

文章编号:1000-6893(2007)04-0907-06

# 姿态抖动运动单平台 LBI 无源定位系统的 角变化率估计和定位算法研究

钟丹星, 邓新蒲, 周一宇

(国防科学技术大学 电子科学与工程学院, 湖南 长沙 410073)

## Estimation of Rate of DOA Changes and Location Algorithm of LBI Structured Passive Location System Boarded on a Moving Observer with Vibrate Attitudes

ZHONG Dan-xing, DENG Xin-pu, ZHOU Yi-yu

(College of Electronic Science and Engineering, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

**摘要:** 研究了采用长基线干涉仪(LBI)体制的运动单平台无源定位系统受平台姿态抖动影响的问题,指出由于平台姿态的快速无规则变化,相位差变化率(RPDC)方法将难以适用,应当采用目标方位角变化率参数进行定位。基于此,针对三维几何空间,提出了一种 RP-LS 方法估计目标方位角变化率,继而实现对目标的定位。仿真结果表明,该方法能有效解决 LBI 体制运动单平台定位系统对姿态抖动的适应问题,实现对目标的快速高精度定位。

**关键词:** 无源定位; 运动单平台; 姿态变化; 方位角变化率; LBI

**中图分类号:** V243.2      **文献标识码:** A

**Abstract:** The influence on the location performance of the attitude vibration of a moving observer, which utilizes a long baseline interferometer (LBI) structured passive location system, is discussed. Because of the vibration, the rate of phase difference change (RPDC) method is not feasible any more. The parameters of rate of DOA changes should be adopted. A range parameterized least square (RP-LS) method is proposed to estimate the rate of DOA changes and locate the emitter under the 3-D circumference when the attitudes vibrate. Simulation results show that this method is effective to deal with the problem of attitude vibration of the LBI structured passive location system of a single moving observer.

**Key words:** passive location; single moving observer; attitudes vibration; rate of DOA changes; LBI

近年来,基于运动单平台,采用长基线干涉仪(Long Baseline Interferometer, LBI)测量辐射源信号的相位差变化率(Rate of Phase Difference Change, RPDC)的快速定位方法成为国内外无源定位研究的热点问题之一<sup>[1-6]</sup>。已有的研究表明,在长基线条件下,采用相位差变化率的定位方法可以获得远远优于只测向定位方法的定位精度和定位速度,是一种非常有效的快速高精度无源定位方法。这种定位方法的关键在于获取高精度的相位差变化率参数,然而精确估计相位差变化率,需要足够的时间和足够的观测点数<sup>[4]</sup>,这就要求相位差变化率在一段时间内

保持不变。在实际飞行条件下,由于受到气流影响以及飞行器自身控制系统的影响,平台的姿态时刻发生变化,且其变化通常并不恒定,从而相位差变化率成为非平稳参数,难以准确估计,也无法有效用于定位计算。姿态问题,是当前 LBI 体制的运动单平台定位系统面临的主要问题之一。

本文重点分析姿态问题对于相位差变化率估计的严重影响,提出在存在姿态变化的运动单平台定位系统中应该采用目标方位角变化率参数作为定位参数;在此基础上,研究了当平台姿态变化时,在三维几何空间中,如何利用相位差测量精确估计目标方位角变化率,并如何利用该参数定位;最后用实测飞行数据进行了仿真实验验证。

收稿日期:2006-06-30;修订日期:2006-11-01

基金项目:国防预研基金(41101030112);国防科技重点实验室基金(9140C1011010601)

通讯作者:钟丹星 E-mail:zhongdanxing@sina.com

# 1 平台姿态变化对相位差变化率的影响分析

## 1.1 LBI体制定位系统的空间模型

首先考察三维空间中干涉仪测量的相位差、波达角以及目标方位角的测量模型。如图1所示,某一时刻平台位于O点,目标辐射源位于T点。 $Oxyz$ 为平台当地NED坐标系<sup>[7]</sup>; $Ox'y'z'$ 为相对NED坐标系转过 $\theta_m$ 的中间系。干涉仪指向AO在平台NED坐标系中具有方位姿态 $\alpha$ 和俯仰姿态 $\beta$ (它们随平台姿态的变化而变化)。相应的空间几何关系如图1所示。

