

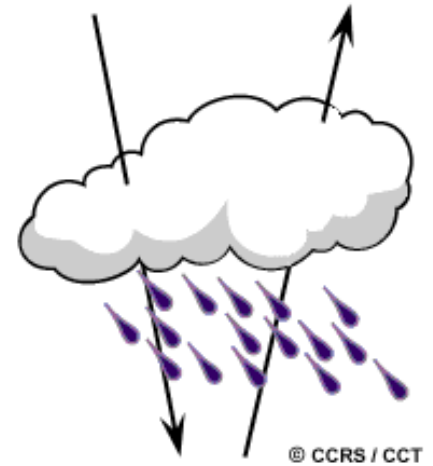
Remote Sensing

Ch. 3 Microwaves (Part 1 of 2)

- 3.1 소개
- 3.2 레이더(Radar)의 기본
- 3.3 관측구조(Viewing Geometry)와 공간 해상도
- 3.4 레이더 이미지 왜곡

3.1 Introduction

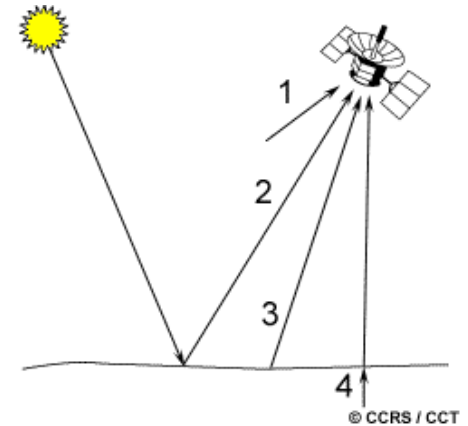
- 마이크로웨이브 (파장: 1mm ~ 1m) 감지 원격 탐사는 수동 (passive) 및 능동(active) 형태를 포함한다.
- 긴 파장은 짧은 광학 파장에 영향을 미치는 대기의 산란에 민감하지 않기 때문에, 긴 파장(가시와 IR과 비교하여)의 마이크로파 복사는 구름, 안개, 먼지 및 극심한 폭우를 제외한 비를 통해 통과 할 수 있다.
- 이러한 성질은 데이터를 언제든지 수집 할 수 있도록 하여, 거의 모든 기후와 환경 조건에서 마이크로웨이브 에너지를 탐지 할 수 있게 합니다.



3.1 Introduction

Passive microwave sensing

- 모든 개체는 일정한 크기의 마이크로웨이브 에너지를 방출하지만, 그 양은 일반적으로 매우 작다. 마이크로웨이브 에너지는
 - (1) 대기에서 방출,
 - (2) 표면으로부터 반사,
 - (3) 표면으로부터 방출, 또는
 - (4) 지하로부터 투과되어 나올 수 있다.
- 자연적으로 방출되는 에너지는 방출하는 개체나 표면의 온도나 습도 특성에 관련된다.



- 파장이 너무 길기 때문에, 사용 가능한 에너지는 광학 파장에 비해 매우 작다. 따라서, 신호를 기록하기에 충분한 에너지를 검출하도록 **시야(the fields of view)는 커야 한다**. 따라서 대부분의 **수동 마이크로파 센서**는 **낮은 공간 해상도**를 특징으로 한다.
- **수동 마이크로파 센서**에서, 마이크로파 에너지를 감지하고 기록하기 위해 **안테나**가 사용된다.
- **응용** : (a) **기상학(Meteorology)** - 대기의 수분과 오존 내용을 확인하는데.
(b) **수리학(Hydrology)** - 마이크로파 방사는 수분 함량에 좌우되기 때문에 토양 수분을 측정하는데.. (c) **해양학(Oceanography)** - 기름 유출 같은 오염 물질 탐지 뿐 아니라 빙산, 해류, 해수면 바람을 매핑하기 위해서 ...

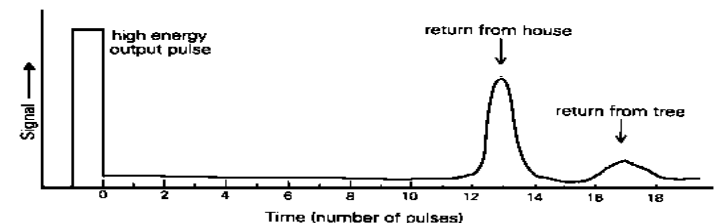
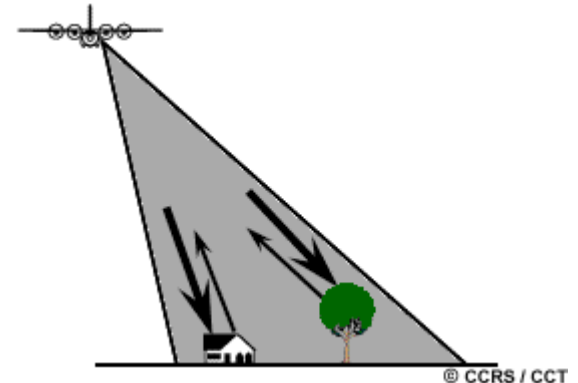
3.1 Introduction

능동(Active) 마이크로파 센서

- 목표를 비추기 위하여 자신의 **마이크로파 복사 소스**를 제공합니다.
- 능동 마이크로파 센서는 일반적으로 두 가지 범주로 나누어집니다 : 영상화(**imaging**) 및 비영상화(**non-imaging**)
- **영상화(imaging)** 마이크로파 센서 :

- 이미징 마이크로파 센서의 가장 일반적인 형태는 **RADAR**이다. **레이더(RADAR)** **RA**dio **D**etection **A**nd **R**anging 의 약자입니다.

- 센서는 대상을 향해 마이크로파(라디오) 신호를 송신하고, 신호의 후방 산란(backscattered) 부분을 검출한다. **후방 산란 신호의 세기**는 서로 다른 **목표들을 구별**하기 위해서, 그리고 **전송 및 반사된 신호들 사이의 시간 지연(time delay)**은 목표물까지의 **거리(또는 범위)**를 결정하기 위해 측정된다.



3.1 Introduction

- **비 영상화(Non-imaging) 마이크로파 센서** : 이들은 이미징 센서의 2 차원 표현 대신에, 1 차원 측정을 수행하는 **프로파일링 장치(profiling devices)**를 말한다.
 - **레이더 고도계(Radar altimeters)**는 짧은 마이크로파 펄스를 전송하고 센서로부터의 **거리를 결정**하는 대상에 **왕복 시간 지연**을 측정한다. 일반적으로 고도계는 플랫폼 아래의 최하점을 똑바로 보고 **높이** 또는 **고도**를 측정한다. 레이더 고도계는 항공기에서 **고도 측정**을 위해서, 그리고 항공기와 인공위성에서 **지형 매핑 및 해수면 높이 추정**에 사용됩니다.
 - **산란계(Scatterometers)** 는 대상에서 후방 산란되는 에너지의 양을 정확하게 **정량적으로 측정**하는데 사용된다. 후방 산란 된 에너지의 양은 **표면 특성 (거칠기)** 및 마이크로파 에너지가 **목표물에 입사하는 각도**에 의존한다. 바다 표면 위에 산란계 측정은 해수면 거칠기에 근거 **풍속을 추정**하는데 사용될 수있다. **지상의 산란계(Ground-based scatterometers)**는 정확하게 서로 **다른 재질과 표면 유형을 특성화하기 위해** 다양한 목표물의 후방 산란을 측정하는데 광범위하게 사용됩니다. 이것은 광 스펙트럼의 스펙트럼 반사율 곡선의 개념과 유사하다.

