

## СТАНОВИЩЕ

относно дисертационен труд  
за придобиване на образователната и научна степен „доктор”  
по специалност „информатика“ в професионално направление 4.6

Автор: Димитър Петров Минчев

Тема: „ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧНИ МЕТОДИ И АЛГОРИТМИ ЗА МОДЕЛИРАНЕ И  
ОБРАБОТКА НА САТЕЛИТНИ SAR ИЗОБРАЖЕНИЯ”

Научни ръководители:

проф. д-н Андон Лазаров, БСУ и доц. д-р Иван Гарванов, УНИ-БИТ

от проф. д-н Благовест Шишков-ИМИ-БАН, член на научното жури

Дисертацията е обсъдена и допусната до защита на разширено заседание на секция „Математически методи за обработка на сензорна информация“ в ИИКТ на БАН, състояло се на 18.05.2012 г.

Дисертационният труд включва: съдържание, увод, четири глави, заключение с научно и научно-приложни приноси, списък на научните публикации, свързани с дисертационния труд, списък с използваните фигури, списък с използваните таблици, списък с използваната литература и приложение с програмен код.

Главите са организирани както следва: глава 1 на тема "Анализ и оценка на системите, методите и алгоритмите за сателитно дистанционно изследване на земната повърхност", глава 2 на тема "Математическо моделиране на процеса на получаване на комплексно SAR изображение на земната повърхност", глава 3 на тема "Математическо моделиране на процеса за получаване на комплексна интерферограма" и глава 4 на тема "Натурни експерименти с реални сателитни изображения".

Дисертационният труд е оформен в четири глави. Основният текст е изложен на 141 страници. Включени са: 54 формули, 108 фигури и 29 таблици. Фигурите и таблиците са последователно поредно номерирани. Цитирани са 168 литературни източници.

Развитието на средствата за дистанционни изследвания на земната повърхност през последните години позволи появата и реализацията на нови технологии за обработка на сателитни данни, към които се отнасят радиолокационните системи със синтезирана апертура, монтирани на сателитни носители - мощен инструмент за изследване на земната повърхност, нейната динамика и обекти върху нея. Тяхното приложение е изключително актуална тема, която все по широко се дискутира в научната литература. Този интерес е предизвикан от разнообразните възможности и приложения, които те предоставят. Дистанционното измерване на динамични във времето сигнали и техните параметри, съхранението и обработването им в реално време, възможността за отдалечен мониторинг, са някои от техните възможности. Те намират също така широко приложение в ситуации на кризи, природни бедствия и аварии, като позволяват да се събере и обработи информация от големи територии.

Целта на настоящия дисертационен труд е на базата на геометрични и кинематични модели на InSAR сценария, да се изградят математически модели на комплексни SAR сигнали, алгоритми за получаване на комплексни интерферограми и диферентни интерферограми, методи и алгоритми за обработка на сателитни SAR

изображения и тяхната програмна реализация в среда на MATLAB

За постигане на посочената цел са поставени и решени следните основни задачи:

- Разработени са математически модел, алгоритъм и програмна реализация на процеса за формиране на комплексните SAR сигнали;
- Разработени са математически модел, алгоритъм и програмна реализация на процеса на получаване на комплексно SAR изображение на земната повърхност;
- Разработени са математически модел, алгоритъм и програмна реализация на процеса за получаване на комплексна интерферограма и диферентна интерферограма;
- Извършено е числено експериментиране на моделите и алгоритмите при обработка на натурни SAR изображения получени от данните на сателита ENVISAT.

Основните теоретични и експериментални резултати са изложени в 4 публикации, две от тях през 2009 в XVI-th International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies – Бургас, България, а другите две съответно в международни научни конференции: 28 June – 2 July 2010, Bergen, Norway, ESA Living Planet Symposium 2010 и 19-23 September 2011, Frascati, Italy, ESA Fringe 2011.

□ Andon Lazarov, Dimitar Minchev, Comparison analysis of ESA software products and their functionality for interferometric processing., Burgas, Bulgaria, XVI-th International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies, ISBN 978-954-323-530-8, SIELA 2009 Proceeding, p.165-174, 2009.

□ Andon Lazarov, Dimitar Minchev, SAR mapping equations and coordinate transformations., Burgas, Bulgaria, XVI-th International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies, ISBN 978-954-323-530-8, SIELA 2009 Proceeding, p.175-180, 2009.

□ Andon Lazarov, Dimitar Minchev, Gurgen Aleksanyan, Maya Ilieva, Landslide phenomena in sevan national park – Armenia., 28 June – 2 July 2010, Bergen, Norway, ESA Living Planet Symposium 2010 Proceedings SP-686, ISBN 978-92-9221-250-6, ISSN 1609-042X, 2010.

