

基于 RGM 算法的锚节点布点算法^①

冯小杰, 彭 勇, 吴锡生

(江南大学 物联网工程学院, 无锡 214122)

摘 要: 目前所有的定位算法都将研究的重点放在如何提高定位精度上面却很少研究如何布置锚节点, 只是在算法中随意的选取满足条件的锚节点, 然而算法并没有明确的对锚节点的布置提出要求, 所以想要随时都能获取合适的锚节点只能随机布置大量的锚节点. 然而大量的增加锚节点的数量势必极大地提高系统的成本并且在实际的布置操作中也是不现实的. 针对以上问题, 文章在 RGM 算法的基础上提出一种优化布点的算法. 算法通过细致的分析每组定位单元在定位区域的覆盖情况, 在满足定位精度条件的基础上计算出每一个锚节点的布置坐标并对锚节点的数量进行精简. 仿真实验表明, 按照该算法来布置锚节点不会降低定位精度.

关键词: 无线传感器网络; 节点定位; 布点算法; RGM 算法; 锚节点

Anchor Node Distribution Algorithm Based on RGM Algorithm

FENG Xiao-Jie, PENG Yong, WU Xi-Sheng

(School of Internet of Things Engineering, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: All current localization algorithm study focuses on how to improve the positioning accuracy, but rarely studies how to arrange node. Just randomly selecting anchor nodes meet the conditions, however, the algorithm does not explicitly request how to arranged anchor node, so you want to get the appropriate anchor node at all times can only randomly arranged a large number of anchor nodes. However, a large number of increasing the number of anchor nodes is bound to greatly increase the cost of the system and in the actual operation of the arranged is unrealistic. Based on the above issue, this paper proposes a distribution optimization algorithm basis on RGM algorithm. Algorithm detailed analysis of the coverage area of each set of positioning unit, positioning accuracy meets the conditions for the basis to calculate the coordinates of each anchor node. Simulation results show that according to the algorithm arranging anchor nodes does not reduce the positioning accuracy.

Key words: wireless sensor networks; node location; distribution node algorithm; RGM algorithm; anchor node

引言

目标定位已经渗透到我们的生产生活的很多细节当中了, 比如旅游景点的人员导航^[1]、无桩公共自行车^[2]等等. 这自然离不开各种各样的定位算法的支撑. 提到目标定位算法自然要提到锚节点, 不管怎样的定位算法都离不开锚节点. 然而, 目前的定位算法都将注意力集中在如何提高定位精度上却很少研究如何布点, 这无可厚非, 然而在实际搭建定位环境时, 如何布点却也是一件非常重要的事情. 布点主要针对两种

情况, 第一种情况是未知节点在定位空间的某一个平面内移动, 比如说无桩公共自行车的车辆只在车站的地面运动, 然而此时锚节点又必须布置在车站的上方因为车站的周围无法布点. 第二种情况是未知节点在定位空间内随意移动. 本文主要针对第一种情况研究怎样花少量的锚节点对未知节点进行高精度的定位.

RGM 算法^[3]是一种常见的基于距离的定位算法, 该算法的基本思想简单, 实现容易, 并且定位功耗小、成本低, 得到了广泛的应用和研究. 然而, 布点时锚

① 基金项目:江苏省产学研联合创新资金项目(BY2013015-35)

收稿时间:2015-11-10;收到修改稿时间:2015-12-20 [doi:10.15888/j.cnki.csa.005237]

节点只是均匀的分布在定位空间内并且在选取锚节点计算未知节点的位置时,算法只是笼统的选取满足条件的锚节点,但是算法并没有明确的指示如何布置锚节点,所以想要随时都能获取合适的锚节点只能随机布置大量的锚节点.然而大量的增加锚节点的数量势必极大地提高系统的成本并且在实际的定位环境中想要在有限的空间内布置大量的锚节点也是不现实的.本文针对该问题在 RGM 算法的基础上提出了一种锚节点的布点算法.

1 RGM定位算法

RGM 定位算法原理: 当任意 2 个定位锚节点与未知节点连线夹角(锐角)都等于 70.5264° 时,定位点的定位误差最小;同时这四个锚节点也构成三维空间的最小定位单元.如图 1 所示.