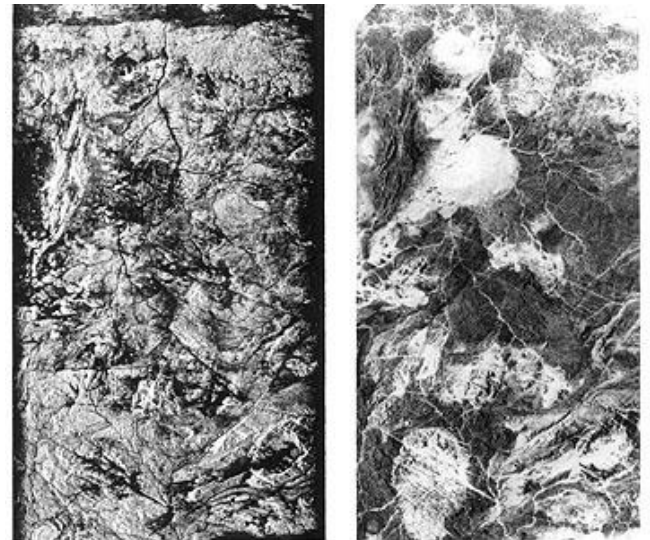
3.1 Introduction

- 수동 마이크로웨이브 감지와 마찬가지로, 레이더의 주요 **장점은 구름과 대부분 기상 조건을 관통**하는 복사의 기능이다. 레이더가 능동 센서이므로, **언제든지, 낮이나 밤에** 표면 영상화를 위해 사용할 수 있다. 이 두 가지 주요 장점이 레이더에 있습니다.

(1) **전천후(all-weather)** (2) **낮이나 밤이나 상관없이** 영상화

- 능동 레이더가 수동 광학 센서에 비해 근본적으로 다른 운영 방식으로 작동하기 때문에, 레이더 이미지는 스펙트럼의 가시 및 적외선 부분에서 획득 한 이미지와는 다른 **특별한 성질을 가지며, 상당히 다르다.** 이는 레이더(왼쪽) 와 Landsat(오른쪽)에 의해 얻어진 이집트의 한 지형 이미지들에서 분명히 알 수 있다..

- 이러한 차이 때문에, 서로 **다른 정보를** 제공하며 지구 표면의 서로 **다른 관점**을 제공함으로써 인해 **레이더 및 광학 데이터가 서로 보완**이 될 수 있습니다.



3.1 Introduction

영상 레이더의 기원과 역사

- **라디오 마이크로웨이브의 전송과 다양한 개체로부터 반사의 첫 번째 데모는 1886년 Hertz 에 의해 달성되었다.**
- **1900 년대에서, 배 감지(ship detection)를 위해 첫 초보 레이더가 개발되었다.**
- **1920 년대와 1930 년대는 원거리에서 물체를 감지하기 위해 실험적인 지상 펄스 레이더가 개발되었다.**
- **제2차 세계 대전 (1939~1945) 동안 사용 된 최초의 영상 레이더는 항공기 및 선박의 탐지와 위치에 사용 된 회전하며 훑는 표시기법(rotating sweep displays)이 사용되었다.**
- **제2차 세계 대전 후, 측방 공중 레이더(side-looking airborne radar SLAR)가 비행 중 항공기의 측면에서 일정 간격 떨어진 지상의 평행 스트립에 대한 군사 지형 정찰 및 감시를 위해 개발되었습니다.**
- **1950 년대에는 SLAR은 진보가 되었으며, 높은 해상도의 합성 개구 레이더(synthetic aperture radar : SAR)가 군사 목적으로 개발되었다.**

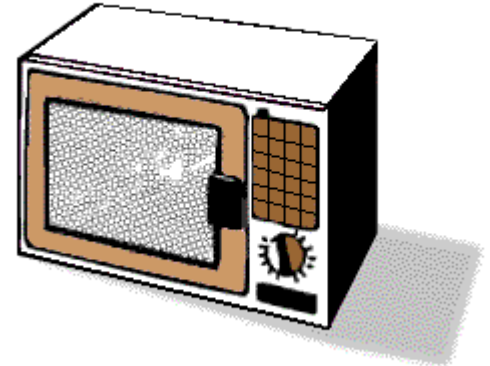
3.1 Introduction

- **1960** 년대에 이르러 레이더는 **기밀 해제 및 민간 매핑 응용 프로그램에 사용**되기 시작했다. 이 시간 이후 매핑 및 모니터링 응용 프로그램에 대한 몇 가지 항공기와 우주선 레이더 시스템의 개발이 번성하고 있다.
- **첫 번째 운영된 민간 레이더 위성 SEASAT** 는 주요 임무가 바다 표면을 측정하는 것이었던 실험적인 **L-밴드 레이더**였다. 그것은 1978 년에 발사 후 몇 달 뒤에 실패했지만 "**개념 증명(proof of concept)**"을 확인시킬 많은 이미지를 취득했습니다.
- **1980** 년대와 **1990** 년대 초에 걸쳐, 여러 연구 및 상업 **항공 레이더** 시스템은 다양한 응용 프로그램에 대한 **레이더 데이터의 유용성을 보여주는** 전 세계에 걸친 방대한 양의 이미지를 수집하였다.
- **1991** 년 **ESA**의 **ERS-1**의 발사와 함께, **우주 레이더 연구**가 강화되었고, **1992** 년에 일본의 **J-ERS** 위성의 발사가 뒤따랐으며, **1995** 년 **ERS-2** 및 캐나다의 고급 **RADARSAT** 위성의 발사도 뒤따랐다.

3.1 Introduction

Did You Know?

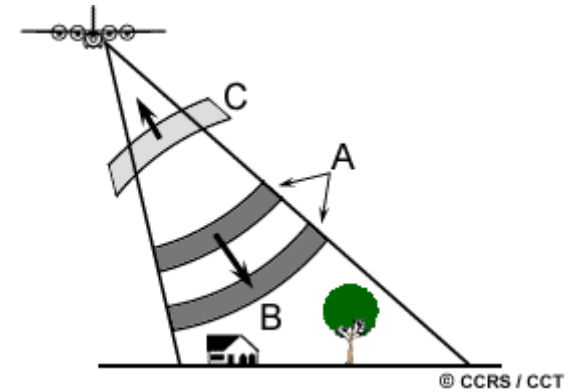
'S' 밴드 마그네트론은 일반적으로 마이크로웨이브(전자 레인지) 동력원(power sources)에 사용됩니다. 이들은 2-4 GHz 의 범위이며, 해당 파장은 7.5 cm ~ 15 cm 이다. 마이크로웨이브의 도어에 사용되는 스크리닝 메쉬는 충분히 조밀하여(7.5 cm 보다 훨씬 작은) 레이더 에너지의 탈출을 방지하는 연속된 얇은 금속판으로 동작되며, (더 짧은 파장을 갖는 가시파장을 사용하여) 내부의 가시성을 허용한다.



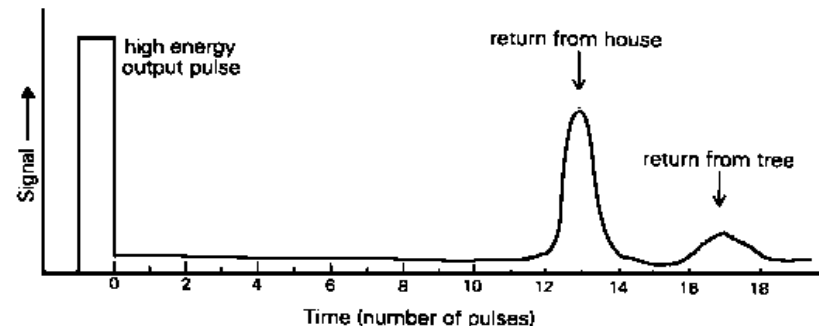
3.2 Radar Basics

- 레이더(radar)는 기본적으로 레인지(ranging) 또는 거리 측정 장치이다
- 이것은 근본적으로 송신기(transmitter), 수신기(receiver), 안테나(antenna), 및 데이터를 처리하고 기록하기 위한 전자 시스템으로 구성된다.

