

无线传感器网络非线性方程声音目标定位算法

戎舟, 刘瑞兰

(南京邮电大学自动化学院, 江苏南京 210003)

摘 要:无线传感器网络基于声音能量的目标定位法中,非线性方程定位算法运算速度较快,占用资源小,但测量噪声使得方程容易出现无解的情况。论文从去除噪声的角度,采用增加采样次数和选择声音信号最大值求解的方法进行了改进,解决了方程经常无解的缺点,实现了针对单目标的方程法定位估计。该方法易于实现,当网络中节点数较多时,只需通过一个方程组求解,保持了运算速度快的特点,仿真结果表明当节点数不多时该算法也能达到较好的估计准确度。

关键词:无线传感器网络;声音能量;目标定位;非线性方程;能量衰减

中图分类号:TP393

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2011)11-0065-04

Acoustic Target Location Algorithm of Nonlinear Equation in Wireless Sensor Network

RONG Zhou, LIU Rui-lan

(College of Automation, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

Abstract: Nonlinear equation algorithm spends less calculation time and less resource among the method for target location using acoustic energy measurement in wireless sensor network. But the nonlinear equation is easy to be no solution because of measurement noise. From the angle of decreasing the noise, adding samples and searching the maximum values of energy are used to resolve the equation to reduce the case of no solution in target location. Location estimation based on the nonlinear equation is completed for single target. The method is simple and is easily realized. The solution also can be given only through one equation set when there are many nodes in wireless sensor network. It spends less calculation time. Simulation results show that it has a good performance of estimation with a few nodes.

Key words: wireless sensor network; acoustic energy; target location; nonlinear equation; energy attenuation

0 引言

无线传感器网络的定位包括节点自身定位和目标定位,节点定位是无线传感器网络进行目标识别、监控、跟踪等众多应用的前提^[1]。目标定位利用多个传感器节点对无线传感器网络区域内的目标信息进行采集,通过相应的算法能测算出目标对象的位置。

基于声音信号的定位具有不易受电磁波干扰、不受视线和能见度影响等特点。国内近20年来在这一方面开展了大量研究工作,主要集中在采集声信号数据的传声器阵列设计方面的研究和声目标定位算法的研究两个方面^[2],近年来基于无线传感器网络目标定位的研究越来越多。

根据声源信号进行目标定位的方法主要有TDOA^[3](Time Delay of Arrival)、DOA^[4](Direction of

Arrival)、基于目标声音能量的测量方法。TDOA方法用于宽带信号,对节点之间的时间同步精度有非常高的要求,DOA方法用于窄带信号,对硬件要求比较高,需要大量的计算和通信开销,声音能量目标定位对硬件要求低、不需要目标的先验知识,易于实现,比较适合于无线传感器网络。

最小二乘定位通过寻找多个“能量比”表征的超球面交集来估计目标位置,分为非线性最小二乘算法和线性最小二乘以及改进的算法^[5-7],极大似然法根据噪声的分布得出似然函数,使似然函数最大的目标位置即为估计值^[8,9],文献[10]在此基础上提出了基于最优化极大似然估计的目标定位算法。质心定位算法以距离最近的几个节点位置平均或加权作为估计^[11-13]。最近点定位算法^[14,15]将最大的声音能量节点位置作为目标的估计位置。方程法利用能量与距离的衰减公式建立非线性方程。最小二乘和极大似然属于高精度定位算法,但算法复杂,运算速度慢。质心法、最近点法和方程法属于低精度定位算法,但运算速度快,易于实现。

收稿日期:2011-03-30;修回日期:2011-07-11

基金项目:南京邮电大学攀登计划(NY2007057)

作者简介:戎舟(1970-),女,博士,副教授,主要研究方向为无线传感器网络、网络化测控技术;刘瑞兰,博士,副教授,主要研究方向为工业建模与仿真、多传感器数据融合等。

一般文献认为测量中噪声对方程的求解有较大影响,接收的声音能量信号中较小的噪声就会使得方程无解,所以较少讨论对方程求解的方法。文中对方程定位法进行了改进,从增加采样次数和寻求最大值求解的方法来解决该问题,提高低精度算法的定位准确度,同时保持算法速度快的优点。

