

## 无源雷达目标信号时延与多普勒频率联合估计

王鹏<sup>1</sup>, 邱天爽<sup>1</sup>, 李景春<sup>2</sup>, 谭海峰<sup>2,3</sup>

(1. 大连理工大学 电子信息与电气工程学部, 辽宁 大连 116024;

2. 国家无线电监测中心, 北京 100037; 3. 北京邮电大学 信息与通信工程学院, 北京 100876)

**摘要:** 提出一种基于 STFRFT 的无源雷达目标时延与多普勒联合估计新方法。首先, 给出了一种 STFRFT 时频分辨率量化方法及其数学表达式; 其次, 利用 STFRFT 的投影包络对回波信号时延与 Doppler 频移进行了联合估计; 最后, 讨论分析了脉内信噪比、高斯窗参数等对所提方法估计性能的影响。仿真结果表明, 与 CAF 方法相比, 所提方法更容易获得高精度的时延与 Doppler 频移的联合估计, 具有更高的可靠性。

**关键词:** 短时分数阶傅里叶变换; 时延; Doppler 频移; 无源雷达

**中图分类号:** TN958.97

**文献标识码:** A

## Joint estimation of target time delay and Doppler frequency in passive radar system

WANG Peng<sup>1</sup>, QIU Tian-shuang<sup>1</sup>, LI Jing-chun<sup>2</sup>, TAN Hai-feng<sup>2,3</sup>

(1. Faculty of Electronic Information and Electrical Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China;

2. State Radio Monitoring Center, Beijing 100037, China;

3. School of Information and Communication Engineering, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

**Abstract:** A novel method of joint estimation of time delay and Doppler shift in passive radar system based on short-time fractional Fourier transform (STFRFT) was proposed. Firstly, the mathematical expression of the STFRFT time-frequency resolution was studied for the quantitative comparison. Secondly, based on the projection envelopes of STFRFT, a new method to estimate the time delay and Doppler shift was put forward. Finally, the factors related with the estimation precision such as signal-to-noise ratio (SNR), parameters of Gaussian window were analyzed. The simulation results demonstrate that compared with the CAF based method, proposed method can get precise time delay and Doppler shift estimations with higher probability.

**Key words:** short-time fractional Fourier transform; time delay; Doppler shift; passive radar

### 1 引言

线性调频(LFM, linear frequency modulation)信号是当前应用最多的一种脉压信号, 广泛地应用于地基、舰载、空基等各种雷达中。近年来, 利用己方、中立方甚至敌方的非合作雷达进行目标探测的非合作双基地雷达<sup>[1,2]</sup> (也称为无源雷达)因具有较好的“四抗能力<sup>[3]</sup>”而受到关注。该系统多采用 2 个接收通道, 一个接收照射源的直达信号, 另外一个接收目标的散射回波信号。相对于直达信号, 运

动目标回波信号同时存在时延和 Doppler 频移。为了实现时延和 Doppler 频移的联合估计, 文献[4]采用互模糊函数(CAF, cross-ambiguity function)进行估计, 但计算量很大, 文献[5]针对 LFM 信号 CAF 的特点将二维搜索降为一维搜索, 提高了估计效率, 文献[6]则通过发射不同调频率的组合 LFM 信号, 在分数阶域联立方程进行求解。但上述算法需要已知或改变发射信号的形式, 在基于非合作雷达作为照射源的无源雷达应用中是不可行的。

分数阶傅里叶变换(FRFT, fractional Fourier

收稿日期: 2014-05-18; 修回日期: 2014-08-20

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61139001,61172108,81241059)

**Foundation Item:** The National Natural Science Foundation of China(61139001,61172108,81244059)

transform)对 LFM 信号具有最佳的能量聚集特性,广泛应用于 LFM 信号的时延及参数估计问题<sup>[7-9]</sup>,但 FRFT 是一种全局变换,不具备反映信号局部特性的能力,短时分数阶傅里叶变换(STFRFT, short-time fractional Fourier transform)则克服了这个缺点。文献[10,11]研究了 STFRFT 的基本性质,文献[12]利用高斯型 STFRFT 实现多分量 LFM 信号检测,文献[13]利用 STFRFT 估计脉冲压缩雷达信号的脉宽、重复间隔、初始频率以及调频率等参数,文献[14]基于 STFRFT 提出多目标的检测方法。尽管以上方法在所研究的问题上取得了较好的结果,但是没有对运动目标回波的时延和 Doppler 频移进行研究。因此,本文提出了一种基于 STFRFT 的无源雷达运动目标检测新方法,算法简单有效,在低信噪比环境下仍然保持良好的估计性能。