- 송신기는 안테나에 의해 빔 (B)으로 집중된 일정한 간격의 마이크로파의 연속적인 짧은 버스트(bursts)들 (A) (또는 펄스)를 생성한다. 레이더 빔은 플랫폼의 진행방향에 직각으로 경사지게 표면을 조명한다. 안테나는 조명 빔 내의 다양한 객체에서 반사된 (또는 후방 산란된 backscattered) (C) 송신 에너지의 일부를 수신한다.

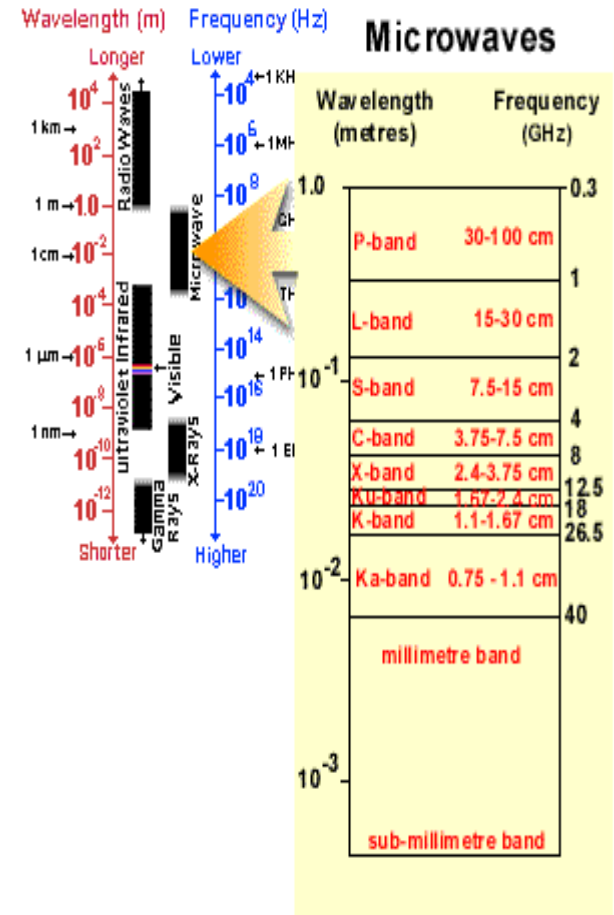


- 펄스의 전송과 여러 대상에서 후방 산란된 "에코" 사이의 시간 지연을 측정함으로써 레이더로부터 그들까지의 거리를 결정 할 수 있다.
- 감지 플랫폼이 앞으로 이동함에 따라, 후방 산란 된 신호의 기록 및 처리는 표면의 2 차원 화상을 구축하게 된다.



3.2 Radar Basics

- 스펙트럼의 **마이크로웨이브 영역**은 가시 및 적외선에 비해 매우 크며, 제2차 세계 대전 중에 문자 코드들로 부여되어, 현재까지 남아 일반적으로 사용되는, 여러 가지 파장의 범위 또는 **밴드**가 있습니다.
- **Ka, K, Ku-bands**: 초기 항공 레이더 시스템에 사용되었으나, 오늘날에는 드물게 사용되는 매우 짧은 파장
- **X-band**: 군사 정찰 및 지형 매핑을 위해 항공 시스템에서 널리 사용
- **C-band**: 많은 항공 연구 시스템(CCRS Convair-580 & NASA AirSAR) 과 우주 시스템(ERS-1/2 & RADARSAT)에서 널리 사용됨.
- **S-band**: Russian **ALMAZ** 위성에 탑재 되어 사용됨.
- **L-band**: 미국 **SEASAT** & 일본 **JERS-1** 위성 & NASA 항공 시스템에서 사용됨.
- **P-band**: NASA 실험 항공 연구 시스템에 사용되는 가장 긴 레이더 파장



3.2 Radar Basics

- 여기 두 레이더 영상은 동일한 농업 지역 이미지이며, 각 화상은 **다른 레이더 밴드를 사용하여 수집된 것**으로 : **상단은 C-밴드 레이더, 하단은 L-밴드 레이더** 결과이다.
- 두 이미지의 각각에 다양한 지역과 작물이 **표시되는 방식** 사이에 **상당한 차이**가 있음을 명확하게 볼 수 있다. 이는 레이더 에너지가 **레이더 파장에 따라** 필드와 작물과 **다르게 상호 작용**함에 의한 것이다.

Two radar images of the same agricultural fields



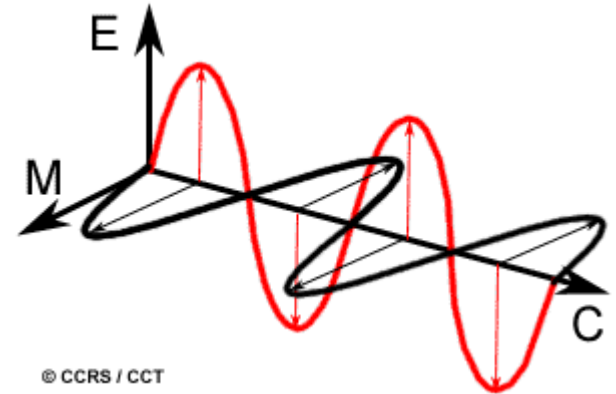
C-Band Radar Image



L-Band Radar Image

3.2 Radar Basics

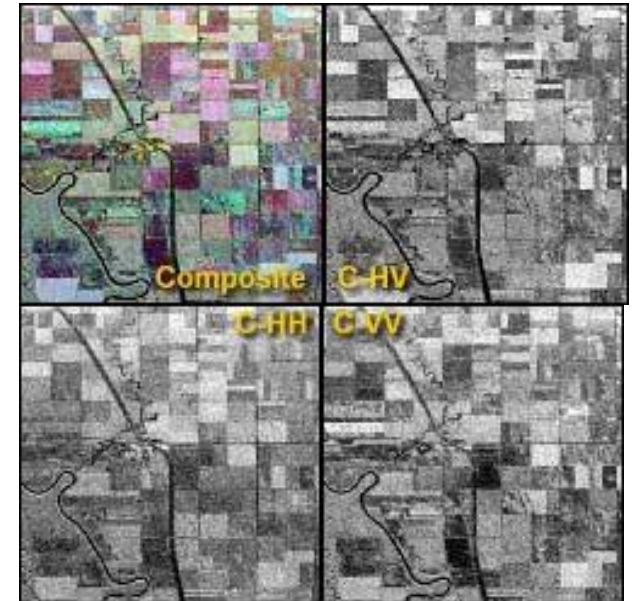
• 마이크로웨이브 복사의 **편광(Polarization)**은 **전기장(electric field : E)의 방향**을 의미한다. 대부분의 레이더는 마이크로파 복사 **수평 편광(H)** 또는 **수직 편광(V)** 중 하나를 전송하도록 설계되어 있습니다. 마찬가지로, 안테나는 수평 또는 수직으로 편광된 후방 산란(backscattered) 에너지 하나를 수신하고, 어떤 레이더를 모두 수신할 수 있다. 이 두 편광 상태는 **수평(horizontal)**의 경우는 문자 **H**, **수직(vertical)**의 경우는 **V**로 부른다.



- 따라서, 송신과 수신 편광의 네 가지의 조합이 다음과 같이 된다 :
 - **HH** - 수평 송신(horizontal transmit) 및 수평 수신(horizontal receive),
 - **VV** - 수직 송신(vertical transmit) 및 수직 수신(vertical transmit),
 - **HV** - 수평 송신(horizontal transmit) 및 수직 수신(vertical transmit),
 - **VH** - 수직 송신(vertical transmit) 및 수평 수신(horizontal receive).
- 처음 두 편광 조합은 송신과 수신 편광이 동일하기 때문에 **같은-편광(like-polarized)**이라고 합니다. 마지막 두 조합은 송신과 수신 편광이 서로의 반대이기 때문에 **교차-편광(cross-polarized)**이라고 합니다.

