

# 合成孔径成像激光雷达成像算法研究\*

郭亮, 邢孟道, 梁毅, 唐禹

(西安电子科技大学 雷达信号处理国家重点实验室, 西安 710071)

**摘 要:**在描述了调频连续波信号模型以及其外差接收体制特点的基础上, 针对传统合成孔径雷达的“一步一停”模型中忽略的平台连续运动引入的多普勒频移项, 采用线性调频连续波信号的合成孔径成像激光雷达瞬时距离较传统合成孔径雷达的改变, 推导出在该模型下一种适用于机载合成孔径成像激光雷达系统的频率变标算法, 一并考虑了在连续波信号模型中多普勒频移项对成像的影响. 仿真证明了该算法能有效补偿平台连续运动带来的影响.

**关键词:**激光雷达; 合成孔径; 频率变标算法; 调频连续波

**中图分类号:** TN24

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1004-4213(2009)02-448-5

## 0 引言

20 世纪六七十年代至今, 人们对光波波段的合成孔径技术做了大量研究<sup>[1-5]</sup>. 2003 年, 诺斯罗普格鲁曼公司系统开发和技术分部获得美国国防高级研究计划局授予的合同, 对合成孔径激光雷达 (Synthetic Aperture Imaging Ladar, SAIL) 战术成像的机载演示进行设计、建造和概念验证. 将合成孔径技术用于激光雷达是当前激光遥感技术一个研究的热点<sup>[6]</sup>.

SAIL 的开发有多种优势: 1) 目前合成孔径雷达 (Synthetic Aperture Radar, SAR) 成像技术已经比较成熟, 其中有很多的 SAR 成像方法可以移植过来加以改进后应用到 SAIL 中; 2) 激光波长更接近可见光, 成像效果比 SAR 更接近光学效果, 而且其更短的波长较于传统的 SAR 可以有更高的分辨率<sup>[7]</sup>; 3) SAIL 是主动式成像, 与传统光学成像相比具有全天时成像的优势<sup>[8]</sup>.

利用 SAR 成像方法是一种简单有效的途径, 然而目前 SAIL 系统实验中, 采用可调谐激光器发射调频连续波信号 (Frequency Modulation Continuous-wave, FMCW), 而非 SAR 中的单脉冲信号<sup>[7]</sup>, 所以需要研究和讨论如何借用单脉冲信号形式的处理方式. 并且 SAIL 系统实际中都是采用一个本地信号外差接收的方法<sup>[9-10]</sup>, 这样减小了距离维的信号带宽, 根据奈奎斯特定理, 减小了所需要的采样频率, 就可以较为容易地进行数字化处理, 所以对于这种接收方式的算法也要研究.

本文对采用调频连续波信号的 SAIL 正侧视工

作模式进行建模 (注重算法的理论推导, 而忽略了光子统计特性的限制<sup>[9]</sup>、大气特性、波束稳定性<sup>[8,11]</sup>、平台运动误差<sup>[12]</sup>等的影响). 由于采用调频连续波信号, SAR 信号处理中的“一步一停”的近似不再成立, 所以需要考虑了平台运动带来的影响, 因此改进了已有的频率变标算法 (Frequency Scaling Algorithm, FSA) 并进行仿真得到了较好的效果, 且和原始 FSA 进行了比较.

## 1 SAIL 信号模型分析和成像算法

### 1.1 调频连续波信号描述

SAIL 发射、接收信号波形如图 1, 接收信号只是发射信号的一个时延信号. 从图中可知, 发射频率随时间按线性锯齿形变化, 其中  $\Delta f$  为扫频带宽, 脉冲重复间隔 (Pulse Repetition Interval, PRI) 为扫频时间. 对于静态目标, 接收信号和发射信号的瞬时频差为一个与目标距离成正比的单频信号, 差频信号含有距离信息.

$$f_b = \frac{\Delta f}{\text{PRI}} \cdot \frac{2R}{C} \quad (1)$$

当目标相对于激光雷达 (Ladar) 有径向 (Ladar 和目标连线的方向) 速度时, 其接收信号频率将会沿着频率轴上移或下移, 此时差频信号含有距离和速度信息.