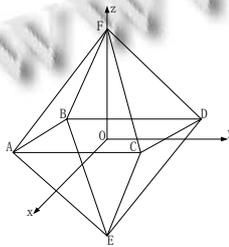


图 1 空间定位误差区域 Ap

RGM 算法是在传统的多边定位算法的基础上,通过选取合理的锚节点使得未知节点的定位误差区域最小,从而提高定位精度. RGM 定位算法主要步骤如下: ①收集信息: 未知节点收集其通信范围内的所有锚节点的信息,如标识号、信号强度等. ②任意选取四个锚节点,未知节点通过接收到的信息计算自身与四个锚节点连线之间的夹角. ③利用每一组夹角满足条件的四个锚节点都计算一次未知节点的位置. ④对所有计算的值取平均值即为未知节点的位置估计.

2 布点算法

RGM 定位算法的第二步和第三步需要选择一组任意两个定位锚节点与未知节点连线夹角(锐角)都等于 70.5264° 的四个锚节点来计算未知节点的位置,对于一个面积较大的定位区域上的每一个位置都要找到满足条件的锚节点所需要的锚节点数量将会相等惊人,这在实际情况中是不可能的.

根据 RGM 定位算法原理所述,四个满足条件的

锚节点即可以构成三维空间的最小定位单元,并且每组满足条件的锚节点两两之间的夹角会有大小为 λ 的阈值,这就导致了四个锚节点能够产生一定的有效定位区域,只要求出四个锚节点所能确定的有效定位区域的面积(后面我们称之为定位胞),再根据实际的定位区域的面积即可以求出所需锚节点的个数以及位置.

首先要根据锚节点两两之间夹角的阈值求出定位胞的大小,由于定位胞的大小受到四个锚节点两两之间夹角变化的影响,为了方便计算我们取相对的两组锚节点与未知节点连线夹角的变化来求取定位胞的大小.如图 2 所示.

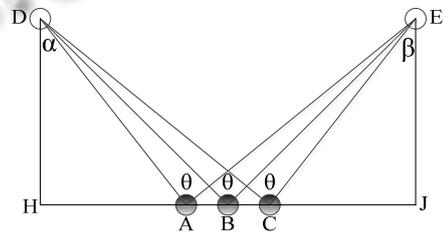


图 2 最小定位单元剖视图

图中 D、E 为相对的一组锚节点,未知节点在 B 位置时 θ 等于 70.5264° , AC 为 θ 在夹角阈值内变化时未知节点的变化区域,锚节点的高度 DH 为 h. 以 H 为原点, HJ 为 x 轴, HD 为 y 轴建立坐标系,因为未知节点在 B 点时 θ 为 70.5264° ,所以 $DE=HJ=2h \times \tan 35.3$.

假设未知节点在 A 位置,角 HAD 为 α ,角 AEJ 为 β ,A 在 x 轴上的位置为 x 则:

$$\tan \alpha = \frac{x}{h}$$

$$\tan \beta = \frac{HJ - x}{h}$$

又 $\theta = \alpha + \beta$ 得 θ 与 x 的关系为:

$$\theta = \arctan \frac{HJ \times h}{x^2 - HJ \times x + h^2} \tag{1}$$

对 θ 求导得:

$$\theta' = \frac{1}{1 + \left(\frac{HJ \times h}{x^2 - HJ \times x + h^2}\right)^2} \times \frac{-HJ \times h(2x - HJ)}{(x^2 - HJ \times x + h^2)^2} \tag{2}$$

由上式可得 θ 随着 x 的增大而增大,当 $x=HJ/2$ 时 θ 开始随着 x 的增大而减小. 即当 $x=HJ/2$ 时 θ 取得最大值 70.5264° ,此时未知节点在 B 点处,且未知节点在点 A 和点 C 时 θ 的值都为 $70.5264^\circ - \lambda$. 此时可以求

得点 A 和点 C 的位置, 方程为:

$$x^2 - HJ \times x + h^2 - \frac{HJ \times h}{\tan(70.5264^\circ - \lambda)} = 0 \quad (3)$$

AC 长度为方程两解的差值, 则:

$$AC = \sqrt{(HJ)^2 - 4 \left(h^2 - \frac{HJ \times h}{\tan(70.5264^\circ - \lambda)} \right)}, \lambda \in [0, 5] \quad (4)$$

则 AC 的长度只与 h 和 λ 有关, 再结合另外一组锚节点即可以求出定位胞的大小, 如图 3 所示.

