

基于多信息融合的无源定位算法

周正松^{1,2}, 罗懋康¹

(1. 四川大学数学学院; 2. 电子信息控制重点实验室, 四川 成都 610065)

摘要 为了综合利用各种观测信息, 提高目标定位精度, 提出了根据测量目标方位角, 来波相位差变化率和多普勒频率变化率等多种信息, 进行融合卡尔曼滤波(EKF)的无源定位算法。此算法显著提高了目标跟踪定位的收敛速度和精度。在对定位原理和算法进行分析讨论后, 进一步通过计算机仿真结果验证了这种算法的有效性。

关键词 无源定位; 卡尔曼滤波; 信息融合

中图分类号 TN97 **文献标识码** A **文章编号** 1673-1131(2013)01-0021-02

0 引言

无源定位系统由于本身不发射电磁波, 具有隐蔽性好、抗干扰能力强、可对敌方进行长期侦察和监视等优点, 且单站无源定位系统避免了多站定位要求站间同步和需要大量数据传输等问题, 所以对目标辐射源进行单站无源定位成为了目标跟踪领域的一个热点研究问题。

目前, 在单站无源定位中主要有基于角度、角度变化率及到达时差的单站无源定位法^[1-2], 利用空域域信息的单站无源定位法^[3-4]和利用相位变化率与多普勒频率变化率的单站无源定位法^[5]等。由于这些定位法所能获取的信息量相对较少, 且角度、角度变化率、时差和相位变化率等实时数据的测量精度不够高, 从而使得定位收敛速度和定位精度相对较低, 这严重制约了单站无源定位技术在实际雷达侦察对抗系统中的应用。

结合现有文献和研究成果, 本文提出了一种更加适用有效的单站无源定位方法, 利用目标波达方向、外辐射源直达波信号与目标反射回波信号的到达时差、目标载波频率、多普勒频率变化率及目标来波相位差变化率等信息进行多信息融合定位, 并对该定位模型应用EKF^[6]算法对原始定位结果进行滤波处理。通过计算机仿真结果, 说明了该定位方法的收敛速度较快, 且定位精度较高, 为该类系统模型实现单站无源定位提供了技术支撑。

1 多信息融合无源定位模型的建立

多信息融合无源定位原理如图 1 所示:

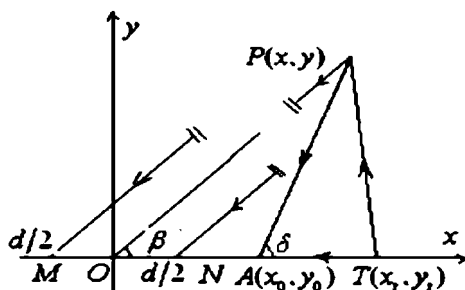


图 1 多信息融合无源定位原理图

如图 1 所示, 假设侦察站 1 位于 $A(x_0, y_0)$, 外辐射位于 $T(x_t, y_t)$, 目标位置为 $P(x, y)$, δ 为侦察站 A 接收目标回波的到达角, τ 为侦察站 1 接收目标反射信号 (即由 T 发出的信号经过 P 反射到达 A) 与接收外辐射源 T 直射信号的时间延迟, 固定侦察站 2 中两个天线阵元 M、N 接收的目标 P 来波信号相位差为 ϕ , d 为基线长度 ($d \ll x$), c 为光速, f_r 为来波信号频率, β 为来波方位角, $\dot{\phi}$ 为来波相位变化率, $\dot{f}_d$ 为固定侦察站 2 所接受到信号的频率变化率 (假定目标辐射源信号的载频 f

