

Remote Sensing

Ch. 3 Microwaves (Part 2 of 2)

- 3.5 목표물과 상호작용, 이미지 외관
- 3.6 레이더 이미지 성질
- 3.7 고급 레이더 응용
- 3.9 항공 v.s. 위성 레이더
- 3.10 항공과 위성 레이더 시스템

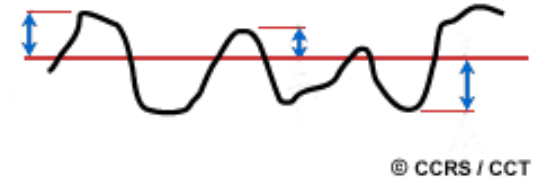
3.5 Target Interaction and Image Appearance

- 레이더 이미지에서 대상의 밝기는 대상에서 다시 레이더로 반환되는 송신 에너지의 양에 따라 달라집니다.
- 이렇게 후방산란된 에너지의 크기나 강도는 레이더가 여러가지 변수의 함수인 표면과 어떻게 상호 작용하는가에 의존합니다.
- 그 변수 들은 다음과 같다 :
 - 레이더 시스템의 특성 (주파수, 분극(*polarization*), 관측구도(*viewing geometry*), 등.)
 - 표면의 특성 (피복(*landcover*) 타입, 지형(*topography*), 기복(*relief*), 등).
- 이러한 여러 특성들이 상호 연관되어 있기 때문에, 이미지에서 대상의 밝기는 이러한 변수들의 몇 개의 조합으로 주어진다.
- 근본적으로 레이더의 에너지와 타겟의 상호작용을 제어하는 세 영역.
 - ✓ 목표물의 표면 거칠기(**Surface roughness**)
 - ✓ 레이더의 관측과 표면의 기하학적 관계(**geometry relationship**)
 - ✓ 목표물의 수분함량과 전기적 특성.

3.5 Target Interaction and Image Appearance

1) 목표물의 표면 거칠기(surface roughness)

- 대상의 표면 거칠기는 마이크로파 에너지가 그 표면 또는 대상과 **어떻게 상호 작용**하는 지를 조절하며, 일반적으로 레이더 이미지에 보여지는 **톤을 결정하는 주요 인자**이다.



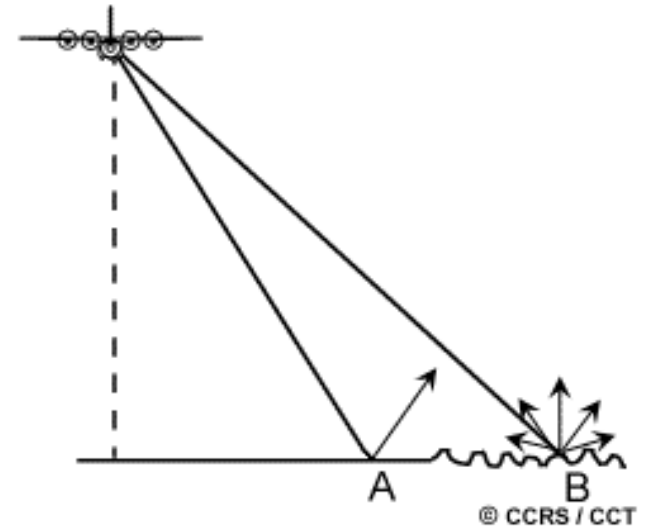
- **표면 거칠기** : 편평한 표면으로부터 커버의 **평균 높이 변화**를 의미하고, **cm 단위로** 측정된다. 표면이 레이더에 **거칠거나(rough) 부드럽게(smooth)** 표시될 지 여부는 **파장과 입사각(incidence angle)**에 따라 달라진다.

- 간단히 말해, 표면은 다음과 같이 표현된다 :
 - "부드럽다" : **높이 변화가 레이더 파장보다 훨씬 작은 경우**
 - "거칠다" : **높이 변화가 파장의 크기에 근접하기 시작하면**

따라서, 주어진 표면이 파장이 보다 짧아질수록 거칠게 나타나며, 파장이 보다 길어지면 부드럽게 보이게 된다.

3.5 Target Interaction and Image Appearance

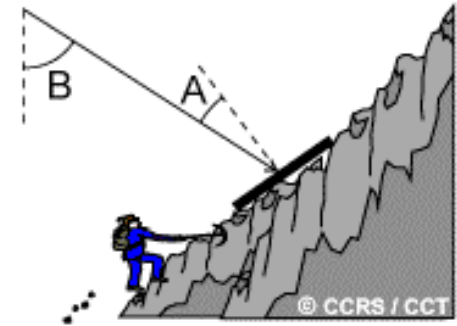
- **부드러운 표면 (A)**는 입사 에너지의 **전반사**(거울 같은반사)가 (일반적으로 센서로부터 먼 쪽으로) 발생하기 때문에 에너지의 단지 **소량만이 레이더로 돌아온다**. 이것은 이미지에서 **부드러운 표면이 어두운 밝기** 영역으로 나타나게 한다.
- **거친 표면 (B)**는 모든 방향으로 거의 균등하게 에너지를 **산란**하며(즉, 확산), 에너지의 **상당 부분이 레이더에 후방산란** 될 것이다. 따라서, **거친 표면은 이미지에서 밝은 밝기**로 나타납니다.
- 파장과 함께 **입사 각도** 또한 표면의 겉보기 거칠기에 한 역할을 한다. 주어진 표면과 파장에서, 표면은 **입사각이 증가함에 따라 부드럽게** 보일 것이다. : 따라서, 우리가 가까운 곳에서 먼 곳으로 **관측폭을 가로 질러 이동**함에 따라서, 더욱 **적은 에너지가 센서로 반환**되고, 이미지는 **점점 더 어두운 밝기**를 갖게 된다.



3.5 Target Interaction and Image Appearance

2) 레이더 관측과 표면 형태

- 국지적 입사각(local incidence angle)은 레이더 빔과 입사지점 (A)의 경사면에의 수직선 사이의 각도이다. 따라서, 국지적 입사각은 레이더 빔에 대한 관계에서 지형의 국지적 기울기를 고려해야 한다.



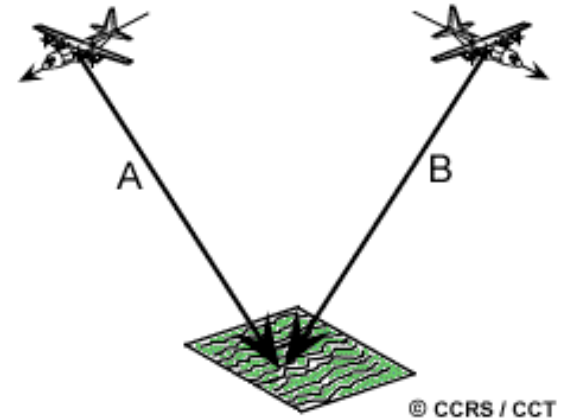
- 평지에서는, 국지적 입사각이 레이더 시야 각도(B)와 동일하다. 기복이 있는 지형에서는, 이것이 사실이 아니다. 일반적으로, 레이더 쪽으로 향하는 곳의 경사면은 작은 국지적 입사각을 가지며, 센서를 향한 상대적으로 강한 후방산란을 일으켜, 이미지가 밝은 톤의 외관을 갖게한다.

- 국지적 입사각의 개념이 보여주듯이, 관측구도(viewing geometry)와 표면의 형상(geometry of the surface)과 관계는 레이더 에너지가 대상과 상호 작용하는 방식 및 이미지에서의 해당 밝기에 중요한 역할을 한다.

관측 구도의 변화는 포어쇼트닝, 레이오버, 그리고 그림자들이 표면 경사, 방향, 모양에 따라 발생하는 다양한 정도로 지형과 기복을 다양한 방식으로 강조하고 향상시킬 것입니다.