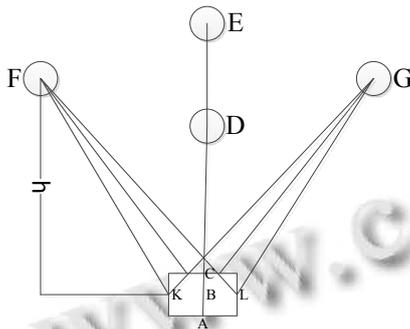


图 3 三维空间最小定位单元

图中 DEABC 即为图 2 从侧面看的情况, 而 FKBLG 的分布情况和图 2 是一样的, 即 KL=AC. 取定位胞为图中正方形, 其面积为 S, 则:

$$S = 4h^2 \left(\frac{1.42}{\tan(70.5264^\circ - \lambda)} - 0.5 \right), \lambda \in [0, 5] \quad (5)$$

由式可得定位胞的面积大小由 h 和 λ 大小决定, 假设 h=3m, 当 λ 为 0 时 S=0, 当 λ 为 5 时定位胞大小约为边长 2.3 米的正方形, λ 的值可以根据实际情况在 0 至 5 内取值.

假设有一个 M×N 大小的定位区域需要进行布点, 如图 4 所示.

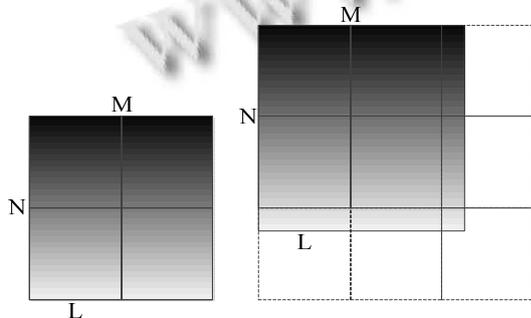


图 4 定位区域布点示意图

图中黑色的大正方形是 M×N 大小的定位区域, 小的正方形为边长 L 的定位胞. 当 M、N 的长度正好都为 L 的整数倍, 如图 4(a)所示时需要(M/L)×(N/L)个定位胞, 即需要 4×(M/L)×(N/L)个锚节点. 当 M、N 的长度不都是 L 的整数倍, 如图 4(b)所示, 此时边上无法整除导致多出来的部分也需要用一个定位胞来填充, 所以一共需要 [(M/L)×(N/L)] 个定位胞, 即需要 4×[(M/L)×(N/L)]个锚节点. 在实际的定位环境当中, 锚节点的高度是已知的, 我们只需要选取合适的坐标系以及角度阈值 λ 就可以轻松的求出此区域需要的锚节点总数以及每个锚节点布置的坐标.

当实际的定位区域面积比较大时可以选取较大的 λ 值, 这样定位胞的面积就会比较大从而在保证定位精度的条件下减少需要的锚节点数量. 当定位区域的面积较小时可以选取较小的 λ 值, 这样定位胞的面积比较小从而定位精度较高.

通过上面的方法我们就可以依据定位环境的具体情况精确地计算各个锚节点的坐标然后布点, 虽然此时我们有了依据来计算锚节点的位置, 不需要再盲目的布点. 但是, 当定位区域的位置较大时, 我们依然需要大量的锚节点来满足高精度定位的需求. 如图 5 所示.

