

相位匹配处理微动目标 ISAR 成像

陈行勇,姜卫东,刘永祥,黎 湘,郭桂蓉

(国防科技大学空间电子信息技术研究所,湖南长沙 410073)

摘 要: 利用二维离散傅立叶变换理论分析了步进频率信号 ISAR(Inverse Synthetic Aperture Radar)成像和多普勒效应原理,提出了相位匹配处理微动目标 ISAR 成像技术,阐述了新算法的物理意义,使用仿真数据演示了相位匹配处理微动目标 ISAR 成像技术的性能,证明了新技术微动目标 ISAR 成像能力。

关键词: 逆合成孔径雷达;微动;步进频率信号;相位匹配处理;多普勒效应;离散傅里叶变换

中图分类号: TN5972.52 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112(2007)03-0435-06

Phase Matching Processing for ISAR Imaging of Target with Micro-Motion

CHEN Hang-yong, JIANG Wei-dong, LIU Yong-xiang, LI Xiang, GUO Gui-rong

(Institute of Space Electronics Information Technology, National University of Defense Technology, Changsha, Hunan 410073, China)

Abstract: Based on 2-D discrete fourier transform, the principle of ISAR(Inverse Synthetic Aperture Radar) imaging and its doppler effect are analyzed for stepped frequency waveform. Phase match processing technology is proposed to achieve ISAR image of target with micro-motion. The new technology has an innovative physical interpretation. Monte Carlo simulations with synthetic data demonstrate the performance of the new technology. The results confirm the ability of the new technology to reconstruct the ISAR image of a target with micro-motion.

Key words: ISAR(Inverse Synthetic Aperture Radar); micro-motion; stepped frequency waveform; phase matching processing; Doppler effect; discrete Fourier transform

1 引言

雷达目标的二维 ISAR 像为目标散射点在雷达扫描平面的投影,能够反映目标二维等效电磁散射分布和结构特征,是雷达目标识别的重要途径之一。微动^[1~4]指目标或目标组成部分在径向相对雷达的小幅(相对于目标与雷达的径向距离)非匀速运动或运动分量。微动在自然界普遍存在,如行人手和腿的摆动、直升机旋翼的转动以及弹道导弹弹头的进动和翻滚等。

在军事应用场合,由于存在内燃机、喷气发动机和旋翼等动力源,大多数雷达目标都是非刚体,这些目标高分辨雷达特征包含独特的目标结构和微动信息。由于微动目标的主体和其非刚体振动、转动部件回波信号重叠在一起,低分辨雷达不能用于提取其结构特征,如转动和振动中心,而微动目标多个时刻的雷达像能够记录其姿态和结构变化信息,因此宽带雷达对微动的测量可以反演微动目标独特的运动和结构特性。对微动目标

ISAR 成像面临的是不同散射点具有不同的运动规律,若微动目标具有相同的高阶平动规律,则可由时频变换代替 FFT 获得 ISAR 的横向分布,若微动目标各散射点具有不同的转动运动,理论上是不能 ISAR 成像。文献[4]研究了基于时频变换的 ISAR 成像技术,文献[5]研究了使用自适应联合时频算法聚焦 ISAR 像的算法,文献[6]研究了微小摄动引起的 ISAR 像失真,给出了使用时频变换技术校正失真,重构 ISAR 像的方法,文献[7]使用实验的方法研究了不同波形对 ISAR 像失真的影响,文献[8]研究了不同径向速度多目标 ISAR 成像算法,文献[9]研究了基于熵的 ISAR 自聚焦。

对于步进频率波形,纵向分辨力是频率步进获得的宽频带距离分辨能力,横向分辨力是小角度转动等效为时间步进获得的宽时带多普勒分辨能力。本文首先阐述步进频率信号对刚体目标 ISAR 成像的原理,然后对于微动非刚体目标,提出了一种新的 ISAR 成像技术。

收稿日期:2005-12-21;修回日期:2006-12-16

基金项目:自然科学基金项目(No. 60402032);国防预研项目(No. 41303040203)