□ Andon Lazarov, Dimitar Minchev, INSAR study of landslides in the region of lake Sevan– Armenia, 19-23 September 2011, Frascati, Italy, ESA Fringe 2011 Proceedings SP-697, ISSN 978-92-9092-261-2, ISSN 1609-042X, 2011.

## **1. АНАЛИЗ И ОЦЕНКА НА СИСТЕМИТЕ, МЕТОДИТЕ И АЛГОРИТМИТЕ ЗА САТЕЛИТНО ДИСТАНЦИОННО ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЗЕМНАТА ПОВЪРХНОСТ**

В тази глава от дисертационният труд е направен анализ на: методите, техниките и алгоритмите за интерферометричната обработка на сателитни изображения. Обособени са ключовите моменти при използването на технологията, включително: определянето на базовите линии, регистрацията на изображенията, разстилането на фазата, кохерентност, обработката на грешки, приложения и симулатори. Направен е анализ и оценка на съвременното състояние на научната литература в областта, системите, методите и алгоритмите за сателитно дистанционно изследване на земната повърхност.

Обстойният аналитичен преглед и направеният анализ на научната литература в областта на интерферометричната обработка на сателитните изображения показва, че:

□ Съществуват значим обем от методи и алгоритми за обработка на сателитни комплексни изображения и стимулационни модели на процесите на формиране на комплексни интерферограми, но към настоящия момент отсъства обобщаващ модел на процеса на формиране на комплексни SAR сигнали, отразени от сложния релеф на земната повърхност, получаване на SAR интерферограми и диферентни SAR интерферограми.

□ От особен интерес е проблемът по изграждането на общ алгоритъм за

моделиране на сложния геометрически релеф на земната повърхност, модулиращ фазата излъчения SAR сигнал при преотражение от земната повърхност, оценка на комплексни изображения и формиране на SAR интерферограмата и SAR диферентна интерферограма, които носят информация за тримерната картина на релефа и неговото изместване.

Оттук могат да се дефинират целта и задасчите на дисертационния труд:

- Разработени са математически модел, алгоритъм и програмна реализация на процеса за формиране на комплексните SAR сигнали;
- Разработени са математически модел, алгоритъм и програмна реализация на процеса на получаване на комплексно SAR изображение на земната повърхност;
- Разработени са математически модел, алгоритъм и програмна реализация на процеса за получаване на комплексна интерферограма и диферентна интерферограма;
- Извършено е числено експериментиране на моделите и алгоритмите при обработка на натурни SAR изображения получени от данните на сателита ENVISAT

## **2. МАТЕМАТИЧЕСКО МОДЕЛИРАНЕ НА ПРОЦЕСА НА ПОЛУЧАВАНЕ НА КОМПЛЕКСНО SAR ИЗОБРАЖЕНИЕ НА ЗЕМНАТА ПОВЪРХНОСТ**

В тази глава е разработен математически модел на процеса на формиране на комплексните SAR сигналит, модел на процеса за получаване на комплексно SAR изображение и възстановяване на изображението от моделирания сигнал. Вследствие от изпълнението на поставената цел се имплементира универсален геометричен модел на релеф на земната повърхност, математически модел на процеса на формиране на отразените от този релеф комплексни SAR сигнали, алгоритми за тяхната обработка и възстановяване на изображението на земната повърхност.

В настоящата глава е разработен матричен математически модел за получаване на комплексни SAR сигнали. Представена е с аналитичен израз сложна повърхнина, която се използва за формирането на комплексните SAR сигнали. Те се представят като четири мерна матрица от данни. За да се опише процесът на формирането на SAR сигналите се използва единична правоъгълна селектираща функция, която генерира четири мерна бинарна матрица. За възстановяване на образите се прилага Фурие трансформация по координатите: разстояния и азимут. Предложеният модел може да бъде използван за генериране на SLC изображения на сложни повърхнини. Приложен е цифров експеримент, реализиран в програмна среда MATLAB. Експериментът демонстрира алгоритъм на моделиране на SAR сигнал и алгоритъм за възстановяване на комплексното изображение от комплексен SAR сигнал.

