

# 基于传感器阵列的时延估计定位研究

郭秀珍<sup>1</sup> 赵永军<sup>2</sup>

1. 内蒙古机电职业技术学院, 中国·内蒙古 呼和浩特 010000;  
2. 呼和浩特市网络信息管理中心, 中国·内蒙古 呼和浩特 010000

**【摘要】** 本文章主要讨论基于传感器阵列形式不同的时延估计定位方法, 以确定目标源的方向和位置。因此, 选择合适的传感器阵列形状, 将各传感器放置在坐标系中特定点上, 从而提供多方向的空间信息, 将传感器阵列的空间复杂度减小, 将目标源坐标的几何计算公式优化, 将系统的运算量减小, 这就是本文章要详细讨论的内容。

**【关键词】** 传感器; 检测; 时延估计; 定位

基于传感器阵列形式不同的时延估计定位方法, 以确定目标源的方向和位置。因此, 选择合适的传感器阵列形状, 将各传感器放置在坐标系中特定点上, 从而提供多方向的空间信息, 减小传感器阵列的空间复杂度, 优化目标源坐标的几何计算公式, 减小系统的运算量。

## 1 一维空间目标定位法

一维阵列是指所有的传感器均位于同一条直线上, 均匀直线阵列是最常用的。它有最简单的结构, 最小的计算量, 它只限于对同一水平面内的目标源定位, 所以定位某一水平面内的目标源时用由3个传感器组成的均匀直线阵进行定位。如下图1-1所示:

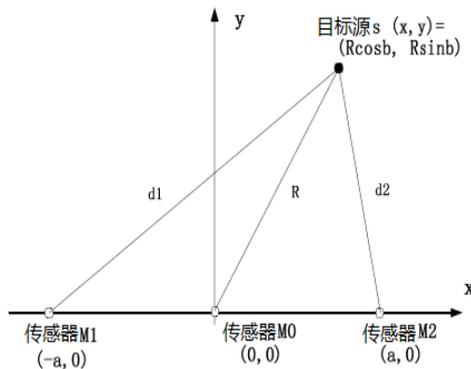


图1-1 三阵元均匀直线阵示意图

为了方便计算, 把一个传感器置于二维坐标原点的位置, 另两个传感器分别位于x轴上,  $a(x, y)$  为距原点的距离, 为目标源的直角坐标, 相应的极坐标为  $(R \cdot \cos b, R \cdot \sin b)$ 。已知目标信号到达传感器M1与传感器M0的时间差为  $t_{10}$ , 到达传感器M2与传感器M0的时间差为  $t_{20}$ , 传播速度为  $c$ , 那么目标源极坐标的计算公式为:

$$R = \frac{2a^2 - c^2(t_{10}^2 + t_{20}^2)}{2c(t_{10} + t_{20})} \quad (1-1)$$

$$b = \frac{\pi}{2} - \frac{\arcsin c(t_{10} - t_{20})}{2a} \quad (1-2)$$

通过上述公式可得出R、b的数值, 进而得到相应的极坐标为  $(R \cdot \cos b, R \cdot \sin b)$ , 即目标源的相应位置。

## 2 二维空间目标定位法

所有的传感器均位于同一个平面内为二维阵列, 如图1-2所示

示, 把四个传感器放置在边长为d的正方形的四个角上, 以正方形的中心为原点建立坐标系称为四元方形阵列。其中的四个传感器的坐标分别为  $M0(d/2, d/2, 2, 0)$ ,  $M1(-d/2, d/2, 0)$ ,  $M2(-d/2, -d/2, 0)$ ,  $M3(d/2, -d/2, 0)$ 。则目标源的极坐标的计算公式为:

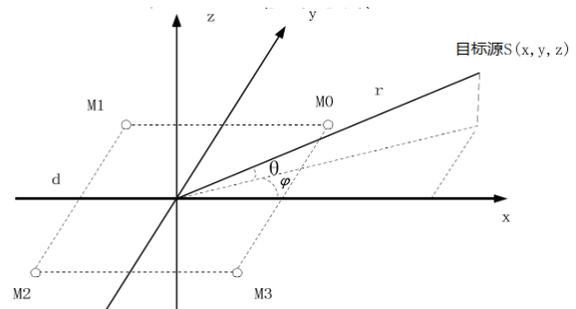


图1-2 四元方形阵列示意图

目标源的极坐标的计算公式为:

$$R = \frac{c \times (t_{20}^2 - t_{31}^2)}{2 \times (t_{10} + t_{32} + t_{30} - t_{21})} \quad (1-3)$$

$$\varphi = \frac{\pi}{2} - \arctan \frac{t_{20} - t_{31} + t_{10} - t_{32}}{t_{20} + t_{31} + t_{30} + t_{21}} \quad (1-4)$$

$$\theta = \arccos \left( \frac{c \times \sqrt{(t_{20} - t_{31} + t_{10} - t_{32})^2 + (t_{20} + t_{31} + t_{30} + t_{21})^2}}{4d} \right) \quad (1-5)$$

其中,  $t_{ij}$  -- 第j号传感器与第i号传感器之间的到达时间差;

c -- 传播速度。

从图1-2可以看出四个传感器分布在同一个平面内, 而且它们采集到的xoy平面内的空间信息也很准确, 所以该阵列对角度  $\varphi$  的定位效果更佳, 相对的角度  $\theta$  的定位效果会稍差。

