

文章编号: 1008-1534(2008)03-0134-04

无线传感器网络中的 IMP-HCRL 定位算法

杜朝阳, 谢桂海, 杨 磊

(军械工程学院计算机工程系, 河北石家庄 050003)

摘 要: 分析了 HCRL 定位算法的原理和过程, 在继承了 HCRL 低系统通信开销优点的基础上, 针对其在计算复杂度和定位精度方面的不足, 应用了 3 种改进策略——基于节点无线射程的改进策略、基于等比点的改进策略和基于等力点的改进策略, 提出了改进的 IMP-HCRL 算法。仿真实验表明: IMP-HCRL 定位算法不仅保持了 HCRL 在节省系统通信量上的优势, 同时提高了定位精度, 降低了系统的计算复杂度。

关键词: 无线传感器网络; 定位; IMP-HCRL

中图分类号: TP393; TP212 文献标识码: A

IMP-HCRL: A positioning algorithm in wireless sensor networks

DU Chao-yang, XIE Gui-hai, YANG Lei

(Department of Computer Engineering, Ordnance Engineering College, Shijiazhuang Hebei 050003, China)

Abstract: The principle and process of HCRL algorithm are analyzed. A novel node positioning algorithm, called IMP-HCRL, is proposed, which adopts three improvements, including the strategy based on wireless transmission range, the strategy based on bisector point and the strategy based on isodynamic point, to overcome the drawbacks at computational complexity and localization accuracy of HCRL with low communication overhead simultaneously. The simulation shows that the IMP-HCRL is better than the HCRL in both aspects mentioned above.

Key words: wireless sensor networks; positioning; IMP-HCRL

在传感器网络中, 位置信息对传感器网络的监测活动至关重要, 事件发生的位置或获取信息的节点位置是传感器节点监测消息中所包含的重要信息^[1]。HCRL (Hop-Count-Ratio based Localization) 定位算法^[2]是一种与距离无关、仅利用锚节点到未知节点的跳数比关系的新颖的节点定位算法, 它不使用从平均每跳距离得出的实际跳段距离信息。它相对于 DV-Hop 算法^[3], 锚节点仅向未知节点洪泛广播(flooding)一次自己的位置信息, 而不是 DV-Hop 算法中必须经过 2 次洪泛广播, 使节点间

的通信开销得以降低。笔者提出了一种改进型的 HCRL 定位算法, 改进后的算法在定位精度和系统功耗方面都比 HCRL 算法有较大改进。

笔者把需要定位的节点称为未知节点; 已知位置, 协助未知节点定位的节点称为锚节点(anchor node); 某节点通信半径内的所有其他节点, 称为该节点的邻节点。WSN 的定位精度是指定位误差值与节点无线射程的比例关系^[1]。

1 节点定位算法的分类

近年来, 研究者在定位技术这一领域已经提出了多种算法和解决方案以提供每个节点的位置信息, 根据估算节点位置的机制, 定位算法通常可以分

收稿日期: 2008-03-31

责任编辑: 李 穆

作者简介: 杜朝阳(1973-), 男, 河北安国人, 硕士研究生, 主要从事无线传感器网络方面的研究。

为基于距离的(Range-Based)和距离无关的(Range-Free)2种算法^[4]。

基于距离的定位技术需要测量节点之间的实际距离或角度关系,再使用三边测量(trilateration)、三角测量(triangulation)或最大似然估计(maximum likelihood estimation)等方法计算节点位置。Range-Based 定位常用的测距技术有 RSSI, TOA, TDOA 和 AOA。距离无关的定位技术与 Range-Based 定位技术的最大不同在于未知节点无须测量与锚节点之间距离或角度信息,或者不需要直接测量此类信息,而是根据网络连通性等信息估算出自己与锚节点间的距离。比较典型的 Range-Free 定位算法有 DV-Hop、凸规划、MDS-MAP、Amorphous, APIT 和质心定位算法等^[4]。

