# 基于 deramp的星载聚束式 SAR改进 ECS算法

李 然 李景文 李林琳

(北京航空航天大学 电子信息工程学院, 北京 100191)

摘 要: 基于两步成像算法和 ECS(Extended Chirp Scaling)成像算法, 提出一种结合 Deramp预处理的星载聚束式 SAR(Synthetic Aperture Radar)改进的 ECS成像算法. Deramp预处理是基于 SPECAN算法的思想, 将信号通过非空变的方位滤波器实现批压缩, 该方法在保证成像分辨率的前提下, 通过 deramp处理消除了由采样率不足导致的方位频谱混叠特别是在星载 SAR高分辨率聚束模式下. 尽管 ECS算法中的子孔径处理可以降低对系统脉冲重复频率的要求, 但是脉冲重复频率依然受到单点多普勒带宽的限制. 所介绍的方法可以进一步降低 ECS算法中子孔径分割处理对脉冲重复频率的要求, 使得 ECS的算法的应用更为广泛. 通过对点目标进行仿真和成像, 成像指标评估验证了该算法的可行性.

关 键 词: 聚束式; 扩展调频变标; 合成孔径雷达; 成像算法

中图分类号: TN 957

文献标识码: A 文章编号: 1001-5965(2009)09-1156-05

# Improved ECS algorithm for spaceborne spotlight SAR based on deramp processing

Li Ran Li Jingwen Li Linlin

(School of Electronics and Information Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191, China)

**Abstract** Based on the two-step imaging algorithm and the extended chirp scaling (ECS) algorithm, an approach for spotlight mode of spaceborne synthetic aperture radar(SAR), which combines the deramp processing and ECS algorithm was proposed. The deramp processing is based on SPECAN algorithm, and passes the raw data through a space invariant azimuth matched filter. The azimuthal spectral folding caused by insufficient sampling rate especially in high resolution spaceborne spotlight SAR was overcomed through the deramp processing. Although the division into subappertures in ECS can reduce the system requirement of the pulse repetition frequency(PRF), the PRF is restricted to higher than the accumulated doppler frequency bandwidth of a single point target. The presented method further reduces the requirement of the PRF in subapperture processing without the resolution loss. Thereby the ECS algotithm can be applied easily. The simulating and imaging results of point targets demonstrate the validity of this approach.

**Key words** spotlight mode; extended chirp scaling; synthetic aperture radar; imaging algorithm

由于聚束合成孔径雷达的分辨率突破了天线波束宽度的限制, 在遥感尤其是军事领域受到越来越多的重视. 应用于聚束模式的成像算法有很多, 比较成熟的有卷积反投算法, 是一种应用于医学 CT层成像的算法, 相对于其它算法其计算相当大; 极坐标格式算法, 只需要两步 FFT(Fast Fourier Transform)即可完成成像处理, 但在应用过程中需要二维插值进行坐标格式转换, 其精度和计算量都要受到限制; 波数域算法, 将目标看作散射源, 从雷达探测到的电磁场分布对散射源成像, 无论雷达斜视角如何, 场景大小, 波数域算法都可以对整个区域基于散射点模型而不加其它近

收稿日期: 2008-09-16

作者简介: 李 然(1984-), 男, 山西和顺人, 博士生, lir@ee.buaa.edu.cn.

似条件实现无几何形变的完全聚焦,是一种比较精确的成像算法,可直接处理距离向 dechirp信号,但需要 stolt插值,是主要的制约因素; CS算法,直接应用于聚束模式时可以采用子孔径技术来对 CS因子进行修正; 两步成像算法[1],第一步使用简化了的 SPECAN方法 deramp处理,完成方位粗聚焦,并消除了混叠,第二步采用条带模式成像算法,完成剩余的聚焦处理. 文献[2-3]在此基础上分别具体实现了 deramp处理与 CS算法,以及与距离徙动算法的结合. ECS(Extended Chirp Scaling)算法为 CS算法的变形,最早应用于 ScanSAR 数据处理[4],随后又被推广至聚束 SAR(Synthetic Aperture Radar)模式[5-7]. ECS将孔径分割,缩短了方位向 FFT的长度,在方位压缩时采用方位变标和谱分析的方法. 但传统的 ECS尽管降低了对 PRF(Pulse Repetition Frequency)的要求,但仍然要求 PRF大于单点的多普勒带宽,限制了 ECS的应用. 为了避免插值和过长的方位匹配因子,基于两步成像算法的思想,该文将 deramp处理具体应用于 ECS算法,实现了聚束模式 SAR的精确成像.