1 网络场景

假设在某一区域布撒了传感器节点,当区域中有目标出现时,每个传感器对自己收到的声音信号进行测量,然后传输给融合中心,融合中心根据相应的算法进行定位。

假设声音的传播采用与电磁波在自由空间辐射相似的模型,均匀地向四周发射声音信号,实际环境中可能因为墙体等障碍物目标信号不一定均匀辐射。不考虑区域内环境因素的影响,例如背景噪声、回声、风以及高密度植被等的影响,一些实际的因素会影响定位的精度。不考虑距离目标1米内的节点,将目标源看作是一个点声源。虽然上面的假设有不少与实际环境不符合的因素,但是在目标定位过程中,每个节点对声音信号采用连续测量求平均的方法,而不是瞬间测量,此外在整个区域中有很多传感器进行采样测量多点协作进行定位,不是每个传感器都会受到干扰^[8]。

图1所示是网络中传感器节点随机分布的场景。

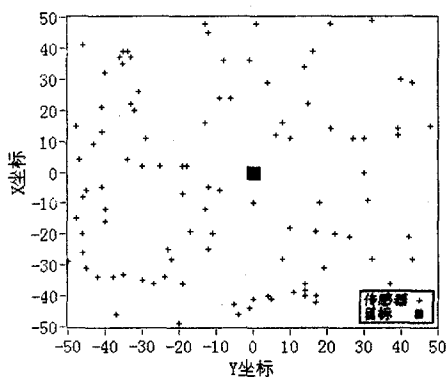


图1 目标定位场景

2 非线性方程目标定位

假设传感器区域内所有传感器节点的位置是已知的,各个方向声音的传递衰减模式是相同的,根据文献[5,6,8]建立声音衰减模型。

第*i*个传感器收到的目标声音信号为

$$s_i = \frac{G_i p d_0}{d_i} \quad (1)$$

其中 G_i 是第*i*个传感器的增益; p 是在距离目标参考距离 d_0 处测得的声音幅度; d_i 是目标和第*i*个传感器的欧氏距离, $d_i = \|\rho - r_i\|$, ρ 为声音目标的位置,

r_i 是第*i*个传感器的位置。

为简化起见,设对于所有的节点, G_i 都相等,令 $p = G_i p$,假定参考距离 $d_0 = 1$,那么

$$s_i = \frac{p}{\|\rho - r_i\|} \quad (2)$$

假设各个节点的测量噪声 v_i 相互独立,服从高斯分布,那么在某个时刻*t*传感器节点测得的信号为

$$a_i = s_i + v_i \quad (3)$$

如果直接将各个节点测得的 a_i 进行方程的求解,那么因为 a_i 测量噪声较大,容易出现无解的情况。在测试过程中可以采用多次采样求平均的方法减少噪声,去除噪声后, a_i 的值接近于 s_i ,因此有

$$a_i \approx \frac{p}{\|\rho - r_i\|} \quad (4)$$

将式(4)展开,可以得到非线性方程组

$$a_i - \frac{p}{\|\rho - r_i\|} = 0 \quad (5)$$

设目标位置为 $\rho = [x, y]^T$,各传感器节点的位置 $r_i = [x_i, y_i]^T (i = 1, 2, \dots, N)$,则方程组为

$$\begin{cases} a_1^2(x_1 - x)^2 + a_1^2(y_1 - y)^2 - p^2 = 0 \\ a_2^2(x_2 - x)^2 + a_2^2(y_2 - y)^2 - p^2 = 0 \\ \dots \\ a_N^2(x_N - x)^2 + a_N^2(y_N - y)^2 - p^2 = 0 \end{cases} \quad (6)$$

由三个方程可以求出三个未知数,即三个节点测量的声音幅度就可以求出目标的位置和声音的大小。当网络中节点比较多时,文中采用最大值法进行处理。

一般收到的声音幅度越大离目标越近,信噪比越高,测得的数据也越可靠,解方程不容易出现无解的情况,估计精度也得到了提高。选取收到声音幅度大的值来求解方程,称为最大值方程法 EM(Equation method with Maximum)。