在一小段时间内保持不变, 则 $\dot{f}_d$ 等于目标运动产生的信号多普勒频率变化率)。

则观测量 $\delta, \tau, \beta, \dot{\phi}, \dot{f}_d$ 与目标状态 $x, \dot{x}, y, \dot{y}$ (其中 $(\dot{x}, \dot{y})$ 为目标的速度) 之间可得出如下的关系式:

$$\begin{cases} \delta = \arctan \frac{y - y_0}{x - x_0} & (1) \\ \tau = \frac{1}{c} [\sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2} + \sqrt{(x - x_t)^2 + (y - y_t)^2} - d] & (2) \\ \beta = \arctan \frac{y}{x} & (3) \\ \dot{\phi} = \frac{2\pi d}{c} \cdot f_r \cdot \frac{x\dot{y} - y\dot{x}}{\sqrt{(x^2 + y^2)^3}} & (4) \\ \dot{f}_d = \frac{1}{\lambda} \frac{(x\dot{y} - y\dot{x})^2}{\sqrt{(x^2 + y^2)^3}} & (5) \end{cases}$$

其中 $a = \sqrt{(x_0 - x_t)^2 + (y_0 - y_t)^2}$ 。

2 模型求解

根据第 2 节方程组 (1), 当联合其中若干等式能求解目标位置时, 就可以进行定位, 也就是文献[5-8]中提到的外辐射源法、相位差法等。

2.1 外辐射源法

由方程组(1)中的方程(1),(2)可得出单次定位 (称为外辐射源法定位法^[7]) 公式为:

$$(II) \begin{cases} x = \frac{(a + c\tau)^2 - (y_0 - y_t)^2 + 2x_0(a + c\tau)\sec\delta - 2x_0(y_0 - y_t)\tan\delta - x_t^2}{2[(y_0 - y_t)\tan\delta + (a + c\tau)\sec\delta + x_0 - x_t]} \\ y = (x - x_0)\tan\delta + y_0 \end{cases}$$

2.2 相位差法

由方程组(1)中的方程(3),(4),(5)可得出单次定位 (称为相位差法) 公式为:

$$(III) \begin{cases} x = \frac{-4\pi^2 d^2 f_r \dot{f}_d \sin^2 \beta \cos \beta}{c \dot{\phi}} \\ y = \frac{-4\pi^2 d^2 f_r \dot{f}_d \sin^3 \beta}{c \dot{\phi}} \end{cases}$$

由于第 2 节方程组 (I) 中方程个数大于未知数的个数, 在存在测量噪声的情况下, 是超定方程组, 无法求得精确解, 但可以求出满足一定估计准则 (如最小均方估计) 的近似解。卡尔曼滤波是一组递推的数据处理算法, 这组算法提供了离散线性系统状态的线性最小均方估计有效的算法^[6]。

因此, 本文提出了多信息融合 (扩展卡尔曼滤波) 定位算法。

2.3 多信息融合定位法

考虑在进行多次测量的情况下,综合利用观测信息 $\delta, \tau, \beta, \phi, \dot{f}_d$ 和状态信息 $x, \dot{x}, y, \dot{y}$, 以及它们之间的关系(即方程组(1)),采用扩展卡尔曼算法进行求解(跟踪定位)。

设目标的状态矢量为:

$$X[k] = (x[k], \dot{x}[k], y[k], \dot{y}[k])^T$$

则状态方程为:

$$X[k+1] = \Phi \cdot X[k] + \delta \cdot \Gamma \cdot N[k]$$

其中

$$\Phi = \begin{pmatrix} 1 & T & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & T \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \Gamma = \begin{pmatrix} T^2 & 0 \\ 2 & 0 \\ T & 0 \\ 0 & T^2 \\ 0 & 2 \\ 0 & T \end{pmatrix}$$

$$N[k] = \begin{pmatrix} n_x[k] \\ n_{\dot{x}}[k] \\ n_y[k] \\ n_{\dot{y}}[k] \end{pmatrix}$$

