

## 基于不变矩的微动目标二维平流层 ISAR 成像算法

齐兆群, 景晓军, 游思晴, 孙海斌

(北京邮电大学 可信分布式计算与服务教育部重点实验室, 北京 100876)

**摘要:** 为了解决在平流层环境下, ISAR 成像过程中存在微动成分时对成像的干扰问题, 提出了一种基于不变矩的微动目标二维平流层 ISAR 成像算法。该算法首先利用不变矩工具对不同子孔径的回波分量进行分类, 然后将影响成像质量的数据进行分离, 最后利用分离后的数据进行子孔径拼接成像。该方法处理过程简单, 实时性强, 并能明显改善成像效果。

**关键词:** 逆合成孔径雷达; 成像; 子孔径; 仿真; 平流层平台

中图分类号: TN911.7

文献标识码: A

文章编号: 1000-436X(2013)08-0070-06

## Application of invariant moment method for HAPS ISAR imaging with micro parts

QI Zhao-qun, JING Xiao-jun, YOU Si-qing, SUN Hai-bin

(Key Laboratory of Trustworthy Distributed Computing and Service, Ministry of Education, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

**Abstract:** To resolve the micromotion in the HAPS(high altitude platform station) ISAR system, the invariant moment method for ISAR imaging with micro parts was proposed. Firstly, invariant moment tool was applied to classify the echoes of different sub-aperture, and then the sub-aperture echoes reducing the quality of image was separated. Finally the remaining echoes were used to do sub-aperture splicing imaging. From the simulation results, the algorithm is proved to be simple and can improve the quality of ISAR image obviously.

**Key words:** ISAR; imaging; sub-aperture; simulation; HAPS

### 1 引言

平流层一般是指距离海平面高度为 8~40 km 的空域。放置于平流层平台上的逆合成孔径雷达 (ISAR, inverse synthetic aperture radar) 系统, 由于其所处位置位于飞机航道上方, 非常适合于对隐形飞机等军事战略目标进行探测。但是, 在平流层环境条件下, 为了在方位向上获得较高的分辨率, 需要较长的合成孔径时间<sup>[1]</sup>。实际情况下, 尤其是战时状态下较长的合成孔径时间难以满足实时性要求。文献[2,3]中提出用多个接收机对雷达数据进行并行接收, 然后对接收到的回波数据进行拼接成像

的子孔径成像方法, 该方法能够有效缩短成像时间, 获得较好的成像质量。另一方面, ISAR 成像中合成阵列由于受到航向、速度以及目标微动成分的影响, 其阵列的空间流形较为复杂。大部分情况下, 尤其是战时, 目标运动是非合作的, 无法获得先验信息。如果在某个子孔径回波数据接收的过程中, 目标运动存在微动成分分量, 就会出现一些严重干扰目标成像的回波数据。这种情况下, 直接采用文献[3]的算法对回波数据进行子孔径拼接成像, 会导致不能很好的聚焦, 甚至不能成像。

目前, 对受损数据的剔除主要有以下几种方法: 文献[4]采用自适应 Chirplet 分解算法对微动分

收稿日期: 2012-12-24; 修回日期: 2013-07-12

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61143008); 国家高新技术研究发展计划 (“863”计划) 基金资助项目(2011aa01a204)

**Foundation Items:** The National Natural Science Foundation of China(61143008); The National High Technology Research and Development Program of China (863 Program) (2011aa01a204)

量和刚体目标分量进行隔离变化，将回波分量数据映射到不同空间，并通过设置门限分离刚体回波数据。但自适应 Chirplet 分解算法受到庞大 Chirplet 集带来的高运算复杂度的制约。文献[5,6]提出了微动目标模型，并运用时频分析的方法对微动分量进行提取。但该算法对包含微动分量的回波数据进行分析时可能会出现频谱混叠的现象，从而导致难以精确估计微多普勒参数。