Range-Based 虽然在定位精度上有可取之处,但并不适用于低功耗、低成本的应用领域。当定位误差小于传感器节点无线通信半径的 40% 时,定位误差对路由性能和目标追踪精确度的影响不会很大^[4],因此考虑到无线传感器网络的成本、能耗、体积、通信能力与计算能力等因素的限制,距离无关定位算法更具有实际应用意义,使 Range-Free 定位方案倍受关注。

2 HCRL 定位算法的基本机制

2.1 从一次洪泛广播获得位置信息

DV-Hop 和 Hop-TERRAIN 算法通过锚节点间的通信来计算平均每跳的实际距离,但这种机制的缺点是每个从锚节点发出的广播分组都要到达其他锚节点,而且锚节点还要再次向网络中发送带有每跳平均距离的广播分组。在节点密度很高的网络中,这种 2 次洪泛广播机制将造成严重的能量消耗。从第 1 次洪泛广播中,未知节点就能够获得到达每个锚节点的跳数值,那么到任意 2 个锚节点上的跳数之比也就相应得到确定。HCRL 正是利用这个跳数比值进行节点定位^[2]。

2.2 阿波罗尼斯圆(Apollonius Circle)

阿波罗尼斯圆被定义为^[2]若一动点 P 到 2 个定点 A, B 的距离比 PA/PB 是定值,则此动点 P 的轨迹(集合)是一个圆 Γ ,图 1 所示了一个阿波罗尼斯圆。

设点 A 和点 B 为固定点,动点 P 的轨迹是 1 个圆,其中点 P 到点 A 和点 B 的距离比为一个固定值 $m:n (m \neq n)$ 。如果线段 \overline{AP} 与线段 \overline{PB} 长度相等,即 $m=n$,那么动点 P 的轨迹是线段 \overline{AB} 的垂直平分线。

如图 1 所示,阿波罗尼斯圆 Γ 的直径为 \overline{IE} ,其

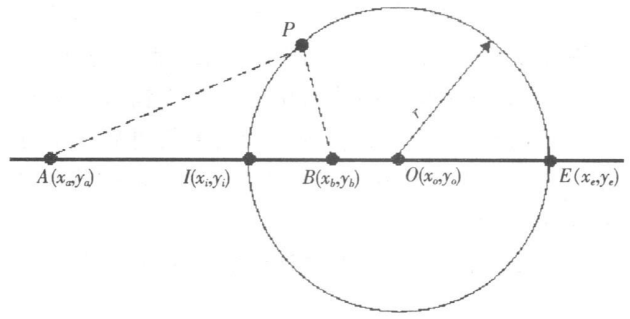


图 1 阿波罗尼斯圆原理图

Fig. 1 Illustration of apollonius circle

中点 I 和点 E 是线段 \overline{AB} 以 $m:n$ 为比例的内分点和外分点。设点 A, B 的坐标分别为 $(x_a, y_a), (x_b, y_b)$, 设点 I, E 坐标分别为 $(x_i, y_i), (x_e, y_e)$, 那么有公式:

$$\begin{cases} x_i = \frac{mx_b + nx_a}{m + n}; \\ y_i = \frac{my_b + ny_a}{m + n}; \\ x_e = \frac{mx_b - nx_a}{m - n}; \\ y_e = \frac{my_b - ny_a}{m - n}. \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} x_o = \frac{x_i + x_e}{2}; \\ y_o = \frac{y_i + y_e}{2}. \end{cases} \quad (2)$$

设点 O 的坐标为 (x_o, y_o) 和阿波罗尼斯圆 Γ 的半径为 r , 那么有公式:

$$\begin{cases} x_o = \frac{x_i + x_e}{2}; \\ y_o = \frac{y_i + y_e}{2}. \end{cases} \quad (3)$$

$$r = \frac{\sqrt{(x_e - x_i)^2 + (y_e - y_i)^2}}{2}. \quad (4)$$

在无线传感器网络中,固定点 A, B 可表示为锚节点,点 P 可表示为未知节点。线段 \overline{AP} 和 \overline{PB} 的距离比可通过计算锚节点 A, B 到未知节点 P 的跳数比求得,这样就可以确定一个阿波罗尼斯圆($\overline{AP} : \overline{PB} \neq 1$)或一条直线($\overline{AP} : \overline{PB} = 1$),未知节点的最终位置就能被多个阿波罗尼斯圆或多条直线的交点所确定。研究表明^[2,5]至少需要 4 个不同的锚节点才可以为 1 个未知节点定位。

