



مباحث ویژه (پردازش سیگنال های راداری)

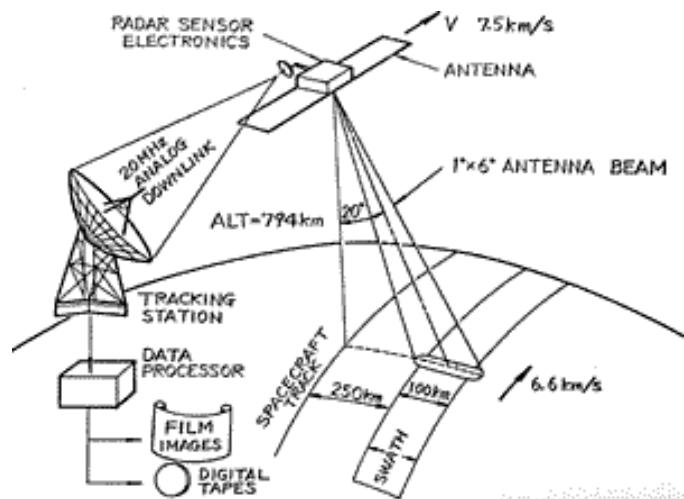
نیم سال دوم ۰۳-۰۴

رادار روزنه مصنوعی (معرفی کلی)

سرفصل مطالب

- معرفی و کاربردها
- حد تفکیک در رادار
- مفهوم روزنه مصنوعی و نحوه تشکیل آن
- جمع آوری داده و تشکیل تصویر در SAR
- انواع SAR
- برخی سامانه های موجود

معرفی و کاربردها



- SAR: یک سامانه راداری نصب شده بر یک **سکوی متحرک**
- هدف: تهیه تصاویر سطح زمین با قدرت تفکیک مناسب، **مستقل از نور و شرایط آب و هوایی مختلف** با استفاده از امواج الکترومغناطیس در باند مایکروویو
- تصاویر (نقشه دو یا سه بعدی از **بازتاب پذیری**)
- سکوی حامل رادار: ماهواره، هواپیما، پهپاد، بالگرد، خودرو

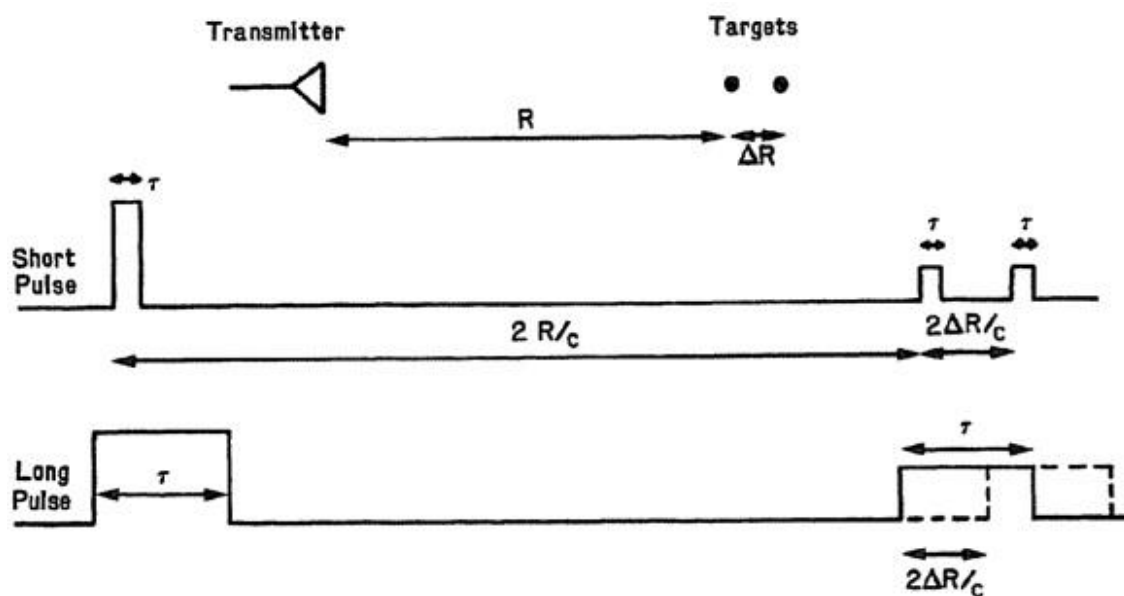
معرفی و کاربردها

❖ ویژگی ها و کاربردهای اصلی SAR

- ❑ قدرت تفکیک بالا (مستقل از فاصله)
- ❑ عدم وابستگی به شرایط آب و هوایی (با انتخاب مناسب باند فرکانسی)
- ❑ تصویربرداری در شب و روز
- ❑ مکمل سامانه های نوری
- ❑ قابلیت استخراج اثر قطبش (ساختار فیزیکی، ثابت دی الکتریک)
- ❑ کاربردهای متعدد:

- توپوگرافی (تولید DEM به وسیله تداخل سنجی)
- اقیانوس شناسی (طیف امواج، سرعت باد، جریان های اقیانوسی)
- یخسارشناسی (پایش یخسار، رطوبت برف)
- کشاورزی (رطوبت خاک، پایش و طبقه بندی محصولات کشاورزی)
- زمین شناسی (تمایز نواحی زمین، پایش زیرسطحی)
- جنگل شناسی (ارتفاع جنگل، جنگل زدایی)
- آشکارسازی اهداف متحرک (MTI)
- پایش زلزله و آتشفشان (تداخل سنجی تفاضلی)
- پایش محیطی (لکه های نفتی، سیل)
- کاربردهای نظامی

□ RADAR: Radio Detection And Ranging



□ حد تفکیک: $\Delta R = c\tau/2$

□ حد تفکیک مناسب در برد ← پالس ارسالی باریک: توان قله بالا

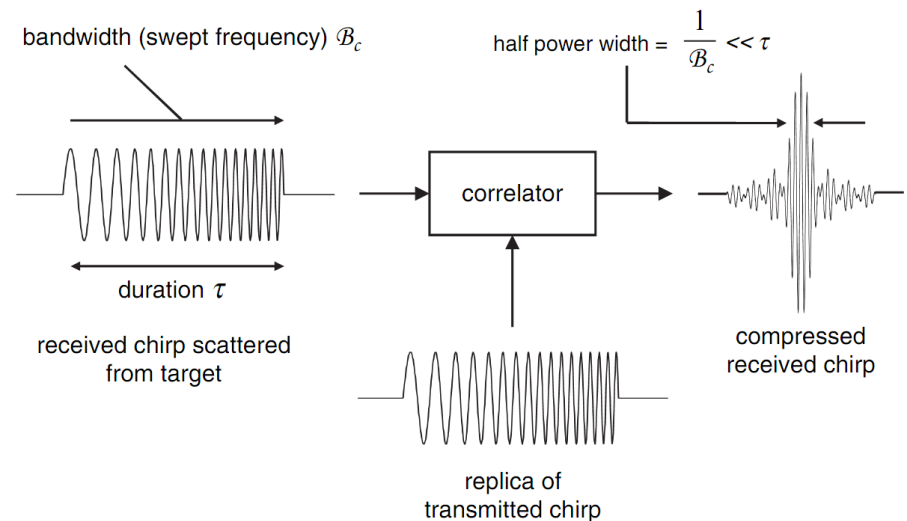
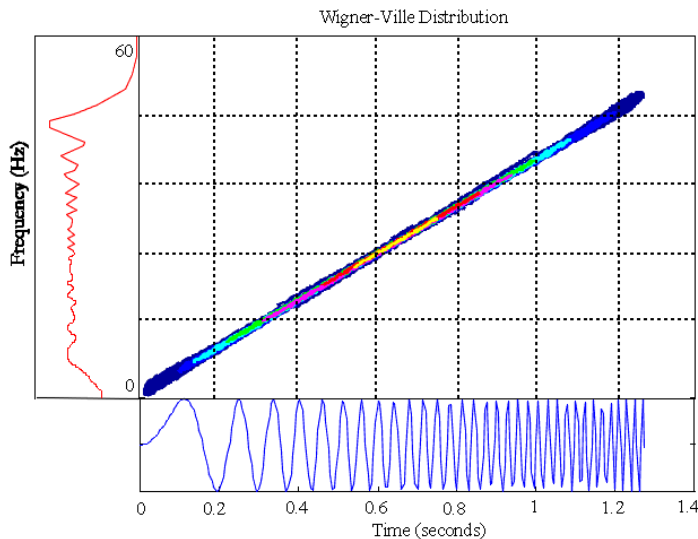
حد تفکیک در رادار

