

МОДЕЛИРАНЕ НА ПРОЦЕСА НА ФОРМИРАНЕ НА InSAR СИГНАЛ

Проф. д.т.н. инж. Антон Лазаров, ас. Димитър Минчев, БСУ

Абстракт: Предложен е алгоритъм, програмно осигуряване симулационна изчислителна система за определяне на параметрите на InSAR геометрично кинематичен сценарий. Приведени са основните аналитични изрази, описващи геометрията и кинематиката на обекта. Приведени са аналитичните изрази за изчисляване на разстоянието до всяка точка от обектното пространство. Предложен е модел за реализация на симулационен алгоритъм на InSAR.

Ключови думи: InSAR Geometry, InSAR modeling

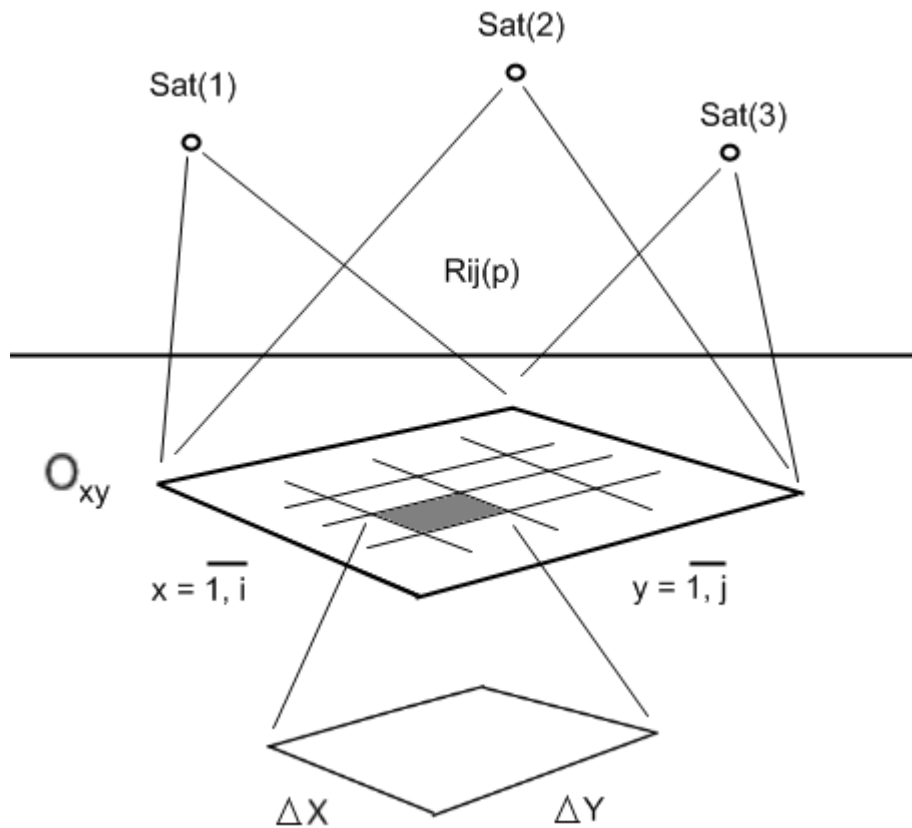
Въведение

Технологията на радиолокационните системи със синтезирана апертура, известна като SAR (Synthetic Aperture Radar) технология, е ефективен подход за получаване на висококачествени образи на обекти. Технологията InSAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar) от своя страна използва разликата във фазата на няколко комплексни SAR сигнала получени от висока орбита за генериране на триизмерен образ на земната повърхност.

Основната цел на настоящата статия е на базата аналитично геометричната теория на апертурния синтез да се дефинира геометрия на InSAR сценарий и да се предложи модел за реализация на симулационна система за генериране на InSAR сигнали.

Геометрия на InSAR

Зададена е триизмерна повърхност образувана от пиксели, наблюдавана от клъстери сателити посредством SAR технология. Всеки един от тези пиксели е дефиниран от третата координата $z_{ij}(x_{ij}, y_{ij})$ в триизмерната координатна система $Oxuz$. Повърхността се облъчва с линейно честотни вълни излъчвани от предавателите на сателитите $Sat(1)$, $Sat(2)$, $Sat(3)$ представляващи N на брой SAR антени монтирани на сателитите и наблюдаващи една и съща повърхност. Между всяка двойка $A_m A_n$ от сателити, където $m \neq n = \overline{1, M}$, е N броя на сателитите, може да се дефинира InSAR.



Фиг.1. Геометрия на InSAR.

