

บทที่ 2

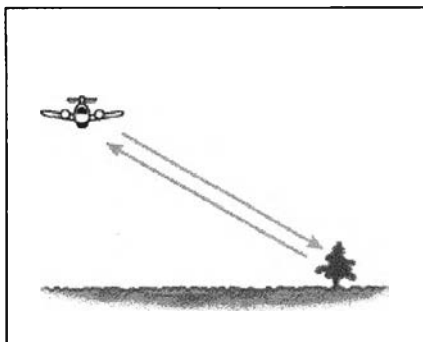
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิดและทฤษฎี

2.1.1 ข้อมูลพื้นฐานและระบบแอร์ซาร์

ระบบ AIRSAR หรือ Airborne Synthetic Aperture Radar ขององค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งสหรัฐอเมริกา (The National Aeronautics and Space Administration หรือ NASA) เป็นระบบเครื่องมือถ่ายภาพในทุกสภาวะอากาศ สามารถถ่ายภาพทะลุเมฆ และถ่ายภาพได้ทั้งกลางวันและกลางคืน นอกจากนี้คุณสมบัติของร่องคลื่นเรดาร์ยังสามารถทะลุผ่านเรือนยอดไม้ ตลอดจนพื้นทรายและพื้นหิมะได้ด้วย โดยระบบ AIRSAR ได้ถูกออกแบบและพัฒนาโดยหน่วยงาน Jet Propulsion Laboratory (JPL) ของ NASA โดยเครื่องมือ AIRSAR ดำเนินการถ่ายภาพโดยใช้เครื่องบิน DC-8 เป็นยานพาหนะ (โครงการประยุกต์ข้อมูลเรดาร์ AIRSAR ในประเทศไทย ,2539-2540)

ระบบ AIRSAR หรือ Airborne Synthetic Aperture Radar เป็นระบบเรดาร์ที่ถ่ายภาพด้านข้าง (side-looking radar) (ดังรูปที่ 2) โดยมีคุณสมบัติในการบันทึกข้อมูลพร้อมกัน 3 ช่วงคลื่น ได้แก่ C-band (ความยาวคลื่น 5.7 ซม.) L-band (ความยาวคลื่น 2.5 ซม.) และ P-band (ความยาวคลื่น 68 ซม.) ในลักษณะทุกระนาบแสง (full polarimetric) เรียกว่า POLSAR ซึ่งข้อมูลจะมีคุณสมบัติตอบสนองของรูปร่างของวัตถุ (geometry) และคุณสมบัติการเป็นสื่อไฟฟ้า (dielectric properties) นอกจากนี้ AIRSAR ยังสามารถให้ข้อมูลในแบบ interferometric ในแบบขวางแนวนบิน (cross-track) เรียกว่า TOPSAR ซึ่งจะมีคุณสมบัติตอบสนองต่อลักษณะทางภูมิประเทศ ซึ่งมีประโยชน์ในการศึกษาความสูงของภูมิประเทศ



รูปที่ 2 - แสดงลักษณะการถ่ายภาพด้านข้าง (side-looking radar) ของ AIRSAR

ที่มา : http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/ccrs/learn/tutorials/stereosc/chap5/chapter5_5_e.html

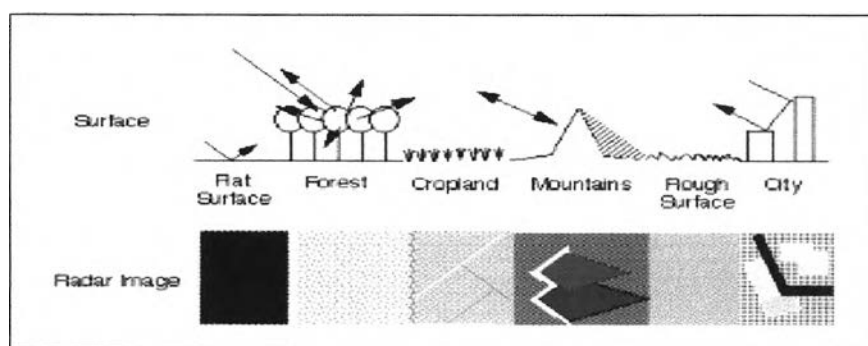
ลักษณะข้อมูลเรดาร์ซารีในประเทศไทย ดำเนินการถ่ายที่ความสูง 8 กิโลเมตร จากพื้นดิน โดยให้ความเร็วที่ 210 เมตร ต่อ วินาทีและให้ความกว้างคลื่น (Bandwidth) 40 MHz ในแบบ TOPSAR แบบ XT1 1 ซึ่งลักษณะของข้อมูลประกอบด้วย

- C - band แบบ VV และ DEM (Digital Elevation Model)
- L – band แบบ HH , HV, VH และ VV
- P – band แบบ HH , HV, VH และ VV

โดยมีมุมถ่ายภาพ อยู่ระหว่าง 20 –60 องศา และมีรายละเอียดของจุดภาพ 10 * 10 เมตร

คุณลักษณะของภาพ AIRSAR

คุณลักษณะของภาพเรดาร์ซารีจะแสดงผลในรูประดับสีเทา (gray scale image) ประกอบด้วยจุดภาพจำนวนมากเรียกว่า "Pixel" ซึ่งแต่ละจุดภาพจะแสดงถึงความเข้ม (intensity) ของสัญญาณการสะท้อนกลับ (backscatter) จากวัตถุชนิดต่างๆที่อยู่บนผิวโลก ดังรูปที่ 3