## 2 旋转微多普勒信号分析

本节在文献[5,6]提出的旋转微多普勒运动目标模型基础上，结合平流层平台的特点，以旋转微多普勒运动目标为例，对散射点微动成分进行建模分析。雷达散射点模型如图 1 所示，坐标系  $xOy$  为 ISAR 成像二维平面，平流层雷达系统位于坐标原点，目标的上方。目标初始阶段位于坐标  $O'(x_{ref}, y_{ref})$  处，且目标沿着  $x$  轴以速度  $v$  做匀速直线运动。运动目标模型含  $M$  个刚体性散射点  $P_m(x_m, y_m)$  和  $N$  个旋转散射点  $P_n(x_n, y_n)$ 。其中， $m$  和  $n$  分别满足  $1 \leq m \leq M$  和  $1 \leq n \leq N$ 。对于每个旋转散射点绕其中心  $C(x_c, y_c)$  以旋转角  $\omega_n$  做圆周运动，初始旋转角度为  $\theta_{n0}$ ，旋转半径为  $r_n$ 。为了简化分析过程，假设对于所有  $M$  个刚体散射点，散射系数  $\delta_m$  ( $m=1,2,\dots,M$ ) 假定恒定；而所有  $N$  个旋转微动散射点，其散射系数  $\delta_n$  ( $n=1,2,\dots,N$ ) 在成像时间内仍以其平均值代替、假定不变，散射点  $C$  与雷达的初始距离为  $R_c$ ，运动目标中心  $O'$  与雷达的初始距离为  $R_{ref}$ 。

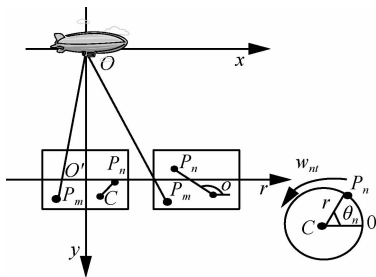


图 1 含有微动分量的平流层 ISAR 转台模型

雷达回波发射信号表达式为

$$p(t) = \text{rect}\left(\frac{t}{T_p}\right) \cdot \exp(j2\pi(f_c t + \frac{1}{2}\mu t^2)) \quad (1)$$

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

其中， $f_c$  为载波频率，是 chirp 脉冲信号重复频率，

$\mu$  为 chirp 发射周期。慢时间  $\tau$  上回波信号表达式为

$$\begin{aligned} s_r(t, \tau) &= \sum_{m=1}^M s_m(t, \tau) + \sum_{n=1}^N s_n(t, \tau) \\ &= \sum_{m=1}^M \sigma_m p(t - 2R_m(\tau)/c) + \\ &\quad \sum_{n=1}^N \sigma_n p(t - 2R_n(\tau)/c) \end{aligned} \quad (3)$$

其中， $t$  为快时间， $\tau$  为慢时间。 $R_m(\tau)$  和  $R_n(\tau)$  分别为第  $m$  个刚体性散射点和第  $n$  个旋转散射点在慢时间上与雷达的距离。 $\sigma_m$  和  $\sigma_n$  是第  $m$  个刚体性散射点与第  $n$  个旋转散射点的散射系数。

假设目标相对于雷达的平动分量已被补偿，旋转微动目标转化为绕雷达平台转动目标。以目标中心  $O'$  作为参考点，那么参考信号可表示为

$$\begin{aligned} s_0(t, \tau) &= \text{rect}\left(\frac{t - 2R_{ref}(\tau)/c}{T_{ref}}\right) \cdot \\ &\quad \exp(j2\pi(f_c(t - \frac{2R_{ref}(\tau)}{c}) + \frac{1}{2}\mu(t - \frac{2R_{ref}(\tau)}{c})^2)) \end{aligned} \quad (4)$$

