การสำรวจระยะไกลแบบแอคตีฟ
และเข้าถึงได้แบบเปิด
Open & Active Remote Sensing

รองศาสตราจารย์ ดร ไพศาล สันติธรรมนนท์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Email: Phisan.chula@gmail.com

การประยุกต์ใช้ข้อมูลเรดาร์กับ การติดตามความปลอดภัยของโครงสร้างพื้นฐานสาธารณะ

Radar Processing for Safety Monitoring of Public Infrastructure

รองศาสตราจารย์ ดร ไพศาล สันติธรรมนนท์

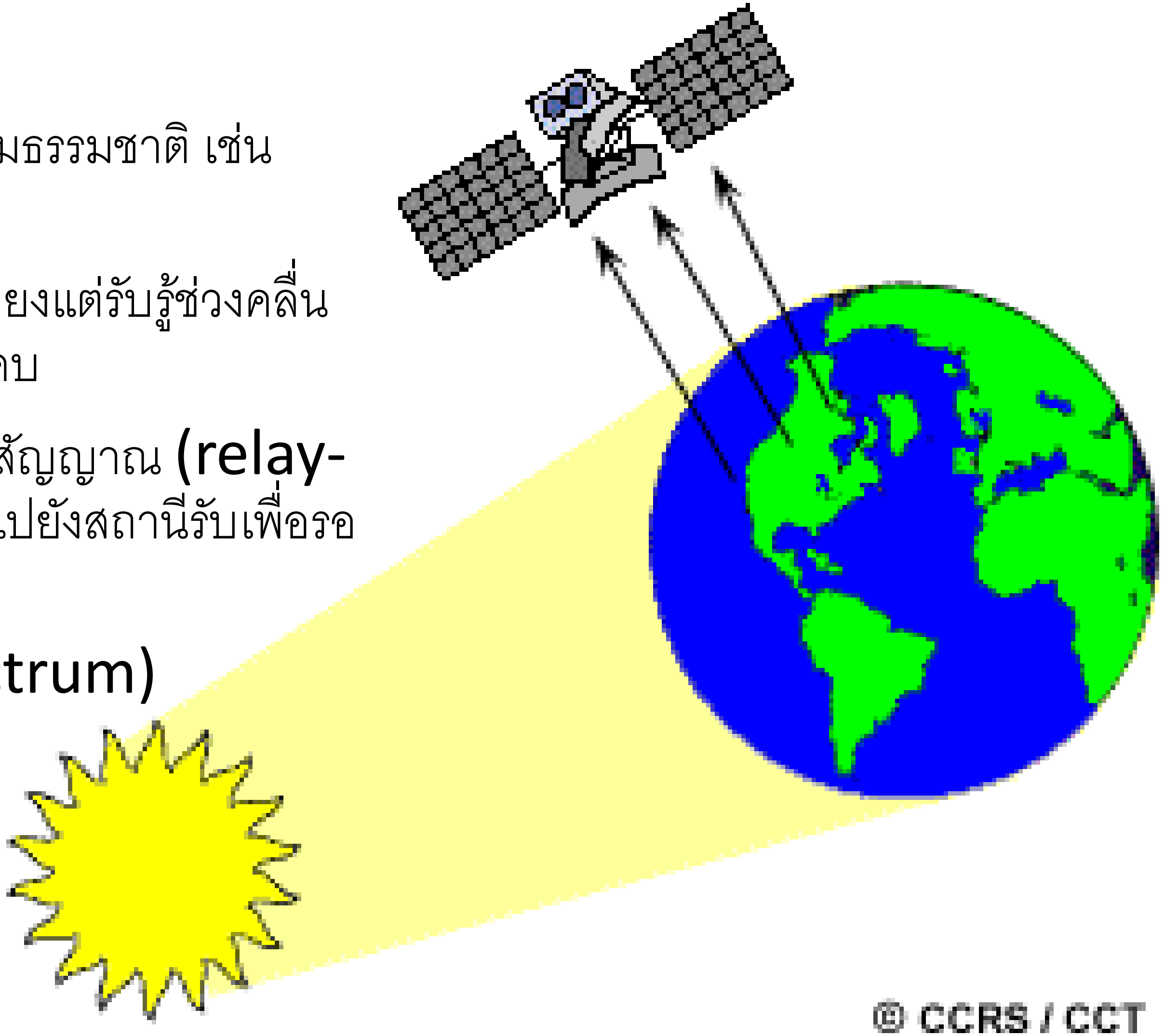
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

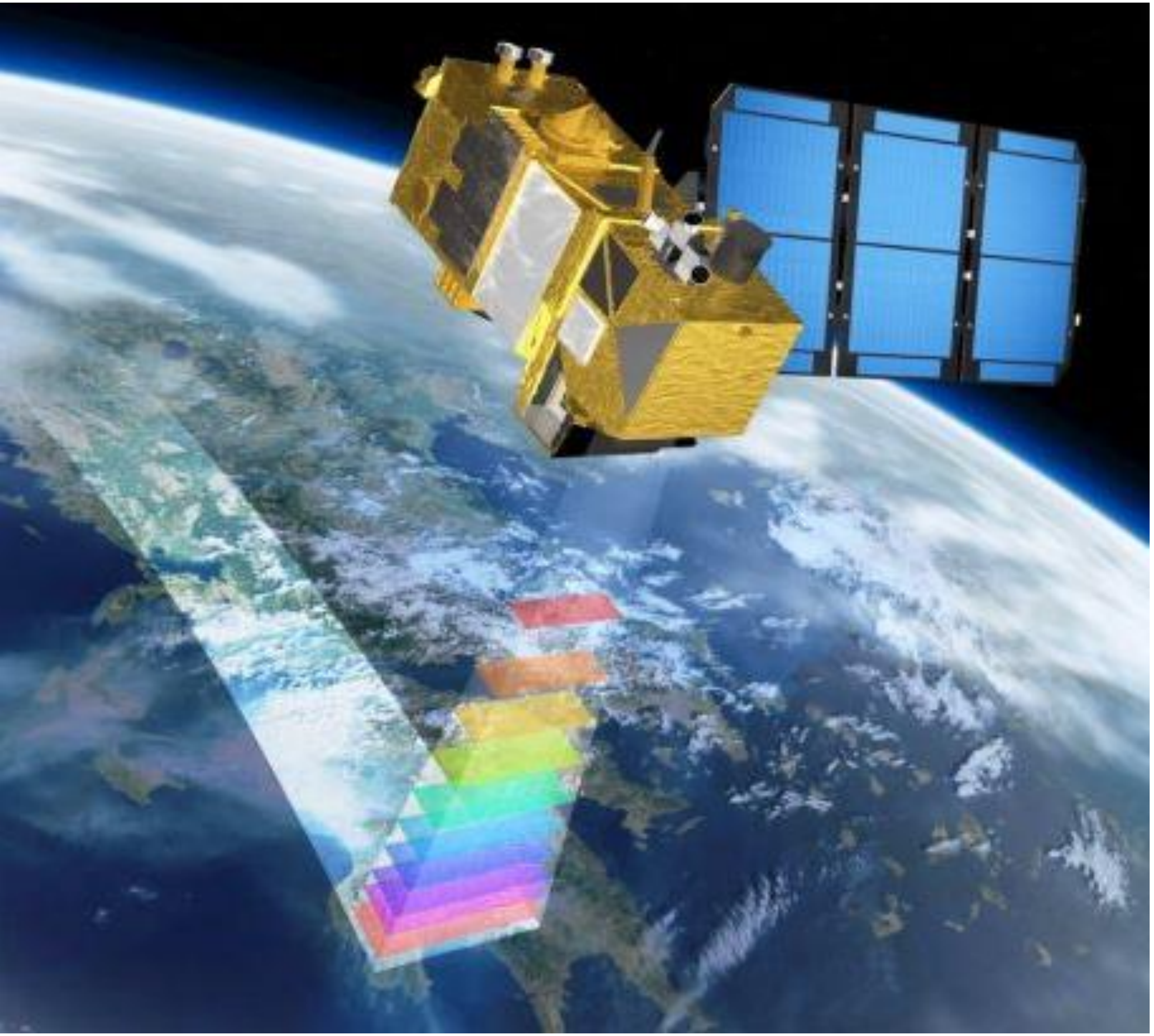
การสำรวจระยะไกล (Remote Sensing)

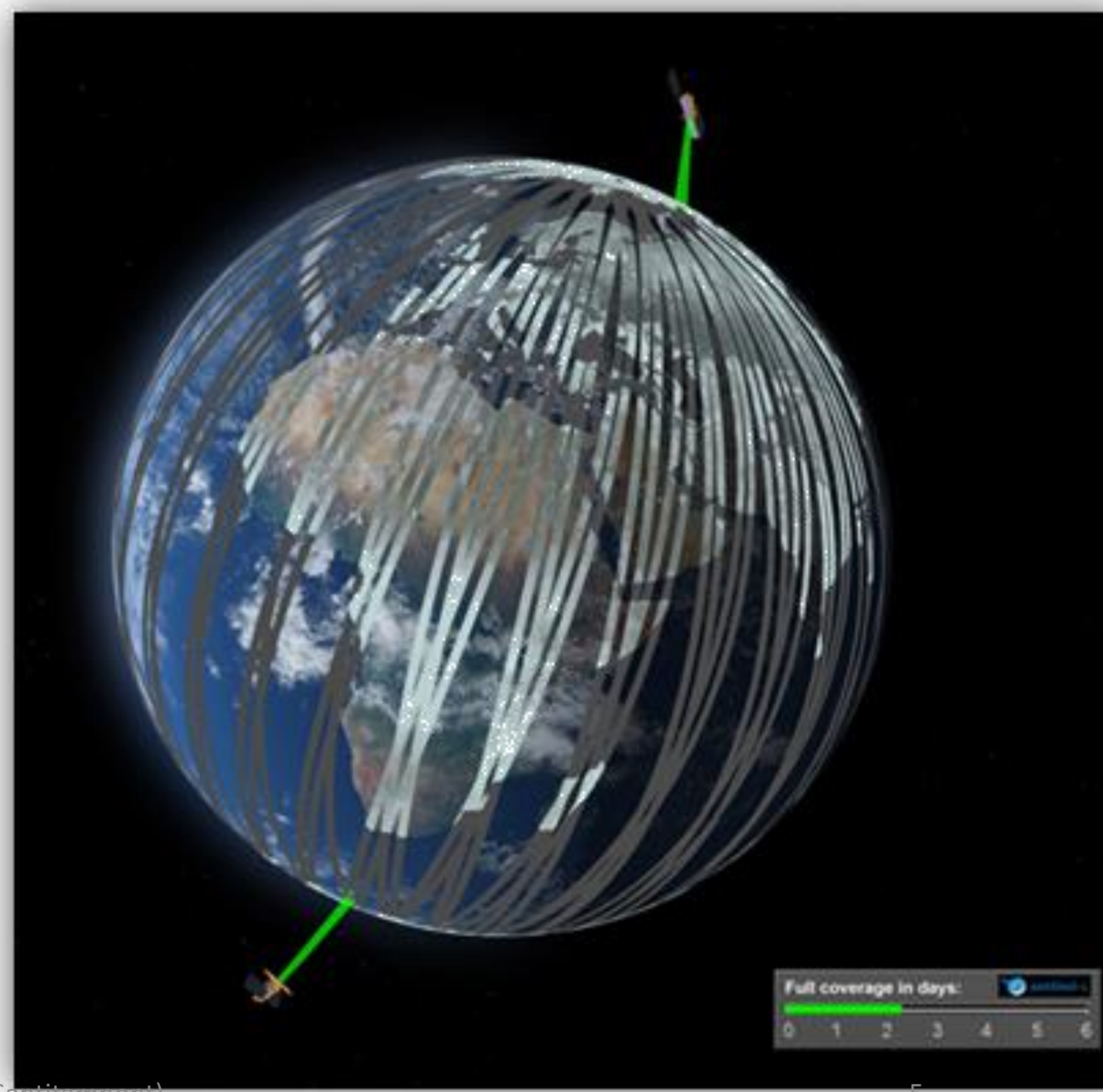
- การรับรู้จากระยะไกล (อังกฤษ: remote sensing) เป็นการได้มาซึ่งข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุหรือปรากฏการณ์โดยปราศจากการสัมผัสทางกายภาพกับวัตถุหรือปรากฏการณ์นั้นๆ โดยตรง การรับรู้จากระยะไกลถูกนำมาใช้ในหลายสาขาโดยเฉพาะในสาขาภูมิศาสตร์ การสำรวจรังวัดที่ดินและวิทยาศาสตร์โลก เช่น อุทกวิทยา นิเวศวิทยา สมุทรศาสตร์ วิทยาธารน้ำแข็ง และธรณีวิทยา รวมถึงด้านการทหาร การสืบราชการลับ การค้า เศรษฐกิจ การวางแผนและการใช้งานด้านมนุษยธรรม
- ในปัจจุบันการรับรู้จากระยะไกลโดยทั่วไปหมายถึงการใช้เทคโนโลยีการรับรู้ทางอากาศในการตรวจสอบและจำแนกประเภทวัตถุบนโลกทั้งบนพื้นผิว มหาสมุทร และชั้นบรรยากาศของโลกด้วยหลักของการกระจายของคลื่น เช่น คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งอาจแบ่งประเภทออกเป็นเป็นการรับรู้ระยะไกลแบบใช้พลังงานในตัวเอง (active remote sensing) เมื่ออากาศยานหรือดาวเทียมมีการปล่อยสัญญาณด้วยตัวเอง หรือการรับรู้ระยะไกลแบบไม่ใช้พลังงานในตัวเอง (passive remote sensing) โดยได้รับข้อมูลจากการสะท้อนของพลังงานอื่น ๆ เช่น แสงอาทิตย์
- จากวิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี

Passive Remote Sensing

- การรับรู้ที่อาศัยการสะท้อนหรือการปรากฏของพลังงานตามธรรมชาติ เช่น แสงอาทิตย์ คลื่นความร้อน
- เซนเซอร์ติดตั้งบนดาวเทียมไม่ได้ส่งพลังงานใดๆออกมา เพียงแต่รับรู้ช่วงคลื่นในคุณลักษณะต่างๆ เช่น ช่วงคลื่นที่ความถี่ต่างๆ ในช่วงแคบ
- เมื่อดาวเทียมโคจรผ่านสถานีรับ หรืออาจมีดาวเทียวส่งต่อสัญญาณ (relay-satellite) ข้อมูลหรือภาพ จะทำการถ่ายทอดข้อมูลลงไปยังสถานีรับเพื่อรอให้บริการแก่ผู้ใช้ต่อไป
- ข้อมูลที่ได้มักจะเป็น ข้อมูลมัลติสเปคตรัม (multispectrum)
- ตัวอย่างระบบดาวเทียม
  - ระบบดาวเทียมแลนด์แซท L7 และ L8
  - ระบบดาวเทียมเซนทินัล 2A และ 2B






Full coverage in days:
0 1 2 3 4 5 6

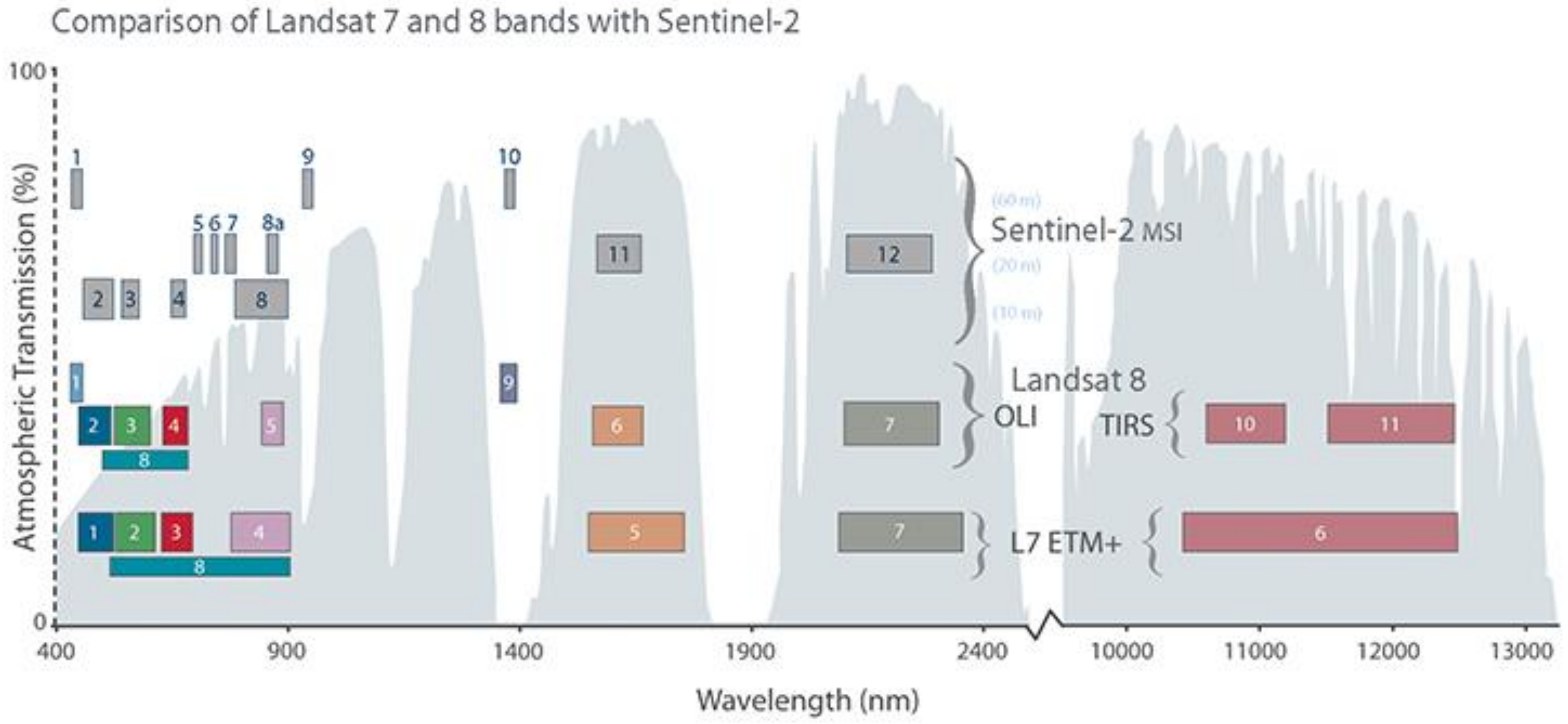
Sentinel-2: scanning every part of the planet every 5 days

Sentinel-2A and 2B fly in tandem on a polar orbit. One orbit takes 90-100 minutes, with 50 minutes between the satellites. As the Earth rotates below, the two satellites see different things to form a detailed, composite image.

Ascending Orbit

Descending Orbit

Source: ESA


Comparison of Landsat 7 and 8 bands with Sentinel-2
Atmospheric Transmission (%)
100
0
Sentinel-2 MSI
(60 m)
(20 m)
(10 m)
Landsat 8
OLI
TIRS
L7 ETM+
1 9 10
5 6 7 8a
2 3 4 8
11
12
1
9
2 3 4 5
8
6
7
10
11
1 2 3 4
8
5
7
6
400
900
1400
1900
2400
10000
11000
12000
13000
Wavelength (nm)

การประยุกต์ใช้ multispectral image (passive)

- แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน จาก color composites (true color / false color
- ดัชนี กายภาพ ชีวภาพ ของแผ่นดิน
  - Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)
  - Normalized Difference RedEdge Index (NDRE)
  - Normalized Difference Water Index (NDWI)
  - Normalised Difference Snow Index (NDSI)

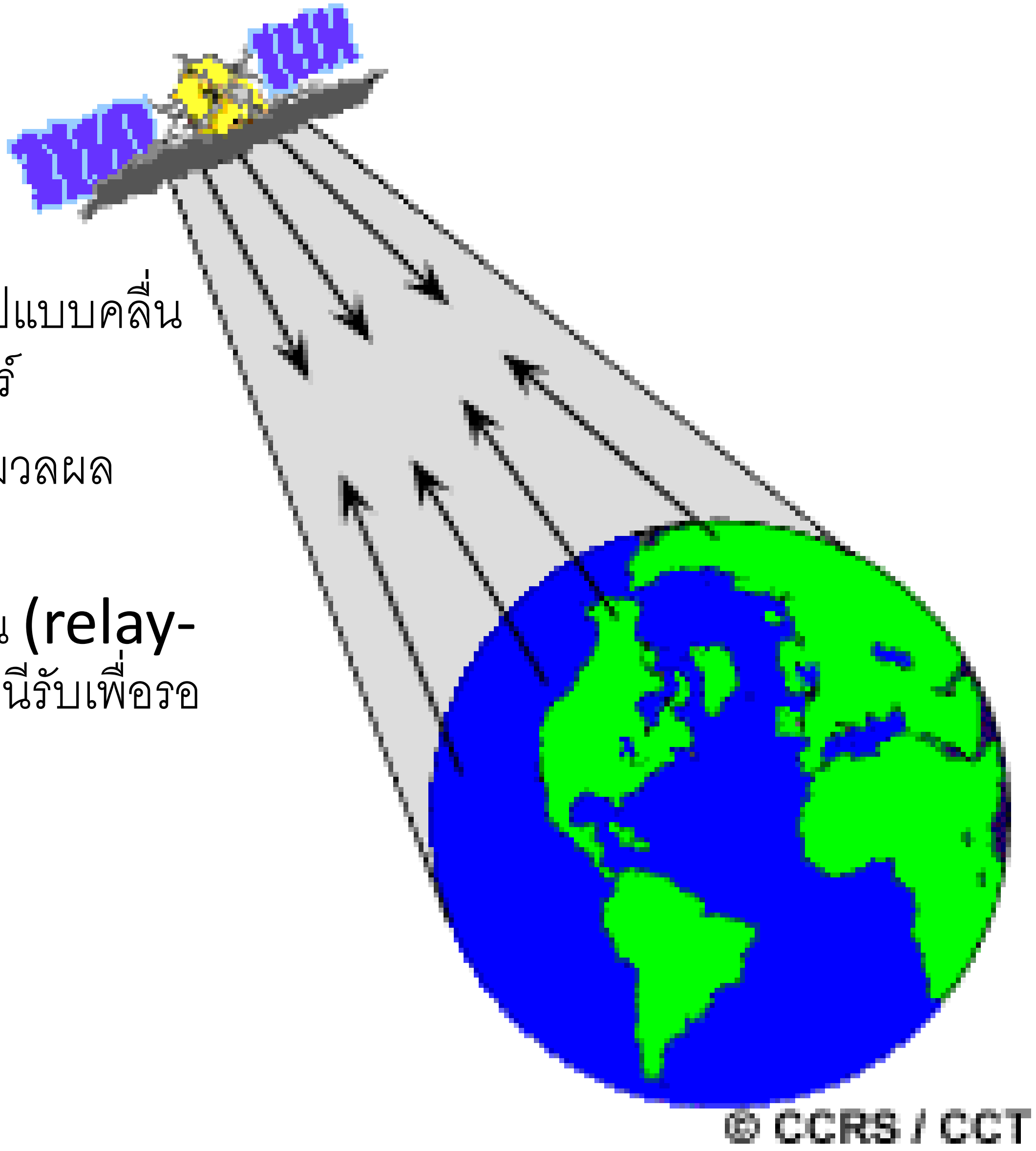
จุดเด่น และ ข้อจำกัดของ PASSIVE Remote Sensing

- ระบบดาวเทียมมีความง่ายในการสร้างและปฏิบัติงาน
- ข้อมูลภาพสเปคตรัมสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้งาน ไม่ซับซ้อน ข้อมูลมีขนาดเล็ก

- แต่การบันทึกภาพจะต้องใช้ช่วงคลื่นที่มองเห็นการสท้อน และ พึ่งพาพลังงานแสงอาทิตย์ ดังนั้นภาพที่ได้ เมื่อฟ้าเปิด ไม่มีเมฆหมอดบดบัง และมีการส่องสว่างของดวงอาทิตย์

Active Remote Sensing

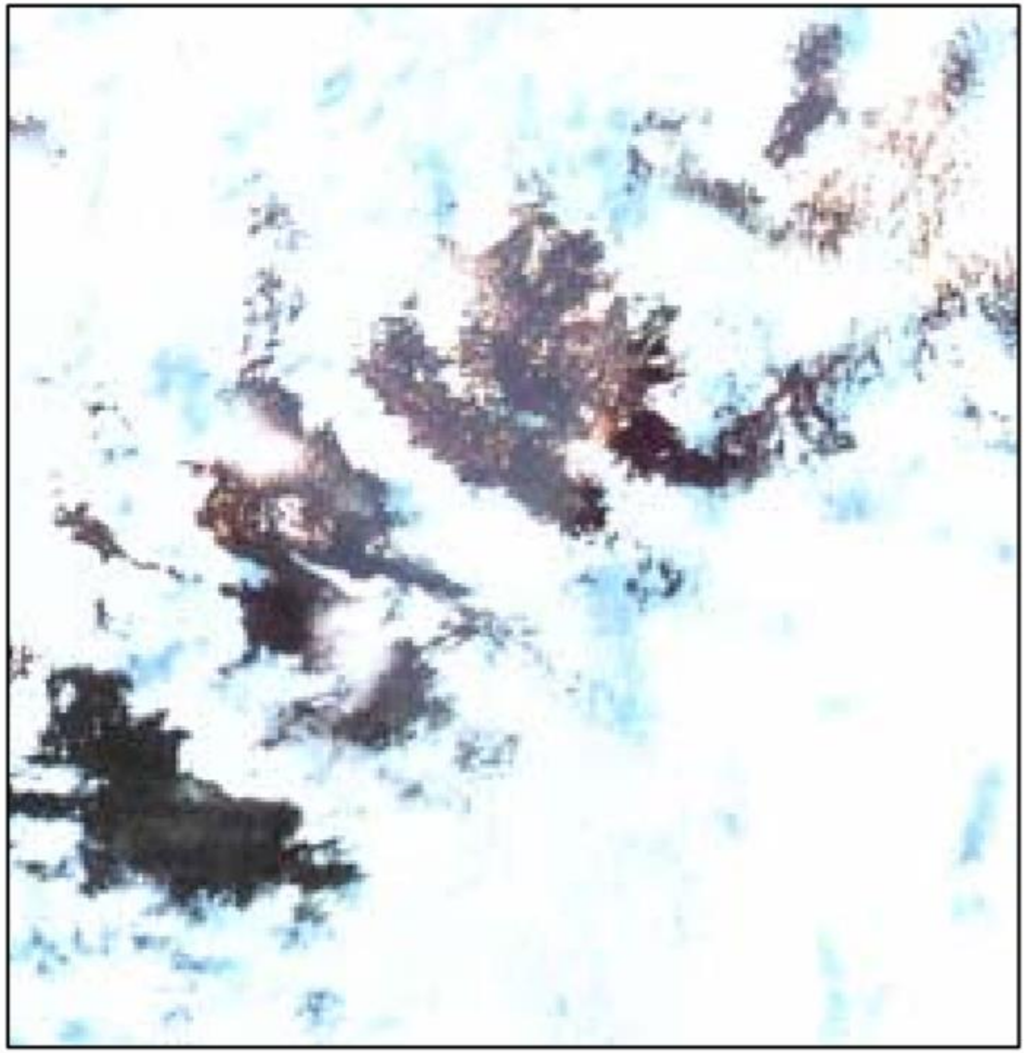
- การรับรู้ที่อาศัยการส่งพลังงานจากเซนเซอร์ติดตั้งบนดาวเทียมในรูปแบบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกไปบนพื้นผิวโลก เช่น คลื่นไมโครเวฟ คลื่นแลเซอร์
- เซนเซอร์ติดตั้งบนดาวเทียม รับรู้ช่วงคลื่นในคุณลักษณะต่างๆ ประมวลผลเบื้องต้นและบันทึกไว้
- เมื่อดาวเทียมโคจรผ่านสถานีรับ หรืออาจมีดาวเทียมส่งต่อสัญญาณ (relay-satellite) ข้อมูลหรือภาพ จะทำการถ่ายทอดข้อมูลลงไปยังสถานีรับเพื่อรอให้บริการแก่ผู้ใช้ต่อไป
- ข้อมูลที่ได้มักจะเป็น ข้อมูล synthetic aperture radar
- ตัวอย่างระบบดาวเทียม
    - ระบบดาวเทียมเซนทินัล 1A และ 1B
    - ระบบดาวเทียม ALOS PALSAR และ PALSAR 2



จุดเด่น และ ข้อจำกัดของ Active Remote Sensing

- ระบบดาวเทียมมีความซับซ้อนใช้พลังงานมาก ยุ่งยากในการสร้างและปฏิบัติงาน จึงทำให้ระบบราคาแพง
- ข้อมูลที่ได้จะเป็นภาพสังเคราะห์ แม้ว่าจะดูเนื้อภาพอ่านแปลได้ยาก แต่เราสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้สังเคราะห์เป็นรูปแบบก้าวหน้าต่างๆได้
- ข้อเด่นมากๆ คือการที่ระบบสามารถบันทึกภาพได้ในทุกสภาพอากาศ (all-weather imaging) เช่น มีเมฆหมอดบัง มีฝนตก หรือแม้แต่กลางคืนที่มืดมิด ทั้งนี้เนื่องจากดาวเทียมมีการส่งพลังงานลงไปเอง

ERS-1 SAR, 11.25 a.m.



