

КОСМИЧЕСКИ РАДАРИ ЗА ДИСТАНЦИОННО НАБЛЮДЕНИЕ НА ЗЕМЯТА

Иван Здравков¹, Дарин Михов², Драгомир Дочев¹

¹ДП „Ръководство на въздушното движение“
²Единбургски университет, Факултет по информатика
e-mail: ivanzdrav@gmail.com, dmmihov@gmail.com, dragomir.dochev@bulatsa.com

Ключови думи: космически радары, дистанционно наблюдение на земята, синтезирана апертура, разрешаваща способност.

Резюме: Извършен е аналитичен обзор на съществуващите станции с космическо базиране за дистанционно наблюдение на Земята. Формулирани са възможностите и задачите, които решават радарите със синтезирана апертура (РСА). Направен е анализ на техническите параметри на тези радары, като основно внимание е отделено на разрешаващата им способност. В изводите са посочени насоките за повишаване ефективността на работа на РСА.

SPACE RADARS FOR REMOTE EARTH SURVEILLANCE

Ivan Zdravkov¹, Darin Mihov², Dragomir Dochev¹

¹Bulgarian Air Traffic Services Authority
²University of Edinburgh, School of Informatics
e-mail: ivanzdrav@gmail.com, dmmihov@gmail.com, dragomir.dochev@bulatsa.com

Keywords: space-based radar, remote Earth surveillance, synthetic aperture, resolution

Abstract: An analytical survey of existing space-based stations for remote Earth surveillance has been achieved. The abilities and the tasks of Synthetic-aperture Radars (SAR) have been formulated. The technical parameters of the above radars have been analysed with emphasis placed on their resolution. Further development aiming to increase effectiveness of SARs has been outlined in the conclusion.

Въведение

В настояще време все по-широко приложение във всички области на човешката дейност намира информацията, получавана от космоса с помощта на космически апарати за дистанционно наблюдение на Земята (ДНЗ). Използването на тази информация е толкова по-голямо и значимо, колкото тя е по-качествена и достоверна.

Широките възможности за дистанционно изучаване на Земята от космоса се появиха в края на 60-те години на миналия век при внедряването на изследванията на скенерни и радиолокационни методи, разработени за военното разузнаване. Те позволиха да се извършват снимки в неизползвани по-рано диапазони на електромагнитните вълни и получаване на качествено нова информация, в това число изображения на различни участъци от повърхността на Земята. Появиха се такива методи на заснемане, като многозонално и инфрачервено фотографизиране, топлинни и пасивни методи за картографиране в СВЧ диапазон. Системите, работещи на основата на тези методи, позволяват да се събират данни за повърхността на Земята по пътя на анализа на нейните СВЧ и инфрачервени излъчвания и отразените електромагнитни колебания в видимата и близката инфрачервена области на спектъра. Всичките датчици на тези системи са пасивни, т.е. възприемат само тази енергия, която се излъчва от повърхността на Земята или се произлъчва от нея в процеса на отразяване на слънчевото излъчване. Съгласно приетата класификация на космическото разузнаване,

пасивните космически системи за наблюдение са космическо фоторазузнаване и оптикоелектронно космическо разузнаване.

Принципно нови възможности осигуряват радиолокационните системи, работещи в микровълновия диапазон на електромагнитните вълни. Това са активни системи, установени на борда на космическия апарат за ДНЗ, които излъчват тяснонасочен високочестотен електромагнитен импулсен сигнал и приемат отраженията му от сканираната земна повърхност. Доколкото тези системи използват своя собствена енергия на излъчване, те могат да работят по всяко време на денонощието и при всякакви климатични условия. Излъчваният от тях сигнал преминава безпрепятствено през облаци, дъжд и мъгла, а при определена дължина на вълната – и през листата на дърветата и слой суха почва. На практика се използват както радиолокационни станции (РЛС) с реална апертура (наричани още некохерентни РЛС) и РЛС със синтезирана апертура на антената – наричани кохерентни РЛС. Разрешаващата способност на некохерентните РЛС се определя от реалните размери на антената и тяхното предимство е относителната простота на самия радиолокатор и системата за обработка на информацията, а също така и широката полоса на обзора. Основния им недостатък е низката разрешаваща способност. Кохерентните РЛС притежават по висока разрешаваща способност, но изискват много по-сложна система за обработка на сигналите. По тези причини в доклада, от многото космически апарати за ДНЗ, ще бъдат разгледани само системите, снабдени с РСА.