3.5 Target Interaction and Image Appearance

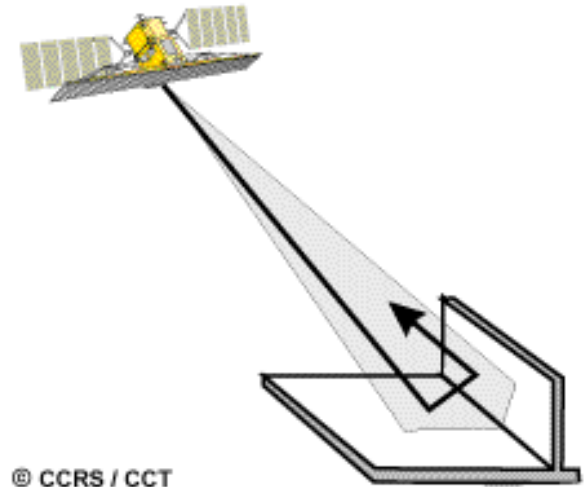
- 레이더의 **관측 방향(look direction)** (또는 **면 각도(aspect angle)**) : 지표의 **선형 대상의 방향 또는 정렬**에 대한 송신 레이더 빔의 방향을 설명합니다.
- **관측 방향(look direction)**이 레이더 이미지에서 대상의 **표현에 크게 영향을 미칠 수 있다**. 특히, (농작물 또는 산맥 등 처럼) **선형 구조로 구성되어 지표 대상**의 경우가 그렇다.



- **관측 방향(look direction)**이 대상의 방향에 수직에 가까운 경우 (A), 입사 에너지의 많은 양의 센서로 다시 반사되고 대상은 **밝은 톤**으로 표시됩니다.
- **관측 방향(look direction)**이 대상의 방향에 대하여 더 **비스듬한(oblique)** 경우 (B), 더 적은 에너지가 레이더에 돌아오고, 대상은 **밝기가 어렵게** 나타납니다.
- **관측 방향**은 이미지의 대상들 사이의 **대비를 향상**시키는데 중요합니다. 산악 지역에서 **레이오버 및 그림자 등의 효과를 최소화**하기 위해 **적절한 관측 방향**을 갖는 것이 특히 중요합니다. 서로 다른 관측 방향에서 이미지를 획득함으로써, 레이더에 대해 서로 다른 방향을 갖는 대상들의 식별을 향상시킬 수 있다.

3.5 Target Interaction and Image Appearance

- 서로 직각을 이루는 두 개(또는 그 이상)의 표면 (일반적으로 부드러운) 을 가진 대상은 이 '코너(corner)'가 레이더 안테나의 기본 방향을 향하는 경우 코너 반사(corner reflection)가 발생하는 원인이 될 수 있습니다.
- 직각을 이루는 표면의 형태는 레이더 에너지의 대부분이 더블 바운스(또는 그 이상)에 의한 바로 안테나로 다시 돌아가도록 반사됩니다.
- 도시 환경에서는 복잡한 각도 형태에 의한 코너 반사면(예를 들어, 건물과 도로, 교량과 그 외의 인공구조물)이 흔히 존재한다.
- 자연적으로 발생하는 코너 반사면에는 심각하게 접힌 바위와 절벽 면 또는 물에 똑바로 서 있는 식물들이 포함 될 수 있다. 모든 경우에 있어서, 코너 반사면은 도시의 레이더 이미지에서 건물 및 기타 인공 구조물 등과 같이 이미지에서 아주 밝은 대상으로 표시된다.



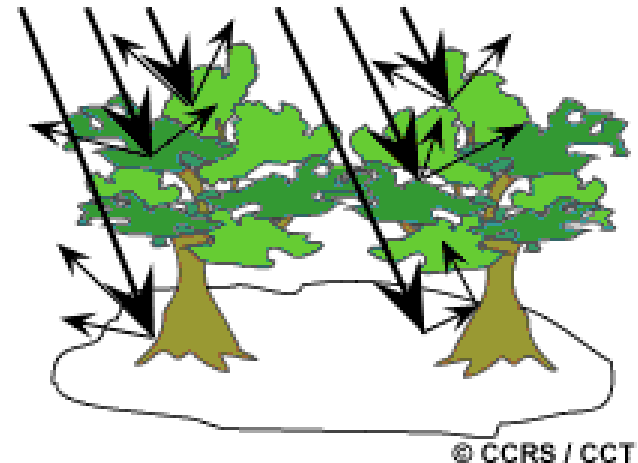
3.5 Target Interaction and Image Appearance

3) 수분 함량 및 대상의 전기적 특성

- 수분의 존재 (또는 부재)는 객체 또는 매체의 **전기적 특성에 영향을 미칩니다**. 전기적 특성의 변화는 마이크로웨이브 에너지의 **흡수, 투과 및 반사에 영향을 미친다**. 따라서, **수분 함량**이 목표물과 표면이 레이더에서 에너지를 어떻게 반사할 지와 그들이 어떻게 이미지에 나타날 지에 영향을 미친다.
- 일반적으로, **반사율(및 이미지 밝기)**은 **수분 함량의 증가에 따라 증가한다**. 예를 들어, **토양, 식생** 등의 표면은 그들이 건조 할 때보다 **젖은 상태에서 더 밝게 나타납니다**.
- **대상에 수분이 있거나 젖은 상태일 경우**, 맨 위 부분에서의 산란(**표면 산란 (surface scattering)**)이 실제 일어나는 지배적인 과정이다. **반사의 유형**(전반사 (specular)부터 분산(diffuse)반사에 이르기까지)과 **크기**는 대상이 **레이더에 어느 정도 거칠게 보여지느냐**에 따라 달라집니다.

3.5 Target Interaction and Image Appearance

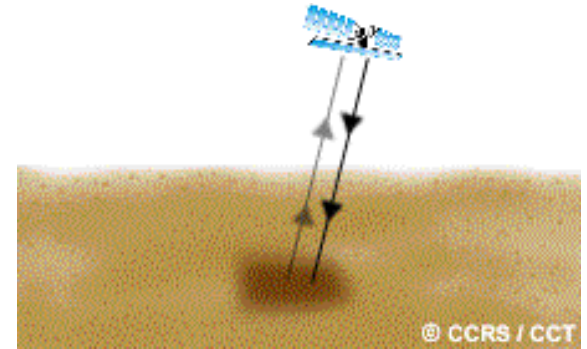
- 대상이 **매우 건조**하고 표면이 레이더에 **부드럽게 나타나면** 레이더 에너지는 표면을 **투과** 할 수 있다. 주어진 표면에 대하여, **긴 파장은 짧은 파장보다 더 잘 투과** 할 수 있다.
- 레이더 에너지가 **최상부 표면을 투과**한다면 **볼륨 산란(volume scattering)**이 발생할 수 있다. 볼륨 산란은 **볼륨 또는 매체 내에서 레이더 에너지의 산란**이며, 일반적으로 볼륨 내의 다른 구성 요소에서 **다중 반사 및 반사로 구성**된다.
- 예를 들어, 숲에서, 산란은 나무의 꼭대기에 있는 잎 캐노피에서 올 수도 있으며, 더 아래쪽 잎과 가지, 그리고 나무 줄기와 지상에서의 토양에서도 올 수 있다.
- **볼륨 산란**은 볼륨에서 산란되어 다시 레이더로 얼마나 많은 에너지가 돌아 오느냐에 따라 이미지의 밝기는 **감소 또는 증가** 될 수도 있다.



3.5 Target Interaction and Image Appearance

Did You Know?

... 궤도 상의 우주 왕복선(space shuttle)에서 L-밴드 레이더 (23.5 cm의 파장) 영상으로 북부 아프리카의 사하라 사막 아래 고대 강 채널을 발견 할 수 있었다. 긴 파장과 모래의 극도의 건조함 때문에 레이더는 사막의 몇 미터 표면 아래를 통과하여, 이 지역이 너무 건조하지 않았던 고대 시간 때의 강바닥을 드러낼 수 있었다.