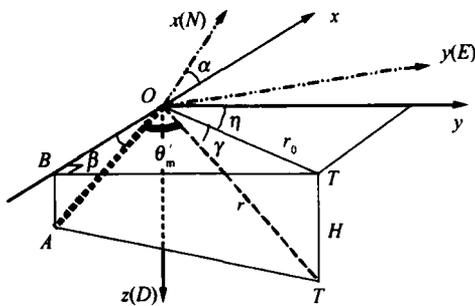


图1 三维空间测量模型

Fig. 1 3-D measurement model

图中: $\theta_m$ 为干涉仪测量的方向余弦角,定义其余角 $\theta_m$ 为波达角; $T$ 为目标在 $Oxy$ 平面中的投影; $\eta$ 为 $OT$ 与 $y$ 的夹角; $r$ 为目标的目标的相对距离; $r_0$ 为 $r$ 在 $Oxy$ 平面的投影距离; $H$ 为目标的目标的相对高度。

利用长短基线的干涉仪,可以测量得到长基线干涉仪测量的相位差 $\phi_m$ 和短基线干涉仪测量的目标波达角 $\theta_m$ ,它们之间存在如下关系

$$\phi_m = \frac{2d}{\lambda} \sin \theta_m - 2n \triangleq k_0 \sin \theta_m - 2n \quad (1)$$

式中: $\lambda$ 为辐射源信号的波长; $d$ 为长基线干涉仪的长度; $k_0 = 2d/\lambda$ 为干涉仪的波数; $n$ 为相位差 $\phi_m$ 的整周数。

单平台LBI系统的定位问题,就是利用运动平台测量的 $\phi_m$ 和 $\theta_m$ ,估计目标辐射源的位置坐标 $(x, y, H)$ 。由于固定目标通常位于地面,因此可以假设 $H$ 已知,定位问题就成为在三维几何空间中估计二维参数 $(x, y)$ 。

目标的空间方位也可用方位角 $\gamma$ 和俯仰角 $\theta_m$ 表示。如图1,定义目标方位角为相对观测平台的目标射线在 $Oxy$ 平面内与正北方向的夹角

$$\gamma = \theta_m + \eta + \beta / 2 \quad (2)$$

定义目标俯仰角为

$$\theta_m = \arctan(H / r_0) \quad (3)$$

## 1.2 姿态变化对LBI相位差变化率的影响分析

如图1,假设 $\overline{OB} = x$ ,  $\overline{BT} = y$ , 记 $\overline{OA} = x_1$ ,  $\overline{BA} = x_2$ ,  $\overline{AT} = x_3$ , 则有

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= x \sec \theta_m \\ x_2 &= x \tan \theta_m \\ x_3 &= \sqrt{y^2 + (H - x \tan \theta_m)^2} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

根据余弦定理有

$$\begin{aligned} x_3^2 &= x_1^2 + r^2 - 2x_1 r \cos(\theta_m) = \\ &x_1^2 + r_0^2 \sec^2 \theta_m - 2x_1 r_0 \sec \theta_m \sin \theta_m \end{aligned} \quad (5)$$

将式(4)代入式(5)并注意 $r_0^2 = x^2 + y^2$ , 可以推导得到 $\theta_m$ 和波达角 $\theta_m$ 的关系为

$$\sin \theta_m = \frac{x}{r_0} = \frac{\sin \theta_m}{\cos \theta_m} - \tan \theta_m \tan \theta_m \quad (6)$$

将式(1)和式(2)代入,有

$$-\cos(\theta_m - \theta_m) = \frac{\phi_m + 2n}{k_0 \cos \theta_m \cos \theta_m} - \tan \theta_m \tan \theta_m \quad (7)$$

整理可得

$$\phi_m + 2n = k_0 [-\cos(\theta_m - \theta_m) \cos \theta_m \cos \theta_m + \sin \theta_m \sin \theta_m] \quad (8)$$

对式(8)微分,可以得到相位差变化率为

$$\begin{aligned} \dot{\phi}_m &= k_0 \{ \sin(\theta_m - \theta_m) (\dot{\theta}_m - \dot{\theta}_m) \cos \theta_m \cos \theta_m + \\ &[\cos(\theta_m - \theta_m) \sin \theta_m \cos \theta_m + \cos \theta_m \sin \theta_m] \dot{\theta}_m + \\ &[\cos(\theta_m - \theta_m) \cos \theta_m \sin \theta_m + \sin \theta_m \cos \theta_m] \dot{\theta}_m \} \quad (9) \end{aligned}$$