## 2 观测信号模型

假设非合作脉冲雷达的发射信号是脉冲宽度为  $T_p$ 、周期为  $T$ 、幅度为  $A$  的矩形脉冲串,脉内采用线性调频信号,则一个周期内的脉冲信号可以表示为

$$s(t) = Ae^{j\pi(2f_0t + \mu_0t^2)} \text{rect}\left(\frac{t}{T_p}\right), 0 \leq t \leq T \quad (1)$$

其中,  $f_0$  是发射信号的初始频率,  $\mu_0$  是发射信号的调频率,  $\text{rect}(t/T_p)$  表示脉宽为  $T_p$  的矩形脉冲,形式如下

$$\text{rect}\left(\frac{t}{T_p}\right) = \begin{cases} 1, & 0 \leq t \leq T_p \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (2)$$

在窄带假设条件下,经运动目标散射的回波信号形式如下

$$x(t) = \beta A e^{j\pi[2f_0(t-\tau_d) + \mu_0(t-\tau_d)^2]} e^{j2\pi f_d t} \text{rect}\left(\frac{t-\tau_d}{T_p}\right) + n(t), \quad 0 \leq t \leq T \quad (3)$$

其中,  $\beta$  是幅度衰减因子,  $\tau_d$  是回波信号相对参考信号的时延,  $f_d$  是 Doppler 频移。

## 3 短时分数阶傅里叶变换及其时频特性分析

### 3.1 短时分数阶傅里叶变换

对于给定的信号  $x(t) \in L^2(R)$ , 其  $p$  阶 STFRFT 具有如下形式

$$S_{x,p}(t,u) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(\tau)g(\tau-t)K_\alpha(\tau,u)d\tau \quad (4)$$

其中,  $p$  为变换阶次,  $\alpha = p\pi/2$  为变换旋转角度,  $K_\alpha(\tau,u)$  为 FRFT 的核函数,形式如下

$$K_\alpha(\tau,u) = \begin{cases} \sqrt{\frac{1-j\cot\alpha}{2\pi}} e^{j\left(\frac{\tau^2+u^2}{2}\cot\alpha - \frac{\tau u}{\sin\alpha}\right)}, & \alpha \neq n\pi \\ \delta(\tau-u) & , \alpha = 2n\pi \\ \delta(\tau+u) & , \alpha = (2n+1)\pi \end{cases} \quad (5)$$

$g(t)$  为窗函数,一般选取实对称函数。文献[10,12]指出高斯窗在分数阶域有最小的时宽带宽积,其表达式为

$$g(t) = e^{(-c^2t^2/2)} \quad (6)$$

其中,  $c=1/\sigma_t$ ,  $\sigma_t$  表征高斯窗函数时域分辨率的大小。

### 3.2 STFRFT 的时频分辨率量化分析

为了更好地对 STFRFT 的时间-分数阶频率的分辨率进行分析,本文给出了一种针对 LFM 信号 STFRFT 时频分辨率的量化分析方法。假设 LFM 信号  $x(t)$  的形式如下

$$x(t) = e^{j\pi(2f_0t + \mu_0t^2)} \quad (7)$$

将式(6)和式(7)代入式(4)的 STFRFT 定义中得到

$$S_{x,p}(t,u) = e^{-j\pi\mu_0t^2} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{j2\pi(f_0 + \mu_0t)\tau} e^{j\pi\mu_0(\tau-t)^2} g(\tau-t)K_\alpha(\tau,u)d\tau \quad (8)$$

令  $q(t) = e^{j\pi\mu_0t^2}$ ,  $y(t) = q(t)g(t)$  并代入式(8),根据 FRFT 的时移和频移性质可以得到

$$S_{x,p}(t,u) = e^{-j\pi\mu_0t^2} e^{-ju\sin\alpha} e^{j2\pi(f_0 + \mu_0t)[t\sin^2\alpha + u\cos\alpha - \pi(f_0 + \mu_0t)\sin\alpha\cos\alpha]} e^{j\frac{t^2}{2}\sin\alpha\cos\alpha} Y_p(u-t\cos\alpha - 2\pi(f_0 + \mu_0t)\sin\alpha) \quad (9)$$