Състояние и възможности на съвременните космически радары със синтезирана апертура

Радиолокационните системи представляват най-универсалните и информативни датчици за дистанционно наблюдение в микровълновия диапазон. Най-широко практическо приложение в настояще време намират РЛС със синтезирана апертура. Принципа им на действие се основава на възможността за преместване на бордовата антена на РЛС за последователно формиране на антенна решетка с големи размери по траекторията на полета. При това бордовата антена има неголеми размери и достатъчно широка диаграма на насоченост. Независимо от сложните технически решения и високата цена на РСА, тяхната разработка и експлоатация позволява да се решават множество важни задачи, често достъпни само на дадения способ за дистанционно наблюдение. Интересно е да се отбележи, че сравнително еднакви от техническа гледна точка радары, изпълняват различни информационни задачи. За Канада - това са наблюдение на арктическите ледове, за Китай – мониторинг на морската акватория, за Италия – картографиране, за Израел – следене на територията на Иран, и т.н. Европейският спътник “ERS” пък е със сравнително ниска разделителна способност (20 – 30 m), но информацията, получавана от борда му, активно се използва от страните на НАТО за откриване на кораби и следене на обстановката на море. Именно тези системи намират широко приложение и при решаване на навигационни задачи.

Освен орбиталните параметри на движение, всеки космически апарат (КА) за ДНЗ има редица различни технически характеристики и параметри – излъчвана мощност, честотен диапазон, поляризация на сигнала, ширина на полосата на сканиране, хранване и много други. Но една от най-важните характеристики на системите за наблюдение е разрешаващата способност. Тя може да бъде пространствена и радиометрична (яркостна). Радиометричната разрешаваща способност се определя от количеството нива на дискретизация на яркостта и зависи от ширината на динамичния диапазон. За практиката обаче по важна е пространствената разрешаваща способност – това е размера на елемент на повърхността, който се възприема като отделна точка.

Пространствената разрешаваща способност зависи от дължината на вълната, размера на апертурата на антената и височината на орбитата по следния начин [1]:

$$(1) \quad r = \frac{\lambda}{D} H$$

където r – пространствена разрешаваща способност; λ - дължина на вълната; D - размер на апертурата на антената; H - височина на полета.

Таблица 1. Основни характеристики на РСА в орбита

Космически апарат	Височина на орбитата. км	Наклон на орбитата. о	Работна дължина на вълната, см (честота GHz)	Пространствено разрешение. м	Ширина на полосата на обзор. км
ERS-1,2	782 x 785	98,5	(5,3)	30	100
ENVISAT	820	98,55	(3,9 – 6,2)	30, 100, 1000	100, 400
JERS	567 x 569	97,7	(1,257)	18	75
ALOS	700	98,1	(1,275)	5-10	70, 250
RADARSAT	743	98,6	(5263)	28, 100	200,300,500
Алмаз– 1А, 1Б	280: 400	72,7	(3), 3,5, 9,6, 70	5 – 7: 20 - 40	20, 70 170
COSMO	600 - 650	98	(9,65)	3; 6 - 12	40, 100-120
COSMO SkyMed 1	614,4 x 633	98,86	3,1; (9,6)	1; 30; 100	10; 40, 200
Lacrosse	676 x 696	68	(9,5 – 10,5)	1; 3; 10-15	2;20; 100
SIR-C/X-SAR (Space Shuttle)	233 x 240	57	(5,298); (9,6)	8-10; 13-26	15-90
Osiris	600-800	90	3	3 - 5	30 - 50
TeraSAR-X	507,7x512,5	97,45	(9,65)	0,5; 1; 3; 16	5;30;50;150
SAR-Lupe	472,1x516,0	98,16	3		5,5, 8-60
Ofeq	401,8x581,5	41,03	X	1, 1,8, 3, 8	
RISAT	399,2x553,1	94,02	X	1, 1,8, 3, 8	

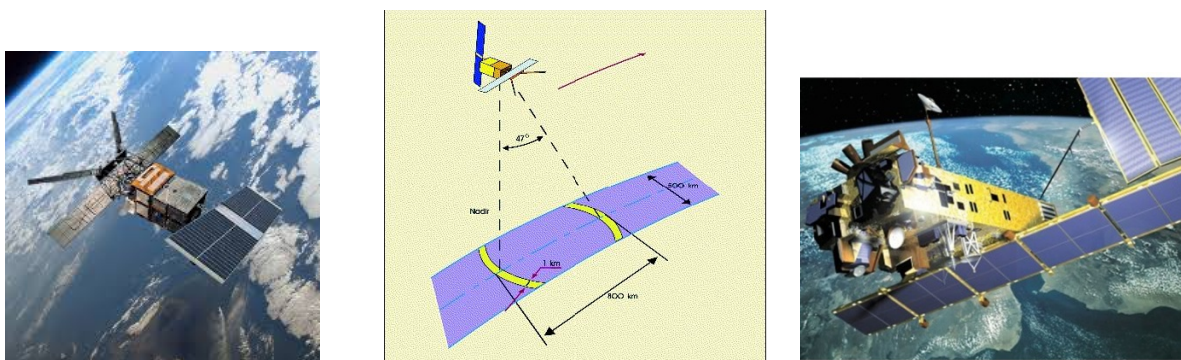
От тази формула е видно, че за получаване на високо пространствено разрешение е необходим стремеж към увеличаване на размера на апертурата на антената и към възможно най-малка дължина на вълната. Следва да се отбележи, че височината на орбитата на космическия РСА не влияе съществено на пространствената разрешаваща способност.