3.5 Target Interaction and Image Appearance

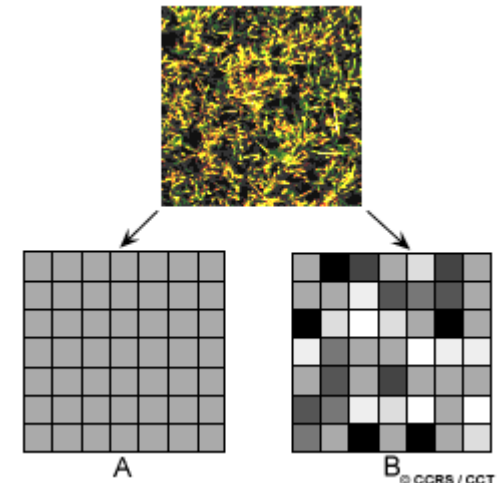
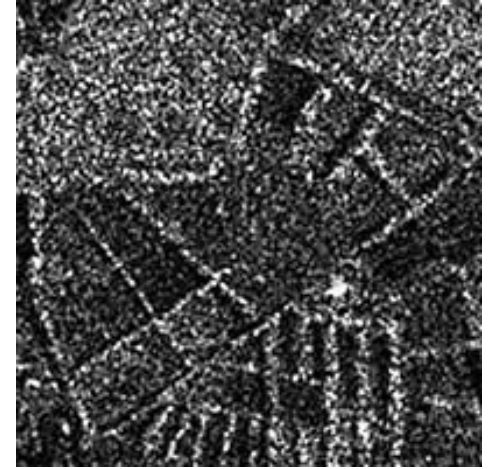
Quiz 밀, 옥수수 등의 작물이 자라는 농업 지역이 침수된 경우, 이 지역은 레이더 이미지에서 어떻게 보일 것이라고 생각하십니까? 레이더 에너지가 대상과 상호 작용하는 방법에 대한 지식을 기반으로 답변에 대한 이유를 설명하십시오.



- ANS** 일반적으로 수분 함량 증가에 따라서 이미지의 밝기가 증가합니다. 그러나, 범람의 경우, 표면은 완전히 포화되고 물이 괴어있게 된다.
- (1) 물이 작물의 높이 이상으로 오른 지역은, 물이 레이더 센서로부터의 에너지를 전반사(specular reflector)처럼 튕겨 내기 때문에 어두운 톤으로 나타납니다. 홍수 지역은 일반적으로 침수되지 않아 더 많은 확산 산란(scatter more diffusely)을 일으키는 주변의 농작물과 어두운 톤에 의해 구별 될 것이다.
- (2) 그러나, 밀 과 옥수수 줄기가 완전히 잠겨 있지 않은 경우, 실제로 이미지에서 밝게 나타날 수 있습니다. 이 경우에는, 물로부터 전 반사된 다음 밀, 옥수수 줄기에 부딪혀 코너 반사면처럼 작동 된다. 이 것은 이 지역 이미지를 매우 밝게 나타나게 될 것입니다.
- 따라서, 홍수의 정도와 얼마나 많은 농작물이 침수되었는 지가 이미지의 모양에 영향을 미칠 것입니다.

3.6 Radar Image Properties

- 모든 레이더 이미지는 **레이더 스페클(radar speckle)**이라 부르는 것이 어느 정도 나타납니다. 스페클은 이미지에 **오돌토돌한 "소금과 후추(salt and pepper)"** 텍스처로 나타납니다.
- 이는 각 해상도 셀 내에서 발생하는 **다중 산란(multiple scattering)**이 되돌아 올 때에 임의의 **보강 및 상쇄 간섭(constructive and destructive interference)**을 일으켜 발생합니다.
- 예를 들어, 잔디 덮인 큰 필드 같은 균일한 대상에서 **스페클의 영향이 없다면, 이미지 (A)에서처럼** 일반적으로 모든 픽셀에서 같은 밝기 톤의 픽셀 값을 초래할 것입니다. 그러나, 각 해상도 셀 내 잔디의 **개별 블레이드로부터 반사들에** 의해서 **보통 톤(B)보다 일부** 이미지 픽셀은 **밝게** 되고 일부는 **어둡게** 되어, 필드는 **스페클**이 나타나게 된다.



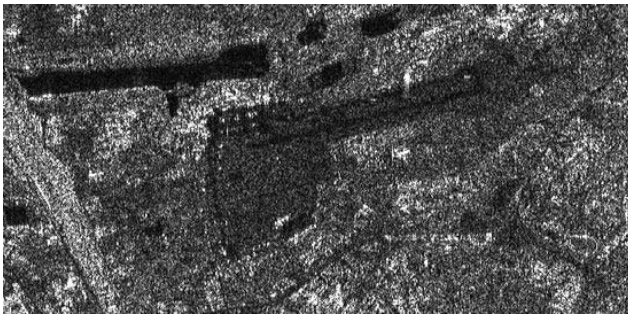
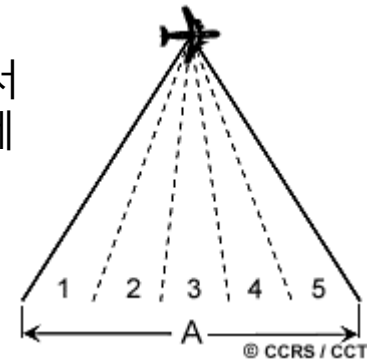
3.6 Radar Image Properties

- **스펙클(Speckle)**은 본질적으로 이미지의 품질 저하 및 해석 (시각 또는 디지털)을 더 어렵게 만들 수 있는 **잡음의 한 형태**이다. 따라서, **해석 및 분석에 앞서서 스펙클을 감소**시키는 것이 일반적으로 바람직하다. 스펙클 감소(**Speckle reduction**)는 두 가지 방법으로 달성 할 수 있습니다.

(1) **다중-관측 처리 (multi-look processing)**

(2) **공간 필터링 (spatial filtering).**

- **다중-관측처리(Multi-look processing)**는 레이더 빔(A)을 여러 개의 좁은 **서브 빔(1~5)**으로 **분할**하는 것을 의미한다. 이름에서 알 수 있듯이 **각 서브 빔**은 조명된 영상에서 **독립적인 관측**을 제공한다. 이 들 각각은 또한 스펙클의 영향을 받는 "관측" 이긴 하지만 최종 출력 이미지를 형성하기 위해 함께 이를 **합산**하여 **평균**함으로써 **스펙클의 양이 감소** 될 것이다.

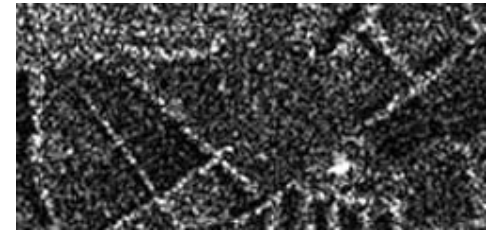
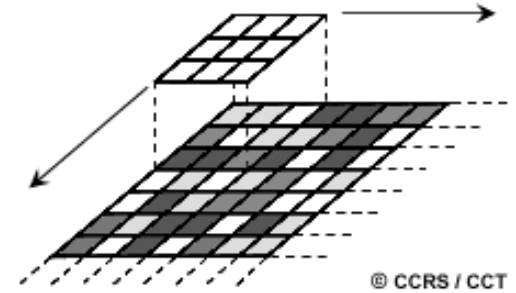


One-look (left) vs multi-look processing (right). [<http://envisat.esa.int/handbooks/asar/CNTR1-4.htm>]

3.6 Radar Image Properties

공간 필터링을 통한 스페클 감소는 디지털 (즉, 컴퓨터) 영상 해석 환경에서 출력 이미지에 대해 수행된다. 스페클 감소 필터링은 몇 픽셀 (e.g. 3×3 또는 5×5)로 이루어진 **작은 창을 이동(moving a small window)**하며, 창 아래 화소값을 사용하여 수학적 계산(예를 들면 **평균을 계산**)을 적용한 후, **중앙 픽셀을 계산된 값으로 교체** 함으로 이루어진다. 이 작은 창은 영상 전체를 커버할 때까지 이동된다. 각 픽셀 주위에 작은 창의 평균을 계산함으로써 **스무딩 효과**를 달성하고 스페클의 시각적 영향을 줄일 수 있다.

- 오른쪽의 그림들은 **평균 필터(averaging filter)**를 사용하여 **스페클 감소** 시키기 **전(위)** 과 **후(아래)**의 레이더 이미지를 보여줍니다. 이동 윈도우 아래 모든 화소의 **중위값(median value)**이 종종 스페클을 감소시키기 위해 사용된다. 다른 더 복잡한 필터링 계산이 **스무딩(smoothing)** 양을 **최소화**하면서 **스페클을 줄이기** 위해 수행 될 수 있다.