## 1　deramp处理

deramp处理实质就是将方位信号卷积一个与参考斜距处相同多普勒调频率的调频信号,从而将参考斜距处回波的二次项消掉,完成精确聚焦,而其它位置只能得到粗聚焦. 信号"解斜"之后,方位向带宽大大降低,因而消除了方位频谱的混叠. 其处理流程如图 1所示.

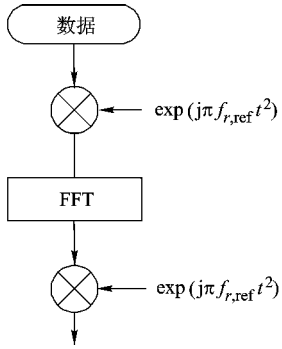



图 1　deramp处理过程

$f_{\tau\,\mathrm{ref}}$为参考距离处的调频率, $S_{\mathrm{ae}}(t,R)$表示为方位向的信号, $S_{\mathrm{ao}}(t,R)$表示卷积后的输出信号. 则

$$S_{\mathrm{ao}}(t,R) = S_{\mathrm{ae}}(t,R)^{*} \exp(\mathrm{j}\pi f_{\tau\,\mathrm{ref}}t^2) = \int S_{\mathrm{ac}}(\tau,R)\cdot \exp[\mathrm{j}\pi f_{\tau\,\mathrm{ref}}(t-\tau)^2]\,\mathrm{d}\tau = \exp(\mathrm{j}\pi f_{\tau\,\mathrm{ref}}t^2)\int S_{\mathrm{ac}}(\tau,R)\cdot \exp(\mathrm{j}\pi f_{\tau\,\mathrm{ref}}\tau^2)\cdot \exp(-\mathrm{j}2\pi f_{\tau\,\mathrm{ref}}\tau t)\,\mathrm{d}\tau = \exp(\mathrm{j}\pi f_{\tau\,\mathrm{ref}}t^2)\,\mathrm{FFT}[S_{\mathrm{ac}}(\tau,R)\cdot \exp(\mathrm{j}\pi f_{\tau\,\mathrm{ref}}\tau^2)] \tag{1}$$

当采用二次距离模型时,参考点处的回波方位向信号为

$$S_{\mathrm{ac}}(t,R_{\mathrm{ref}}) = \mathrm{rect}\left[\frac{t}{T_{\mathrm{spot}}}\right]\cdot \exp[-\mathrm{j}\pi(4R_{\mathrm{ref}} + 2f_{\mathrm{d}\,\mathrm{ref}}t + f_{\tau\,\mathrm{ref}}t^2)/\lambda] \tag{2}$$

$f_{\mathrm{d}\,\mathrm{ref}}$为参考斜距 $R_{\mathrm{ref}}$处的多普勒中心频率,在 deramp之前乘以 $\exp(\mathrm{j}2\pi f_{\mathrm{d}\,\mathrm{ref}}t)$将多普勒频谱搬移至零频,忽略复常数卷积之后结果为

$$S_{\mathrm{ao}}(t,R_{\mathrm{ref}}) = \exp(\mathrm{j}\pi f_{\tau\,\mathrm{ref}}t^2)\,\mathrm{sinc}(f_{\tau\,\mathrm{ref}}tT_{\mathrm{spot}}) \tag{3}$$

可见参考点聚焦,应用驻定相位原理,位于其它位置的回波 deramp之后为

$$S_{\mathrm{ao}}(t,r) = \mathrm{rect}\left[\frac{f_{\tau\,\mathrm{ref}}t + \Delta f_{\mathrm{d}}}{|\Delta f_r|T_{\mathrm{spot}}}\right]\cdot \exp\left[\mathrm{j}\pi\frac{\Delta f_{\mathrm{d}}^2 + 2f_{\tau\,\mathrm{ref}}\Delta f_{\mathrm{d}}t + f_{\tau\,\mathrm{ref}}f_r t^2}{\Delta f_r}\right] \tag{4}$$