其中,  $Y_p(u)$  是  $y(t)$  的  $p$  阶 FRFT。可以看出,  $|S_{x,p}(t,u)|$  是  $|Y_p(u)|$  沿着直线  $u = t\cos\alpha + 2\pi(f_0 + \mu_0t)$  排列。因此分析  $|S_{x,p}(t,u)|$  时频特性就是分析  $|Y_p(u)|$  的能量聚集特性。

令  $Q_p(v)$  是  $q(t)$  的  $p$  阶 FRFT, 根据函数乘积 FRFT 的性质<sup>[15]</sup>可以得到  $y(t)$  的  $p$  阶 FRFT

$$Y_p(u) = \frac{|\csc\alpha|}{2\pi} e^{j(u^2/2)\cot\alpha} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-j(v^2/2)\cot\alpha} Q_p(v)G((u-v)\csc\alpha)dv \quad (10)$$

其中,  $G(w)$  是高斯窗函数  $g(t)$  的傅里叶变换,表达式如下

$$G((u-v)\csc\alpha) = \int_{-\infty}^{+\infty} e^{(-c^2t^2/2)} e^{-j(u-v)\csc\alpha t} dt$$

$$= \frac{\sqrt{2\pi}}{c} e^{-\frac{(u-v)^2 \csc^2 \alpha}{2c^2}} \quad (11)$$

根据 FRFT 的定义有

$$Q_p(v) = \sqrt{\frac{1-j\cot\alpha}{2\pi}} e^{j(v^2 \cot\alpha/2)} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{j(\pi\mu_0 + \cot\alpha/2)t^2} e^{-jv\csc\alpha t} dt \quad (12)$$

当满足  $\alpha = \text{arccot}(-2\pi\mu_0)$  时, FRFT 对  $q(t)$  具有最佳的能量聚集特性, 式(12)可进一步简化

$$Q_p(v) = \sqrt{2\pi(1-j\cot\alpha)} e^{j(v^2 \cot\alpha/2)} \delta(v\csc\alpha) \quad (13)$$

将式(11)和式(13)代入式(10)可以得到

$$Y_p(u) = \frac{|\csc\alpha| \sqrt{1-j\cot\alpha}}{c} e^{j(u^2/2) \cot\alpha} e^{-u^2 \csc^2 \alpha / 2c^2} \quad (14)$$

将式(14)代入式(9)整理得到

$$|S_{x,p}(t,u)| = \frac{|\csc\alpha| \sqrt{1-j\cot\alpha}}{|c|} e^{-\frac{[u-t \cos\alpha - 2\pi(f_0 + \mu_0 t) \sin\alpha]^2}{2c^2 \sin^2 \alpha}} \quad (15)$$

观察式(15)可以看出,  $|S_{x,p}(t,u)|$  以  $u=2\pi f_0 \sin\alpha$  为中心呈高斯型分布, 依照高斯函数时域特性, 令  $\sigma_u$  表征 LFM 信号 STFRFT 的分数阶频率分辨率, 则有如下关系成立

$$\sigma_u^2 = c^2 \sin^2 \alpha = \frac{\sin^2 \alpha}{\sigma_t^2} \quad (16)$$

因此, 给定一个参数确定的 LFM 信号, 随高斯窗函数时域分辨率  $\sigma_t$  的增大, 信号最佳阶次 STFRFT 时域分辨率降低, 分数阶频率分辨率提高, 幅值增大。从图 1 可以明显地看出:  $c$  值增

大, 高斯窗时域波形变窄, 时域分辨率提高, 而 LFM 信号 STFRFT 某时刻的切面曲线波形变宽, 幅度降低, 分数阶频率分辨率降低, 与理论分析一致。

## 4 基于 STFRFT 的时延和 Doppler 频移联合估计方法

### 4.1 时延和 Doppler 频移的联合估计

通过不断改变高斯窗的中心位置实现 LFM 信号的滑动处理, 就能得到反映信号时频信息的 STFRFT, 文中采用高斯窗函数的离散形式如下

$$g(n) = e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{c \cdot n}{L/2} \right)^2}, n \in (-L/2, L/2) \quad (17)$$

通过式(15)可以看出, 在满足条件  $\alpha = \text{arccot}(-2\pi\mu_0)$  时, LFM 信号的 STFRFT 呈高斯分布, 因此可以选取这些峰值点投影在时间-幅值平面以及频率-幅值平面形成包络, 分别记作  $\tilde{S}_{x,p}(t)$  和  $\tilde{S}_{x,p}(u)$ , 根据式(18)提取得到信号的时间和频率信息