Основната геометрична характеристика на SAR сигнала е векторът-разстояние \mathbf{R}_{ij} от SAR системата до всяка точка от наблюдаваната сцена, зададена като вектор (Фиг.1).

$$(1) \quad \mathbf{R}_{ij}^n(p) = \mathbf{R}^n(p) - \mathbf{R}_{ij} = [x_{ij}^n(p), y_{ij}^n(p), z_{ij}^n(p)]^T,$$

където: $n = 1 \div N$ е номерът на SAR приемника, \mathbf{R}_{ij} е вектора разстояние от ij -катата наблюдавана точка от сцената и $\mathbf{R}^n(p)$ е вектора на разстоянието до n -тия SAR приемник, в изследваната координатна система $Oxyz$. $x_{ij}^n(p)$, $y_{ij}^n(p)$, $z_{ij}^n(p)$ са текущите координати на пиксел от n -тия SAR приемник, измерени в p -тия момент на наблюдението и се дефинират по следния начин:

$$\begin{aligned}
 x_{ij}^n(p) &= x^n(p) - x_{ij}; \\
 (2) \quad y_{ij}^n(p) &= y^n(p) - y_{ij}; \\
 z_{ij}^n(p) &= z^n(p) - z_{ij},
 \end{aligned}$$

където $x_{ij} = i\Delta X$; $y_{ij} = j\Delta Y$; $z_{ij} = z_{ij}(x_{ij}, y_{ij})$ са дискретните координати дефинирани за повърхността на интерес, $x^n(p)$, $y^n(p)$, $z^n(p)$ са координатите на n -тия SAR приемник и се задават от равенствата:

$$\begin{aligned}
 x^n(p) &= x_0^n - V_x \left(\frac{N}{2} - p \right) T_p; \\
 (3) \quad y^n(p) &= y_0^n - V_y \left(\frac{N}{2} - p \right) T_p; \\
 z^n(p) &= z_0^n - V_z \left(\frac{N}{2} - p \right) T_p,
 \end{aligned}$$

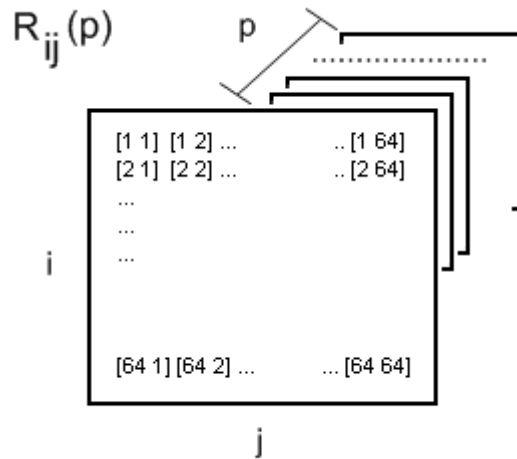
Където x_0^n , y_0^n , z_0^n са началните координати на n -тия SAR, изчислени в момента $p = \frac{N}{2}$; T_p е периода на повторение; p е броя на излъчените импулси. $\mathbf{V} = [V_x, V_y, V_z]^T$ е векторът скорост на SAR клъстерната система; $V_x = V \cos \alpha$, $V_y = V \cos \beta$, $V_z = V \cos \delta$ - са компоненти на вектора скорост; $\cos \alpha$, $\cos \beta$ и $\cos \delta = \sqrt{1 - \cos^2 \alpha - \cos^2 \beta}$ са водещите косинуси и V е модула на вектора скорост.

Модулът на вектора разстояние на ij -тия пиксел, измерено от n -тата SAR антена се дефинира от следния израз:

$$(4) \quad R_{ij}^n(p) = \left\{ [x_{ij}^n(p)]^2 + [y_{ij}^n(p)]^2 + [z_{ij}^n(p)]^2 \right\}^{\frac{1}{2}}.$$

Израза (4) ще се използва за моделиране на сигнала отразен от ij -тия пиксел от n -тия приемник.

В предложения модел векторът разстояние се представя посредством p на брой матрици с размерност $- I \times J$, където I е броят на пикселите по координатната ос Ox , J - броят на пикселите по координатната ос Oy .



Фиг.2. Матрица на разстоянието до ij -тия пиксел.

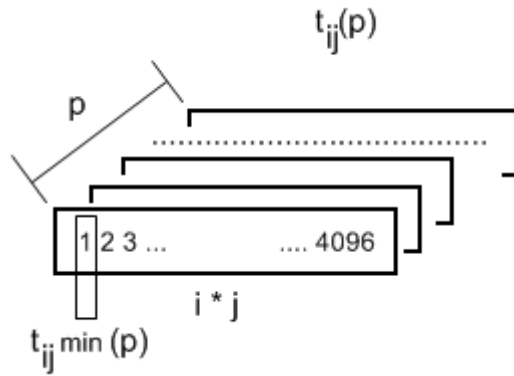
Времето на закъснението на сигнала за всяко p , отразен от ij -тия пиксел се определя от израза:

$$(5) \quad t_{ij}(p) = \frac{2R_{ij}^n(p)}{c}$$

където: $p = \overline{1, M}$ е текущия брой излъчени импулси, M е общия брой на импулсите, $c = 3 \cdot 10^8$ m/s е скоростта на светлината, $R_{ij}^n(p)$ е вектора разстояние до ij -тия пиксел,

Изчисляват се времената на закъснение от всички пиксели от наблюдавания обект (повърхност), т.е. за $i = \overline{1, I}$, $j = \overline{1, J}$, където I е броят на пикселите по азимут, J - броят на пикселите по разстояние. Като общият им брой е $(I \cdot J)$. Времената на закъснение $(I \cdot J)$ се аранжират във възходящ ред и се индексират (номерират) с индекс $l = \overline{1, I \cdot J}$.