LANDSAT TM, 9.45 a.m.

Ireland, 09/08/1991

Active RS by Radar and SAR

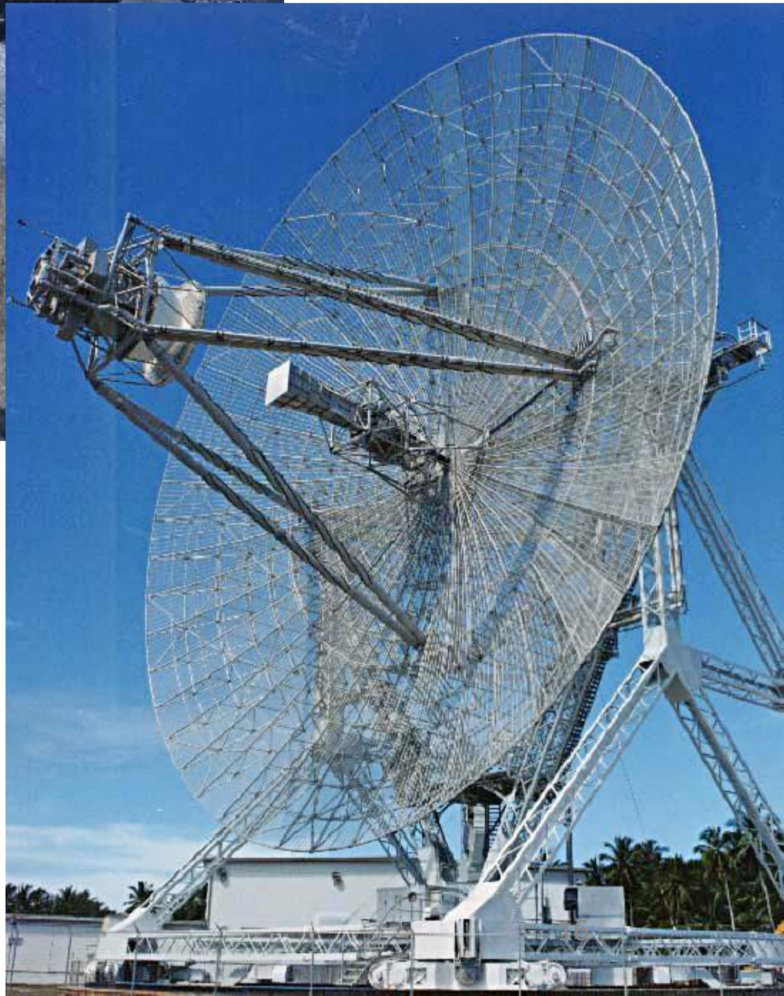
เรดาร์ (RADAR) คืออะไร

- Radar = RAdio Detection and Ranging
- ระบบตรวจจับและวิเคราะห์หา ระยะทาง ทิศทาง ไปยังวัตถุใด
- วัตถุตรวจจับได้ เช่น ยานอวกาศ อากาศยาน เรือ รถยนตร์ มวลอากาศ ไปจนถึง พื้นผิวภูมิประเทศ
- ระบบจะมีเครื่องกำเนิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ในรูปแบบ คลื่นวิทยุ หรือ ไมโครเวฟ ส่งออกไปทาง จานอากาศ สัญญาญไปสะท้อนวัตถุ กลับมาเข้าสู่จานอากาศ อีกครั้ง
- สัญญาณที่ส่งออกไป และ สะท้อนกลับมา จะถูกนำมาประมวลผลเป็นข้อมูลต่างๆ นำไปประยุกต์ใช้

Synthetic Aperture Radar (SAR)

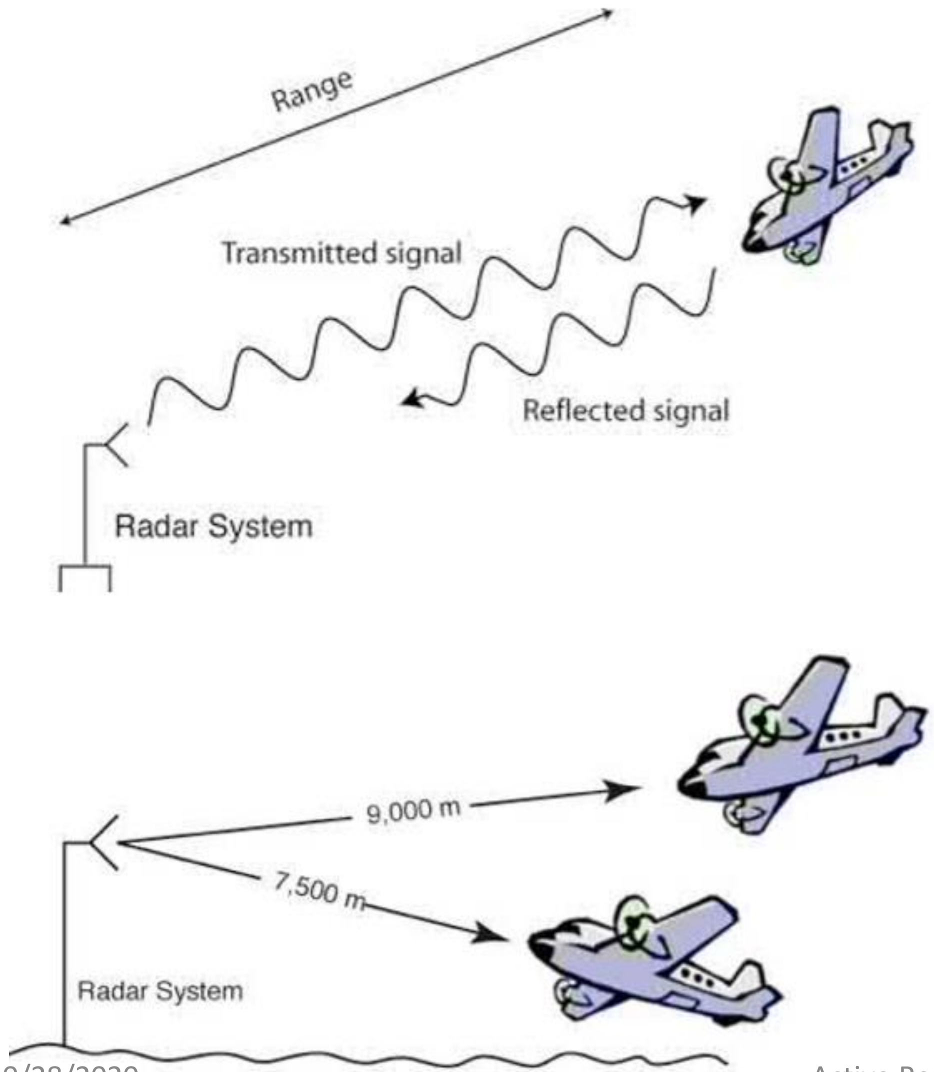
- การที่ระบบเรดาร์จะมีขีดความสามารถในตรวจจับพื้นผิวภูมิประเทศละเอียดสูงขึ้น
- จำเป็นต้องมีการออกแบบจานอากาศรับสัญญาณเป็นพิเศษ ให้มีขนาดใหญ่
- หรือ รับสัญญาณมาในขณะที่เคลื่อนที่ไป แล้วนำสัญญาณมาประมวลแบบ “สังเคราะห์”

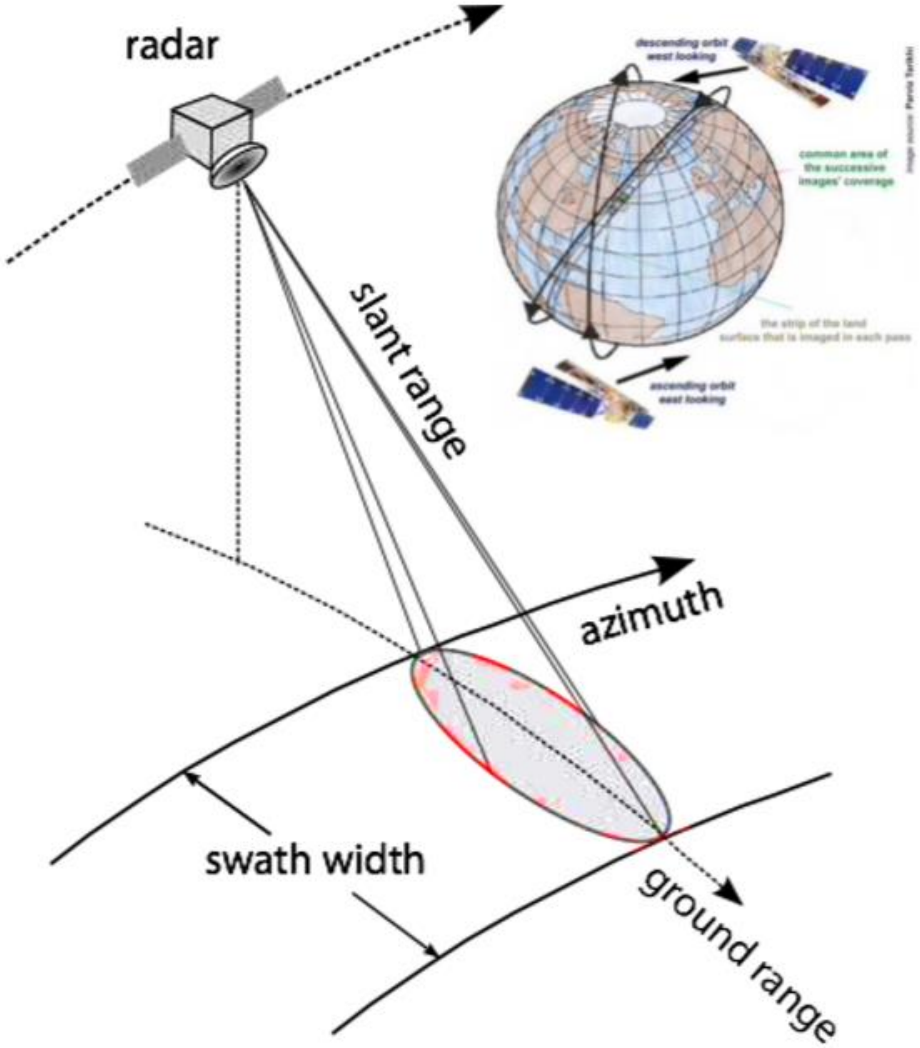

הכניסה
אסורה !
NO ENTRY !

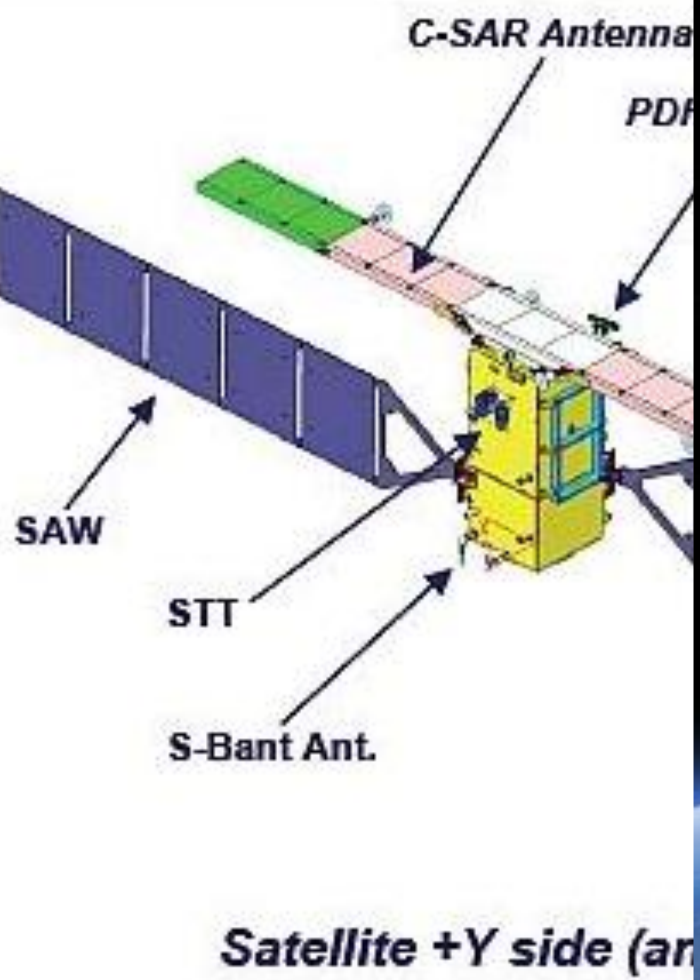


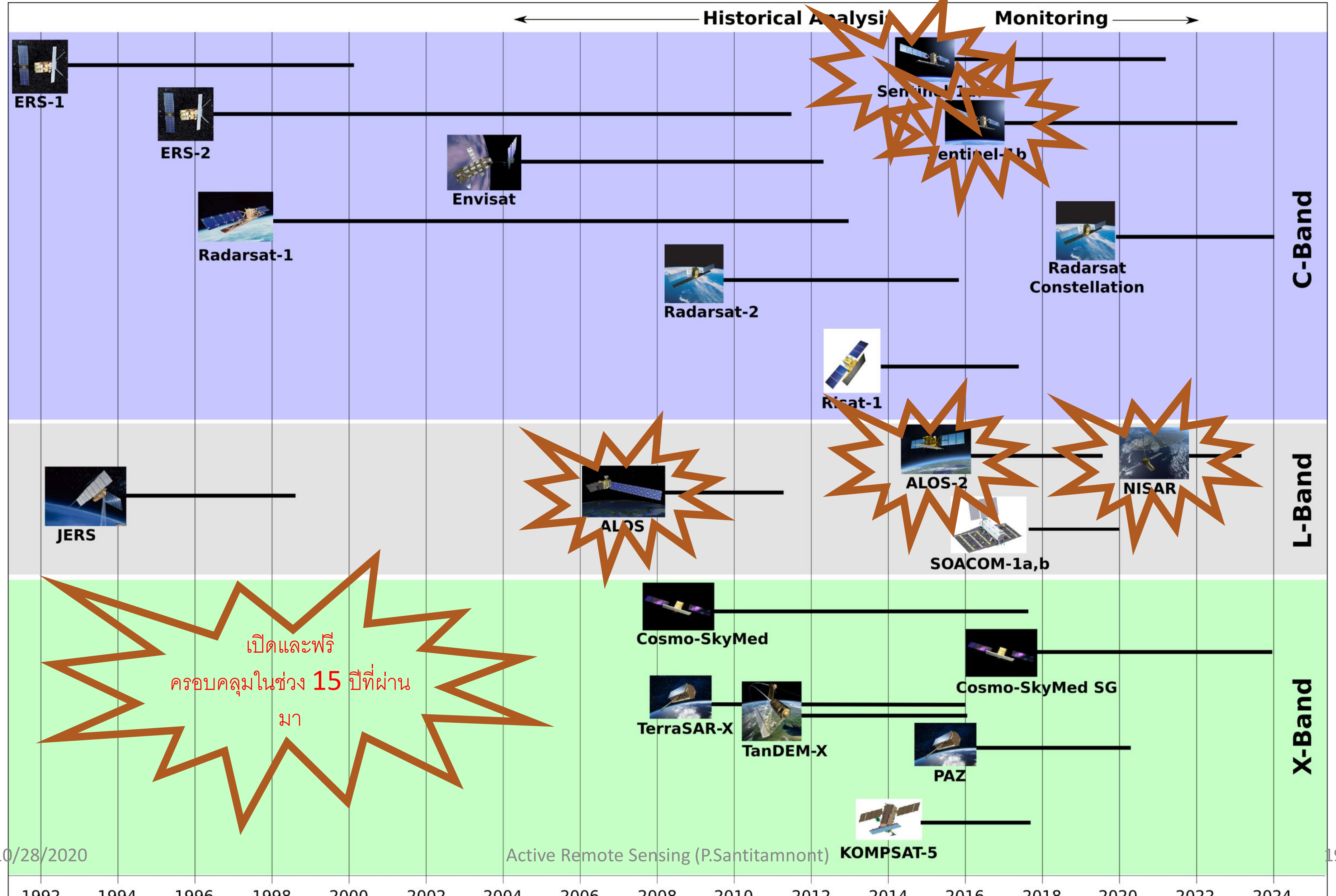
RADAR
Radio Detection and Ranging

SAR
Synthetic Aperture Radar






C-SAR Antenna
PDF
SAW
STT
S-Bant Ant.
Satellite +Y side (an



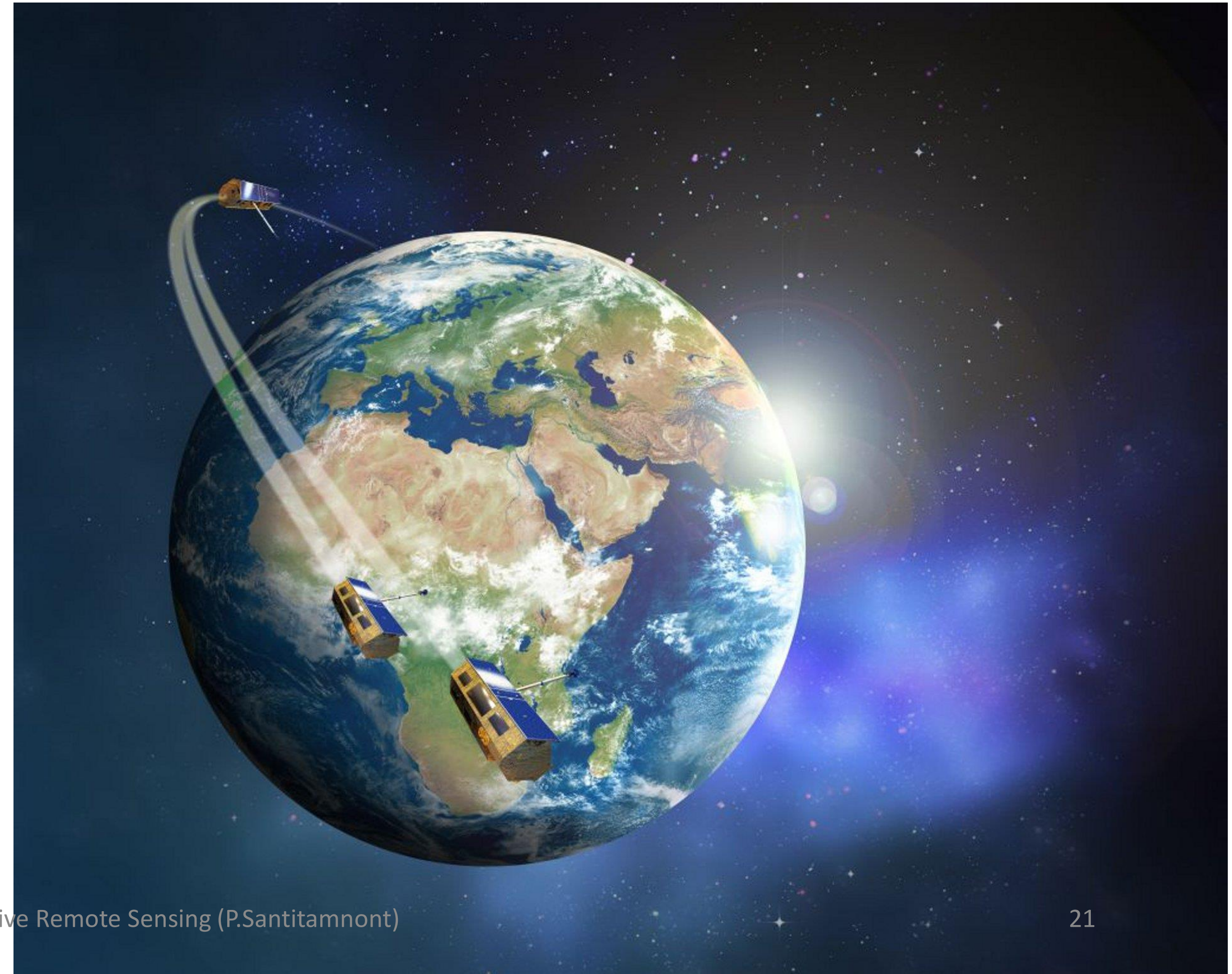
Historical Analysis
Monitoring
ERS-1
ERS-2
Envisat
Radarsat-1
Radarsat-2
Radarsat Constellation
Risat-1
C-Band
JERS
ALOS
ALOS-2
NISAR
SOACOM-1a,b
L-Band
Cosmo-SkyMed
Cosmo-SkyMed SG
TerraSAR-X
TanDEM-X
PAZ
KOMPSAT-5
X-Band
เปิดและฟรี
ครอบคลุมในช่วง 15 ปีที่ผ่านมา
1992
1994
1996
1998
2000
2002
2004
2006
2008
2010
2012
2014
2016
2018
2020
2022
2024

Satellite (operator)	Imaging mode (spatial resolution)	Maximum area covered	Time of operation
TerraSAR-X (DLR)	Staring Spotlight (0.6m)	4 x 3.7km	2013 – today
COSMO SkyMed (ASI)	Spotlight-2 (0.8m)	10 x 10km	2007 – today
HRWS (DLR)	StripMap (1m)	70 x 70km	expected 2019
TerraSAR-X (DLR)	Spotlight (1m)	10 x 10km	2007 – today
Radarsat-2 (CSA)	Spotlight (1m)	8 x 18km	2007 - today
Radarsat-2 (CSA)	UltraFine (3m)	20 x 20km	2007 – today
ALOS PALSAR-2 (JAXA)	Spotlight (3m)	25 x 25km	2014 – today
RISAT-1 (ISRO)	FR Stripmap (3m)	25 x 25km	2012 – today
Sentinel-1	StripMap (5m)	80 x 80km	2014 – today

