

Rectangular Gas Source Localization Algorithm Based on Wireless Sensor Networks

Yong Zhu, Xin-Ming Zhang, Wei Jiang

Key lab of Electronic Engineering, Heilongjiang University, Heilongjiang Province, Harbin, 150080

1. e-mail heidatemp@yahoo.com.cn, 2. e-mail zxm01@yahoo.com.cn, 3. e-mail jiangwei_602@yahoo.com.cn

Abstract: Based on the attenuation model of plume source, this paper present rectangle localization algorithm(RT), and compares the rectangle localization algorithm with direct trilateration algorithm(DT). Simulation results show that under the simulation of larger background noise, the rectangular localization algorithm and direct trilateral localization algorithm have a larger error, but rectangular localization algorithm can get better accuracy; when the noise get smaller, RT has better accuracy than DT; RT has the such advantages, more simple calculation model and higher accurate, smaller computing work.

Keywords: wireless sensor network; gas source; rectangular positioning; direct trilateral

基于无线传感器网络的矩形气体源定位算法

朱勇, 张昕明, 姜巍

黑龙江大学 电子工程重点实验室, 黑龙江 哈尔滨, 150080

1. E-mail heidatemp@yahoo.com.cn, 2. E-mail zxm01@yahoo.com.cn, 3. E-mail jiangwei_602@yahoo.com.cn

【摘要】 本文是在现有的气体源浓度衰减模型上, 提出了矩形定位算法(RT), 并采用 RT 与直接三边算法(DT)对气体源定位进行了对比研究。仿真结果表明在环境背景噪声较大的情况下, 矩形算法和直接三边算法有着较大的误差, 但矩形定位算法的准确性要更好一些, 当环境噪声越小时矩形算法的准确性越好于直接三边算法; 矩形算法的主要优点是简单、准确和速度快。

【关键词】 无线传感器网络; 气体源; 矩形定位算法; 直接三边算法

1 引言

无线传感器网络(wireless sensor network, WSN)是由无线传感器节点构成的, 是一种新型的数据采集技术。WSN 综合了微电子学和无线网络等多门学科, 在军事、生态环境监测、基础设施安全、制造业、物流管理、医疗健康、工业控制、智能交通等领域有着广泛的应用前景^[1~3]。以往有关气体源定位的研究主要通过装有嗅觉传感器的机器人进行搜索, 利用机器人之间的协作完成气体源的定位^[4]。与机器人之间的协作相比, WSN 在气体源的定位方面有着节点价格低廉、网络分布广泛和实时监测等优点, 但也有节点能源、计算能力以及存储资源有限等方面的缺点。气体源定位的研究目标是在减少能量的损耗和硬件成本前提下, 在不同的环境中, 选择最合理最高效的定位算法。研究准确快速的定位算法来确定气体源的位置具有重要的理论意义与实用价值。

本文对矩形算法(RT)和直接三边算法(DT)进行

对比研究, 这两种算法都具有简单和运算量小的优点, 但环境噪声小时 RT 比 DT 算法的准确度更高。

2 仿真模型

为了仿真 WSN 的算法, 作如下假设^[5]:

(1) 在理想条件下, 气体源的扩散按照各向同性传播, 当气体在环境中传播时, 环境因素不改变、不考虑风向和障碍物的遮挡的影响;

(2) 气体源释放的气体浓度, 在定位过程中不改变, 为常数 C;

(3) 在传感器所在方形区域内, 随机分布一个坐标为 $P(x, y)$ 的气体源, 预估计坐标为 $E(x_e, y_e)$;

(4) 传感器节点固定分布, 各个传感器节点本身位置已知, 坐标为 (x_i, y_i) ;

气体源扩散模型如下: s_i 为第 i 个传感器节点测定的气体浓度值。

$$s_i = c/d_i^2, \text{ 其中 } d_i = [(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