2 ISAR 成像原理

如图 1 所示,设雷达坐标系为 (U, V, W) , 附于目标的坐标系为 (x, y, z) , 为描述目标的转动, 将雷达坐标系平移至与目标坐标系 (x, y, z) 原点重合, 并记为 (X, Y, Z) . 目标质心 O 的平动规律为 $R(t)$, 转动规律为 $\omega(t)$, 设雷达发射载频为 f_0 的单频信号, 脉冲宽度为 τ , 脉冲重复间隔为 T_{PRI} . 目标质心的方位角为 α , 任意一点 P 在坐标系 (x, y, z) 的位置记为 $P(x, y, z)$, 其散射强度记为 $h(x, y, z)$. 设目标为远场目标, 各散射点的方位角均近似为 α , 则如图 1 所示, t 时刻点 P 与雷达相位中心距离记为

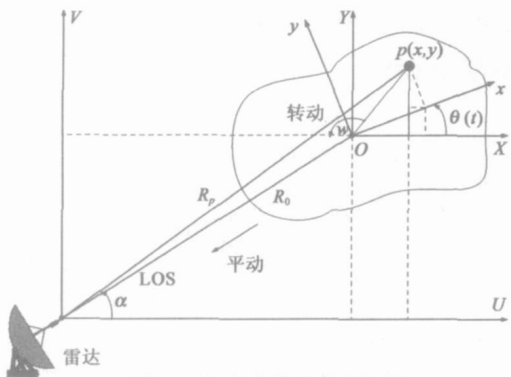


图 1 ISAR 成像几何示意图

$$R_p(t) = (R(t) + x \cos(\omega(t)) - y \sin(\omega(t))) / \cos(\alpha) \quad (1)$$

为便于分析, 令 $\alpha = 0$, 对于小转角目标, 其回波信号的相位经过时间变量 t 的二阶近似后变为^[4]

$$u(t) = \exp\left\{-j4 f_0 \frac{R(t)}{c}\right\} \exp\left\{-j2 [x f_x(t) - y f_y(t)]\right\} dx dy dz, \quad (2)$$

$$2 R_p(t) / c \quad t \quad + 2 R_p(t) / c$$

其中

$$f_x(t) = \frac{2f_0}{c} \cos(\omega(t)) \quad (3)$$

$$f_y(t) = \frac{2f_0}{c} \sin(\omega(t)) \quad (3)$$

若将目标 ISAR 像等效为散射点三维分布在雷达扫描平面 xoy 的投影 (x, y) , 并假设目标不存在平动, 则式(2)可简化为

$$u(t) = \int \int (x, y) \exp\left\{-j2 [x f_x(t) - y f_y(t)]\right\} dx dy \quad (5)$$

在雷达相干处理时间内, 目标转动很小, 近似有 $\omega(t) \approx 0$, 因此有 $\cos(\omega(t)) \approx 1, \sin(\omega(t)) \approx \omega(t)$, 于是可得

$$u(t) = \int \int (x, y) \exp\left\{-j2 \left[x \frac{2f_0}{c} - y \frac{2f_0}{c} \omega(t)\right]\right\} dx dy \quad (6)$$

若目标为匀速转动, 或在成像时间内近似为匀速转动,

则有 $\omega(t) = \omega$, 为目标转动角速度, 上式变为

$$u(t) = \int \int (x, y) \exp\left\{-j2 \left[x \frac{2f_0}{c} - y \frac{2f_0}{c} \omega t\right]\right\} dx dy \quad (7)$$

令 $f = \frac{2f_0}{c}, \omega = \frac{2f_0}{c} \omega t$, 上式简化为

$$u(t) = \int \int (x, y) \exp\{-j2 [x f - y \omega t]\} dx dy = \int (x, y) \exp\{-j2 f x\} dx \exp\{j2 \omega t y\} dy = \text{IFT}_y[\text{FT}_x[(x, y)]] \quad (8)$$

上式表明, 回波信号实际上是散射中心二维分布 (x, y) 关于纵向坐标 x 的傅立叶变换和横向坐标 y 的逆傅立叶变换, 可称为混合傅立叶变换, 因此对回波信号 $u(f, \omega t)$ 关于 f 计算逆傅立叶变换和关于 ωt 计算傅立叶变换, 即可重构散射中心二维分布 (x, y) , 即 ISAR 像。

