过沿隧道和在矿工身上放置一些定位节点来定位矿工, 这个定位模型是典型的链式无线传感器网络. 我们通过仿真软件来模拟地下隧道矿工的情况, 并通过与 APIT 定位算法作比较, 评估 PB-RSSI 算法的定位性能.

3.1 评价方法

在无线传感器网络中, 可以使用一系列的参数来评价定位算法的性能, 在这里, 我们使用相对位置误差来评价定位算法的性能.

3.2 仿真实验参数

仿真参数如表 1 所示.

表 1 仿真参数

参数	取值
隧道长度	1000m
隧道宽度	5m
节点通信半径 R	20m
节点间间距 d	10m
目标节点随机坐标	X=15.5 m、Y=2.9 m
信标节点数量	200 个

3.3 仿真结果与性能分析

3.3.1 单一目标结果分析

仿真结果显示, APIT 算法估计目标节点的坐标是 $x_i=13.75m$, $y_i=2.59m$; PB-RSSI 算法估计目标节点的坐标是 $x_i=16.4m$, $y_i=2.51m$; 计算两种定位算法的目标节点的位置误差, 如表 2 所示.

表 2 两种算法定位误差比较

算法	APIT	RPB
定位误差	0.089	0.049

从表 2 我们可以看出, PB-RSSI 算法的最后定位区域比 APIT 小, 定位精度也比 APIT 算法高.

3.3.2 多目标仿真结果

在狭长监测区域中, 假设有 10 个目标节点, 它们的坐标是预先随机设定的.

在这种条件下, PB-RSSI、APIT 的性能受以下两个参数的影响: 传感器节点的通信半径 R 和节点密度. 我们分别讨论这两个参数对定位算法的影响.

(1) 传感节点通信半径对定位精度的影响

定位节点均匀的部署在链式监测区域的边界上, 节点间距为 10m. 定位误差与 R 的关系如图 5 所示.

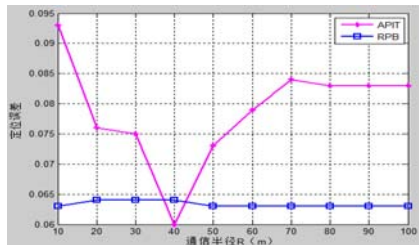


图 5 定位误差与 R 关系图

从图中可以看出, 节点通信半径 R 变化时, 对 PB-RSSI 的定位误差影响不大, 传感节点的通信半径对目标节点的定位误差几乎没有影响; 另外, PB-RSSI 的定位误差较小, APIT 定位误差较大.

(2) 节点密度对定位精度的影响

节点密度大小与相邻节点水平距离 d 成反比, d 越大, 节点密度就越小. 传感节点的通信半径 R 为 20m, 从前面的定位模型我们知道需要满足 $W < d \leq R$, 即 $5 < d \leq 20m$, 定位误差与 d 的函数关系如图 6 所示.

从图中可以看出以下三点:

(1) 两种定位算法的定位误差随着 d 的增加而轻微的增加, 这是因为 d 增加时, 目标节点感知群中的节点会减少, 从而降低了定位精度.

(2) PB-RSSI 的定位误差较低, APIT 的定位误差依然较大.

(3) PB-RSSI 定位误差的变化范围比 APIT 小.

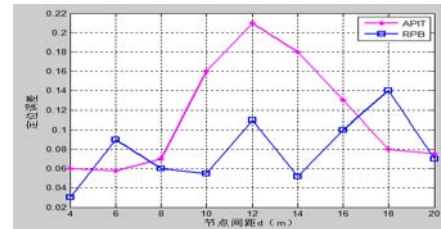


图 6 定位误差与 d 关系

4 结语

节点定位技术是无线传感网络的关键技术之一, 网络的很多应用都以节点位置信息已知为前提条件. 由于传感器节点能量十分有限, 我们在研究节点定位技术时, 必须要满足能量消耗低的要求, 同时定位精度要尽可能地高. 本文针对链式无线传感网络监测区域的特点, 提出了一种基于 RSSI 的距离无关定位算法, 该算法从能量消耗和定位精度两个方面进行设计, 极大程度的延长了节点使用时间.

参考文献

- 1 Bulusu N, Heidemann J. GPS-less low cost outdoor localization for very small devices. *IEEE Personal Communications*, 2000, 7(5): 28–34.
- 2 Doherty L, Pister KSJ. Convex position estimation in wireless sensor networks. *IEEE INFOCOM 2001*. 2001, 3: 1655–1663.
- 3 Tian H, Huang CD. Range-free localization schemes for large scale sensor networks. *MobiCom '03*, September, 2003: 81–95.
- 4 吴学琴. 无线传感网络定位技术及其在煤矿中的应用研究 [硕士学位论文]. 合肥: 安徽理工大学, 2013.
- 5 杨骥, 刘锋. 无线传感网络基于中垂线分割的 APIT 的改进定位算法. *传感技术学报*, 2008, 21(8): 1454–1456.
- 6 邹东尧, 李晨, 刘碧微. 基于垂直平分线的非测距定位算法. *计算机测量与控制*, 2016, 24(2): 202–204.
- 7 赵永杰, 李云飞, 贾俊铖, 等. 信标节点静止的无线传感网定位算法. *计算机应用与软件*, 2015, 32(2): 109–110.
- 8 王岩, 李洪亮. 无线传感网络局部离散节点定位模型仿真. *计算机仿真*, 2013, 30(12): 253–255.
- 9 Chen GZ, Bao JS, Zhang L. A node division location detection scheme for chain-type wireless sensor networks. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2014, 16(1): 79–93.