3 无线传感器网络定位方法

目前定位算法的主要分为三类：直接测量距离或角度的定位、多跳通信的定位和坐标系统转换的定位。基于直接测量距离或角度的定位算法又可以进一步分为：利用 RSSI 的定位^[6]、利用 TOA 的定位^[7]、利用 TDOA 的定位^[8]和利用 AOA 的定位^[9]。其中，基于 RSSI 的定位是利用已知的发射节点信号强度和接收节点接收到的信号强度，计算出信号的传播损耗；WSN 定位算法是利用已知的气体源浓度和接收节点探测的气体浓度并利用理论模型和经验模型将传播损耗转化为距离，从而计算出节点位置，最后对得到的位置坐标进行修正^[10,11]。

3.1 矩形气体源定位算法 RT

在二维平面区域内，预先设置四个传感器节点，并知道这四个传感器节点的坐标分别为 $A(x_1, y_1)$, $B(x_2, y_2)$, $C(x_3, y_3)$, $D(x_4, y_4)$ 。四个节点到气体源的距离用式(1)计算得出，分别记为 d_1, d_2, d_3, d_4 。

矩形定位算法原理是在要求较高的定位精度和尽量减少硬件成本前提下，通过增加传感器节点数量达到这一目的。利用式(1)，得出传感器节点到气体源的距离 d_i ，利用质心算法及解方程组的思想求得预估气体源的位置。首先，传感器节点探测出其周围的气体浓度值；其次，根据气体源模型计算出到气体源位置的距离 d_i ，可以得出气体源位置处于以该传感器节点为中心，以 d_i 为半径的圆内，同理，其余三个传感器节点构成另外三个圆；最后，若这四个圆相交于一个公共区域，则该气体源位置一定位于这个公共区域内，如图 1 所示，根据质心原理可求出气体源坐标。若四个圆交于一点，如图 2 所示，则交点坐标就是气体源的坐标。

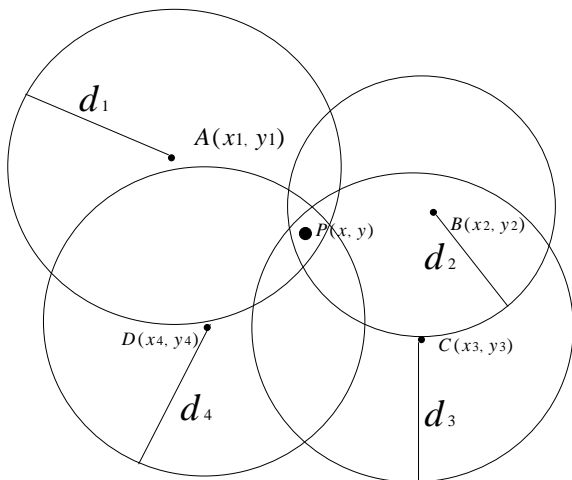


图 1. 矩形定位算法（四个圆相交与一个区域）

(1)四个圆交于一个区域：由式(1)及已知的节点坐标可得四个圆的方程：

$$(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 = c/s_1 \tag{2}$$

$$(x_2 - x)^2 + (y_2 - y)^2 = c/s_2 \tag{3}$$

$$(x_3 - x)^2 + (y_3 - y)^2 = c/s_3 \tag{4}$$

$$(x_4 - x)^2 + (y_4 - y)^2 = c/s_4 \tag{5}$$

确定公共区域的交点坐标：取方程(2)和(3)组成方程组，解方程组得 A、B 两个圆的交点坐标分别为 P_1, P_2 。又根据(6), (7)式，得出两交点到 C 节点的距离，分别记为 D_1, D_2 。