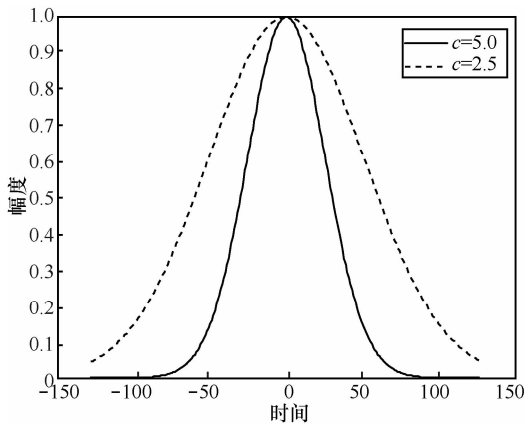
$$\begin{cases} \hat{t}_a = \arg \{ \tilde{S}_{x,p}(t) = 0.5 \max \{ \tilde{S}_{x,p}(t) \} \}, t < \arg \max \{ \tilde{S}_{x,p}(t) \} \\ \hat{u}_a = \arg \max \{ \tilde{S}_{x,p}(u) \} \end{cases} \quad (18)$$

其中,  $\hat{t}_a$  是信号起始时刻的估计,  $\hat{u}_a$  是信号起始分数阶频率的估计。由下式对时延和 Doppler 频移进行估计

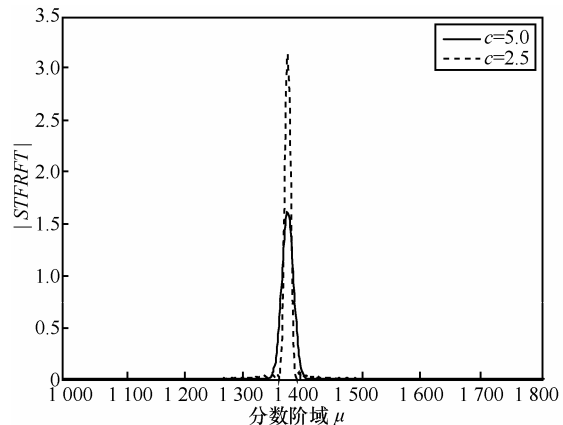
$$\hat{\tau} = \hat{t}_{a,r} - \hat{t}_{a,\text{ref}} \quad (19)$$

$$\hat{f}_d = (\hat{u}_{a,r} - \hat{u}_{a,\text{ref}}) \csc \alpha \quad (20)$$

其中,  $\hat{t}_{a,r}$ 、 $\hat{t}_{a,\text{ref}}$  分别为目标回波和直达波的起始时刻,  $\hat{u}_{a,r}$ 、 $\hat{u}_{a,\text{ref}}$  分别为目标回波和直达波的分数阶起



(a)高斯窗函数时域波形



(b) LFM信号STFRFT某一时刻切面

图 1 LFM 信号的 STFRFT

始频率。

## 4.2 联合估计步骤

通过以上分析,基于STFRFT的时延和Doppler频移联合估计算法步骤如下。

1) 对接收的直达波信号进行FRFT,在 $(p,u)$ 平面进行二维峰值搜索,估计得到最佳变换阶次 $\hat{p}$ 。

2) 对直达波信号进行 $\hat{p}$ 阶STFRFT,经投影得到 $\tilde{S}_{x,p}(t)$ 和 $\tilde{S}_{x,p}(u)$ ,按式(18)估计得到起始时间 $\hat{t}_{a,ref}$ 和分数阶频率 $\hat{u}_{a,ref}$ 。

3) 对运动目标回波信号进行 $\hat{p}$ 阶STFRFT,经投影得到 $\tilde{S}_{x,p}(t)$ 和 $\tilde{S}_{x,p}(u)$ ,按式(18)估计得到起始时间 $\hat{t}_{a,r}$ 和分数阶频率 $\hat{u}_{a,r}$ 。

4) 根据式(19)、式(20)分别估计得到时延估计 $\hat{\tau}$ 和Doppler频移估计 $\hat{f}_d$ 。

## 5 仿真实验

为验证本文方法的有效性,进行了计算机仿真实验。信号参数为:脉冲宽度 $T_p=10$  ms,脉冲重复间隔 $T=40$  ms,带宽为 $B=10$  kHz,采样频率为 $f_s=50$  kHz,回波信号相对参考信号时延为 $\tau=2$  ms,Doppler频移为 $f_d=5$  kHz,采样数据长度为2 000,并假设直达波信号与回波信号的脉内信噪比相等。每次仿真进行100次Monte-Carlo实验。