3.2 Radar Basics

- 다음의 농업 지역에 대한 **C-밴드 이미지**가 **편광의 변화**에 인해 **레이더 응답의 변화**를 보여 주고 있다.
- 아래 두 이미지는 **같은-편광(like-polarized)**(각각 **HH**와 **VV**), 그리고 오른쪽 이미지는 **교차-편광(cross-polarized)**(**HV**)의 입니다. 왼쪽 위의 이미지는 세 가지 다른 편광을 각각 원색(적색, 녹색, 청색)으로 해서 함께 표시한 결과이다.
- 파장에서의 변화와 마찬가지로, **송신과 수신 편광에 따라서**, 복사가 표면과의 상호 작용을 통해서 다른 후방 산란을 일으키게 된다.



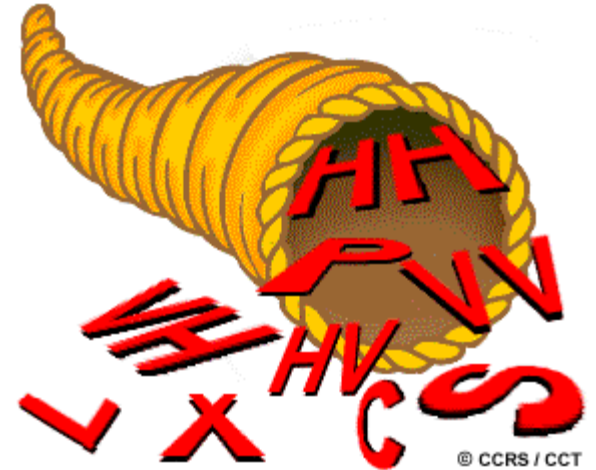
C-band images

- **파장과 편광** 모두 레이더가 표면을 "**인식**"하는 **방법에 영향을 줍니다**. 따라서, 서로 다른 편광 및 파장의 조합을 이용하여 수집된 레이더 이미지는 표면의 목표물에 대한 서로 다른 보조적인 정보를 제공 할 수 있다.

3.2 Radar Basics

Quiz 특정 장면에 대한 추가 정보를 추출하기 위해서 다른 파장 또는 편광의 레이더 이미지를 어떻게 사용할 수 있을까?

ANS 데이터의 여러 대역 또는 채널을 갖는 광 센서와 마찬가지로, 다 파장(multi-wavelength)과 다중 편광(multi-polarization) 레이더 이미지는 보완 정보를 제공할 수 있다. 상이한 파장에서 수집된 레이더 데이터는 광학(optical) 원격 탐사 데이터의 서로 다른 밴드와 유사하다. 마찬가지로, 다양한 편광 또한 정보의 상이한 밴드로 간주될 수 있다. 레이더 에너지의 파장 및 편광에 따라서, 표면의 대상과 다르게 상호 작용할 것이다. 다중 밴드 광학 데이터와 마찬가지로, 데이터의 서로 다른 "채널을" 함께 결합하여 컬러 이미지를 생성할 수 있으며, 이를 통해서 파장 또는 편광 기능에 의한 미묘한 변화를 강조할 수 있다.



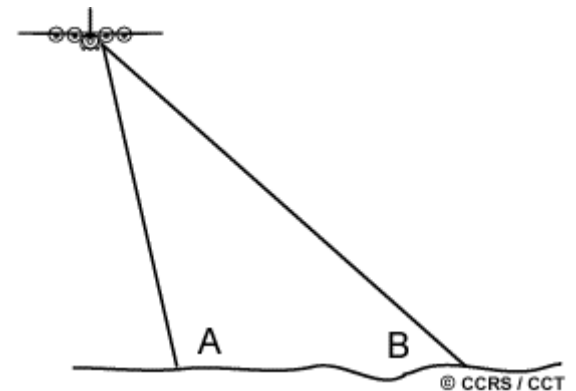
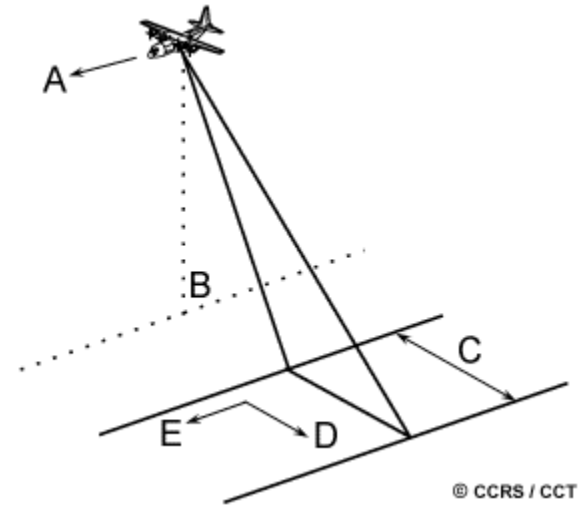
3.2 Radar Basics

Quiz 비-영상 산란계(non-imaging scatterometer)로 얻어진 자료가 어떻게 영상 레이더(imaging radar)로부터 더 정확한 정보를 추출하는 데 사용될 수 있는지를 설명하십시오.

ANS 산란계(scatterometer)는 객체 또는 표면에서 반사되는 후방 산란의 세기를 정확하게 측정하는데 사용된다. 다양한 물체 또는 표면 유형의 반사 에너지의 강도를 정확하게 특성화 (즉, 측정) 함으로써, 이러한 측정은 광학 데이터의 스펙트럼 서명(spectral signatures)의 개념과 유사한 전형적인 **후방 산란 서명(backscatter signatures)**을 생성하는데 사용될 수 있다. 이러한 측정은 서로 다른 대상들 간의 반응을 보다 정확하게 비교할 수 있도록, 영상 레이더 센서로부터 이미지를 보정하기 위한 참조로서 사용될 수 있다.

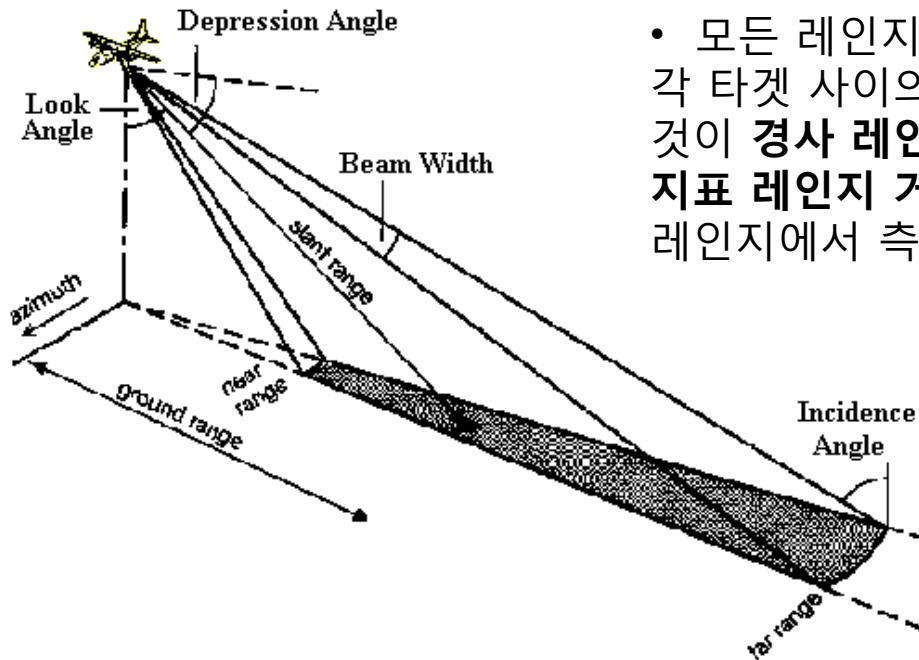
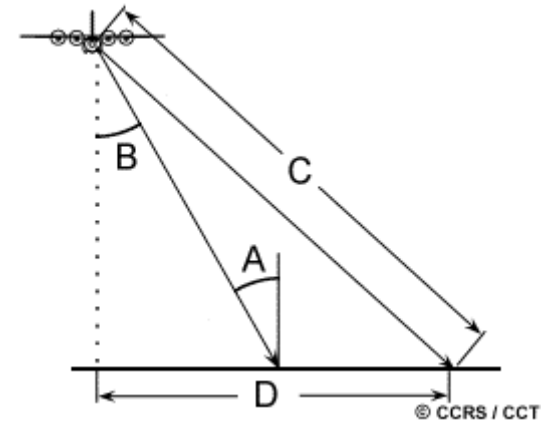
3.3 영상화구조(Viewing Geometry) 및 공간 해상도