6

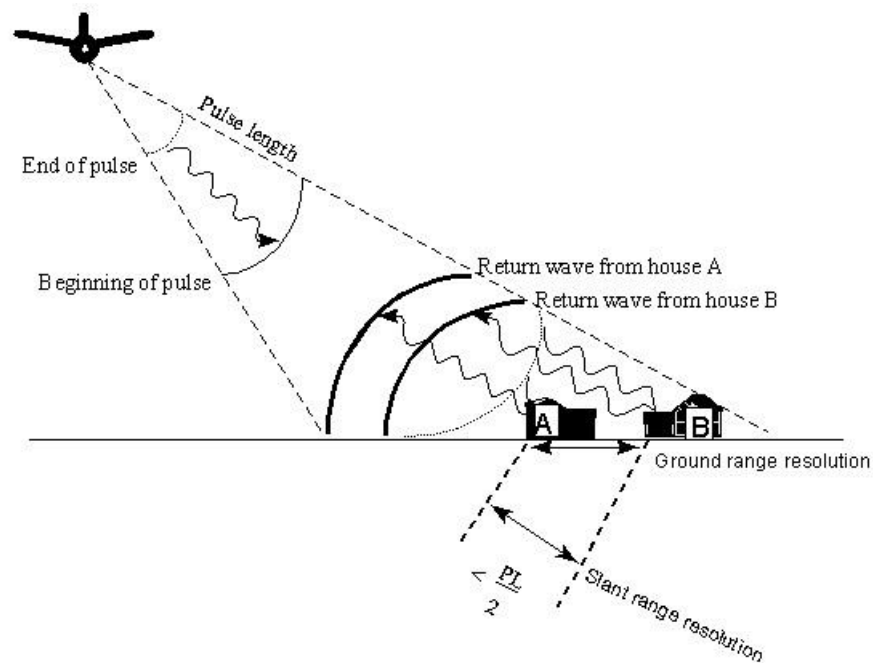
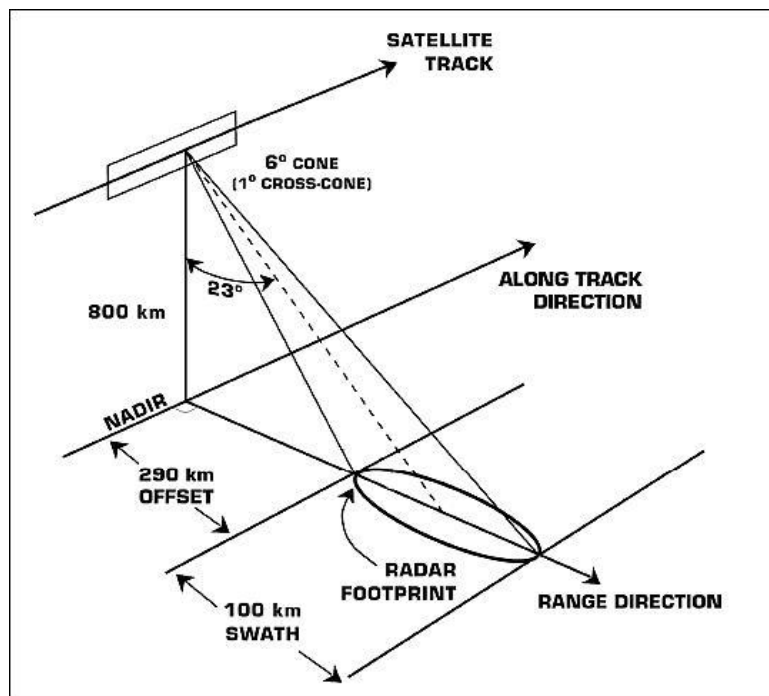
□ راه حل: اعمال یک **مدولاسیون** به پالس ارسالی و **فشرده سازی پالس** در گیرنده

□ مشهورترین مدولاسیون: LFM (chirp signal)

□ حد تفکیک: $\Delta R = \frac{c}{2B_c}$



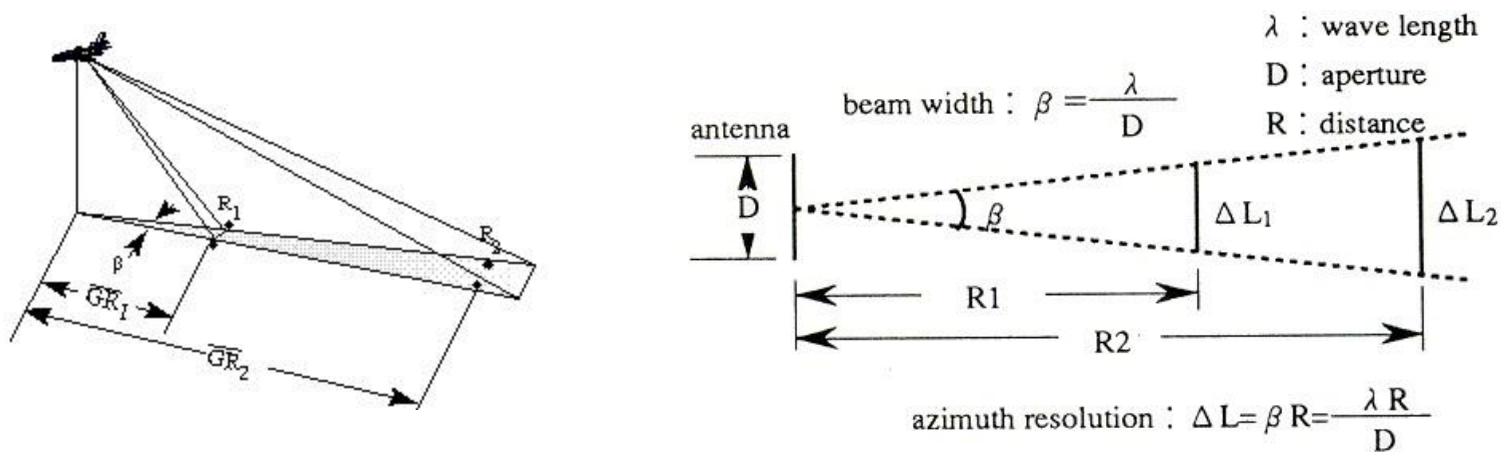
هندسه کنارنگر در SAR برای تفکیک اهداف در برد: $\Delta R = \frac{c}{2B_c \cos(\theta)}$ □



حد تفکیک در رادار

8

- حد تفکیک در سمت (در جهت حرکت رادار) = پهنای پرتو در سمت
- کاهش پهنای پرتو در سمت ← افزایش طول روزنه (آنتن)

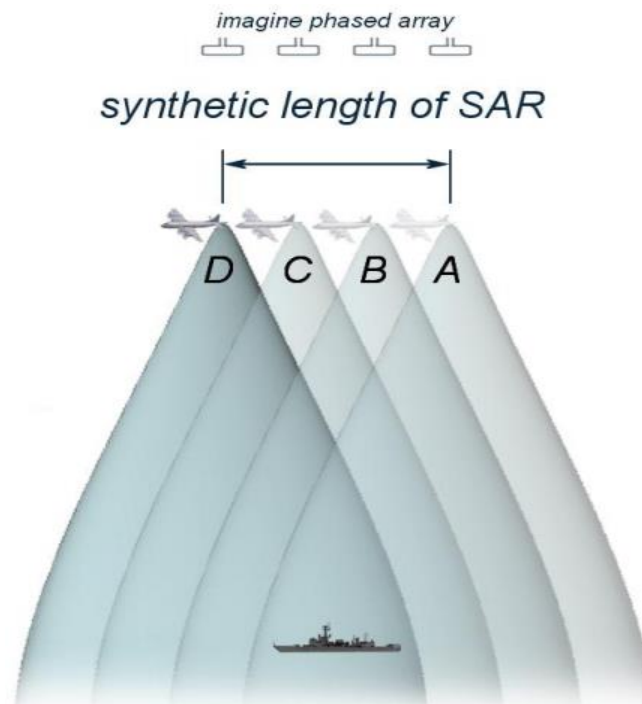
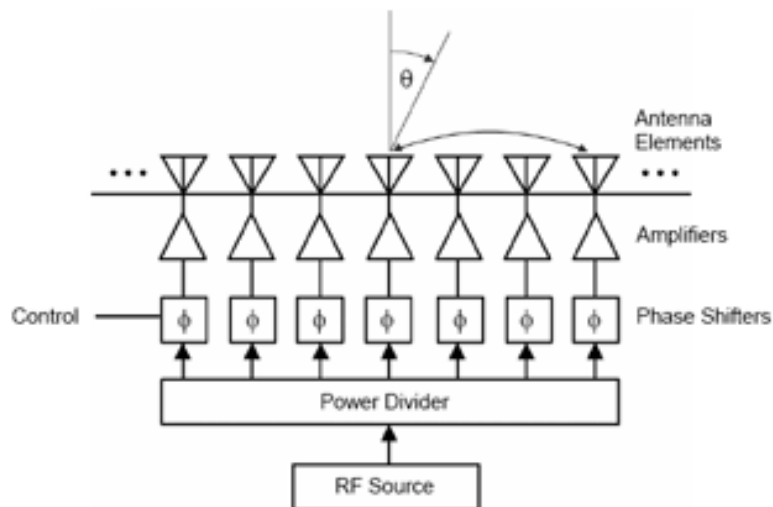


- مثلاً برای داشتن حد تفکیک ۱ متر در فاصله ۱۰ کیلومتری در فرکانس ۱ گیگاهرتز، طول روزنه مصنوعی باید ۳ کیلومتر باشد!!
- راه حل: ایده روزنه مصنوعی با حرکت رادار و دریافت سیگنال در یک گستره طولانی (روزنه مصنوعی طولانی)

مفهوم روزنه مصنوعی

9

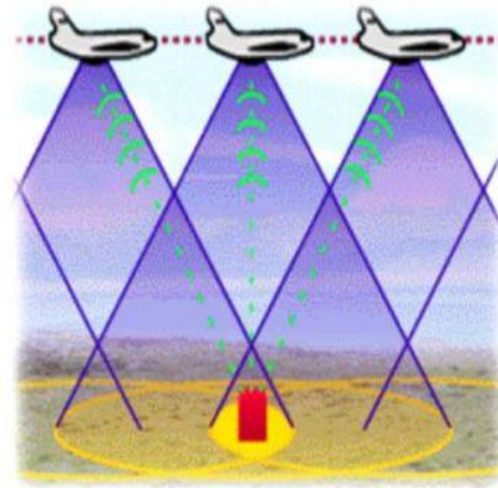
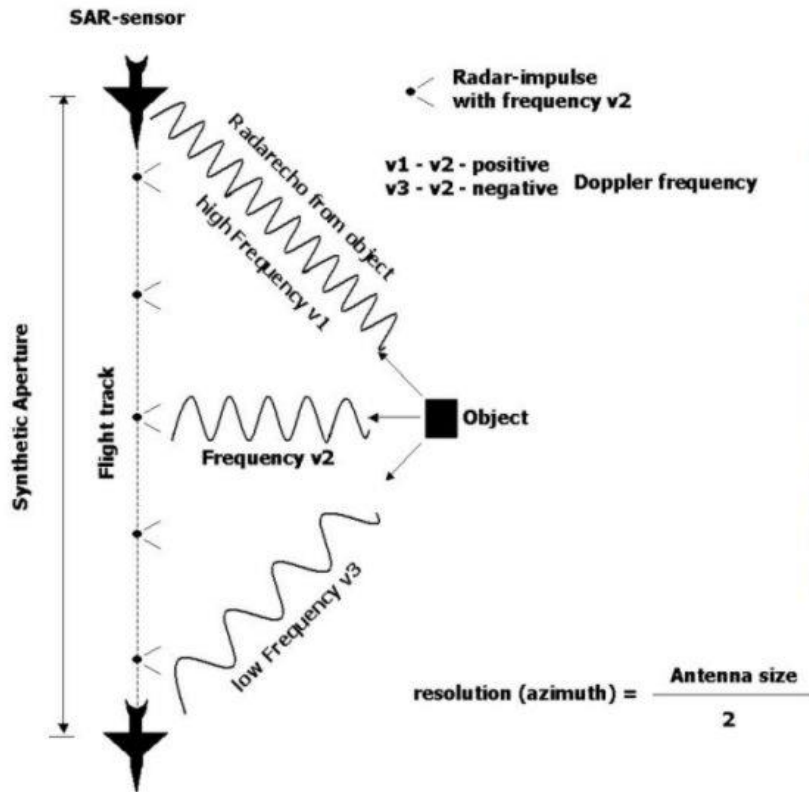
- کاهش پهنای پرتو با استفاده از یک **آرایه خطی** از آنتن ها ← افزایش طول روزنه
- **روزنه مصنوعی**: دریافت سیگنال با یک **آنتن کوچک** و در **زمان های متوالی**