**实验 1** 比较本文方法与CAF方法的时延和Doppler频移估计的均方根误差(RMSE)随信号脉内信噪比(SNR)的变化情况。

图2(a)给出了2种方法时延估计的RMSE随脉内SNR的变化曲线。从图中可以看出,当脉内 $SNR>6$  dB时,2种算法的性能相当。当脉内 $SNR<6$  dB时,本文方法性能明显优于CAF方法。图2(b)给出了2种方法Doppler频移估计的RMSE随脉内SNR的变化曲线。从图中可以看出,当脉内 $SNR>2$  dB时,2种算法的估计性能相差不多,当脉内 $SNR<2$  dB时,本文方法性能优于CAF方法。需要指出的是:当脉内 $SNR<-6$  dB时,CAF方法得到的时延和Doppler频移估计大于仿真实验预设值,而本文方法依然得到了较好的估计。这是因为STFRFT在保留对LFM信号的能量聚集特性基础上实现时间-分数阶频率定位功能,抗噪能力强。

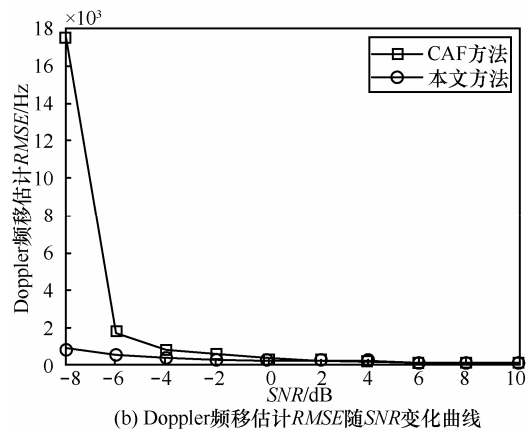
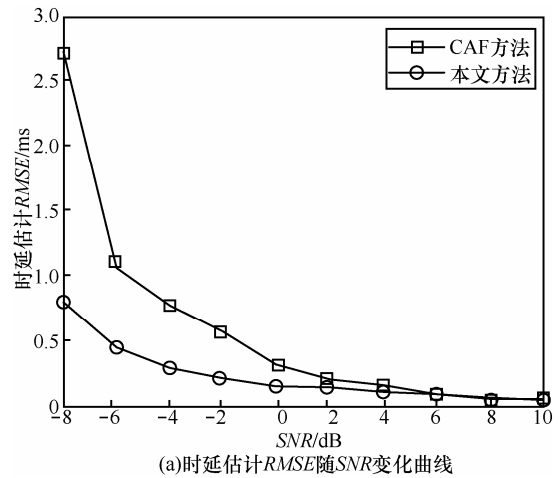


图2 时延估计与Doppler频移估计RMSE随SNR的变化曲线

**实验 2** 分析比较高斯窗函数参数对本文方法估计性能的影响。

图3给出了高斯窗长度 $L=256$ ,参数 $c$ 取不同值时对本文方法估计性能的影响。从图中可以看出,当脉内 $SNR>-2$  dB时,时延估计RMSE随参数 $c$ 的增大而减小,Doppler频移估计RMSE则随参数 $c$ 的增大而增大。这是因为随着 $c$ 值的增大,STFRFT时域分辨率提高,频率分辨率降低。当脉内 $SNR<-2$  dB时,随着参数 $c$ 的增大,时延与Doppler估计RMSE增大的速度加快,估计性能变差。这是因为随着 $c$ 值的增大,STFRFT幅值减小,抗噪性能变差。图4给出了不同 $c$ 值的投影包络,可以看出随参数 $c$ 的增大,STFRFT时域分辨率提高,频率分辨率降低,幅值减小,与前面理论分析一致,与得到的仿真实验结果一致。

图5给出了高斯窗参数 $c=2.5$ ,窗宽度 $L$ 取不同值时对本文方法估计性能的影响。从图中可以看出:当脉内 $SNR>-6$  dB时,时延与Doppler频移估