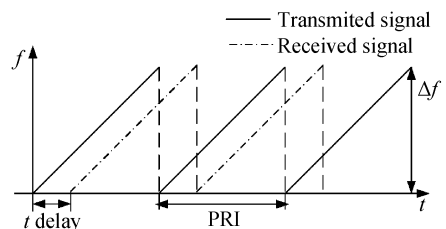


图 1 连续波信号模型

Fig. 1 FMCW signal in time-frequency domain

\* 国家 863 高技术研究与发展计划 (2006AA12Z144) 资助  
Tel: 029-88206507 Email: aliang-2001@163.com  
收稿日期: 2007-08-27

## 1.2 SAIL 信号模型分析

图 2 为 SAIL 的成像几何关系. Ladar 处于正侧视条带工作模式, 载机飞行高度为  $h$ , 以速度  $v$  沿理想直线飞行, 飞行方向为方位向, 与方位向垂直的 Ladar 照射方向中心为距离向, 天线方位向波束宽度为  $\beta$ , 由于在距离向上也有一定的波束宽度, 所以照射的是一个场景而非一条直线, 场景中心距离  $R_s$ .

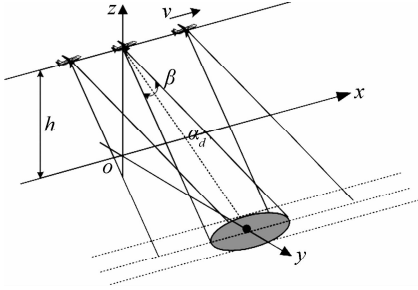


图 2 SAIL 工作几何模型

Fig. 2 SAIL system geometry

实际中的阵列天线工作方式见文献[12], 然而 SAIL 所利用的合成孔径技术并非使用真实的多个阵元进行阵列合成, 而是利用一个阵元在载机平台飞行过程中每一组收发的信号相当于一个虚拟阵元, 通过平台的运动形成一条长的合成阵列. 然后, 利用接下来叙述的成像算法利用接收信号的相位信息通过信号处理方法, 来实现合成孔径的高分辨率. 本文采用的是条带工作模式, 每次波束照射的是一个图 2 中深色的圆形区域, 通过飞机的飞行运动形成了图中虚线部分的条带形状.

对于调频连续波, 设发射信号为

$$s_t(\hat{t}, t_m) = A \cdot \text{rect}\left[\frac{\hat{t}}{T_p}\right] \cdot \exp\left[j2\pi\left(f_c t + \frac{1}{2}\dot{\gamma}t^2\right)\right] \quad (2)$$

式中,  $f_c$  为载波频率,  $\hat{t}$  为信号调制时间 (或快时间),  $t$  为全时间,  $t_m = mT_p$  为每个信号的起始时间, 即  $t = t_m + \hat{t}$ ,  $T_p$  为信号一个调制周期的时间宽度, 调频连续波 SAIL 中  $T_p$  为 PRI, 在一个扫频周期内  $\hat{t} = \left[-\frac{T_p}{2}, \frac{T_p}{2}\right]$ .