- 레이더 시스템의 **영상화 구조(imaging geometry)**는 광학 원격탐사에서 일반적으로 사용되는 프레이밍과 스캐닝 시스템과는 **다르다**.
- 플랫폼은 직 하부에 **천저점(nadir)(B)**을 갖고 **비행 방향(A)**을 따라 앞으로 이동한다.
- **마이크로웨이브 빔**이 천저점에서 떨어진 **스왑스(C)**를 조명하며 **비행 방향에 직각으로 비스듬하게 전송된다**.
- **레인지(Range) (D)** 비행 방향에 수직한 **트랙횡단(across-track) 방향**을 말하며, **방위각(azimuth) (E)**은 비행 방향에 평행한 **트랙방향(along-track)**을 말한다. 이러한 **측면을 바라 보는 구조**는 영상 레이더 시스템 (항공 또는 우주선)의 전형적 방식이다
- 레이더 플랫폼의 천저점 트랙에 가장 가까운 이미지 관측폭 부분을 **가까운 레인지(near range) (A)**라 부르고, 천저점으로부터 먼 관측폭의 부분을 **먼 레인지(far range) (B)**라고 합니다.



3.3 Viewing Geometry and Spatial Resolution

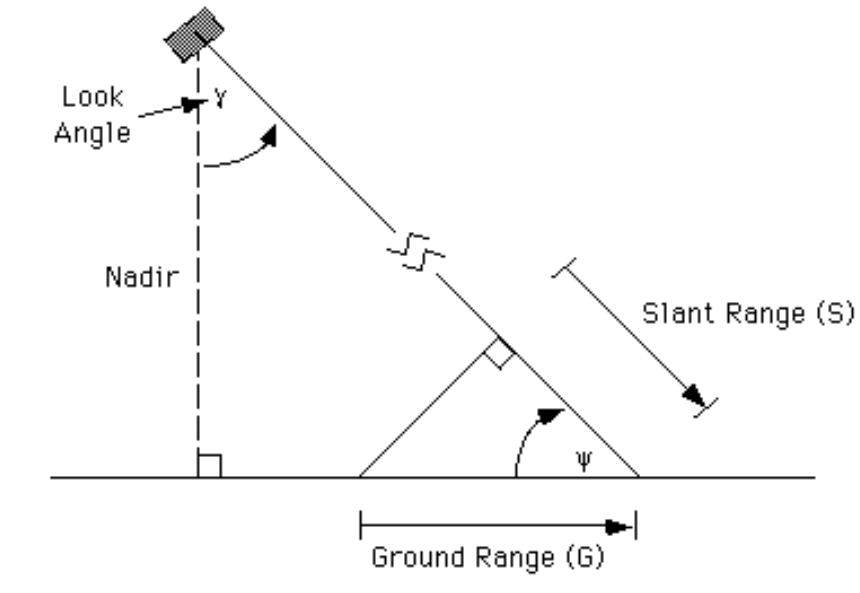
- 입사각(incidence angle) (A)는 레이더 빔(radar beam)과 지표면 사이의 각도이며, 가까운 레인지(near range)로부터 먼 레인지(far range)로 관측폭을 가로지르며 증가한다.
- 관측각도(look angle) (B)는 레이더가 지표를 보는 각도이다. 가까운 레인지(near range)에서 바라보는 구조가 가파르다고(steep) 언급하며, 먼 레인지(far range)에서는 얕다고(shallow) 표현한다.



- 모든 레인지에서 레이더 안테나는 레이더와 지표의 각 타겟 사이의 시야 거리의 방사형 선으로 측정하며, 이것이 경사 레인지 거리(slant range distance) (C)이다. 지표 레인지 거리(ground range distance) (D)는 경사 레인지에서 측정된 각 포인트에 대응하는 지표의 실제 수평 거리이다.

3.3 Viewing Geometry and Spatial Resolution

Slant Range vs. Ground Range



$$S = G \cdot \cos(\psi)$$

$$\psi + \gamma = 90 \text{ degrees} \quad \Rightarrow \quad \psi = 90 - \gamma$$

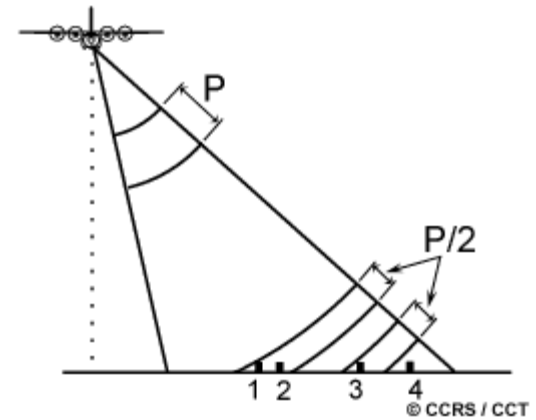
$$S = G \cdot \cos(90 - \gamma) \quad \& \quad \cos(90 - \gamma) = \sin(\gamma)$$

$$S = G \cdot \sin(\gamma)$$

ERS-1 data has approximately 8 meter slant range spacing. Since ERS-1's look angle is about 23 degrees, the data's ground spacing turns out to be around 20 meters.

3.3 Viewing Geometry and Spatial Resolution

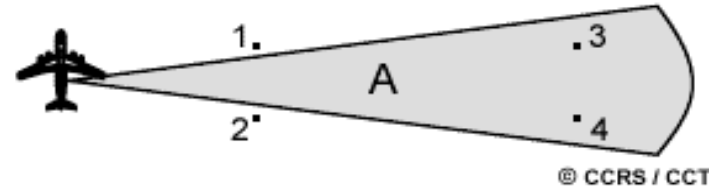
- 광학 시스템과는 달리, 레이더의 공간 해상도는 마이크로웨이브 복사의 특정 성질과 기하학적 효과의 함수이다.
- 실제 개구 레이더(Real Aperture Radar : RAR)에서는 (측방 바라보는(Side-Looking) 항공 레이더처럼) 단일 송신 펄스(a single transmit pulse)와 후방 산란 된 신호가 화상을 형성하는데 사용된다. 이 경우, 해상도는 경사 레인지 방향에서 펄스의 유효 길이(effective length)와 방위각 방향의 조명의 폭에 의존한다.



- 레인지 또는 트랙-횡단 방향 해상도는 펄스의 길이 (P)에 의존한다. 지표의 두 개의 서로 다른 대상은 떨어진 정도가 펄스 길이의 반 (P/2) 보다 큰 경우 레인지 방향에서 분리 식별 될 것 입니다. 예를 들어, 위의 그림에서 목표 1과 2는 구분되지 않지만, 3과 4는 분리 식별된다.
- 경사 레인지의 해상도(Slant range resolution)는 레인지와는 독립적으로 항상 일정하게 유지됩니다. 하지만, 지상 레인지 좌표에 투영된 경우에는, 지상 레인지 해상도는 입사각에 의존하게 된다. 따라서, 고정된 경사 레인지 해상도에 대해서, 지상 레인지 해상도는 레인지가 증가할수록 감소하게 된다.