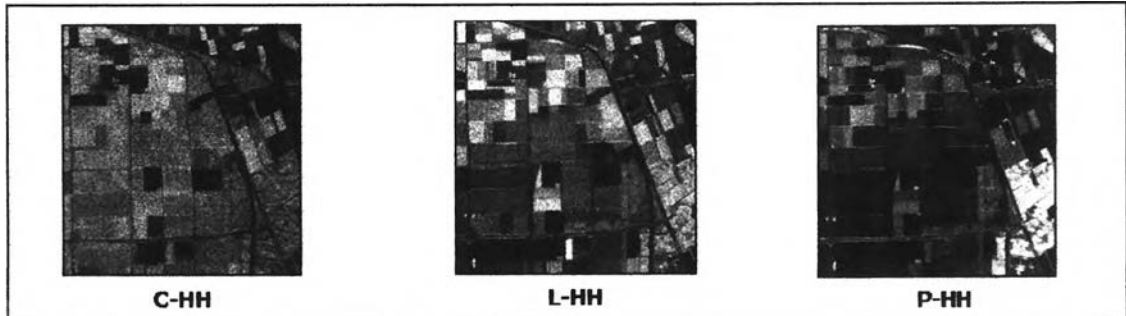


รูปที่ 3 แสดงลักษณะของการสะท้อนกลับจากวัตถุต่างชนิดกัน

ที่มา : http://www.geog.ucsb.edu/~jeff/115a/remote_sensing/radar/rad

โดยจุดภาพที่มีความมืด(dark) หมายถึงค่าพลังงานที่สะท้อนกลับมายังเครื่องรับมีค่าต่ำ ในทางตรงกันข้ามหากจุดภาพใดที่มีค่าค่อนข้างสว่างก็แสดงว่ามีค่าของพลังงานที่สะท้อนกลับมายังเครื่องรับสูงกว่านั่นเอง (เซาวลิต ศิลปทอง, 2544) ซึ่งค่าพลังงานสะท้อนกลับจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ ชนิดของวัตถุ (type) , ขนาด (size),ลักษณะการเอียงของพื้นที่ (shapes & orientation), ความชื้น(moisture content), ความถี่(frequency) และ ลักษณะของโพลาไรเซชัน (polarization pulses)ตลอดจนค่าของมุมตกกระทบ(incident angles) ที่ใช้ด้วย.

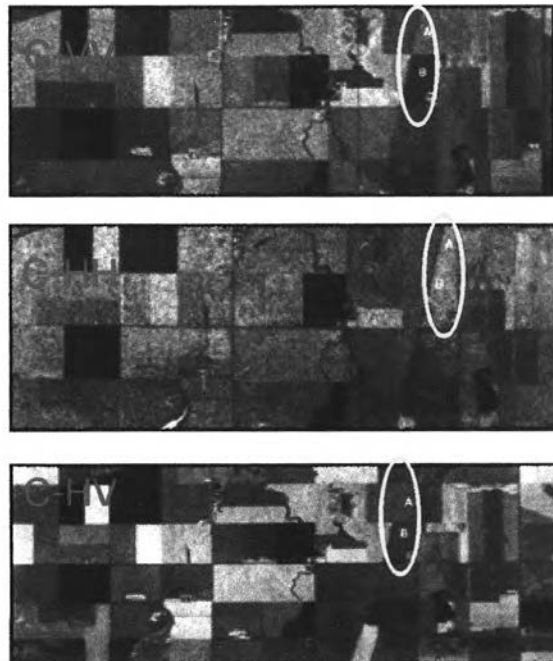
AIRSAR เป็นระบบที่มีคุณสมบัติในการบันทึกข้อมูลพร้อมๆกัน 3 ช่วงคลื่น ได้แก่ C-band (ความยาวคลื่น 5.7 ซม.) L-band (ความยาวคลื่น 23.5 ซม.) และ P-band (ความยาวคลื่น 68 ซม.) และมีค่าความแยกชัดเชิงพื้นที่ 10 เมตร โดยความแตกต่างของความยาวช่วงคลื่นจะมีผลต่อการตอบสนองของวัตถุเป้าหมายที่แตกต่างกัน (เซาวลิต ศิลปทอง, 2544) ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 – แสดงการตอบสนองต่อช่วงคลื่นที่ต่างกันของวัตถุชนิดเดียวกัน

ที่มา : <http://airsar.jpl.nasa.gov>

นอกจากนี้ AIRSAR ยังมีระนาบคลื่น (Polarization) หรือทิศทางการส่งและรับคลื่นทั้งแนวตั้ง (Vertical – V) และแนวนอน (Horizontal – H) โดยกรณีที่ระนาบที่ส่งและรับมีระนาบคลื่นเดียวกันจะเรียกว่า like-polarized เช่น HH ซึ่งหมายถึง การส่งและรับคลื่นในแนวราบ เป็นต้น ในทางตรงกันข้าม ถ้าระนาบคลื่นที่ส่งและรับแตกต่างกันจะเรียกว่า cross-polarized เช่น HV ซึ่งหมายถึง การส่งคลื่นแบบแนวนอนและรับคลื่นแบบแนวตั้ง โดยระนาบคลื่นที่แตกต่างกันผลของการตอบสนองของวัตถุก็แตกต่างกันด้วย ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 - แสดงความแตกต่างของจุด A และ B บน Sar Image ที่มีโพลาไรเซชันที่ต่างกัน