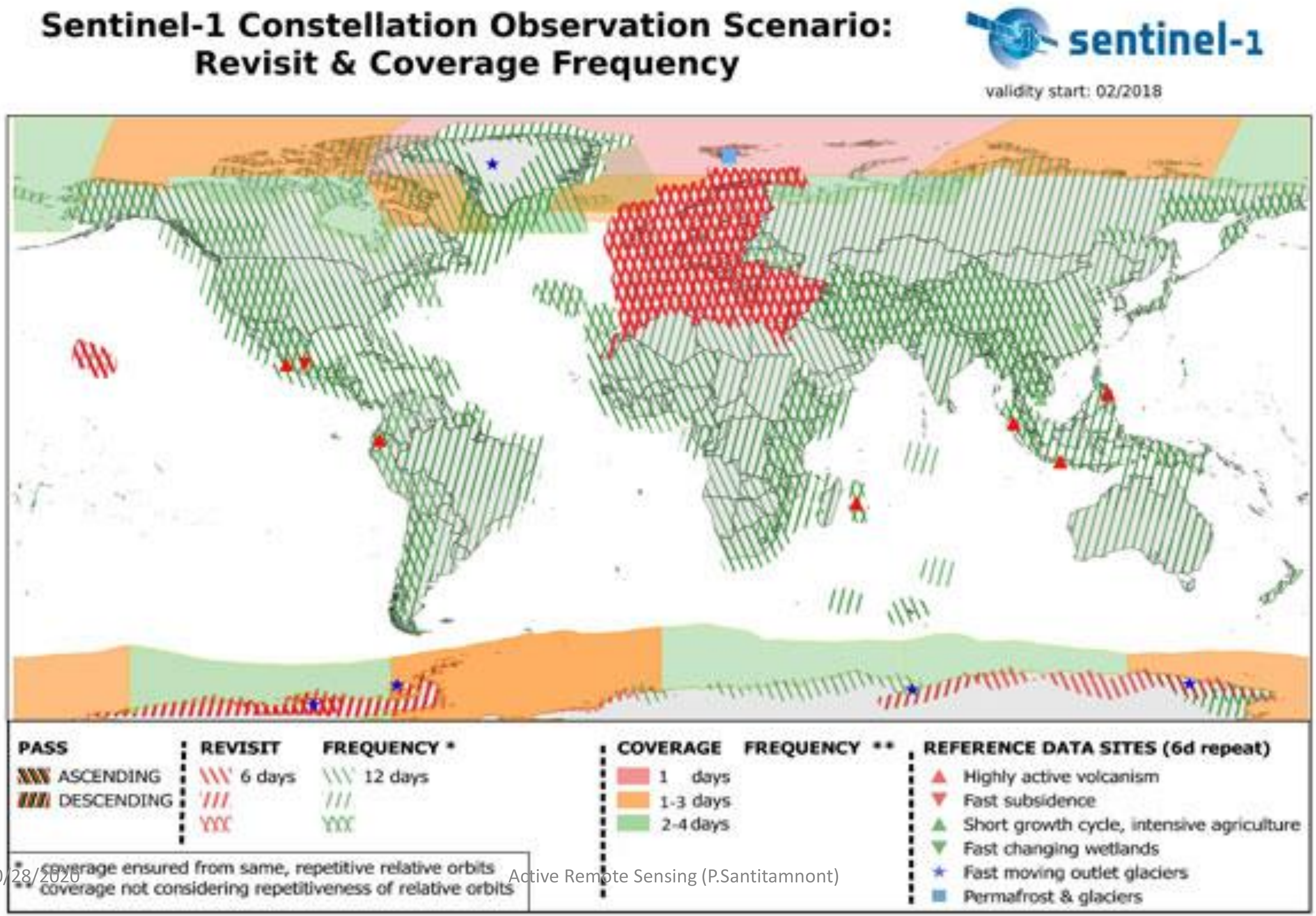
Hires X-band Satellites (λ=3cm)

- PAZ
  - launched 2018
- TanDEM-X TDX
  - launched 2010
- TerraSAR-X : TSX
  - launched 2007

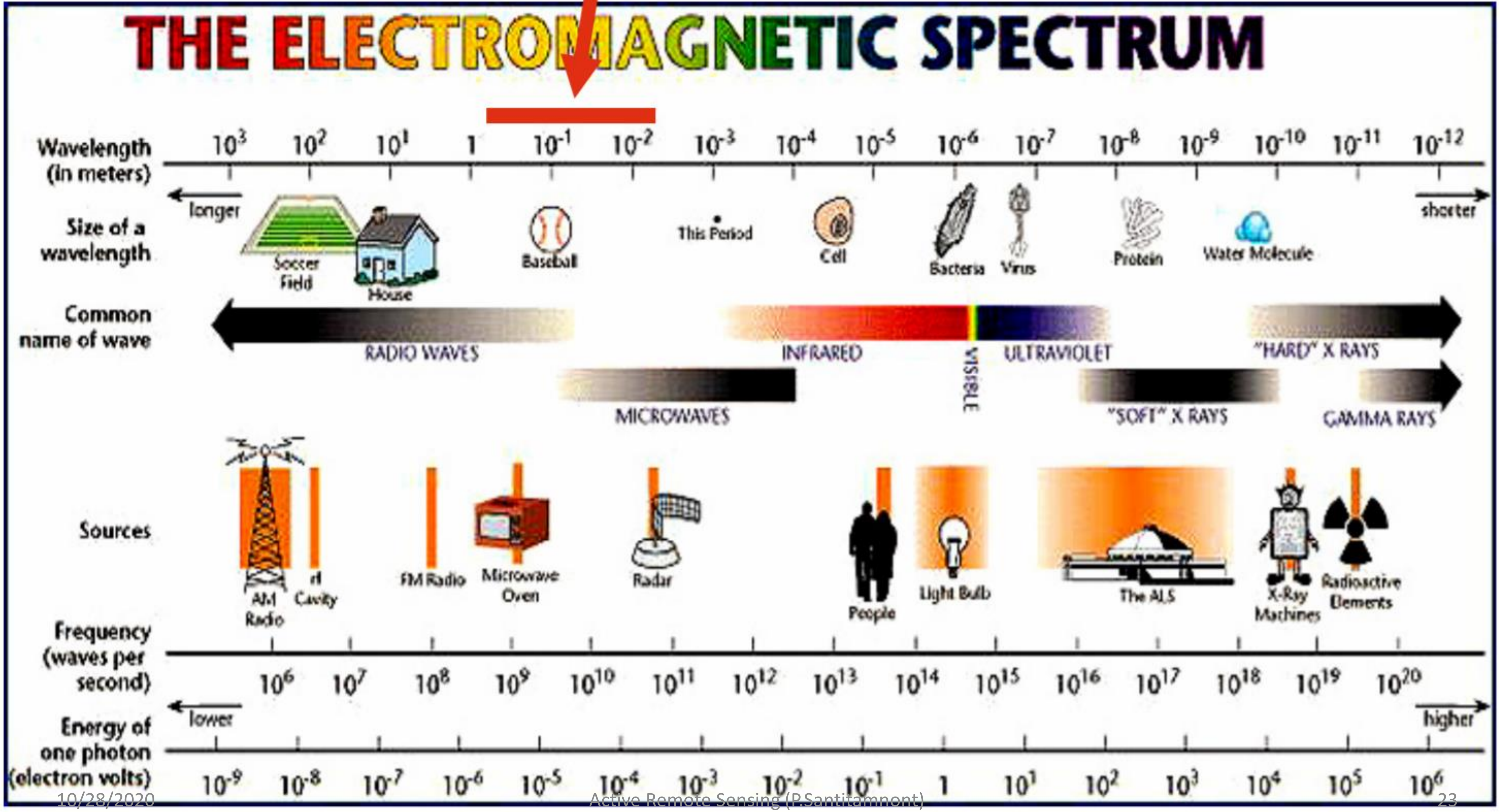
- NISAR (NASA-ISRO)
  - launch 2022
  - **FREE!!!**



Sentinel-1 Constellation Observation Scenario: Revisit & Coverage Frequency



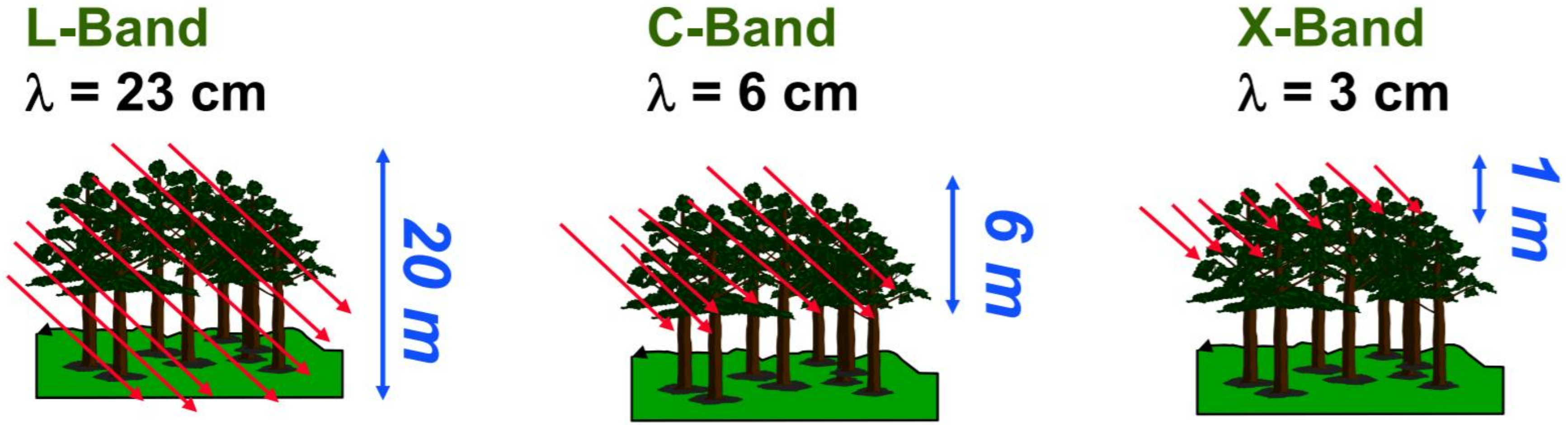
Radar remote sensing



ความถี่ของเรดาร์

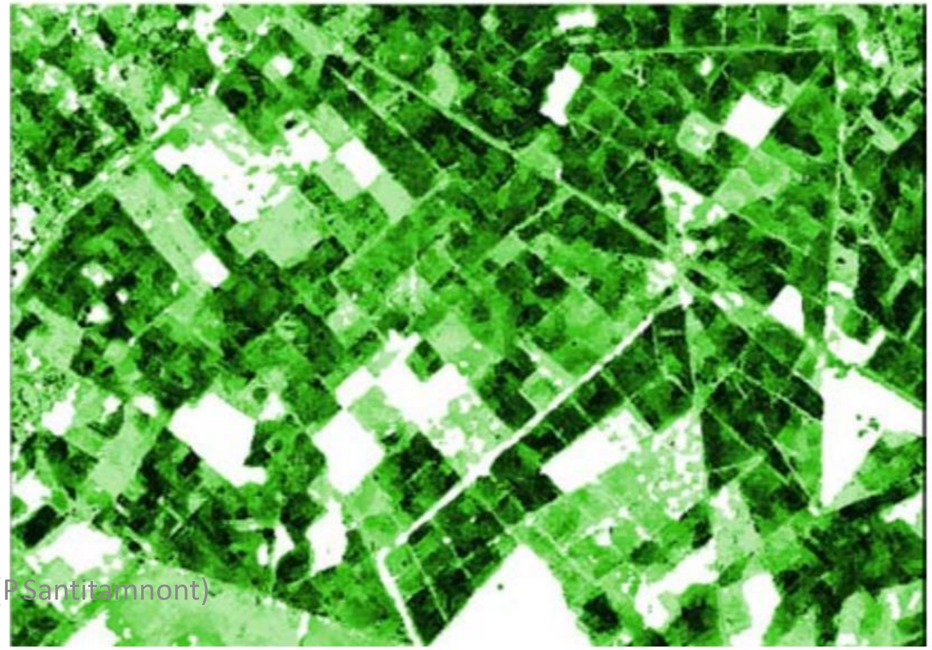
Band	Wavelength (cm)	Frequency (GHz)
X	2.4 – 3.8	12.5 – 8
C	3.8 – 7.5	8 – 4
S	7.5 – 15	4 – 2
L	15 – 30	2- 1
P	30 - 100	1- 0.3

ความสามารถในการทะลุทะลวง

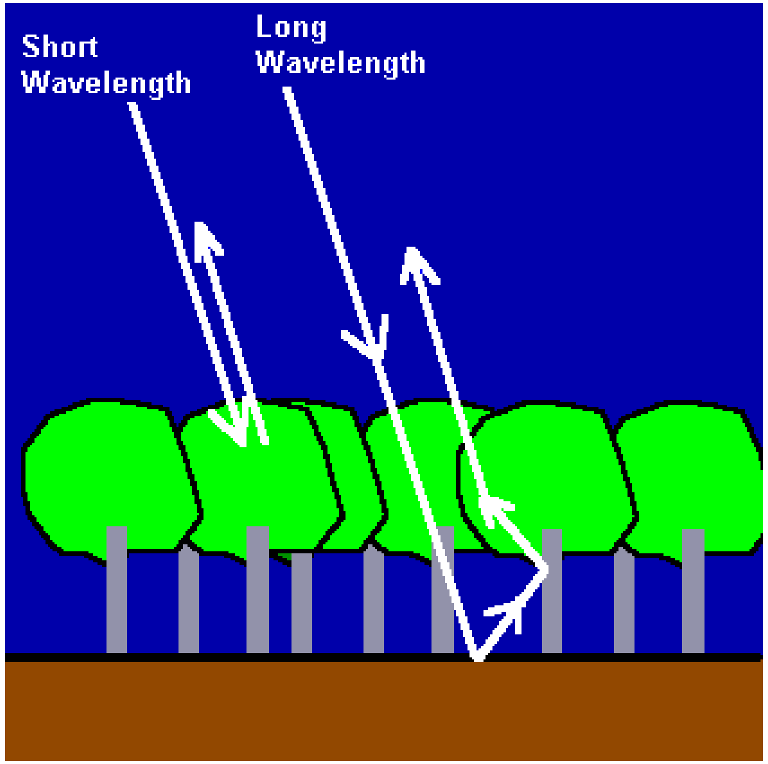


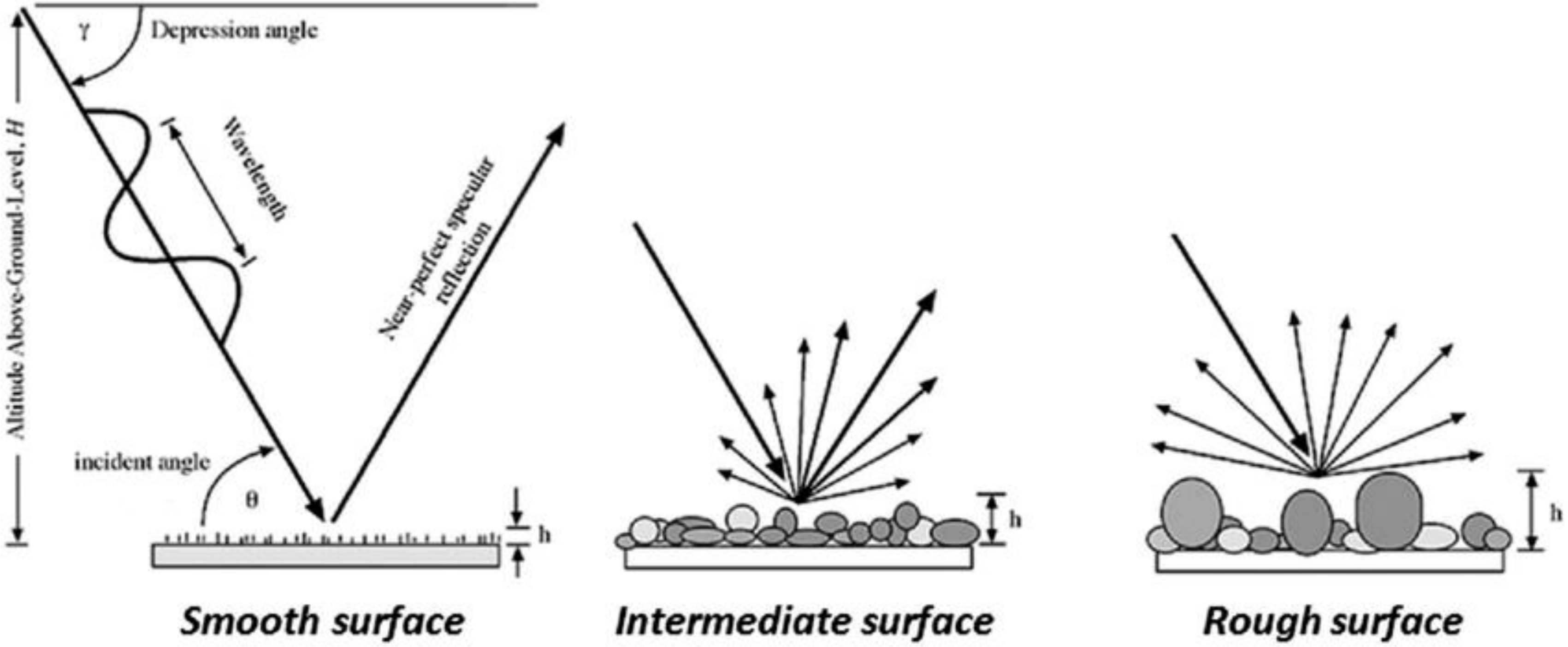
SIR-C image
Landes Forest, France
L-Band, 26° (σ^0_{HV})

High penetration capabilities in canopy. Application: Biomass cartography (CESBIO origin)



การสะท้อนของเรดาร์บนพื้นผิวต่างๆ





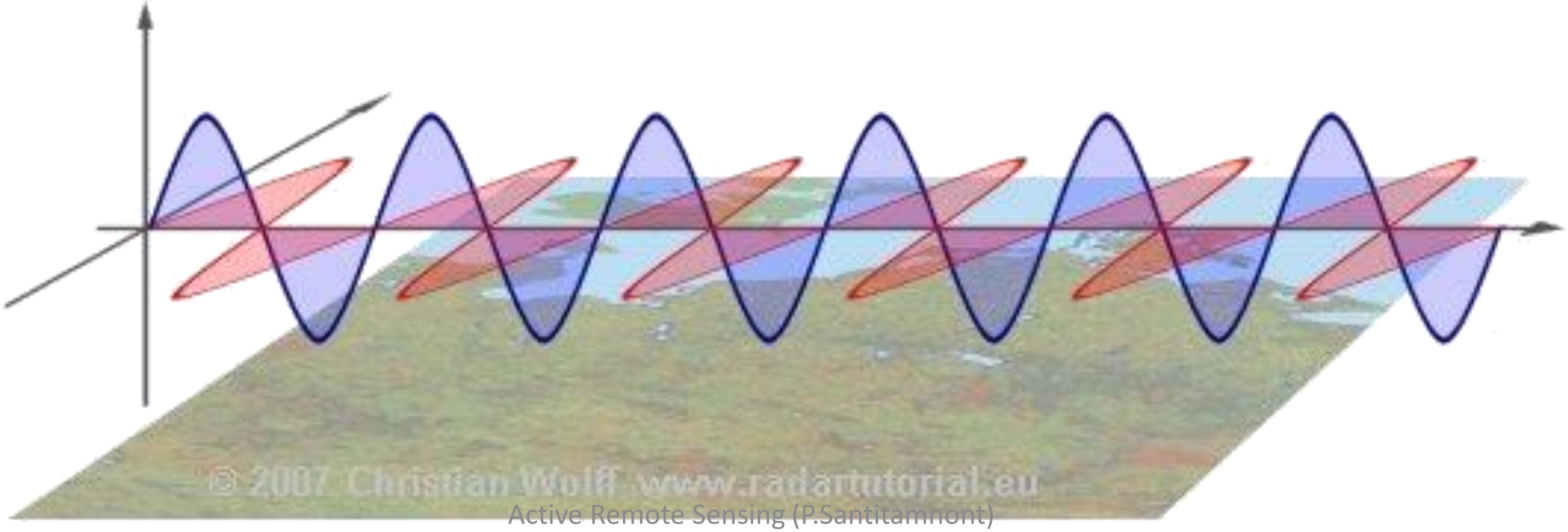
$h_{rms} < \frac{\lambda}{25\cos\theta_{inc}}$

$\frac{\lambda}{25\cos\theta_{inc}} < h_{rms} < \frac{\lambda}{4\cos\theta_{inc}}$

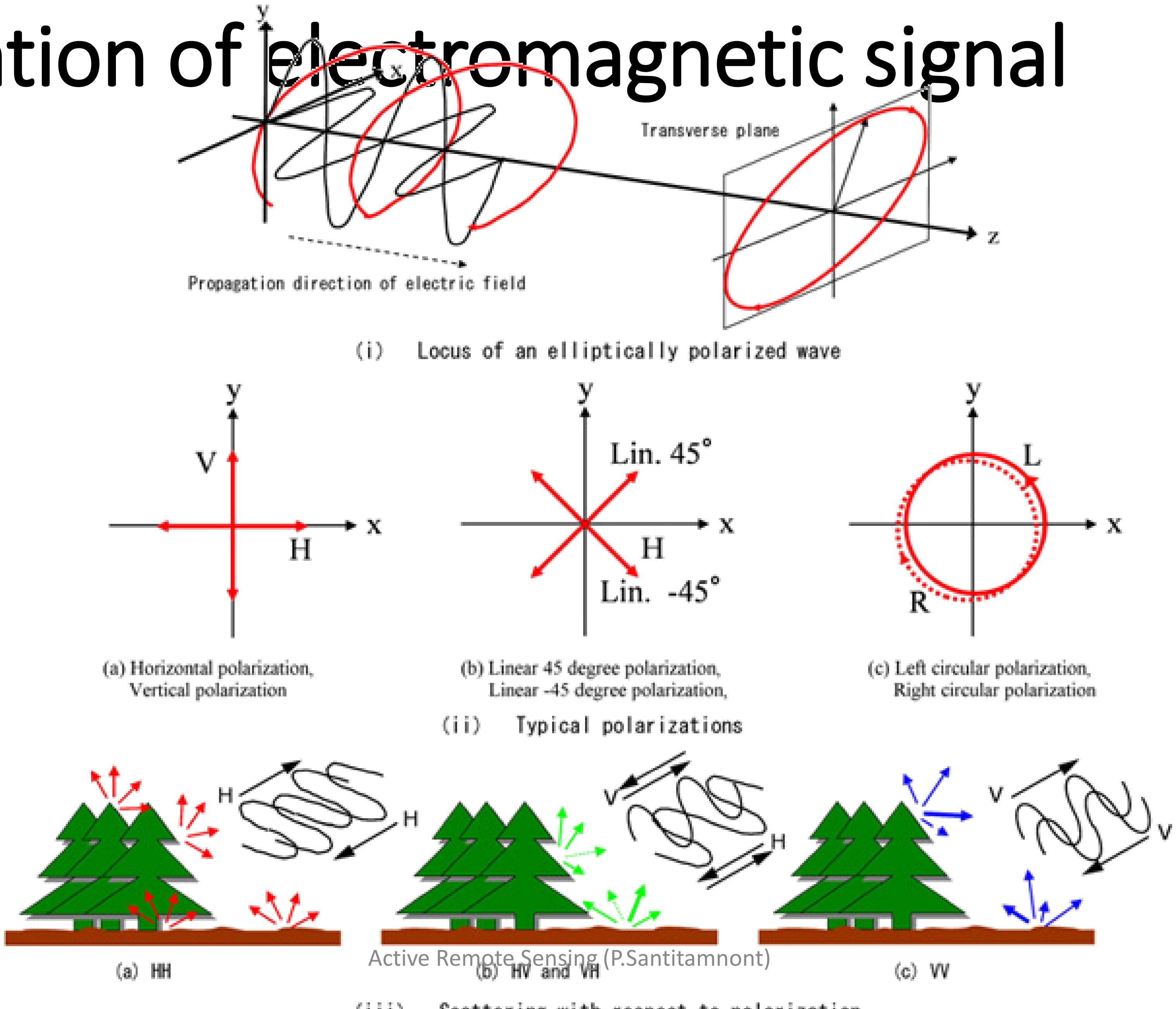
$h_{rms} > \frac{\lambda}{4\cos\theta_{inc}}$

Polarization in Radar

- HH - for horizontal transmit and horizontal receive,(HH)
- VV - for vertical transmit and vertical receive,(VV)
- HV - for horizontal transmit and vertical receive(HV), and
- VH - for vertical transmit and horizontal receive(VH).