其中 $\Delta f_d = f_{\mathrm{d}} - f_{\mathrm{d}\,\mathrm{ref}}$, $\Delta f_r = f_r - f_{\tau\,\mathrm{ref}}$, $f_{\mathrm{d}}$与 $f_r$分别为斜距为 $r$点的多普勒中心频率和调频率. 可见卷积压缩之后信号相比参考点处有所展宽,点目标的合成孔径时间缩短为 $\frac{|\Delta f_r|T_{\mathrm{spot}}}{f_{\tau\,\mathrm{ref}}}$. 将 $S_{\mathrm{ao}}(t,R_{\mathrm{ref}})$傅里叶变换之后,只考虑其中的线性调频项如下式:

$$\mathrm{FFT}[S_{\mathrm{ao}}(t,r)] = \mathrm{rect}\left[\frac{f-\Delta f_{\mathrm{d}}}{|f_r T_{\mathrm{spot}}|}\right]\cdot \exp\left[\mathrm{j}\pi\left(\frac{f^2}{f_r} - \frac{f^2}{f_{\tau\,\mathrm{ref}}}\right)\right] \tag{5}$$

$f$为方位向频率,相位中的第二项为 deramp处理所引进来的相位误差,在后续处理中需要消除,前面一项为保留的信号项,其调频率及带宽没有发生变化,因而可以采用条带模式成像算法完成聚焦.

从 deramp处理过程来看,在第一次 FFT之后使用 $f_{\tau\,\mathrm{ref}}t$替换频率项,使之又返回到时域,对于离散处理,假设处理点数为 $N_{\mathrm{a}}$, $t$的离散间隔为 $\Delta t = F_{\mathrm{pr}}/N_{\mathrm{a}}f_{\tau\,\mathrm{ref}}$, $F_{\mathrm{pr}}$为原始脉冲重复频率,重返时域的采样频率 $F'_{\mathrm{pr}} = N_{\mathrm{a}}f_{\tau\,\mathrm{ref}}/F_{\mathrm{pr}}$,当 $\frac{N_{\mathrm{a}}}{F_{\mathrm{pr}}} > T_{\mathrm{spot}}$时,其采样率已经满足奈奎斯特定理的要求.

## 2　*DECS*成像算法

### 2.1　子孔径处理

采用子孔径技术可以沿方位向更新多普勒中

心频率, 并且缩短了 ChirpScaling因子的长度. 聚束模式信号的总的方位向带宽为 $B_{\mathrm{d,total}}=B_{\mathrm{d,max}}+f_{\tau,\mathrm{near}}\lambda R_{\mathrm{ref}}/(D_{\mathrm{a}}V)$, $f_{\tau,\mathrm{near}}$为近距的调频率; $\lambda$为波长; $D_{\mathrm{a}}$为天线方位向尺寸; $R_{\mathrm{ref}}$为参考斜距; $V$为卫星的速度. 为了保证最终图像的方位分辨率, 传统的子孔径技术要求 PRF大于单点的最大多普勒带宽 $B_{\mathrm{d,max}}$, 而在星载聚束模式下该条件对 PRF的压力是很大的.

如图 2所示, $A$, $B$ 为成像区域近距沿方位向的两端点, 当方位采样率 $F_{\mathrm{pr}}$小于 $B_{\mathrm{d,max}}$时, 无论如何划分子孔径长度, 其分辨率都要下降, 因而子孔径处理将失效. 根据前面的分析, 数据在 deramp处理之后, 信号的最大合成孔径时间为 $T'_{\mathrm{spot,max}}=\max\left(\frac{|\Delta f_r|T_{\mathrm{spot}}}{f_{\tau,\mathrm{ref}}}+\frac{\lambda R_{\mathrm{ref}}}{D_{\mathrm{a}}V}\right)$, 对应的带宽为 $f_{\tau,\mathrm{ref}}\cdot T'_{\mathrm{spot,max}}$, 其中单点的最大多普勒带宽 $B'_{\mathrm{d,max}}=\max(|\Delta f_r|T_{\mathrm{apot}}), \frac{f_{\tau,\mathrm{ref}}\lambda r_{\mathrm{ref}}}{D_{\mathrm{a}}V}$为相应的条带模式带宽, 当原始信号采样率满足一定的条件即 $F_{\mathrm{pr}}\geqslant f_{\tau,\mathrm{ref}}T'_{\mathrm{spot,max}}$, 此时的信号已不存在混叠, $F_{\mathrm{pr}}$大于单点的多普勒带宽, 子孔径处理可以随之进行. 子孔径长度的选取独立于 $F_{\mathrm{pr}}$, 可以根据信号处理机方位处理带宽适当进行选取. 每个子孔径处理时采用子孔径中心的多普勒参数. 最后只需要通过一次完整的方位向傅里叶变换就可以生成图像, 在成像过程中其余处理都对应着子孔径长度.