其中， $T_{ref}$  为参考信号重复周期，并且满足条件  $T_{ref} > T_p$ 。通过对回波信号进行去调频 (dechirp) 处理，并在距离—快时间上对 dechirp 处理后的回波数据进行 Fourier 变换和剔除残余时频误差项 RVP (residual video phase)，得到<sup>[7]</sup>

$$\begin{aligned} S_c(f, \tau) &= \sum_{m=1}^M \sigma_m T_p \sin c\left(T_p\left(f + \frac{2\mu}{c} \cdot \Delta R_m(\tau)\right)\right) \cdot \\ &\quad \exp(-j\frac{4\pi}{\lambda} \Delta R_m(\tau)) + \\ &\quad \sum_{n=1}^N \sigma_n T_p \sin c\left(T_p\left(f + \frac{2\mu}{c} \cdot \Delta R_n(\tau)\right)\right) \cdot \\ &\quad \exp(-j\frac{4\pi}{\lambda} \Delta R_n(\tau)) \end{aligned} \quad (5)$$

其中，

$$\begin{aligned} \Delta R_m(\tau) &= R_m(\tau) - R_{ref}(\tau) \\ &\simeq R_m(0) - x_m \cdot \frac{v\tau}{R_m(0)} - \\ &\quad (R_{ref}(0) + x_{ref} \cdot \frac{v\tau}{R_{ref}(0)}) \\ &= \Delta R_m(0) + \\ &\quad (x_m \cdot \frac{v\tau}{R_m(0)} - x_{ref} \cdot \frac{v\tau}{R_{ref}(0)}) \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \Delta R_n(\tau) &= R_n(\tau) - R_{\text{ref}}(\tau) \\ &\simeq R_C(0) - R_{\text{ref}}(0) + \\ &\quad \left( x_C \cdot \frac{v\tau}{R_C(0)} - x_{\text{ref}} \cdot \frac{v\tau}{R_{\text{ref}}(0)} \right) + \\ &\quad r_n \sin(w_n \tau + \theta_{n0}) \end{aligned} \quad (7)$$

对于式 (6) 和式 (7), 当目标与雷达距离较远时,  $x_m \cdot \frac{v\tau}{R_m(0)}$  和  $x_{\text{ref}} \cdot \frac{v\tau}{R_{\text{ref}}(0)}$  相对较小可以忽略。因此, 可以得到

$$f_m = -2\mu \cdot \Delta R_m(\tau) / c \approx -2\mu \cdot \Delta R_m(0) / c \quad (8)$$

$$f_n = -2\mu(R_C(0) - R_{\text{ref}}(0) + r_n \sin(w_n \tau + \theta_{n0})) / c \quad (9)$$

其中,  $f_m$  和  $f_n$  分别为刚体性散射点和旋转散射点在包络像中相对于参考点的频率位置。其中,  $f_n$  第一项与刚体性散射点相同, 第二项为旋转目标所特有, 反映了旋转散射点在回波包络和相位项上的影响, 即微多普勒效应。因此对于含有微动成分的运动目标来说, 其目标频谱在慢时间域为正弦调频信号和低调频率 LFM 信号的复合调制信号<sup>[8]</sup>。

### 3 基于不变矩的微动成分分离算法

#### 3.1 基于不变矩的微动成分分离原理

由上一节对旋转微动目标模型的分析可知, 当目标物体在运动过程中某一孔径回波数据存在微动成分时, 会导致回波信号相位信息产生调制, 那么, 利用该子孔径数据所成的多普勒域图像几何形态会有显著差异。本文所提算法的关键是要在子孔径拼接之前对含有微动成分的子孔径数据进行分离, 因此首先要判断出哪一部分子孔径回波数据含有微动成分。在距离-多普勒 (RD) 成像的过程中, 不同目标物体映射到多普勒域所形成的多普勒域像在几何形态上有显著的差别。不变矩是描述区域的方法之一。由于矩不变量具有不随图像的位置、大小和方向而变化的特点, 对于提取图像中的形态特征来说, 是一个非常有效的工具。