然而要获得纵向分辨力必须让频率量 f 覆盖一定的带宽, 要获得横向分辨力必须让时间量 ωt 覆盖一定的时宽. 信号的拉伸处理在相干脉冲内覆盖一定的时宽, 获得了多普勒/频率分辨力, 在脉冲间覆盖一定的带宽, 获得了距离/时间分辨力, 例如对步进频率信号在脉内和脉间同时采样, 可同时获得时频分辨力, 对采样值计算混合逆傅立叶变换可得目标 ISAR 像。

3 均匀拉伸 ISAR 成像

设雷达发射步进频率信号, 如图 2 所示. M 为步进频率信号的相干脉冲个数, N 为每个脉冲采样点数, 依据雷达距离分辨力和多普勒分辨力, 将微动目标二维

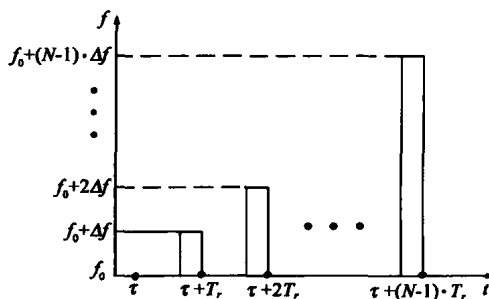


图 2 步进频率信号的频率

散射分布 (x, y) 分成 $M \times N$ 个分辨单元, r_x 和 r_y 分别为雷达沿目标纵向和横向的分辨单元. 如图 3 所示, 记微动目标离散的等效二维散射分布为 $h(m, n)$, ($m = 0, 1, 2, \dots, M-1, n = 0, 1, 2, \dots, N-1$). 各等效散射中心具有非一致平动运动规律和一

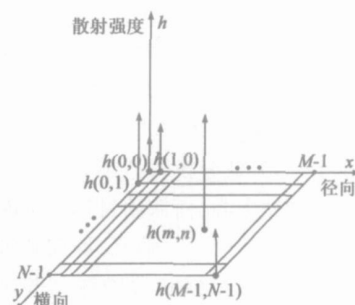


图 3 离散 ISAR 模型

在式(17)中,包含四个变量 m, n, i 和 k, m 和 k 等效为时间/距离变量, n 和 i 等效为频率/多普勒变量, 由于成像是 对变量 i 和 k 计算二维混合逆傅立叶变换, 故将成像算法称为时间-频率算法, 或距离-多普勒算法. ISAR 像所有的失真都是由于四个变量的高阶自项耦合和交项耦合引起的, 包括 i 和 k 各自的高阶自项耦合, $m-i$ 交项耦合和 $n-k$ 交项耦合, ISAR 像聚焦的任务就是消除这些耦合项或对其解耦分离. 关于 ISAR 像刚体平动补偿已有许多文献研究^[11-13].

4 相位匹配处理微动目标 ISAR 成像

4.1 相位匹配处理 ISAR 成像

如图 4 所示雷达发射频率步进信号, 其脉冲重复时间为非均匀的或非周期的, 称为相位匹配波形, 第 $i+1$ 个脉冲的频率相对于中心频率 f_0 有 $i \cdot \Delta f$ 的递减, 新的信号波形为

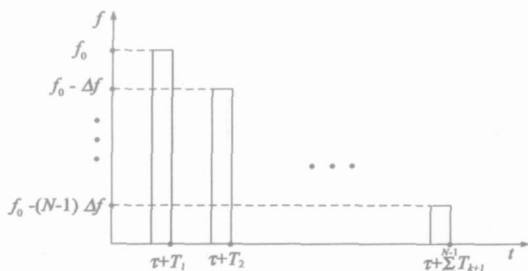


图 4 频率步进波形的频率

$$s(t) = \prod_{i=0}^{N-1} \text{rect}\left\{ \frac{t - \sum_{k=0}^i T_{k+1}}{\Delta f} \right\} \cdot e^{j2(f_0 - i \Delta f)t} \quad (25)$$

在上式中,除脉冲重复时间 $T_{i+1} (i=0, 1, \dots, N-1)$ 外, 参数与步进频率信号相同.

相位匹配波形将一个宽带波形以非均匀的脉冲重间隔分解成多个相对窄的脉冲, 脉冲间的间隔可用于匹配微动造成的回波信号的多普勒频移, 因此新的波形可以灵活地对距离、时间和多普勒实现解耦分离, 由于对每个脉冲的脉冲间隔都不相同, 故称为非均匀拉伸处理或非周期拉伸处理.