3.3 Viewing Geometry and Spatial Resolution

- 방위각(azimuth) 또는 트랙방향 해상도는 복사된 마이크로웨이브 빔의 각도 폭(angular width)과 경사 레인지 거리에 의해 결정된다. 이러한 빔폭(beamwidth)은 (A)의 조명 패턴의 폭의 측정치이다.

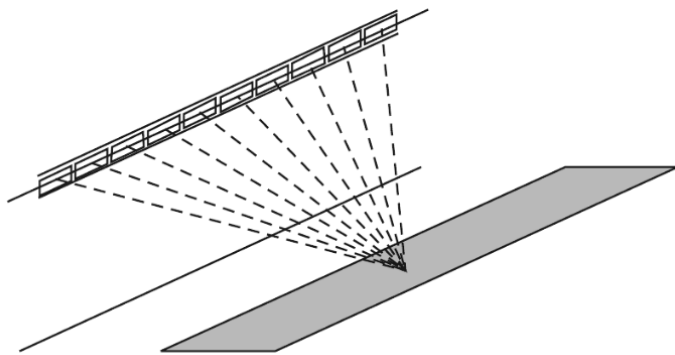
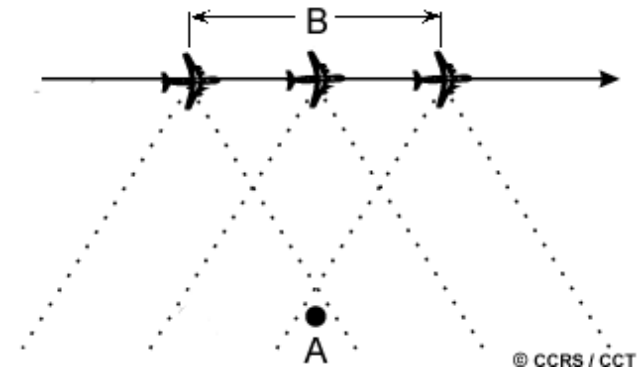


- 레이더 조명이 센서로부터 멀어지는 거리로 전파됨에 따라서 방위각 해상도가 감소 (더 거칠어짐) 하게 된다. 위의 그림에서, 가까운 레인지의 목표물 1 과 2가 분리되나, 먼 레인지의 목표물 3 과 4 는 분리 되지 않는다.
- 레이더 빔 폭(beamwidth)은 안테나(또한 개구(aperture)라고도 함) 길이에 반비례하며, 이는 더 긴 안테나의 사용은 좁은 빔 과 그에 따른 미세한 해상도를 만들어 냄을 의미한다.
- 미세한 레인지 해상도는 짧은 펄스 길이를 사용함으로써 달성 될 수 있으며, 이는 특정 엔지니어링 설계 한계에 따르게 된다.
- 정밀한 방위각 해상도는 안테나 길이를 증가시킴으로써 달성 될 수 있다. 그러나, 안테나의 실제 길이는 항공 또는 우주선 플랫폼에 탑재 할 수 있는 정도로 제한됩니다. 항공 레이더의 경우는 안테나 길이가 일반적으로 1~2미터로 제한되며, 위성에서는 길이가 10~15m 일 수 있습니다.

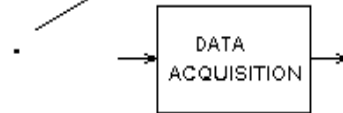
3.3 Viewing Geometry and Spatial Resolution

- 이러한 크기 제한을 극복하려면, 플랫폼의 전진 운동과 후방 산란된 에코의 특별한 기록 및 처리를 통해서 매우 긴 안테나를 흉내 내는데 사용하고, 따라서 방위각 해상도 (azimuth resolution)를 증가시킬 수 있습니다.

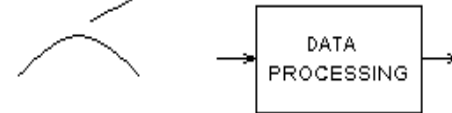
- 다음의 그림이 이것이 어떻게 달성되는 지를 보여 줍니다. 타겟 (A)가 처음 레이더 빔 안에 들어오면, 각 송신 펄스로부터 후방 산란 된 에코가 기록되기 시작한다. 플랫폼이 앞으로 지속적으로 이동하며, 각 펄스에 대한 대상에서의 모든 에코는 대상이 빔 내에 있는 전체 시간 동안 기록됩니다. 일정 시간 후 대상이 레이더 빔의 내에서 벗어나는 지점이 시뮬레이션 또는 합성 안테나 (B)의 길이를 결정합니다.