Polarization of electromagnetic signal



Mutiplicative Noise (Speckel)

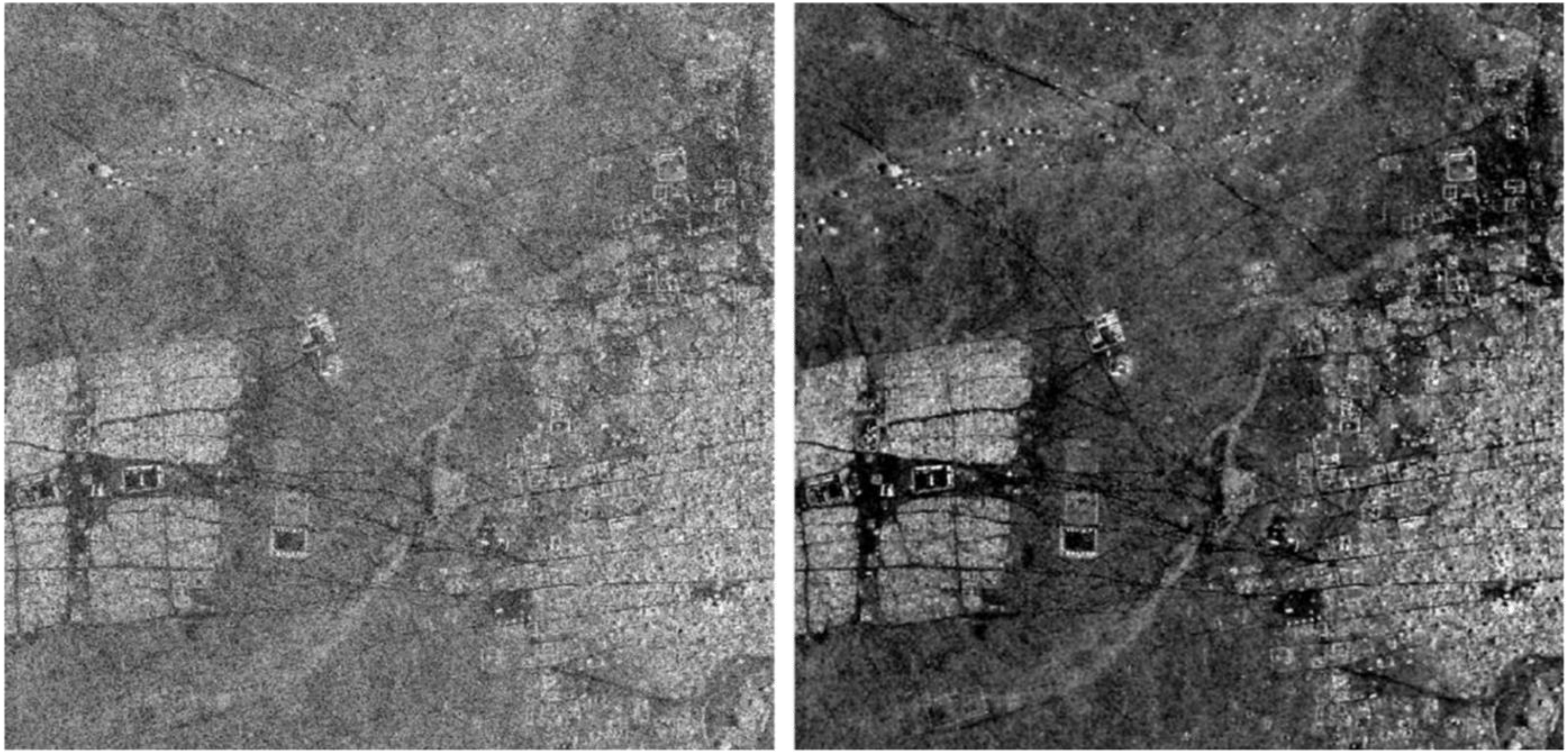
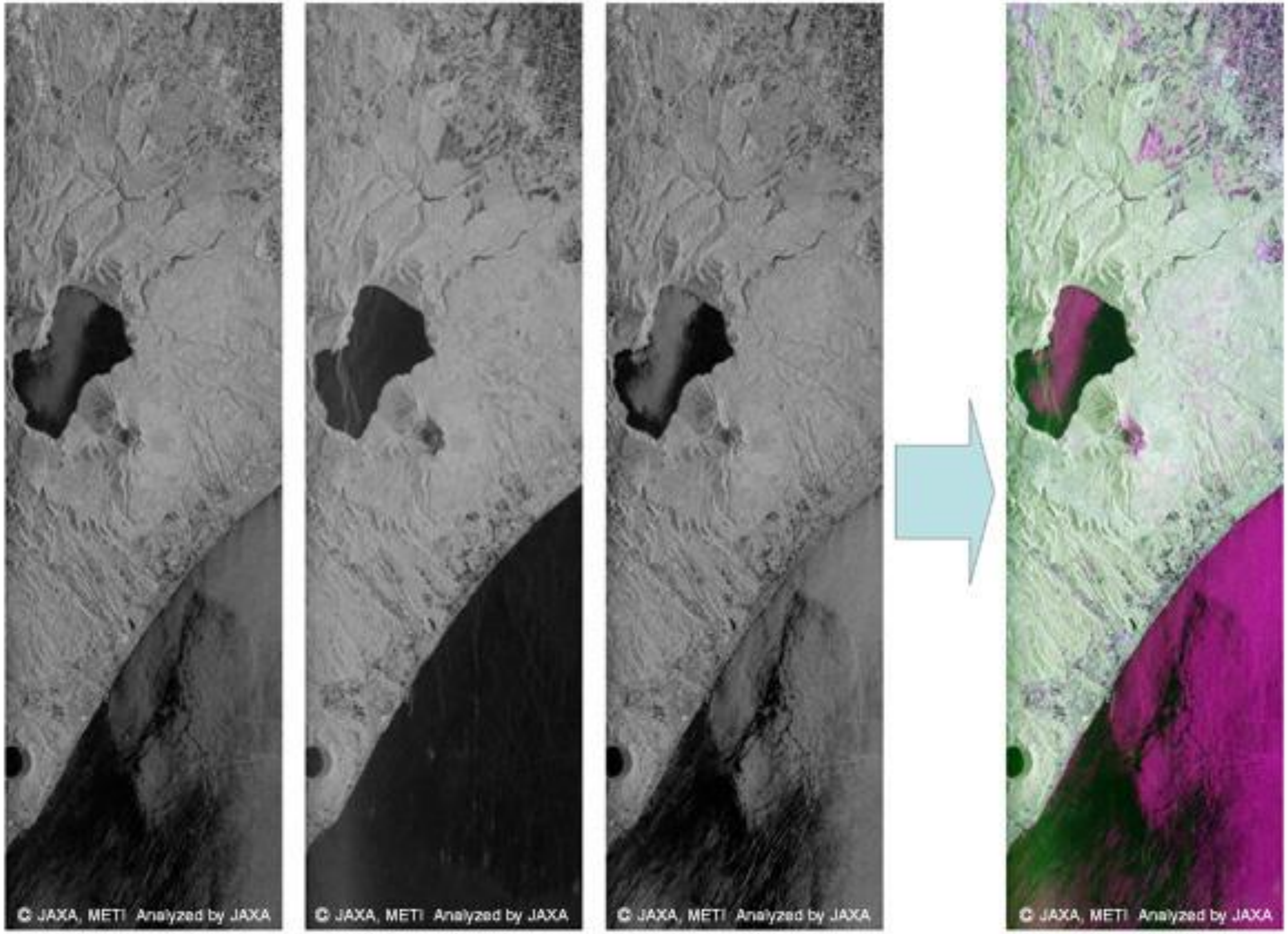


Figure 3: TerraSAR-X image (spatial resolution of 1m) of the Djabal refugee camp and the city of Goz Beida, Eastern Chad. Left: Unfiltered. Right: After application of a speckle filter, which uses local



HH HV VV HH, HV, VV

2006/08/19 01:17(UT) ALOS/PALSAR POLARIMETRY

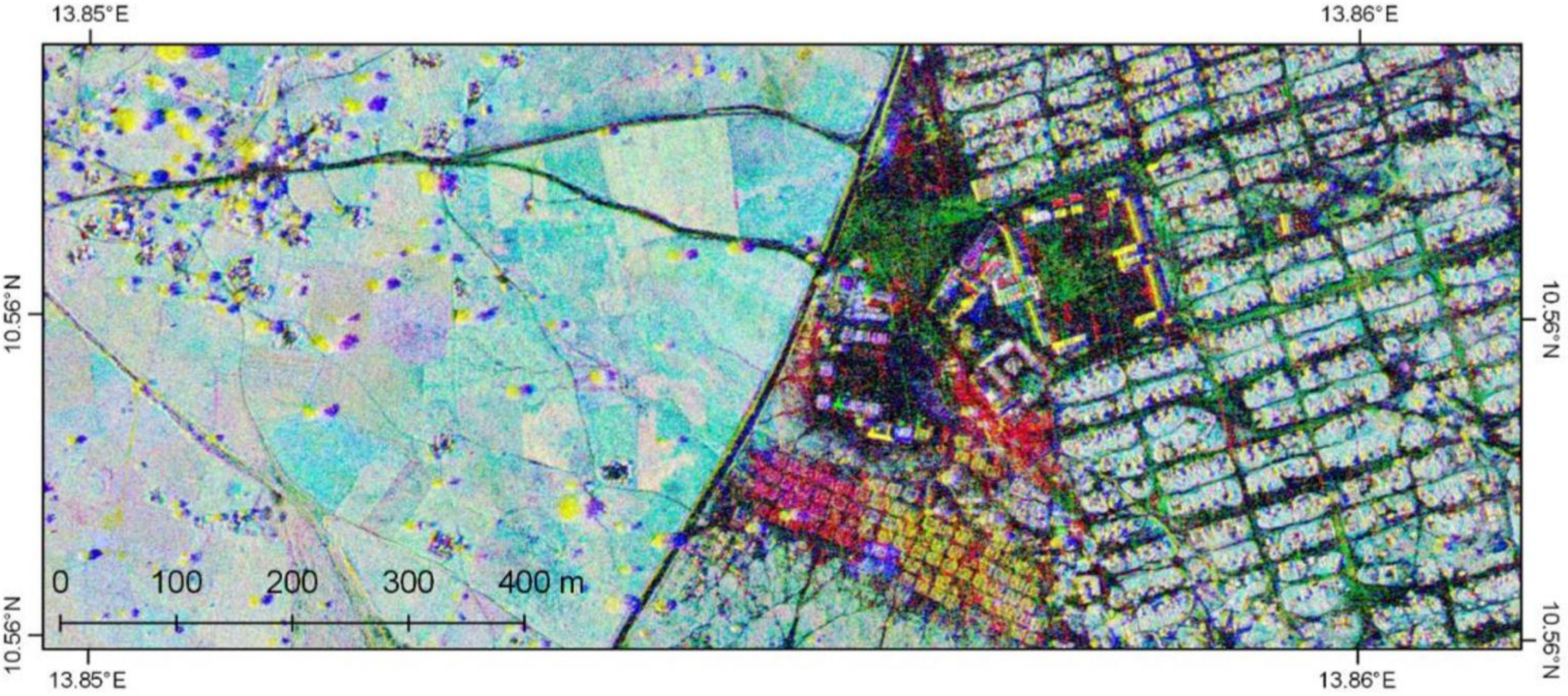
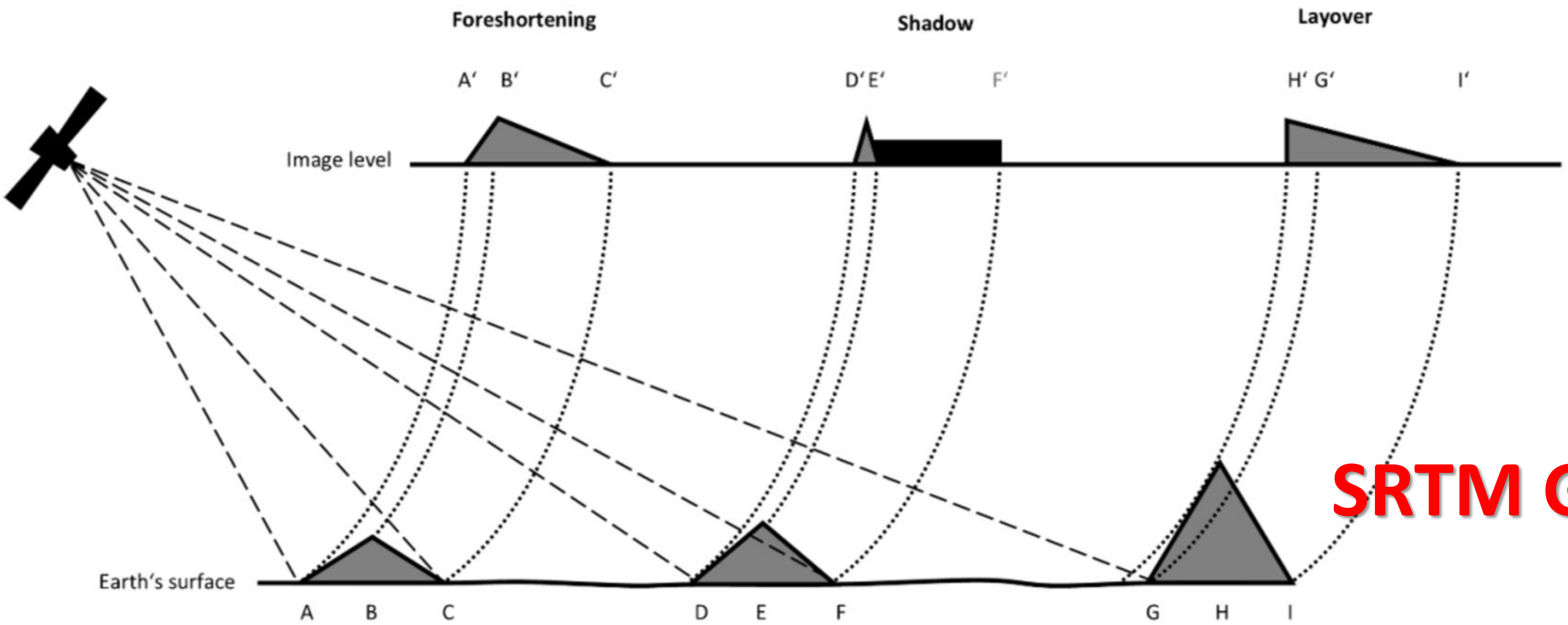


Figure 6: RGB colour composite of TerraSAR-X scenes for the Minawao refugee camp, Cameroon. Red: 12.07.2015, Green: 25.08.2015, Blue: 26.10.2015. Note that the blue image was acquired from a different direction, leading to shadow-like structures next to the trees.

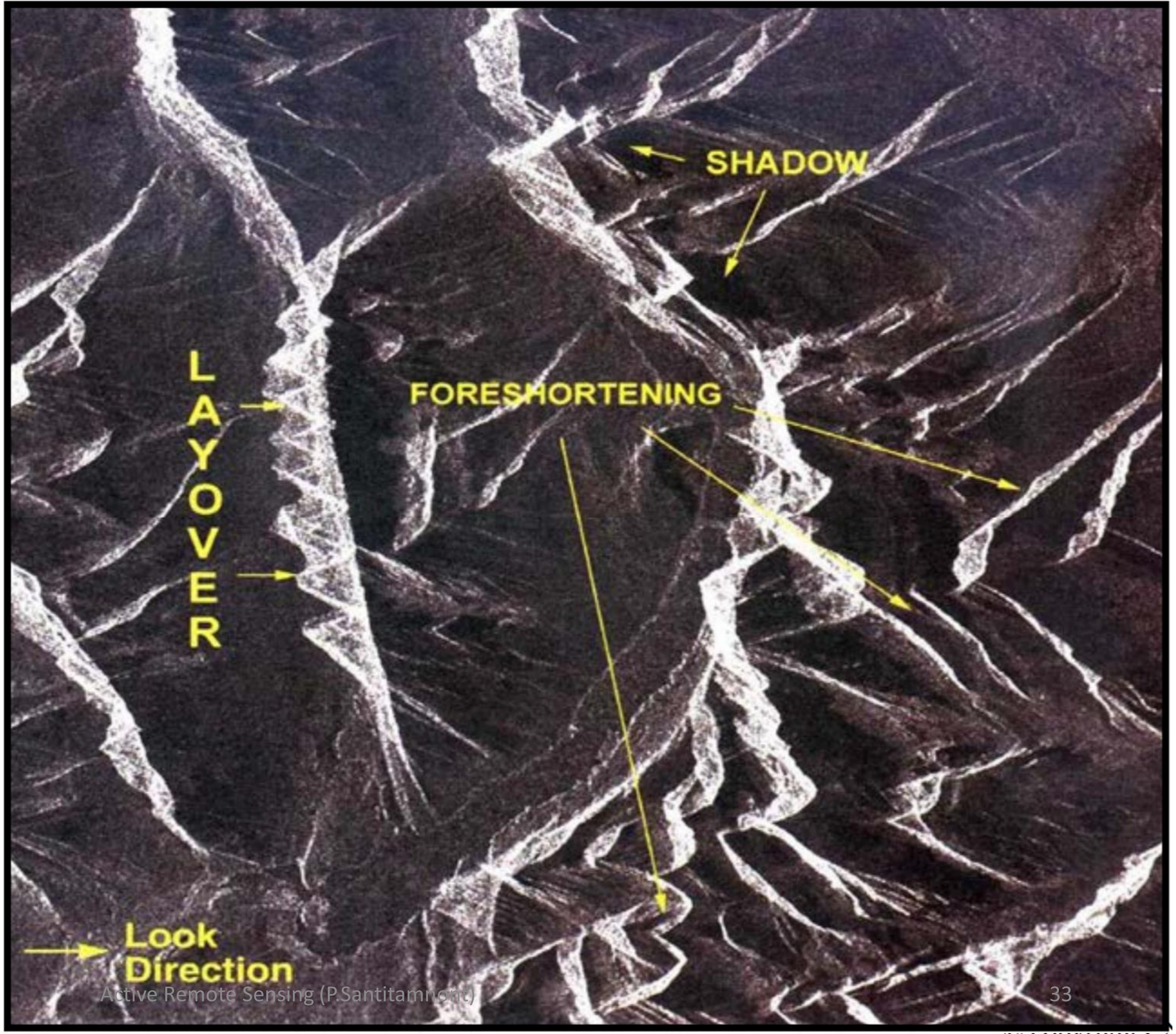


SRTM GL-1

Figure 2: Topographic effects in SAR images. Note how A' and B' appear closer together in the SAR image, caused by the temporal shift of the signal (foreshortening). In cases of steeper slopes, some parts of the image are not reached by the signal at all (the location of F' is within the radar shadow). In cases of signal layover, the signal reaches the top of the hill before its slopes, leading to inversion of geometries (H' G').

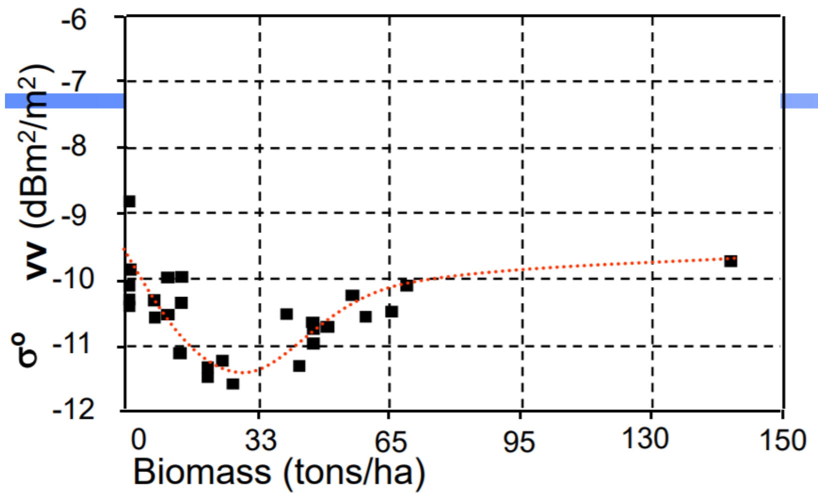
Standard beam position 1: acquired Feb.12, 1996

From: RADARSAT Geology Handbook (RADARSAT International), 1997

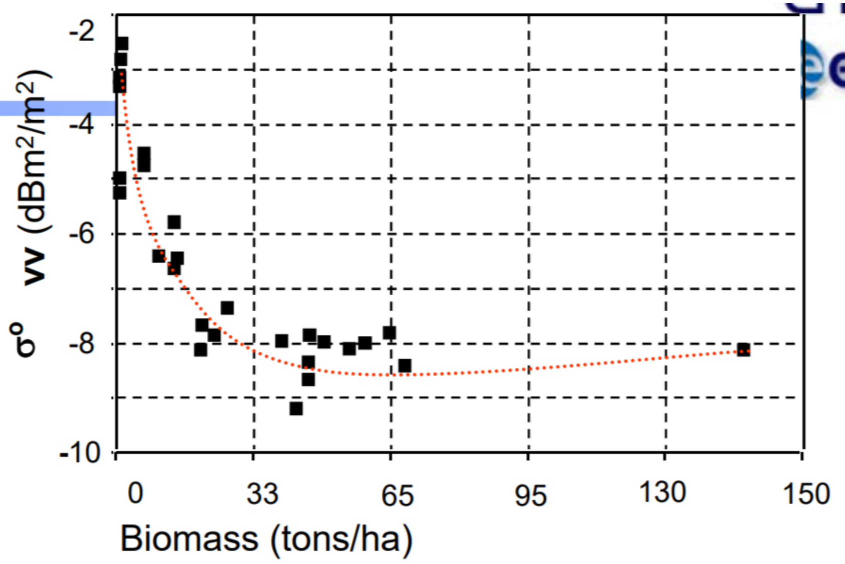


การประยุกต์ใช้ภาพเรดาร์ (active RS)

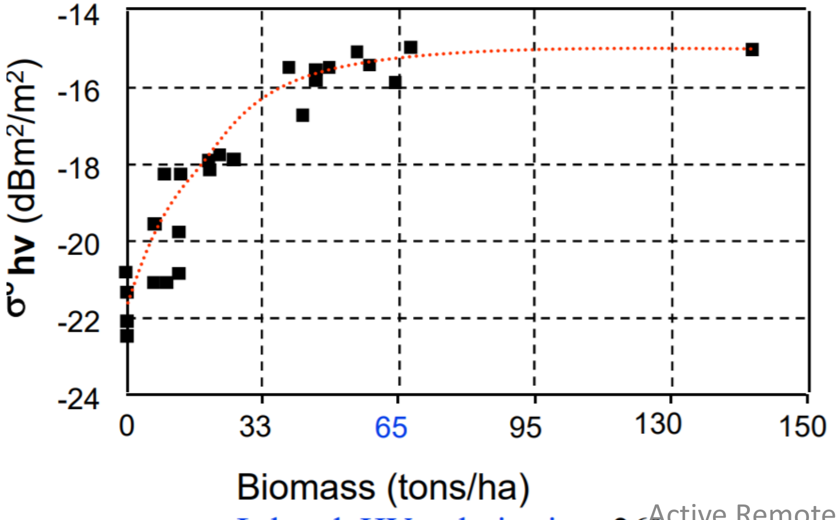
Radar Sensitivity to Biomass



L-band, VV-polarisation, 26°



C-band, VV-polarisation, 26°

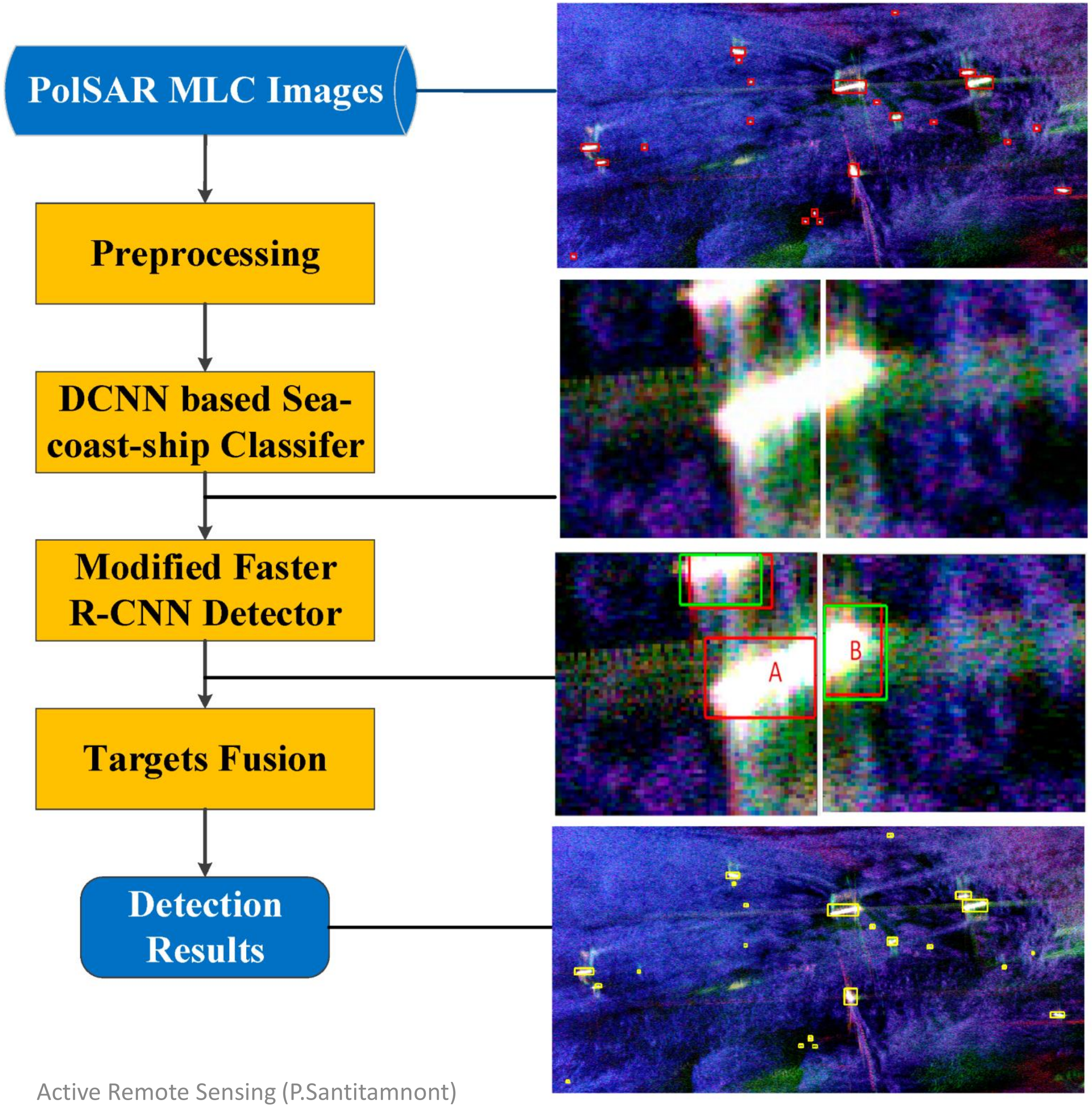


L-band, HV-polarisation, 26°

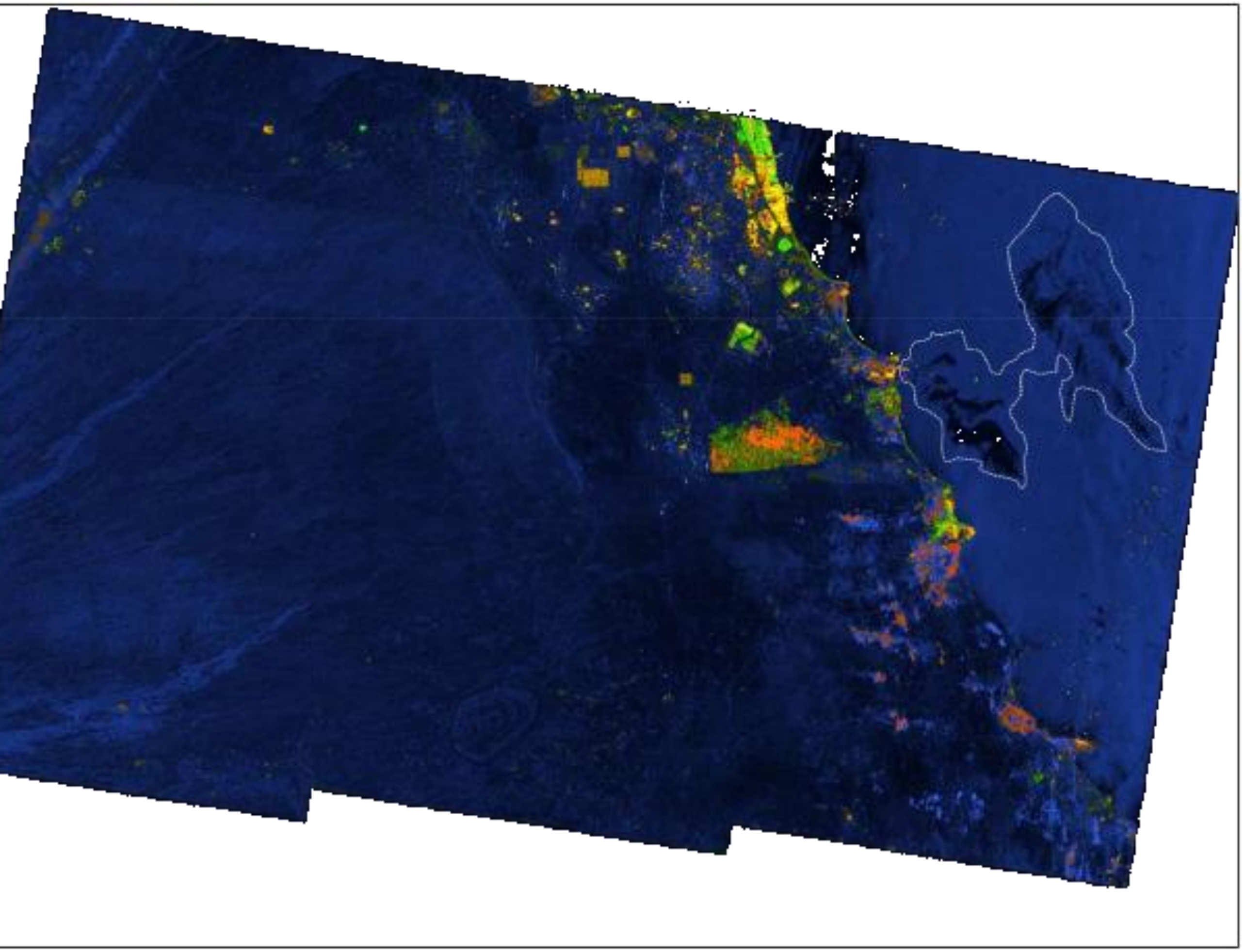
Experimental results show that radar sensitivity to biomass is a complex mechanism depending jointly on frequency and polarisation