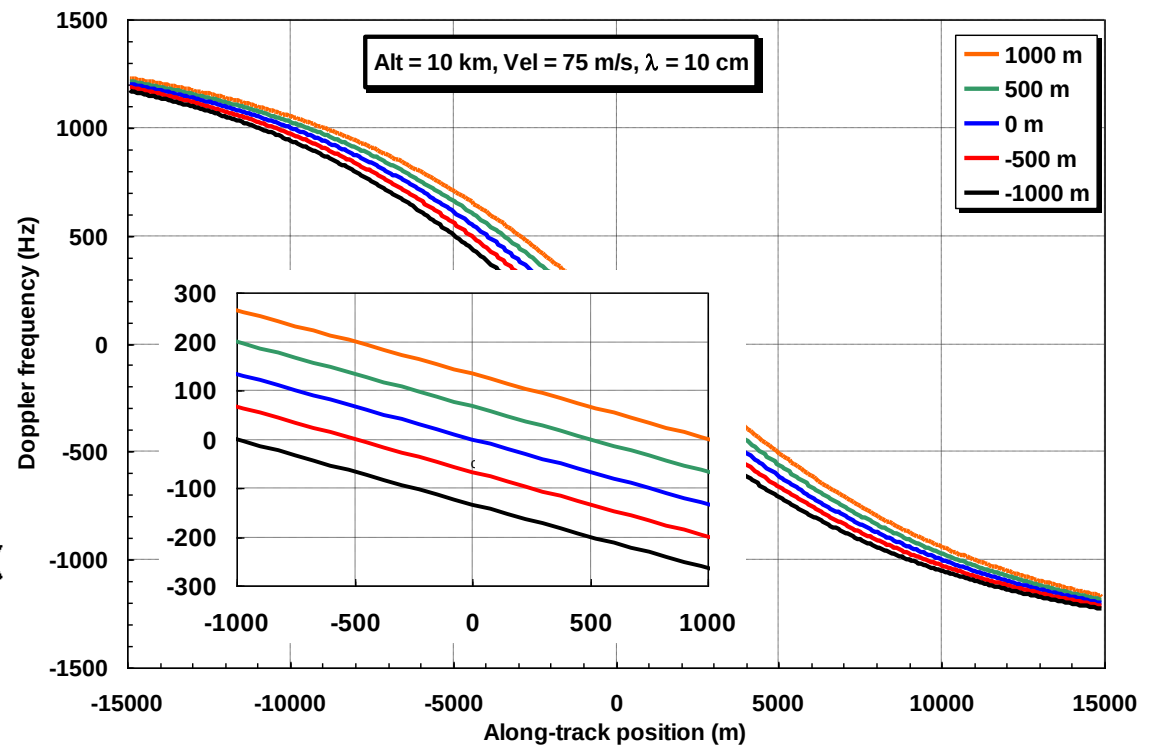
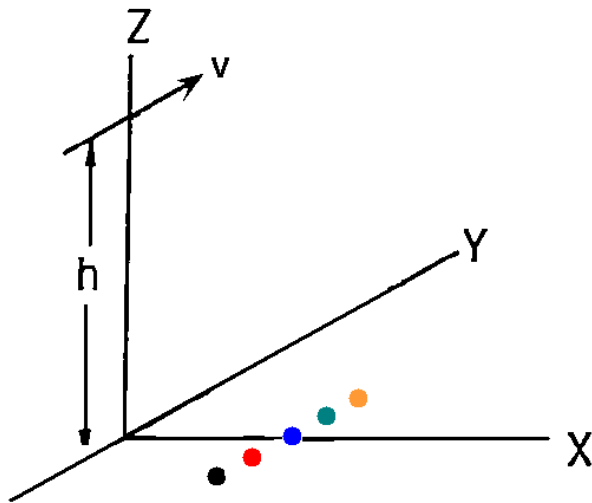
مفهوم روزنه مصنوعی

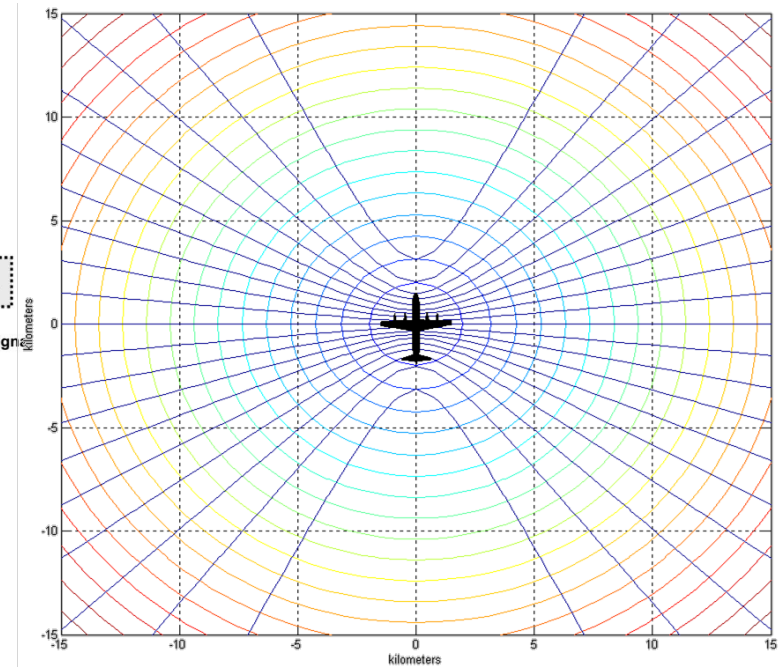
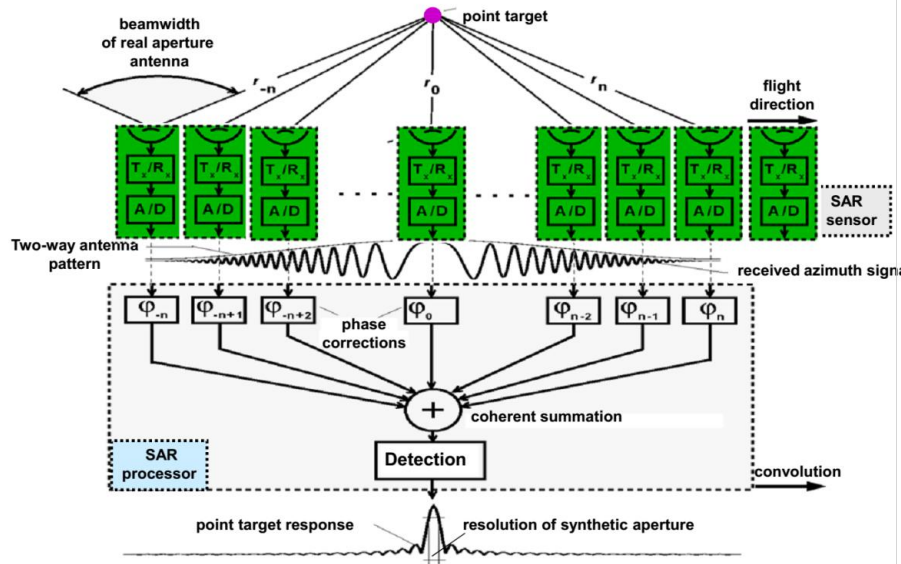
10

□ مفهوم روزنه مصنوعی از دید پردازش سیگنال (پدیده **فرکانس داپلر**):



□ مثال:

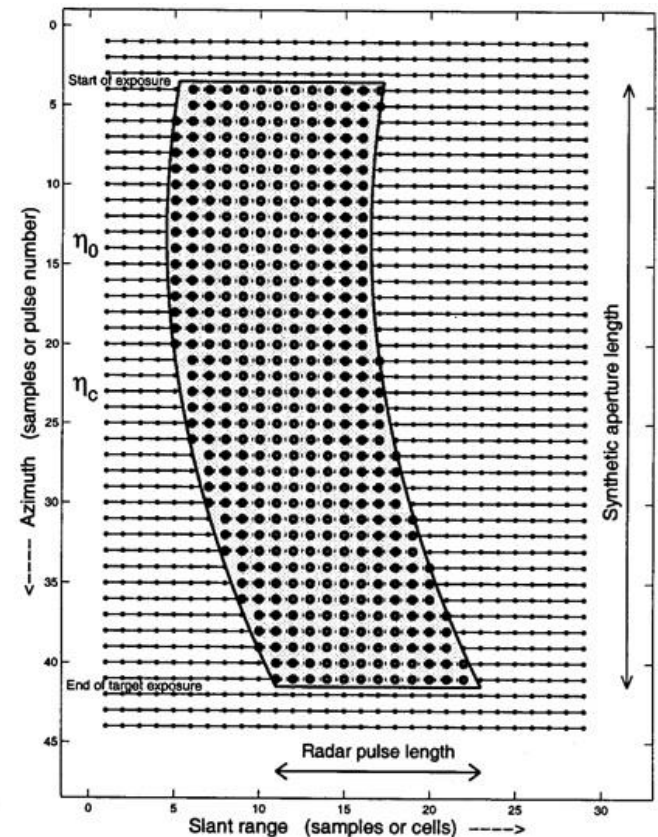
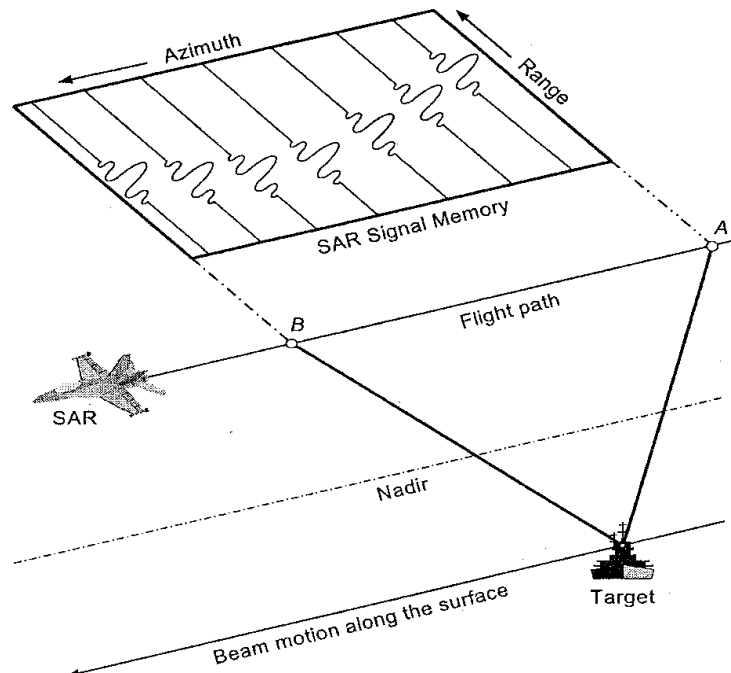