回波信号经过混频降到零中频后变为

$$u(t) = \begin{cases} \prod_{m=0}^{M-1} \prod_{n=0}^{N-1} \text{rect}\left[\frac{t - \frac{2(R_m - v(m, n)t)}{c + v(m, n)} - \sum_{q=0}^i T_{q+1}}{\Delta f} \right] \\ \cdot h(m, n) \cdot \exp\left\{ -j2 \frac{2(f_0 - i \Delta f)}{c} m r_x \right\} \\ \cdot \exp\left\{ j2 \frac{2(f_0 - i \Delta f)}{c} t n r_y \right\} \\ \cdot \exp\left\{ -j4 (f_0 - i \Delta f) \frac{R_0 - v(m, n)t}{c + v(m, n)} \right\}, \\ 0, \quad \text{其他} \end{cases} \quad (26)$$

假设目标各散射点速度不是很大, 即 $c + v_n = c$, 如图 5 所示, 对上式在 $\sum_{q=0}^i T_{q+1} + k \Delta t (i=0, 1, 2, \dots, M-1, k=0, 1, 2, \dots, N-1)$ 时刻采样得

$$H[i, k] = u\left(\sum_{q=0}^i T_{q+1} + k \Delta t \right) = \prod_{m=0}^{M-1} \prod_{n=0}^{N-1} h(m, n) \cdot \exp\left\{ -j2 \frac{2(f_0 - i \Delta f)}{c} m r_x \right\} \cdot \exp\left\{ j2 \frac{2(f_0 - i \Delta f)}{c} t n r_y \right\} \cdot \exp\left\{ -j4 (f_0 - i \Delta f) \frac{R_0 - v(m, n)\left(\sum_{q=0}^i T_{q+1} + k \Delta t\right)}{c} \right\} \quad (27)$$

设脉间波形参数和脉内采样参数满足临界紧约束条件, 通常成像雷达基频 f_0 较大, 目标转速不大时, 上式变为

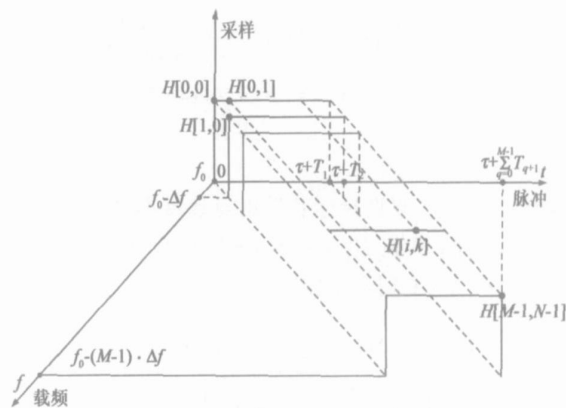


图 5 频率步进波形 ISAR 成像信号处理

$$H[i, k] = \prod_{m=0}^{M-1} \prod_{n=0}^{N-1} h_d(m, n) \cdot W_M^{-im} \cdot W_N^{-kn} \exp\{j\phi_3\} \exp\{j\phi_4\} \quad (28)$$

其中 $h_d(m, n), \phi_3$ 和 ϕ_4 分别为

$$h_d(m, n) = h(m, n) \exp\left\{ -j2 \frac{f_0}{M} m r_x \right\} \exp\left\{ -j4 \frac{f_0 R_0}{c} \right\} \quad (29)$$

$$\phi_3 = -2 \left[\frac{2R_0}{c} f_0 i - \frac{n}{N} \sum_{q=0}^i T_{q+1} \right] \quad (30)$$

$$\phi_4 = 4 (f_0 - i \Delta f) \frac{v(m, n)\left(\sum_{q=0}^i T_{q+1} + k \Delta t\right)}{c} \quad (31)$$

由上式可知, 要实现 对 $m-i$ 和 $n-k$ 解耦分离, T_i 必须满足

$$\frac{f_0 - i \Delta f}{c} \sum_{q=0}^i T_{q+1} = b, i=0, 2, \dots, M-1 \quad (32)$$

$$\frac{f_0 - i \Delta f}{c} k \Delta t = 0, i=0, 2, \dots, M-1, k=0, 2, \dots, N-1 \quad (33)$$