SIRC data, Landes forest, France (origin : CESBIO)

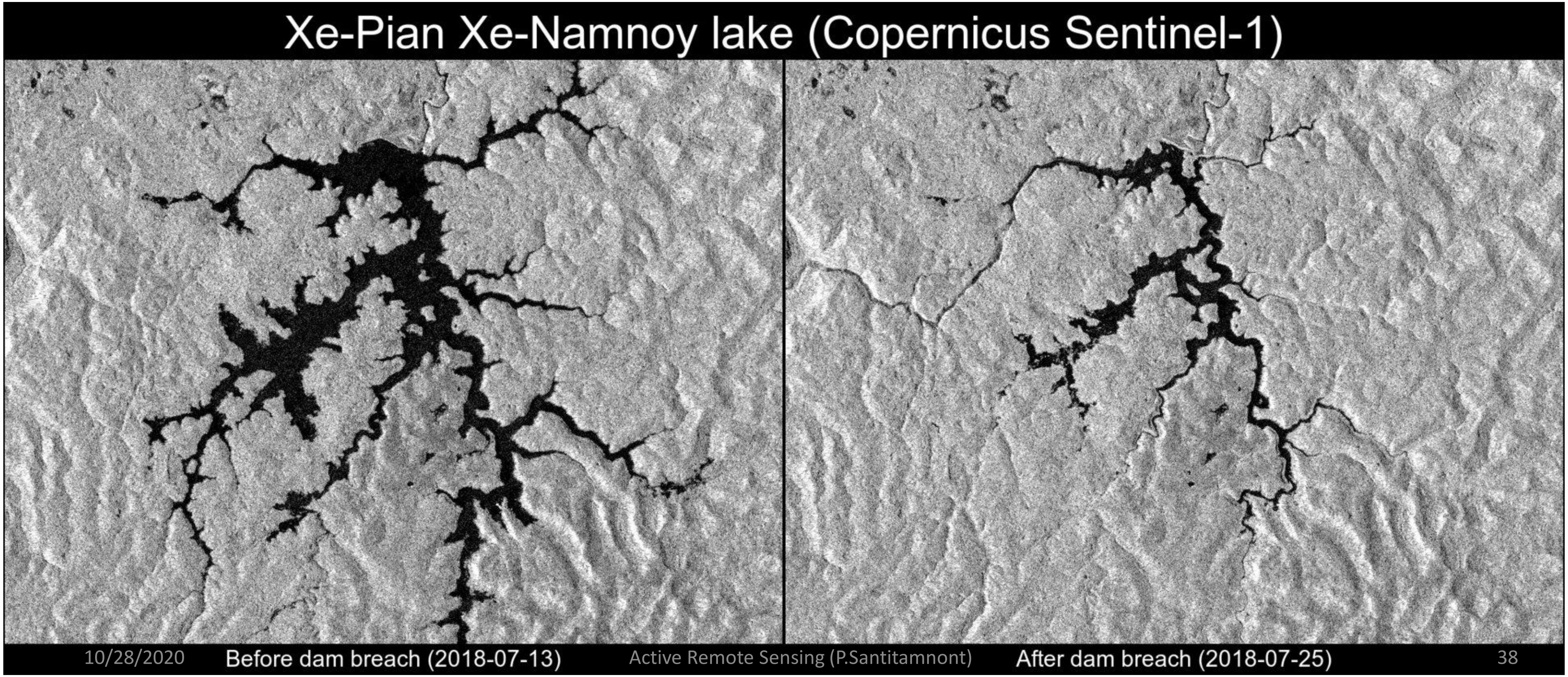
การตรวจจับเรือ



Oil Spill detection using Sentinel-1

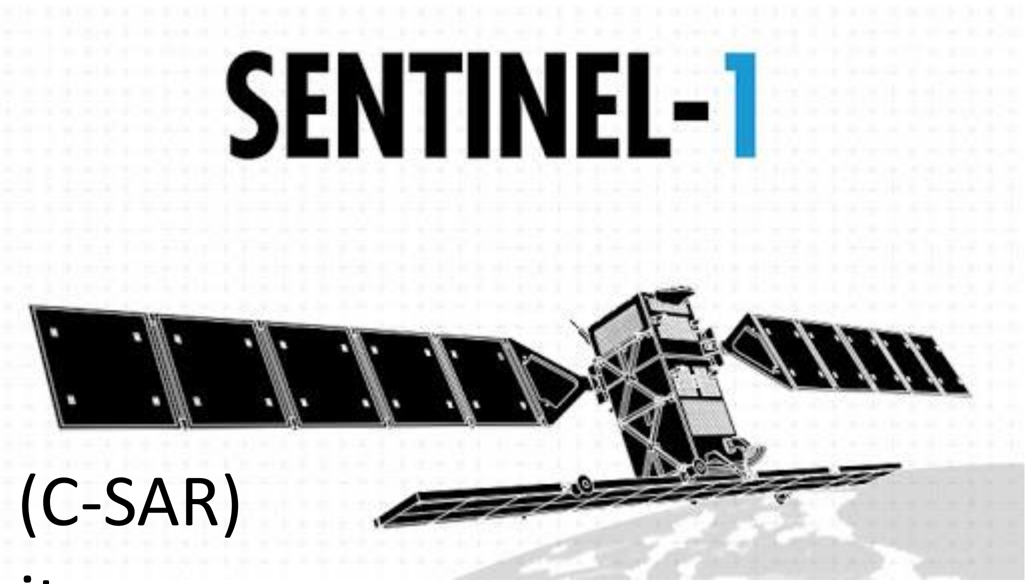


Flood Mapping



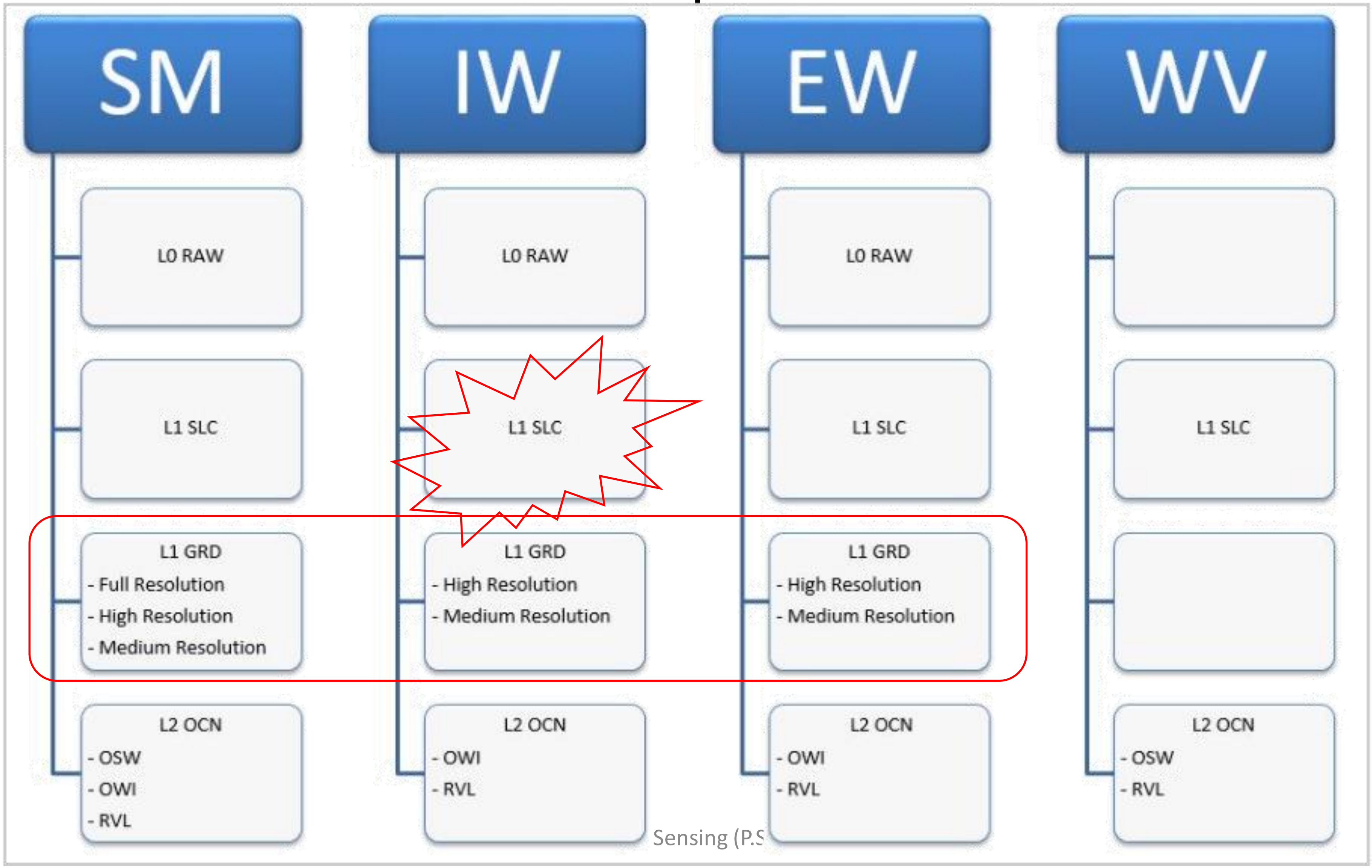
Radar Satellite System

Sentinel 1A / 1B



- launch : 3Apr2014(1A) 25Apr2016(1B)
- A single C-band synthetic-aperture radar (C-SAR)
- Near-polar (98.18°) Sun-synchronous orbit
- 693 km (431 mi) altitude
- 12-day repeat cycle
- four operational modes:
  - a) Strip Map (SM) 5x5m @50km swath
  - b) Interferometric Wide Swath (IW) 5x20m @250km swath
  - c) Extra Wide Swath (EW) 25x100m @400km swath
  - d) Wave(WV) 5x20m @100km

Product Level from Acquisition Mode



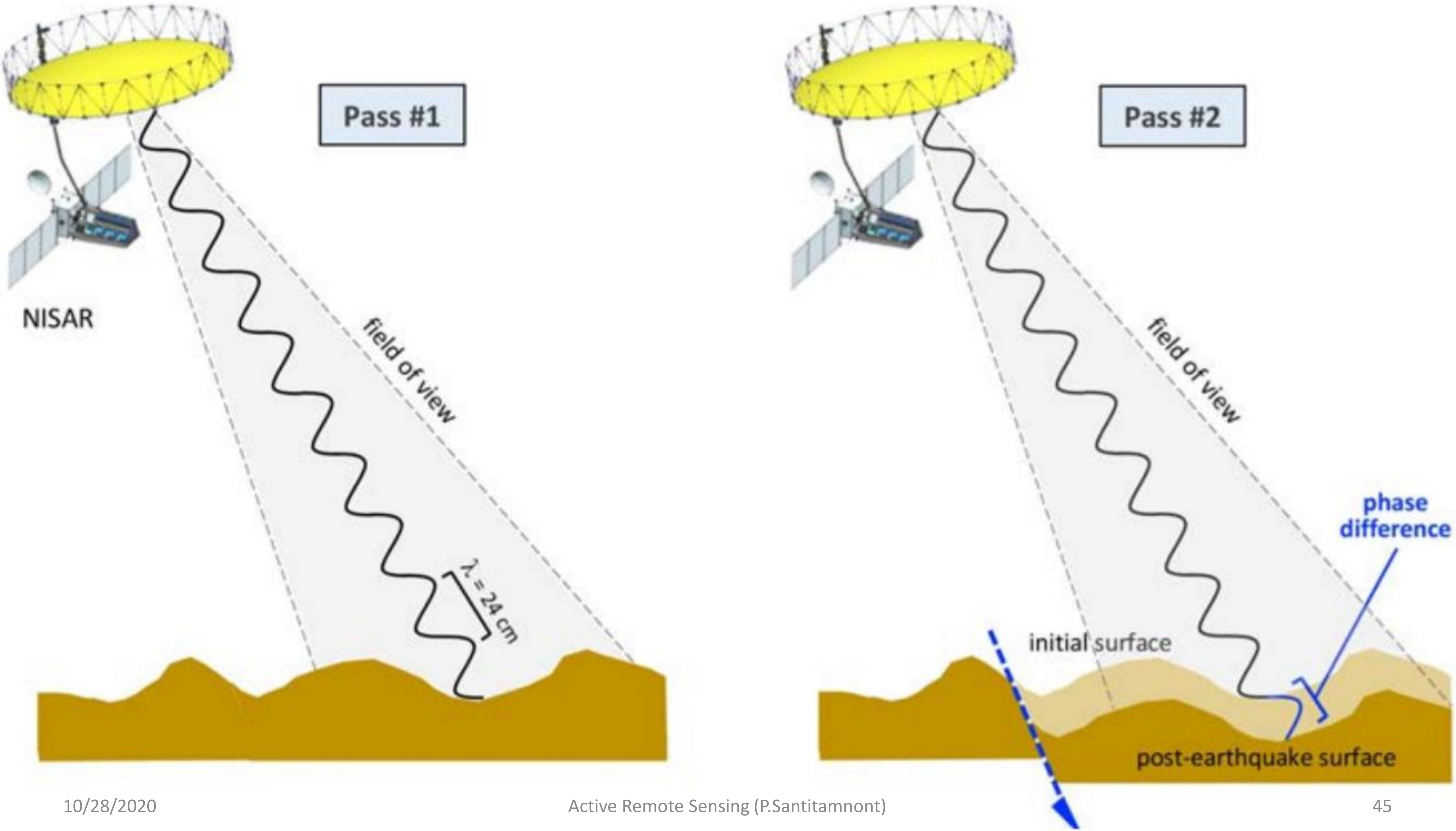
Sentinel-1 products

- Raw Level 0 data
- Processed Level 1 Single Look Complex (SLC) data:
  - Complex images with phase and amplitude of specified areas
- Ground Range Detected (GRD) Level 1 data:
  - Only systematically distributed multi-looked intensity
- Level 2 Ocean (OCN) data:
  - Systematically distributed data of ocean's geophysical parameters

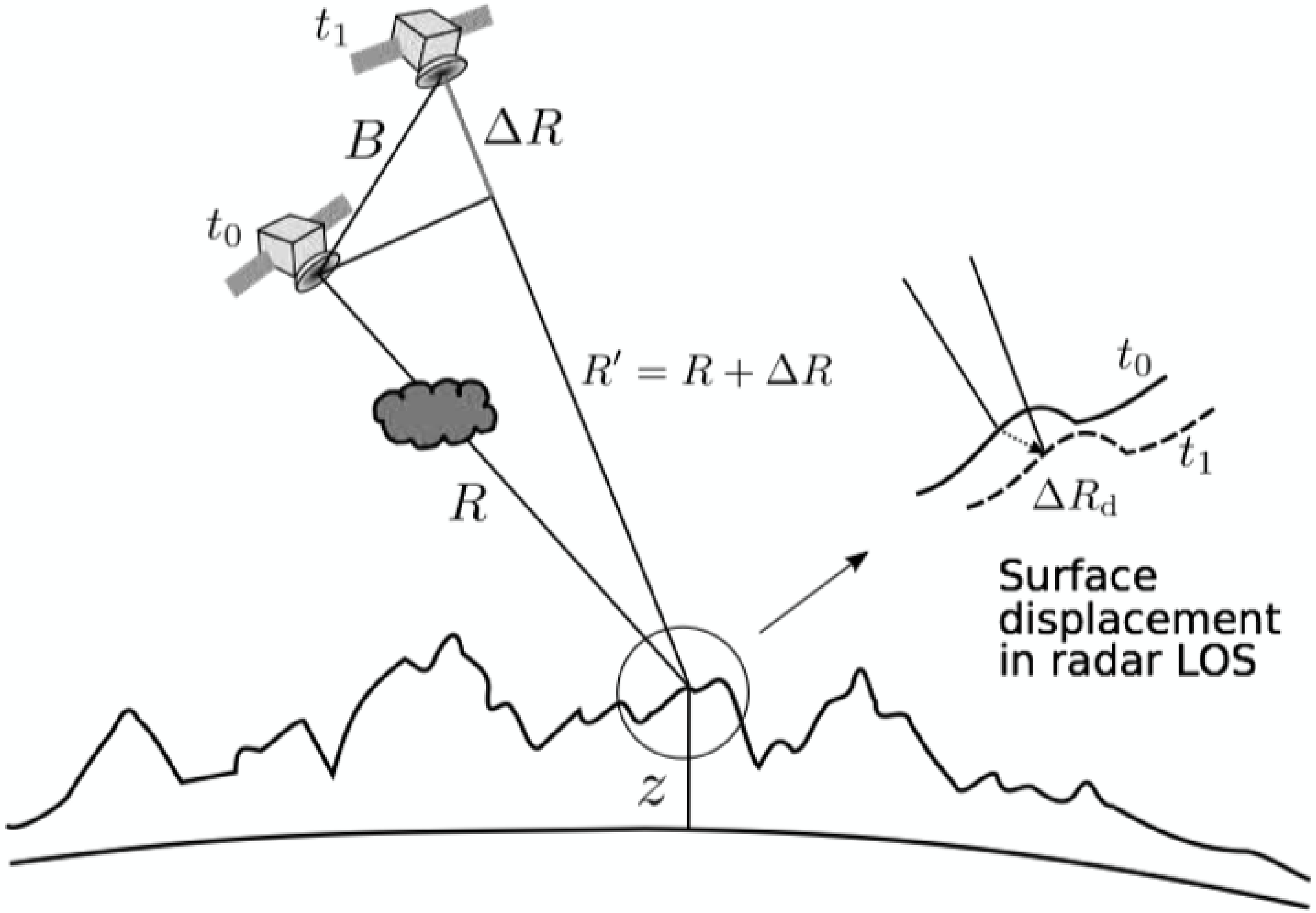
Interferometric Processing

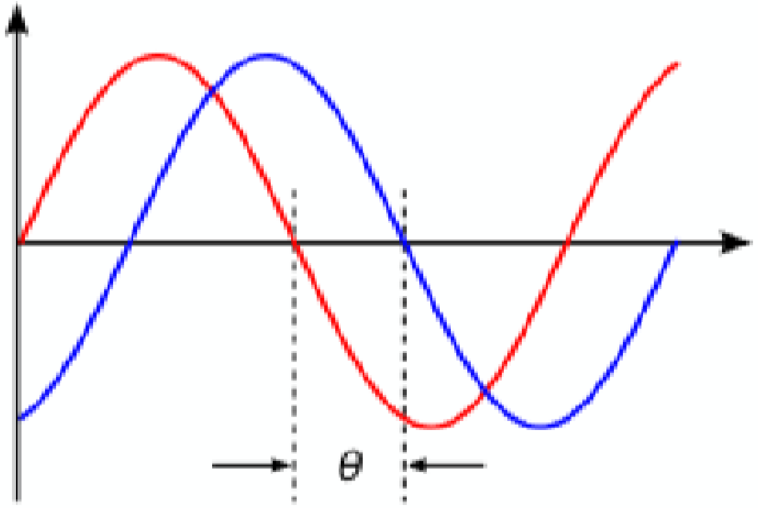
Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR)

- การประมวลสัญญาณกำเนิดจากแหล่งเดียวกัน (coherent) แต่สัญญาณนั้นไปกระทบพื้นที่เดียวในห้วงเวลาต่างกัน
- หากว่าในห้วงเวลาที่ผ่านไป พื้นผิวภูมิประเทศมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (ยุบตัว หรือ โก่งตัว) เราสามารถมาที่จะคำนวนการเปลี่ยนแปลงได้ละเอียดถึง เซนติเมตร มิลลิเมตร


Pass #1
NISAR
field of view
λ = 24 cm
Pass #2
field of view
phase difference
initial surface
post-earthquake surface

InSAR studies phase difference between two SAR images to measure changes in distance





Phase change is directly related to change in distance

norut
NORTHERN RESEARCH INSTITUTE

Temporal Baseline

- ห้วงเวลาระหว่างการบันทึกภาพที่หนึ่งและภาพที่สอง
- ควรจะให้เวลาสั้นที่สุดเพื่อลดความเสี่ยงของการเสื่อมของสหสัมพันธ์ของเฟส (temporal decorrelation of phase)
- พื้นที่จะมีเกิดปัญหามากที่สุดคือ พื้นที่พืชพรรณปกคลุมและพื้นที่ผิวน้ำ

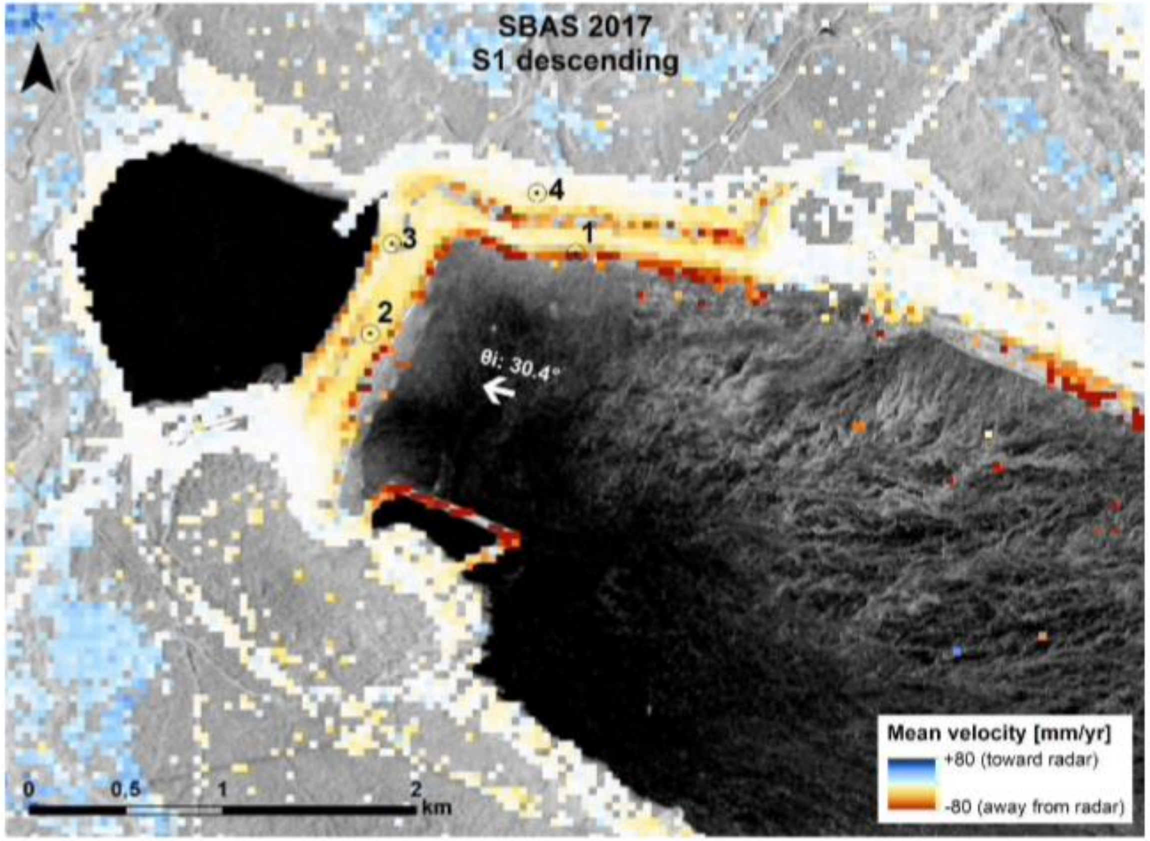
Perpendicular Baseline

- ระยะห่างตั้งฉากระหว่างดาวเทียม ณ เวลาบันทึกภาพ
- ระยะห่างเส้นฐานตั้งฉากควรอยู่ระหว่าง 150 ถึง 300 เมตร จะทำให้ได้การแทรกสอดที่ได้ผลดี
- หากระยะห่างเส้นฐานตั้งฉากน้อยไป หรือมากไป จะได้ผล decorrelation