T 为处理时间间隔, δ 为扰动系数, $N[k]$ 为系统的扰动噪声(分量为彼此独立的零均值高斯白噪声)。

设观测矢量为:

$$Z[k] = (\delta[k], \tau[k], \beta[k], \phi[k], \dot{f}_d[k])^T$$

则观测方程为:

$$Z[k] = H(X[k]) + W[k]$$

其中, $W[k]$ 为观测噪声(分量为彼此独立的零均值高斯白噪声),

$$H(X[k]) = \begin{pmatrix} \arctan\left(\frac{y[k]-y_0}{x[k]-x_0}\right) \\ \frac{1}{c} \cdot \sqrt{(x[k]-x_0)^2 + (y[k]-y_0)^2} + \sqrt{(x[k]-x)^2 + (y[k]-y)^2} - d \\ \arctan\left(\frac{y[k]}{x[k]}\right) \\ \frac{2\pi f_r}{c} \cdot \frac{x[k]y^2[k] - x^2[k]y[k]}{\sqrt{(x^2[k] + y^2[k])^3}} \\ \frac{1}{\lambda} \cdot \frac{(x[k]y[k] - y[k]x[k])^2}{\sqrt{(x^2[k] + y^2[k])^3}} \end{pmatrix}$$

观测方程是非线性的,因此,需要将观测方程线性化。对于状态方程的解很难求出解析表达式的情形,扩展卡尔曼滤波算法(EKF)是比较好的求解方法^[6],EKF 主要是将 $H(X[k])$ 在预测值 $X[k/k-1]$ 附近用泰勒级数展开,并保留一次项,然后采用传统的卡尔曼滤波算法进行求解。即:

$$H(X[k]) = H(X[k/k-1]) + \frac{\partial H(X)}{\partial X^T} \bigg|_{X=X[k/k-1]} (X[k] - X[k/k-1]) + \text{高阶项},$$

其中,

$$\frac{\partial H(X)}{\partial X^T} = \begin{pmatrix} \frac{y-x}{r_0^2} & 0 & \frac{x-x_0}{r_0^2} & 0 \\ \frac{x-x_0}{c r_0} & 0 & \frac{y-x_0}{c r_0} & 0 \\ \frac{y}{x^2+y^2} & 0 & \frac{x}{x^2+y^2} & 0 \\ \frac{2x^2y^2+y^2-3x^2y^2}{\sqrt{(x^2+y^2)^3}} & \frac{y}{\sqrt{(x^2+y^2)^3}} & \frac{2x^2y^2+2y^2-y^2-3x^2y^2}{\sqrt{(x^2+y^2)^3}} & \frac{-y}{\sqrt{(x^2+y^2)^3}} \\ \frac{-1}{\lambda} \frac{(y-x)(x^2y^2+y^2-3x^2y^2)}{\sqrt{(x^2+y^2)^3}} & \frac{-1}{\lambda} \frac{2x^2y^2-2xy^2}{\sqrt{(x^2+y^2)^3}} & \frac{-1}{\lambda} \frac{(y-x)(2x^2y^2+y^2-3x^2y^2)}{\sqrt{(x^2+y^2)^3}} & \frac{-1}{\lambda} \frac{2x^2y^2-2xy^2}{\sqrt{(x^2+y^2)^3}} \end{pmatrix}$$

$r_{x0} = \sqrt{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2}$ 为目标到侦察站的距离;

$$r_d = \sqrt{(x-x_r)^2 + (y-y_r)^2} \text{ 为目标到辐射源的距离 } f = \frac{2\pi df_r}{c}$$

3 仿真分析

下面设定目标跟踪的情景,用蒙特卡洛仿真方法对无源定位效果进行仿真分析。

仿真条件:假设目标 P 做匀速直线运动,侦察站 1,2 都位于坐标原点,外辐射源位置 T 为(30,100) km,目标初始位置为(141,141) km,速度为(300,0) m/s,信号频率为 10 GHz,处理时间间隔为 1 s,基线长度 10 m 相位差变化率测量均方根误差为 $\sigma_{fd} = 2 \text{ Hz/s}$ 时差测量均方根误差为 20 ns,角度测量均方根误差为 2° 。

进行 Matlab 仿真实验,得到定位结果如下图所示:

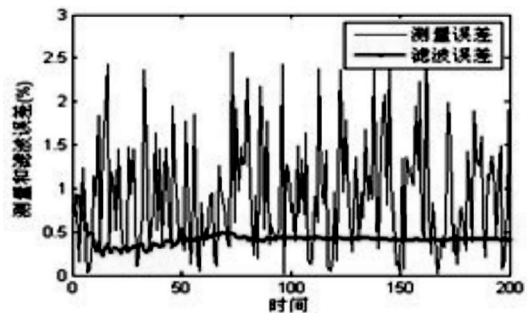


图 2 (多信息融合法) 目标跟踪误差

图 2 给出了目标跟踪的测量误差和估计误差。从图中可以看出,随着时间的推移,滤波误差快速收敛,目标估计值逐步逼近真实轨迹。

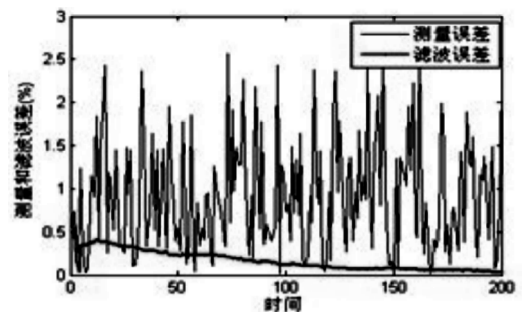


图 3 (外辐射法) 目标跟踪误差

图 3 给出了目标跟踪的测量误差和估计误差。从图中可以看出,随着时间的推移,滤波百分误差逐渐降低趋于稳定值,目标估计轨迹逐步靠近真实轨迹。

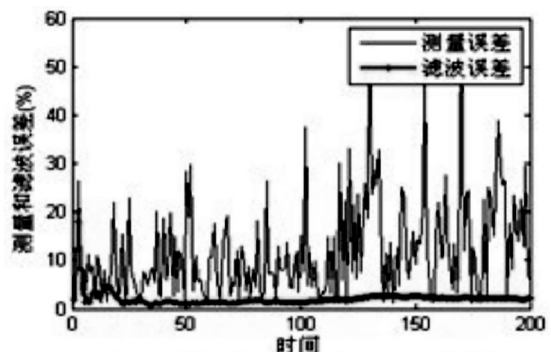


图 4 (相位差法) 目标跟踪误差

图 4 给出了目标跟踪的测量误差和估计误差。从图中可以看出,随着时间的推移,滤波百分误差逐渐降低趋于稳定值,目标估计轨迹逐步靠近真实轨迹。

一种改进的基于最大流的 PageRank 算法研究

唐 敏

(佳都新太科技股份有限公司, 广东 广州 510665)

摘要 :PageRank 是 Google 使用的一种网页排序算法, 它可以对网页进行评估, 并根据这个评估对网页进行排序。评价标准是一个 PR 值, 每个网页都会被赋予这样的一个值, 用来衡量网页的重要性, 并据此给出相应的排名。起初 PageRank 是用于搜索引擎检索结果的排序, 现在也被广泛用于其他很多方面, 比如网页的采集、检索结果聚类分析等。本文将最大流社区发现算法和 PageRank 结合, 提出了一种新的改进算法。

关键词 :PageRank 算法 网页排序 搜索引擎 最大流社区算法

中图分类号 :TP301.6 **文献标识码** :A **文章编号** :1673-1131(2013)01-0023-02

0 引言

随着互联网的快速发展, 网上信息资源越来越多, 如何从巨大的信息海洋中寻找最想要的资源呢? 搜索引擎的出现, 给我们带来了可能, 但随之而来摆在搜索引擎面前的一个巨大挑战是如何去提高查询结果的质量。PageRank 根据网站的内外部链接的数量及质量来衡量网站的价值, 由于 PageRank 算法是基于内外链接的, 也即几乎每个网页的 PR 值都是被平均地分配到它所指向的所有其他网页, 这就忽略了网页与网页之间的差异, 这种差异主要体现在网页质量上。