## **3. МАТЕМАТИЧЕСКО МОДЕЛИРАНЕ НА ПРОЦЕСА ЗА ПОЛУЧАВАНЕ НА КОМПЛЕКСНА ИНТЕРФЕРОГРАМА**

В тази глава е разработен математически модел на процеса за получаване на комплексна интерферограма. Генерирани са диферентни интерферограми демонстриращи изменението в релефа след настъпила деформация. Представените изображения са получени чрез цифрово моделиране в програмната среда MATLAB. В настоящата глава са разработени математически модели и алгоритми за симулация на SAR сателитна интерферометрична система. На базата на аналитично-геометричната теория на апертурния синтез се дефинира геометрия на InSAR сценария и се предлага модел за реализация на SAR система за генериране на комплексни интерферометрични изображения. Разработен е математически модел на процеса на формиране на диферентни интерферограми, демонстриращи изменението в релефа след настъпила земна деформация. Приложен е алгоритъм за ефективна подпикселна корегистрация на комплексните изображения чрез крос-корелационна процедура. Цифровите

експерименти потвърждават коректността на методология за генериране на интерферограми и диферентни интерферограми, чрез които се илюстрира SAR техника за разпознаване на деформации на земната повърхност.

#### **4. НАТУРНИ ЕКСПЕРИМЕНТИ С РЕАЛНИ САТЕЛИТНИ ИЗОБРАЖЕНИЯ**

В глава 4 "натурни експерименти с реални сателитни изображения" са извършени пет експеримента с реални сателитни данни.

#### **5. ПРИНОСИ**

##### **5.1. Научни приноси**

□ Предложен е аналитико-геометричен и кинематичен модел на SAR сценария (1-5) и алгоритъм за формиране на линейно честотно SAR сигнал с линейно честотна модулация (6-11).

□ Предложен е алгоритъм за възстановяване на комплексното SAR изображение, базиращ се на двумерна обратна Фурие трансформация (12) и реализиран с бързо инверсно преобразование на Фурие в среда на MATLAB (13).

□ Разработен е математически модел на процеса на получаване на комплексно SAR изображение на базата на геометричен модел на релефа на сложна земна повърхност (3), умножение на многомерни масиви за формиране на комплексния отразен сигнал (15-19) и двумерна Фурие трансформация за възстановяване на комплексния SAR образ.

□ Разработен е алгоритъм за получаване на комплексна интерферограма на базата на две комплексни SAR изображения, който включва подпикселна кроскорелационна корегистрация и комплексно спрегнато умножение на корегистрираните комплексни образи, изрази (37-42).

□ На базата на геометрично-кинематичния модел на мулти сателитна SAR система е разработен математически модел на процеса и алгоритъм за получаване на комплексна интерферограма и диферентна интерферограма на сложна повърхност.

□ Предложен е алгоритъм за ефективна подпикселна корегистрация чрез корелация, реализирана чрез двумерен бърз Фурие трансформация на две комплексни изображения.

##### **5.2. Научно-приложни приноси**

□ Разработен е алгоритъм и програмен продукт за реализиране на математическия модел на процеса за формиране на комплексен SAR сигнал, адаптивен за траекторните параметри на сателита и геометрията на наблюдаваната повърхност и динамиката във времето на закъснението на импулсите от отделните фрагменти на повърхността.

□ Разработен е алгоритъм и програмен продукт за реализиране на математическия модел на процеса за формиране на комплексни SAR изображения, чрез прилагане на дву-дименсионно Фурие трансформация за определяне на интензивностите на отделни блестящи точки (отражатели) от земната повърхност.

□ Разработен е алгоритъм и програмен продукт за реализиране на комплексна SAR интерферограма и диферентна интерферограма на базата на теоретични моделни данни за релефа на сложна земна повърхност.

□ На базата на реални данни за комплексни изображения, получени чрез сателита ENVISAT и използване на продукти и софтуер на: Европейската агенция за космически изследвания, Берлинския университет, Технически Университет Делфт, Университета в Райс, Националната аерокосмическа агенция на Съединените

американски щати, Shuttle Radar Topography Mission, Японския институт за геодезични изследвания, Ереванския държавен университет, са проведени множество числени експерименти, доказващи коректността на математическите модели и алгоритми, както и на тяхната програмна реализация в среда MATLAB.

## **6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Дисертацията на : Димитър Петров Минчев представлява мащабно изследване за моделиране и обработка на сателитни SAR изображения. То е проведено с голям професионализъм и надхвърля изискванията за придобиване на образователната и научна степен „доктор”. На лице е и ясна визия за продължаване на тези важни съвременни изследвания на дистанционното сондиране в космическото пространство.

Дисертацията отговаря напълно на Закона за развитие на академичния състав.

Поради всичко това предлагам на научното жури да предложи на Научния съвет на ИИКТ-БАН Димитър Петров Минчев да придобие образователната и научна степен „доктор”

07.09.2012