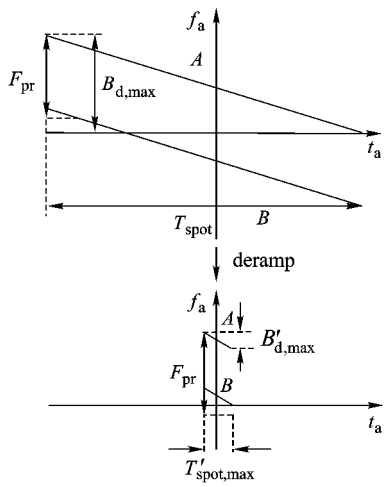



图 2 *deramp*处理示意

## 2 2 *DECS*算法分析

结合 deramp处理的 DECS(DeRampECS)算法的流程如图 3所示. 与传统的 ECS算法相比, 在子孔径分割前增加了 deramp处理. 在完成 deramp处理和子孔径分割之后, 剩余的处理与原 ECS算法相近, 距离模型采用等效斜视模型[8].

deramp预处理可参照图 1所示的流程完成.

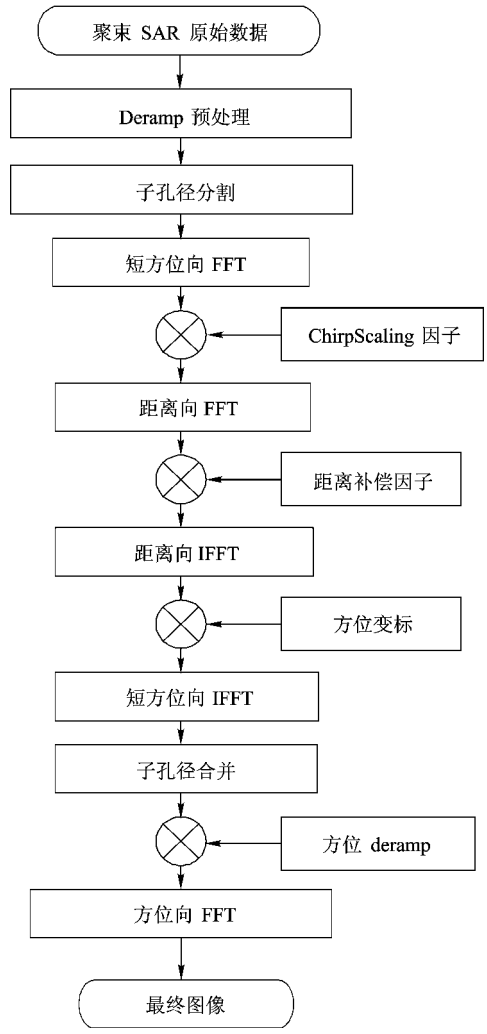



图 3 *DECS*算法流程

忽略天线方位向方向图和脉冲包络的影响, deramp后聚束模式的回波信号为

$$S_{\mathrm{echo}}(t_f,t_s;r)^*\exp(\mathrm{j}\pi f_{\tau,\mathrm{ref}}t_s^2)=\sigma\,\mathrm{rect}\left[\frac{t_s}{T_{\mathrm{spot}}}\right]\mathrm{rect}\left[\frac{t_f-2R(t_f,r)}{T_p}\right]\cdot\exp\left(-\mathrm{j}\frac{4\pi R(t_s,r)}{\lambda}\right)\cdot\exp\left(-\mathrm{j}\pi K_r\left(t_f-\frac{2R(t_f,r)}{c}\right)^2\right)^*\exp(\mathrm{j}\pi f_{\tau,\mathrm{ref}}t_s^2) \tag{6}$$