设某点目标到 Ladar 的瞬时斜距为  $R_t$  (这里  $R_t$  是一个与快时间有关的变量, 下面式(6)不同于单脉冲形式<sup>[7]</sup>), 则其回波可以表示为<sup>[7]</sup>

$$s_r(\hat{t}, t_m) = A \cdot \text{rect}\left[\frac{\hat{t} - 2R_t/c}{T_p}\right] \cdot \exp\left[j2\pi\left(f_c\left(t - \frac{2R_t}{c}\right) + \frac{1}{2}\dot{\gamma}\left(\hat{t} - \frac{2R_t}{c}\right)^2\right)\right] \quad (3)$$

式中,  $A$  为常量, 设参考距离为  $R_{\text{ref}}$  (大多数情况下都是以场景中心距离  $R_s$  为参考距离的), 则参考信号为

$$s_r(\hat{t}, t_m) = A \cdot \text{rect}\left[\frac{\hat{t} - 2R_{\text{ref}}/c}{T_p}\right] \cdot \exp\left[j2\pi\left(f_c\left(t - \frac{2R_{\text{ref}}}{c}\right) + \frac{1}{2}\dot{\gamma}\left(\hat{t} - \frac{2R_{\text{ref}}}{c}\right)^2\right)\right] \quad (4)$$

则回波差频信号可以表示为

$$s(\hat{t}, t_m) = s_r(\hat{t}, t_m) \cdot s_{\text{ref}}^*(\hat{t}, t_m) = A \cdot \text{rect}\left[\frac{\hat{t} - 2R_t/c}{T_p}\right] \cdot \exp\left[-j\frac{4\pi R_t}{\lambda}\right] \cdot \exp\left[-j\frac{4\pi}{c}\dot{\gamma}(R_t - R_{\text{ref}})\left(\hat{t} - \frac{2R_{\text{ref}}}{c}\right)\right] \cdot \exp\left[j\frac{4\pi}{c^2}\dot{\gamma}(R_t - R_{\text{ref}})^2\right] \quad (5)$$

第一个指数项为方位向的相位历程, 第二个指数项为距离向的单频信号 (由于外差处理造成的), 第三个指数项为剩余视频相位 (Residual Video Phase, RVP) 项, 会对方位向的聚焦造成影响. 方位向慢时间  $t_m$  取值范围  $\left[-\frac{T_a}{2}, \frac{T_a}{2}\right]$ , 其中  $T_a$  为一个合成孔径时间. 分析中只考虑相忽略幅度的影响. 瞬时斜距为

$$R_t = R_t(\hat{t}, t_m) = \sqrt{R_B^2 + (\hat{t} + vt_m)^2} \quad (6)$$

式中  $R_B$  为每个点目标到航迹的最近距离, 是随点目标位置不同而变化的, (并以此垂直距离和航线的交点作为慢时间的零时刻), 与脉冲式 SAR 不同, 调频连续波 SAIL 中“一步一停”<sup>[7]</sup>的信号模型不再成立, 瞬时斜距的计算要考虑快时间的影响 (即式(6)中  $\hat{t}$  项). 将  $R_t$  在  $\hat{t} = 0$  处进行泰勒展开近似为

$$R_t = R_t(\hat{t}, t_m) \approx \sqrt{R_B^2 + (vt_m)^2} + \frac{v^2 t_m}{\sqrt{R_B^2 + (vt_m)^2}} \hat{t} \quad (7)$$

令  $R(t_m) = \sqrt{R_B^2 + (vt_m)^2}$ , 则  $R_t \approx R(t_m) + \frac{v^2 t_m}{R(t_m)} \hat{t}$ , 那么由于平台连续运动引入的多普勒频移在距离向的表示为

$$f_d = -\frac{2}{\lambda} \cdot \frac{dR_t}{d\hat{t}} = -\frac{2}{\lambda} \cdot \frac{v^2 t_m}{\sqrt{R_B^2 + (vt_m)^2}} = \frac{2}{\lambda} \cdot v \cdot \sin(\theta) = f_a \quad (8)$$

式中, 斜视角  $\theta$  为天线相位中心在天线波束宽度内与点目标的连线和平台运动方向垂直方向之间的夹角.  $f_d$  是斜视角的函数, 等于方位向的多普勒频率  $f_a$ . 此时  $R_t \approx R(t_m) - \frac{\lambda}{2} f_d \hat{t} = R(t_m) - \frac{\lambda}{2} f_a \hat{t}$ , 这里  $f_d$  为平台在发射和接收脉冲过程中存在连续运动引入的, 对于脉冲式 SAR, 由于脉冲宽度很小, 瞬时斜距和距离快时间之间的关系可以忽略, 不需考虑这一项. 然而, 这个多普勒频移项的存在将会使距离向位置发生偏移, 使图像产生几何形变, 需要进行几何形变校正的补偿.