从式(9)可知,影响相位差变化率 $\dot{\phi}_m$ 的因素包括:干涉仪的方位姿态 $\theta_m$ 和角速度 $\dot{\theta}_m$ ,俯仰姿态 $\theta_m$ 和角速度 $\dot{\theta}_m$ ,目标俯仰角 $\theta_m$ 和俯仰角变化率 $\dot{\theta}_m$ ,目标方位角 $\theta_m$ 和方位角变化率 $\dot{\theta}_m$ 。

在短时段、远距离条件下,目标的俯仰角变化很微弱,可以忽略;平台近似匀速直线运动,目标方位角及其变化近似保持不变;平台的姿态变化总量不大。因此,仅当平台姿态角速度恒定,也即干涉仪姿态角速度恒定时,根据式(9),相位差变化率才比较稳定。

以往对于相位差变化率方法的研究都基于平台姿态为零<sup>[1]</sup>或者具有恒定的姿态角速度<sup>[3]</sup>,这和实际情况不符。外场实测数据表明,即便平台处于平飞姿态,其姿态变化仍然存在而且是无规

则的。在长基线条件下,通常  $k_0 \gg 1$ ,根据式(9),这一无规则的变化将传递给相位差变化率,导致相位差变化率产生显著的变化,从而难以精确估计。因此,在干涉仪姿态抖动的情况下,需要采用其他的不受姿态影响的定位参数。

在式(9)中,令干涉仪姿态和姿态变化都为零,且忽略目标俯仰角,则有

$$\dot{\phi}_m = k_0 \sin \alpha \cdot \dot{\alpha} \quad (10)$$

显然,相位差变化率是目标方位角变化率的一种体现。根据文献[5-6],方位角变化率反映了目标与平台之间的水平相对位置变化,结合平台自身的位置、速度,而不需要平台的姿态信息,就可以对固定辐射源进行定位。

因此,在运动单平台 LBI 定位系统中,需要采用方位角变化率作为定位参数。但是,方位角变化率无法直接得到,仍然需要利用相位差测量来估计。目前,对于方位角变化率估计的研究很少,尤其三维几何空间和平台姿态变化的条件更增加了问题的复杂度。

## 2 方位角变化率的估计方法和定位解算

根据式(2)和式(6)得目标方位角为

$$\alpha = \arctan\left(\frac{y}{x}\right) + \arcsin\left[\frac{\sin \alpha_m}{\cos \alpha_p} \cdot \frac{r}{r_0} - \tan \alpha_p \tan \alpha_m\right] \quad (11)$$

将式(1)代入,式(11)可以改写为

$$\alpha = \arctan\left(\frac{y}{x}\right) + \arcsin\left[\frac{\phi_m + 2n}{k_0 \cos \alpha_p \cos \alpha_m} - \tan \alpha_p \tan \alpha_m\right] \quad (12)$$

从式(12)可以看到,目标方位角与相位差测量  $\phi_m$ 、干涉仪的方位姿态、俯仰姿态以及目标的俯仰角都有关系。干涉仪的方位、俯仰姿态总是变化的;而根据式(3),目标俯仰角中包含有目标水平距离  $r_0$ ,这一参数是定位所要估计的。因此,利用相位差估计方位角变化率,需要解决两个问题:(1)平台姿态变化引起干涉仪姿态变化的影响;(2)目标距离  $r_0$  未知。

下面给出一种两步的处理策略:首先假设距离  $r_0$  已知,研究在姿态变化条件下如何估计角变化率;而后在 2.2 节和 2.3 节,给出了两种  $r_0$  未知条件下估计角变化率并对目标定位的方法。

### 2.1 $r_0$ 已知时角变化率估计的最小二乘方法

假设在平台运动过程中连续得到  $N$  组测量,其中间点为  $p$ ,以  $p$  点为零时刻点对应的各测量

时刻为  $t_i (i = 1, 2, \dots, N)$ ,相应的波达角和相位差测量分别为  $\alpha_{m,i}$  和  $\phi_{m,i}$ ,干涉仪的方位姿态为  $\alpha_i$ ,俯仰姿态为  $\alpha_{p,i}$ ,平台位置为  $X_{o,i}$ ,速度为  $V_{o,i}$ 。