由此可得 $f_0 T_1 = bc$ (34)

$$T_{q+1} = \frac{bc}{(f_0 - i f)} \quad (35)$$

$$T_i = \frac{bc f}{f_0^2 - (2i - 1) f + i(i + 1) f^2} \quad (36)$$

解耦后, ϕ_4 变为

$$\begin{aligned} \phi_4 &= bv(m, n) + 4 (f_0 - i f) \frac{v(m, n)(k - 1)}{c} t \\ &= \left[1 + \frac{4(k - 1)}{i} T_{q+1} \right] bv(m, n) \end{aligned} \quad (37)$$

对于步进频率信号, 通常有

$$\frac{4(k - 1)}{i} T_{q+1} \ll 1 \quad (38)$$

因此可得 $\phi_4 \approx bv(m, n)$, 由式(36)可得

$$\begin{aligned} T_i - T_{i-1} &= \frac{2bc f^2(1 + i f)}{[f_0^2 - (2i - 1) f + i(i + 1) f^2]} \\ &\quad - \frac{1}{[f_0^2 - (2i - 3) f + i(i - 1) f^2]} \frac{2ibc f^3}{f_0^4} \end{aligned} \quad (39)$$

通常成像雷达基频 f_0 较大, 由此可得 $T_i - T_{i-1} \approx 0$, 因此 ϕ_3 变为

$$\phi_3 \approx 2 \left[\frac{2R_0 f}{c} - \frac{nT_1}{N} \right] i \quad (40)$$

令 $h_f(m, n) = h(m, n) \cdot e^{-j4(R_0 f_0 + f_0 m r - bv(m, n))/c}$, 由二维 DFT 理论循环移位理论^[10], 式(28)变为

$$\begin{aligned} H[i, k] &= \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} h_f(m, n) \cdot W_M^{-im} \cdot W_N^{-kn} \cdot W_M^{ln} \\ &= MN \cdot \text{IDFT}_n[\text{IDFT}_m[h_f((m - l_n, n))]_M]] \quad (41) \\ |h_f((m - l_n, n))]_M| &= \frac{1}{MN} \cdot |\text{DFT}_k[\text{DFT}_i[H[i, k]]]| \end{aligned} \quad (42)$$

其中

$$l_n = \lfloor M \cdot (2R_0 f/c - nT_r/(N t)) - \lfloor 2R_0 f/c - nT_r/(N t) \rfloor \rfloor \quad (43)$$

4.2 数学本质和物理含义

式(41)和(42)具有全新的物理意义, 其含义为采样序列 $H[i, k]$ 是二维散射中心序列 $h(m, n)$ 的二维 IDFT, 若考虑采样过程, $H[i, k]$ 是二维散射中心序列 $h(m, n)$ 的二维逆离散时间傅利叶变换的采样, $h(m, n)$ 是采样序列 $H[i, k]$ 的二维 DFT, 根据二维 DFT 的物理含义, 可以得出以下结论: 采样序列 $H[i, k]$ 的幅度变化越剧烈, 微动目标强散射点所在的矩形分辨单元距离雷达越远。

根据傅立叶变换的物理意义, 在式(24)中, $H[i, k]$ 中的 i 指多普勒频率, 式(17)中的 ϕ_1 和 ϕ_2 包含的 m 和

i 的混合项产生距离—多普勒耦合效应; 而在式(42), $H[i, k]$ 中的 i 相当于时间, 因此我们可以把式(28)中的 ϕ_1 和 ϕ_2 包含的 m 和 i 的混合项称为距离-时间耦合. 从式(32)和式(33)我们可以看出, 使用相位匹配处理可以解开 $m - i$ 耦合(即距离-时间耦合)和 $n - k$ 耦合. 经相位匹配处理后, 剩余相位项 ϕ_1 和 ϕ_2 仅包含 i 和 n 的一次项, 这表明理论上 ISAR 像的幅度失真可以消除, 仅有 ISAR 像的移位, ISAR 像的移位可由式(43)计算。

4.3 仿真计算

设雷达工作在 X-波段, 其中心频率为 10GHz, 发射频率步进信号, 一个相干脉冲串包含 $M = 64$ 个脉冲, 频率步长为 $f = 1\text{MHz}$, 由此获得 64MHz 的带宽和 2.32m 的距离分辨力, 信号参数为: $\tau = 1\mu\text{s}$, $r_x = c/(2M f) = 2.32\text{m}$, $N = 64$, $t = \tau/N$, T_i 满足式(36), $b = 1$, 脉内采样时刻为 $0, t, 2t, \dots, (N - 1)t$.