当平台以正侧视条带模式运动时,根据仿真参量可知,由平台连续运动引入的距离变化很小,对  $\exp\left[-j\frac{4\pi}{c}\gamma(R_t-R_{\text{ref}})\left(\hat{t}-\frac{2R_{\text{ref}}}{c}\right)\right]$  和  $\exp\left[j\frac{4\pi\gamma}{c^2}\cdot(R_t-R_{\text{ref}})^2\right]$  的影响很小,就可以用  $\exp\left[-j\frac{4\pi}{c}\gamma\cdot(R(t_m)-R_{\text{ref}})\left(\hat{t}-\frac{2R_{\text{ref}}}{c}\right)\right]$  和  $\exp\left[j\frac{4\pi\gamma}{c^2}(R(t_m)-R_{\text{ref}})^2\right]$  代替,那么式(5)变为

$$s(\hat{t}, t_m) = A \cdot \text{rect}\left[\frac{\hat{t}-\frac{2R_t}{c}}{T_p}\right] \cdot \exp\left[-j\frac{4\pi}{\lambda}R(t_m)\right] \cdot \exp\left[-j\frac{4\pi}{\lambda}\frac{v^2 t_m}{R(t_m)}\hat{t}\right] \cdot \exp\left[-j\frac{4\pi}{c}\gamma(R(t_m)-R_{\text{ref}})\cdot\left(\hat{t}-\frac{2R_{\text{ref}}}{c}\right)\right] \cdot \exp\left[j\frac{4\pi\gamma}{c^2}(R(t_m)-R_{\text{ref}})^2\right] \quad (9)$$

式(9)中的第二个指数项是由于考虑了平台连续运动而引入的。

### 1.3 改进的 FS 算法

利用文献[7]中方法,可以把式(9)改写为

$$s(\hat{t}, f_a; R_B) = A \cdot \left\{ \exp\left[-j\frac{4\pi R_B \cdot \beta(f_a)}{\lambda}\right] \cdot \exp\left[j2\pi f_a \hat{t}\right] \cdot \exp\left[-j\frac{4\pi}{c}\gamma\left[\frac{R_B}{\beta(f_a)} - R_{\text{ref}}\right] \cdot \left(\hat{t}-\frac{2R_{\text{ref}}}{c}\right)\right] \cdot \text{src}\left[\hat{t}-\frac{2R_{\text{ref}}}{c}, f_a; R_B\right] \right\} \otimes \exp(-j\pi\gamma\hat{t}^2) \quad (10)$$

式中

$$\text{src}\left[\hat{t}-\frac{2R_{\text{ref}}}{c}, f_a; R_B\right] = \exp\left[-j\frac{2\pi R_B \gamma^2 \lambda}{c^2}\right] \cdot \frac{(\beta^2-1)}{\beta^3} \cdot \left[\hat{t}-\frac{2R_{\text{ref}}}{c}\right]^2 \cdot \exp\left[j\frac{2\pi R_B \gamma^3 \lambda^2}{c^3}\right] \cdot \frac{(\beta^2-1)}{\beta^5} \cdot \left[\hat{t}-\frac{2R_{\text{ref}}}{c}\right]^3$$