Isorange and isodoppler lines
($v=10$ m/s, $h=1500$ m, $\rho_r = 2$ m, $\lambda = 3$ cm)

جمع آوری داده و تشکیل تصویر

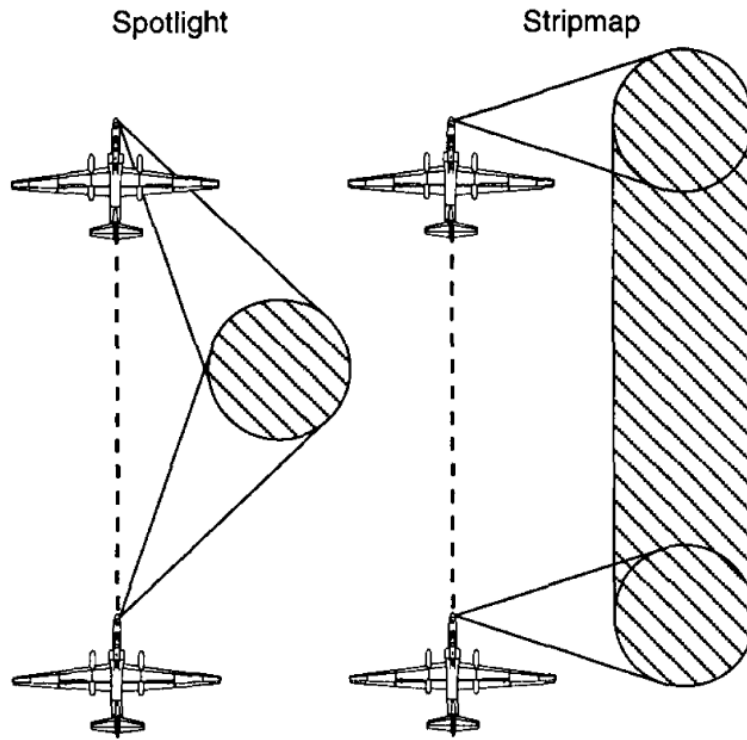
□ نمونه های هر پالس دریافتی در یک سطر از **ماتریس داده خام**



جمع آوری داده و تشکیل تصویر

14

□ دو شیوه کاری SAR: **نواری** (strip-map) و **نورافکنی** (spotlight)



$$\text{spotlight: } \rho_a = \frac{\lambda}{2\Delta\theta}$$
$$\text{stripmap: } \rho_a = \frac{L_a}{2}$$

جمع آوری داده و تشکیل تصویر

15

□ تشکیل تصویر با استفاده از ماتریس داده خام و به کمک **الگوریتم های تشکیل تصویر**

□ الگوریتم های حوزه زمان: انعطاف پذیری بیشتر، الگوریتم های حوزه فرکانس: سرعت بیشتر

□ انتخاب نوع الگوریتم وابسته به هندسه، پارامترها و دقت مورد نظر

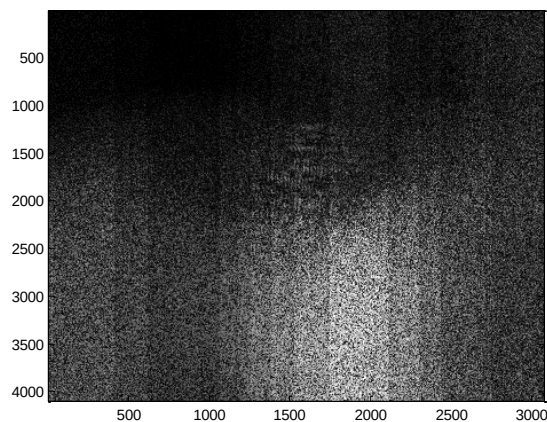
□ یکی از مشهورترین الگوریتم ها: **الگوریتم برد-دایر (RDA)** مبتنی بر فشرده سازی داده در برد و سمت



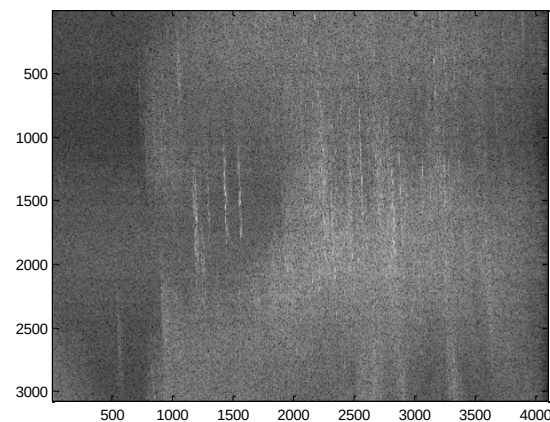
جمع آوری داده و تشکیل تصویر

16

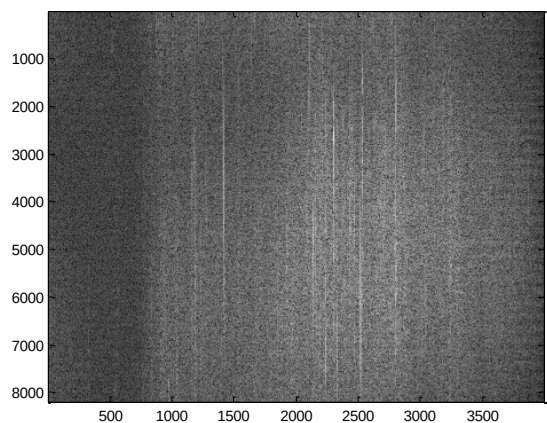
Raw
Data



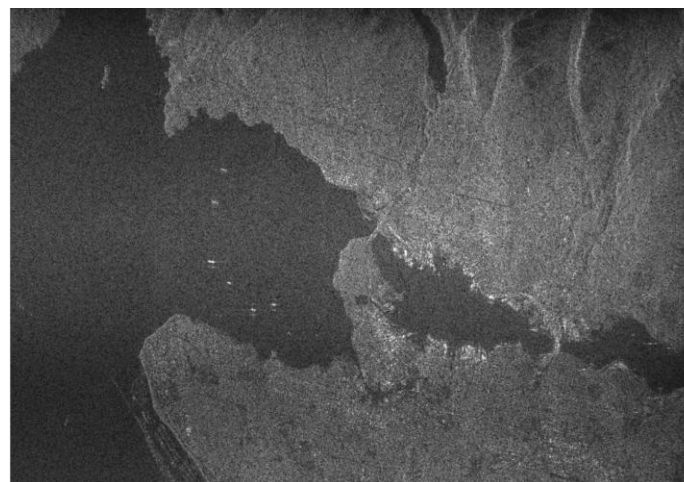
After Range
Compression



After
RCMC



Final
Image



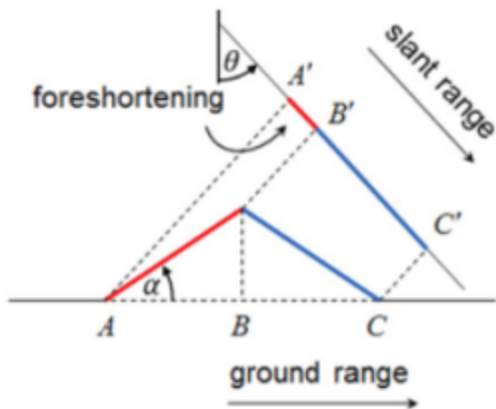
جمع آوری داده و تشکیل تصویر

17

□ اعوجاج هندسی در تصاویر SAR

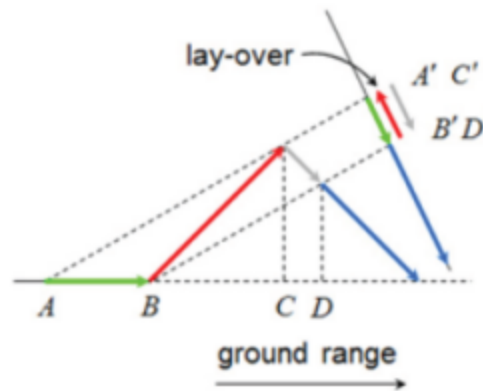
FORESHORTENING

- Sensor-facing slope foreshortened in image
- Foreshortening effects *decrease* with increasing look angle