POINT TARGET



HYPERBOLA

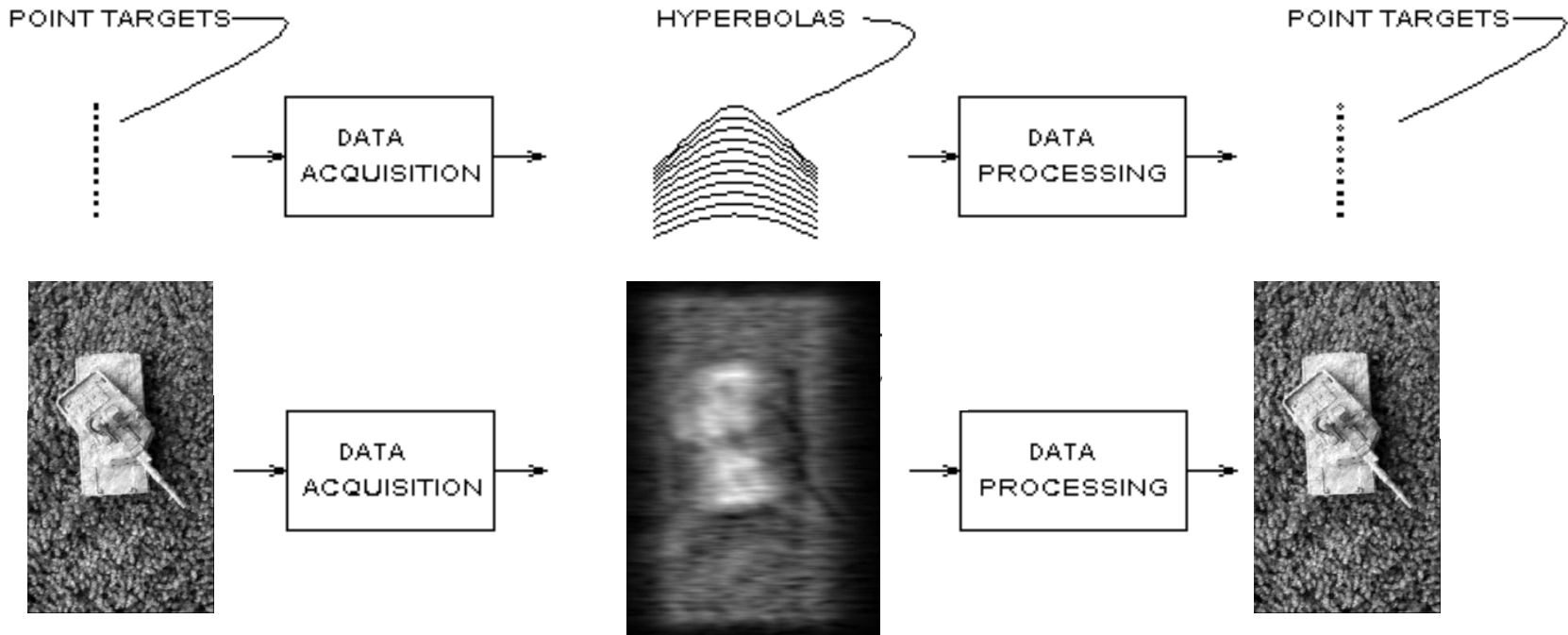


POINT TARGET



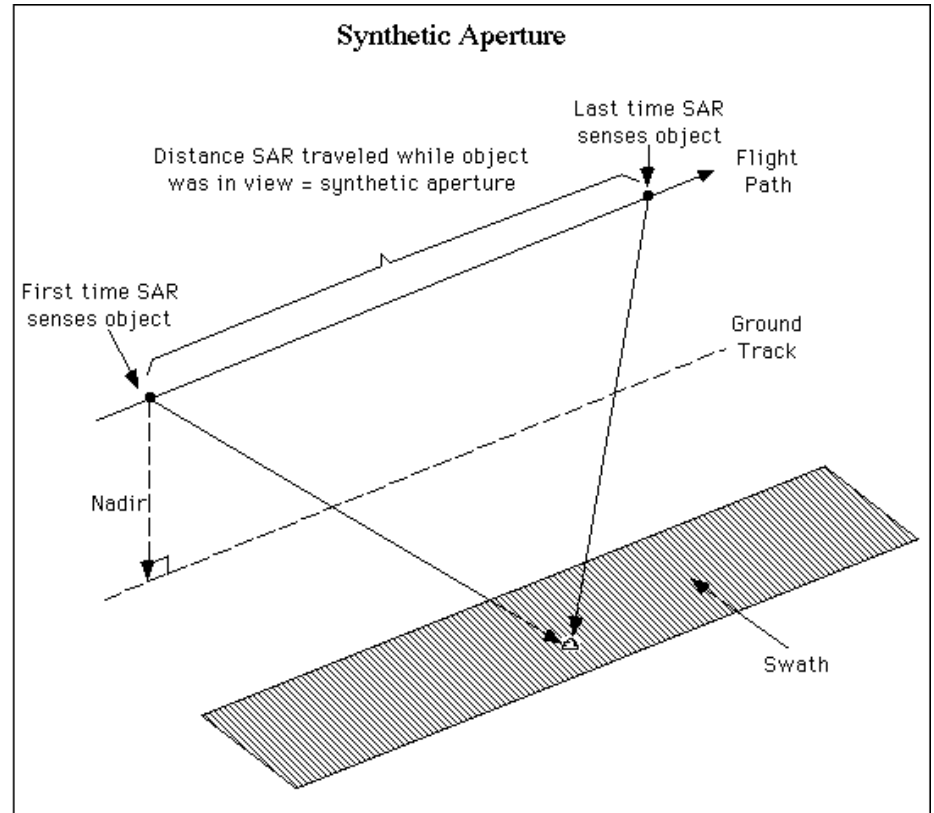
3.3 Viewing Geometry and Spatial Resolution

- 빔이 가장 넓어지는, 먼 레인지의 타겟이 가까운 레인지의 객체보다 더 오랜 시간 동안 조명 된다. 증가된 시간과 함께 확장된 빔폭(beamwidth)으로 인해서 지표 레인지가 증가함에 따라 빔 안에 타겟이 오게 되며, 관측폭 전체에 걸쳐 해상도가 일정하게 유지되도록 서로 균형을 이루게 된다. 전체 영상 관측폭에 걸쳐 정밀한 방위각 해상도의 균일함을 달성하는 이 방법을 합성 개구 레이더(synthetic aperture radar SAR)라고 한다. 대부분의 항공과 우주선의 레이더는 이 유형의 레이더를 사용합니다. called (SAR).



3.3 Viewing Geometry and Spatial Resolution

- **ERS-1** 위성의 SAR 는 1초 동안 약 1700 개의 펄스를 보내며, 그 위를 통과하면서 하나의 개체에서 천 개의 후방 산란된 응답을 취득하며, 처리된 결과 이미지는 **30m 근처의 해상도**를 가진다.
- 개체가 레이더의 "**시야 안에**" 있는 동안 우주선은 약 **4 킬로미터** 이동하며, 이는 **ERS-1의 10 m x 1 m** 크기의 레이더 안테나가 **4km** 길이의 고정 안테나를 합성함을 의미한다.



3.3 Viewing Geometry and Spatial Resolution

Quiz 합성 개구 레이더 (SAR)의 사용이 우주에서의 레이더 원격 탐사에 대한 유일한 실질적 방안을 설명하시오.



ANS 우주선 플랫폼의 높은 고도(즉, 수백 Km)에서는 레인지 거리의 함수로 주어지는 방위각 해상도가 사용되기에는 너무 나쁘기 때문에 실제 개구 레이더(real aperture radar RAR)의 사용은 불가능하다.



© CCRS / CCT

우주선의 RAR에서 미세한 해상도를 달성 할 수 있는 유일한 방법은 매우 좁은 빔을 갖는, 매우 긴 물리적 안테나를 필요로 한다.

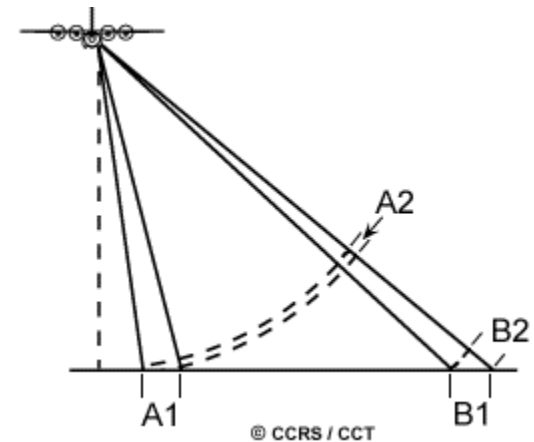
그러나, 길이가 몇 킬로미터의 안테나 구축하기도, 우주선에 탑재도 물리적으로 불가능하다. 따라서, 우리는 미세한 방위각 해상도를 달성하기 위해 긴 안테나를 합성하는 합성 개구 레이더(synthetic aperture radar)를 사용해야 합니다.

3.4 레이더 영상 왜곡(Distortions)

- 레이더의 바라보는 형태는 결과 이미지에 특정 **기하학적 왜곡(geometric distortions)**으로 나타난다. 그러나, 레이더 이미지의 주된 차이는 **측방-관측 구도(side-looking viewing geometry)**라는 사실과 레이더는 근본적으로 **거리 측정 장치(a distance measuring device)**(즉, 레인지 측정)라는 사실로부터 나온다.

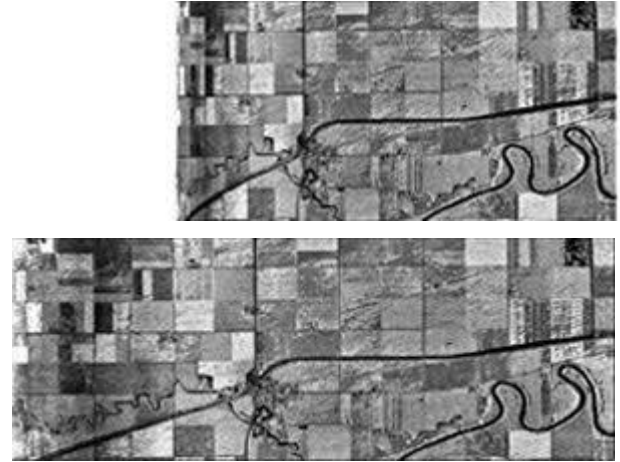
- 레이더가 지면을 따라 진정한 수평 거리가 아닌 대상까지의 거리를 경사 레인지로 측정하기 때문에 경사 레인지 축척 왜곡(**slant-range scale distortion**)이 발생합니다. 이것은 가까운 레인지에서 먼 레인지로 이동하며 축척이 변화하는 결과를 낳는다.