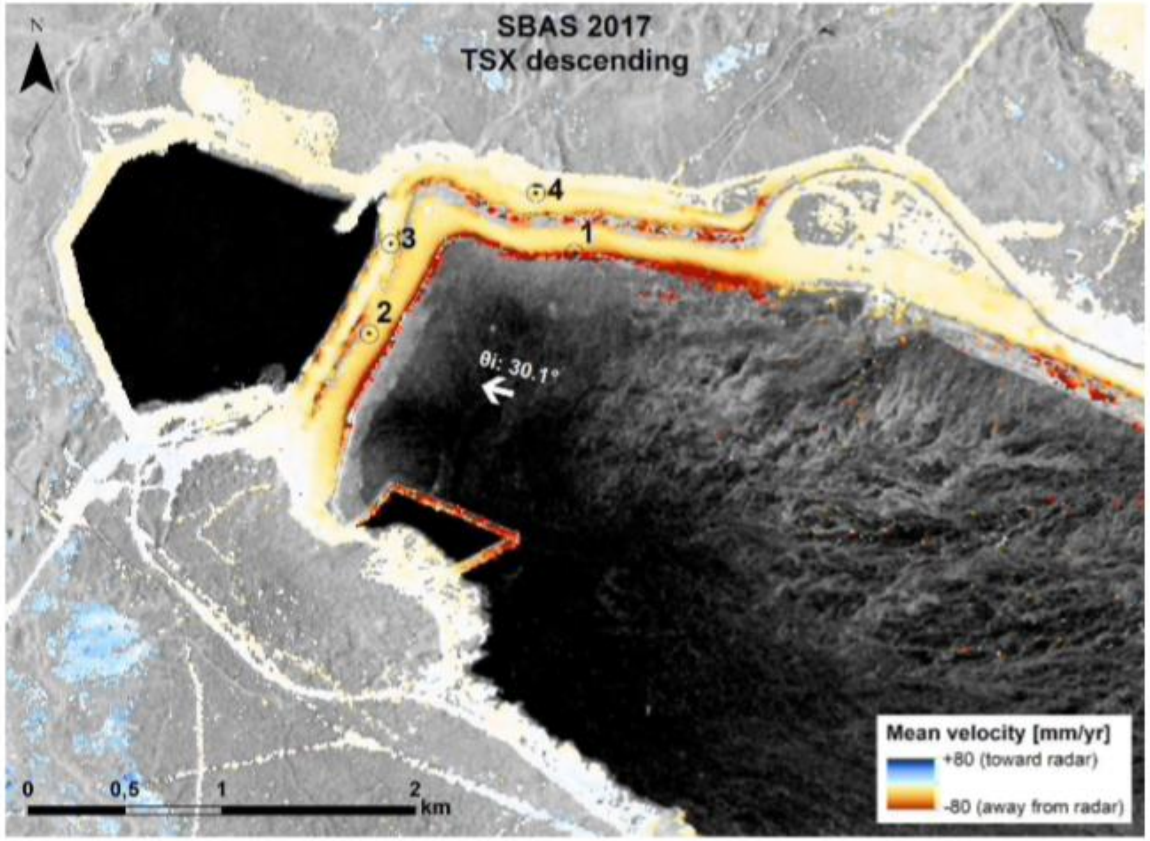
- สำหรับ Sentinel-1 ออกแบบมาเพื่อวิเคราะห์การทรุดตัว (DInSAR) ไม่เหมาะสำหรับการผลิตแบบจำลอง DEM ดังนั้นระยะห่างเส้นฐานตั้งฉากส่วนใหญ่จะน้อยกว่า 30 เมตร
- การค้นหาคู่ภาพว่ามีระยะห่างตั้งฉากของเส้นฐานเท่าใด สามารถใช้ ASF Baseline Tool

- สภาวะอากาศ โดยเฉพาะ ปริมาณไอน้ำในอากาศ (Water vapor) จะทำให้ phase delay และคุณภาพผลการรังวัดแย่ลง ดังนั้นควรเลือกภาพในฤดูแล้ง และไม่ควรเลือกภาพใดๆ ที่บันทึระหว่างฝนตก

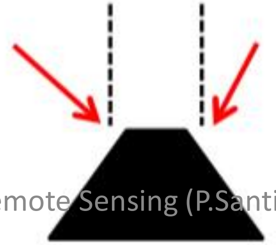
Sentinel-1 vs. TerraSAR-X



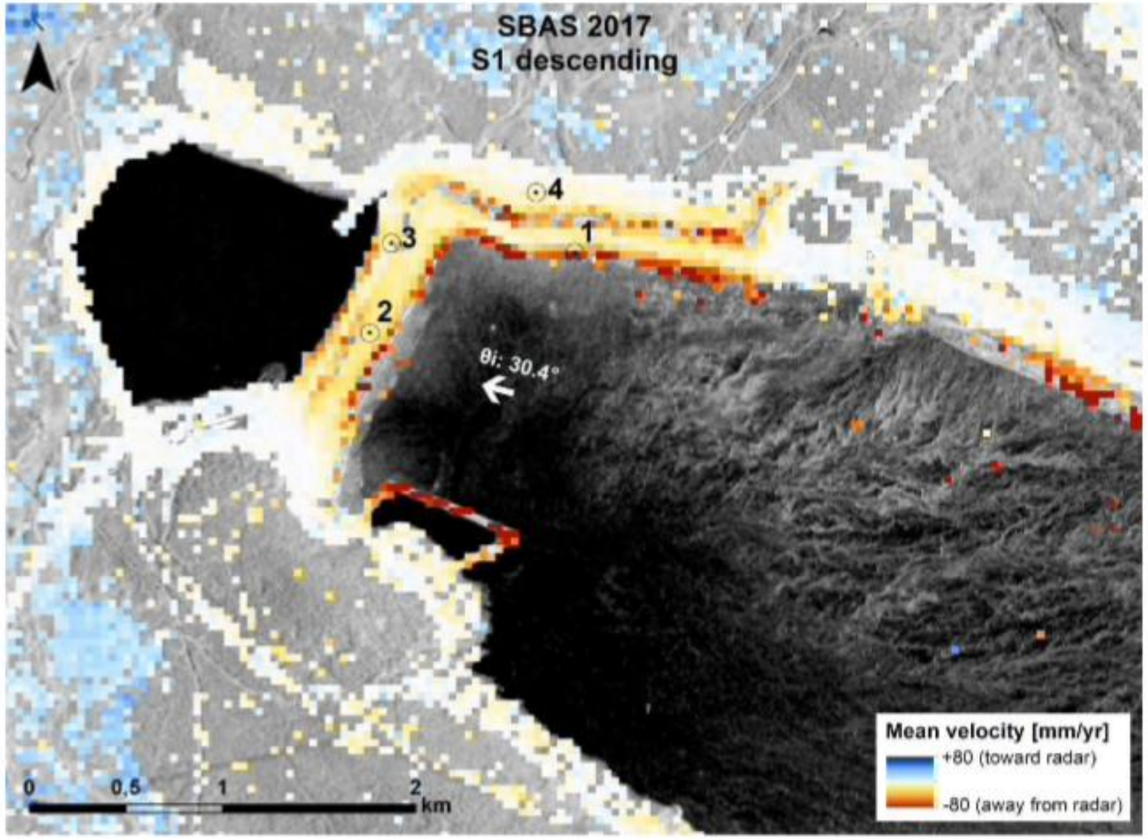
S1 descending geometry

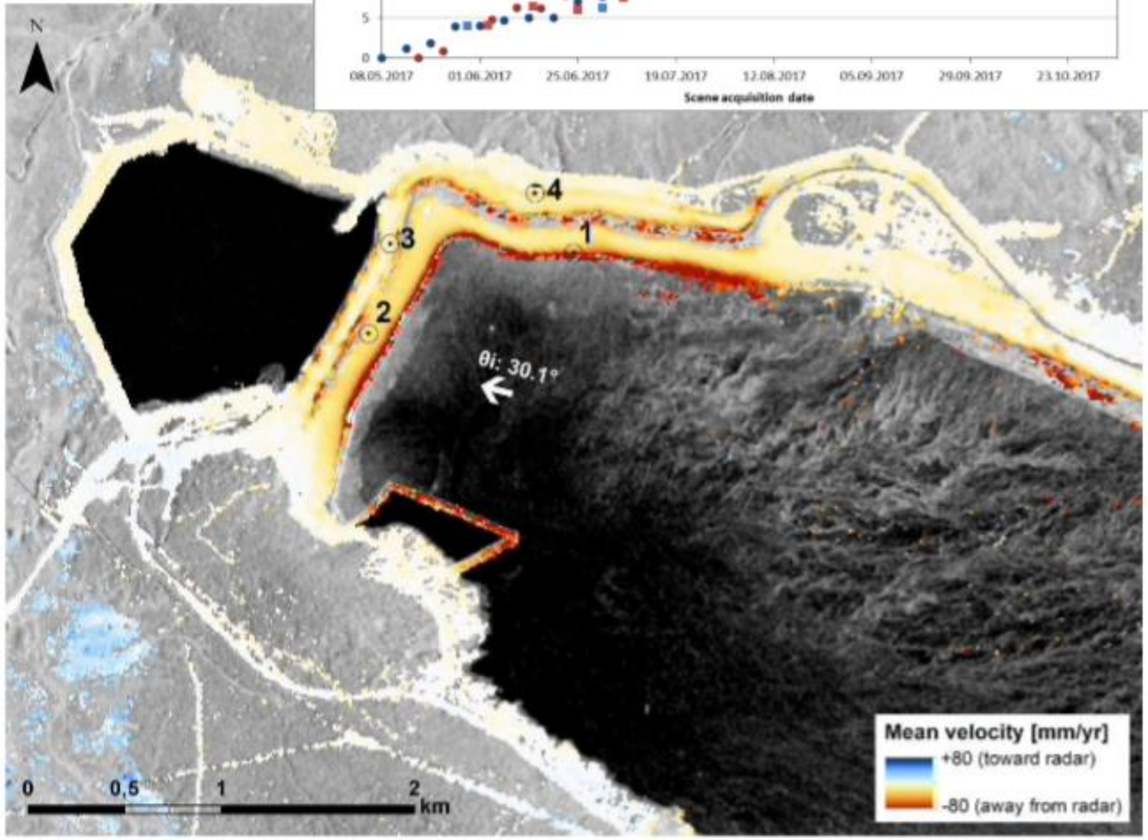


TerraSAR-X descending geometry

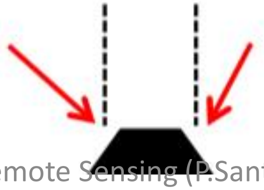


Sentinel-1 vs. TerraSAR-X



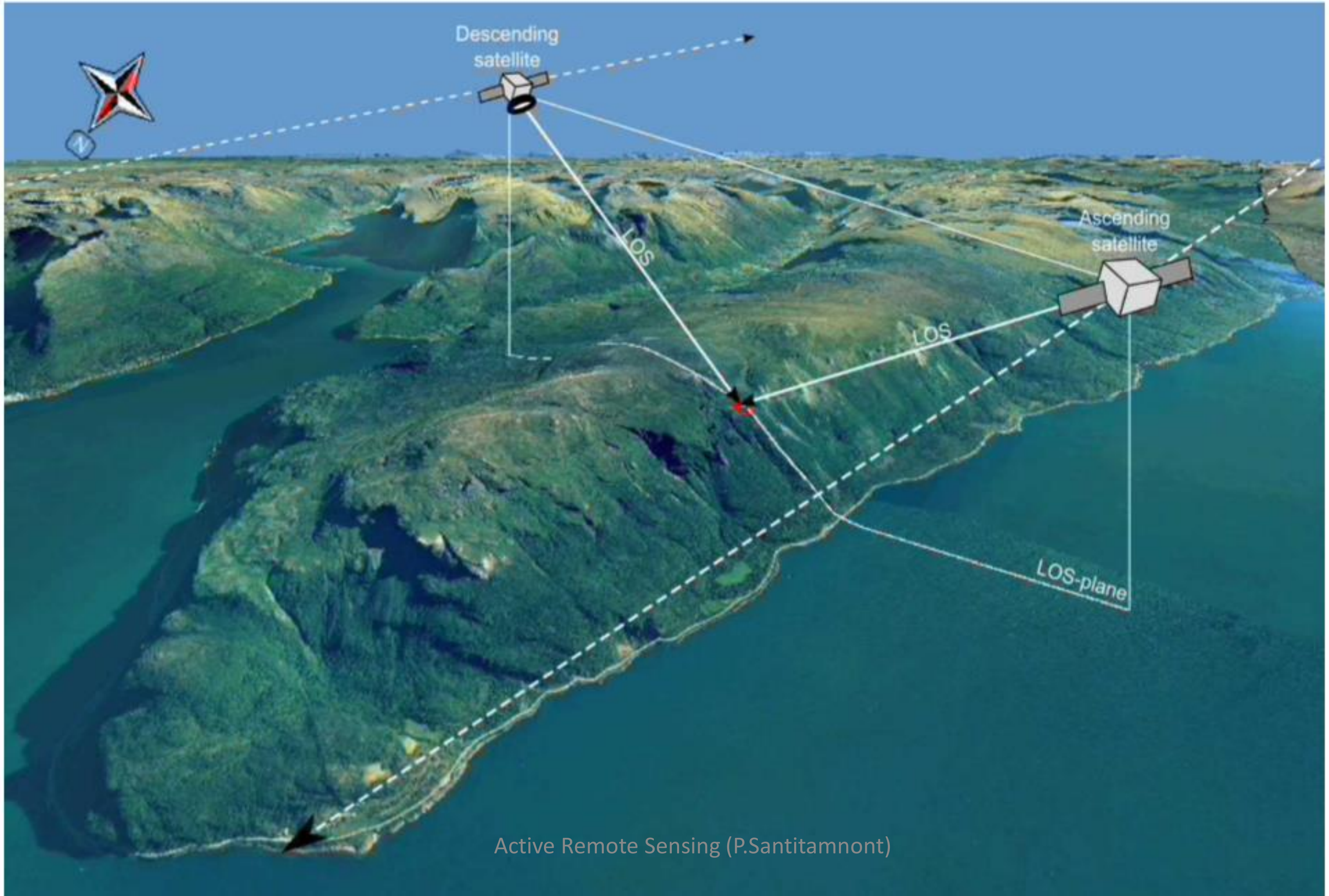


S1 descending geometry



TerraSAR-X descending geometry

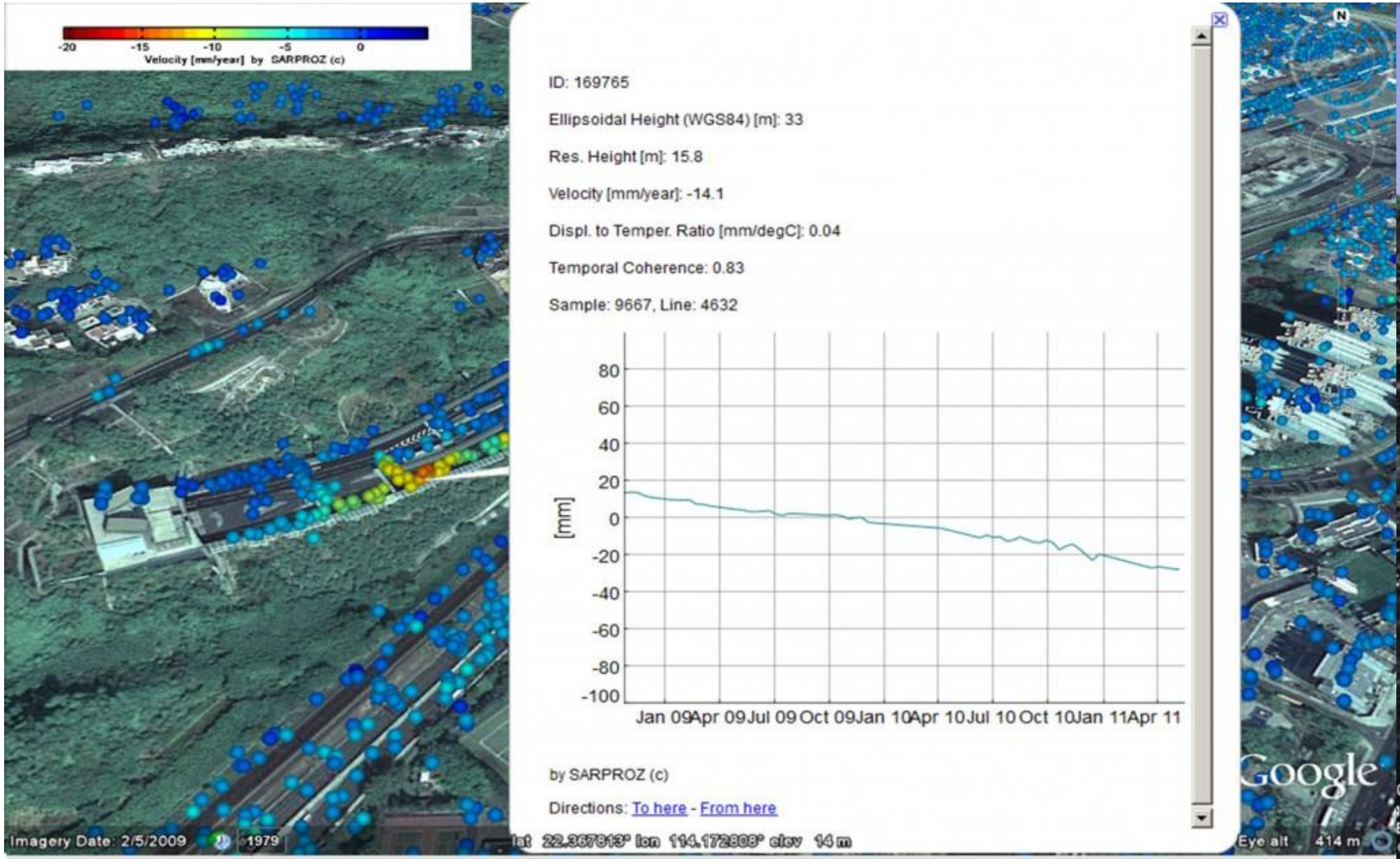
We can extract more information by combining ascending and descending geometries

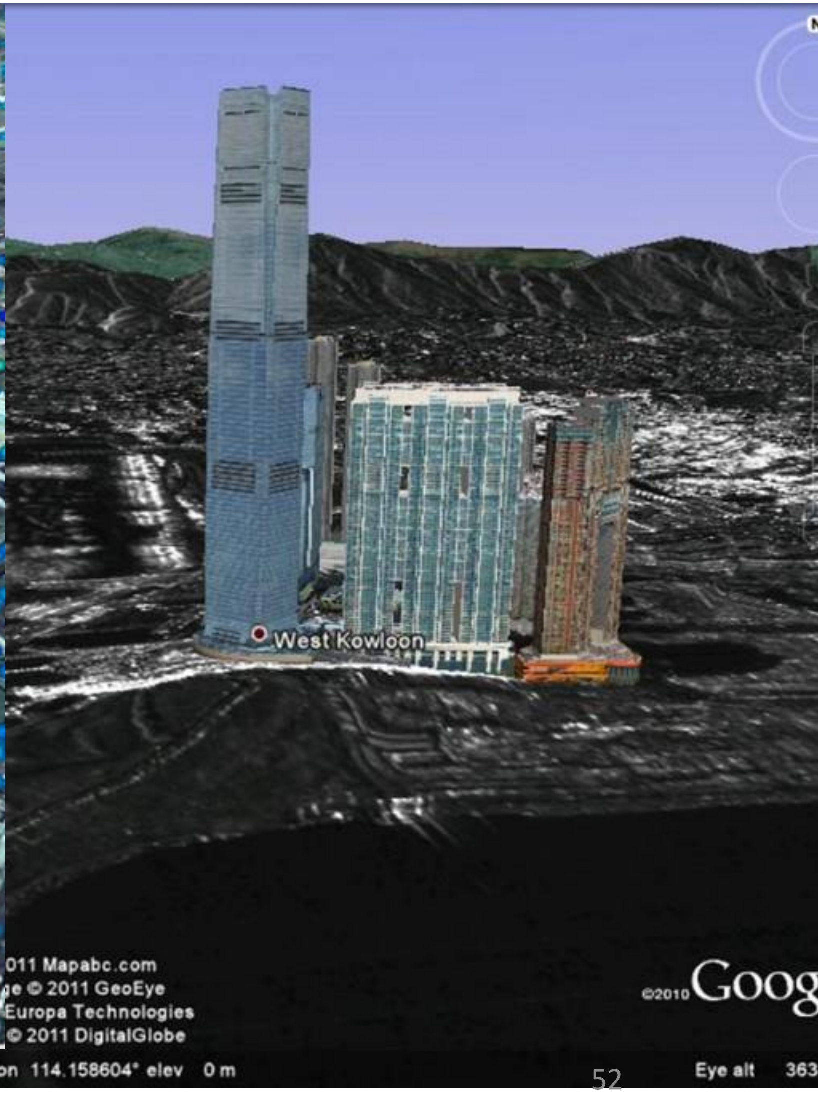


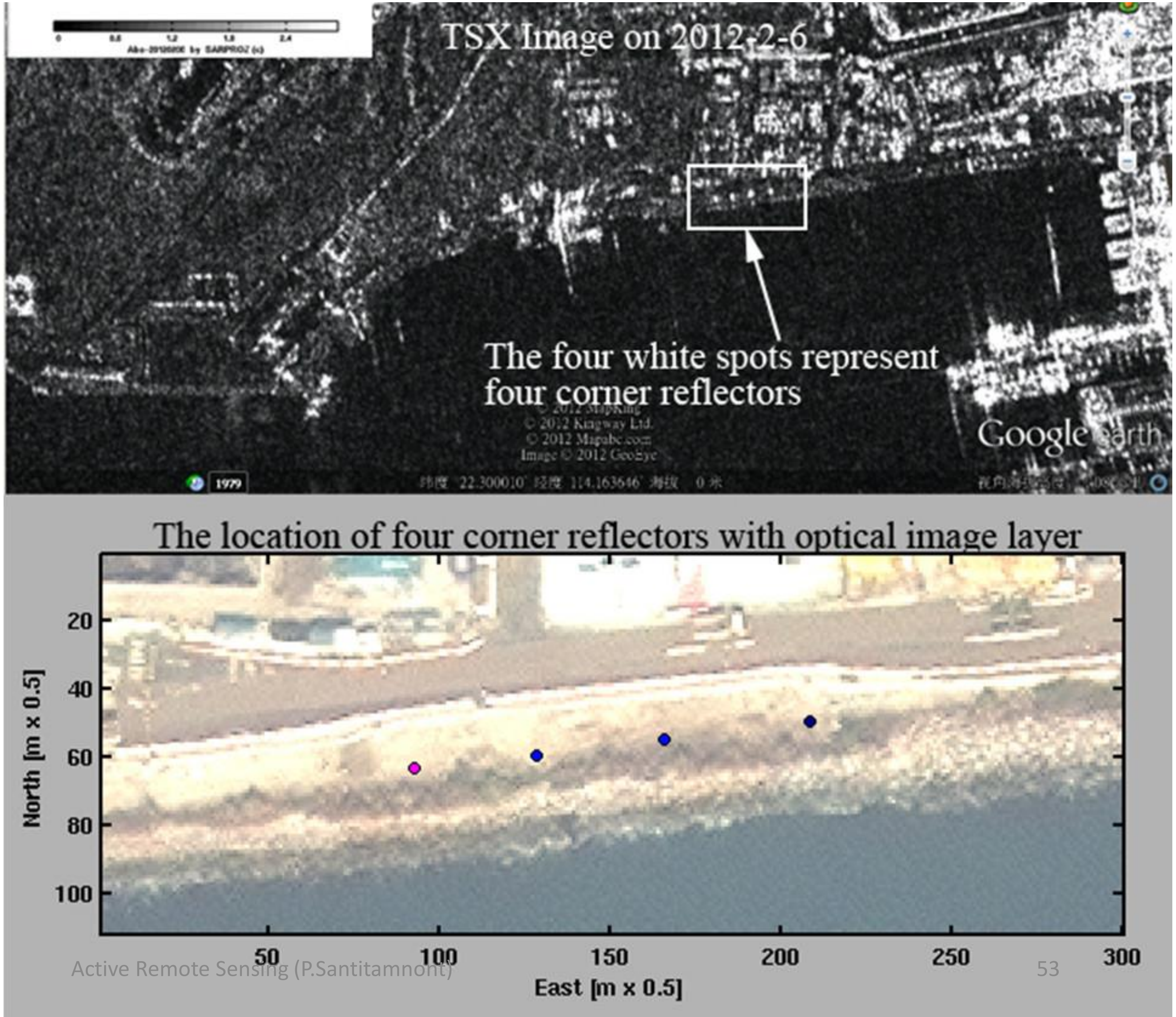
norut
NORTHERN RESEARCH INSTITUTE

L4

Hong Kong


-20 -15 -10 -5 0
Velocity [mm/year] by SARPROZ (c)
ID: 169765
Ellipsoidal Height (WGS84) [m]: 33
Res. Height [m]: 15.8
Velocity [mm/year]: -14.1
Displ. to Temper. Ratio [mm/degC]: 0.04
Temporal Coherence: 0.83
Sample: 9667, Line: 4632
80
60
40
20
0
-20
-40
-60
-80
-100
[mm]
Jan 09 Apr 09 Jul 09 Oct 09 Jan 10 Apr 10 Jul 10 Oct 10 Jan 11 Apr 11
by SARPROZ (c)
Directions: To here - From here
Imagery Date: 2/5/2009
1979
Google
Eye alt 414 m


West Kowloon
011 Mapabc.com
ge © 2011 GeoEye
Europa Technologies
© 2011 DigitalGlobe
©2010
Imagery Date: 2/5/2009
2000
lat 22.308208° lon 114.158604° elev 0 m
Eye alt


TSX Image on 2012-2-6
The four white spots represent
four corner reflectors
Google earth
The location of four corner reflectors with optical image layer
North [m x 0.5]
East [m x 0.5]
20
40
60
80
100
50
100
150
200
250
300

MIST_1_Radar Imaging from Cloud and Its Application แบบฝึกหัด การประยุกต์ใช้ภาพเรดาร์จากระบบ cloud service

a) น้ำท่วมใหญ่อุบล 2562

b) เขื่อนแตกในลาว 2561

วิธีปฏิบัติ

- ประมวลข่าวสารการเกิดเหตุการณ์ เขียน time-line “Incident …”
- ทำการสร้างขอบเขตพื้นที่ศึกษา AOI.kml ด้วย Google Earth polygon
- ศึกษาการใช้งาน AWS Sentinel-1 และ AWS Sentinel-2 ทำการลงทะเบียนก่อน
- ทดลองภาพถ่ายดาวเทียมชนิด passive RS
  - Sentinel 2A/2B ปริมาณเมฆ <50% มีกี่ภาพ (asc/dsc)
- หากใช้ภาพถ่ายดาวเทียม active RS
  - Sentinel 1A/1B มีภาพกี่ภาพ ดาวโหลดภาพ (เลือก georeference) แยกตามโฟลเดอร์ ตั้งชื่อตาม วันที่ที่
  - เขียน time-line “Data Availability …”
- จากชุดภาพที่ได้
  - ให้เลือกมา 1 ห้วงเวลา เขียน python / rasterio คำนวน “flood mask”
  - If Sigma0_VV < 0.02 then “flooded”
  - Ref: youtube → RUS Webinar: Flood Mapping with S1 – HAZA01
- พื้นที่น้ำท่วม = พื้นที่น้ำท่วมขังทั้งหมด – พื้นที่แหล่งน้ำในห้วงเวลาปกติ

Ex1_Flood Monitor via Radar on AWS Cloud Service

GADM : Database of Global Administrative Areas

GADM Maps Data About

Download GADM data (version 3.6)

Country

Thailand

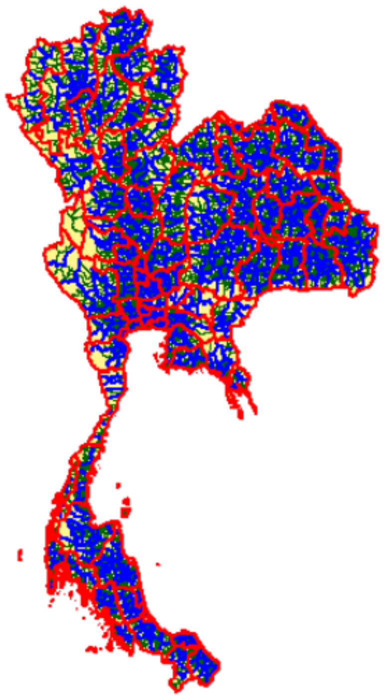
Geopackage

Shapefile

R (sp): level-0, level1, level2, level3

R (sf): level-0, level1, level2, level3

KMZ: level-0, level1, level2, level3



The coordinate reference system is longitude/latitude and the WGS84 datum.

