

# 无线传感器网络的目标定位问题研究

张丽霞, 汪文勇, 李 炯

(电子科技大学信息中心 成都 610054)

**【摘要】**介绍了无线传感器网络的概念、特点和应用领域,研究了无线传感器网络在声源定位领域的具体应用以及在二维空间上定位的原理和推导,得出无线传感器网络目标定位的模拟实验结果,探讨了存在的问题和今后发展的方向。

**关键词** 无线传感器网络; 目标定位; 时差定位法  
**中图分类号** TP311.11 **文献标识码** A

## Research of Object Location by Wireless Sensor Network

ZHANG Li-xia, WANG Wen-yong, LI Jiong

(Information Center, UEST of China Chengdu 610054)

**Abstract** The concept, characteristics, application fields of wireless sensors network are briefly introduced. Application of wireless sensors network in voice source location is presented in detail and the principle and deduction of the locating algorithm in two dimensional space are discussed. Open issues and development intends of sensors network are also discussed.

**Key words** wireless sensor network; object location; time difference location

传感器网络是由一组传感器以Ad Hoc方式构成的有线或无线网络,能协作地采集和处理网络覆盖地理区域中所感知对象的信息,并发布给观察者。无线传感器网络的典型工作方式是,使用飞行器或别的方式将数量为数百个或数千个的大量传感器节点抛撒到感兴趣的区域,节点通过自组织快速形成无线网络。节点既是信息的采集和发出者,也充当信息的路由者,采集的数据通过多条路由到达网关。网关是一个特殊的节点,可以通过Internet、移动通信网络、无人机、卫星等与监控中心通信并采集数据。无线传感器网络不需要固定网络支持,具有快速展开、抗毁性强等特点,可广泛应用于军事、工业、交通、环保等领域。

声源定位是无线传感器网络的一个典型应用。声源定位能够确定声音事件的来源,并将该事件与纯粹的背景噪声区别开来。声音信号到达的先后,即携带了目标对象的距离等信息。利用这些物理量的附加信息,依靠无线传感器网络中各节点的协同感知和计算能力,能测算出目标对象的位置。

### 1 根据2点确定声源曲线

本文首先将问题简化为在二维空间内对声音源的定位,定位的结果是目标对象相对于网络节点的距离和角度。在此基础上,再把算法推广到三维情形。从理论上分析,无线传感器网络的节点数不少于3个就可以对声音源进行目标定位,所以本文先考虑根据2点确定声源曲线的情况。

如图1,在一个平面上分布有两个传感器A和B,坐标分别为 $(-a,0)$ 和 $(a,0)$ ,当平面上某处 $S(x,y)$ 发出声波时,两个传感器将先后接收到信号。实验时并不能真正测到事件到达的绝对时间,而只能测出它们的时间差 $\Delta t$ ,设声波沿媒质表面的传播速度为 $v$ ,可以得到:

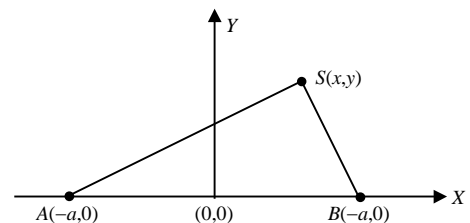


图1 两个传感器确定声源曲线

$$\sqrt{(x+a)^2 + y^2} - \sqrt{(x-a)^2 + y^2} = \Delta tv \quad (1)$$

收稿日期: 2005-09-23

作者简介: 张丽霞(1978-),女,硕士生,主要从事计算机网络方面的研究.

等式两端同乘以  $\sqrt{(x+a)^2+y^2} + \sqrt{(x-a)^2+y^2}$  得:

$$(\sqrt{(x+a)^2+y^2} + \sqrt{(x-a)^2+y^2}) = \frac{4ax}{\Delta tv} \quad (2)$$

联立式(1)和(2)可得:

$$\frac{x^2}{\frac{\Delta t^4 v^4 - 4\Delta t^2 v^2 a^2}{4\Delta t^2 v^2 - 16a^2}} - \frac{y^2}{\frac{4a^2 - \Delta t^2 v^2}{4}} = 1 \quad (3)$$

$$\text{令} \begin{cases} a_1 = \frac{\Delta t^4 v^4 - 4\Delta t^2 v^2 a^2}{4\Delta t^2 v^2 - 16a^2} \\ b_1 = \frac{4a^2 - \Delta t^2 v^2}{4} \end{cases}, \text{式(3)可简写为 } \frac{x^2}{a_1} - \frac{y^2}{b_1} = 1.$$