目标模型如图 6(a) 所示, 目标包含 9 个散射点, 归一化散射强度分别为 $h(32, 32) = 5$, $h(21, 21) = h(42, 42) = 1$, $h(21, 42) = h(42, 21) = 3$, $h(30, 30) = h(34, 34) = h(30, 34) = h(34, 30) = 5$, 速度为 $v(32, 32) = v_0 = 100$, $v(21, 21) = v_0 + 150$, $v(42, 42) = v_0 - 150$, $v(21, 42) = v_0 + 50$, $v(42, 21) = v_0 - 50$, $v(30, 30) = v_0 + 100$, $v(34, 34) = v_0 - 200$, $v(30, 34) = v_0 - 100$, $v(34, 30) = v_0 + 200$, 速度单位均为 m/s .

对于步进频率信号 ISAR 成像, 如果刚体目标所有的散射中心具有相同的平动规律 $R(t)$, 则估计目标运动和移除相位项 $\exp[-j4 f_0 \cdot R_n(t)]$ 的过程称为距离跟踪, 距离跟踪是标准运动补偿程序的基本步骤^[4], 它是一种粗略的运动补偿. 对于微动目标由于目标各散射中心非一致的径向速度, 各散射点的距离走动不一样, 距离跟踪对于非刚体微动目标 ISAR 像的聚焦失效, 但是为了演示新旧算法的性能, 在此也模拟了无运动补偿的均匀拉伸处理和使用距离跟踪的均匀拉伸处理, 以便比较三种算法的性能. 记 ISAR_0 为设定目标像, 即二维散射中心序列, ISAR_1 为采用无运动补偿的步进频率波形获得的 ISAR 像, ISAR_2 为采用结合距离跟踪的步进频率波形获得的 ISAR 像, ISAR_3 为采用相位匹配波形获得的 ISAR 像。

在步进频率信号 ISAR 成像中, 设雷达工作在 X-波段, 其中心频率为 10GHz, 一个相干脉冲串包含 $M = 64$ 个脉冲, 频率步长为 $f = 1\text{MHz}$, 由此获得 64MHz 的带宽和 2.32m 的距离向分辨力, 脉冲重复间隔为 $T_r = 125\mu\text{s}$, 其它信号参数与相位匹配处理系统相同. 在距离跟踪中, 假设微动目标转动中心的平动被精确估计, 因此在式(24)中, 通过用 $\exp[j4 f_0 \cdot (R_m - v(iT_r + k t))]$

乘以 $H[i, k]$, 每个采样的相位被部分地补偿, 其中 v 为目标转动中心的径向平动速度. 图 6 给出了 ISAR₁、ISAR₂ 和 ISAR₃.

由图 6(b) 和 (c) 可知, 对于微动目标, 使用频率步进信号的均匀拉伸处理成像出现了散焦, 各散射点均被模糊了, 而相位匹配处理获得的微动目标 ISAR 像 (图 6(d)) 的散焦有较大的改善, 中间五个散射点除中心点分裂外, 其余四个散射点可以分辨, 外围四个散射点除了循环移位外, 可以分辨.

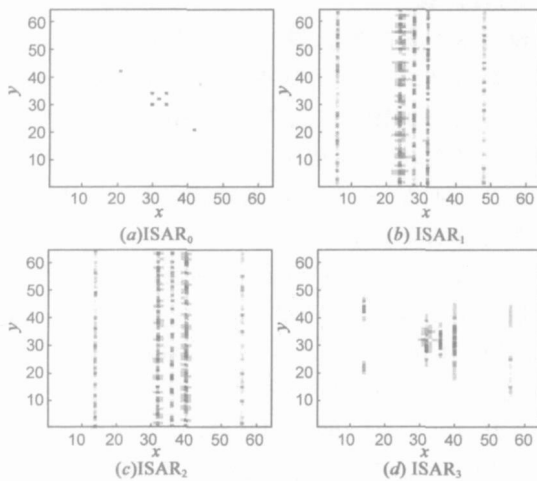


图 6 微动目标 ISAR 成像对比

5 结束语

目前 ISAR 研究的非合作目标大多被视为刚体, 对于微动目标 ISAR 成像是一个巨大的挑战, 目前国内外研究很少. 对于这种各散射点运动规律不同的目标 ISAR 成像关键在于实现时间、距离和多普勒的解耦, 本文提出了相位匹配处理 ISAR 成像技术, 利用相干脉冲串的脉冲重复时间与各脉冲频率匹配实现三者的解耦, 从而对微动目标瞬间 ISAR 像聚焦.