## 3 三维空间目标定位法

两个子阵(x子阵和y子阵)组成的十字阵列(x子阵是由  $2p+1$  个传感器组成的均匀线阵, y子阵是由  $2q+1$  个传感器组成的均匀线阵, 这两个子阵分别位于x、y轴上, 同一子阵阵元之间的间距为d, 且这两个子阵列的中心阵元为同一阵元)称为近场目标源定位的三维空间模型。阵列接收M个不相干的目标源信

号。参考点为阵列中心 (阵元序号为 0),  $(\theta_m, \alpha_m, \gamma_m)$  为第  $m$  个目标源信号的方位角、仰角和距离参数。x 子阵的第  $(l, 0)$  个阵元和 y 子阵的第  $(0, l)$  个阵元接收到的信号为:

$$x_{l,0}(t) = \sum_{m=1}^M S_m(t) e^{j\tau_{xm}(l)} + n_{l,0}(t) \quad (1-6)$$

$$y_{l,0}(t) = \sum_{m=1}^M S_m(t) e^{j\tau_{ym}(l)} + n_{0,l}(t) \quad (1-7)$$

其中,  $S_m(t)$  为信源信号,  $n_{l,0}(t)$  和  $n_{0,l}(t)$  为加性噪声,  $\tau_{xm}(l)$  和  $\tau_{ym}(l)$  是目标源信号到达传感器的时延。根据简单的几何学原理,  $\tau_{xm}(l)$  和  $\tau_{ym}(l)$  可表示为:

$$\tau_{xm}(l) = \frac{2\pi r_m}{\lambda} \left( \sqrt{1 + \frac{n^2 d^2}{r_m^2} - \frac{2nd \sin \alpha_m \cos \theta_m}{r_m}} - 1 \right) \quad (1-8)$$

$$\tau_{ym}(l) = \frac{2\pi r_m}{\lambda} \left( \sqrt{1 + \frac{n^2 d^2}{r_m^2} - \frac{2nd \sin \alpha_m \sin \theta_m}{r_m}} - 1 \right) \quad (1-9)$$

其中信源信号的波长是  $\lambda$ 。根据菲涅尔近似就能得出:

$$\tau_{xm} \approx \frac{2\pi r_m}{\lambda} \left( \frac{n^2 d^2}{2r_m^2} - \frac{nd \sin \alpha_m \cos \theta_m}{r_m} - \frac{n^2 d^2 \sin^2 \alpha_m \cos^2 \theta_m}{2r_m^2} \right) \quad (1-10)$$

$$= \omega_{xm} l + \phi_{xm} l^2$$

$$\tau_{ym} \approx \frac{2\pi r_m}{\lambda} \left( \frac{n^2 d^2}{2r_m^2} - \frac{nd \sin \alpha_m \sin \theta_m}{r_m} - \frac{n^2 d^2 \sin^2 \alpha_m \sin^2 \theta_m}{2r_m^2} \right) \quad (1-11)$$

$$= \omega_{ym} l + \phi_{ym} l^2$$

其中  $(\omega_{xm}, \phi_{xm})$  和  $(\omega_{ym}, \phi_{ym})$  是  $(\theta_m, \alpha_m, r_m)$  的非线性方程, 分别表示如下:

$$\omega_{xm} = -2\pi \frac{d}{\lambda} \sin(\alpha_m) \cos(\theta_m) \quad (1-12)$$

$$\phi_{xm} = \pi \frac{d^2}{\lambda r_m} (1 - \sin^2(\alpha_m) \cos^2(\theta_m)) \quad (1-13)$$

$$\omega_{ym} = -2\pi \frac{d}{\lambda} \sin(\alpha_m) \sin(\theta_m) \quad (1-14)$$

$$\phi_{ym} = \pi \frac{d^2}{\lambda r_m} (1 - \sin^2(\alpha_m) \sin^2(\theta_m)) \quad (1-15)$$

于是, 信号模型就可以近似的表示为:

$$x_{l,0}(t) = \sum_{m=1}^M S_m(t) e^{j(\omega_{xm} l + \phi_{xm} l^2)} + n_{l,0}(t), \quad -P \leq l \leq P \quad (1-16)$$

$$y_{l,0}(t) = \sum_{m=1}^M S_m(t) e^{j(\omega_{ym} l + \phi_{ym} l^2)} + n_{0,l}(t), \quad -Q \leq l \leq Q \quad (1-17)$$

得到信号的近似模型, 然后估计这一系列的  $(\omega_{xm} l + \phi_{xm})$

和  $(\omega_{ym} l + \phi_{ym})$ , 并对他们进行配对, 最终得到目标源信号的

位置  $(\theta_m, \alpha_m, r_m)$ 。

三维阵列需要更多的传感器来构成立体的形式, 它的优点是可以提高定位精度, 缺点是算法变得更复杂。立体阵虽然可以对目标源进行全方位定位, 可是其算法要比前面提到的两种复杂很多。在测量过程中我们可以将目标源定位系统放置在地面, 然后对地面上方的目标源信号进行定位。所以并非一定要追求全方位定位, 而使计算方法过于复杂。采用平面阵是完全可行的。

#### 参考文献:

- [1] 朱自勤. 传感器与检测技术 [M]. 北京: 机械工业出版社. 2005.
- [2] 张靖, 刘少强. 检测技术与系统设计 [M]. 北京: 中国电力出版社. 2002.
- [3] 孙宝元, 杨宝清. 传感器以及应用手册 [M]. 北京: 机械工业出版社. 2004.

#### 作者简介:

郭秀珍 (1982—), 女, 蒙古族, 内蒙古机电职业技术学院, 硕士, 讲师, 研究方向: 测控技术与仪器。

赵永军, 呼和浩特市网络信息管理中心, 本科, 高级工程师。