- 대상 A1과 B1이 지상에서 같은 크기를 갖을지라도, 경사 레인지에서의 겉보기 크기(A2와 B2)는 다릅니다. 이는 **가까운 레인지의 목표가 먼 레인지에 비하여 상대적으로 압축되어 표시되게** 합니다. 삼각법을 이용하여 경사 레인지의 거리와 플랫폼 고도로부터 지상 레인지 거리가 계산 될 수 있다.



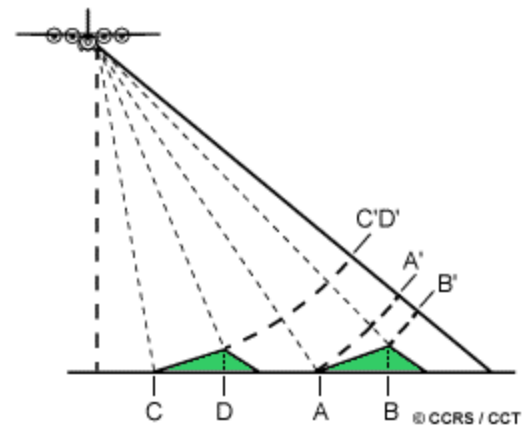
3.4 Radar Image Distortions

- 오른쪽의 변환 비교에서, **경사-레인지 디스플레이(slant-range display)**(top)에서는 화상의 좌측의 가까운 레인지의 필드와 로드가 압축되어 나타나며, **지표-레인지 디스플레이(ground-range display)**로 변환된 레이더 이미지(bottom)는 자신의 적절한 기하학적 형태로 대상들이 표시 됨을 보여준다.



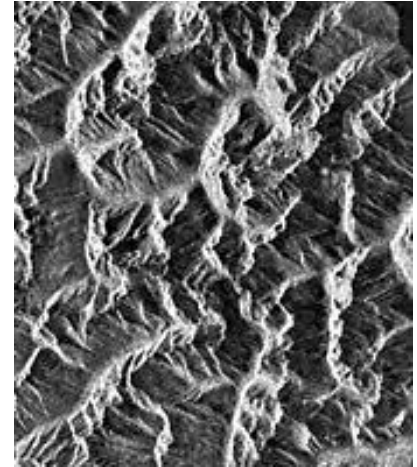
3.4 Radar Image Distortions

- 레이더 이미지도 **기복 변위(relief displacement)**에 의한 기하학적 왜곡이 적용됩니다. 스캐너 이미지와 마찬가지로, 이 변위는 **일차원적으로 비행 경로에 수직으로** 발생합니다. 그러나, 변위는 센서로부터 멀어지는 방향 대신에, **거꾸로 대상이 센서 쪽으로 변위가 나타나게** 됩니다. 레이더 **포어쇼트닝(foreshortening)** 과 **덮임(layover)**이 기복 변위의 두 가지 결과이다.
- 포어쇼트닝(Foreshortening)** : 레이더 빔이 레이더를 향해 기울어진 높은 대상(e.g. 산)의 정상에 도달하기 전에 대상의 하부에 도달할 때 **포어쇼트닝(foreshortening)**이 발생한다. 그리고, 레이더는 경사-레인지 방향으로 거리를 측정하기 때문에 **경사면(A to B)**은 **압축되어** 보여지고, 경사면의 길이는 **잘못(A' to B')** 표시된다.
- 레이더 빔의 입사각에 대한 언덕이나 산 경사면의 각도에 따라, **포어쇼트닝(foreshortening)**의 심각도는 **변화**한다. **최대의 포어쇼트닝**은 경사면, 베이스 및 상부가 동시에 영상화되도록(C to D) **경사면에 레이더 빔이 수직으로 입사할 때** 발생한다. 이 경우, 슬로프의 길이는 경사 레인지에서 0으로 유효 길이 (C'D')가 감소합니다.



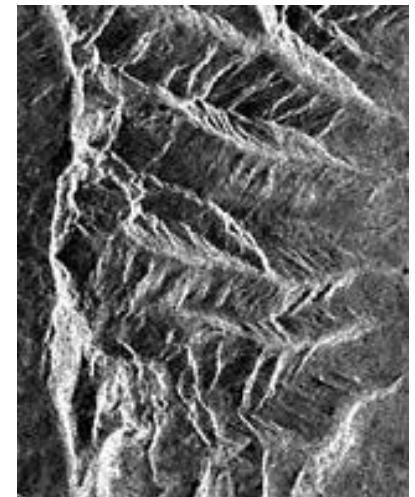
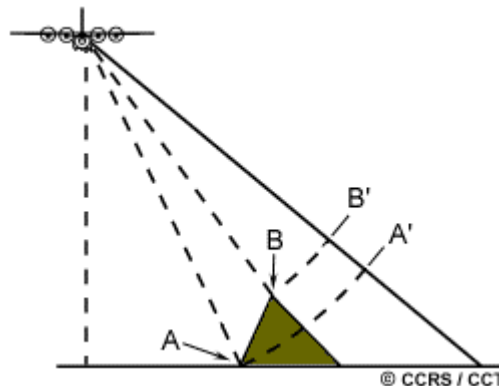
3.4 Radar Image Distortions

- 오른쪽 그림은 심각한 포어쇼트닝을 갖는 가파른 산악 지형의 레이더 이미지를 보여줍니다. 포어쇼트닝된 경사면들은 이미지에서 **밝은 대상으로** 표시된다.



- **레이오버(Layover)** : 레이더 빔이 **높은 대상의 하부(A)에 도달하기 전에 상단(B) 도달 할 때** 발생한다. 대상의 상단에서 반환된 신호가 하부로부터 신호가 전달되기 전에 수신 될 것이다. 그 결과, 대상의 상부는 지상에 실제 위치보다도 레이더 쪽으로 향해 이동되고, 대상의 하부에 “**덮어씌움(lay over)**”이 (B' to A') 나타난다.

- 레이더 이미지에서 **레이오버(Layover) 효과**는 포어쇼트닝 효과와 아주 흡사하다. 포어쇼트닝 효과와 같이 레이오버는 **산악지역에서 관측폭의 가까운 레인지에서 작은 입사각의 경우 가장 심하게** 나타난다.



3.4 Radar Image Distortions

- 포어쇼트닝과 레이오버 모두 **레이더 그림자 (radar shadow)**를 만든다. 레이더 그림자는 레이더 빔이 **지표면을 조명할 수 없을 때** 발생한다. 그림자는 수직의 대상이나 가파른 경사면 뒤에 아래쪽 레인지 방향(즉, 먼 레인지 쪽)에 발생한다.

- 레이더 빔이 표면을 조명하지 않기 때문에 그림자 진 영역은 후방 산란이 없어 **이미지에서 어둡게** 나타납니다. **가까운 레인지에서 먼 레인지로** 이동하면서 **입사각이 증가**하면, 레이더 빔이 점점 더 비스듬하게 표면을 바라보게 되어 **그림자 효과도 증가**하게 된다. 오른쪽 이미지는 왼쪽으로부터 조명되어 언덕의 오른쪽에 레이더 그림자 효과가 나타나는 것을 보여준다.

빨강 면은 완전히 그림자에 놓인다. 이미지의 검은색 영역은 그림자로 되어 정보가 전혀 없게 됩니다.



3.4 Radar Image Distortions

Did You Know?

... 레이더의 **측면-관측(side-looking)** 구조에서는 **포어쇼트닝(foreshortening)**, **레이오버(layover)**, **그림자** 등의 여러 가지 이미지 효과가 발생할 수 있지만, 이 구조는 **지형 분석**을 위한 정확히 레이더가 매우 **유용한 이유**입니다. 이러한 효과는, 만약 너무 심각하지만 않으면, **기복과 지형 구조의 시각적 모양을 향상시킴으로써** 실제로 이러한 지형 매핑 및 지질 구조를 확인하는 등의 응용 프로그램에 대한 레이더 영상이 최적이 되도록 해준다.