基于这样的认识, 本文提出了一种改进的基于最大流的 PageRank 算法。可以利用这个算法实时地评估每个网页的质量, 然后公平地对每个网页的 PR 值作出分配。

1 相关工作与背景知识

1.1 PageRank 算法

PageRank 算法基本思想: 我们可以假设一个漫游者在上网浏览页面时, 他在当前浏览页面中, 每次以相同的概率挑选他接下来想要点击的链接, 那么在这个挑选过程中, 如果遇到

一个没有出链的网页时, 他将随机的跳到任意页面, 这个行为是以一个较小的概率 β 发生。

可以假定 i 为页面 i 的链出页面集 E_i , B_j 为页面 j 的链入页面集, 那么在随机的一个时间节点上, 漫游者出现在页面 j 的概率 $PR(j)$ 为:

$$PR(j) = \beta / n + (1 - \beta) * \sum_{i \in B_j} \frac{PR(i)}{|E_i|}$$

漫游者访问的概率分布满足和为 1。概率大的网页将被排在最前面, 也最容易被漫游者访问到。

1.2 最大流问题与社区发现算法

1.2.1 最大流问题

在一有容量的图里面, 找到一条不能超过弧的容量并且可以从发点到收点运送最大数量的单位流量的途径, 这就是最大流问题。给定有弧容量的图如下。

从 B 到 E 的每一个流都须满足下面这三个条件:

(1) 在从 B 至 E 的任一个流中, 从每个顶点 x ($x \neq B, x \neq E$) 出去的单位数量必须等于到达 x 的单位数量, 即

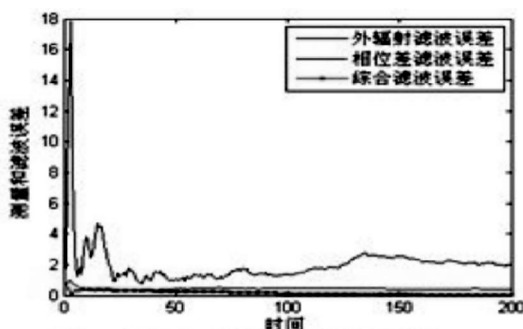


图 5 三种目标跟踪滤波误差

图 5 对比了分别利用外辐射源法、相位差法与多信息融合定位法得到的目标定位滤波误差图。

4 结语

通过对比外辐射源法、相位差法与多信息融合定位法的目标定位滤波误差仿真实验结果, 如上图 8 所示, 得出多信息融合定位法的定位误差显著小于外辐射源法和干涉仪相位差法, 且收敛速度较快, 即多信息融合定位法的定位精度高, 稳定性好, 具有很大的实用价值和应用前景。

参考文献:

[1] 应文, 李冬梅, 胡德秀. 一种基于时差变化率的单站无源定

位方法[J]. 指挥信息系统与技术, 2011, 2(1): 9-12

[2] 杨萃元, 郑思海. 基于运动辐射体 TOA 和 DOA 测量的单站被动定位算法[J]. 电子学报, 1996, 24(12): 66-69

[3] 李宗华, 肖予钦, 周一宇, 等. 利用频域和空域信息的单站无源定位跟踪算法[J]. 系统工程与电子技术, 2004, 26(5): 613-616

[4] 郁春来. 利用空频域信息的单站无源定位与跟踪关键技术研究[D]. 长沙: 国防科学技术大学电子科学与工程学院, 2008

[5] 张芹. 固定单站无源定位系统的可行性研究[J]. 电子科技大学工程硕士学位论文集, 2007

[6] 罗鹏飞. 统计信号处理[M]. 北京: 电子工业出版社, 2009: 127-166

项目基金 :电子信息控制重点实验室项目资助(9140C100603110C1001) 国家自然科学基金面上项目“分数阶非线性动力系统的确定性数学理论及应用研究”(项目编号 11171238)

作者简介 :周正松(1987-), 男, 重庆人, 在读硕士, 主要研究方向为雷达信号处理、不确定性处理的数学; 罗懋康(1956-), 男, 重庆人, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为不确定性处理。