由此可知声源发生的位置应当在到A, B两点的距离差为  $\Delta tv$  的曲线上。很明显, 该曲线是一条双曲线。根据两节点之间的  $\Delta t$  和声音在空气中传播的速度, 可以计算出声音源相对于两节点的距离差  $\Delta d$ 。一个  $\Delta d$  对应一条双曲线, 两条  $\Delta d$  曲线相交处即是目标所在的位置。因此从理论上讲, 一旦获得两个以上的  $\Delta d$ , 加上节点之间的已知距离和方位数据, 就可以计算出目标的位置。于是可将此结论推广到3个传感器对声源定位的情况。

## 2 根据多个声源曲线确定声源范围三角

如图2所示, 在平面上分布有3个传感器A, B和C, 坐标分别为  $((-a,0))$ ,  $((a,0))$ 和  $((x_3, y_3))$ 。当平面上

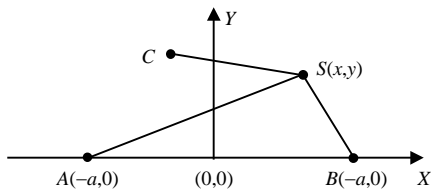


图2 多个声源曲线确定声源范围

某处  $S(x, y)$  发出声波时, 3个传感器将先后接收到信号。设信号到达A, B的时间差为  $\Delta t_1$ , 到达A, C的时间差为  $\Delta t_2$ , 到达B, C的时间差为  $\Delta t_3$ , 则声源发生的位置应当在到A, B两点的距离差为  $\Delta t_1 v$  的曲线和到A, C两点的距离差为  $\Delta t_2 v$  的曲线上, 确定两条曲线的交点就可以确定声源所在的位置。很明显, 3个时间差可得出3条双曲线。由于实验中存在误差, 因而3条曲线不会交于一点, 而是两两相交形成三角形。求解3个交点的坐标的推导过程如下。设  $A((-a,0))$ ,  $B((a,0))$ ,  $C((x_3, y_3))$ ,  $S((x, y))$ , 3条曲线的方程分别如下:

$$\sqrt{(x+a)^2+y^2} - \sqrt{(x-a)^2+y^2} = \Delta t_1 v = c_1 \quad (4)$$

$$\sqrt{(x+a)^2+y^2} - \sqrt{(x-x_3)^2+(y-y_3)^2} = \Delta t_2 v = c_2 \quad (5)$$

$$\sqrt{(x-a)^2+y^2} - \sqrt{(x-x_3)^2+(y-y_3)^2} = \Delta t_3 v = c_3 \quad (6)$$

由式(4)可以得到:

$$\sqrt{(x+a)^2+y^2} = \frac{4ax+c_1^2}{2c_1} \quad (7)$$

由式(5)可以得到:

$$\frac{(2a+2x_3)x+2y_3y+a^2+c_2^2-y_3^2-x_3^2}{2c_2} = \sqrt{(x+a)^2+y^2} \quad (8)$$

联立式(7)和(8)可得:

$$\frac{(4ac_2/c_1-2a-2x_3)x+c_1c_2-a^2-c_2^2+y_3^2+x_3^2}{2y_3} = y \quad (9)$$

$$\text{令} \begin{cases} m = \frac{4ac_2/c_1-2a-2x_3}{2y_3} \\ n = \frac{c_1c_2-a^2-c_2^2+y_3^2+x_3^2}{2y_3} \end{cases}, \text{式(9)简化为 } y = mx + n, \text{ 将 } y = mx + n \text{ 代入式(7)得:}$$

$$(m^2 + 1 - 4a^2 / c_1^2)x^2 + 2mnx + n^2 + a^2 - c_1^2 / 4 = 0 \quad (10)$$

令  $\begin{cases} d_1 = m^2 + 1 - 4a^2 / c_1^2 \\ d_2 = n^2 + a^2 - c_1^2 / 4 \end{cases}$ , 式(11)简化为  $d_1x^2 + 2mnx + d_2 = 0$ , 方程有解的条件是  $4m^2n^2 - 4d_1d_2 \geq 0$ , 由于