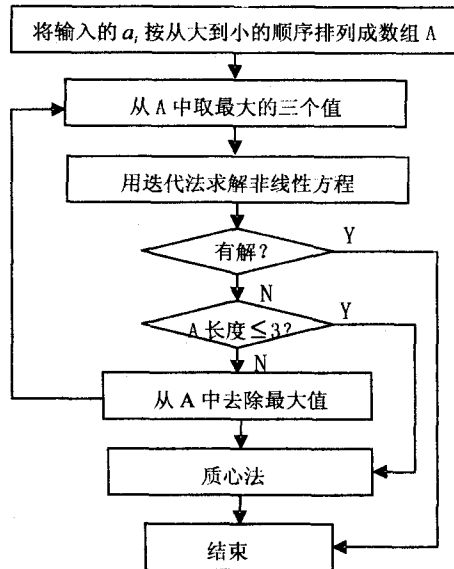


图2 最大值方程法算法流程

具体算法如图 2 所示。融合中心将收到的声音幅度按大小排序,最大的三个值代入式(6)组成一个方程组,通过迭代得到方程组的解,当该方程组无解时,去除幅度最大的那个节点,从剩下的节点中取三个最大值继续迭代解方程。为了使得在无解时也能对目标进行大致定位,在算法中结合质心法,即无解时用质心方法的位置作为估计值。相对于所有节点参与方程求解的平均法而言,该方法在节点数较少时(少于 10 个节点,实际上 $200 \times 200 \text{ m}^2$ 大小的区域很少只布置几个节点)容易无解,一般要通过两到三次迭代求得方程的解,而当节点数较多时,大部分情况下一次迭代就能得到结果。

3 仿真和分析

在已有的算法中,能量加权定位法与方程法一样,定位精度低,但运算速度快,易于实现,主要有能量加权、最近点法和质心法等,后两种定位精度相对高些。

比较最近点法、质心法和文中改进的方程法:

(1)最近点法 CPA (Closest Point Approach) 取幅度最大的节点的位置作为对目标的估计。

$$\hat{\rho} = r_i | a_{\max} \quad (7)$$

(2)质心法 Centriod, 利用感应到目标的所有传感器节点位置的平均值作为目标估计位置。

$$\hat{\rho} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N r_i \quad (8)$$

具体实现时采用 LabVIEW 软件平台进行仿真。质心法取六个最大的测量值所对应的传感器节点位置值进行平均。传感器分布在如图 1 所示的 $200 \times 200 \text{ m}^2$ 区域内,分随机布置和均匀布置两种情况。设目标位置 $x = -5, y = 5$ (图中单位为米),目标声音信号的大小 $p^2 = 5000$,高斯噪声的 $\sigma = 1$,仿真次数 1000 次。当 $\sigma = 1$ 时,距离目标 50 米的传感器节点的信噪比为 3dB。

图 3 为每次仿真节点位置均随机布置时,最大值方程法 EM、最近点法 CPA 和质心法 Centriod 的 x, y 均方误差,图 4 为节点位置均匀分布时三种方法均方误差的比较,采样次数为 200。

从图 3 和图 4 的仿真结果看,三种算法中最大值方程法定位精度最高,在节点数不多时也能达到较好的精确度。最近点法取最接近目标的节点位置作为估计值,估计的精确度受最近传感器节点与目标距离远近的影响较大,质心法取附近的节点位置平均作为估计的对象,如果目标差不多在几个节点的中间,则估计相对精确些。当网络内节点数增加时,如果有更接近目标的节点,则最近点法和质心法估计精度会提高。方程法当节点均匀分布时,融合中心总会收到信噪比较高的声音信号,因此均方误差比随机分布时的小。