Speckle reduction using an averaging filter

3.6 Radar Image Properties

- 다중관측처리 및 공간 필터링, 둘 다 본질적으로 이미지를 부드럽게하기 때문에 모두 해상도의 비용으로 스페클을 줄이게 된다. 따라서, 원하는 스페클 감소량은 이미지가 사용되는 특정 응용분야 및 필요한 세부 사항의 양과 균형을 이루어야 한다.
 - 미세한 디테일과 높은 해상도가 요구되는 경우에는
 - 적게 사용 또는 전혀 다중관측처리 및 공간 필터링을 사용하지 않아야 합니다.
 - 광범위한 규모(broad-scale)의 해석과 매핑이 응용 프로그램의
 - 스페클 감소 기술 적용이 더 적절하고 허용 할 수 있다.

3.6 Radar Image Properties

경사-레인지 왜곡(slant-range distortion) 보정

- 레이더 이미지 특유의 또 다른 속성은 **경사-레인지의 왜곡(slant-range distortion)**이다. 가까운 레인지(near-range)의 대상들은 경사 레인지 축척의 변화로 인해 먼 레인지에 있는 대상들에 비해 **압축**됩니다.
- 대부분의 응용에서, 대상들 간의 실제 거리가 측정 되도록 레이더 이미지의 이러한 왜곡을 보정한 형식으로 표시하는 것이 바람직하다. 이를 위해서 "경사-레인지(slant-range)"의 이미지를 '지상-레인지(ground range)' 이미지로 변환 할 필요가 있습니다. 이는 이미지 생성 이전 **레이더 프로세서(radar processor)**에 의해서, 또는 데이터 획득 후에 경사-레인지 이미지에 **변환(transformation)**을 적용하여 수행 될 수 있다. 대부분의 경우, 이 변환은 지형의 기복 변화에 의해 나타나는 복잡성을 띤 지표 대상들의 형상을 추정하는 것에 해당된다.



slant-range display (top) vs.
ground-range display (bottom)

3.6 Radar Image Properties

안테나 패턴(Antenna pattern) 보정

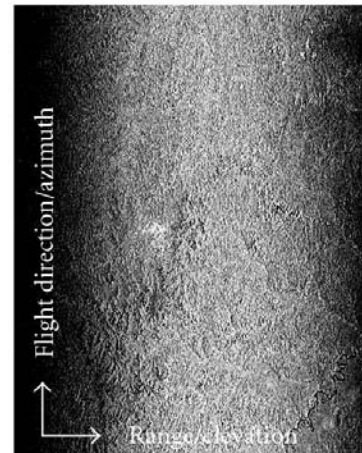
- 레이더 안테나는 근거리 및 원거리 레인지에서보다 조명된 관측폭의 **중간-레인지(mid-range)** 부분에 더 많은 파워를 전달한다. 이 효과는, **안테나 패턴**이라 불리며, **가장자리보다 관측폭의 중앙부에서 강하게 리턴되는** 결과를 가져온다.



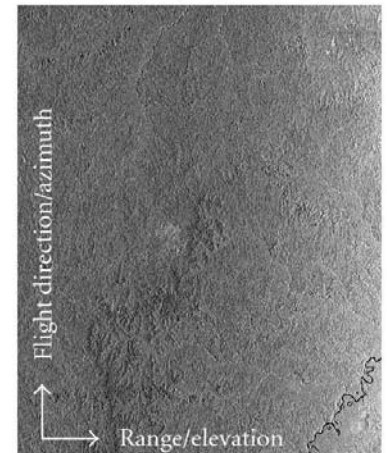
- 이러한 **안테나 패턴 효과**와 함께, 레이더로 리턴되는 에너지가 **레인지의 거리가 증가함에 따라 극적으로 감소**한다는 사실이 결합하여 나타나게 된다. 따라서, 주어진 표면에 대한, 리턴 신호의 강도는 **관측폭을 가로질러 멀어지면서 점점 작아진다**. 이러한 효과들이 결합해서 이미지를 가로 질러 **레인지 방향으로 밝기(톤)가 변화하는** 이미지를 생성하게 된다.

- 안테나 패턴 보정**으로 알려진 처리과정은 더 나은 시각적 해석을 용이하게 하기 위해, 이미징 된 **관측폭에 걸쳐 균일한 평균 밝기**를 생성하기 위해 적용될 수 있다.

Uncorrected image



After antenna pattern correction



3.6 Radar Image Properties

동적 범위(Dynamic Range)의 크기 조정

- 원격 탐사 시스템이 밝기 수준의 범위는 다양하며, 복사 해상도에 관련되고 **동적 범위(dynamic range)**라고 합니다.
 - Landsat 과 SPOT 등과 같은 위성에 탑재된 **광학 센서**들은 일반적으로 **256 세기 레벨(intensity levels)**을 생성합니다.
 - 레이더 시스템은 약 **100,000 개 수준**까지 **세기 레벨**을 구별 할 수 있다.
- **인간의 눈**이 한 번에 약 **40 세기 레벨**을 구별 할 수 있기 때문에, 이는(100,000 개) 시각 해석을 위한 너무 많은 정보이다. **심지어 일반적인 컴퓨터**도 이 정도 범위의 정보를 다루는 것에는 **어려움**이 있다.
- 따라서 **16 비트 (65,536 레벨의 세기)**로 주어지는 원래의 데이터를 기록하고 처리하는 대부분의 레이더에서는 **시각적 해석** 및/또는 **디지털 컴퓨터 분석**을 위해서 추가로 **8 비트(256 레벨)**로 축소한다.

3.6 Radar Image Properties

보정(Calibration)

- **보정(Calibration)**은 레이더 시스템과 측정된 신호를 **일관되고(consistent)** 가능한 한 **정확하도록** 보장하는 과정입니다.
- **상대적 보정(relative calibration)**: 분석에 앞서서 대부분의 레이더 이미지는 상대적 보정(**relative calibration**)이 필요합니다. 상대적 보정은 레이더 안테나 및 시스템 응답에 **알려진 변형(variations)**을 **교정**하여, 시간이 흘러도 균일하며 (uniform) 반복적인 측정이 가능할 수 있도록 합니다. 이로써 **하나의 이미지 내에서 대상들의 응답들과 별도의 이미지들 간의 상대적 비교**가 신뢰 하에 행해지도록 해준다.
- **절대적 보정(absolute calibration)** : 그러나, **비교 목적**으로 우리는 다양한 대상들 또는 목표물에서 반사된 **실제 에너지** 또는 **파워**를 나타내는 정확한 **정량적 측정**을 하고자 하는 경우에는 절대적 보정이 필요합니다.

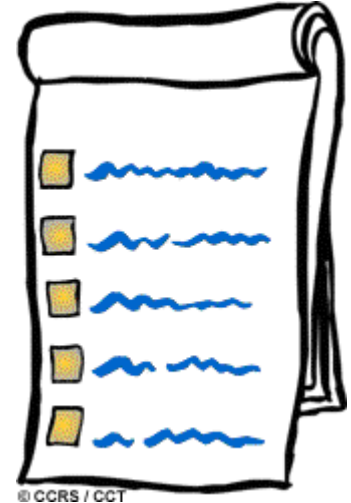
3.6 Radar Image Properties

Quiz 시각적 해석을 수행하기 전에 레이더 이미지에서 수행되어야 할 기본적인 과정을 서술하십시오.

ANS 레이더 이미지를 시각적으로 해석하고 분석하기 전에 수행하는 것이 유용할 몇 가지 절차가 다음과 같습니다 :

- **경사 레인지(slant-range)의 이미지를 지표 레인지(ground-range) 평면 디스플레이로 변환:** 이를 통해서 전체 관측폭(swath)을 가로질러 대상을 적절한 상대적 크기로 표시하고 지상에 거리가 올바르게 표시되도록 경사 레인지 축척 왜곡(slant-range scale distortion) 효과를 제거합니다.