记各测量时刻对应的目标方位角为  $\alpha_i$ ,于是根据式(2),有

$$\alpha_i = \alpha - \alpha_p = (\alpha - \alpha_p) + (\alpha_i - \alpha_p) \triangleq \alpha_i + \alpha_{p,i} \quad (13)$$

其中,  $\alpha_i$  可以通过对式(6)在零时刻做泰勒展开得到

$$\alpha_i = \frac{\partial}{\partial \phi_m} \phi_{m,i} + \frac{\partial}{\partial \alpha} \alpha_i + \frac{\partial}{\partial \alpha_p} \alpha_{p,i} \quad (14)$$

$$\frac{\partial}{\partial \phi_m} = \frac{1}{k_0} \sec \alpha_i \sec \alpha_{p,i} \sec \alpha_i \quad (15)$$

$$\frac{\partial}{\partial \alpha} = \sec \alpha_i (\sin \alpha_{m,i} \sec \alpha_{p,i} \sec \alpha_i \tan \alpha_i - \sec^2 \alpha_i \tan \alpha_i) \quad (16)$$

$$\frac{\partial}{\partial \alpha_p} = \sec \alpha_i (\sin \alpha_{m,i} \sec \alpha_{p,i} \sec \alpha_i \tan \alpha_i - \tan \alpha_i \sec \alpha_i) \quad (17)$$

式中:  $\alpha_i = \arctan(H_i/r_0)$ ;  $\alpha_{p,i}$  可以通过式(6)得到。式(17)考虑了目标俯仰角的变化量,通常该项变化非常慢,在实际计算中可以忽略。

通过式(13)~式(17),可以将相位差测量和干涉仪姿态等测量转换为目标方位角增量。通常平台在短时间的运动可以看做匀速直线运动,可以近似建立目标方位角增量的线性模型

$$\alpha_i = \alpha + \dot{\alpha} t_i \quad (i = 1, \dots, N) \quad (18)$$

采用最小均方误差准则,可得对目标方位角变化率的最小二乘估计

$$\hat{\alpha} = \frac{\sum_{i=1}^N t_i \alpha_i - \frac{\sum_{i=1}^N t_i \cdot \sum_{i=1}^N \alpha_i}{N}}{\sum_{i=1}^N t_i^2 - \left(\frac{\sum_{i=1}^N t_i}{N}\right)^2} \quad (19)$$

### 2.2 距离迭代最小二乘方法

2.1 节的分析都基于辐射源距离  $r_0$  已知,而辐射源距离正是对目标定位需要估计的量。根据无源定位原理<sup>[5-6]</sup>,可以用估计的角变化率估计目标距离,代入 2.1 节,又可以得到新的角变化率估计。因此,可以重复上述迭代过程来估计角变化率,同时实现定位解算。

对距离迭代方法的描述如下:

**第 1 步** 忽略目标的高程,利用 2.1 节中的方法估计目标方位角变化率  $\hat{\alpha}^{(0)}$ ,然后估计目标的大致距离

$$\gamma_0^{(0)} = \left| \frac{-\hat{v}_{x,p} \sin \hat{\gamma}_p + \hat{v}_{y,p} \cos \hat{\gamma}_p}{\hat{\gamma}_0} \right| \quad (20)$$

用该距离作为迭代的初始值,其中 $\hat{v}_{x,p}$ 和 $\hat{v}_{y,p}$ 为平台速度 $V_{o,p}$ 在NED系中的水平分量。

**第2步** 利用第1步中的距离初始值,得到目标俯仰角估计<sup>(1)</sup>,代入2.1节中,利用式(13)~式(19)的方法估计 $\gamma_0^{(1)}$ , $\gamma_0^{(2)}$ ,...,直至 $|\gamma_0^{(n)} - \gamma_0^{(n-1)}| < \epsilon$ ,得到目标的距离估计 $\gamma_0$ 。

距离迭代方法易于实现,但是由于初始状态估计不准,在姿态变化较大时,容易发散,精度也会下降。

### 2.3 RPLS方法

为了提高角变化率估计的精度和稳定性,借鉴文献[8-10]的RPEKF(Range Parameterized Extended Kalman Filter)中的距离分割滤波的思想,提出一种RPLS(Range-Parameterized Least Square)方法估计目标的方位角变化率。其步骤如下:

**第1步** 将辐射源水平距离按照一定的规则划分为若干单元 $r_j$ ( $j=1, \dots, M$ ),在每一单元内取距离中点 $r_j$ 按照式(13)~式(19)计算目标方位角变化率 $\hat{\gamma}_j$ ;将波达角 $\hat{\gamma}_{m,p}$ 通过式(11)估计目标方位角 $\hat{\gamma}_j$ ,利用平台速度测量 $V_{o,p}$ ,可以得到辐射源水平距离

$$\hat{r}_j = \frac{V_{o,p}}{\hat{\gamma}_j} \quad (21)$$

其中:

$$\hat{v}_j = V_{o,p} [-\sin \hat{\gamma}_j \quad \cos \hat{\gamma}_j] \quad (22)$$

为目标相对切线速度; $\cdot$ , $\cdot$ 表示内积。

**第2步** 根据估计的距离 $\hat{r}_j$ 和距离单元划分 $r_j$ 之间的差别,计算相应的似然函数。假设估计距离误差服从高斯统计模型,则有似然函数为

$$a_j = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_{R,j}} \exp \left[ -\frac{(\hat{r}_j - r_j)^2}{2\sigma_{R,j}^2} \right] \quad (23)$$

式中: $\sigma_{R,j}^2$ 为该距离单元的方差。

于是得到角变化率估计

$$\hat{\gamma} = \frac{\sum_{j=1}^M \hat{\gamma}_j a_j}{\sum_{j=1}^M a_j} \quad (24)$$

**第3步** 根据式(21),利用 $\hat{\gamma}$ 估计目标距离 $\gamma_0$ ,从而得到目标相对平台的位置为

$$\mathbf{X}_{T,p} = [\gamma_0 \cos \hat{\gamma} \quad \gamma_0 \sin \hat{\gamma}] \quad (25)$$

得到上述单次定位结果后,可以采用滤波等序贯处理方法进一步提高定位精度。

## 3 仿真和实验结果

**仿真1** 采用某飞机一次飞行试验中录取的平台导航数据(数据率为25 Hz),仿真产生相应的波达角和相位差测量,在此基础上进行仿真实验。图2给出了实际录取的平台方位角和俯仰姿态。虽然飞机处于平飞状态,但从图中可以看到,其姿态的变化仍然是比较显著和迅速的。

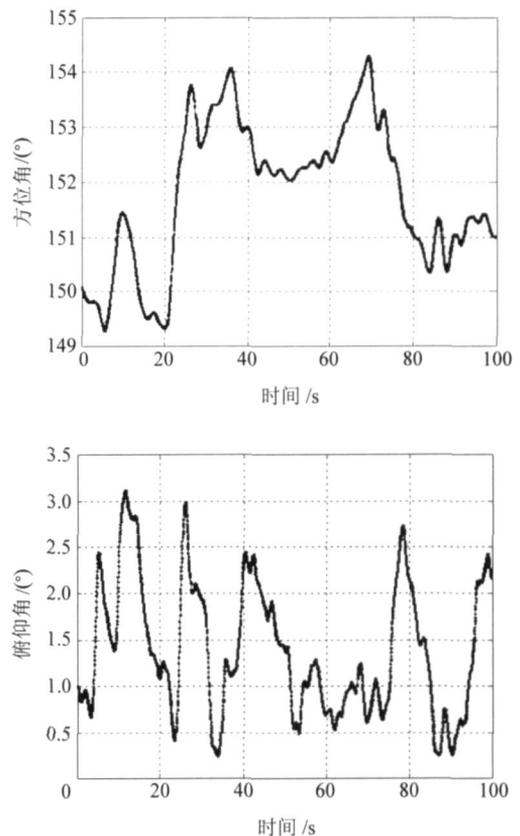


图2 外场测量平台姿态曲线

Fig. 2 Outfield measurement of platform attitudes

假设导航测姿设备的零偏误差为 $0.5^\circ$ ,短时的随机误差为 $0.02^\circ$ ;辐射源距离平台的初始距离大约为90 km,平台速度约为70 m/s;信号频率10 GHz,基线长度10 m,波达角测量精度 $0.5^\circ$ ,相位差的测量精度 $10^\circ$ ;波达角和相位差的数据率为100 Hz,仿真时长100 s;处理过程中的距离分割单元为10 km。在此条件下,图3给出了采用RPLS方法分别以2 s和5 s为处理单元的目标方位角变化率估计结果。

如图3中所示,本文的RPLS方法可以在短时间内获得比较准确的方位角变化率估计精度,而且随处理单元的加长,误差也相应的减小。当处理单元为2 s时,估计方差为 $0.0034$  ( $9/s$ ),相