Wong R Y 给出了离散情况下的各阶矩的计算方法, 并且用图像进行了匹配实验, 其结果表明当比例因子  $P \leq 2$ , 旋转角度  $\leq 45^\circ$ , 能够保证 Hu M K 所定义的 7 种矩基本上保持不变。

区域  $f(x, y)$  的  $(p+q)$  阶矩定义为

$$M_{pq} = \iint x^p y^q f(x, y) dx dy, \quad p, q = 0, 1, 2, \dots$$

其离散形式为

$$m_{pq} = \sum_x \sum_y x^p y^q f(x, y), \quad p, q = 0, 1, 2, \dots \quad (10)$$

其相应的中心矩定义为

$$\begin{aligned} u_{pq} &= \sum_x \sum_y (x - \bar{x})^p (y - \bar{y})^q f(x, y), \\ p, q &= 0, 1, 2, \dots \end{aligned} \quad (11)$$

其中,  $\bar{x} = \frac{m_{10}}{m_{00}}$ ,  $\bar{y} = \frac{m_{01}}{m_{00}}$ , 即重心坐标。 $(\bar{x}, \bar{y})$  是目标区域灰度质心。 $f(x, y)$  的归一化  $(p+q)$  阶中心矩定义为

$$\eta_{pq} = \frac{u_{pq}}{u_{00}^\gamma}, \quad p, q = 0, 1, 2, \dots \quad (12)$$

其中,

$$\gamma = \frac{p+q}{2} + 1, \quad p, q = 2, 3, 4, \dots \quad (13)$$

Hu M K 曾利用二阶和三阶规格中心矩给出了连续函数 7 个不变矩的定义, 并证明该矩组具有平移、旋转和比例因子不变性<sup>[9]</sup>

$$\begin{cases} \phi_1 = \eta_{20} + \eta_{02} \\ \phi_2 = (\eta_{20} - \eta_{02})^2 + 4\eta_{11}^2 \\ \phi_3 = (\eta_{30} - 3\eta_{12})^2 + (3\eta_{21} - \eta_{03})^2 \\ \phi_4 = (\eta_{30} + \eta_{12})^2 + (\eta_{21} + \eta_{03})^2 \\ \phi_5 = (\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{30} + \eta_{12}) \left[ (\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2 \right] + \\ \quad (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{21} + \eta_{03}) \left[ 3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2 \right] \\ \phi_6 = (\eta_{20} - \eta_{02}) \left[ (\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2 \right] + \\ \quad 4\eta_{11}(\eta_{30} + \eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03}) \\ \phi_7 = (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{30} + \eta_{12}) \left[ (\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2 \right] + \\ \quad (3\eta_{12} - \eta_{30})(\eta_{21} + \eta_{03}) \left[ 3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2 \right] \end{cases} \quad (14)$$

此组不变矩不受平移、旋转以及大小比例改变的影响。

在 RD 成像算法中目标自旋转角度一般为  $5^\circ \sim 7^\circ$ , 因此对于小转角运动目标来说, 各时段所成 ISAR 图像不变距大小基本保持不变。然而, 当目标运动到某个时段存在微动成分分量时, 该时段所成子图像的几何形态会发生改变 (含有正弦分量的干扰), 其对应的不变距值大小相对于其他子图像来说会产生较明显的差异, 从而可以将该部分子孔径数据剔除, 用余下回波数据进行成像。图 2 给出了含微动分子孔径数据分离流程图。