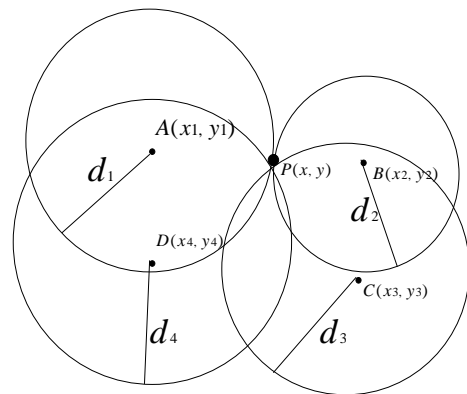


图 2. 矩形定位算法

$$D_1 = \sqrt{[(x_{p1} - x_3)^2 + (y_{p1} - y_3)^2]} \tag{6}$$

$$D_2 = \sqrt{[(x_{p2} - x_3)^2 + (y_{p2} - y_3)^2]} \tag{7}$$

如果 $D_1 > D_2$ 说明 P_2 点距离传感器节点 C 比较近，保留 P_2 舍去 P_1 ，此过程采用循环的方式判断。同理能求出离传感器 A, B, D 近的交点，设四个交点坐标分别为 $(x_{p1}, y_{p1}), (x_{p2}, y_{p2}), (x_{p3}, y_{p3}), (x_{p4}, y_{p4})$ ，这四个点就是四个圆相交的区域端点坐标。由(8),(9)式得气体源预估计坐标 $E(x_e, y_e)$ 。

$$x_e = 1/4 \sum_{i=1}^4 x_{pi} \tag{8}$$

$$y_e = 1/4 \sum_{i=1}^4 y_{pi} \tag{9}$$

此方法可以扩展到三维空间对气体源定位；当扩展到多边形定位算法时，可采用循环方法。

一般情况下的二维质心算法公式如下，其中 n 是传感器节点数目总和。可扩展到多维质心算法。

$$x_e = 1/n \sum_{i=1}^n x_{pi} \tag{10}$$

$$y_e = 1/n \sum_{i=1}^n y_{pi} \tag{11}$$

(2)四个圆交于一点(交点就是要定位的气体源位置)

四个圆交于一点时，四个圆的交点即为气体源所在位置，是通过(1)式求出节点到气体源位置的距离 d_i ，分别以 d_i 的长度为半径画圆，四个圆的交点即为气体源的位置，由于四个圆交于一点，任意两个圆的交点也在其余两个圆上，如图 2 所示。根据理论模型和图形可得以下方程组并解得源的位置为 $E(x_e, y_e)$ 。

$$(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 = C/S_1 \quad (12)$$

$$(x_2 - x)^2 + (y_2 - y)^2 = C/S_2 \quad (13)$$

3.2 直接三边算法 DT:

下例是直接三边算法在求气体源位置时的两种情况:

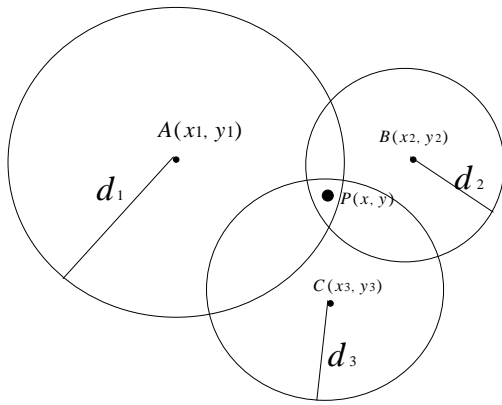


图 3. 直接三边 (相交于一个区域)^[12]

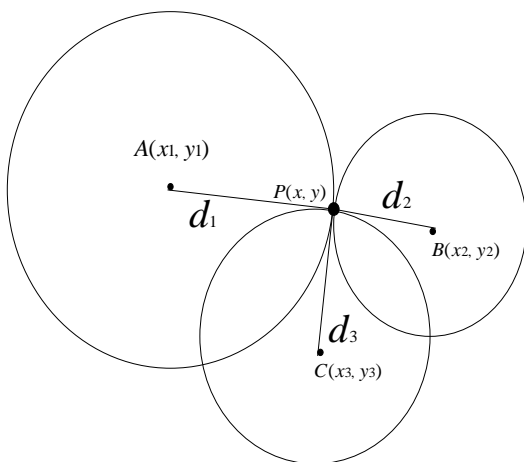


图 4. 直接三边算法^[12]

(1)三个圆交于一个区域时，根据图 3 和式(1)，可知 A、B、C 三个圆的方程为(2)，(3)，(4)解方程组及

根据质心原理得气体源预估计坐标 $E(x_e, y_e)$

(2)三个圆交于一点时，如图 4 所示，这种情况与四个圆交于一点的解法类似，通过解方程组就能求得预估计气体源的位置 $E(x_e, y_e)$ 。

3.3 实际应用

在监测一个区域时，根据传感器的性能和区域的大小，可以把四个传感器放置在监测区域的四个角落或者放置于四边的中点，这四个节点构成一个矩形，当区域较大或提高准确度时，也可以将区域分成为若干小的矩形区域，从而每个小区域都可以用矩形法来对各自区域内气体源进行监测。