2.3 HCRL 定位算法的描述

通过分析可知,未知节点可以从 4 个或更多的锚节点的一次洪泛广播中获取跳数信息,从而计算出自身的位置。HCRL 可分为 3 个阶段,初始阶段、检查分组阶段和节点定位阶段,算法的过程描述如下^[2]。

1) 每个锚节点以洪泛的方式向网络广播带有自身位置信息的分组(FM),其中包括跳数字段(HC)初始化为 1,坐标和节点号(Node ID),

2) 洪泛过程中,未知节点记录到达每个锚节点的最小跳数,忽略来自同一个锚节点较大跳数的分组。

3) 如果接收到的分组中到达某个锚节点的跳数小于之前所记录的值,则用新的数值更新这个分组。过程2和3确保了未知节点从最近的锚节点接收跳数值。

4) 未知节点将分组的跳数值加1,并转发给邻居节点。

5) 如果未知节点接收到来自不同锚节点的分组数量大于或等于4时,这些分组中包含着到达某个锚节点的最小跳数值,则构造若干阿波罗尼斯圆。

6) 用极大似然估计算法计算这些阿波罗尼斯圆的交点,从而未知节点即可实现定位。

3 改进的定位算法

3.1 HCRL 定位算法分析

在HCRL算法中,由于未知节点只需要一次洪泛就可以得到与锚节点的跳数关系,所以欲定位的未知节点只要收到某个锚节点的洪泛广播信息,就可以确定它与锚节点的跳数关系。当该未知节点获取4个以上锚节点即构造 $C(4, 2) = 6$ 个以上阿波罗尼斯圆信息时,就可以实现对自身的定位。相比之下DV-Hop算法还需要再进行一次洪泛广播以传递节点之间的平均每跳距离,因此HCRL算法比DV-Hop算法节省了一次洪泛广播,也就降低了系统的通信开销。

3个阿波罗尼斯圆只能确定未知节点的2个可能位置,即参与定位的锚节点三角形的正、负等力点,HCRL算法为了唯一地确定未知节点的位置必须引入附加的锚节点,构造6个以上阿波罗尼斯圆,而每引入一个附加锚节点就要增加 $(n-1)$ 个阿波罗尼斯圆,其中 n 为参与定位的锚节点数。由此可知,HCRL算法中节点计算复杂度较大。另外,HCRL算法对附加锚节点的选择并未设置任何策略,实验表明这对定位精度产生了较大的影响。

3.2 对HCRL定位算法改进的出发点

由前面分析可知,HCRL算法虽然比DV-Hop算法节省了系统通信开销,然而由于算法自身特点等因素使得定位性能并不是很理想,缺点如下。

1) 阿波罗尼斯圆的定义要求 $\overline{AP} : \overline{PB} \neq 1$,这样就要求为未知点定位的锚节点组与未知节点之间的跳数两两不能相等,这样就增大了它们之间的跳数差,最终使定位误差增大。在锚节点稀疏的情况下,不可定位的节点比例将会增大。

2) HCRL算法需要6个以上阿波罗尼斯圆实

现定位,这增大了系统的计算复杂度,同时也增加了节点的能耗。

3) HCRL算法中没有设置附加锚节点筛选策略,若选择位于定位三角形外接圆上的附加锚节点参与定位,将导致很大的定位误差。

3.3 HCRL定位算法的改进思想

笔者对HCRL算法的改进思想如下

1) 基于节点无线射程的改进策略。利用节点间的跳数 n 与无线射程 R 可以得出节点之间的大致距离在 $(n-1) \times R$ 和 $n \times R$ 之间。当利用3个锚节点计算出未知节点的2个可能坐标位置 (x_u, y_u) 和 (x_v, y_v) 之后,可计算出这2个坐标与跳数最小的锚节点之间的距离 L_u 和 L_v ,如果 L_u 和 L_v 其中只有1个位于 $(n-1) \times R$ 和 $n \times R$ 之间,则把其中满足条件的1个值作为未知节点的估计坐标,并完成定位。如果得出的2个坐标都在该范围之内或者都不在该范围之内,则再用HCRL算法选择第4个锚节点进行定位。