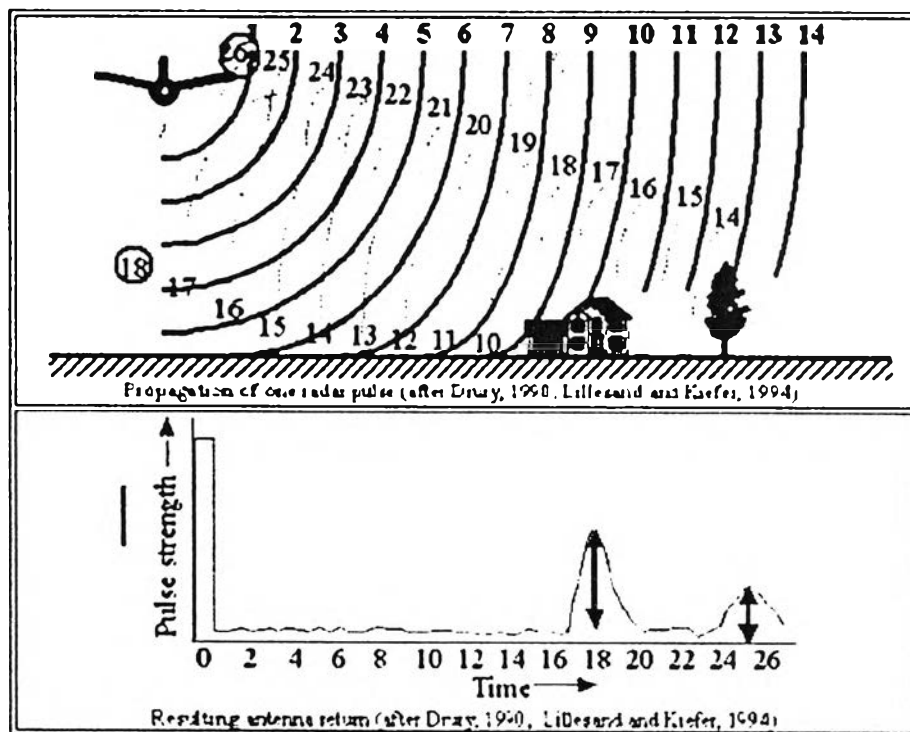
ที่มา : <http://airsar.jpl.nasa.gov>

2.1.2 หลักการเรดาร์

ระบบถ่ายภาพเรดาร์ (Imaging Radar) เป็นระบบบันทึกข้อมูลแบบหนึ่งในการสำรวจข้อมูลระยะไกล เพื่อการสำรวจทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม โดยเป็นเครื่องมือบันทึกข้อมูลที่เรียกว่า " active microwave sensor " หรือระบบ "RADAR" ซึ่งจะทำการบันทึกข้อมูลในช่วงคลื่นความถี่ระหว่าง 3 – 12.5 GHz (ความยาวคลื่นระหว่าง 2.4 – 100 เซนติเมตร)

ก. หลักการทำงานของระบบเรดาร์

RADAR ย่อมาจาก RAdio Detection and Ranging ซึ่งทำงานโดยการผลิตและส่งช่วงคลื่นหรือสัญญาณ Microwave ออกไปยังเป้าหมายและรับสัญญาณการสะท้อนกลับ การทำงานระบบนี้จะต้องอาศัยงานที่ทำหน้าที่ส่ง และรับสัญญาณได้ในตัว สลับหน้าที่ส่งหรือรับอย่างละครั้ง (Pulse) สัญญาณที่กลับมาจากวัตถุจะต้องถูกบันทึกเอาไว้ ซึ่งแสดงคุณสมบัติของวัตถุนั้นๆ ดังรูปที่ 6

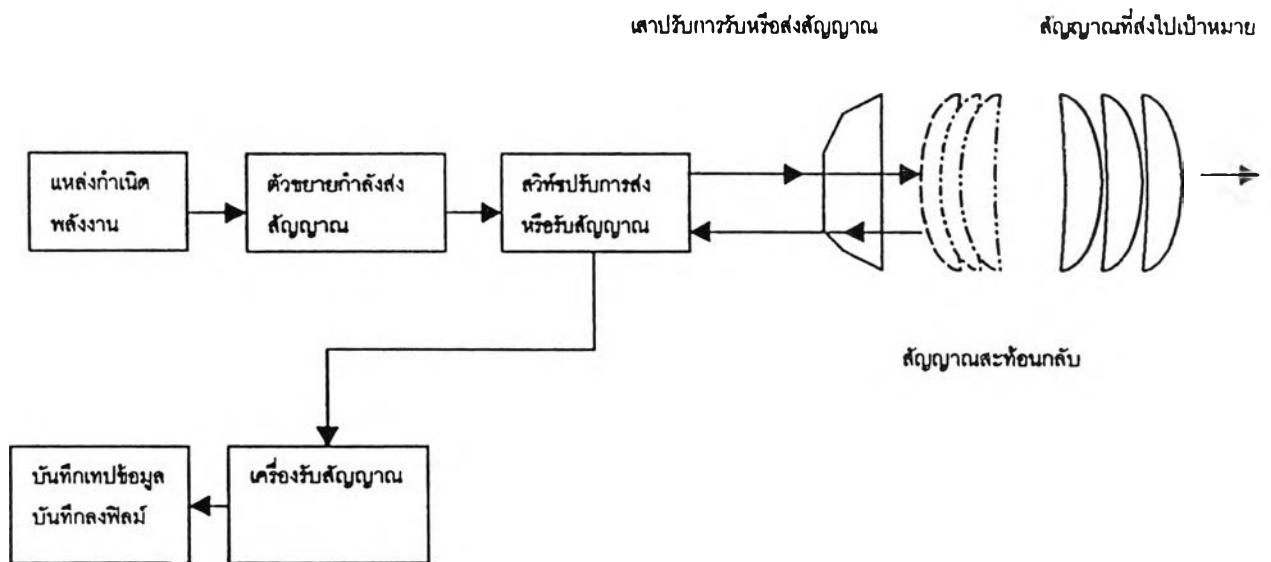


รูปที่ 6 :แสดงลักษณะการส่งและรับคลื่นของระบบเรดาร์

ที่มา : http://www.geog.ucsb.edu/jeff/155a/remote_sensing/radar/radar1.html

ข. องค์ประกอบการรับ-ส่งสัญญาณของระบบเรดาร์

การรับ-ส่งพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าของระบบเรดาร์ หรือแอกทีฟริโมทเซนซิง มีความซับซ้อนมากกว่าการรับพลังงานสะท้อนในระบบพาสซีฟริโมทเซนซิง ระบบการรับและส่งพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าของระบบเรดาร์ โดยทั่วไปจะประกอบด้วยแหล่งกำเนิดพลังงานที่อยู่แหล่งเดียวกับเครื่องรับสัญญาณ ดังรูปที่ 7 ซึ่งทำหน้าที่ส่งพลังงานไปสู่เครื่องขยายกำลัง และอุปกรณ์บันทึกข้อมูล เครื่องขยายกำลังจะส่งพลังงานไปสู่สวิตช์ปรับการส่งหรือรับสัญญาณ สวิตช์ตัวนี้ทำหน้าที่เป็นทั้งป้อนส่งสัญญาณพลังงานไปยังพื้นที่เป้าหมาย และป้อนเปิดรับพลังงานที่สะท้อนกลับ โดยผ่านเสารับ-ส่งสัญญาณ ในขณะที่ส่งสัญญาณออกไปจะปิดระบบที่รับสัญญาณสะท้อนกลับได้ และในขณะที่รับสัญญาณที่สะท้อนกลับมากก็จะปิดระบบในการส่งพลังงาน สวิตช์จะทำงานเปิด-ปิด เป็นจังหวะสลับกัน มีความสัมพันธ์กับระยะเวลาที่พลังงานเดินทางไปถึงพื้นที่เป้าหมาย และเวลาที่สะท้อนกลับมา รวมทั้งสัมพันธ์กับการเคลื่อนที่ของเครื่องบิน หรือดาวเทียม เมื่อรับพลังงานที่สะท้อนกลับมาแล้ว สัญญาณจะถูกส่งไปยังเครื่องรับสัญญาณ ที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณเป็นข้อมูลเชิงตัวเลข หรือบันทึกลงฟิล์มถ่ายภาพ ถ้าเป็นเครื่องรับบนดาวเทียมก็จะส่งสัญญาณมาสู่สถานีรับสัญญาณบนโลก ซึ่งจะทำหน้าที่แปลงสัญญาณต่อไป