4 仿真实验结果分析

为了对上述两种定位算法进行更好的性能对比，搭建如下仿真平台：本文的仿真是研究单个气体源定位算法，且噪声满足正态分布。气体源位置随机分布在 2 维空间的方形区域和三角形区域，传感器节点位置相对固定，但节点的距离从 10 增加到 100，气体源位置在每次仿真时随机产生。

改变传感器节点间距离，预估源位置平均误差的仿真结果：图 5~8 给出了不同传感器节点间距离与预估源定位平均误差的关系。DT 定位算法和 RT 定位算法在大噪声情况下(图 5)，传感器节点间距离超过 35 时都不能得到理想的结果，因为这时传感器节点离气体源的距离较远，大噪声导致测量结果有较大的误差，但是当传感器节点间距离小于 35 时相对定位的准确度还在接受的范围内；图 5 上还能看出 RT 定位算法要比 DT 定位算法性能要有优势。当噪声的强度减小到服从标准正态分布 $N(1,100)$ 时(图 6)，DT 定位算法和 RT 定位算法的性能都有显著的提高，在同样的可接受范围内节点间距离可以增加至 70 左右，而 RT 算法比 DT 算法总体来说还是有更高的定位精度。图 7 说明当噪声的强度进一步降低时，两种算法的准确程度进一步增加，这时能看出 RT 的定位的准确度要比 DT 算法好很多。当噪声达到 $N(0,1)$ 分布时(图 8)，RT 定位算法要比 DT 定位算法有绝对的优势，即使节点间距离增大到 100 仍有非常高的定位准确度。虽然 RT 和 DT 两种算法是一种比较简单直观的方法，但有很大的实用价值，尤其是相对性能更高的 RT 定位算法，可以节约硬件和软件资源从而达到降低成本的目的，其定位运行速度快，可以及时做出预警，在实际应用中其重要意义和价值。

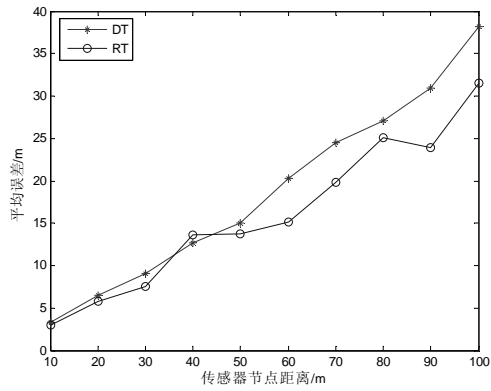


图 5. 不同节点间距离与平均误差(噪声~N(10,100))

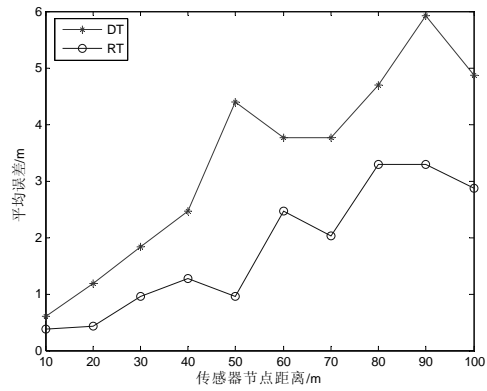


图 7. 不同节点间距离与平均误差(噪声~N(1,10))

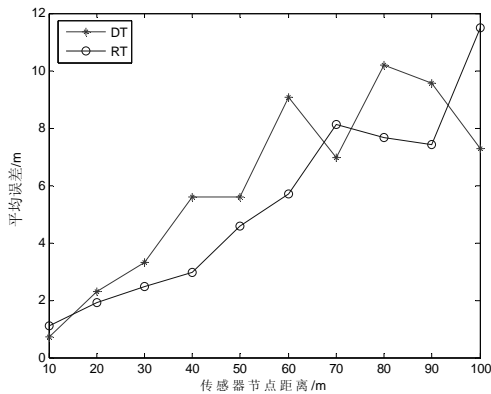


图 6. 不同节点间距离与平均误差(噪声~N(1,100))