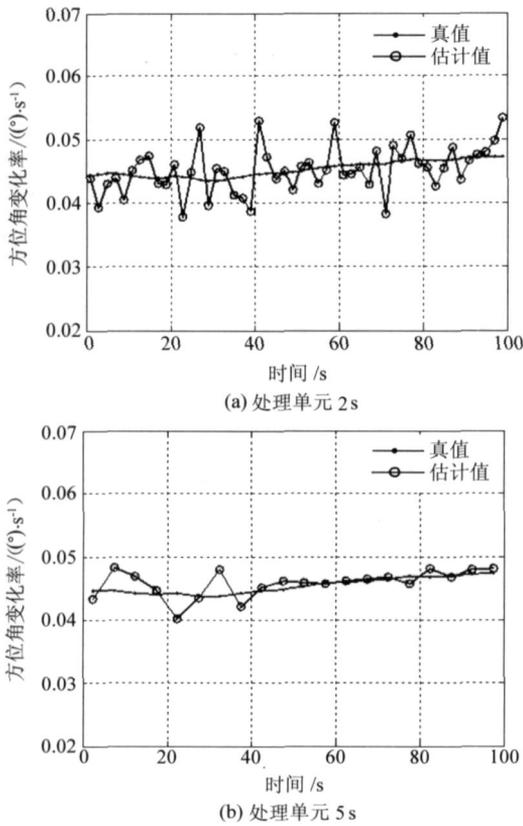


图 3 目标方位角变化率估计结果

Fig. 3 Estimation of rate of DOA changes

对误差为 7.5% (图 3(a)); 当处理单元增加到 5 s 时, 估计方差减小到 0.001 8 (9/s, 相对误差为 4% (图 3(b))). 需要注意的是, 处理单元的加长对估计精度的改善是有限的, 当处理单元过长, 式 (14) 中的泰勒展开和式 (18) 的线性模型将不再近似成立, 反而会导致较大的误差。

仿真 2 将 RP-LS 方法和相位差变化率方法、距离迭代最小二乘方法比较, 如图 4 所示。其中图 4(a) 为 3 种方法估计方位角变化率的结果 (其中用相位差变化率估计角变化率按照式 (10) 得到); 图 4(b) 为利用相应的角变化率估计结果通过滤波算法估计的目标距离相对真实距离的误差百分比, 处理单元为 2 s, 蒙特卡洛仿真次数为 200 次。

对照图 4 和图 2 可以看到, 由于平台姿态的快速变化不可忽略, 因此在图 4(a) 中当平台姿态变化快时, 利用相位差变化率估计目标方位角变化率误差非常大; 通常情况下, 距离迭代法可以得到比较准确的角变化率估计, 但是在姿态变化较快时仍然受姿态影响, 误差较大; 而采用距离分割加权的 RP-LS 方法基本不受姿态变化的影响。图 4(b) 中的距离跟踪相对误差曲线也验证了 RP-LS 方法相对其他两种方法优越。