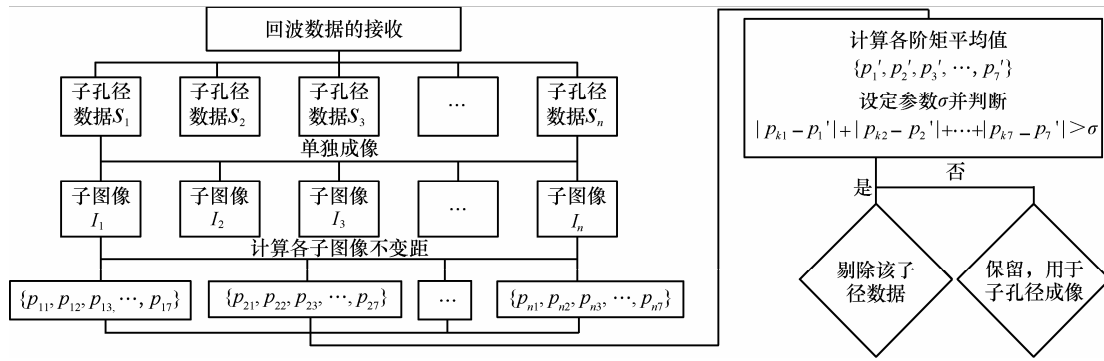


图 2 含微动量子孔径数据分离流程

### 3.2 算法步骤

根据不同子孔径最后的 ISAR 二维图像，可以利用不变矩提取出二维图像的特征向量，从而在距离—慢时间域回波  $s_r(t, \tau)$  中去除该二维图像所对应的包含有微动成分的子孔径数据，最后对剩余回波数据进行刚体回波的重建并采用传统的 RD 成像算法进行成像。

根据上节分析可给出算法如下。

- 1) 雷达接收回波数据为  $s\{s_1, s_2, s_3, \dots, s_n\}$ ，其中， $s_i$  表示第  $i$  个子孔径回波数据， $n$  为子孔径数目。
- 2) 分别对第  $i$  个回波数据单元进行运动补偿及 RD 成像，得到图像  $I\{I_1, I_2, I_3, \dots, I_n\}$ 。
- 3) 利用不变矩式(14)分别计算  $n$  幅图像的不不变矩特征向量。

$$\phi_1\{p_{11}, p_{12}, p_{13}, \dots, p_{17}\}$$

$$\phi_2\{p_{21}, p_{22}, p_{23}, \dots, p_{27}\}$$

$$\phi_3\{p_{31}, p_{32}, p_{33}, \dots, p_{37}\}$$

$$\phi_n\{p_{n1}, p_{n2}, p_{n3}, \dots, p_{n7}\}$$

- 4) 分别对  $\phi_1, \phi_2, \phi_3, \dots, \phi_n$  的不不变矩特征向量进行比对，判断各数据离散情况，分离含有微动分量的子孔径回波数据，得到雷达回波数据  $e\{e_1, e_2, e_3, \dots, e_k\}$ 。

- 5) 对雷达回波数据  $e$  进行子孔径拼接，得到拼接后的回波数据  $e'$ 。

- 6) 分别利用包络最小熵法和相位梯度自聚焦 (PGA) 算法对拼接后的回波数据  $e'$  进行距离向上的对准和相位补偿；并对进行运动补偿后的回波数据进行 RD 成像，得到最后的 ISAR 二维像。

## 4 仿真结果

仿真中，目标散射点分布如图 3 所示，其中，

运动目标机翼和目标中心处存在旋转散射点。在运动目标围绕雷达平台做匀速直线运动的同时，旋转散射点绕其自身坐标系做圆周运动，旋转微动频率为 7 Hz，即旋转角速度  $\omega_r$  为  $7 \times 2\pi$ ，在图中用  $\circ$  表示。其余散射点进行正常的围绕雷达平台的运动。表 1 给出了基于平流层环境下雷达信号及目标运动参数设置，每个子孔径取 128 次回波数据。