Представянето на данните е демонстрирано на (Фиг.3). За разгледания пример i и j се изменят в интервала $[0 \dots 64]$, а p - броя на импулсите е равен на 128. За всяко p се намира стойността на най-малкото t , след подреждането на стойностите на t във възходящ ред, това е първата стойност на t за всяко p .



Фиг.3. Време закъснение.

След калкулацията на $R_{ij}^n(p)$, $t_{ij}^n(p)$ и $t_{ij\min}^n(p)$ следва формиране на InSAR сигнала. Детерминирани компоненти на SAR сигнала са получени чрез прилагане на физически оптичен принцип на Huggens-Fresnel, според който InSAR сигнала може да бъде изчислен като сума от елементарни сигнали, отразени от пикселите на обекта, т.е. времеви запис на данните $S^n(p, k)$ може да бъдат записан като:

$$(6) \quad \dot{S}^n(p, k) = \sum_i a_i(z_i) \text{rect} \frac{Q}{T} \exp \left\{ -j[\omega Q + bQ^2] \right\}$$

където:

$$(7) \quad Q = t_{i\min}^n(p) + (k-1)\Delta T - t_i^n(p)$$

и още където: $p = \overline{1, M}$ е текущия брой излъчени импулси; M е общия брой на импулсите; $\omega = 2\pi \frac{c}{\lambda}$ е сигнал ъгловата честота; T е времевата продължителност на импулса; $a_{ij}(z_{ij})$ е коефициента на отражение (интензивността) на пиксел от обектното пространство. Параметъра $a_{ij}(z_{ij})$ е функция па повърхностната геометрия.

Правоъгълната бинарна функция $\text{rect} \frac{Q}{T}$ участваща в (6) се определя от израза (8)

$$(8) \quad \text{rect} \frac{Q}{T} = \begin{cases} 0, & \frac{Q}{T} \leq 0 \\ 1, & 0 < \frac{Q}{T} \leq 1 \\ 0, & \frac{Q}{T} > 1 \end{cases}$$

Функцията връща резултатна стойност единица или нула, като определя дали поредния сигнал да участва в сумата от израза (6).

Заклучение

В настоящата статия е разработен алгоритъм за реализация на програмно осигуряване на симулационна изчислителна система за определяне на параметрите на InSAR геометрично кинематичен сценарий. Приведени са основните аналитични изрази, описващи геометрията и кинематиката на обекта на изследване. Предложен е модел за реализация на симулационен алгоритъм на InSAR. Резултата от изследването може да бъде използван в симулирането, изграждането, тестването и обработката на InSAR сигнали с различни видове модуляции. Предложения алгоритъм и симулационен модел са база за по-нататъшно изследване върху InSAR сигналите и последващ ферометричен анализ на резултатите от обработката им.

Литература

1. Lazarov, A.D. Ch. N. Minchev. Cluster Micro-satellite InSAR Model. SSW, Istanbul, 5-7 June, 2008.
2. Lazarov, A.D., Ch. Minchev, 2002, "Correlation-autofocusing-spectral 2-D ISAR image reconstruction from linear frequency modulated signals," 21st Digital Avionics Systems Conference (DASC), Irvine, California, October 2002.
3. Rott, H., Nagler, T., Rocca, F., et al. "InSAR techniques and applications for monitoring landslides and subsidence," Benes (Ed.), Geoinformation for European-wide integration, Proceedings of EARSeL Assembly, Prague, June 2002. Millpress, Rotterdam, pp. 25–31, 2003.
4. Massonet, D., Feigl, K.L. "Radar interferometry and its application to changes in the Earth's surface," Rev. Geophys. 36, 441–500, 1998.
5. Henry, E., Mayer, C., Rott, H. "Mapping mining-induced subsidence from space in a hard rock mine," example of SAR interferometry application at Kiruna mine. CIM Bull. 97 (1083), 1–5, 2004.
6. Василев, В.М., Моделиране на процеса на преотражение от многоточкова цел, Сборник научни трудове, Научна сесия НВУ "В. Левски", факултет "Артилерия, ПВО и КИС" 2004г., с.123-127.
7. Василев, В. М., Д. Н. Зотов, Алгоритъм за обработка на честотно-модулирани сигнали, получени при обратния апертурен синтез. Научна сесия с международно участие - ВВУАПВО "П. Волов" 1999 г., с.197-200.