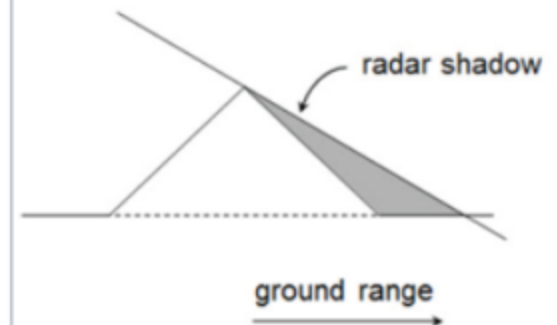
LAYOVER

- Mountain top overlain on ground ahead of mountain
- Layover effects *decrease* with increasing look angle



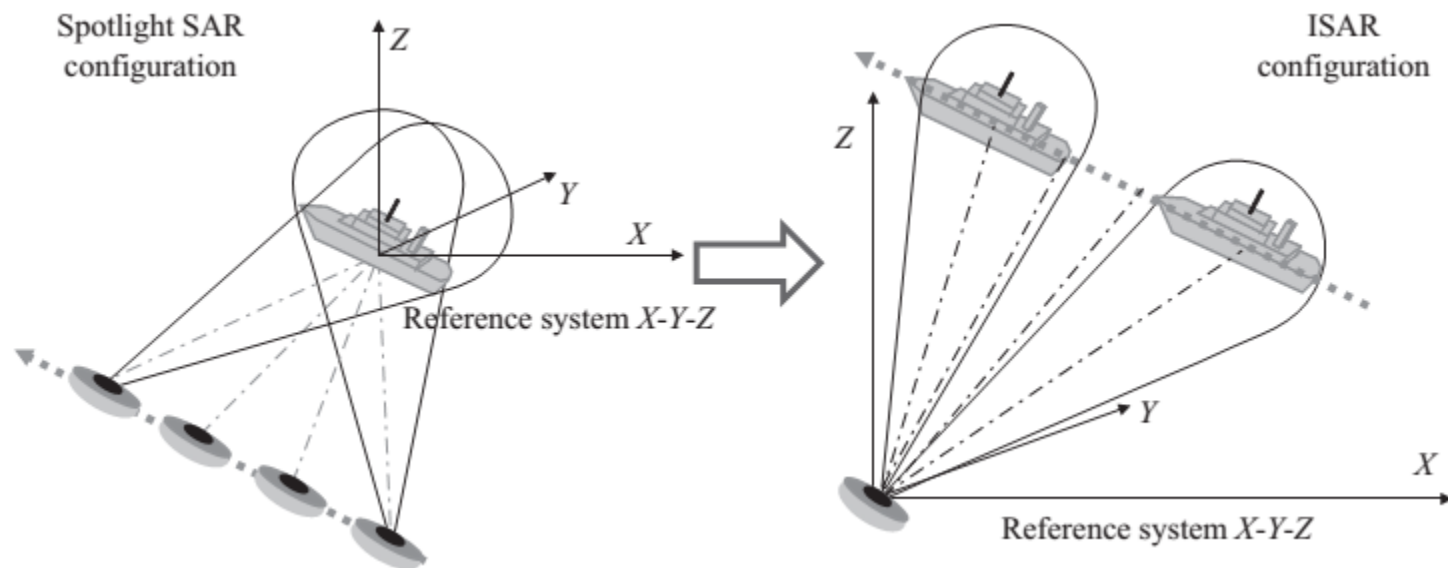
SHADOW

- Area behind mountain cannot be seen by sensor
- Shadow effects *increase* with increasing look angle

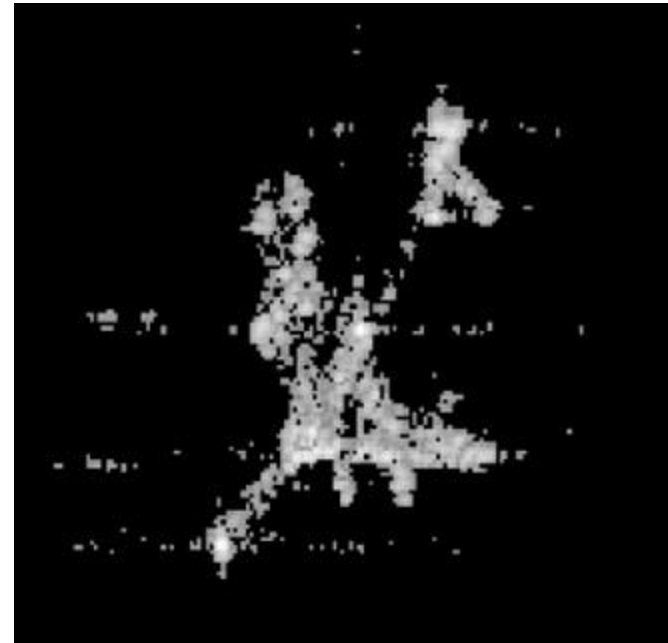
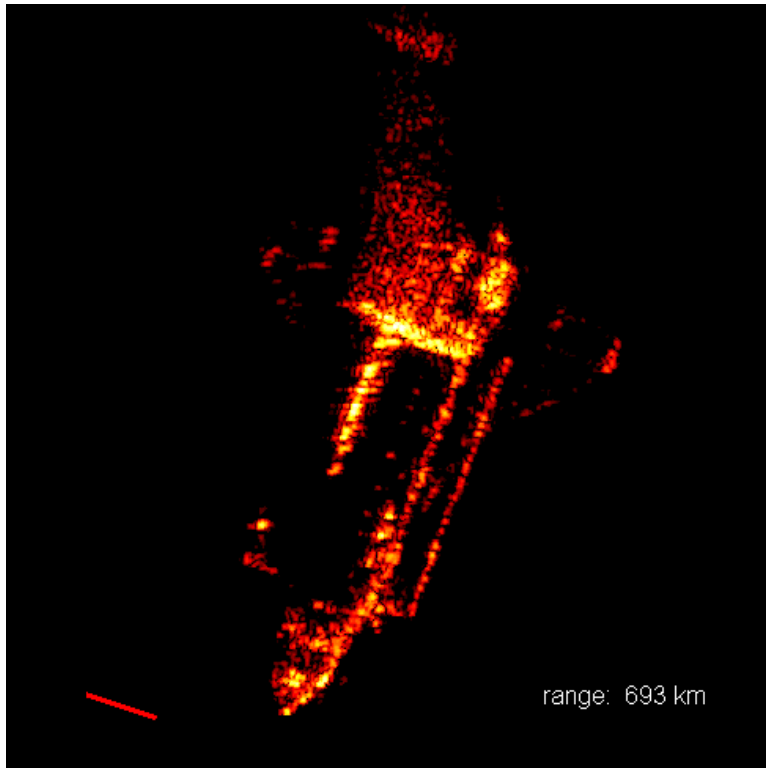


Inverse SAR (ISAR)