其中, $\sigma$为目标后向散射系数; $t_s$, $t_f$ 分别为方位向慢时间和距离向快时间; $T_p$, $K_r$ 分别为脉冲宽度和调频率. 信号做方位向傅里叶变换之后在距离多普勒域与 ChirpScaling因子 $\Phi_{\mathrm{cs}}(t_s,f_a)$相乘, 使不同距离处的距离徙动曲线都相同.

$$\Phi_{\mathrm{cs}}(t_f,f_{\mathrm{a}})=\exp\{-\mathrm{j}\pi K_r(f_a;R_{\mathrm{ref}})C_s(f_{\mathrm{a}})[t_f-t_{\mathrm{ref}}(f_{\mathrm{a}})]^2\} \tag{7}$$

式中 $C_s(f_{\mathrm{a}})=\frac{\sin\varphi_{\mathrm{ref}}}{\beta(f_{\mathrm{a}})}-1$

$$K_r(f_a; R_{ref}) = \frac{K_r}{1 + K_r R_{ref} \sin\varphi_{ref} \frac{2\lambda}{c^2} \cdot \frac{1-\beta^2(f_a)}{\beta^3(f_a)}}$$

$$\beta(f_a) = \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda f_a}{2V}\right)^2}$$

$$t_{ref}(f_a) = \frac{2}{c} R_{ref}[1 + C_s(f_a)]$$

$f_a$ 为方位频率; $\varphi_{ref}$为等效斜视角.

将信号进行距离向傅里叶变换至二维频域,乘以距离补偿因子 $\Phi_r(f_{ra}, f_a)$完成距离徙动校正和距离聚焦处理:

$$\varphi_r(f_{ra}, f_a) = \exp\left\{-j\pi \frac{f_{ra}^2}{K_r(f_a; R_{ref})[1 + C_s(f_a)]}\right\} \cdot \exp\{j4\pi f_{ra} R_{ref} C_s(f_a)\} \quad (8)$$

第一项完成距离压缩,第二项完成距离徙动校正. 在将信号变至距离多普勒域,乘以方位变标因子 $\Phi_{scl}(t_s, f_a)$完成残余的相位校正:

$$\varphi_{scl}(t_f, f_a) = \exp\{-j2\pi c t_f[1 - \sin\varphi_{ref}\beta(f_a)]/\lambda + j\Phi_1(t_f, f_a) + j\Phi_2(t_f, f_a)\} \cdot \exp\left\{-j\frac{\pi}{k_{a\,scl} f_a^2}\right\} \quad (9)$$

$\Phi_1(t_f, f_a) = \frac{4\pi}{c^2} K_r(f_a; R_{ref})[C_s(f_a) + 1] C_s(f_a) \cdot \left(\frac{ct_f}{2} - R_{ref}\right)^2$, $\Phi_2(t_f, f_a) = \frac{\pi c t_f f_a}{V} \cos\varphi_{ref}$为 CS相位相乘中所未能补偿的残留相位. $k_{a\,scl}$为满足最终图像的方位间隔而选定的 Scaling因子. 对数据进行方位向傅里叶变换之后乘以如下的 deramp因子:

$$\Phi_{de}(t'_s) = \exp\{-j\pi k_{a\,scl} t'^2_s\} \quad (10)$$

$t'_s$ 为经过方位 deramp预处理之后的时间. 合并子孔径做方位傅里叶变换完成方位向压缩,得到了最终的 SAR图像.

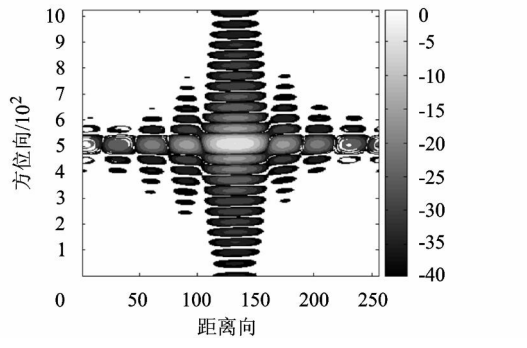
## 3　计算机仿真结果

用于点目标仿真的参数如表 1所示. 0时刻卫星处于北纬 38 88°,采用偏航控制以减小距离徙动量. 成像的斜距分辨率为 0 66m(矩形窗),方位分辨率为 1m 点目标的坐标$(x, y)$分别为:(0, 0), (2000, 0), (-2000, 0), (0, 500)和(0, -500), $x$和 $y$ 轴的正向分别表示当地水平坐标系中的正北和正东方向,单位为 m.