รูปที่ 7 – องค์ประกอบของระบบเรดาร์แบบ side looking airborne radar

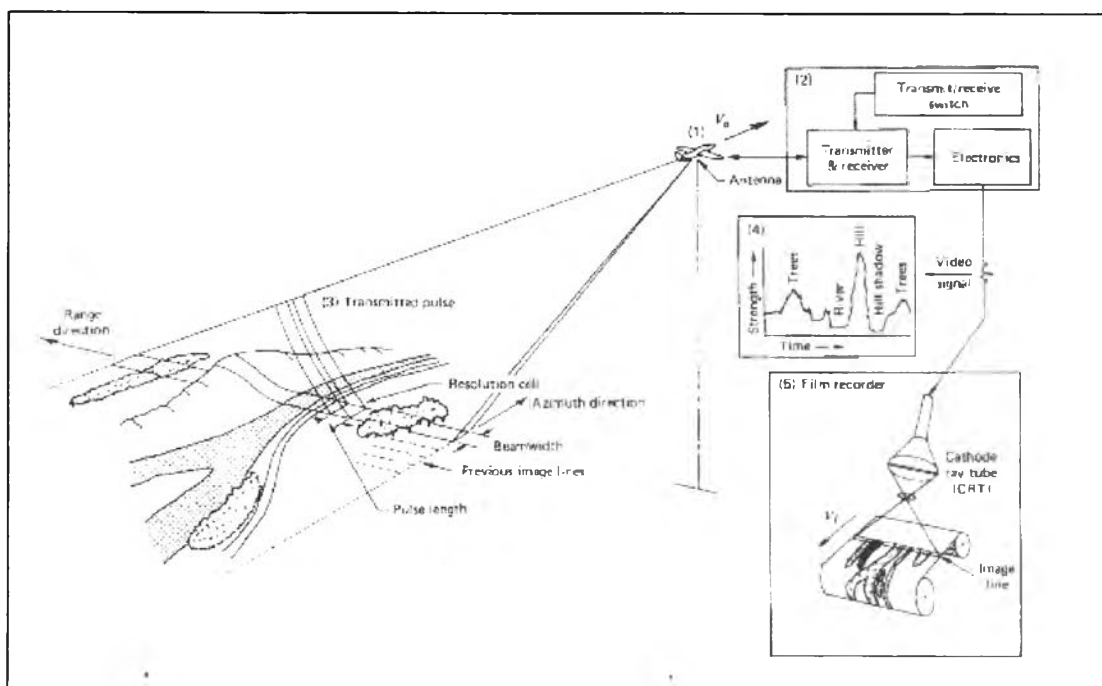
ที่มา : ศุทธิณี ดินตรี. ความรู้พื้นฐานด้านการสำรวจจากระยะไกล. 2543, หน้า 4-3

2.1.3 เสาคณิตของภาพเรดาร์

ทั้งนี้การบินถ่ายภาพเรดาร์จะเป็นลักษณะการบินที่ข้อมูลด้านข้าง ซึ่งโดยทั่วไปจะตั้งฉากกับแนวบินถ่ายภาพ เรียกว่า Side Looking Airborne Radar (SLAR) สำหรับในกรณีของเรดาร์ธรรมดา หรือ Real Aperture Radar ดังรูปที่ 8 ขนาดของรายละเอียดของจุดภาพ (resolution) ทางด้านขนานแนวบินถ่าย (r_a) จะขึ้นอยู่กับขนาดของจานเรดาร์ (l) ระยะทางจากจานเรดาร์ถึงวัตถุเป้าหมาย (R) และความยาวช่วงคลื่นที่ใช้ (λ) โดยมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$r_a = \lambda R / l \dots\dots\dots(1)$$

- เมื่อ r_a = รายละเอียดของจุดภาพทางด้านขนานแนวบินถ่าย
- λ = ความยาวช่วงคลื่นที่ใช้
- l = ขนาดของจานเรดาร์
- R = ระยะทางจากจานเรดาร์ถึงวัตถุเป้าหมาย



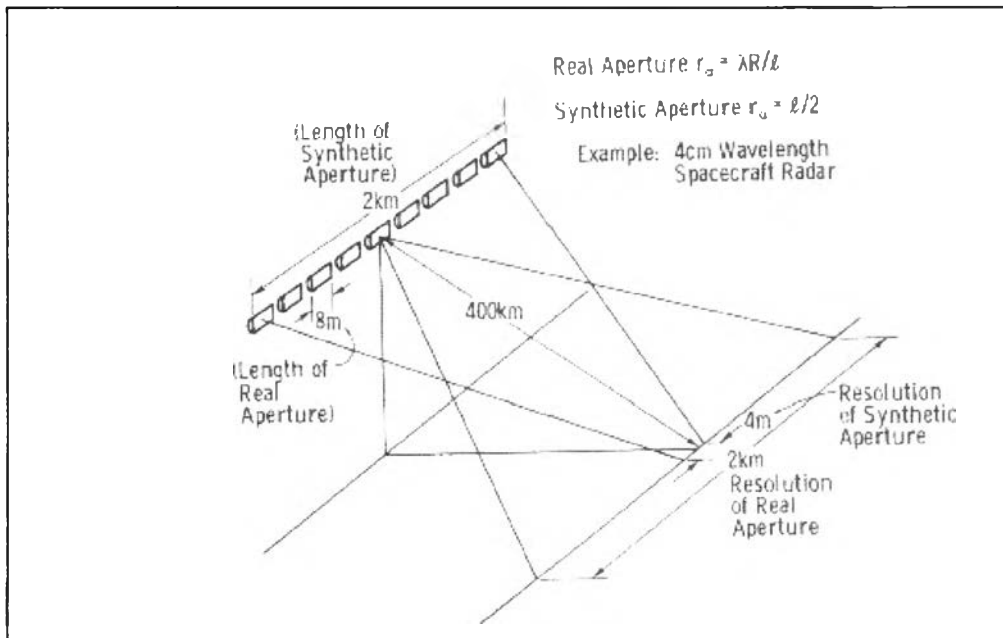
รูปที่ 8 - แสดงลักษณะการบินถ่ายภาพของ Side Looking Airborne Radar (SLAR)
ที่มา : Lillesand & Kiefer, 1979