□ آنتن ثابت و هدف متحرک

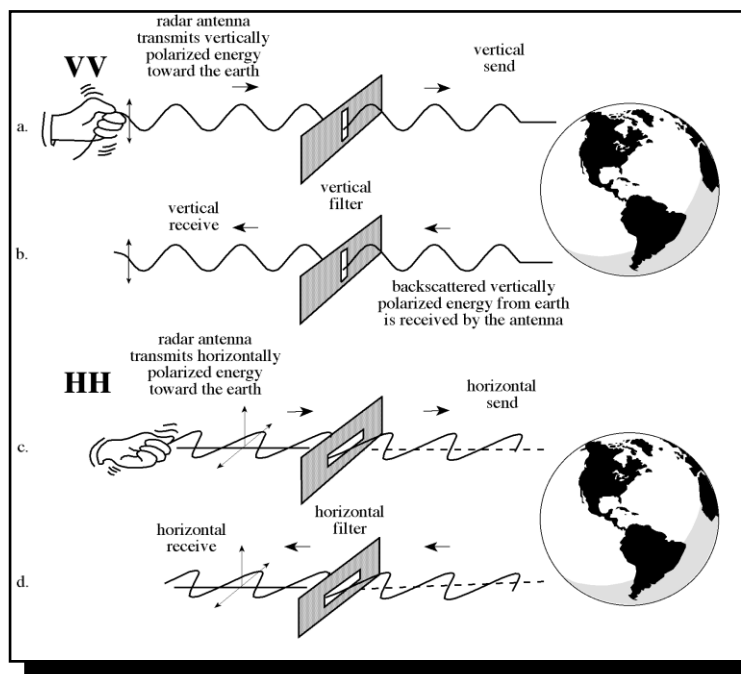


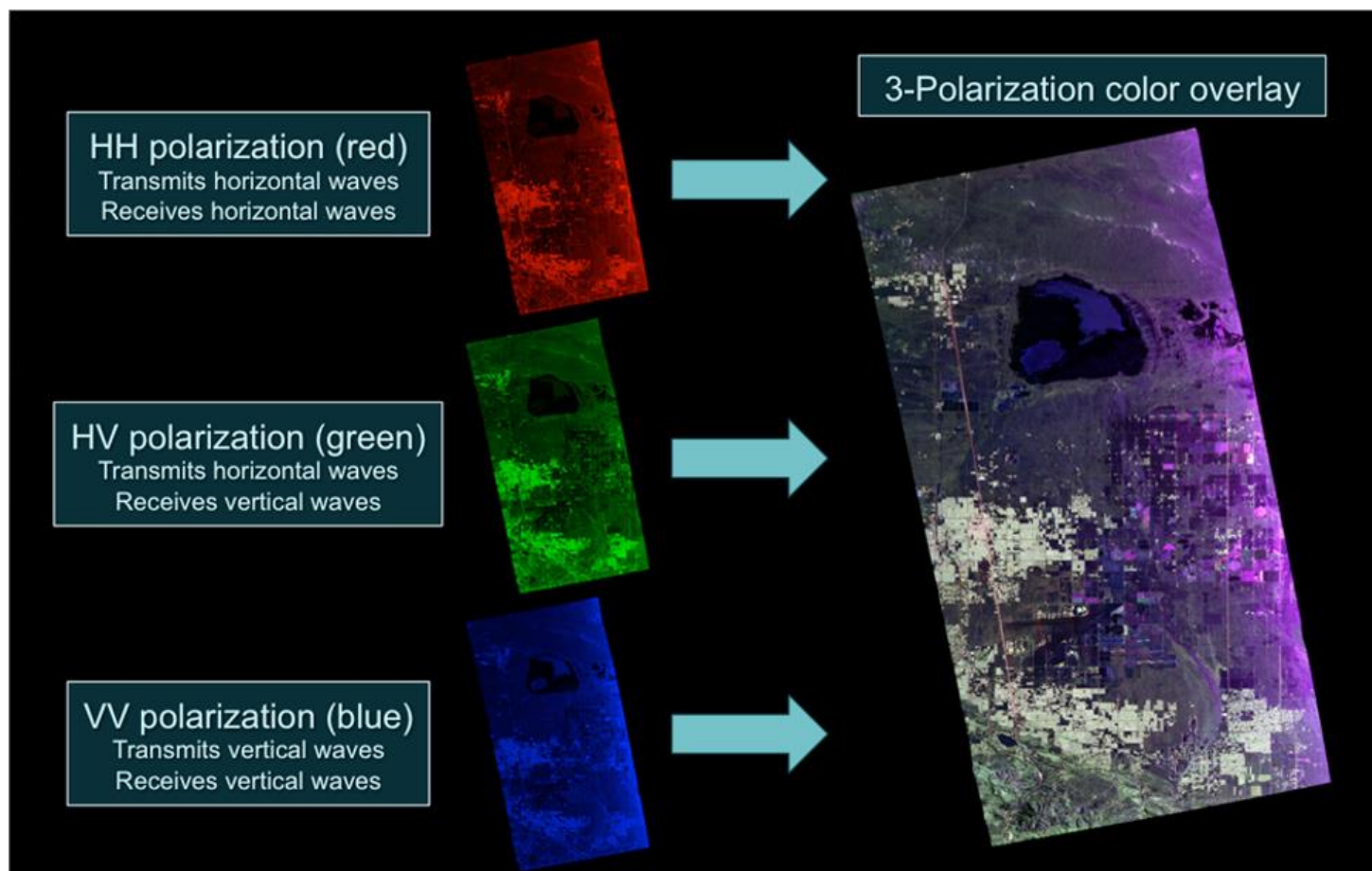
□ دو تصویر ISAR



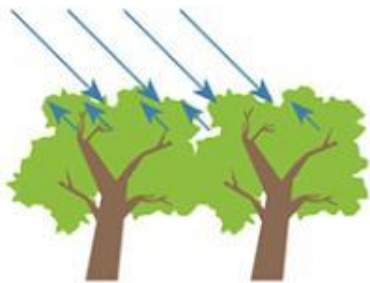
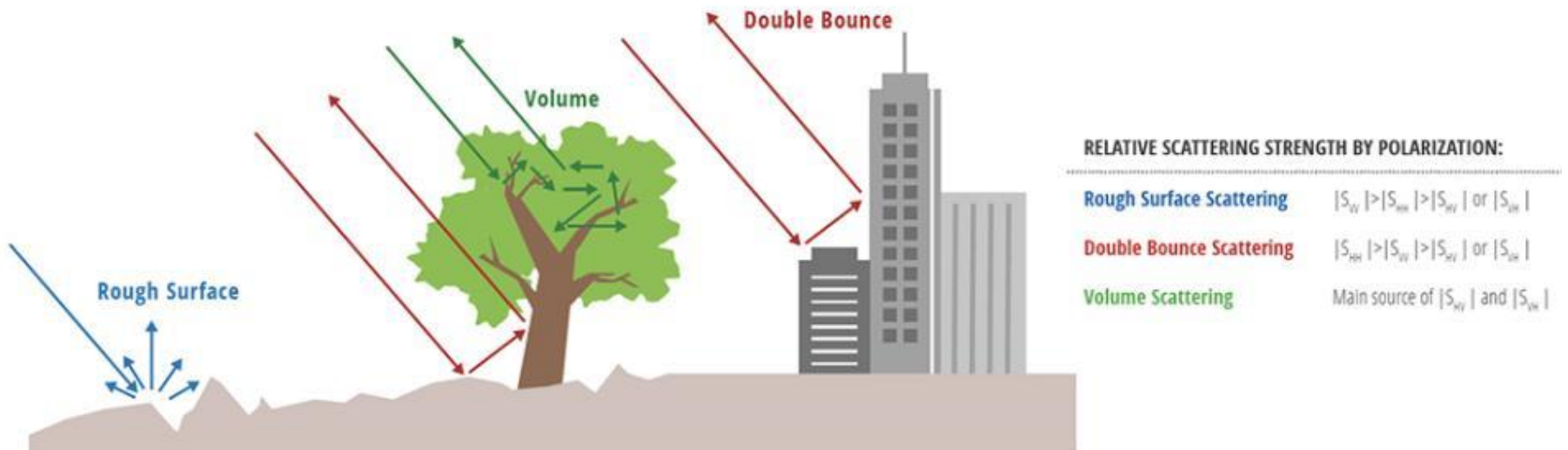
Polarimetric SAR(PolSAR)

- استفاده از **قطبش های مختلف** موج هنگام ارسال و دریافت جهت استخراج ویژگی های صحنه
- قطبش های مرسوم مورد استفاده: HH، VV، HV و VH

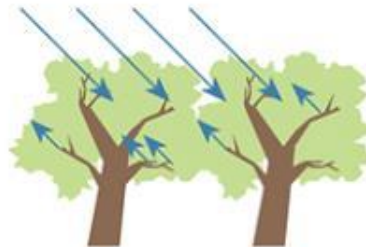




PolSAR □



X-BAND 3 cm



C-BAND 6 cm



L-BAND 24 cm



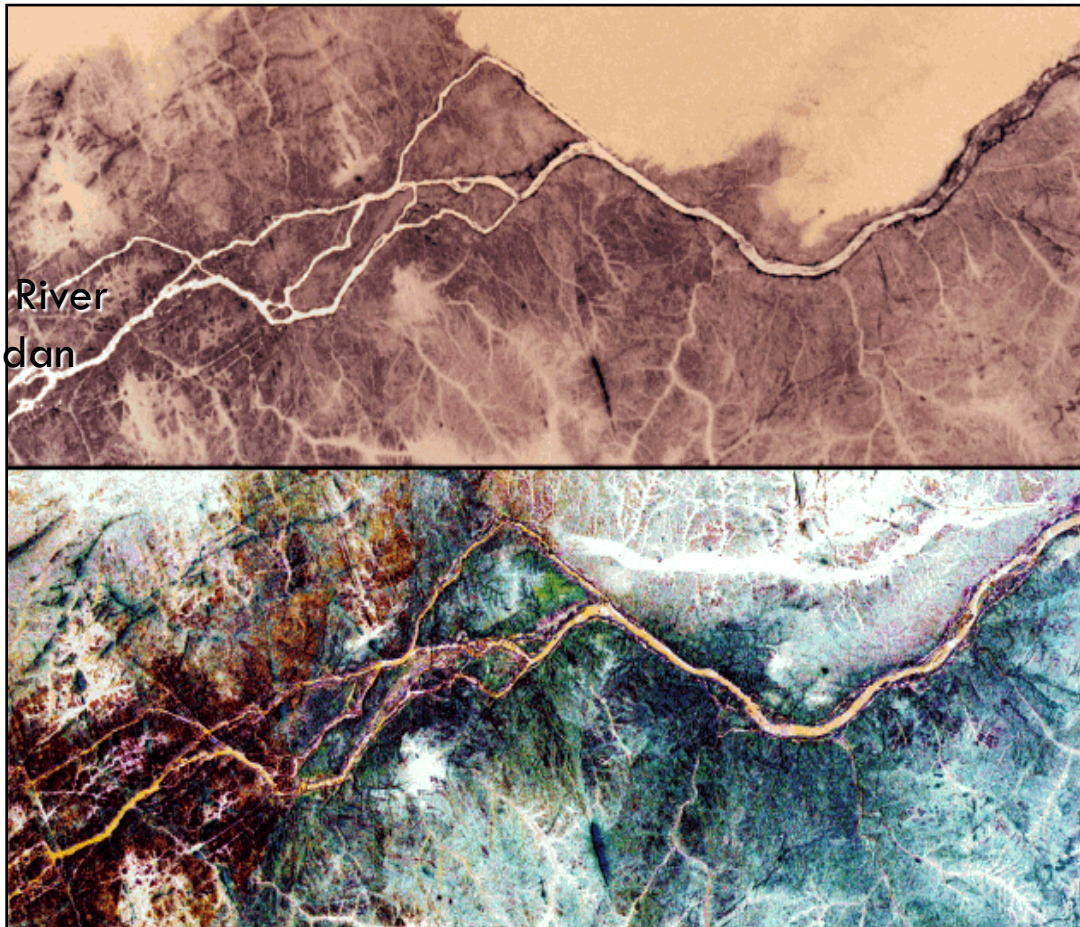
P-BAND 65 cm

انواع SAR

PoISAR □

Space
Shuttle
Color-
Infrared
Photograph

Nile River
Sudan

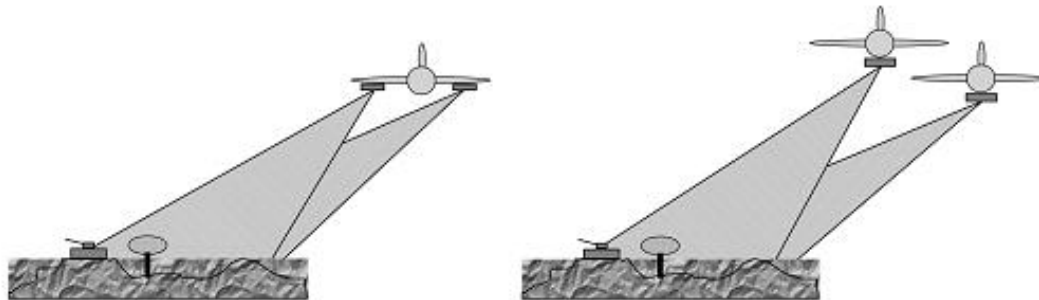


SIR-C Color
Composite:

- Red = C-band HV
- Green = L-band HV
- Blue = L-band HH

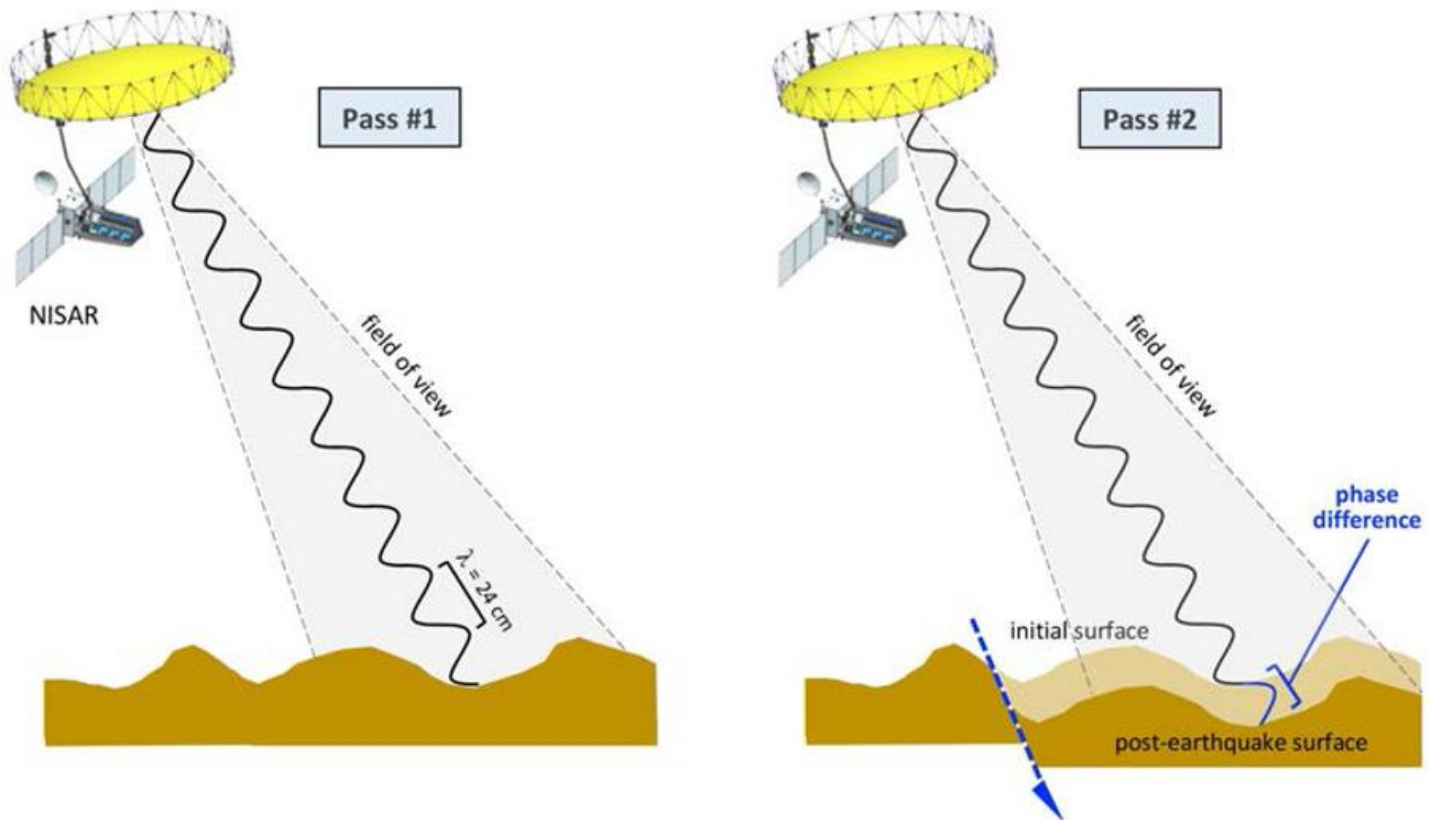
Interferometric SAR (InSAR, IFSAR)

- Across-track Interferometry: استفاده از تکنیک های **تداخل سنجی** برای استخراج ارتفاع سطح یا DEM با استفاده از دو مسیر جداگانه به صورت همزمان (one-pass) یا در دو زمان متفاوت (two-pass)
- Along-track Interferometry: اسکن در یک مسیر به صورت همزمان (DPCA) یا دو زمان متفاوت (Differential Interferometry) برای تشخیص تغییرات سطح (**تداخل سنجی تفاضلی**)