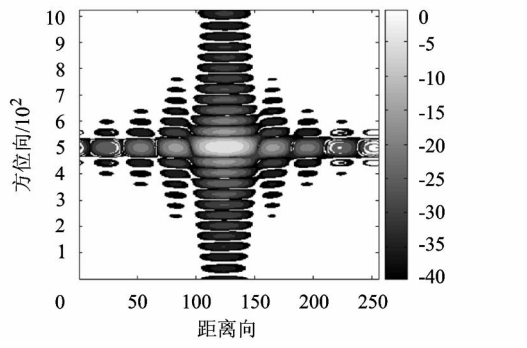
为了满足方位向分辨率的要求,根据计算本例中点目标的多普勒累积带宽为 6670Hz,也即在进行子孔径分割时,其前提也必须使重频满足大于 6670Hz的要求,这对于星载系统来说是不能容忍的. 而在采用 deramp预处理之后,当方位向采样率为 2000Hz时,可以满足方位向长度大约 4km区域的成像要求. 选取成像中间和边沿区域的点目标冲击响应结果如图 4所示,质量评估结果如表 2所示,从成像的结果可以看到该算法可以应用到星载高分辨率聚束模式中.

表 1　点目标仿真参数

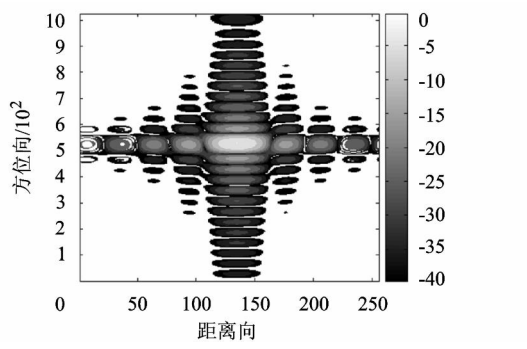
| 仿真参数 | 值 |
|---|---|
| 卫星轨道高度 /km | 800 |
| 轨道倾角 /(°) | 98 58 |
| 雷达视角 /(°) | 24 5 |
| 脉冲宽度 /μs | 30 |
| 波长 /m | 0 0385 |
| 脉冲重复频率 /Hz | 2000 |
| 发射信号带宽 /MHz | 200 |
| 信号采样率 /MHz | 250 |
| 合成孔径时间 /s | 2 28 |




a　坐标(0, -500)




b　坐标(-2000, 0)




c　坐标(2000, 0)

图 4　点目标冲激响应

表 2 点目标质量评估结果

| 坐标/(m,m) | 方位分辨率/m | 距离分辨率/m | PSLR/dB | | ISLR/dB | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 方位向 | 距离向 | 方位向 | 距离向 |
| 0,-500 | 0.91 | 0.66 | -13.04 | -13.27 | -10.35 | -10.20 |
| -2000,0 | 0.91 | 0.66 | -13.03 | -13.29 | -10.34 | -10.12 |
| 2000,0 | 0.91 | 0.66 | -13.13 | -13.30 | -10.31 | -10.15 |

注: PSLR—峰值旁瓣比; ISLR—积分旁瓣比.

## 4 结束语

为保证图像的方位向分辨率,通常的 ECS算法中的子孔径分割其要求重频大于点目标的多普勒带宽,而该文将 deramp处理应用于 ECS算法,降低了子孔径处理中对脉冲重复频率的要求,减轻了聚束式 SAR系统设计中对重频 PRF的限制,另外通过子孔径处理也提高了算法的效率.