จะเห็นได้ว่าในกรณีที่ต้องการให้ได้รายละเอียดของข้อมูลสูง จะต้องออกแบบให้จานมีขนาดใหญ่มา ๆ อีกทั้งยังต้องบินในระดับต่ำ ซึ่งเป็นปัญหาในการที่จะถ่ายภาพเรดาร์ในระดับสูง ให้ได้ข้อมูลรายละเอียดสูง โดยเฉพาะจากดาวเทียม ซึ่งได้มีการพัฒนาระบบเรดาร์ ที่เรียกว่า SAR หรือ Synthetic Aperture Radar ขึ้นมา โดยใช้วิธีการประมวลผลข้อมูล โดยอาศัยการเคลื่อนที่ของตัวยาน เรียกว่า Doppler Effect สร้างเป็นจานสมมุติขึ้นมา ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าจานจริงหลาย ๆ เท่า (รูปที่ 9)

ทำให้ได้รายละเอียดของข้อมูลสูง แม้จะบินในระดับสูงจากพื้นโลกมาาก ๆ ก็ตาม ซึ่งพบว่าขนาดของรายละเอียดมีค่าเท่ากับ

$$r_a = l/2 \dots\dots\dots(2)$$

เมื่อ r_a = รายละเอียดของจุดภาพทางด้านขนานแนวบินถ่าย
 l = ระยะทางจากจานเรดาร์ถึงวัตถุเป้าหมาย



รูปที่ 9 - แสดงลักษณะการบินถ่ายภาพของ SAR
 ที่มา : เขาวลิต ศิลปทอง. ความรู้เบื้องต้นข้อมูลเรดาร์. หน้า4

Range and Azimuth Direction

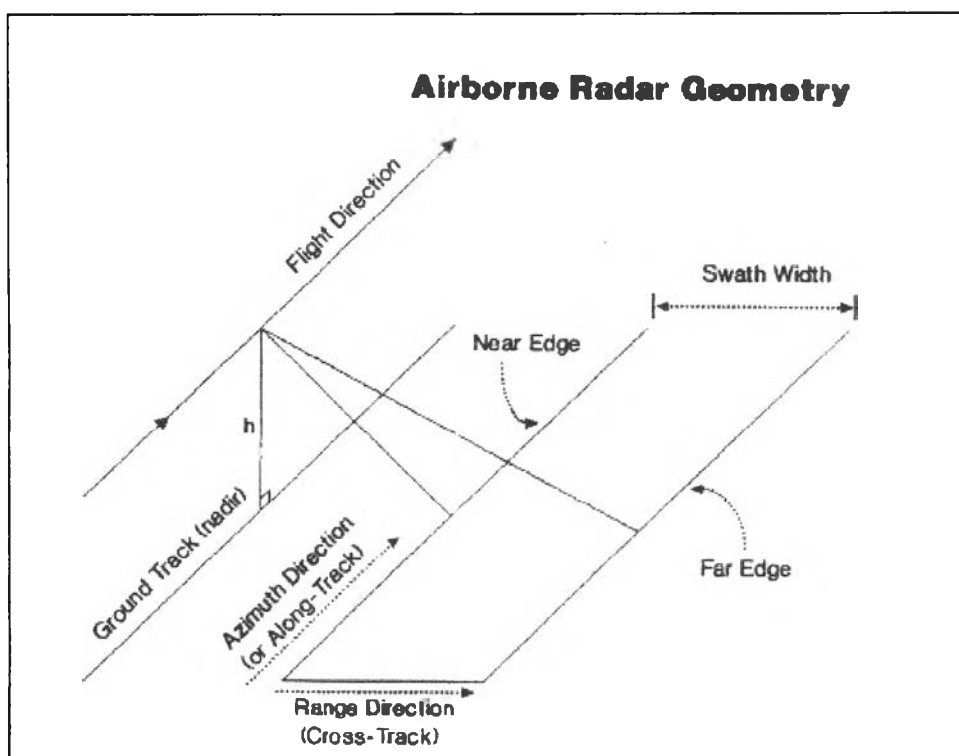
เนื่องจากระบบเรดาร์ SAR เป็นการบันทึกข้อมูลในลักษณะด้านข้าง ดังนั้นจึงมีเรื่องของทิศทางในสองลักษณะเข้ามาเกี่ยวข้อง (รูปที่ 10) ได้แก่

ก. Range Direction

เป็นทิศทางในแนวขวางแนวโคจร (Across-track) หรือกล่าวง่ายๆ คือขอบภาพในแนวขวาง ซึ่งขอบภาพด้านใกล้แนวโคจร เรียกว่า near range ในทางตรงข้ามด้านขอบไกลออกไป เรียกว่า far range ในแนว Range direction นี้จะปรากฏข้อมูลอยู่ 2 ลักษณะคือ "slant range" ซึ่งหมายถึง การบันทึกข้อมูลบนแนวเส้นตรงจากตัววัตถุเป้าหมาย ซึ่งขึ้นอยู่กับเวลาที่ใช้ในการเดินทางไป-กลับ ของสัญญาณเรดาร์ ซึ่งเป็นข้อมูลดิบของเรดาร์ แต่ข้อมูลที่มาใช้ในการทำงานจะเป็นข้อมูลในแนวเส้นตรงบนพื้นโลก เรียกว่า "ground rang" ซึ่งมีปัจจัยของ มุมถ่ายภาพ (incidence angle) เข้ามาเกี่ยวข้อง โดยใช้ในการเปลี่ยนข้อมูลดิบจาก slant rang เป็น ground range