$\beta = \beta(f_a) = \sqrt{1 - \frac{f_a^2 \cdot \lambda^2}{4 \cdot v^2}}$ . 第一个指数项为方位向相位历程,决定方位向的聚焦,第二个指数项为多普勒平移项,是由于平台的连续运动造成的,将会造成目标位置的偏移,第三个指数项是距离向调制信号, $\beta(f_a)$ 为尺度因子,从式(10)可以看出,距离单元徙动( $R_{\text{RCM}} = \frac{R_B}{\beta(f_a)} - R_{\text{ref}} = \frac{R_B - \beta(f_a) \cdot R_{\text{ref}}}{\beta(f_a)}$ )与  $\beta(f_a)$  有关,即距离单元徙动是  $f_a$  和  $R_B$  的函数,说明距离和方位之间存在耦合。

FS 算法就是通过变标方法首先通过变标把  $\exp\left[-j\frac{4\pi}{c}\gamma\left[\frac{R_B}{\beta(f_a)} - R_{\text{ref}}\right]\left(\hat{t}-\frac{2R_{\text{ref}}}{c}\right)\right]$  项中变成  $\exp\left[-j\frac{4\pi}{c}\gamma(R_B - \beta(f_a)R_{\text{ref}})\left(\hat{t}-\frac{2R_{\text{ref}}}{c}\right)\right]$  这时距离

徙动就不再是  $R_B$  的函数而是只依赖于参考距离  $R_{\text{ref}}$  (即本文的场景中心距离),然后再利用块移动来完成距离徙动校正,为  $\exp\left[-j\frac{4\pi}{c}\gamma(R_B - R_{\text{ref}})\cdot\left(\hat{t}-\frac{2R_{\text{ref}}}{c}\right)\right]$  (本文在变标的同时也校正了由于平台连续运动引入的多普勒频移项).然后再进行二次距离压缩即补偿  $\text{src}\left[\hat{t}-\frac{2R_{\text{ref}}}{c}, f_a; R_B\right]$  项和进行方位压缩就可以得到图像了,其流程见图 3.

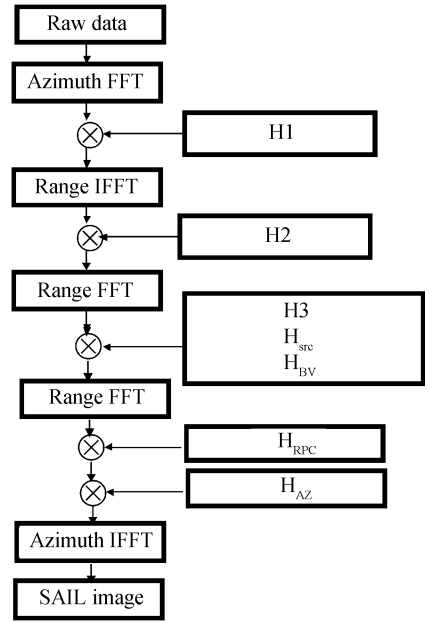


图3 改进的 FS 算法流程

Fig. 3 Block of the modified FSA

### 1.4 成像步骤

1) 多普勒频移校正即频率变标在距离时间域完成

$$H_1 = \exp(-j2\pi f_a \hat{t}) \cdot \exp\{j\pi\gamma\hat{t}^2[1-\beta(f_a)]\} \quad (11)$$

式中,第一个指数项是校正多普勒频移,第二个指数项是进行频率变标,即进行距离空变性校正。

2) 残留视频项校正正在距离频域完成

$$H_2 = \exp\left[-j\frac{\pi f_r^2}{\gamma\beta(f_a)}\right] \quad (12)$$

式中, $f_r$ 为距离频率,这一项校正由于外差接收引入的 RVP.