## 参考文献 (References)


[1] Riccardo Lanari, Manlio Tesauro, Eugenio Sansosti, et al. Spotlight SAR data focusing based on a two-step processing approach [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2001, 39(9): 1993-2004

[2] 王国栋, 周荫清, 李春升. 高分辨率星载聚束式 SAR的 Deramp Chirp Scaling成像算法 [J]. 电子学报, 2003, 31(12): 1784-1789
Wang Guodong, Zhou Yinqing, Li Chunsheng. A deramp chirp scaling algorithm for high-resolution spaceborne spotlight SAR imaging[J]. Acta Electronic Sinica, 2003, 31(12): 1784-1789(in Chinese)

[3] Ding Zegang, Long Teng, Zeng Tao, et al. Deramp rangemigration processing for space borne spotlight synthetic aperture radar [J]. Advances in Space Research, 2008, 41: 1822-1826

[4] Moreira Alberto, Mittermayer Josef, Scheiber Rolf. Extended chirp scaling algorithm for air- and spaceborne SAR data processing in stripmap and scanSAR imaging modes[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1996, 34(9): 1123-1136

[5] Mittermayer Josef, Moreira Alberto. Spotlight SAR processing using the extended chirp scaling algrithm[C]//IEEE International Conference on Geoscience and Remote Sensing [S.l.]: IEEE, 1997, 4: 2021-2023

[6] Sun Jinping, Wang Jun, Yuan Yunneng, et al. Extended chirp scaling algorithm for spotlight SAR[J]. Chinese Journal of Aeronautics, 2002, 15(2): 103-108

[7] 王国栋, 周荫清, 李春升. 高分辨率星载聚束式 SAR改进的 ECS成像算法 [J]. 宇航学报, 2003, 24(1): 65-70
Wang Guodong, Zhou Yinqing, Li Chunsheng. Refined ECS algorithm for high resolution spaceborne spotlight SAR imaging [J]. Journal of Astronautics, 2003, 24(1): 65-70(in Chinese)

[8] 黄岩, 李春升, 陈杰, 等. 高分辨率聚束 SAR改进 chirp scaling成像算法 [J]. 电子学报, 2000, 28(3): 35-38
Huang Yan, Li Chunsheng, Chen Jie, et al. Refined chirp scaling algorithm for high resolution spaceborne SAR imaging[J]. Acta Electronic Sinica, 2000, 28(3): 35-38(in Chinese)


(责任编辑: 娄 嘉)

(上接第 1151页)

## 参考文献 (References)


[1] Lu Shouqun. Discussion on interoperability of open-source software [J]. Software World, 2007, 32(6): 1-50

[2] Komatsoulis G A. Introduction to interoperability and compatibility [EB/OL]. National Cancer Institute Centre for Bioinformatics, 2006. https://cabig.nci.nih.gov/events/2006/2006-AnnualMeeting-Day-2/Intro-Interoperability-Compatibility-Komatsoulis.pdf

[3] PIT Ltd. PIT Philosophy [EB/OL]. 2007[2007-08-30]. http://www.qpit.ltd.uk/media/papers/Defining-Quality.pdf

[4] 高晖. 软件体系结构层次的软件适应性度量和预测研究 [D]. 北京: 北京航空航天大学计算机学院, 2008
Gao Hui. Research on flexibility metrics in software architecture level[D]. Beijing: School of Computer Science and Technology, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2008(in Chinese)

[5] Herskovits E. Computer-based probabilistic-network construction[D]. CA: Stanford University, 1991

[6] Dagum P, Luby M. Approximating probabilistic reasoning in Bayesian belief networks is NP-hard [J]. Artificial Intelligence, 1993, 60(1): 51-91

[7] Mitchell T M. Machine learning [M]. Beijing: China Machine Press, 2003: 86-154

[8] Guo H, Hsu H. A survey of algorithms for real-time Bayesian network inference [EB/OL]. 2002. http://citeseer.ist.psu.edu/guosurvey.html

[9] Fan C F, Yu Y C. BBN-based software project risk management [J]. Journal of Systems Software, 2004, 73: 193-203

[10] Stamelos I, Angelis L, Dimou P, et al. On the use of Bayesian belief networks for the prediction of software productivity[J]. Information and Software Technology, 2003, 45: 51-60

[11] Fenton N E, Neil M, Marsh W, et al. Predicting software defects in varying development lifecycles using Bayesian nets [J]. Information and Software Technology, 2007, 49: 32-43

[12] Cooper G, Herskovits E. A Bayesian method for the induction of probabilistic networks from data [J]. Machine Learning, 1992, 9: 309-347

[13] Microsoft Research. MSBNx [CP/DK]. 2006. http://research.microsoft.com/adapt/MSBNx

[14] KSU Probabilistic Reasoning Group. BNJ[CP/DK]. 2004. http://bnj.sourceforge.net


(责任编辑: 吴 琼)