- **안테나 패턴(antenna pattern)을 보정 :** 이 것은 서로 다른 레인지에 있는 대상의 응답을 시각적 해석과 비교가 쉽도록 이미지 톤에 **균일한 평균 밝기를** 제공합니다.
- **스펙클(speckle)의 효과를 어느 정도 감소시킴:** 아주 작은 대상의 상세한 분석이 필요하지 않은 한, 스펙클 감소가 화상의 "**오들오들한(grainy)**" 외관을 감소시키고 일반적으로 영상 해석을 쉽게 할 것이다.
- **최대 8 비트(256 그레이 레벨)의 화상으로 동적 범위 스케일링(Scaling of the dynamic range) :** 인간의 눈의 제한된 휘도 판별 레벨(discriminating brightness levels) 뿐만 아니라, 대부분의 데스크탑 컴퓨터 시스템의 한계 때문에, **더 이상의 그레이 레벨은 유용하지 않을** 것이다

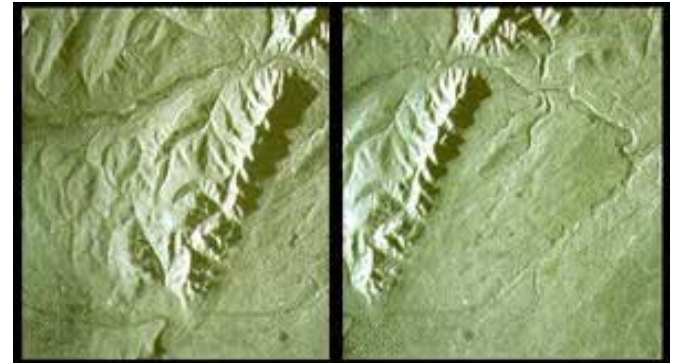


3.7 Advanced Radar Applications

- 레이더 데이터의 일반적인 취득 및 사용 이외에, 언급 할 가치가 있는 특정 응용 프로그램 세 가지: (1) 스테레오 레이더 (2) 간섭기법(interferometry) (3) 분극(polarimetry)

Stereo Radar

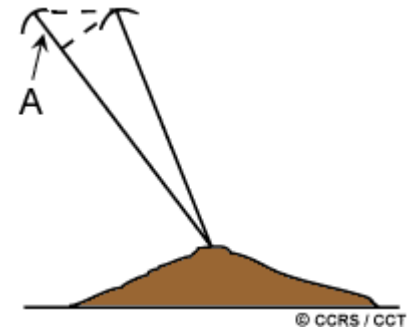
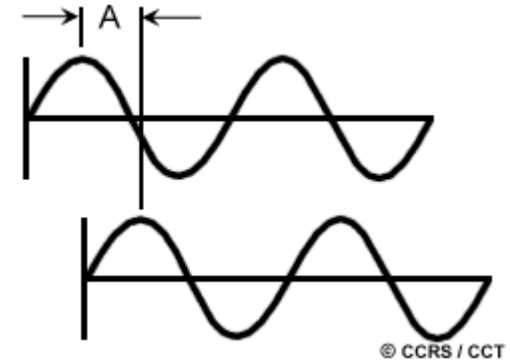
- 스테레오 레이더(**stereo radar**)는 항공 사진에 사용되는 스테레오 매핑의 개념과 유사하다. 스테레오 레이더 이미지 쌍은 **동일한 지역의 자료를 획득하지만, 다른 관측/입사각 또는 반대의 관측 방향**이 사용됩니다.
- 변위가 카메라의 직하부점 천저점(nadir point) 으로부터 반경 방향 외측으로(radially outward) 나타나는 항공 사진과는 달리, 레이더 이미지는 **오직 레인지 방향으로의 변위만** 보인다.
- 반대 관측 방향** (즉, 하나는 북쪽과 다른 하나는 남쪽)에서 찍은 스테레오 쌍은 **상당한 대조를** 보이며, 시각적 또는 디지털 방식으로 해석하기 어려울 수 있습니다. **산악 지형**에서는 대상의 반대편에 그림자를 보이며 더욱 뚜렷하게 나타나, **스테레오 효과가 제거** 되어진다.
- 동일 방향 스테레오 영상(Same side stereo imaging)**은 임업 및 지질분야에서 해석을 지원하고 또한 지형지도를 생성하는 데 수년 간 사용되었습니다. **거리 측정 및 스테레오 레이더 데이터의 지형 매핑을 위한 지형 높이의 추정**은 **레이다그라메트리(radargrammetry)**라고 하며, 항공 사진으로 유사한 목적을 위해 수행되는 **사진 측량(photogrammetry)**과 유사하다.



3.7 Advanced Radar Applications

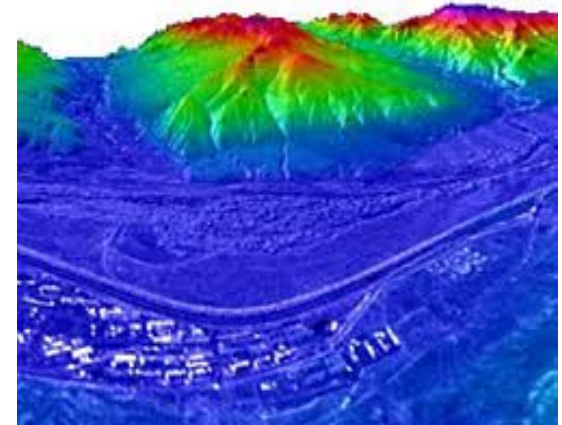
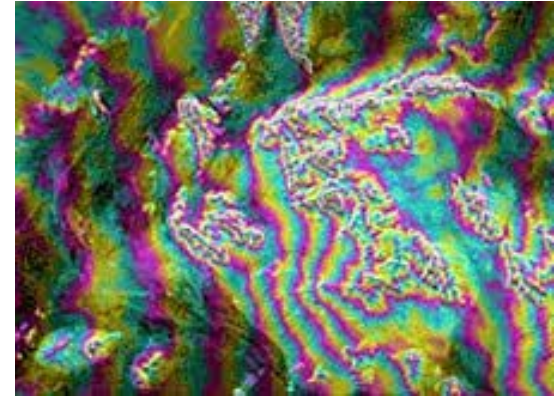
간섭기법(Interferometry)

- 또 다른 레이더를 사용하여 지형의 높이를 추정하는 더 진보 된 방법은 간섭기법(interferometry)이다. 간섭기법은 위상(phase)이라는 전자파의 속성을 측정 할 수 있는데 의존한다.
- 동일한 파장과 주파수로 공간을 따라 이동하는 두 개의 파가 있으며, 하나의 시작점이 다른 약간 오프셋을 갖는다고 가정하자. 이 두 파에 일치하는 지점 사이의 오프셋(offset)(A)를 위상차(phase difference)라고 합니다.
- 간섭 측정 시스템은 레인지 방향으로 작은 거리만큼 분리된 두 개의 안테나 모두에서 각 해상도 셀로부터의 반사를 기록 합니다. 두 개의 안테나가 동일한 플랫폼(일부 항공 SAR 등)에 있을 수도 있고, 자료가 동일한 센서의 두 개의 서로 다른 패스에서(항공 및 위성 레이더 모두로부터 행해질 수 있는) 취득될 수도 있다.



3.7 고급 레이더 응용

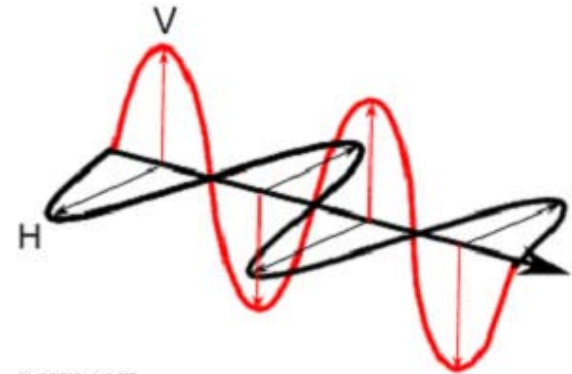
- 두 반사(A) 사이의 정확한 위상차(phase difference)를 측정하여 **경로 길이의 차이**를 파장 정도의 정확도(즉 cm)로 계산 할 수 있다.
- 지구 표면에 대한 안테나의 위치를 알면, **고도를 포함한 해상도 셀(resolution cell)의 위치**가 결정될 수 있다.
- 인접한 해상도 셀의 위상차는, **높이 변동**을 색으로 나타내는 **인터페로그램(interferogram)**으로 표시된다(오른쪽 그림). **인터페로그램(interferogram)**에 포함된 정보는 **지형 정보**를 얻어내고, **지형 고도의 입체 영상**을 생성하기 위하여 이용 될 수 있다.



3.7 Advanced Radar Applications

분극측정(Polarimetry)

- 그 이름이 의미하는 대로, **분극측정(polarimetry)**은 레이더 시스템이 전송 및 수신 할 수 있는 **분극(polarizations)** 사이의 구분을 포함한다.
- 대부분의 레이더는 **수평(H)** 또는 **수직(V)** 분극 마이크로웨이브를 전송하고, 유사하게 이러한 단지 하나의 분극의 후방 산란 신호를 수신 합니다.
- **다중-분극 (Multi-polarization)** 레이더는 H 또는 V 분극 하나를 전송하고, **같은-분극 (like-)** 과 **교차-분극 (cross-polarized)** 반환(예, HH & HV 또는 VV & VH)을 모두 수신합니다.