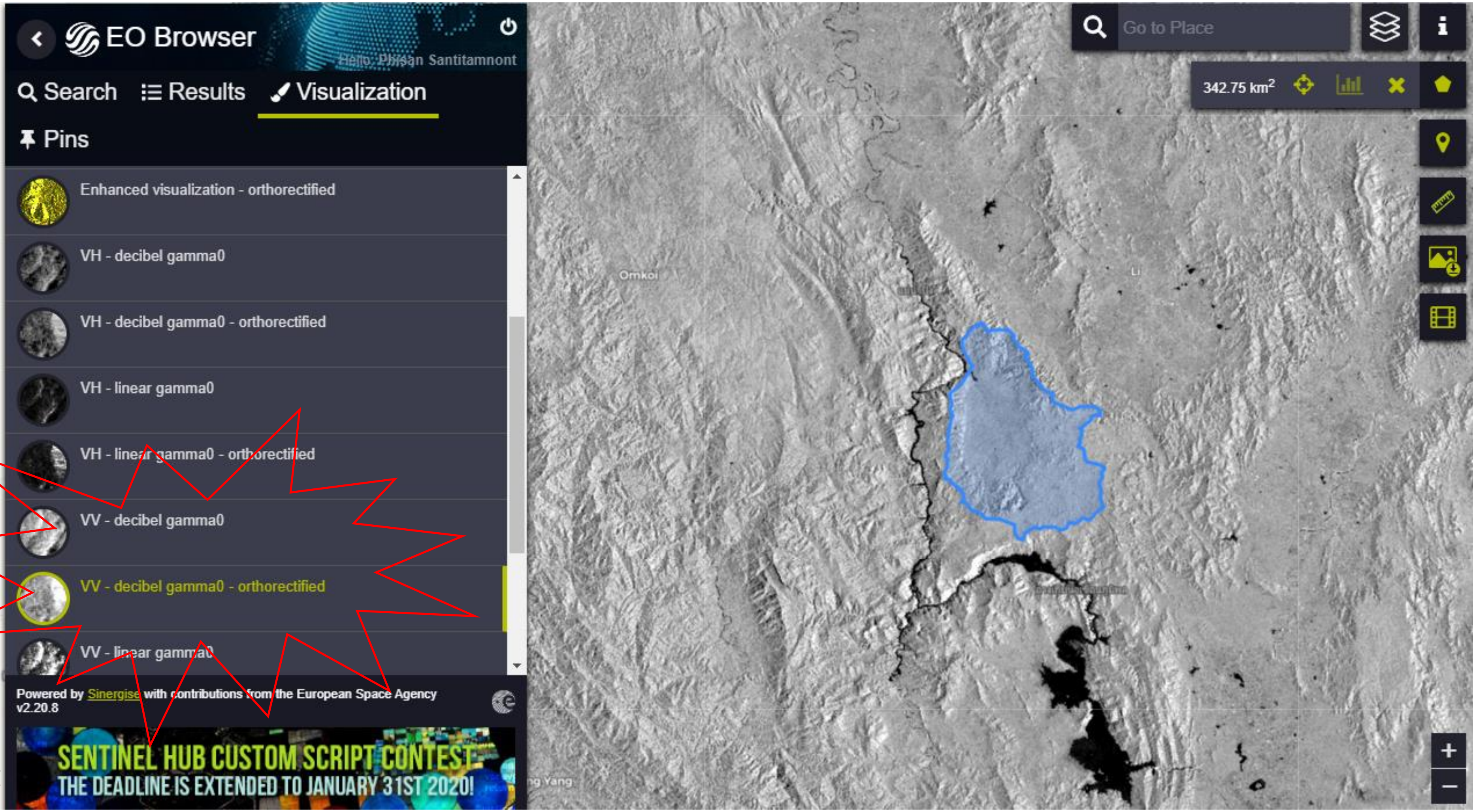
Description of file formats.

เลือกภาพดาวเทียมสัก 3-4 ช่วงเวลา (ก่อน /กำลังเกิด/ หลัง) น้ำท่วม

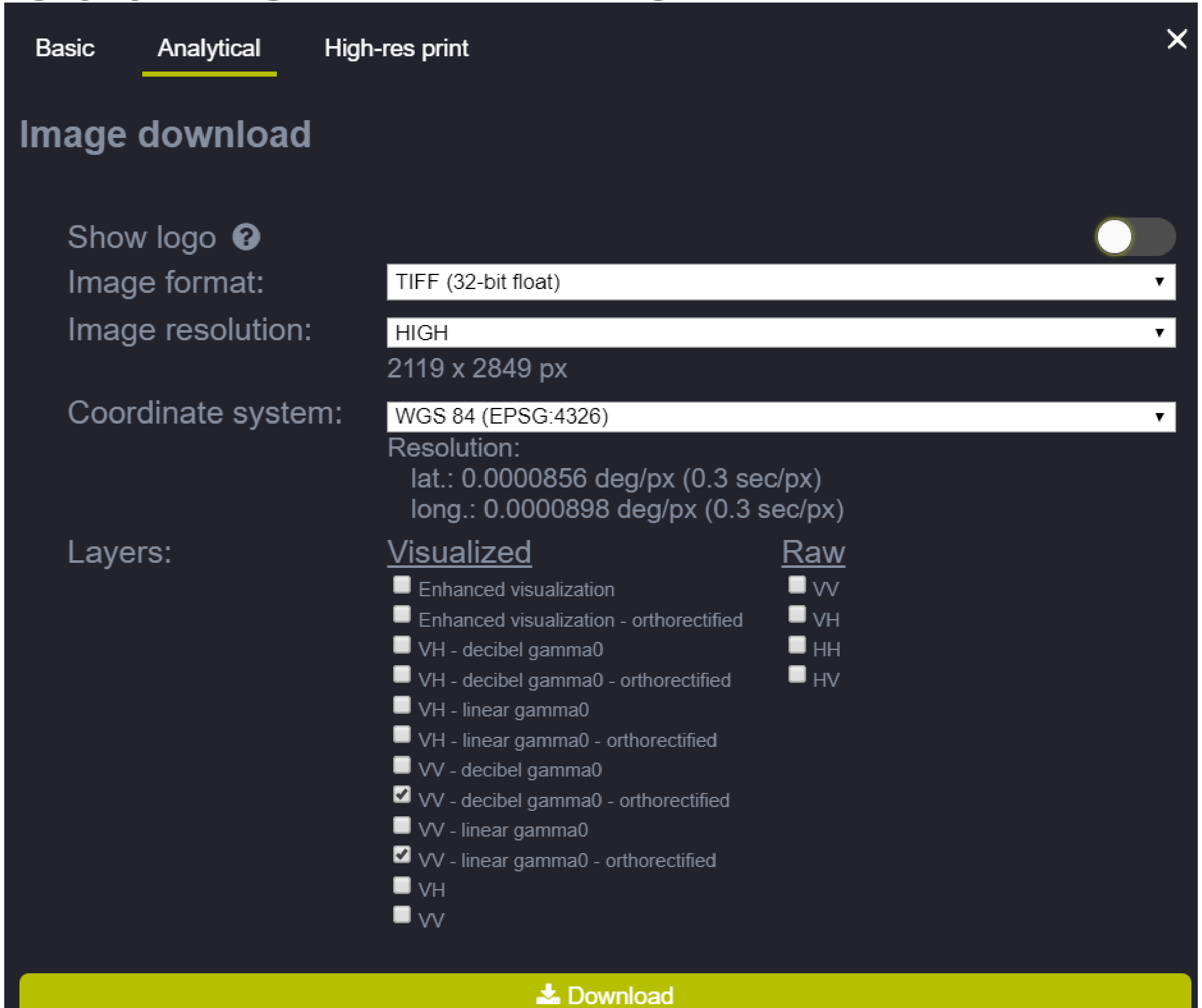
Four Sentinel-1A IW GRDH images with VV polarization acquired before the flood event on 29 December 2014 and during the flood event on 22 January, 27 February and 23 March 2015 [downloadable @ https://scihub.copernicus.eu/]

S1A_IW_GRDH_1SSV_20150323T030724_20150323T030752_005153_0067F3_832F.zip
S1A_IW_GRDH_1SSV_20150227T030723_20150227T030752_004803_005F89_DB68.zip
S1A_IW_GRDH_1SSV_20150122T030723_20150122T030752_004278_005347_8809.zip
S1A_IW_GRDH_1SSV_20141229T030724_20141229T030753_003928_004B86_DA25.zip

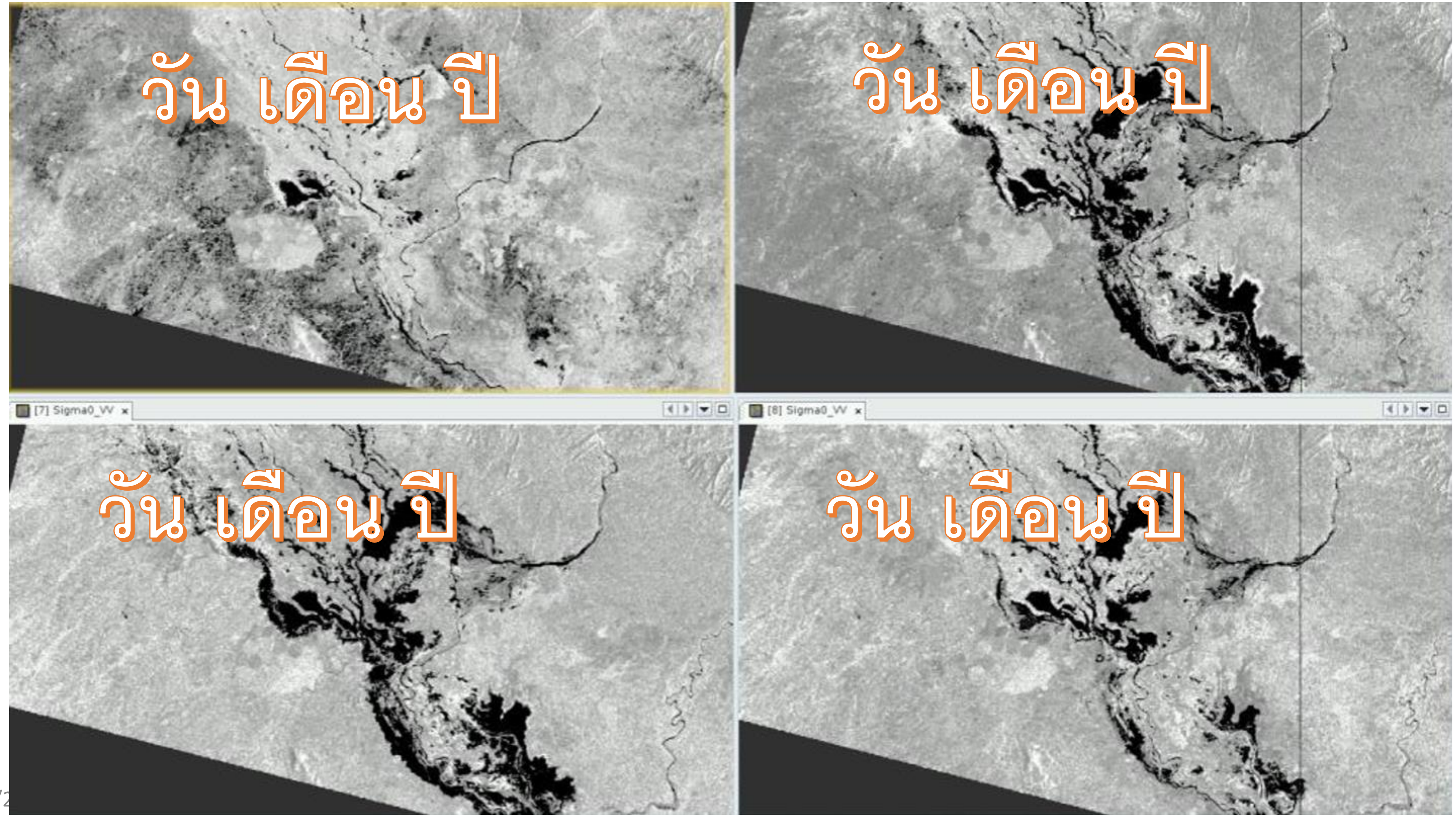
Flood Monitoring : VV orthorectified decibel/linear →actual data | gamma0→ visualize



Download AOI : TIFF or KML



นำภาพ 4 ช่วงเวลา มาแสดงพร้อมกัน (decibel /linear)



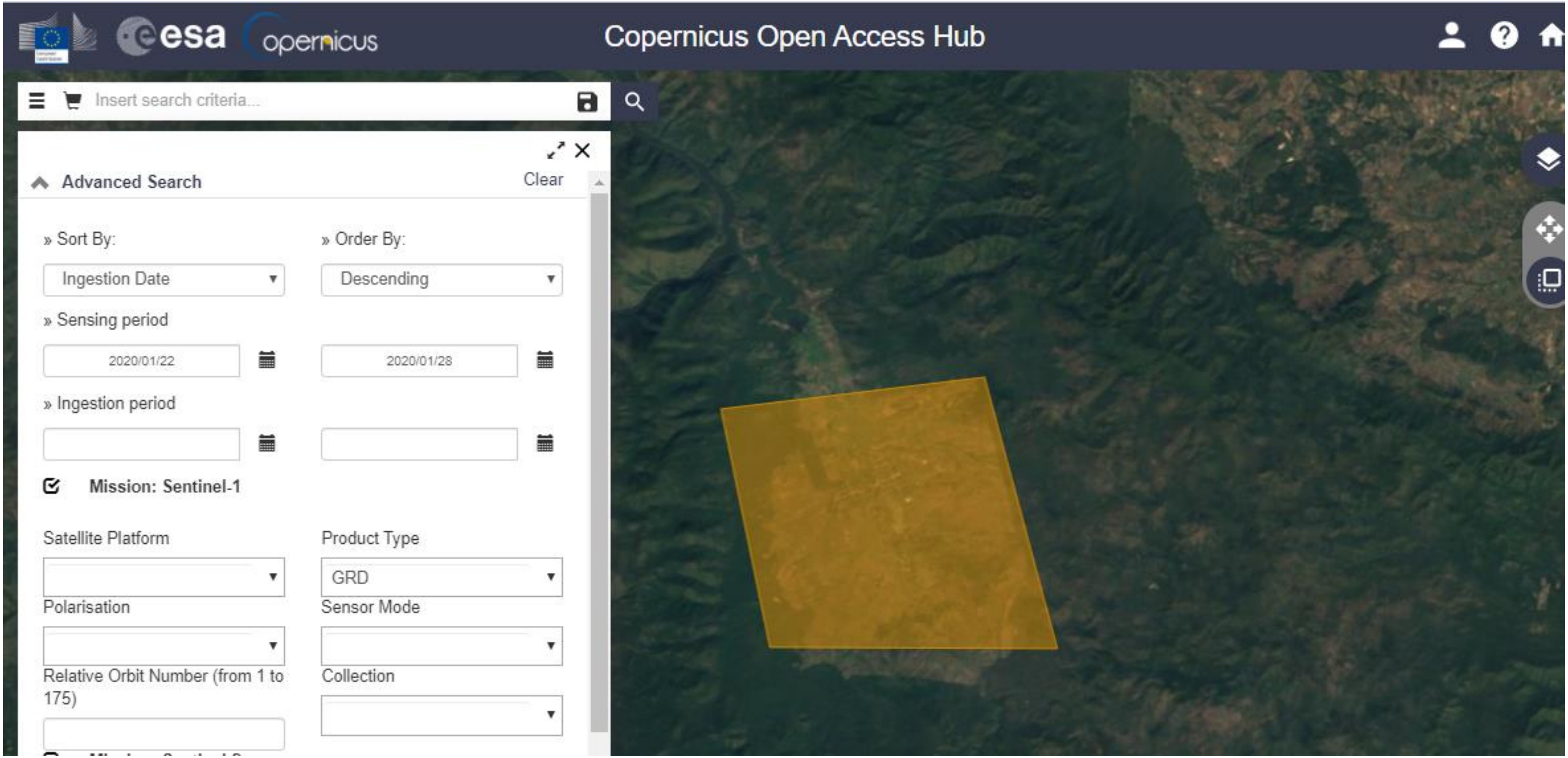
Ex2_Radar_RTC_Processing

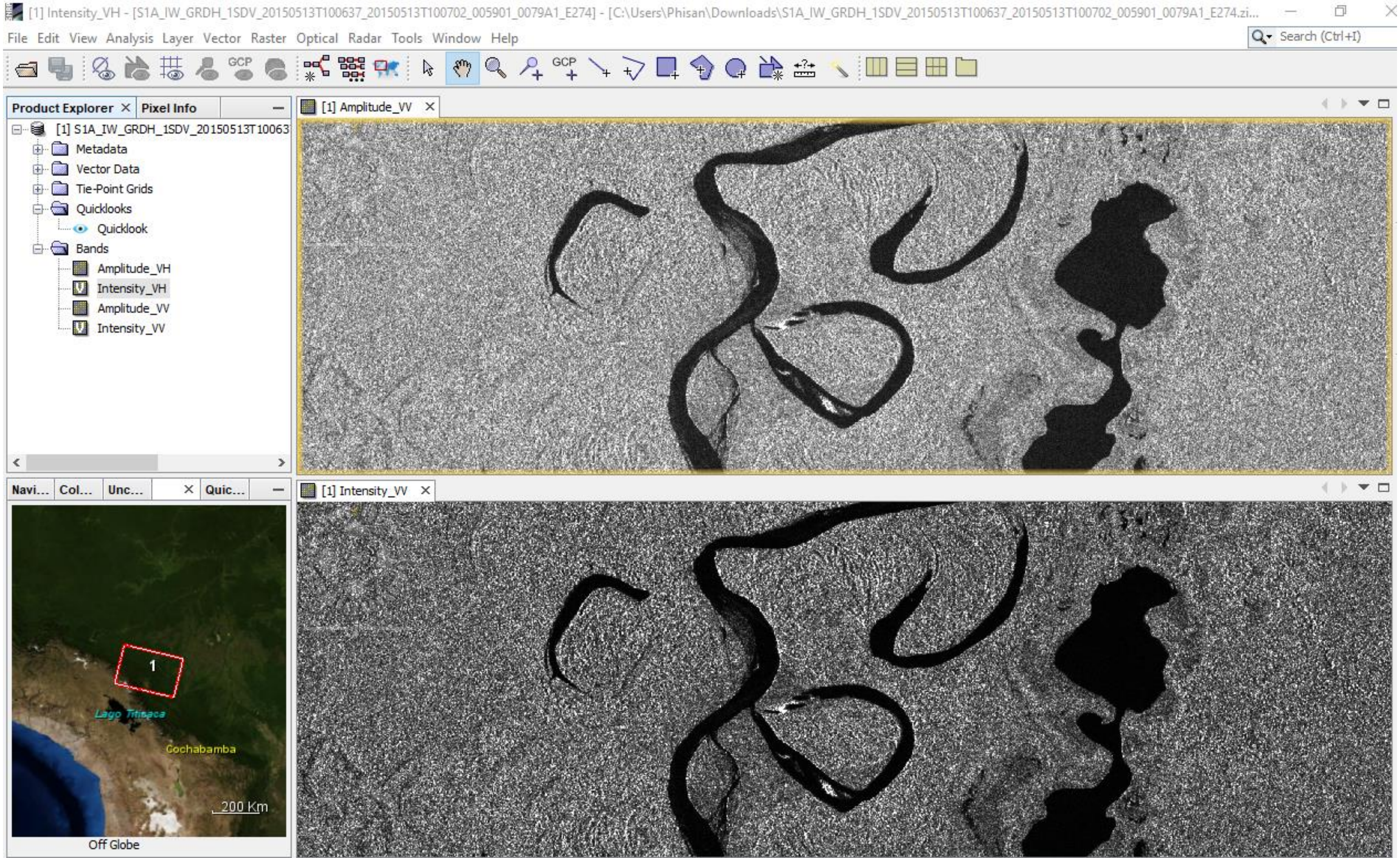
Generating a Radiometrically Terrain Corrected (RTC) Image using the Sentinel-1 Toolbox (S1TBX)

This data recipe is for users who wish to generate an RTC image from Sentinel-1 data using easy-to-follow instructions in a graphical user interface (GUI).