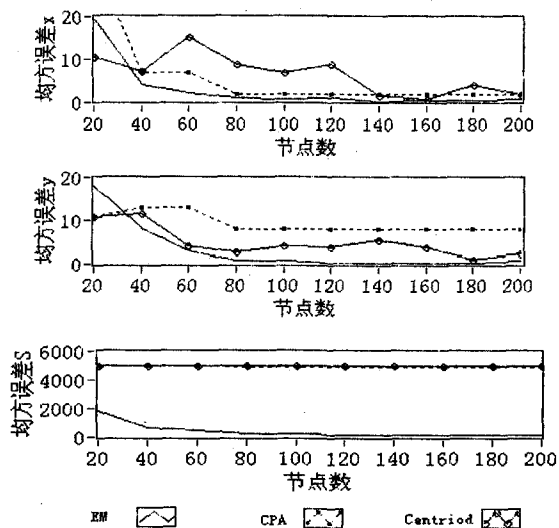


图 3 节点随机布置时的估计均方误差比较

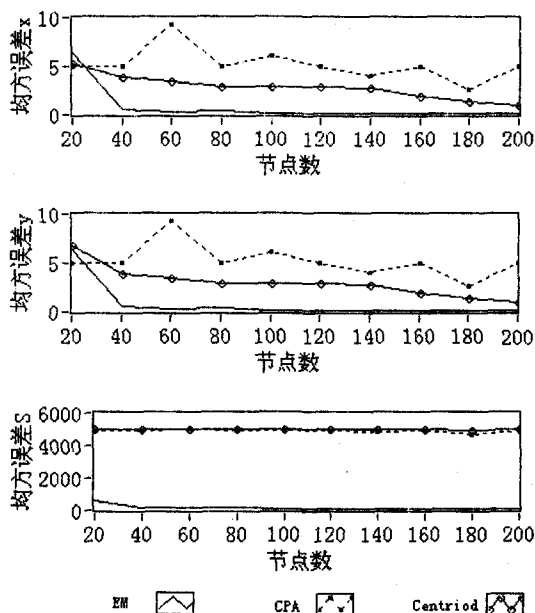


图 4 节点均匀布置时的估计均方误差比较

对于最近点法 CPA 和质心法 Centriod 来说,目标信号的声音大小基本无法估计,而方程法对声音大小的估计可以达到一定的精确度。

采样次数与目标估计的准确度有密切的关系,如果只进行一次采样或采样次数较少时,由于噪声较大, a_i 偏离实际值较多,当网络内节点数不多,距离目标最近的传感器节点偏少时,收到的声音信号信噪比偏小,在解非线性方程组时,容易无解。采样次数增加后,经平均去除随机噪声,估计精度得到了提高,不容易出现无解的情况。但是采样次数的增加,会导致每个节点测量次数太多,如果目标位置是变化的,一定程度上会影响定位的精度。图 5 给出了采样次数分别为 50, 100 和 200,节点均匀布置时,最大值方程法估计的均方误差。

从图 5 可以看出,采样次数增加后,信噪比提高了,估计的均方差也减小了。具体在传感器网络目标定位应用中,采样次数的确定要根据背景噪声的大小、目标的移动速度、网络中的节点数量等综合考虑。

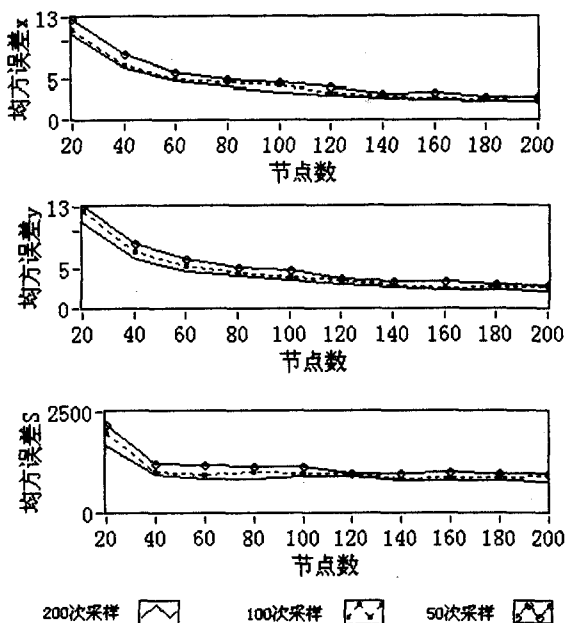


图 5 不同采样次数下的估计均方差比较

4 结束语

文中从数据误差处理的角度出发,增加采样次数,并结合最大值法求解方程,解决原方法中容易无解的问题。当网络中节点数比较多时,最小二乘和最大似然法要对所有的节点数据进行处理,增加了优化估计算法中的循环次数,而方程法只取最大的三个值进行求解,与节点数较少时运算量基本一样,但在定位速度上具有明显的优势。仿真结果表明,改进的方法保持了运算速度快的优点,能达到一定的定位精度,在对速度、实时性要求较高,而精度要求不是特别严格的目标定位场合中,具有实际的应用价值。