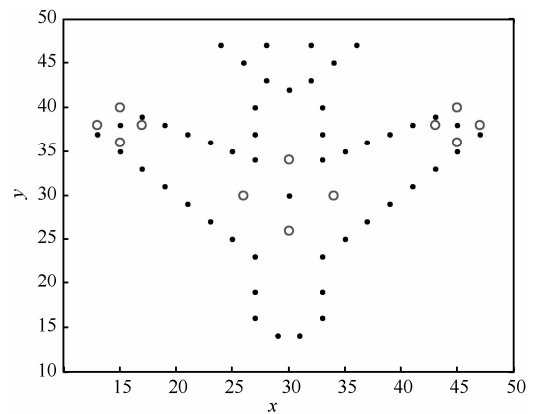


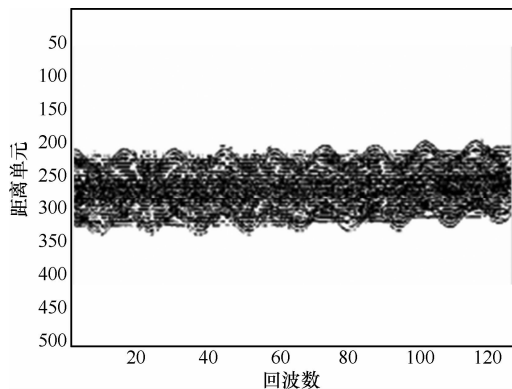
图 3 含有微动成分的散射点模型

表 1 仿真参数

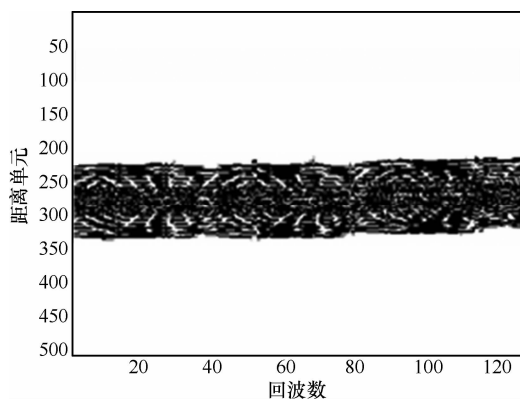
仿真参数	符号	值
平台高度/km	$h$	15
信号载频/GHz	$f$	10
带宽/MHz	$B$	400
脉冲宽度/ $\mu$ s	$\mu$	250
脉冲重复频率/Hz	$PRF$	800
子孔径个数	$n$	8
目标飞行速度/ $m \cdot s^{-1}$	$v$	150

为了验证该算法的有效性，在接收第 4 个子孔径数据时加入微动分量。首先对存在微动成分的子孔径不做任何处理，其所成一维像如图 4(a)所示，其中横坐标代表回波次数，相对于成像过程中的慢

时间，纵坐标为距离单元。从图中可以看出其回波包络含有周期性的正弦分量，微动分量对同一距离单元中的回波产生了调制。图 4(b)为不含有微动成分的子孔径一维距离像。图 5 是对 8 个子孔径所单独成像后求得的不变矩特征向量，其中偏离程度较大的特征向量为第 4 个子孔径的不变矩特征向量。其中横坐标代表 7 个不变矩，纵坐标为其相应值。从图 5 可以看出不变矩能够有效地对含有微动成分的子孔径数据进行识别。