ข. Azimuth Direction

หมายถึง ทิศทางในแนวขนานกับแนวโคจร (Along-track)



รูปที่ 10 – แสดง Range and Azimuth Direction ของ SAR

ที่มา : http://www.geog.ucsb.edu/~jefrf/1159/remote_sensing/radar

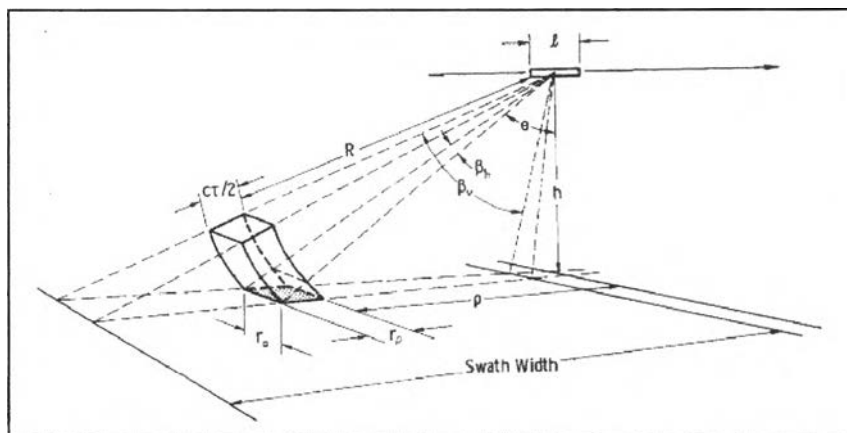
ค. Resolution

ในระบบเรดาร์มีลักษณะของรายละเอียดของภาพใน 2 ทิศทางคือ

- range resolution
- azimuth resolution

range resolution (r_p) คือรายละเอียดของข้อมูลในแนวขบวนการโคจร ซึ่งอยู่กับระยะเวลา ระหว่างการรับและการส่งสัญญาณเรดาร์ในแต่ละครั้ง (pulse ;T) ยิ่งช่วงระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางน้อยเท่าใด รายละเอียดของข้อมูลก็จะสูงมากขึ้นเท่านั้น

azimuth resolution (r_a) คือรายละเอียดของข้อมูลในแนวขนานการโคจร ซึ่งขึ้นอยู่กับมุมของลำสัญญาณ (b_p) ซึ่งสัมพันธ์โดยตรงกับขนาดของจานเรดาร์ ซึ่งหากขนาดของจานเรดาร์ยิ่งกว้าง มุมก็จะยิ่งแคบ ทำให้ได้รายละเอียดของข้อมูลสูงยิ่งขึ้น



รูปที่ 11 : แสดงรายละเอียด (resolution) ของข้อมูลเรดาร์

ที่มา : เซาวลิต ศิลปทอง. ความรู้เบื้องต้นข้อมูลเรดาร์. หน้า 8

2.1.4 การวิเคราะห์ข้อมูลเรดาร์

ข้อมูลเรดาร์เป็นข้อมูลที่แทนปฏิสัมพันธ์ระหว่างลำแสงของเรดาร์กับพื้นผิวโลก โดยค่าความสว่างบนภาพ หมายถึง ปริมาณของพลังงานที่ได้รับโดยจานรับจากพัลส์ที่กลับมา ความเข้มของภาพจะสัมพันธ์กับพลังงานที่กลับสู่เครื่องรับ กล่าวคือ ถ้าความเข้มที่ปรากฏบนภาพมีความเข้มมาก (มืด) ก็แสดงว่าพลังงานที่กลับมายังเครื่องรับน้อย ในทางตรงกันข้ามหากความเข้มที่ปรากฏบนภาพมีความเข้มน้อย (สว่าง) ก็แสดงว่าพลังงานที่กลับมายังเครื่องรับมาก

ดังนั้นการวิเคราะห์ข้อมูลเรดาร์ จะพิจารณาจากค่าความเข้ม - ้าง (Intensity) ของสัญญาณสะท้อนกลับ ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยสมการเรดาร์ (radar equation) ดังนี้

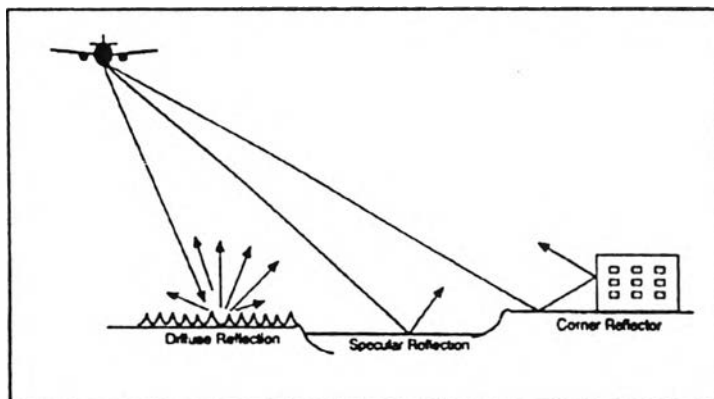
$$Pr = \lambda^2 / (4\pi)^3 \cdot Pt G^2 / R^4 \cdot \sigma \cdot dA \dots \dots \dots (3)$$

เมื่อ	Pr	=	พลังงานที่สะท้อนกลับเข้าสู่จานเรดาร์
	Pt	=	พลังงานที่ส่งออกจากจานเรดาร์
	G	=	antenna gain
	A	=	พื้นที่ของวัตถุเป้าหมาย
	R	=	ระยะทางจากจานเรดาร์ ถึงเป้าหมาย
	σ	=	ค่าสัมประสิทธิ์ของการสะท้อนสัญญาณเรดาร์

ซึ่งค่า σ นี้ใช้ในการบอกคุณลักษณะของวัตถุเป้าหมาย ซึ่งมีหน่วยเป็น เดซิเบล (db)

ก. ลักษณะการสะท้อนของสัญญาณเรดาร์ (Radar scattering)