在求解过程中扩大了根的取值范围, 因而舍去负根得: 
$$\begin{cases} x = \frac{-2mn + \sqrt{4m^2n^2 - 4d_1d_2}}{2d_1} \\ y = \frac{-m^2n}{d_1} + \frac{m\sqrt{4m^2n^2 - 4d_1d_2}}{2d_1} + n \end{cases}$$

同理可得另外两个交点的坐标, 设为  $S_2((X_2, Y_2))$  和  $S_3((X_3, Y_3))$ 。由于无线传感器网络在测量过程中受环境以及自身等多方面因素的影响, 因而测量的结果为3个点的坐标。为了确定较为精确的声源位置, 可以考虑找出3个坐标点形成的三角形的重心, 该重心即为发声源的位置, 如图3所示。

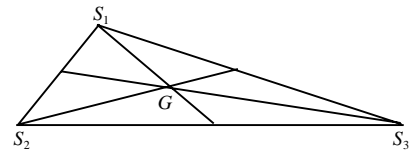


图3 声源位于三点形成的三角形的重心

### 3 模拟实验

在模拟试验中将3个传感器A, B和C布置在一个固体媒质的平面表面, 确定坐标分别为A(-1 000,0)、B(1 000,0)、C(0,2 000), 长度单位是米, 来自声源的信号通过媒质先后传到3个传感器转换为电压信号, 经放大到达时差测量装置, 得到定位所需的时差, 具体值为  $\Delta t_1 = 3\text{ s}$ 、 $\Delta t_2 = 4\text{ s}$ 、 $\Delta t_3 = 1.001\text{ s}$ 。测得波速

$v = 340\text{ m/s}$ , 代入上述推导出来的声源坐标表达式, 计算后可得3组值  $\begin{cases} x_1 = 1\ 076.94 \\ y_1 = 1\ 599.80 \end{cases}$ ,  $\begin{cases} x_2 = 1\ 063.92 \\ y_2 = 1\ 611.87 \end{cases}$ ,

$\begin{cases} x_3 = 1\ 115.31 \\ y_3 = 1\ 567.66 \end{cases}$ , 再求出三角形重心的坐标  $\begin{cases} x = 1\ 085.39 \\ y = 1\ 593.11 \end{cases}$ , 至此得到声源的位置。

可以设想, 无线传感器网络在采用时差测量方法进行声源定位时, 实际上是一个解析几何求解问题, 但求解时还需考虑有关的现实情况和环境因素, 比如节点定位因素、节点时钟因素, 以及声音、节点声音采样、节点拓扑结构等的影响。

### 4 结论

本文根据声源信号到达同一阵列内不同传感器时所形成的一组时差, 经过解析几何的计算确定声源的位置, 介绍了无线传感器网络在声源定位中的应用。为简单起见, 本文将求解问题简化为在二维空间内对声音源的定位, 并将二维空间声源定位算法加以推广, 很容易构造出三维空间中的定位算法。

只是  $\Delta tv$  对应的是一个曲面, 两个  $\Delta tv$  曲面相交成一条曲线, 3个  $\Delta tv$  曲面相交处即是目标位置。当然, 三维情况下的计算复杂度将会增加, 对节点计算能力和存储能力的要求亦随之提高。

### 参 考 文 献

- [1] 任丰原, 黄海宁, 林 闯. 无线传感器网络[J]. 软件学报, 2003, 14(10): 1-6.
- [2] 李建中, 李金宝, 石胜飞. 传感器网络及其数据管理的概念、问题与进展[J]. 软件学报, 2003, 14(10): 1-8.
- [3] 彭 伟. 移动自组网络中的广播与路由技术研究[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2000.
- [4] 马祖长, 孙怡宁. 无线传感器网络节点的定位算法[J]. 计算机工程, 2004, 30(4): 13-15.
- [5] 钱 进, 陆佳人. 圆周阵被动定位和跟踪方法的研究[J]. 东南大学学报, 1995, 11(6): 13-18.

编 辑 熊思亮