(a) 含有微动成分分量的第 4 个子孔径



(b) 不含微动成分分量的第 1 个子孔径

图 4 不同子孔径所成 ISAR 一维距离像

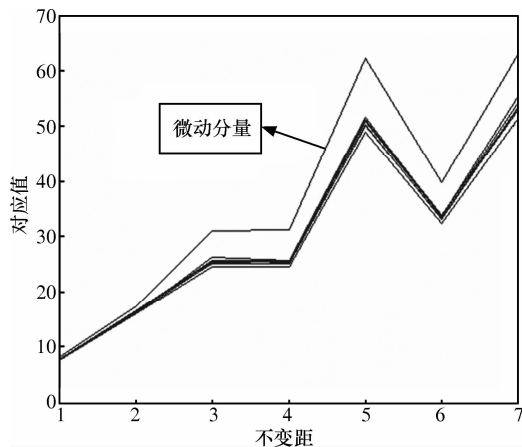


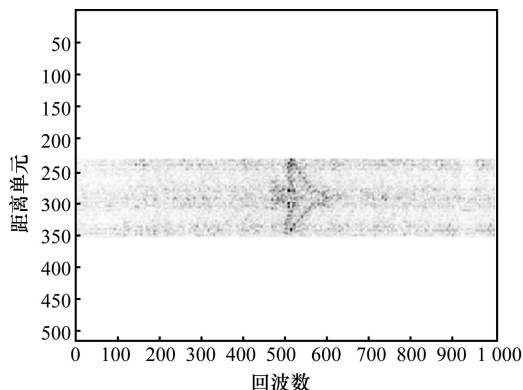
图 5 不同子孔径所成 ISAR 子图像的不变矩值

按照文献[3]中所提算法直接进行子孔径拼接成像，成像效果如图 6(a)所示。其中横坐标代表回波次数，相对于成像过程中的慢时间，纵坐标为距离单元。从图 6(a)中可以看出直接拼接成像时，刚体回波比微动分量回波弱得多，导致图像模糊，对散射点的分辨存在一定的影响。图 6(b)为剔除第 4 个子孔径数据后，利用同样的子孔径拼接方法所成的二维图像，直观地可以看出成像效果得到了明显的改善。再从图像的灰度方差上进行分析，由于受到干扰的影响，图像变的更加模糊，聚焦效果较差，因此图像的灰度方差较低。对于 ISAR 图像， $N_x$  表示回波个数， $N_y$  表示距离单元个数， $f(x,y)$  代表在图像坐标 $(x,y)$ 处的灰度值。则所有像素灰度值的平均值为

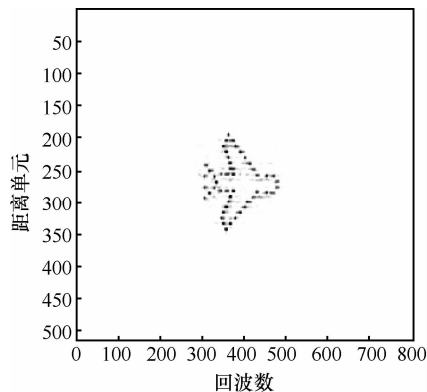
$$\bar{g}_k = \frac{1}{N_x \cdot N_y} \sum_{x=1}^{N_x} \sum_{y=1}^{N_y} f(x,y) \quad (15)$$

图像的灰度方差函数为

$$S_k = \frac{1}{N_x \cdot N_y} \sum_{x=1}^{N_x} \sum_{y=1}^{N_y} (f(x,y) - \bar{g}_k)^2 \quad (16)$$



(a) 含有微动成分的子孔径拼接的成像结果



(b) 去除微动成分后子孔径拼接的成像效果

图 6 去除微动分量后子孔径拼接成像结果

利用式(16)得到图像 6(a)和图像 6(b)的灰度方差分别为 0.003 8 和 0.004 7。因此,从图像灰度方差的角度上来看,本文算法使图像的成像效果得到了改善。

此外,为了进一步验证本文所提算法的有效性,在相同条件下,与文献[5,6]中所提出的时频分析方法进行对比。时频分析方法需要准确地提取出微多普勒参数,然后才能有效地消除旋转微动回波分量的影响。图 7 是在完成子孔径拼接之后,利用时频分析得到的成像时间 1.145 9s 时的 ISAR 瞬态像。

从图 7 可以看出,当目标旋转部件转速较高时,现有雷达接收机的脉冲重复频率(PRF)很难达到无混迭采样要求。因此在对包含微多普勒的距离单元进行时频分析时,频谱的混迭会严重影响微多普勒参数的准确获取。即使旋转部件的转速很慢,距离单元中往往包含大量的散射点,从时频分布中很难精确估计出微多普勒参数,从而不能得到较好的 ISAR 成像效果。