参考文献:

- [1] 王书聪. 无线传感器网络分布式定位算法研究[J]. 计算机技术与发展, 2008, 18(11): 62-65.
- [2] 吕永林, 字正华. 基于 GPRS 的声目标定位系统设计[J]. 计算机技术与发展, 2010, 20(9): 239-242.
- [3] Ying Y, Silverman H F. An improved TDOA-based location estimation algorithm for large aperture microphone arrays [C]// IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing. [s. l.]: [s. n.], 2004: 77-80.
- [4] Jian M, Kot A C, Er M H. DOA estimation of speech source with microphone arrays [C]// Proceedings of the 1998 IEEE International Symposium on Circuits and Systems. [s. l.]: [s. n.], 1998: 293-296.
- [5] Li D, Hu Y. Energy-Based Collaborative Source Localization Using Acoustic Microsensor Array [J]. EURASIP Journal on Applied Signal Processing, 2003(4): 321-337.
- [6] Meesookho C, Mitra U, Narayanan S. On Energy-Based Acoustic Source Localization for Sensor Networks [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2008, 56(1): 365-377.
- [7] 胡仕萍, 李思敏, 唐智灵. 基于 WSN 的声源目标定位算法研究[J]. 兵工自动化, 2008, 27(7): 63-65.
- [8] Sheng Xiaohong, Hu Yuhon. Maximum likelihood multiple-source localization using acoustic energy measurements with wireless sensor networks [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2005, 53(1): 44-53.
- [9] Addesso P, Marano S, Matta V. Estimation of Target Location Via Likelihood Approximation in Sensor Networks [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2010, 58(3): 1358-1368.
- [10] 蒋杭佑, 冯 燕. 基于无线传感器网络的声目标定位算法研究[J]. 信息安全与通信保密, 2010(6): 54-59.
- [11] 魏雅川, 梁 彦, 陈延军, 等. 无线传感器网络自适应声音目标定位算法[J]. 传感技术学报, 2010, 23(3): 418-422.
- [12] Pham T, Scherber D S, Papadopoulos H. Distributed source localization algorithms for acoustic ad-hoc sensor networks [C]// IEEE Sensor Array and Multichannel Signal Processing Workshop. [s. l.]: [s. n.], 2004: 613-617.
- [13] 朱 博, 陈 曙. 一种无线传感器网络质心定位改进算法[J]. 传感技术学报, 2010, 23(6): 868-872.
- [14] Friedlander D, Griffin C, Jacobson N. Dynamic agent classification and tracking using an ad hoc mobile acoustic sensor network [J]. EURASIP Journal on Applied Signal Processing, 2003(4): 371-377.
- [15] Lim A, Qing Y, Casey K, et al. Real-Time Target Tracking with CPA Algorithm in Wireless Sensor Networks [C]// The 5th Annual IEEE Communications Society Conference on Sensor, Mesh and Ad Hoc Communications and Networks. [s. l.]: [s. n.], 2008: 305-313.
- [9] 刘 峰, 张 庆, 夏宏飞. 无线 Mesh 网络联合信道分配和路由协议研究[J]. 计算机技术与发展, 2008, 18(8): 29-36.
- [10] 钱 奕, 钱 进. 改进的 QoS 多约束路由算法[J]. 计算机工程与设计, 2008, 29(8): 1931-1934.
- [11] 韦燕霞, 李陶深, 葛志辉. 基于多网关的无线 Mesh 网络负载均衡调度算法[J]. 计算机技术与发展, 2010, 20(11): 141-146.
- [12] 张登银, 刘升升. 基于 Mesh 的空间信息网体系结构研究[J]. 计算机技术与发展, 2009, 19(8): 69-73.

(上接第 64 页)

研究[D]. 广州: 中山大学, 2009.