3) 逆频率变标在距离时域,方位频域完成

$$H_3 = \exp\{-j\pi\gamma\hat{t}^2[\beta(f_a)^2 - \beta(f_a)]\} \quad (13)$$

4) 二次距离压缩

$$H_{\text{src}} = \text{src}\left[\hat{t}-\frac{2R_{\text{ref}}}{c}, f_a; R_B\right]^* \approx \text{src}\left[\hat{t}-\frac{2R_{\text{ref}}}{c}, f_a; R_s\right]^* = \exp\left[j\frac{2\pi R_s \gamma^2 \lambda}{c^2} \cdot \frac{(\beta^2-1)}{\beta^3} \cdot \left[\hat{t}-\frac{2R_{\text{ref}}}{c}\right]^2\right] \cdot \exp\left[-j\frac{2\pi R_s \gamma^3 \lambda^2}{c^3} \cdot \frac{(\beta^2-1)}{\beta^5} \cdot \left[\hat{t}-\frac{2R_{\text{ref}}}{c}\right]^3\right] \quad (14)$$

二次距离压缩函数是空变的,当采用正侧视工

作模式,可以用场景中心斜距  $R_s$  代替空变的  $R_B$ ,而用于外差接收的参考信号一般也是场景中心斜距  $R_s$ .

5) 距离徙动校正

$$H_{BV} = \exp \left[ j \frac{4\pi}{c} \gamma R_{ref} \left( \frac{1}{\beta(f_a)} - 1 \right) \cdot \left( \beta(f_a) \hat{t} - \frac{2R_{ref}}{c} \right) \right] \quad (15)$$

6) 相位保持项

$$H_{RPC} = \exp \left[ j \frac{4\pi R_{ref}}{c} \cdot \frac{f_r}{\beta(f_a)} \right] \quad (16)$$

相位保持项是在完成了二次距离压缩和距离徙动校正后乘到信号上完成在距离处理中相位的保持.

7) 方位脉压

完成距离脉压后,点目标的信号形式为

$$s \left( \frac{f_r}{\beta}, f_a; R_B \right) = C \cdot \exp \left[ -j \frac{4\pi R_B \cdot \beta(f_a)}{\lambda} \right] \cdot \sin c \left\{ \frac{\pi T_p}{\beta(f_a)} \left[ f_r + \frac{2\gamma}{c} (R_B - R_{ref}) \right] \right\} \quad (17)$$

式中,  $f_r$  为距离频率,方位匹配函数为

$$H_{AZ} = \exp \left[ j \frac{4\pi R_B \cdot \beta(f_a)}{\lambda} \right] \quad (18)$$

信号乘以方位匹配函数后,再进行方位逆傅里叶变换到方位时间域,最后得到图像

$$s(f_r, t_m; R_B) = C \cdot \sin c(\pi \Delta f_a t_m) \cdot \sin c \left\{ \frac{\pi T_p}{\beta(f_a)} \left[ f_r + \frac{2\gamma}{c} (R_B - R_{ref}) \right] \right\} \quad (19)$$

式中  $\Delta f_a$  为方位多普勒带宽.

### 3 仿真结果与分析

表 1 为仿真的参量设置. 图 4(a) 为场景多个点目标的仿真成像点的坐标. 图 4(b) 为多个点目标成像点的等高线图. 可以看出,无论方位向还是距离向都可以很好的聚焦.

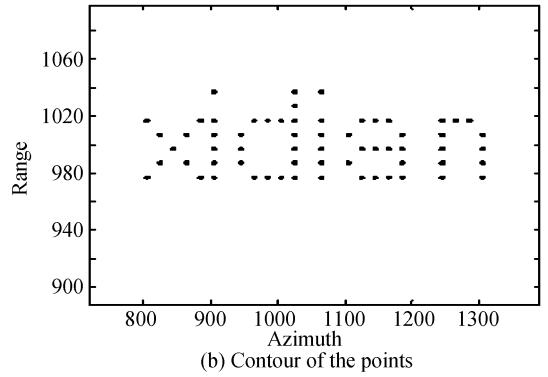
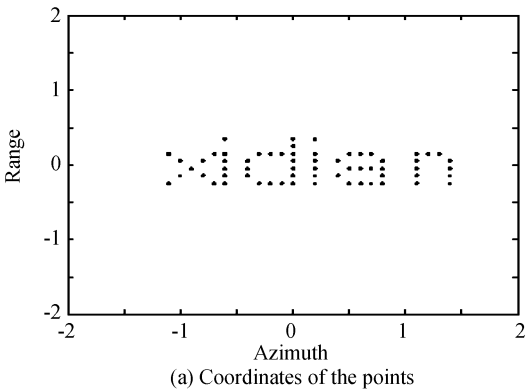