2) 基于等比点的改进策略。由于 $\overline{AP} : \overline{PB} = 1$ 时,未知节点 P 的轨迹为一条直线,若此时仍可以找到另一锚节点 C ,使 $\overline{AP} : \overline{PB} = 1$,那么就可以确定节点 P 的估计位置在这2条直线的交点之上;若不能找到比值恰为1的锚节点 C ,那么3个节点就可以确定一条直线和一个阿波罗尼斯圆,这样一般就可以确定节点 P 的2个可能位置,利用基于节点无线射程的改进策略,很容易就可以舍去一个不可能的节点位置,获得确定的位置信息。

3) 附加锚节点筛选策略。由于锚节点 $\triangle ABC$ 的正、负等力点 P 和 P' 关于 $\triangle ABC$ 的外接圆 O 互为反演,可以得知圆 O 是以 P 和 P' 为交点的阿波罗尼斯圆^[5],且圆 O 上任意一点 X 到 P 和 P' 的比值 λ 由式(5)得出,式中 L 为 $\triangle ABC$ 各边长的平方和, S 为 $\triangle ABC$ 面积:

$$\lambda = \frac{L - 4\sqrt{3}S}{L^2 - 48S^2} \quad (5)$$

若附加锚节点 D 位于 $\triangle ABC$ 的外接圆 O 上,点 D 与点 A 以 $\overline{AP} : \overline{DP} = k$ 为比值构建出阿波罗尼斯圆 O_1 ,那么由 $\overline{AP} : \overline{DP} = \lambda \overline{AP} : \lambda \overline{DP} = k$ 可知点 P' 也在圆 O_1 上。同理可证,点 D 与点 B 和点 C 所构建的阿波罗尼斯圆也经过点 P' ,由此可得,这6个阿波罗尼斯圆具有共同的交点 P 与 P' ,如图2所示。

由以上分析可知,如果附加锚节点位于定位三角形 $\triangle ABC$ 的外接圆上,就不能唯一地确定未知节点的位置信息,从而导致严重的定位误差。因此由公式6设定附加锚节点筛选阈值 AD_thres ,设定三

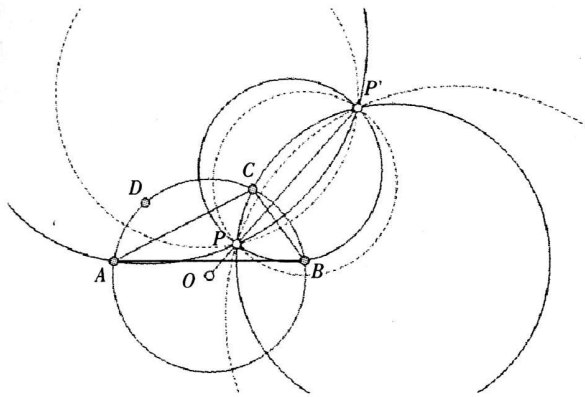


图 2 6 个阿波罗尼斯圆的 2 个共同交点

Fig.2 Two same intersections of six apollonius circles

角形外接圆的半径为 R, 附加锚节点到外接圆圆心的距离为 L。

$$AD_thres = \left| \frac{L-R}{R} \right| \quad (6)$$

根据仿真实验, 设置 $AD_thres \geq 0.15$ 较为适宜, 可获得较高的定位精度。

基于节点无线射程的改进策略和基于等比点的改进策略在降低系统计算复杂度方面对 HCRL 算法做了改进; 附加锚节点筛选策略使 HCRL 算法的定位精度得到了提高。

4 实验仿真

为了评估所提出的改进算法的可用性和有效性, 利用 Matlab 7.0 对 DV-Hop 算法、HCRL 算法及笔者提出的改进算法 IMP-HCRL 进行了实验仿真。笔者在 $100\text{ m} \times 100\text{ m}$ 的矩形区域内随机布置若干节点, 其中锚节点比例为 20%, 其中发送数据包与节点数量的关系见图 3。网络密度与定位精度的关系见图 4。