В настоящия момент в орбита около Земята се намират различни типове радар с синтезирана апертура за ДНЗ: ERS, Radarsat, COSMO, SkyMed, TerraSAR, SARLupe, ENVISAT, ALOS и много други, показани в Таблица 1.

Ще разгледаме накратко основните технически характеристики, непоказани в таблицата, на някои от тези системи.

Целевата апаратура на **Европейска космическа система за дистанционно наблюдение на Земята ERS (European Remote Sensing satellite)** включва апаратура за микровълново наблюдение AMI (Active Microwave Instrument), която се монтира и на двата космически апарата **ERS-1,2** и осигурява различни режими на работа. Излъчваната мощност е

1270 вата, ширината на спектъра на излъчваните сигнали – $15,5 \pm 0,06$ MHz, поляризацията на излъчваните и приемани вълни е вертикална линейна, а точността на определяне на височината на наземните обекти е 10 метра.



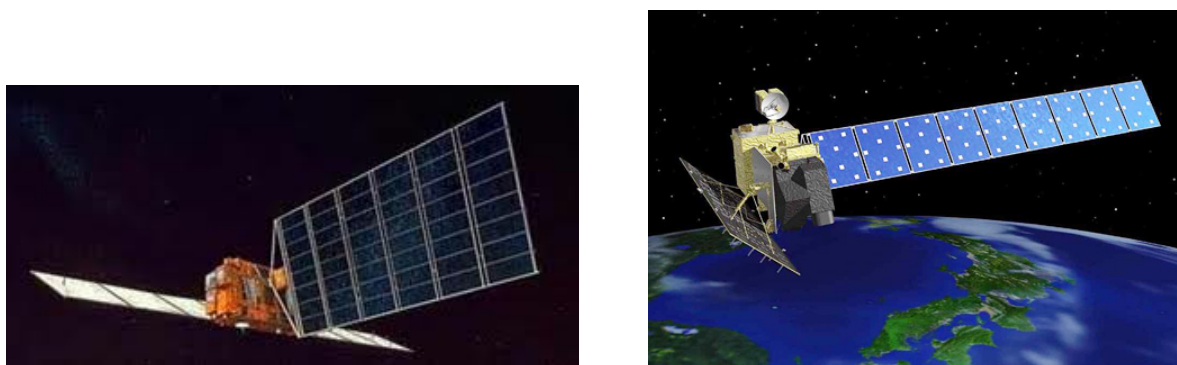
Фиг. 1. Космически апарати за ДНЗ ERS-1 и ENVISAT-1

Космическия апарат за ДНЗ ENVISAT-1 има в своя състав усъвършенствана радиолокационна система ASAR (Advanced Synthetic Aperture Radar), която е усъвършенстван вариант на РЛС със синтезирана апертура, използван в сериите КА ERS-1,2. Системата ASAR работи на честотите на С-диапазона (7,62 – 4,84 см) и осигурява наблюдение на до седем избираеми полоси по трасето на КА с обща ширина 100 км. и разрешение 30 м. или на една полоса с ширина 400 км. с разрешение 1 км.

Японския КА за разузнаване на природни ресурси JERS (Japan Earth Resources Satellite, японско название Фуо-1) представлява PCA с реални размери на антената 11,9 x 2,5 м. Предназначен е за целогодишни снимки на земната повърхност и бреговата зона на морето и получаване на радиолокационни изображения с висока разрешаваща способност.

Японския КА за разузнаване на природни ресурси ALOS (Advanced Land Observation Satellite) има на борда си радиолокационна система VSAR, осигуряваща пределно пространствено разрешение 5 м. по трасето на движение при ширина на полосата на обзор 70 км.

Канадската система за разузнаване на природните ресурси на Земята RADARSAT (Radar Satellite) е с размери на антената на РЛС 15,0 x 1,5 м. Многофункционалният PCA е предназначен за целогодишни снимки на повърхността на планетата, наблюдение движението на корабите и преместването на ледовете, картографиране на земната повърхност. Работната честота на КА RADARSAT е 5,263 GHz, пространственото разрешение 9 – 100 м. в зависимост от режима на работа, линейно-хоризонтална поляризация на излъчваните и приемани сигнали, средна излъчвана мощност – 300 W, импулсна мощност – 5 KW, продължителност на импулса – 42,0 мкс, честота на повторение на импулсите – 1270-1390 GHz. РЛС може да изменя полосата на обзор спрямо трасето на космическия апарат.