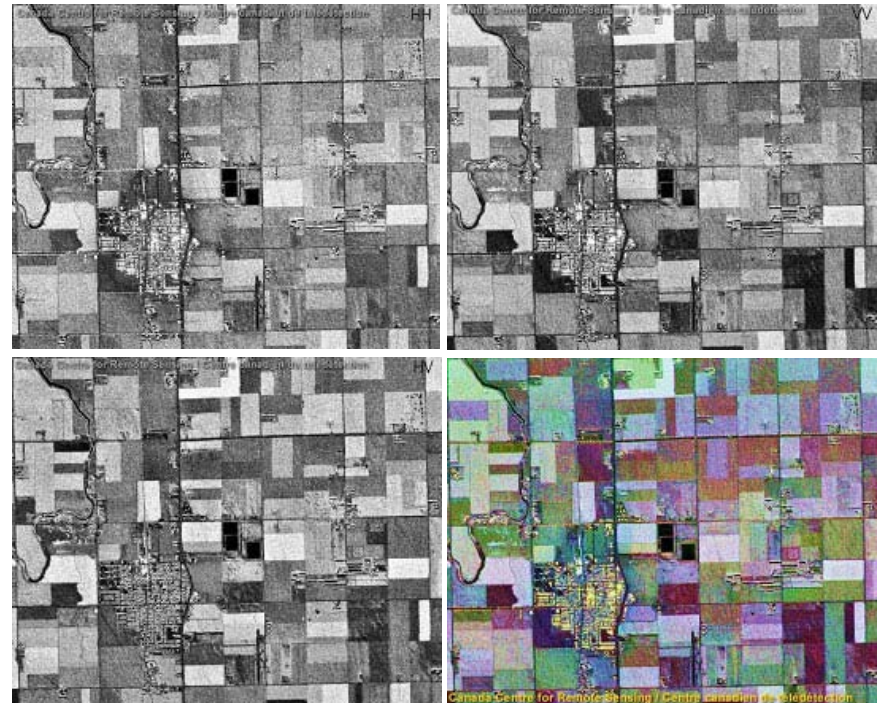


© CCRS / CCT

horizontal (black) and vertical (red) polarizations of a plane EM wave

3.7 Advanced Radar Applications

- **분극(Polarimetric) 레이더**는 수평 및 수직 분극을 전송 및 수신 할 수 있습니다. 따라서, 이러한 분극의 네 가지 조합을 수신과 처리할 수 있습니다. : HH, HV, VH, 및 VV. 이러한 "**분극 채널**"의 각각은 서로 다른 표면 특성과 속성에 따라 민감도가 변화한다. 따라서, 다중 분극 데이터의 가용성은 대상들의 식별과 구분을 개선하는 데 도움이 된다.
- 대부분의 편광 레이더는 각 편광 반환 신호의 크기 기록 외에도, 반환 신호의 위상 정보(**phase information**)를 기록할 수 있다. 이는 다른 표면 특징의 분극 "**성질**" (**polarimetric "signature"**)을 특성화하는데 사용될 수 있다.

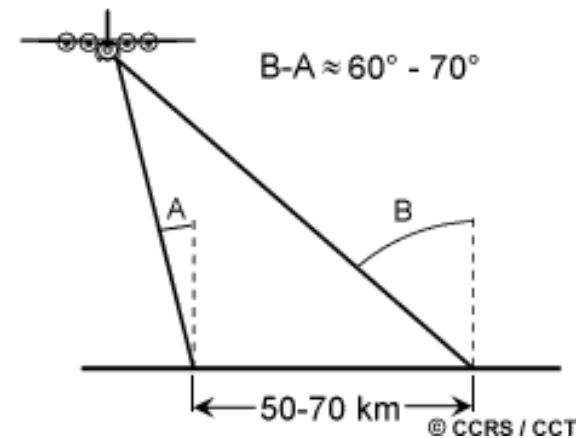


농업 현장에서 어떻게 다른 분극 (HH, VV, HV 및 색상 복합)들이 다양한 대상들을 나타내는지를 보여주는 그림.

3.9 항공 대 위성 레이더

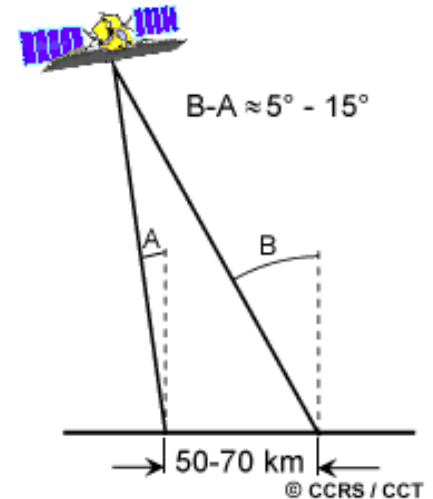
- 다른 RS 시스템과 같이, 영상 레이더 센서는 항공 또는 우주선 플랫폼에서 수행 될 수 있다. 이미지의 활용에 따라, 플랫폼의 두 가지 유형의 장단점이 있습니다. 사용되는 플랫폼에 관계없이, 합성 개구 레이더(Synthetic Aperture Radar:SAR)의 사용의 중요한 장점은 공간 해상도가 플랫폼 고도에 독립적인 것입니다. 따라서, 좋은 해상도는 항공과 우주선 두 플랫폼 모두에서 달성 될 수 있다.

- 공간 해상도는 고도에 독립적이지만, 관측 구도 (viewing geometry)와 관측폭(swath coverage)은 고도의 변화에 의해 크게 영향을 받을 수 있습니다. 항공기 운영의 고도에서, 비교적 넓은 관측폭(50~70km)을 달성하기 위해서는 항공 레이더로 60 ~ 70도 정도의 넓은 입사각으로 이미지해야 한다. 입사각 (또는 관측 각도)는 표면 대상들의 후방 산란과 이미지에서 그들의 표시에 큰 영향을 줍니다. 포어쇼트닝, 레이오버 와 그림자 같은 이미지의 특성들은 큰 입사각 범위에서, 다양한 방식으로 나타나게 될 것입니다.



3.9 Airborne versus Spaceborne Radars

- 위성 레이더(**Spaceborne radars**)는 항공 레이더의 최대 100 배 이상의 고도에서 작동하기 때문에 이러한 **영상 구도 문제 중 일부를 방지** 할 수 있습니다. 수 백 킬로미터의 고도에서, 우주선 레이더는 비교적 **넓은 관측폭**을 이미지할 수 있지만, **일반적으로 5도~15도에 이르는 훨씬 좁은 범위의 입사각**을 갖는다. 이는 보다 **균일한 조명**을 제공하며 관측구도로 인해서 관측폭을 따라 **바람직하지 않은 영상의 변화를 감소**시킨다.



- **항공 레이더(airborne radar)** 시스템은 영상화 구도 문제에 더 민감할 수 있지만, 서로 다른 관측 각도와 방향으로부터 데이터를 수집하는 성능에 **융통성**이 있다. 영상화될 특정 지형 형상에 구도를 최적화함으로써, 또는 **하나 이상의 관측 방향에서 이미지를 획득**하여, 이러한 **효과 중 일부는 감소** 될 수 있다.
- 또한, **항공 레이더**는 데이터를 언제 어디서나 수집 할 수 있습니다. (날씨와 비행 조건이 허락하는 한!). **위성 레이더**는 관측 구도와 데이터 수집 일정이 궤도의 패턴에 의해 제어 되기 때문에 **이러한 수준의 유연성을 가지고 있지 않습니다**.