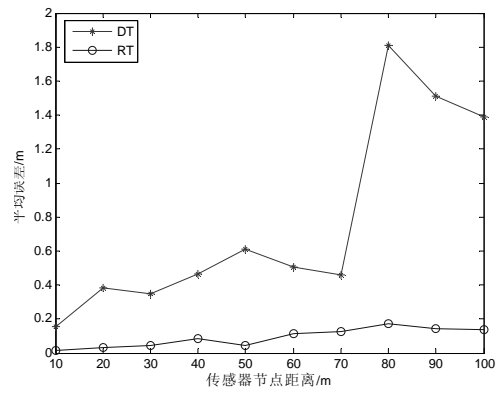


图 8. 不同节点间距离与平均误差(噪声~N(0,1))

5 结论

本文基于理想环境下的气体源浓度衰减模型将无线传感器网络应用于气体源的预估定位，采用了 RT 定位算法和 DT 定位算法进行对比研究。

RT 算法是一种数学原理简单的无线传感器网络定位算法，RT 和 DT 两种算法都有简单、直观、准确和快速的特点，在相同强度的噪声及相同节点间距离时，RT 定位算法要比 DT 定位算法有更好的预估准确性。未来的工作应主要考虑针对实际环境的不同，如风向条件、障碍物和地面状态等环境因素，因此将使用更加真实的模型和不同的定位算法，向具体应用方向研究发展，而且以便得到更好的定位模型和算法。

致谢

References(参考文献)

[1] F. Zhao and L. Guibas, *Wireless Sensor Networks: An Information Processing Approach*. San Francisco, CA: Morgan Kaufmann, 2004.

[2] I. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "A survey on sensor networks," *IEEE Communications Magazine*, pp.102-114, Aug.2002.

[3] C. Chong and S. Kumar, "Sensor networks: Evolution, Opportunities, and challenges," in *Proceedings of IEEE*, Aug. 2003.

[4] Zarzhitsky D, Spears D F, Sp earsW M. Distributed robotics approach to chemical plume tracing [A]. *Proceedings of the IEEE /RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems [C]*. Edmonton: IEEE R SJ, 2005.4034-4039.

[5] Michaelides M P, Panayiotou C G. Plume source position estimation using sensor net works [A]. *Proceedings of the 13th Mediterranean Conference on Control and Automation [C]*. Limassol, Cyprus: IEEE CN F, 2005.7312736.

[6] Bahl P, Padmanabhan V N. RADAR: An in building RF-based user location and tracking system. *Proceeding of the IEEE INFOCOM*, Tel Aviv: IEEE Computer and Communications Societies, 2000, Vol.2, 775-784.

[7] Savvides A, Han C, Srivastava M. Dynamic fine-grained localization in ad-hoc networks of sensors. *7th ACM Int. Conf. on Mobile Computing and Networking (Mobicom)*, Rome, Italy, July2001:166-179.

[8] Priyantha N B, Chakraborty A, Padmanabhan H. The cricket location support system. *Proceeding of 6th ACM International Conference on Mobile Computing and Networking(MOBICOM)*.Boston, August 2000: 32-43.

- [9] D Niculereu, B Nath. Position and Orientation in Ad Hoc Networks. Elsevier Ad Hoc Networks, Apr: 2004, vol.2, no.2, 133-51
- [10] H E T, Huang C, Blum B M, et al. Range-free localization schemes for large scale sensor networks [A]. Proceedings 9th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (Mobicom) [C]. San Diego: MOBICOM, 2003.81-295
- [11] J Aspnes, T Eren, D K Goldenberg, et al. A Theory of Network Localization. IEEE Transactions on Mobile Computing, December 2006.
- [12] Zenon Chaczko, Ryszard Klempous, Jan Nikodem, and Michal Nikodem "Methods of Sensors Localization in Wireless Sensor Networks", Proceedings of the 14th Annual IEEE International Conference and Workshops on the Engineering of Computer-Based Systems (ECBS'07)