从图 3 可以看出, HCRL 算法与 DV-Hop 算法相比减少了近 1/2 的系统通信量, 在这方面 HCRL 明显优于 DV-Hop 算法。然而从图 4 可以看出 HCRL 算法在定位精度方面略劣于 DV-Hop 算法, 而改进后算法 IMP-HCRL 比 HCRL 在定位精度方面提高了 3.41%, 同时也降低了 HCRL 算法的计算复杂度, 是一种优于 HCRL 算法的较好定位算法。

5 结 语

HCRL 算法是一种新的面向实际应用的低成本无线传感器网络节点定位算法, 该算法只需一次洪泛广播, 利用到锚节点的跳数比来实现对未知节点的定位, 使得传输开销与计算成本大大降低。改

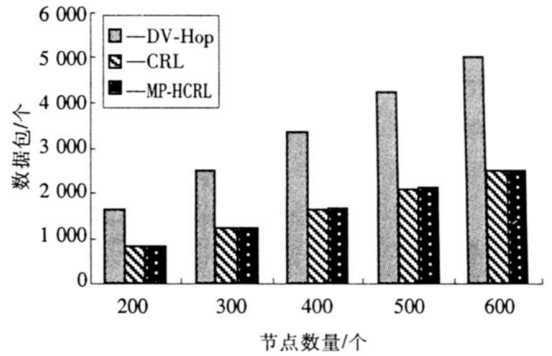


图 3 3 种算法节点数量与所发送数据包的关系图

Fig.3 Relationship of packet transmission and the node number between the three algorithms

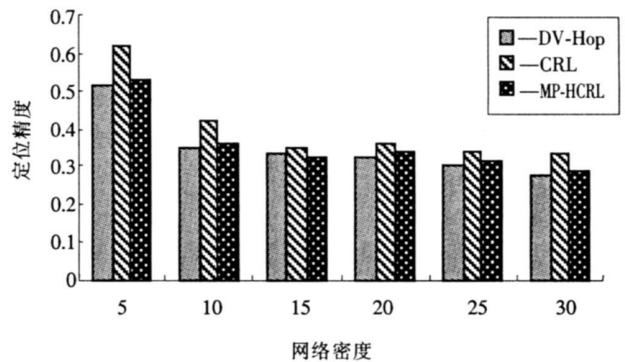


图 4 3 种算法网络密度与定位精度的关系图

Fig.4 Relationship of the three algorithms positioning precision and the network density

进后的 IMP-HCRL 算法提高了 HCRL 算法的定位精度, 降低了系统的计算复杂度, 是一种只需较少的锚节点、较低的传输开销, 而能提供相对准确的定位效果的方法。

参考文献:

- [1] 孙利民, 李建中, 陈 渝, 等. 无线传感器网络[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [2] YANG S W, YI J Y, CHA H J. HCRL: A Hop-Count-Ratio based localization in wireless sensor Networks Sensor[A]. 4th Annual IEEE Communications Society Conference on Mesh and Ad Hoc Communications and Networks[C]. New York: IEEE Publish House, 2007.
- [3] NICOLESCU D, NATH B. Ad-Hoc positioning systems [A]. Proc of the 2001 IEEE Global Telecommunications Conf[C]. San Antonio: IEEE Communications Society, 2001.
- [4] 王福豹, 史 龙, 任丰原, 等. 无线传感器网络中的自身定位系统和算法[J]. 软件学报, 2005, 16(5): 857-868.
- [5] ROGER A. 近代欧氏几何学[M]. 单 尊译. 上海: 上海教育出版社, 1998.