3.9 Airborne versus Spaceborne Radars

- **위성 레이더(Satellite radars)**는 항공 레이더보다 **더 넓은 영역에 걸쳐 더 빨리** 이미지를 수집 할 수 있다는 장점이 있고, **일관성있는 관측 구도를** 제공한다. 항공 플랫폼으로 가능한 정도로는 자주 커버하지는 못하나, 궤도 변수와 관측 구도의 유연성 및 관심 지역에 따라서는 위성 레이더에서도 하루 정도의 짧은 재 방문 기간이 얻어질 수 있습니다.
- **항공 레이더(Airborne radars)**는 **환경(기후) 조건 변화**뿐만 아니라 **속도와 항공기의 다른 움직임**에 민감 할 것입니다. 이미지 인공잡음 또는 항공기 움직임의 무작위 변화로 인한 **기하학적 위치 오류를 방지**하기 위해, 레이더 시스템은 이러한 변화를 보상하기 위해 정교한 **네비게이션(navigation)/위치결정(positioning) 장비와 고급 영상처리**를 사용한다. 일반적으로 심각한 대기의 난류 운동(air turbulence)같은 가장 심한 변화를 제외하고는 거의 모든 교정을 할 수 있습니다.
- **위성 레이더(Spaceborne radars)**는 이러한 유형의 운동에 의해 영향을 받지 않습니다. 실제로, 그들의 **궤도의 위치**는 일반적으로 **매우 안정적**이고 자신의 위치를 **정확하게 산출** 할 수 있다. 그러나 **위성 탑재체**에서의 영상에 대한 **기하학적 보정**은 표면에 대상들의 적절한 기하학적 위치를 결정하기 위해, **지구의 자전(rotation)**과 **곡률(curvature)**과 같은 다른 요인을 고려해야 한다.

3.10 항공 및 우주 레이더 시스템

- CCRS에서 개발하여 운영하는 **Convair-580 C/X SAR** 시스템은 특히 위성 탑재 SAR에 대비하여 캐나다 및 전세계에서 **고급 SAR 응용을 통한 실험 연구**에 주력했다.



- 이 시스템은 두 개의 레이더 밴드, **C-(5.66 cm)**와 **X-(3.24 cm)**에서 동작한다. **교차-편광(Cross-polarization)** 데이터는 모두 **C-및 X-대역 채널을 동시에 기록** 할 수 있고, **C-밴드 시스템은 완전-분극(fully polarimetric)** 레이더로 작동 될 수 있다.
- 이미지가 **세 가지 이미징 구도 (천저점(nadir), 좁은, 넓은 관측폭 모드(swath modes))**로 넓은 입사각 범위 걸쳐서 (**5도 부터 약 90도의 입사각까지**) 취득 될 수 있다.
- **정량적 측정(quantitative measurements)**을 위해 **완전 보정가능(calibratable)** 시스템인 것 이외에, **C-밴드 시스템이 간섭 레이더(interferometric radar)**로 작동 될 수 있도록, **제 2 안테나가 항공기의 동체에 장착**되어 있다.

3.10 Airborne and Spaceborne Radar Systems

- **AirSAR** 시스템(미국 NASA의 JPL)은 **C-, L- 및 P-밴드** 고급 **분극(polarimetric)** SAR로서 수평 및 수직 전송과 **분극(즉, HH, HV, VH 및 VV)**을 받을 수 있어, 가능한 모든 조합에서 이 대역의 각각에 대한 데이터를 수집 할 수 있는 시스템입니다.
- **AirSAR** 시스템에서 데이터가 레이더 후방 산란의 **정량적 측정(quantitative measurements)**을 추출 할 수 있도록 **완전한 보정(fully calibrated)**을 할 수 있습니다. AirSAR 시스템의 **공간 해상도는 레인지와 방위각 방향 모두에서 12m** 정도이다. **입사각**은 천저점에서 **0°** 부터 먼 레인지에서 약 **70°**에 이른다.
- **다양한 입사각 범위에 걸쳐 다중 주파수(multi-frequency), 다중분극(multi-polarization)** 데이터를 수집할 수 있는 기능은 **다양한 특수 연구 실험**이 수행 될 수 있게 해준다.



3.10 Airborne and Spaceborne Radar Systems

- SEASAT는 1978년에 발사, 우주선 SAR 센서를 탑재한 최초의 민간 원격 탐사 위성이었다.
- SAR 시스템은 HH 분극의 L-밴드(23.5 cm)에서 운영되었고, 관측구도는 100km의 관측폭과 25m의 공간 해상도로 9 ~ 15도 사이의 입사각으로 이루어졌다.
- 이 가파른 관측 구도(**steep viewing geometry**)는 주로 바다와 바다 얼음의 관찰을 위해 설계되었으나, 이미지의 많은 부분이 육지 지역에 대하여 수집되었다. 그러나, 작은 입사각이 높은 기복을 갖는 지형의 포어쇼트닝과 레이오버 효과를 증폭하여 이 분야에서의 유용성은 제한적이다.
- 위성이 3 개월 만 운영되었지만, 많은 정보 (많은 양의 데이터!)를 통해서 우주 레이더의 가능성을 보여 주었다.



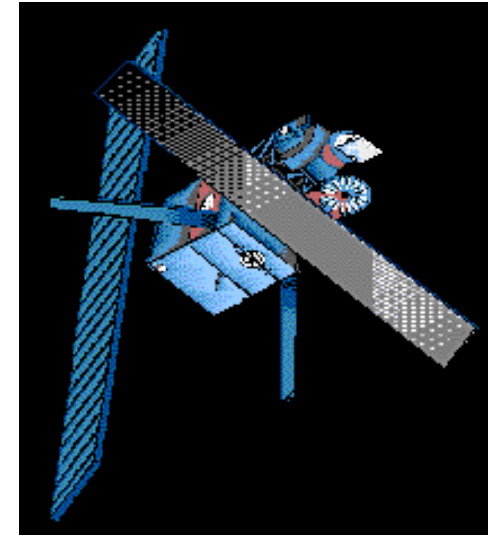
3.10 Airborne and Spaceborne Radar Systems

- 유럽 우주국 (European Space Agency : ESA)은 **1991년 7월**에 **ERS-1** (**1995년 4월**에 **ERS-2**)을 발사했다. **바다 모니터링 응용** 및 연구를 위해 주로 설계된 ERS-1은 전세계적 원격 탐사 커뮤니티에 **우주 SAR 데이터에 대한 최초의 광범위한 액세스** 할 수 있도록 하였다. 두 위성의 이미지는 **바다와 육지 모두의 환경에서 광범위한 응용**에 사용되고 있다.

- ERS-1 은 **레이더 고도계(altimeter)**, **적외선 복사계(infrared radiometer)** 및 **마이크로웨이브 사운더(microwave sounder)**, 그리고 **C-밴드(5.66 cm) 능동(active) 마이크로웨이브 장비** 를 탑재하고 있다.

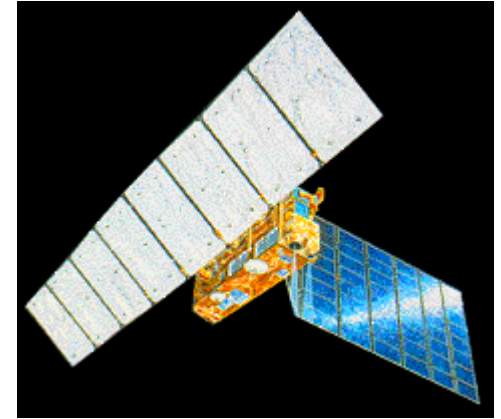
- 이는 **해수면의 반사율**뿐만 아니라, **해수면 바람의 속도와 방향**을 측정할 수 있는 **산란계(scatterometer)**로 작동 될 수 있는 유연한 계기이다. 또한 약 **30 m**의 해상도, **20-26** 도의 입사각 범위에 걸쳐 **100km 관측폭**으로 영상을 수집하는 **합성 개구 레이더(synthetic aperture radar)**로서 동작 할 수 있다. 비교적 **가파른 시야각(steep viewing angles)**과 **분극 VV** 를 통해서 ERS-1은 **표면 거칠기에 특히 민감하다**

- ERS-1의 **재방문 기간(revisit period)** (또는 **반복주기**)은 궤도를 조정함으로써 변화 될 수 있고, 동작 모드에 따라 **3일부터 168일** 까지 변화하며, 일반적으로, 반복주기는 **약 35 일**입니다.