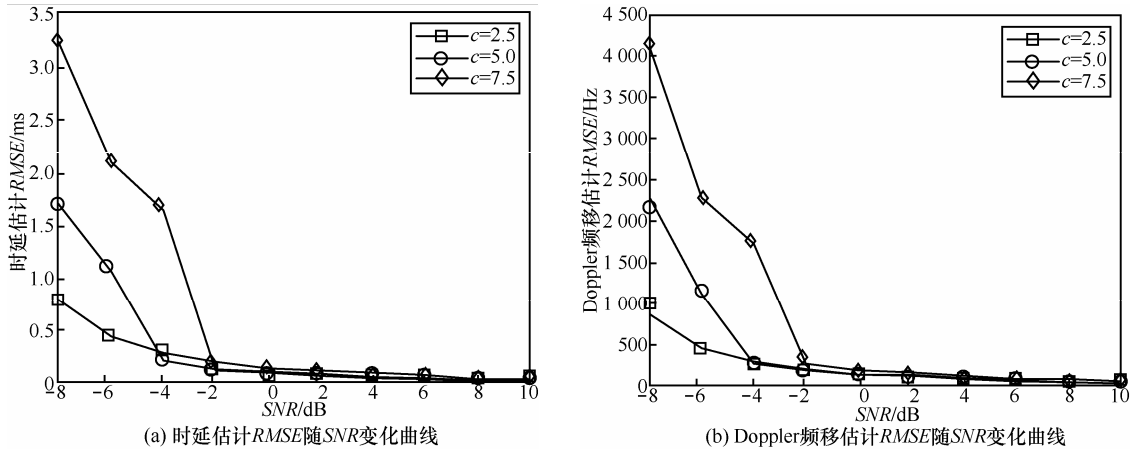


图 3 时延估计与 Doppler 频移估计 RMSE 随 SNR 的变化曲线

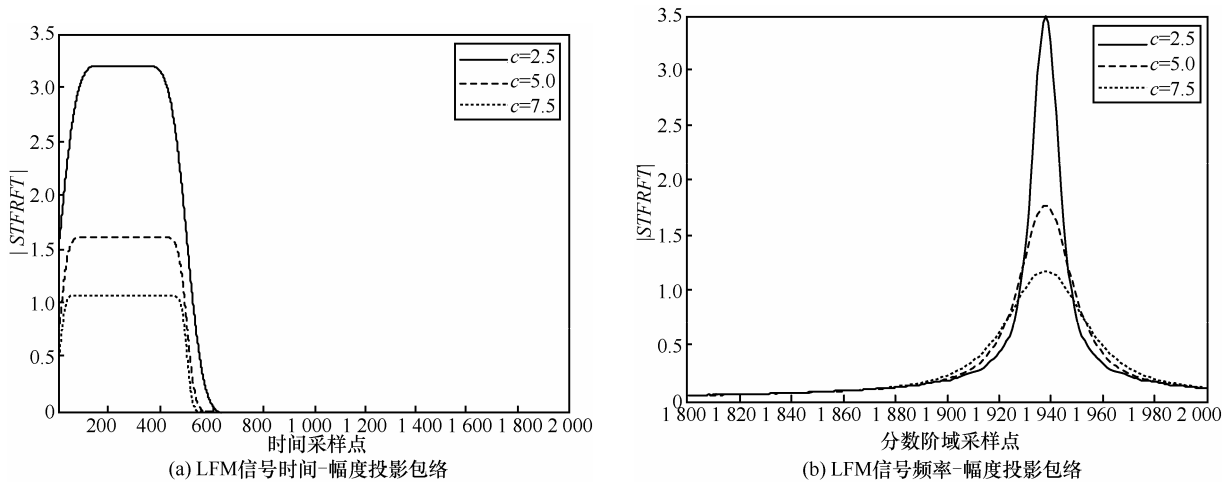


图 4 不同  $c$  下 LFM 信号 STFRFT 的投影包络

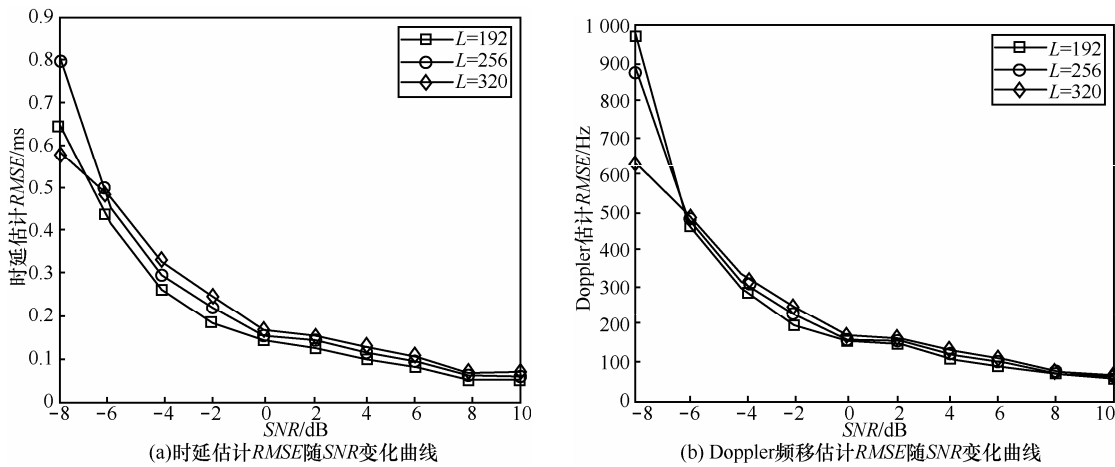
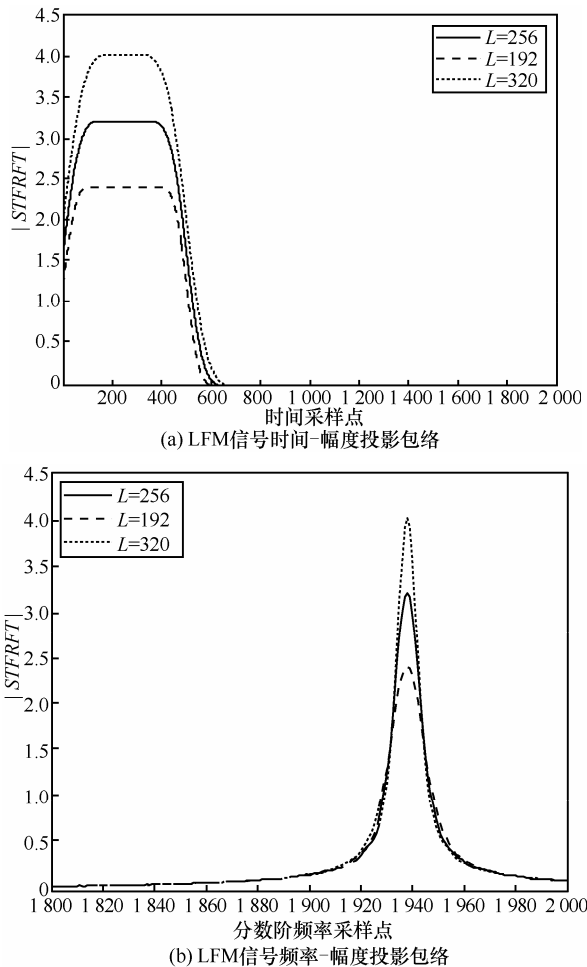


图 5 时延估计与 Doppler 频移估计 RMSE 随 SNR 的变化曲线

计 RMSE 随窗口宽度  $L$  增大而增大，但变化不大。当脉内  $SNR < -6$  dB 时，时延与 Doppler 频移估计 RMSE 随窗口宽度  $L$  增大而明显减小。这是因为随着窗宽度  $L$  的增加，STFRFT 的幅值增加，其抗噪

性能更强。从图 6 中可以看出，随着  $L$  值的增大，投影包络图的幅值是增大的，增强了抗噪能力，更加有利于低信噪比下的参数估计，与实验结果是一致的。

图6 不同 $L$ 下LFM信号STFRFT的投影包络

## 6 结束语

本文提出了一种基于STFRFT的无源雷达脉冲回波信号的时延和Doppler频移联合估计的新方法,给出了一种时频分辨率量化的方法及其数学表达式,可以更加方便地对STFRFT的时频分辨率特性进行量化评价,利用回波信号STFRFT在时间-幅值平面以及频率-幅值平面的包络投影获得对运动目标回波信号的时延以及Doppler频移的联合估计。仿真结果表明本文方法提高了时延及Doppler频移的估计精度,即使在低信噪比情况下,依然保持较高的估计精度,具有较大的应用前景。

## 参考文献:

[1] 宋杰,何友,蔡复青等. 基于非合作雷达辐射源的无源雷达技术综述[J]. 系统工程与电子技术. 2009,31(9): 2151-2156.  
SONG J, HE Y, CAI F Q, *et al.* Overview of passive radar technology based on non-cooperative radar illuminator[J]. Systems Engineering

and Electronics,2009,31(9): 2151-2156.