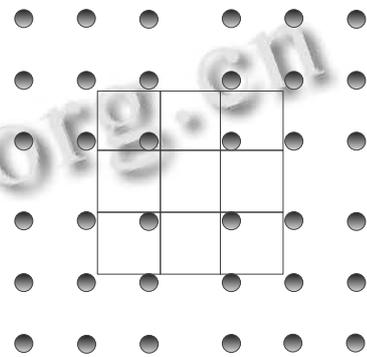


图 5 锚节点布点图

图示为定位区域的俯视图, 图中大方块表示由定位胞组成的定位区域, 黑色圆点表示锚节点. 如图所示, 由 9 个定位胞所组成的定位区域需要 36 个锚节点来完成定位. 但是, 此时的锚节点的位置相当密集. 随着定位胞数量的增加锚节点以 4 倍于定位胞增加的速度增加, 随着锚节点数量的增加可能会出现锚节点之间距离极小甚至完全重合的极端情况. 此时, 我们可以将距离小于一定值的锚节点合并起来, 这样不仅

不会太过影响未知节点的定位精度，而且能够有效的减小锚节点的数量。

首先，保存实际计算得到的所有锚节点的坐标到二维数组 Anchornode[][3]中。

接着，首先以第一个点为参考，计算其他所有点到第一个点的距离，将距离小于 d 的所有点全部删除得到一个新的二维数组。再以第二个点作为参考，计算它后面所有的点到它的距离也将距离小于 d 的点删除。以此类推，直到最后一个点。Anchornode[][3]中剩余的点就是最终锚节点的位置信息。

3 布点算法流程

依据上文的算法模型，定位算法描述如下：

(1)根据实际的定位环境得到锚节点的布置高度，并且根据定位区域的大小选取合适的 λ 值计算定位胞的大小。

(2)根据定位胞的大小以及定位区域的大小计算出实际需要的定位胞的数目。

(3)选取合适的坐标系根据定位胞的信息计算出所有的锚节点的位置信息。

(4)以 d 为裕量通过计算机筛选重合的或者非常接近的锚节点，筛选出的每组锚节点只保留一个从而得出最终的锚节点位置信息。

4 仿真实验

利用 MATLAB 建立一个 10m×10m×3m 空间的定位仿真环境，每一个未知节点能够接受到全部锚节点的信息，取 4 个参考节点，比较 RGM 定位算法在参考节点均匀分布在定位区域的情况下以及参考节点通过布点算法计算并布置的情况下定位算法的性能以及所需要的锚节点的个数。

仿真 1: 定位算法取 h 为 3m, λ 的值为 5°。由上文可得此时的定位胞的大小为边长 2.3m 的正方形，通过计算求出所有锚节点的坐标值，再通过 d 值进一步精简锚节点的数量。比较在不同 d 值得情况下采用均匀布点和采用布点算法布点时所需要的锚节点数量。结果如图 6 所示。

图 6 所示为整个定位区域都需要严格满足高精度定位要求情况下的锚节点数量与 d 值大小的关系，可以看出，随着 d 值得增大布点算法所需的锚节点数量持续减少，尤其是在 d=0.3m 左右时所需锚节点数量下

降最快，而均匀布点则没有变化。然而在实际的定位情况下，并非整个定位区域都需要严格满足高精度定位要求，所以在实际应用中锚节点的数量还可以进一步减少。

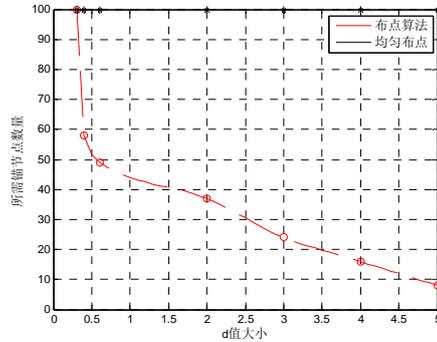


图 6 锚节点数量对比

仿真 2: 定位算法取 h 的值为 3m, λ 的值为 5°, d 的值为 0.5m, 参考节点布置在指定位置。测量 20 次，仿真结果如表 1 所示。

表 1 20 次测量仿真结果

布点方式	实际坐标	计算坐标	误差(%)
均匀布点	(3.8,4.2,0)	(3.835,4.26,0)	0.49
布点算法	(3.8,4.2,0)	(3.848,4.152,0)	0.48