参考文献:

- [1] Chen V C, Li F Y, Ho S S. Micro-Doppler effect in radar phenomenon, model and simulation study[J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 2006, 42(1): 2 - 21.
- [2] Chen V C. Micro-Doppler effect of micro-motion dynamics: A review[A]. Proceedings of SPIE on Independent Component Analyses, Wavelets, and Neural Networks [C]. Orlando, UAS: SPIE, 2003. 240 - 249.
- [3] Chen V C, Li F. Analysis of micro-Doppler signatures[J]. IEE Proceedings on Radar, Sonar and Navigation, 2003, 150(4): 271 - 276.
- [4] Chen V C, Ling H. Time-Frequency Transforms for Radar Imaging and Signal Analysis [M]. Boston: Artech House, 2002. 93 - 104.

- [5] Thayaparan T, Lampropoulos G, Wong S K, et al. Applications of adaptive joint time-frequency algorithm for focusing distorted ISAR images from simulated and measured radar data[J]. IEE Proceedings on Radar, Sonar and Navigation, 2003, 150(4): 213 - 220.
- [6] Thayaparan T, Lampropoulos G, Wong S K. Distortion in the inverse Synthetic Aperture Radar (ISAR) images of a target with time-varying perturbed motion [J]. IEE Proceedings on Radar, Sonar and Navigation, 2003, 150(4): 221 - 227.
- [7] Wong S, Riseborough E, Duff G. Experimental Investigations on the Distortion of ISAR Images Using Different Radar Waveforms [R]. Ottawa, Canada: Defence R&D Canada, 2004.
- [8] Yamamoto K, Iwamoto M, Fujisaka T, et al. An ISAR imaging algorithm for multiple targets of different radial velocity [J]. Electronics and Communications in Japan, Part 1, 2003, 86(7): 1 - 10.
- [9] Iwamoto M, Fujisaka T. Autofocus algorithm of inverse synthetic aperture radar using entropy [J]. Electronics and Communications in Japan, Part 1, 2000, 83(2): 97 - 106.
- [10] Alexander E, Poularikas D. The Handbook of Formulas and Tables for Signal Processing [M]. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 1998, 73 - 79.
- [11] Xu R Q, Cao Z D, Liu Y T. Motion compensation for ISAR and noise effect [J]. IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine, 1990, 5(6): 20 - 22.
- [12] Li J F. Model-based Signal Processing for Radar Imaging of Targets with Complex Motions [D]. Austin, USA: University of Texas at Austin, August 2002.
- [13] Wu H Q, Grenier D, Delisle G Y. Translational motion compensation in ISAR image processing [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1995, 4(11): 1561 - 1571.

作者简介:



陈行勇 男, 1978 年 10 月出生于江西萍乡, 2006 年 12 月获国防科技大学博士学位, 中国电子学会会员, 已在《IEEE Transactions on Signal Processing》、《IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters》、《电子学报》和《自然科学进展》等国内外杂志以第一作者发表和录用论文 19 篇, 其中 SCI 检索 5 篇, EI 检索 11 篇, 曾获国防科技大学博士研究生创新重点资助和光华奖学金. 研究方向: 雷达成像、雷达目标微动特性分析和目标识别.

E-mail: nudd_atr_chy@163.com



姜卫东 男, 副教授, 1968 年 1 月生于重庆, 硕士生导师, 参与和完成了多项 973 项目、863 预研项目、航天预研基金项目 and 重点实验室预研基金项目研究; 获军队科技进步 3 等奖 1 项, 指导硕士研究生 4 名, 协助指导硕士研究生 15 名, 已毕业硕士 10 名; 协助指导博士生 7 名. 发表论文 20 篇, 其中核心期刊 16 篇. 研究方向: 雷达仿真、雷达目标成像和特性反演.

E-mail: jwd2232@vip.sina.com