Фиг. 2. Японски космически апарати за ДНЗ JERS и ALOS

Радиолокационната система със синтезирана апертура на КА Алмаз-1А от Руската програма „АЛМАЗ“ включва две вълноводни антенни решетки с размери 15 x 1,5 м., формиращи два отделни лъча и има следните характеристики: работна честота – 3 GHz., пространствено разрешение – 15 м., поляризация на сигналите – линейно-хоризонтална, излъчвана мощност – 190 W, продължителност на импулсите – 0,07 и 0,1 мсек. и честота на повторение на импулсите – 3 KHz.

Като продължение на програмата „АЛМАЗ“ е създаден КА Алмаз – 1Б, бордовия радиолокационен комплекс на който се състои от три подсистеми, осигуряващи наблюдение на различни честоти и различни режими:

- РСА-3 – работна дължина на вълната 3,5 см., разрешение на местността 5-7 м., ширина на полосата на обзор 20-35 км.;
- РСА-10 - работна дължина на вълната 9,6 см., разрешение на местността 5-7 м., ширина на полосата на обзор 30-55 км. (детайлен режим), разрешение на местността 15 м., ширина на полосата на обзор 60- 70 км. (междинен режим), разрешение на местността 15-40 м., ширина на полосата на обзор 120- 170 км.(обзорен режим);
- РСА-70 - работна дължина на вълната 70 см., разрешение на местността 20-40 м., ширина на полосата на обзор 120-170 км.;



Фиг. 3 Космически апарати за ДНЗ RADARSAT, Алмаз-1А и COSMO

Космическите апарати за ДНЗ COSMO (Италия, Испания, Гърция) са оборудвани с РКА, работещ на честота 9,65 GHz, която осигурява пространствено разрешение 3 м. при ширина на полосата на обзора 40 км. и 6-12 м. при полоса 120 км.

Орбиталната групировка с двойно назначение COSMO-SkyMed (Италия) има в състава си четири космически апарата. Те са оборудвани с радар SAR-2000 със синтезирана апертура с размери на антената 5,7 x 1,4 м. Радиолокатора работи в X-диапазон (работна дължина на вълната – 4,64 – 2,75 см. и 3,1 см.). В различните режими на работа той осигурява пространствено разрешение 1 м., 3-15 м., 30 м. и 100 м. при съответна ширина на полосата на обзора 10 x 10 км., 40 км., 100км. и 200 км.

Френския КА за ДНЗ Osiris е разработен по заявка на Министерството на отбраната на Франция и изпълнен от фирми „Matra Markoni“ и „ Space Alkatel Espase“. Космическия апарат има РСА от сантиметровия диапазон, който осигурява разрешаваща способност 3 – 5 м. при ширина на полосата на обзора 30 – 50 км.

Техническите характеристики и възможности на останалите космически апарати за ДНЗ с радари със синтезирана апертура – **Lacrosse, TerraSAR-X, SAR-Lupe, Ofeq** – са подробно разглеждани в предишни публикации (3,4 5), и по тази причина тук няма да се спираме на тях.

Изводи

От извършения аналитичен обзор на съществуващите радиолокационни станции с космическо базиране за дистанционно наблюдение на Земята могат да се направят следните изводи:

- все повече държави, освен традиционно космическите, проявяват огромен интерес към разработката и експлоатацията на космически радарни със синтезирана апаратура, независимо от сложността и високата стойност на изделията;
- радиолокационната информация е незаменима при екстремни ситуации, решаването на задачи в полярните райони, в картографията, лесовъдството, търсенето на нефт и при навигацията и управление на движението;
- направленията за по нататъшното развитие на КА за дистанционно наблюдение на Земята с РСА в голяма степен се определят от изискванията на потребителите на информация, но съществуват теоретични и технически ограничения като енергетичния ресурс на РЛС, сложността на алгоритмите за обработка на информацията, бързодействието на изчислителните машини и пропускателната способност на линиите за предаване на данни;
- теоретичния предел на възможностите на радарите със синтезирана апертура още не е достигнат, затова е необходимо да продължават научните изследвания в търсенето на нови методи, способности и средства за повишаване на тяхната ефективност.

Литература:

1. Гушин, В.Н. Основы устройства космических аппаратов, М. Машиностроение, 2003;
2. Тарасенко, П. Ф. Военные аспекты советской космонавтики, Агентство российской печати, Москва, 1992;
3. Пашков, Д.П., Домнин, Национальный университет обороны, 2011, Киев;
4. www.novosti-kosmonavтики.ru
5. www.infotera.de