Document Contents:

A) Background 1
B) Materials List 2
C) Preparing Software and Workspace 2
D) Steps for Generating an RTC Image 2
    Open the GRD granule in S1TBX 2
    Apply Radiometric Terrain Correction 3
E) OPTIONAL: View RTC Image in a GIS Program 8
    ArcGIS 9
    QGIS 10
        QGIS 2.18 11
        QGIS 3.X 11


esa
opernicus
Copernicus Open Access Hub
Insert search criteria...
Advanced Search
Clear
» Sort By:
Ingestion Date
» Order By:
Descending
» Sensing period
2020/01/22
2020/01/28
» Ingestion period
Mission: Sentinel-1
Satellite Platform
Product Type
GRD
Polarisation
Sensor Mode
Relative Orbit Number (from 1 to 175)
Collection


[1] Intensity_VH - [S1A_IW_GRDH_1SDV_20150513T100637_20150513T100702_005901_0079A1_E274] - [C:\Users\Phisan\Downloads\S1A_IW_GRDH_1SDV_20150513T100637_20150513T100702_005901_0079A1_E274.zi...
File Edit View Analysis Layer Vector Raster Optical Radar Tools Window Help
Search (Ctrl+I)
Product Explorer
Pixel Info
[1] S1A_IW_GRDH_1SDV_20150513T10063
Metadata
Vector Data
Tie-Point Grids
Quicklooks
Quicklook
Bands
Amplitude_VH
Intensity_VH
Amplitude_VV
Intensity_VV
[1] Amplitude_VV
[1] Intensity_VV
Navi...
Col...
Unc...
Quic...
1
Lago Titicaca
Cochabamba
200 Km
Off Globe

Radiometrically Terrain-Correc (RTC)

ASF RTC Product

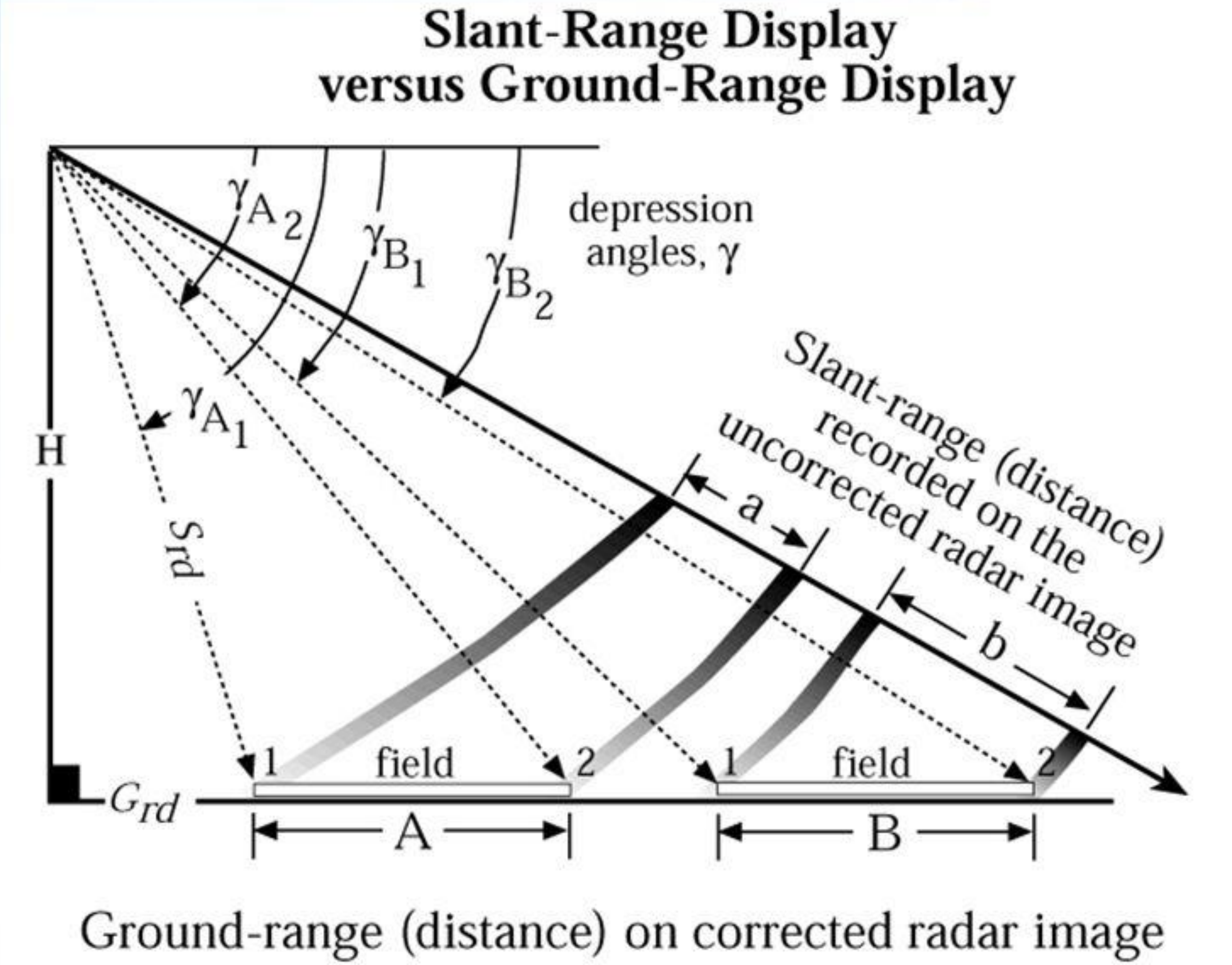
- SLC -> GRD (RTC)
- procSentinelRTC_Receipt.py

- Search : sentinelsat / Python
- https://pypi.org/project/sentinelsat/

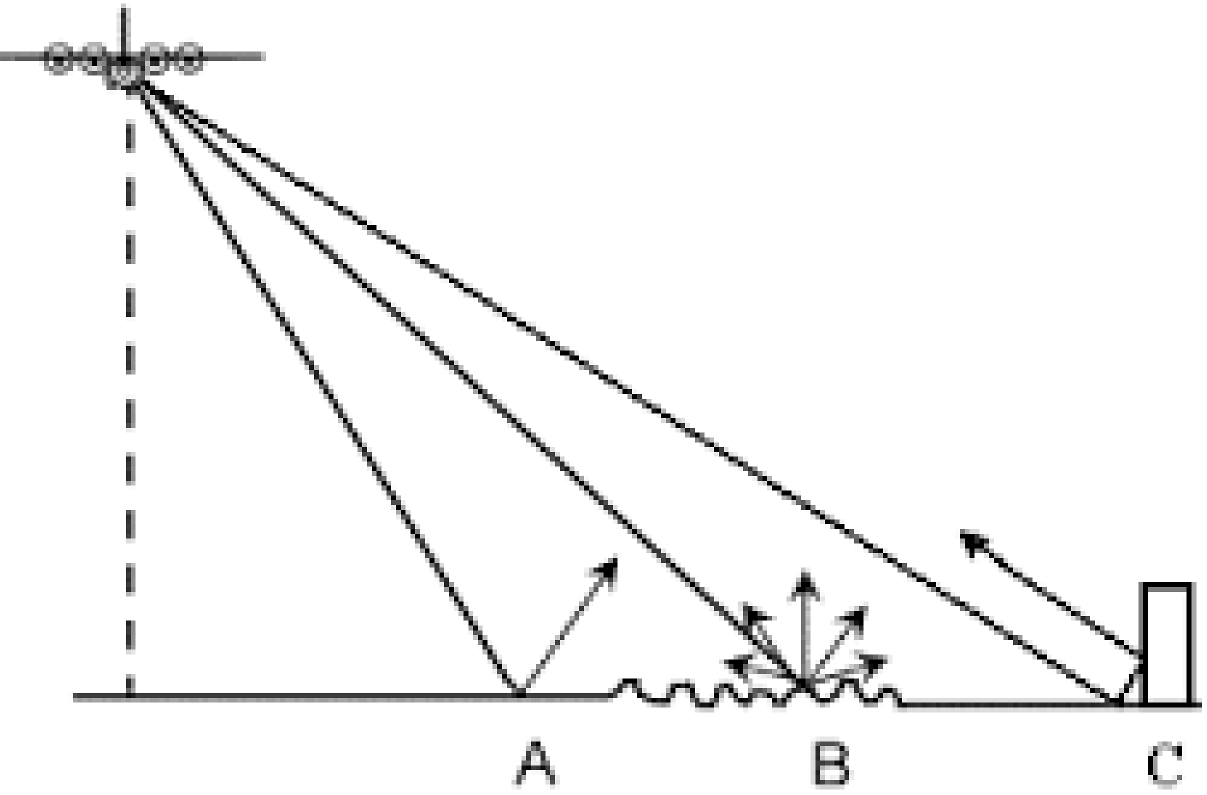
- **HAZA01_FloodMapping_Malawi_Tutorial.pdfa**

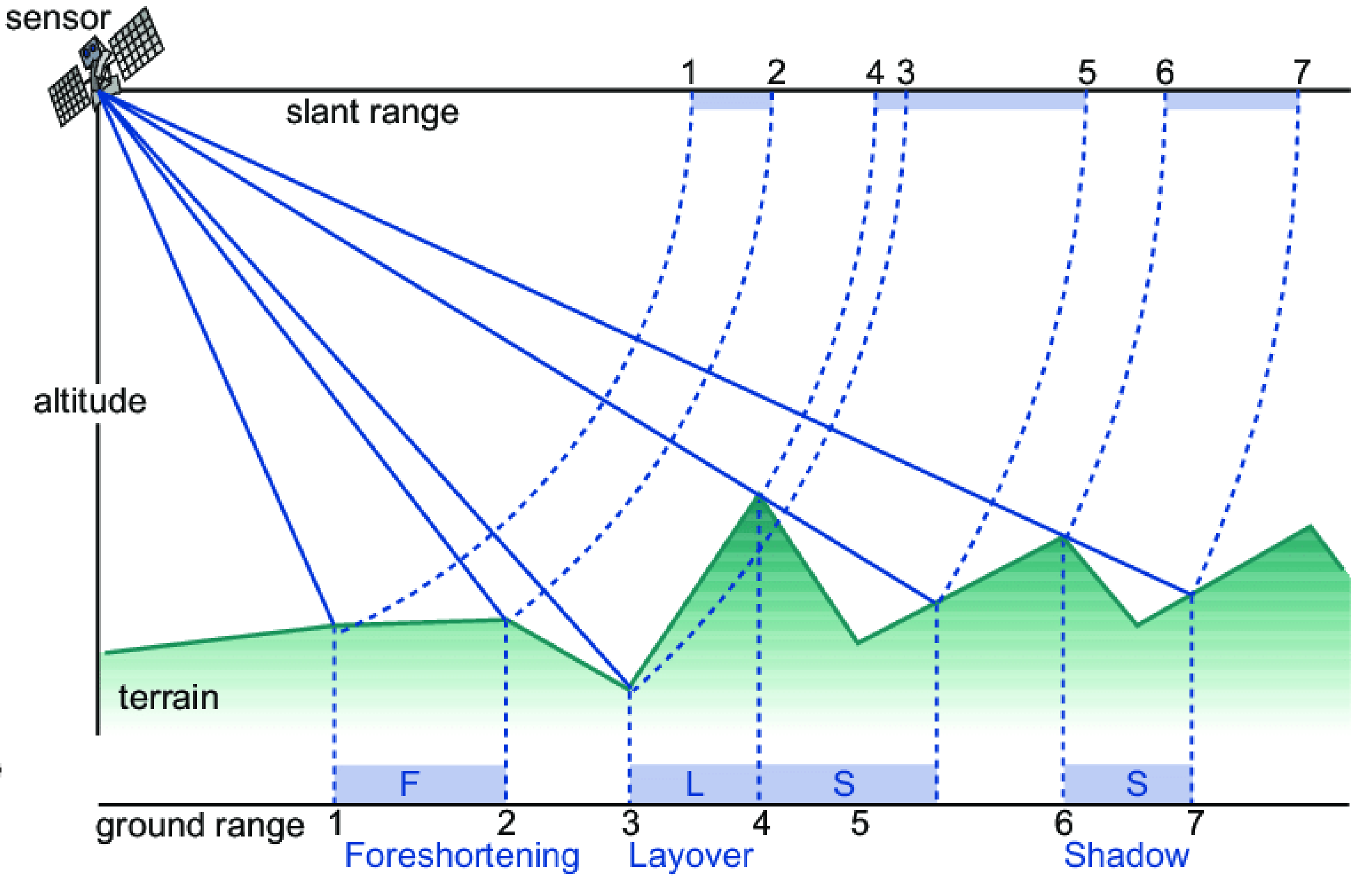
Backup Slides

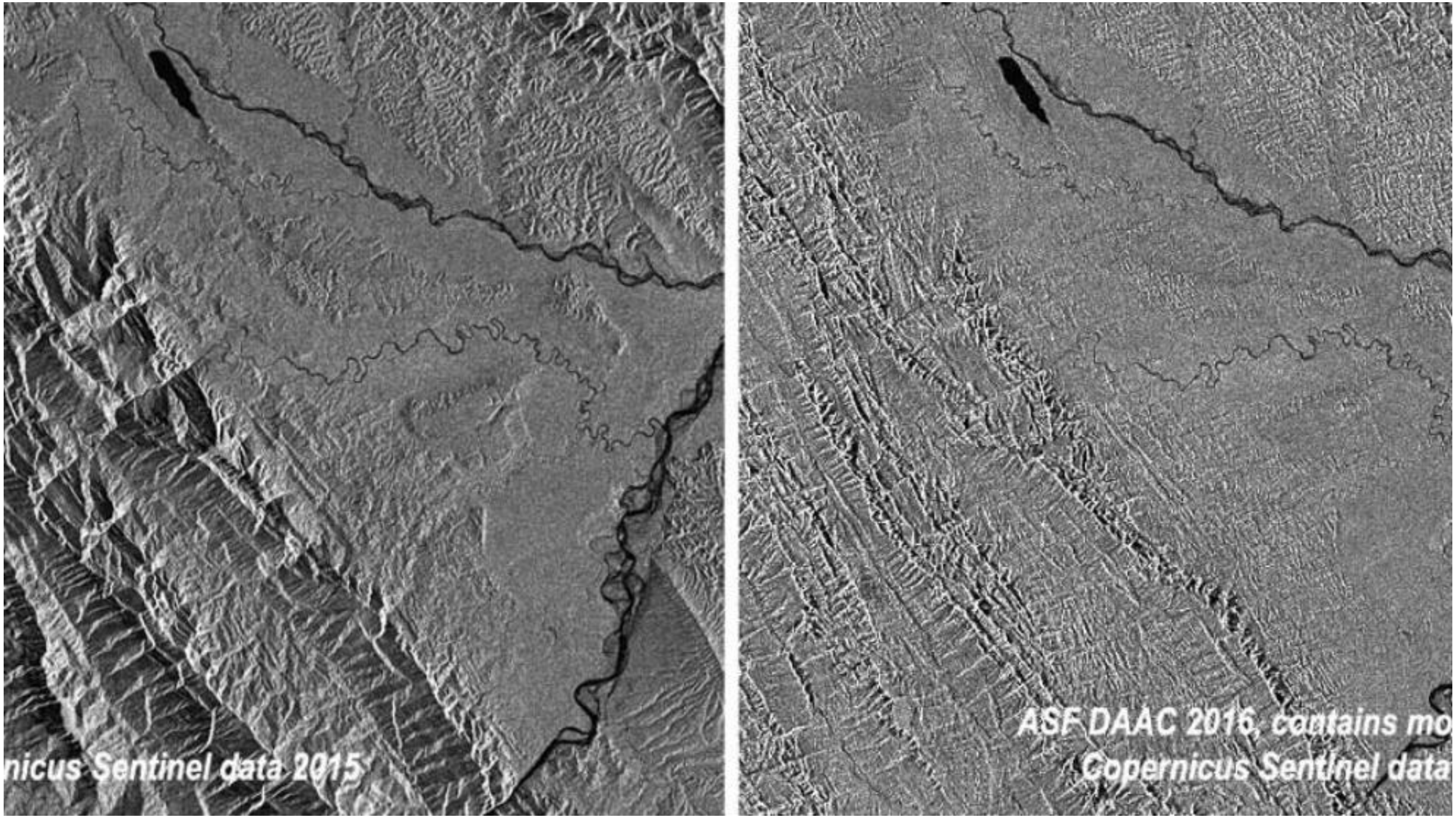
Radar geometry



Slant geometry distorts both radiometry &geometry



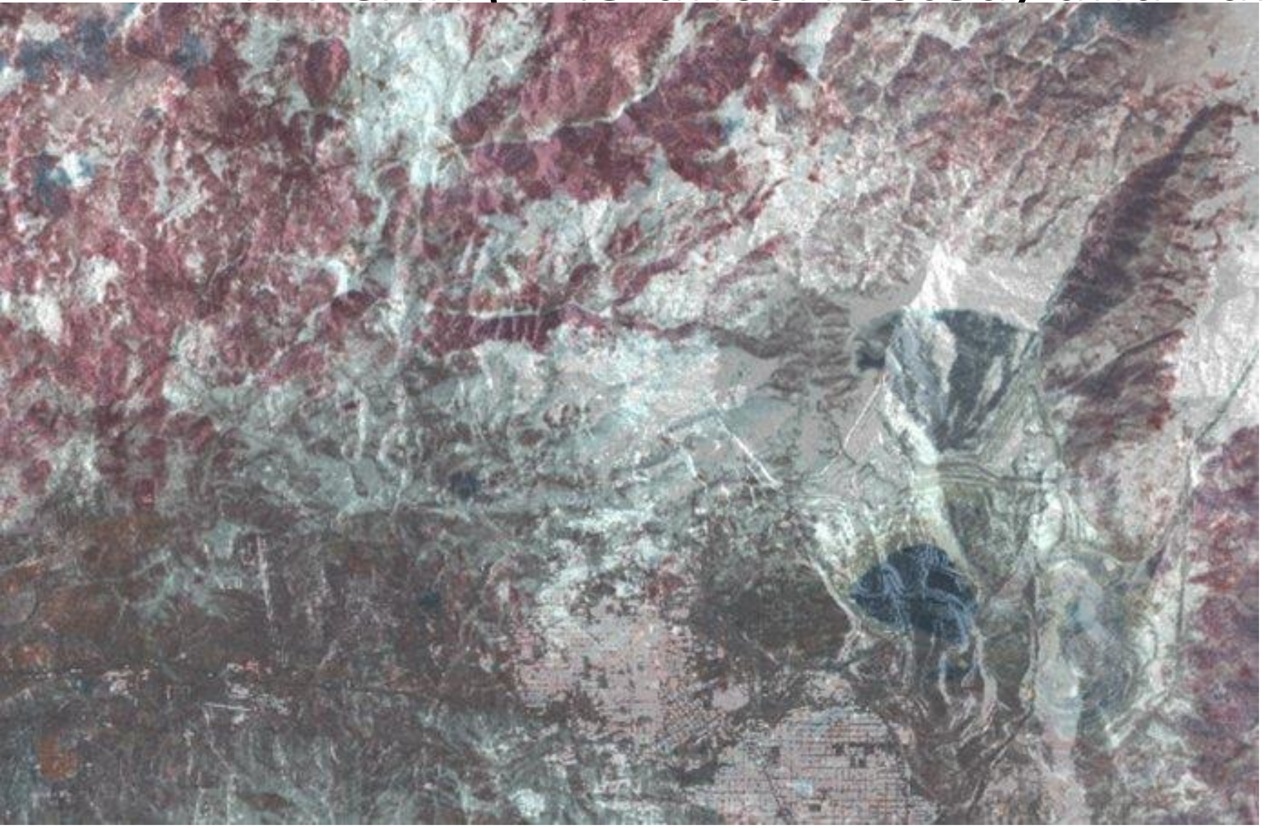


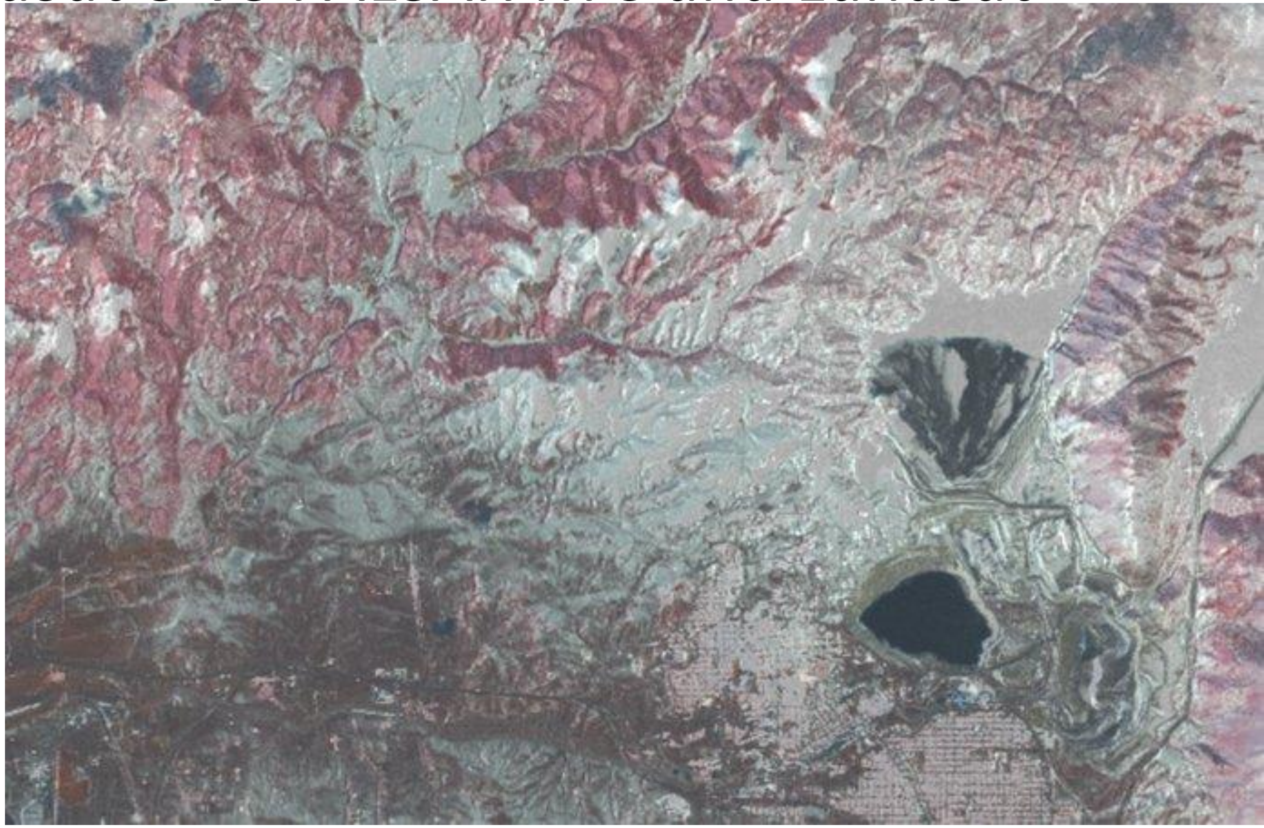

nicus Sentinel data 2015
ASF DAAC 2016, contains mo
Copernicus Sentinel data

Fusion LandSat8 with RTC radar image

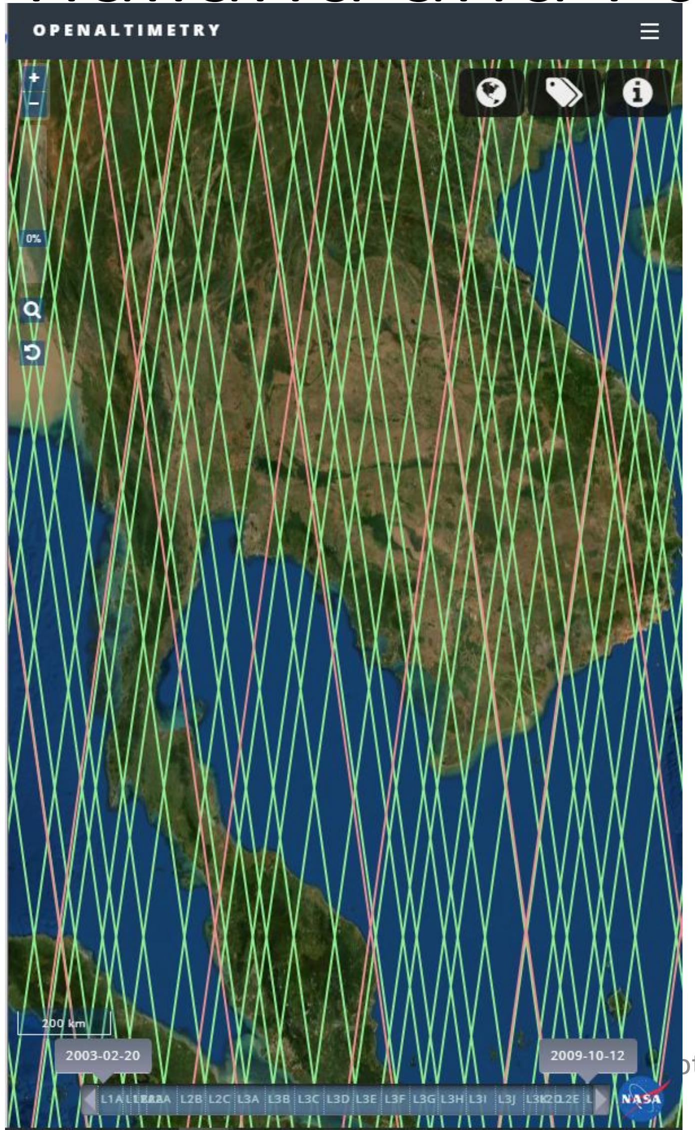
Note the incoherent appearance.

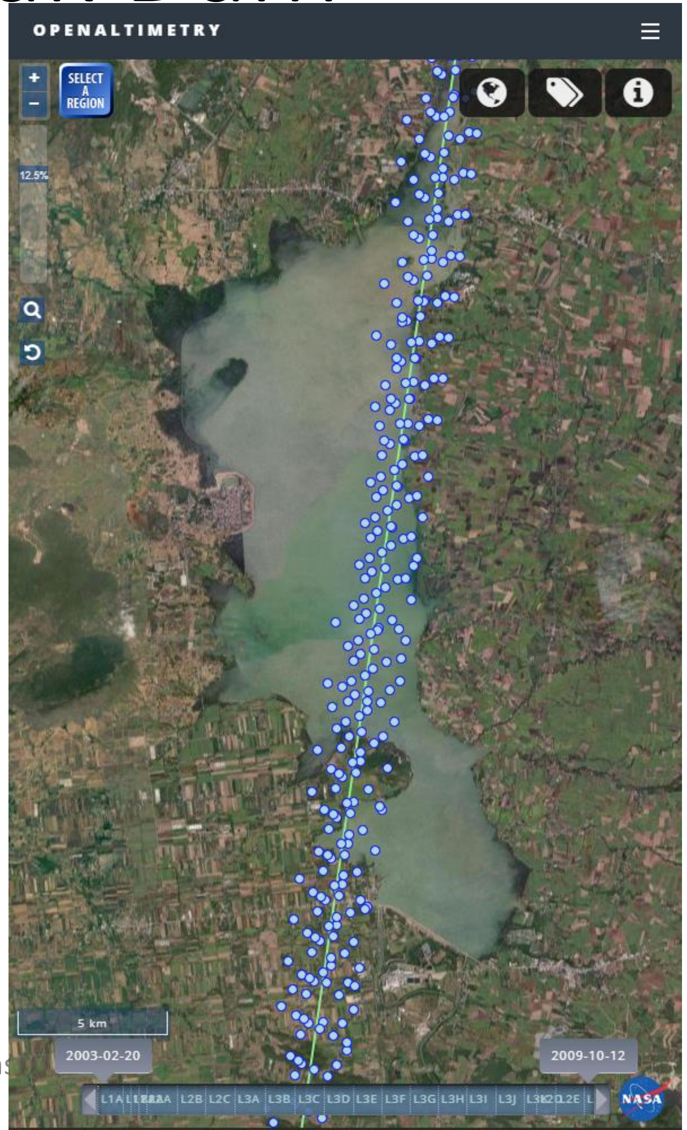
- *PALSAR (L1.5 uncorrected) and Landsat 8 VS PALSAR RTC and Landsat*





ICESat-1 (2003-2010)
over Thailand and Pasak Dam





ICESat-2 (2018 ++)