表 1 的数据是 RGM 定位算法在均匀布置锚节点和采用布点算法布置锚节点的情况下 20 次测量的未知节点的实际坐标与计算坐标误差的对比。由于本算法是针对空间中 z=0 平面的布点算法，所以，所有坐标的 z 值都为 0。对比可知，采用布点算法并没有降低未知节点的定位精度。

仿真 3: 取多个测量次数，观察 RGM 定位算法在两种布点情况下各进行多种测量次数的误差。仿真结果如图 7 所示。

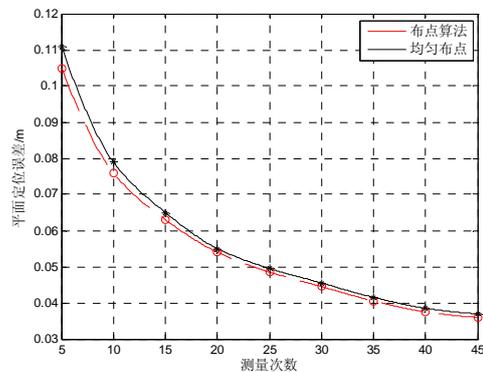


图 7 不同次数下的仿真结果

由图 7 可以看到,采用布点算法布点的定位误差和均匀布点的定位误差没有明显的区别,随着测量次数的增加,误差都不断减小.并且,采用布点算法的定位误差始终略低于均匀布点的定位误差.

5 结语

本文在 RGM 算法的基础上提出一种优化布点的算法.该算法通过计算最小定位单元在合适的误差条件下所确定的定位胞大小并且利用定位胞铺满定位区域来计算锚节点的布置坐标,并且取合适的 d 值利用计算机来精简锚节点的数量.最终提出一种合理的锚节点布点算法,并且此算法不会降低锚节点的定位精度.

参考文献

- 1 吴亮.基于 ARM 及 GPS 的景点移动导游系统的研究与设计[学位论文].成都:电子科技大学,2013.
- 2 周小华.无桩式公共自行车租赁系统的研究与实现[学位论文].长沙:湖南大学,2013.
- 3 陆保国,袁杰.无线传感器网络的三维空间定位算法.计算机工程,2011,37(14):97-99.
- 4 周艳,李海成.基于 RSSI 无线传感器网络空间定位算法.通信学报,2009,(6):75-79.
- 5 Carli M, Panzieri S, Pascucci F. A joint routing and localization algorithm for emergency scenario. Ad Hoc Networks, 2014, 13: 19-33.
- 6 Wang K, Liu YH, Li L. A simple and parallel algorithm for real-time robot localization by fusing monocular vision and odometry/AHRS sensors. Mechatronics, IEEE/ASME Transactions on, 2014, 19(4): 1447-1457.
- 7 周勇,夏士雄,丁世飞,等.基于三角形重心扫描的改进 APIT 无线传感器网络自定位算法.计算机研究与发展,2015, 46(4):566-574.
- 8 Li N, Becerik-Gerber B, Krishnamachari B, et al. A BIM centered indoor localization algorithm to support building fire emergency response operations. Automation in Construction, 2014, 42: 78-89.
- 9 李征航.空间定位技术及应用.http://video.chaoxing.com/serie_400005680.shtml.2003.
- 10 Nair KK, Kiremidjian AS, Law KH. Time series-based damage detection and localization algorithm with application to the ASCE benchmark structure. Journal of Sound and Vibration, 2006, 291(1): 349-368.
- 11 Zhou Y, LI H. Space localization algorithm based RSSI in wireless sensor networks. Journal on Communications, 2009, 6: 75-79.
- 12 伍建国,王峰.城市道路交通数据采集系统检测器优化布点研究.公路交通科技,2004,21(2):88-91.
- 13 Tian S, Zhang X, Wang X, et al. A selective anchor node localization algorithm for wireless sensor networks. International Conference on Convergence Information Technology. 2007. IEEE. 2007. 358-362.
- 14 张勇.基于 ZigBee 无线测距模型的建立.煤炭技术,2012, 31(9):121-122.