图 4 成像点坐标和等高线  
Fig. 4 Coordinates and contour of the points

表 1 参量设置

波长 $\lambda$	1.5 $\mu\text{m}$
信号带宽 $B$	1.5 GHz
脉冲重复间隔 PRI	100 $\mu\text{s}$
平台速度(载机速度) $v$	50 m/s
场景中心距离 $R$	2 000 m
天线方位波束宽度 $\theta$	0.004 $^\circ$
场景宽度 $W_r$	50 m
系统采样频率 $F_s$	100 MHz

图 5(a) 为单个点目标一个方位单元内距离向点目标的剖面图,图 5(b) 为单个点目标一个距离单元内方位向点目标的剖面图,其中直线是补偿平台运动引入的多普勒项,虚线是未补偿的. 峰值的能量损失在 0.5 dB 左右,而聚焦效果补偿了的明显要优于未补偿的. 所以在正侧视条带模式下,用脉冲形式的信号处理方法代替连续波形式信号的处理方法,在要求不高的情况下才是可以的.

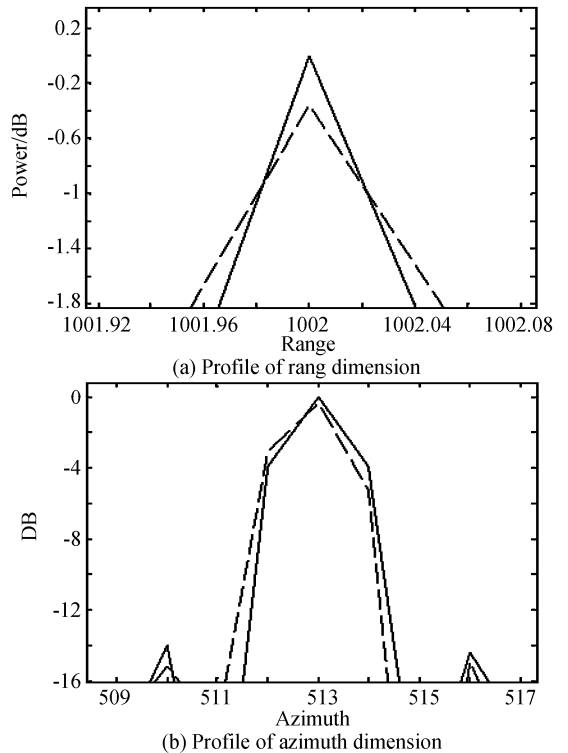


图 5 距离向和方位向剖面  
Fig. 5 Profile of rang and azimuth dimension

## 4 结论

由于 SAIL 采用的是连续波信号其斜距与快时间的关系较传统 SAR 要复杂,传统 SAR 的“一步一停”近似不再成立,其影响表现为一个一个多普勒频移项.本文就是考虑到这种影响改进了已有的频率变标算法,有效地解决了由于平台连续运动带来的影响.最后,本文重在 SAIL 算法的推导,并没有考虑到大气对于该系统的具体影响,针对大气对成像算法的影响还要进一步研究.