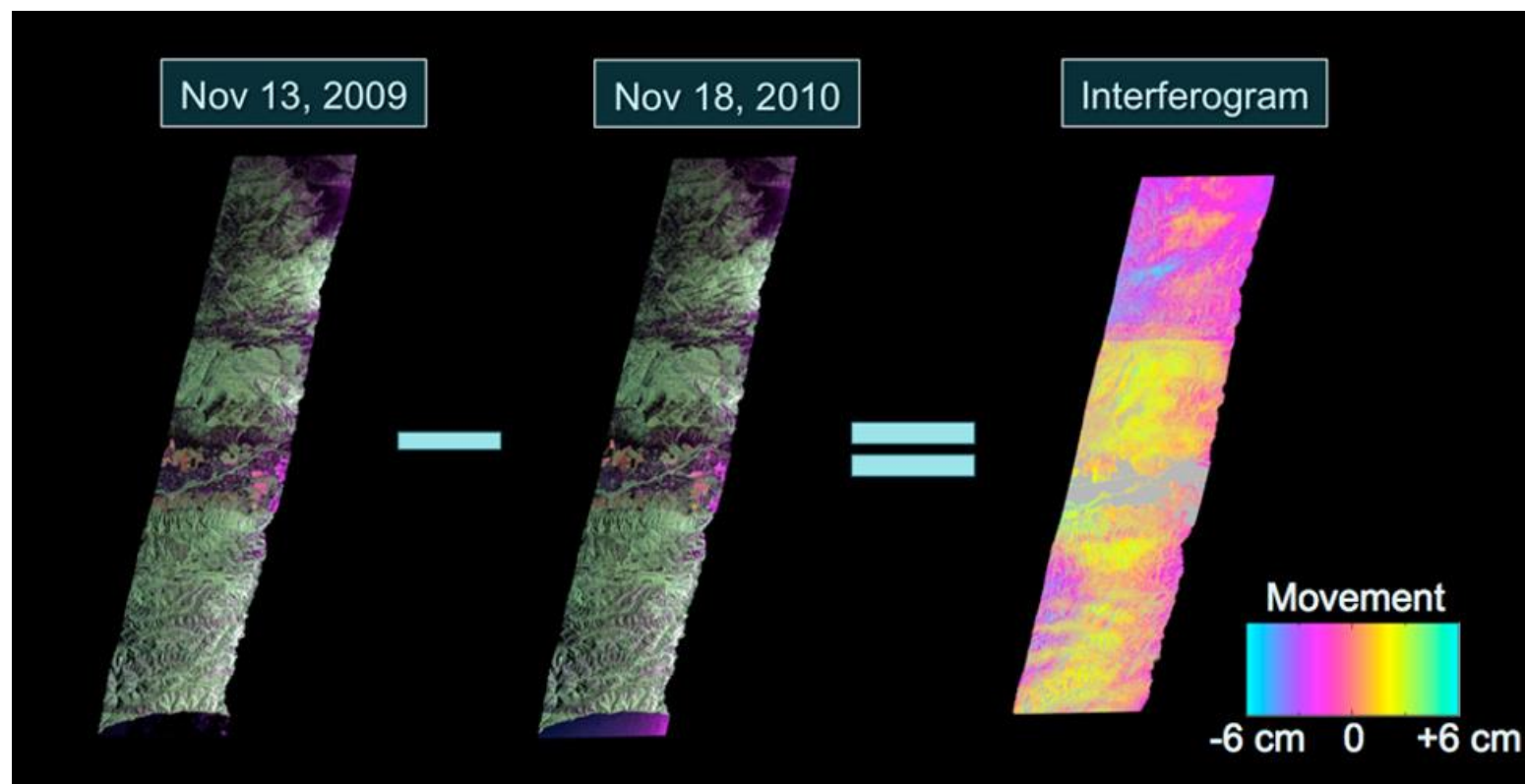


One-pass and two-pass IFSAR

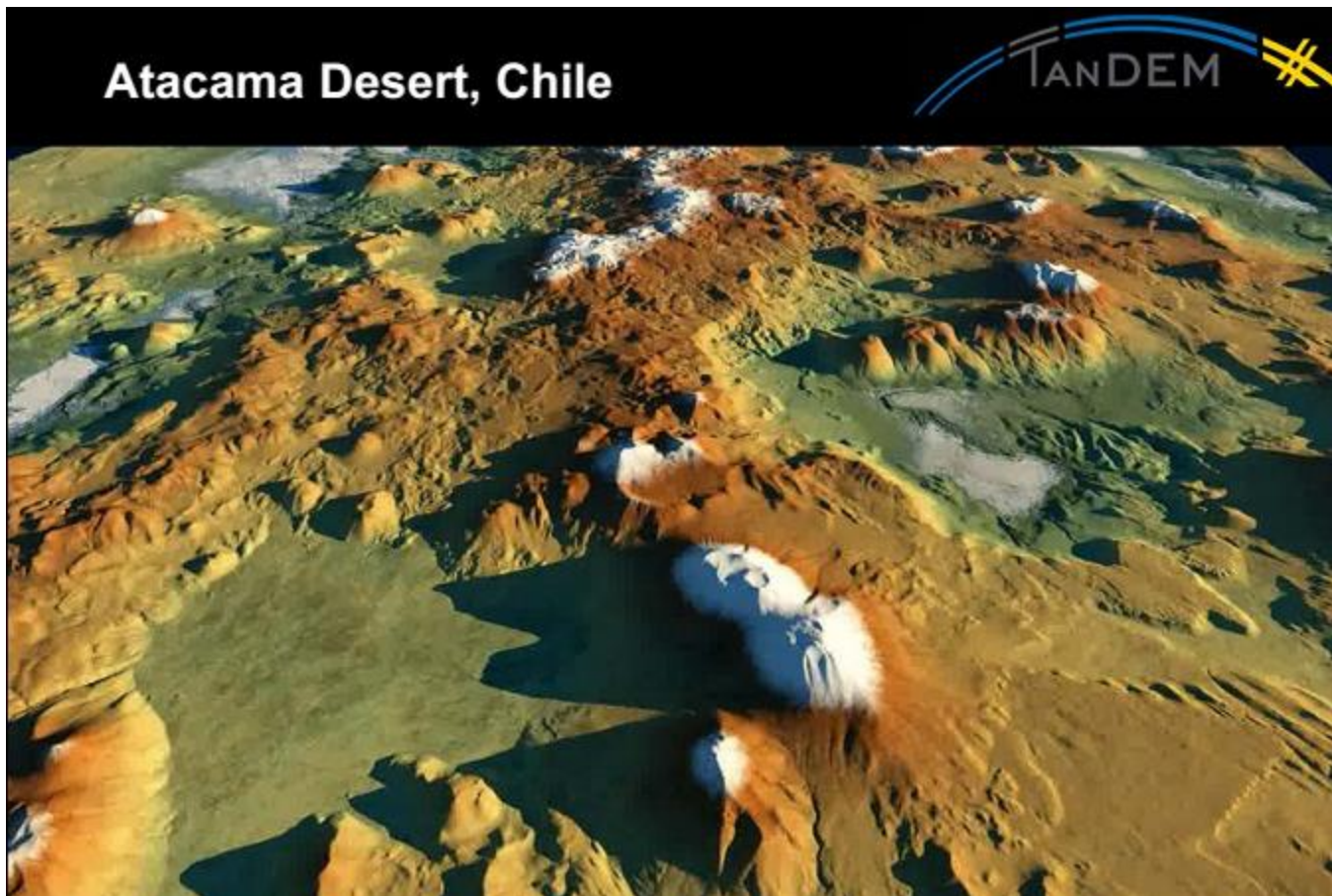
Change detection by InSAR □



Change detection by InSAR □



DEM generation by InSAR □



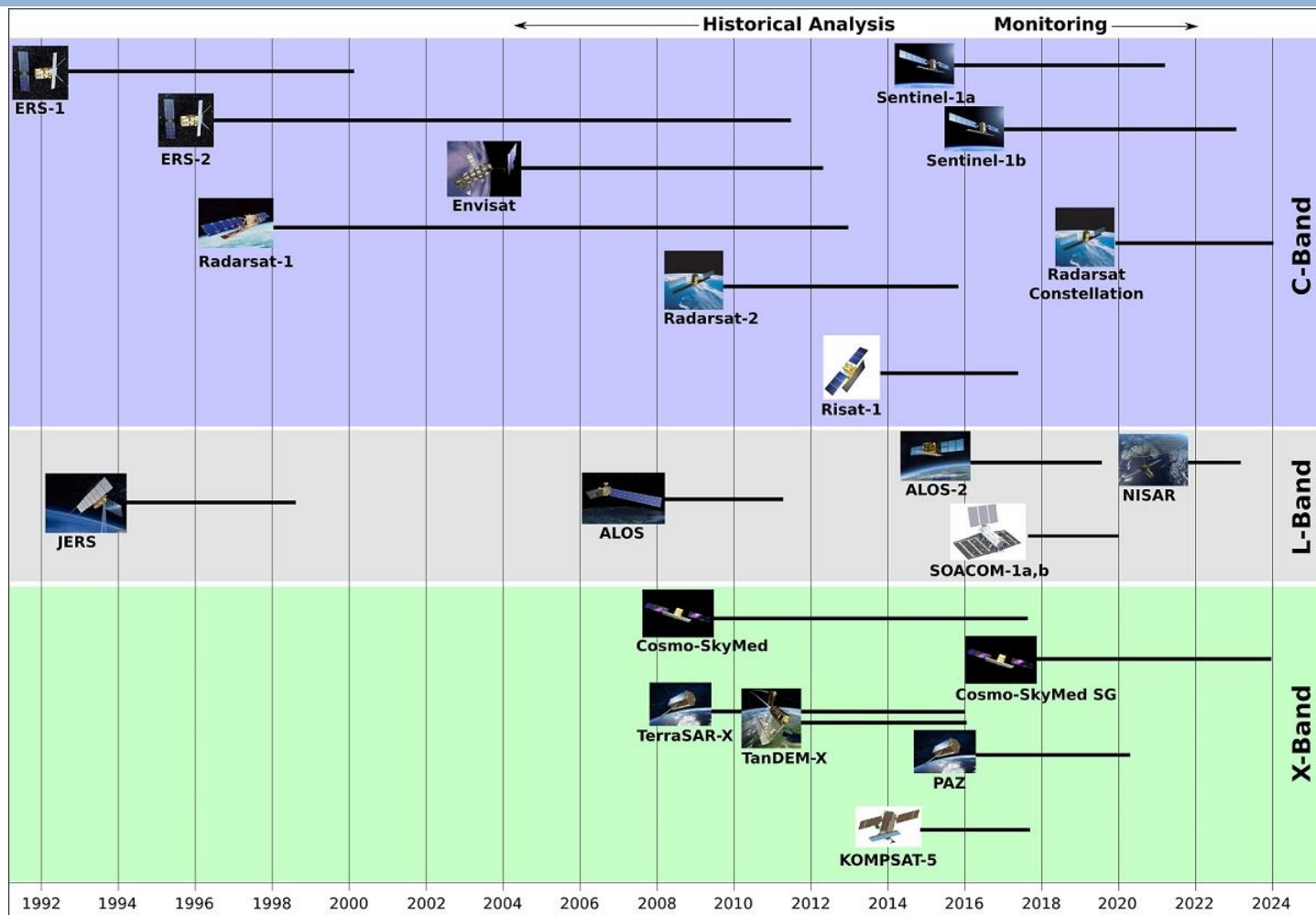
برخی سامانه های موجود

مشخصات تعدادی از سامانه های SAR فضاپایه

Satellite	Agency/Country	Year	Band	Resolution	Polarization	Weight
SEASAT-SAR	NASA/USA	1978	L	6, 25	HH	2,290
SIR-A	NASA/USA	1981	L	7, 25	HH	
SIR-B	NASA/USA	1984	L	6, 13	HH	
ERS-1/2	ESA	1991/1995	C	5, 25	VV	2,400
ALMAZ-1	USSR	1991	S	8, 15	HH	3,420
					HH	(payload)
JERS-1 SAR	NASDA/Japan	1992	L	6, 18	HH	1,400
	NASA/USA		C/L	7.5, 13	quad	11,000
SIR-C/X-SAR	DLR/Germany	1994	X	6, 10	VV	(approx.)
	ASI/Italy					
RADARSAT-1	CSA/Canada	1995	C	8, 8	HH	3,000
SRTM	NASA/USA	2000	C	15, 8	dual	13,600
	DLR/Germany		X	8, 19	VV	(payload)
ENVISAT-ASAR	ESA	2002	C	10, 30	dual	8,211
ALOS-PALSAR	JAXA/Japan	2006	L	5, 10	quad	3,850
SAR-Lupe (5)	Germany	2006–2008	X	0.5, 0.5	quad	770
RARDASAT-2	CSA/Canada	2007	C	3, 3	quad	2,200
Cosmo-SkyMed (4)	ASI/Italy	2007–2010	X	1, 1	quad	1,700
TerraSAR-X	DLR/Germany	2007	X	1, 1	quad	1,230
TanDEM-X	DLR/Germany	2009	X	1, 1	quad	1,230
RISAT-1	ISRO/India	2012	C	3, 3	dual	1,858
HJ-1-C	China	2012	S	5, 20	VV	N/A

برخی سامانه های موجود

29



برخی سامانه های موجود

30

- Radarsat2 (2003) : Canadian remote SAR system
 - ▣ Range: 789 km
 - ▣ Period: ~ 100 minutes
(orbits per day: 14)
 - ▣ Repeated cycle: 24 days
 - The same beam in a specific region
 - ▣ Electronically beam forming
 - ▣ C-band, several polarizations
 - ▣ Resolution: $\sim 3-100$ (m)
 - ▣ Swath width: up to 500 (km)



برخی سامانه های موجود

31

مشخصات تعدادی از سامانه های SAR هواپایه

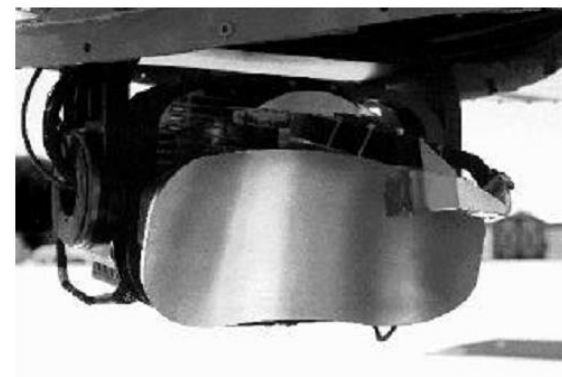
Sensor	Agency/Counry	Band	Resolution
C/X-SAR	CCRS/Canada	X/C	0.9, 6
AIRSAR	NASA/USA	C/X/L	0.6, 3
E-SAR	DLR/Germany	X/C/S/L/P	0.3, 1
F-SAR	DLR/Germany	X/C/S/L/P	0.3, 0.2
Pi-SAR	NICT, JAXA/Japan	X/L	0.37, 3
EMISAR	DCRS/Denmark	C/L	2, 2
PHARUS	TNO-FEL/Netherland	C	1, 3
Ingara	DSTO/Australia	X	0.15, 0.3
RAMSES	ONERA/France	W/Ka/Ku/X/C/S/L/P	0.12, 0.12
CALABAS	FOA/Sewden	HF/VHF	3, 3
DBSAR	NASA/USA	L	10, 10
UAVSAR	NASA/USA	L	1.0, 1.8
Lynx	Sandia/USA	Ku	0.1, 0.1

برخی سامانه های موجود

32

Lynx

(Sandia National Laboratories, USA)



مشخه	مقدار (توضیحات)
وزن	55kg
توان فرستنده	320w
برد مایل	30km
باند فرکانسی	Ku (15.2-18.2GHz)
شیوه های کاری	Stripmap, spotlight, GMTI, CCD
آنتن	Horn-fed dish antenna 3.2 deg. Azimuth beam, 7 deg. Elevatin beam
حد تفکیک	Spotlight: 0.1m-3m Strip-map: 0.3m-3m