เมื่อสัญญาณเรดาร์ตกกระทบวัตถุจะเกิดการสะท้อนในรูปแบบต่างๆกัน (รูปที่ 12) ได้แก่ การสะท้อนจากผิวเรียบ (specular reflection) การสะท้อนจากพื้นผิวทั่วไป (diffuse reflection) และ การสะท้อนจากพื้นผิวทำมุมระหว่างกัน (Conner reflection) โดยสัญญาณเรดาร์สะท้อนกลับที่บันทึกเป็นข้อมูลจะเรียกว่า black - scattering และจากสัญญาณนี้นำไปสร้างเป็นค่าความเข้ม เพื่อให้ปรากฏเป็นภาพนำไปใช้งานต่างๆ ไป



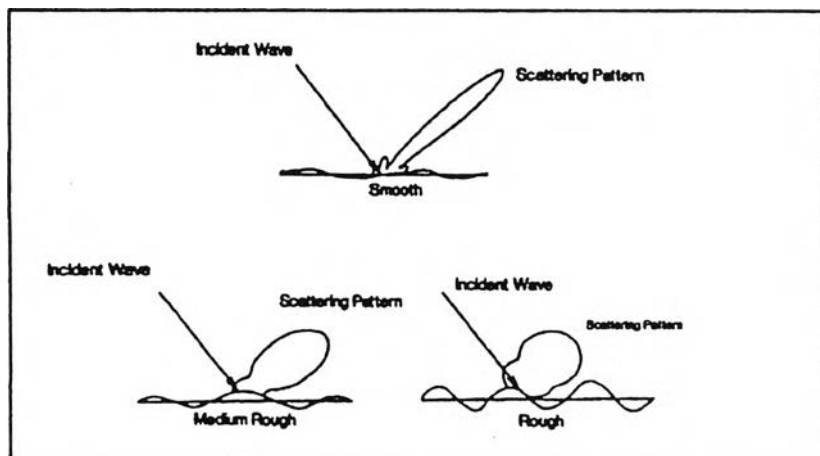
รูปที่ 12 - แสดงรูปแบบการสะท้อนสัญญาณเรดาร์

ที่มา : http://www.dweb.ccrs.urcan.gc.ca/ccrs/db/polarim/chapter1/chap1_5_e.cfm

ลักษณะการสะท้อนสัญญาณเรดาร์จากวัตถุ สามารถแบ่งได้ 2 ลักษณะดังนี้

ก. การกระจัดกระจายพื้นผิว (surface scattering)

เป็นลักษณะการสะท้อนสัญญาณเรดาร์จากผิววัตถุโดยตรง ดังรูป 13 ค่าการกระจัดกระจายขึ้นอยู่กับความหยาบความละเอียดของผิวหน้าวัตถุ (surface roughness) โดยวัตถุที่มีผิวหน้าเรียบ จะให้ค่าการกระจัดกระจายกลับน้อยกว่าวัตถุที่มีผิวหน้าหยาบ การกระจัดกระจายพื้นผิวยังสัมพันธ์กับมุมตกกระทบ (incidence angle) และความยาวคลื่นไมโครเวฟอีกด้วย กล่าวคือ ในกรณีที่มุมตกกระทบเพิ่มขึ้น ณ ความยาวคลื่นเดียวกัน จะทำให้ค่าการกระจัดกระจายกลับลดลง ถ้ามุมตกกระทบแคบบนวัตถุผิวหน้าละเอียดจะมีค่าการกระจัดกระจายกลับสูงกว่าวัตถุที่มีผิวหน้าหยาบ และในกรณีที่มุมตกกระทบเป็นมุมเดียวกัน คลื่นขนาดสั้นกว่าจะแยกค่าความขรุขระได้สูงกว่า คลื่นที่มีขนาดยาวมากกว่า สำหรับวัตถุที่เป็นน้ำ จะเกิดการกระจัดกระจายกลับในแบบพื้นผิวได้เพียงอย่างเดียว เนื่องจากคลื่นไมโครเวฟไม่สามารถทะลุทะลวงผิวน้ำของน้ำได้

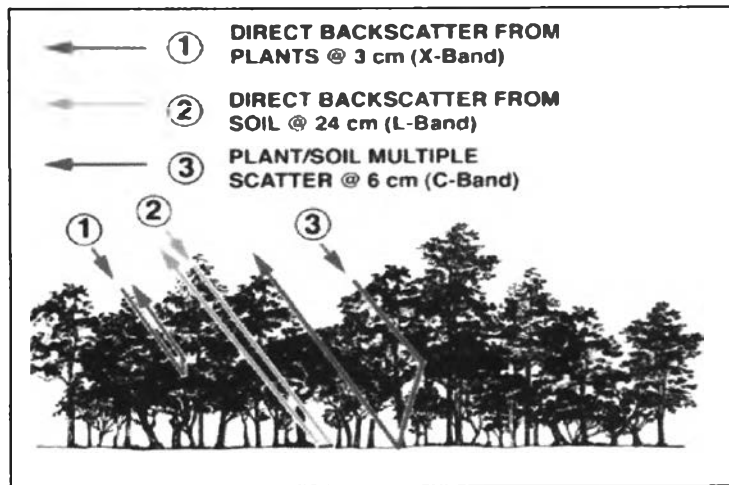


รูปที่ 13 - แสดง Surface scattering จากพื้นผิวลักษณะ

ที่มา : เขาวลิต ศิลปทอง. ความรู้เบื้องต้นข้อมูลเรดาร์. หน้า 12

ข . การกระจัดกระจายเชิงปริมาตร (Volume scattering)