### 参考文献

- [1] BORN M, WOLF E. Principles of optics[M]. Beijing: Science Press, 1978: 541-545.  
波恩 M, 沃洛夫 E. 光学原理[M]. 北京: 科学出版社, 1978: 541-545.
- [2] MARCUS S, COLELLA B D. Solid-state laser synthetic aperture radar[J]. *Appl Opt*, 1994, **33**(6): 960-964.
- [3] BASHKANSKY M, LUCLE R L, FUNK E. Two-dimensional synthetic aperture imaging in the optical domain[J]. *Opt Lett*, 2002, **27**(22): 1983-1985.
- [4] ZHANG Yun, WU Jin, TANG Yong-xin. Synthetic aperture radar[J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2005, **42**(70): 48-50.  
张云, 吴谨, 唐永新. 合成孔径激光雷达[J]. *激光与光电子学进展*, 2005, **42**(7): 48-50.
- [5] LI Pan, WU Shuang-yang, ZHENG Yong-chao, et al. Overview of the development of synthetic aperture radar[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2006, **35**(1): 55-65.  
李潘, 邬双阳, 郑永超, 等. 合成孔径激光雷达技术综述[J]. *红外与激光工程*, 2006, **35**(1): 55-65.
- [6] WANG Jian-yu, HONG Guang-lie. Technologies and applications of laser active remote sensing [J]. *Laser & Infrared*, 2006, **36**(Sup): 742-748.  
王建宇, 洪光烈. 激光遥感技术及其应用[J]. *激光与红外* 2006, **36**(增刊): 742-748.
- [7] BAO Zheng, XING Meng-dao, WANG Tong. Technologies of radar imaging [M]. Beijing Publishing House of Electronics Industry, 2005: 19-30, 60-64, 165-173.  
保铮, 邢孟道, 王彤. 雷达成像技术[M]. 北京, 电子工业出版社, 2005: 19-30, 60-64, 165-173.
- [8] RICKLIN J C, TOMLINSON P G. Active imaging at DARPA [C]. *SPIE*, 2005, **5895**: 589505-1~589505-9.
- [9] BUELL W, MARECHAL N, BUCK J. Demonstrations of synthetic aperture imaging radar [C]. *SPIE*, 2005, **5791**: 152-166.
- [10] LUCKE R, RICKARD L. Photon-limited synthetic-aperture imaging for planet surface studies [J]. *Appl Opt*, 2002, **41**, (24): 5084-5095.
- [11] KARR T. Synthetic aperture radar for planetary sensing [C]. *SPIE*, 2003, **5151**: 44-49.
- [12] CARRARA W, GOODMAN R, MAJEWSKI R. Spotlight synthetic aperture radar [M]. Boston: Artech House Inc, 1995, 48-56.
- [13] WANG Yong-liang, CHEN Hui, PENG Ying-ning, et al. Theory of direction-of-arrival estimation and algorithm [M]. Beijing: Tsinghua University Press: 30-39.  
王永良, 陈辉, 彭应宁, 等. 空间谱估计理论与算法 [M]. 北京: 清华大学出版社: 30-39.

## Synthetic Aperture Imaging Ladar Imaging Algorithm

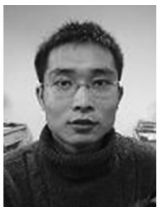
GUO Liang, XING Meng-dao, LIANG Yi, TANG Yu

(National Key Laboratory of Radar Signal Processing, Xidian University, Xi'an 710071, China)

Received date: 2007-08-27

**Abstract:** FMCW signal and its characteristic in balanced heterodyne detecting were described. The difference in instantaneous slant range between SAIL and conventional SAR were analyzed. A Doppler shift term was induced by the continuous motion of the platform that was ignored by conventional SAR in “stop-and-go” model. A refined frequency scaling algorithm was deduced, which was suitable for airborne SAIL in stripmap model and was taking the Doppler shift term into account. The simulation result shows that the given algorithm can compensate for the effect of the continuous motion of the platform efficiently.

**Key words:** Ladar; Synthetic aperture; Frequency scaling algorithm; FMCW



**GUO Liang** was born in 1983. He received his B. S degree in 2005 from Xidian University. Now he is pursuing for his Ph. D. degree in signal and information processing at National Key Laboratory for Radar Signal Processing, Xidian University, and his research interests focus on SAIL imaging and SAR.