- [2] 王俊, 保铮, 张守宏. 无源探测与跟踪雷达系统技术及其发展[J]. 雷达科学与技术, 2004, 2(3): 129-135.  
WANG J, BAO Z, ZHANG S H. Passive detecting/tracking radar system technologies and its development[J]. Radar Science and Technology, 2004, 2(3):129-135.
- [3] 刘继业, 陈西宏, 刘强等. 国外双(多)基地雷达发展现状及关键技术分析[J]. 飞航导弹, 2013(6): 54-59.  
LIU J Y, CHEN X H, LIU Q, *et al.* Analysis of the development and key technology of bistatic radar[J]. Aerodynamic Missile Journal, 2013(6):54-59.
- [4] STEIN S. Differential delay/doppler ML estimation with unknown signal[J]. IEEE Transaction on Signal Processing, 1994, 42(11): 2717-2719.
- [5] SUN T, SHAN X. Parameters estimation of LFM echoes based on relationship of time delay and Doppler shift[A]. The 5th International Congress on Image and Signal Processing[C]. Chongqing, China, 2012. 1489-1494.
- [6] NING X, GUO L, SHA X. Joint time delay and frequency offset estimation based on fractional Fourier transform [A]. International Conference on ICTC Convergence[C]. Jeju Island, 2012. 318-322.
- [7] QI L, TAO R, ZHOU S, *et al.* Detection and parameter estimation of multicomponent LFM signals based on the fractional Fourier transform[J]. Science in China: Series F Information Science, 2004, 47(2): 184-198.
- [8] TAO R, LI X, LI Y, *et al.* Time-Delay estimation of Chirp signals in the fractional Fourier domain [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2009, 57(7): 2852-2855.
- [9] 邓兵, 王旭, 陶然等. 基于分数阶傅里叶变换的线性调频脉冲时延估计特性分析[J]. 兵工学报, 2012, 33(6): 764-768  
DENG B, WANG X, TAO R, *et al.* Performance analysis of time delay estimation for linear frequency modulated pulse based on fractional Fourier transform [J]. Acta Armamentarii, 2012, 33(6): 764-768
- [10] 平殿发, 刘贤忠, 赵培洪. 短时分数阶傅里叶变换的基本性质[J]. 数据采集与处理, 2009, 24(S): 39-42.  
PING D F, LIU X Z, ZHAO P H. Basic properties of short-time fractional Fourier transform[J]. Journal of Data Acquisition & Processing, 2009, 24(S): 39-42.
- [11] TAO R, LI Y, WANG Y. Short-time fractional Fourier transform and its applications[J]. IEEE Transaction on Signal Processing, 2010, 58(5): 2568-2580.
- [12] 李家强, 金荣洪, 耿军平等. 基于高斯短时分数阶傅里叶变换的多分量 LFM 信号检测与参数估计[J]. 电子与信息学报, 2007, 29(3): 570-573.  
LI J Q, JIN R H, GENG J P, *et al.* Detection and estimation of multi-component LFM signals based on gauss short-time fractional Fourier transform [J]. Journal of Electronic & Information Technology,

2007, 29(3): 570-573.

- [13] 温景阳, 张焕宇, 王越. 线性调频脉冲压缩雷达信号参数估计方法[J]. 北京理工大学学报, 2012, 32(7): 746-750.

WEN J Y, ZHANG H Y, WANG Y. Parameters estimation algorithm of LFM pulse compression radar signal [J]. Transactions of Beijing Institute of Technology, 2012, 32(7): 746-750.

- [14] 庞存锁, 刘磊, 单涛. 基于短时分数阶傅里叶变换的时频分析方法[J]. 电子学报, 2014, 42(2): 347-352.

PANG C S, LIU L, SHAN T. Time-frequency analysis method based on short-time fractional Fourier transform[J]. Acta Electronica Sinica, 2014, 42(2): 347-352.

- [15] ALMEIDA L B. Product and convolution theorems for the Fractional Fourier Transform [J]. IEEE Signal Processing Letters, 1997, 4(1): 15-17.

#### 作者简介:



王鹏 (1989-), 男, 河北宁晋人, 大连理工大学博士生, 主要研究方向为雷达信号处理、无线电信号处理和阵列信号处理。



邱天爽[通信作者] (1954-), 男, 江苏海门人, 博士, 大连理工大学教授、博士生导师, 主要研究方向为统计信号处理、射频与通信信号处理等。E-mail: qitsh@dlut.edu.cn。



李景春 (1966-), 男, 河北宁晋人, 博士, 国家无线电监测中心副主任兼总工程师, 主要研究方向为无线电监测理论与应用等。



谭海峰 (1977-), 男, 湖北枝江人, 国家无线电监测中心高级工程师, 主要研究方向为无线电监测理论技术等。