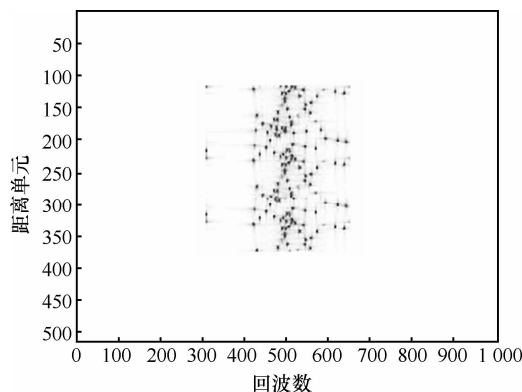


图 7 采用时频分析方法得到的瞬态 ISAR 图像

## 5 结束语

本文对平流层平台 ISAR 成像系统中目标微动模型进行了理论分析,提出了利用不变矩对含有微动成分分量的子孔径回波数据进行判别,实现了对含有微动成分分量的子孔径回波数据的分离。利用文献[3]提出的子孔径拼接算法对分离后的子孔径数据进行拼接,并进行 RD 成像,最终获得了较好聚焦的 ISAR 二维图像。然而,在实际的平流层环境下,平流层平台 ISAR 系统由于受到风速等环境因素的影响而处于准静止状态,对回波信号相位项产生影响。因此,如何在准静止状态下对微动成分分量进行判别和剔除是未来

要研究的重点。

## 参考文献:

- [1] GALLETTI M, KRIEGER G, THOMAS B, *et al.* Concept design of a near-space radar for tsunami detection[J]. *IEEE Geosci Remote Sens* 2007, 6:34-37.
- [2] 张馨文,王俊.基于多电视台子孔径综合的无源雷达成像算法[J].*电子与信息学报*, 2007, 29(3):528-531.  
ZHANG X W, WANG J. Passive radar imaging algorithm based on sub-apertures synthesis of multiple television stations[J]. *Journal of Electronics & Information*, 2007, 29(3):528-531.
- [3] 黄燕,李安平,朱丰.一种慢速运动目标 ISAR 子孔径拼接方法[J].*火力与指挥控制*, 2011, 36(3):42-45.  
HUANG Y, LI A P, ZHU F. Analysis of phase compensation principle and application of ISAR sub-aperture connection for targets with low-velocity[J]. *Fire Control & Command Control*, 2011, 36(3): 42-45.
- [4] LI J, LING H. Application of adaptive chirplet representation for ISAR feature extraction from targets with rotating parts[J]. *IEEE Proceedings Radar, Sonar and Navigation*, 2003, 150(4):284-291.
- [5] CHEN V C, LI F, HO S-S. Analysis of micro Doppler signatures[J]. *IEEE Proc Radar Sonar Navig*, 2003, 150(4):271-276.
- [6] SATANKOVIC L, IGOR D C. Separation of target rigid body and micro-Doppler effects in ISAR imaging[J]. *Aerospace and Electronic Systems*, 2006, 42(4):1496-1506.
- [7] CABRERA S D, PARKS T W. Extrapolation and spectral estimation with iterative weighted norm modification[J]. *Signal Processing & Analysis*, 1991, 39(4):842-851.
- [8] LI K, LIANG X J, ZHANG Q. Micro-doppler signature extraction and ISAR imaging for target with micromotion dynamics[J]. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 2011, 8(3):411-415.
- [9] QING C P, EMIL Y. A comparative study of Fourier descriptors and Hu's seven moment invariants for image recognition[A]. *Canadian Conference on, Electrical and Computer Engineering[C]*. 2004. 103-106.

## 作者简介:



齐兆群(1981-),男,黑龙江鸡西人,北京邮电大学博士生,主要研究方向为军事通信、图像处理、移动通信。

景晓军(1965-),男,北京人,北京邮电大学教授、博士生导师,主要研究方向为军事通信、信息融合、模式识别、图像处理。

游思晴(1982-),女,福建福州人,博士,主要研究方向为图像处理和移动通信。

孙海斌(1987-),男,河南漯河人,北京邮电大学硕士生,主要研究方向为多媒体技术、雷达成像等。