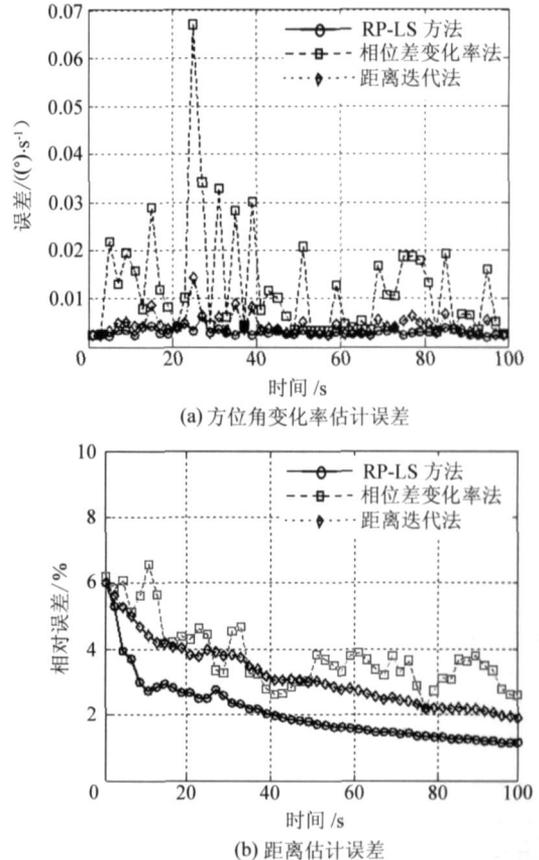


图 4 3 种方位角变化率估计方法的性能比较

Fig. 4 Performance comparison of 3 estimation algorithms

上述仿真表明, 本文提出的用于估计目标方位角变化率和定位的 RP-LS 方法, 可以有效地解决平台姿态快速变化条件下的目标定位问题。

## 4 结 论

对于 LBI 体制的运动单平台快速高精度定位系统, 基于相位差变化率参数的定位方法由于受到平台姿态的快速变化的影响, 难以达到预期的精度和速度。本文通过分析这一影响, 指出应该采用方位角变化率这一与平台姿态无关的定位参数进行定位; 提出的用于估计该参数的 RP-LS 方法, 与相位差变化率和距离迭代最小二乘方法进行了比较, 结果表明, 该方法可以适应平台姿态快速变化条件下对高精度参数测量和高精度定位的需要。

## 参 考 文 献

[1] 许耀伟. 一种快速高精度无源定位方法的研究[D]. 长沙: 国防科技大学, 1998.  
 Xu Y W. Research on a new fast and precise passive location method [D]. Changsha: National University of Defense Technology, 1998. (in Chinese)

[2] Levanon N. Interferometry against differential Doppler:

- performance comparison of two emitter location airborne systems[J]. IEE Proceedings, 1989, 136(2):70-74.
- [3] Shan Y H, An W, Sun Z K, et al. Research on passive locating method using phase rate of change with variant posture of the observer[J]. Chinese Journal of Aeronautics, 2002, 15(3):166-170.
- [4] 邓新蒲, 卢启中, 孙仲康. 数字式相位差测量方法及精度分析[J]. 国防科技大学学报, 2002(5):70-74.  
Deng X P, Lu Q Z, Sun Z K. Digital measuring for phase difference of interferometer[J]. Journal of National University of Defense Technology, 2002(5):70-74. (in Chinese)
- [5] 孙仲康. 基于运动学原理的无源定位技术[J]. 制导与引信, 2001, 22(1):40-44.  
Sun Z K. Passive positioning technology based on kinematics[J]. Guidance and Fuze, 2001, 22(1):40-44. (in Chinese)
- [6] 郭福成, 孙仲康, 安玮. 利用方向角及其变化率对固定辐射源的三维单站无源定位[J]. 电子学报, 2002, 30(12):1885-1887.  
Guo F C, Sun Z K, An W. Single observer passive location of 3-D fixed emitter using direction and its rate of changing information[J]. Acta Electronica Sinica, 2002, 30(12):1885-1887. (in Chinese)
- [7] 邓新蒲, 周一宇, 万钧力. 机载测角三维无源定位的建模与算法分析[J]. 国防科技大学学报, 2000(4):85-89.  
Deng X P, Zhou Y Y, Wan J L. Modeling and algorithm for 3D angle only target localization with airborne sensor[J]. Journal of National University of Defense Technology, 2000(4):85-89. (in Chinese)
- [8] Peach N. Bearings-only tracking using a set of range-parameterized extended Kalman filters[J]. IEE Proc-Control Theory Application, 1995, 142(1):73-80.
- [9] Kronhamm T. Bearings-only target motion analysis based on a multi-hypothesis Kalman filter and adaptive ownship motion control[J]. IEE Proc-Radar, Sonar Navig, 1998, 145(4):247-252.
- [10] Arulampalam S, Ristic B. Comparison of the particle filter with range-parameterised and modified polar EKF for angle-only tracking[C]. Signal and Data Processing of Small Target 2000, Proceedings of SPIE. Bellingham: SPIE 2000, 4048:288-299.

#### 作者简介:



钟丹星(1978 - ) 男, 博士研究生。主要研究方向: 雷达数据处理、无源定位技术。  
E-mail: zhongdanxing@sina.com

邓新蒲(1966 - ) 男, 博士, 副教授。主要研究方向: 无源探测与定位、雷达数据处理、雷达信号处理等。  
E-mail: drden@sina.com

周一宇(1948 - ) 男, 教授, 博士生导师。主要研究方向: 综合电子战系统理论、信息战概念与效能评估技术、无源定位技术等。

(责任编辑: 鲍亚平)