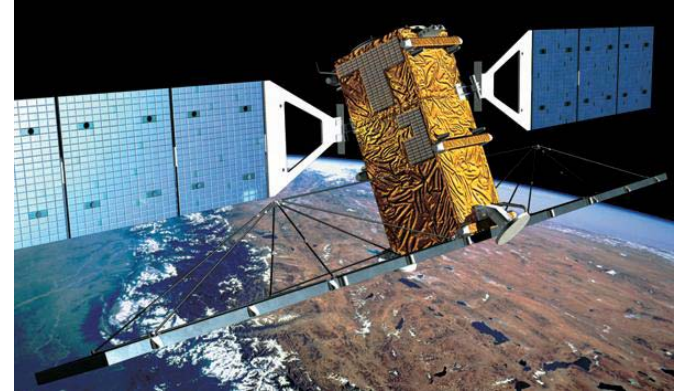
3.10 Airborne and Spaceborne Radar Systems

- 일본의 국가 우주 개발기구(National Space Development Agency : NASDA)는 **1992년** 2월에 **JERS-1** 위성을 발사했다.
- 두 개의 광학 센서(two optical sensors)를 탑재한 것 외에도, JERS-1 은 **HH 분극**에서 작동하는 **L-밴드(23.5 cm) SAR** 를 가졌다. **관측폭**은 약 **75km** 및 레인지와 방위각 모두에서 **공간 해상도 약 18m**이다.
- **JERS-1** 의 **이미지 형상**은 관측폭의 중간 지점에서의 입사각이 35도로, **SEASAT** 또는 **ERS** 위성 보다 **약간 얇고** . 따라서, **JERS-1** 이미지는 **구도와 지형 효과에 약간 덜 민감**합니다.
- JERS-1 의 **긴 L-밴드 파장**은 식물 및 기타 표면 타입에 **레이더 에너지의 일부가 투과** 할 수 있습니다.

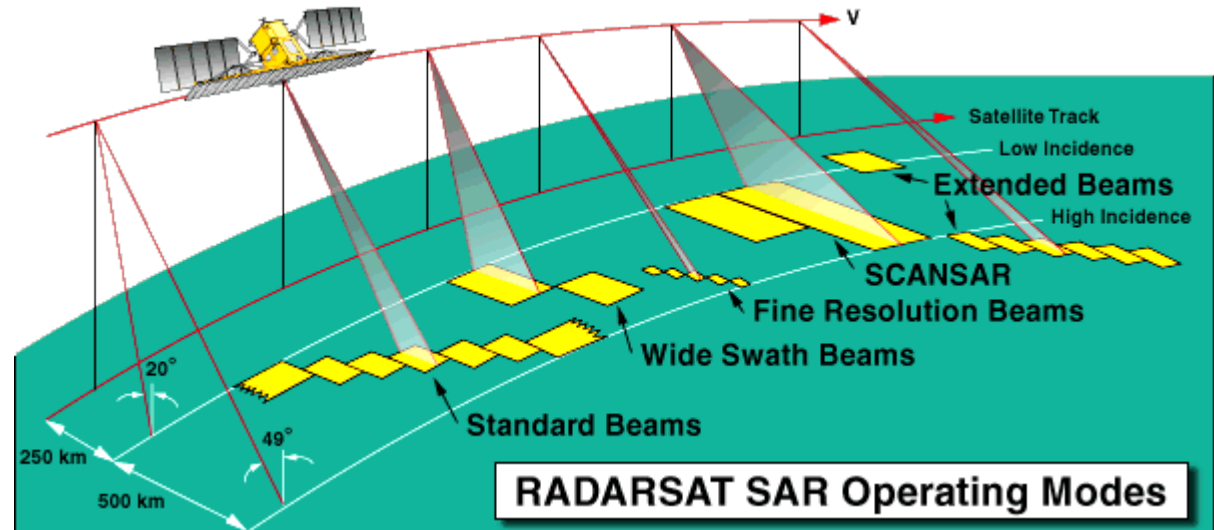


3.10 Airborne and Spaceborne Radar Systems

- 우주 SAR 원격 탐사가 1995년 11월 캐나다의 RADARSAT 위성의 발사와 함께 거대한 도약을 했다.
- RADARSAT는 고급 C-밴드(5.6 cm), HH 편광 SAR를 탑재, 조종가능 레이더 빔(steerable radar beam)으로 500km 레인지 범위에 걸쳐 다양한 영상 옵션을 허용한다. 이미징 관측폭은 10-100m 해상도로 35~500 Km로 변화 될 수 있다.



- 관측 구도 또한 유연하여, 입사각은 20 ° 미만부터 50 ° 이상에 까지 이른다.



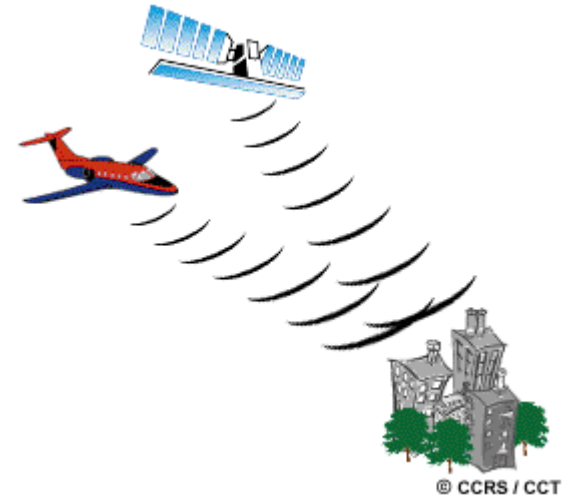
3.10 Airborne and Spaceborne Radar Systems

작동 모드(Operating Mode)

- ✓ 표준(Standard): 20~49 °C의 입사각, 100 km 관측폭, 25m 해상도의 7 빔 모드
 - ✓ 넓은(Wide): 다양한 입사각과 150 km 관측폭의 3 빔 모드.
 - ✓ 미세(Fine): 50km 관측폭과 10m 보다 나은 해상도의 5 빔 모드
 - ✓ Scansar: 50~100m의 낮은 해상도와 좀 더 넓은 관측폭 (300-500 km)
 - ✓ 확장(Extended) mode.
-
- 비록 위성의 궤도 반복 사이클(orbit repeat cycle)은 24일이지만, 조향(steerable) 레이더 빔의 유연성으로 인해서 RADARSAT은 이미지 영역에 더욱 빈번한 보기 능력을 제공하고 데이터 수집을 위한 특정 지리적 요구를 만족 시킨다.
 - RADARSAT-2 위성은 2007년 12월 궤도에 투입되었다.
 - 1~3m의 해상도 영상을 보장하는 완전 능동 위상(Fully active phased) 안테나 어레이;
 - 두 개 또는 네 가지 유형의 편광이 동시에 가능한 다중분극(multi-polarization) 모드 구현;
 - 트랙을 따라 왼쪽과 오른쪽 관측 가능, 그에 따른 재방문 시간 단축;
 - 전지구적(global)조사가 보장되도록 증가된 온 보드 저장 장치의 용량
 - 위성궤도 위치 및 자세의 정확성 향상에 따른 이미지의 위치 정보의 정확성입니다

3.10 Airborne and Spaceborne Radar Systems

Quiz 특정 객체나 대상은 모든 레이더 이미지에서, 특히 항공 대 우주선의 레이더, 동일한 모양 (즉, 후방 산란 응답 (backscatter response))을 표시하지 못 할 수 있습니다. 이를 설명해 줄 몇 가지 요소를 나열하시오..



ANS 후방산란 응답(backscatter response)과 그에 따른 레이더 이미지에서의 객체 또는 대상의 모양은 여러 가지에 따라 달라집니다.

- 다른 레이더 파장 또는 주파수에 따라서 표면 거칠기에 다른 감도로 반응하며 그에 따른 후방 산란 에너지의 양을 제어하여 변화가 나타난다.
- 서로 다른 분극(polarizations)을 사용하여도 에너지가 대상과 상호 작용하는 방법에 그리고 레이더로 반사된 그 이후 에너지에 영향을 미칠 것입니다.
- 관측/입사 각도(look/incidence angle), 관측 방향(look direction)과 레이더에 대한 대상의 방향(orientation of features) 과 레이더 에너지가 지표에 충돌하는 로컬 입사 각 들을 포함한 관측 구도의 변화(Variations in **viewing geometry**)는 반사된 에너지의 양에 중요한 역할을 한다. 일반적으로, 이러한 차이는 항공와 우주선 플랫폼 간의 매우 심각할 수 있습니다
- 객체나 대상의 수분 함량(moisture content)의 변화 또한 후방 산란의 양에 변화를 줍니다.