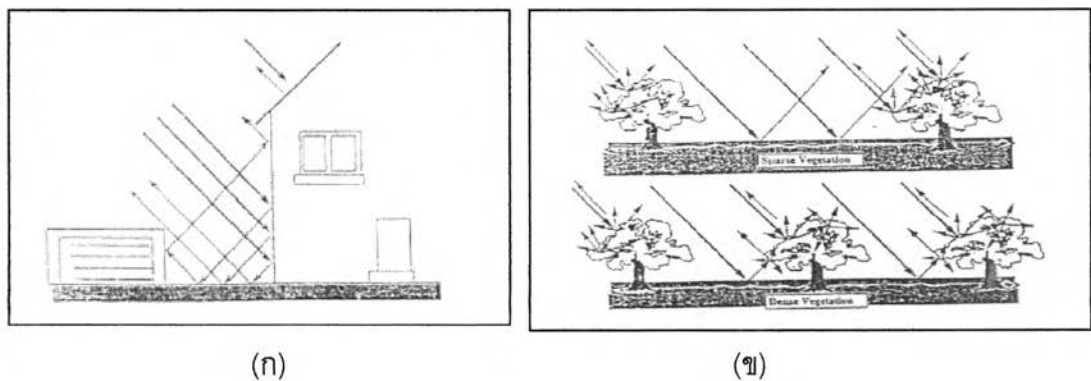
เป็นลักษณะการสะท้อนของวัตถุโดยทั่วไป (รูปที่ 14) เช่น พื้นที่ป่า พื้นที่เพาะปลูกเกษตรกรรม ดินแห้ง ททรายแห้ง น้ำแข็ง เป็นต้น โดยจะเป็นผลการสะท้อนทั้งจากผิวหน้าวัตถุ และภายในองค์ประกอบของวัตถุเอง ตามความสามารถในการทะลุทะลวงของคลื่นเรดาร์ ค่า scattering จึงขึ้นกับ surface roughness ประการหนึ่ง และค่าคุณสมบัติทางไฟฟ้า (dielectric constant) ของวัตถุ ซึ่งหากค่าคุณสมบัติทางไฟฟ้าสูง ก็จะส่งผลให้การสะท้อนสัญญาณเรดาร์ได้มาก และเมื่อวัตถุมีความชื้น (water content) เพิ่มขึ้น ก็จะทำให้ค่าคุณสมบัติทางไฟฟ้าสูงตามไปด้วย



รูปที่ 14 : แสดงลักษณะการสะท้อนของพื้นที่ป่า

ที่มา http://www.geog.ucsb.edu/~jeff/115a/remote_sensing/radar/radar1.html

นอกจากนี้ยังมีลักษณะการสะท้อนสัญญาณเรดาร์ที่สำคัญอีกประการหนึ่ง เรียกว่า การสะท้อนเชิงมุม (Conner reflect) ซึ่งเป็นการสะท้อนของวัตถุที่มีลักษณะเป็นผิวเรียบทำมุมฉากซึ่งกันและกัน โดยมีทิศทางของมุมฉากหันเข้าหาจานเรดาร์ โดยลักษณะการสะท้อนแบบนี้จะให้ค่าสัญญาณสูงมาก ทำให้เห็นเป็นสีขาวหรือสว่างบนภาพ ลักษณะ Conner reflect นี้จะพบอย่างชัดเจนในบริเวณที่เป็นตัวเมือง เนื่องจากสิ่งก่อสร้าง อาคาร บ้านเรือนต่างๆ นั้นเอง โดยสิ่งปลูกสร้างเหล่านี้มีโครงสร้างเป็นมุมฉากมากมาย (รูปที่ 15 ก) ซึ่งการทำมุมฉากนี้ทำให้ค่าการกระจายกลับสูงมาก สำหรับแปลงเกษตรหากมีลักษณะสูงตั้งเป็นแถวเป็นร่อง จะมีลักษณะของวัตถุที่วางตัวในแนวตั้งฉาก (รูปที่ 15 ข) โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากพื้นผิวโดยรอบมีลักษณะเรียบ ก็จะทำให้ค่าการกระจายกลับสูงด้วยเช่นกัน



รูปที่ 15 – การกระจายกลับจากวัตถุที่มีลักษณะเป็นมุมฉาก

(ก) การกระจายกลับจากวัตถุที่มีลักษณะเป็นมุมฉาก จากสิ่งก่อสร้าง

(ข) การกระจายกลับจากวัตถุที่มีลักษณะเป็นมุมฉากในธรรมชาติ

ที่มา : ศุทธิณี ดินตรี. ความรู้พื้นฐานด้านการสำรวจจากระยะไกล. 2543, หน้า 4-14

2.1.5 ปัจจัยควบคุมคุณลักษณะข้อมูลเรดาร์

วัตถุต่างๆ จะตอบสนองต่อสัญญาณเรดาร์ และปรากฏให้เห็นบนภาพ (Image brightness) แตกต่างกันไป โดยมีปัจจัยควบคุมที่สำคัญ คือ

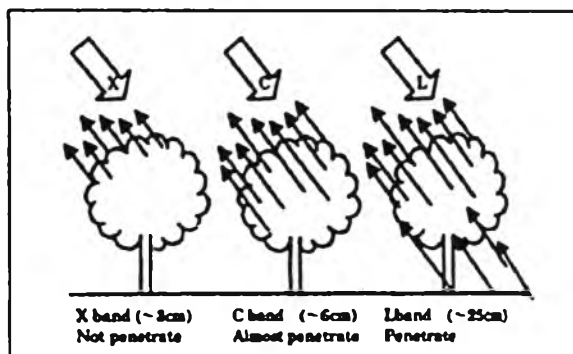
1. ปัจจัยระบบเรดาร์ (System parameters) ได้แก่

ก. ความยาวช่วงคลื่น (wavelength)

ความแตกต่างของความยาวช่วงคลื่นจะมีผลต่อการตอบสนองของวัตถุเป้าหมายต่อช่วงคลื่นนั้นๆ ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่

- ความสามารถในการทะลุทะลวง

ความสามารถในการทะลุทะลวงของแต่ละช่วงคลื่นจะแตกต่างกัน โดยช่วงคลื่นที่ยาวกว่าจะมีคุณสมบัติในการทะลุทะลวงเข้าไปในองค์ประกอบของวัตถุได้ดีกว่า เช่น กรณีของพื้นที่ป่าไม้ ค่าการสะท้อนใน แบนด์ X จะได้จากชั้นเรือนยอดตอนบนของต้นไม้ ในขณะที่ภาพที่มาจากแบนด์ C เป็นค่าการสะท้อนจากพุ่มเรือนยอดของต้นไม้ ในขณะที่ภาพที่ได้จากแบนด์ L จะได้ค่าการสะท้อนที่ผสมทั้งจากพุ่มเรือนยอด ลำต้น ตลอดจนค่าการสะท้อนจากผิวดิน (รูปที่ 16)



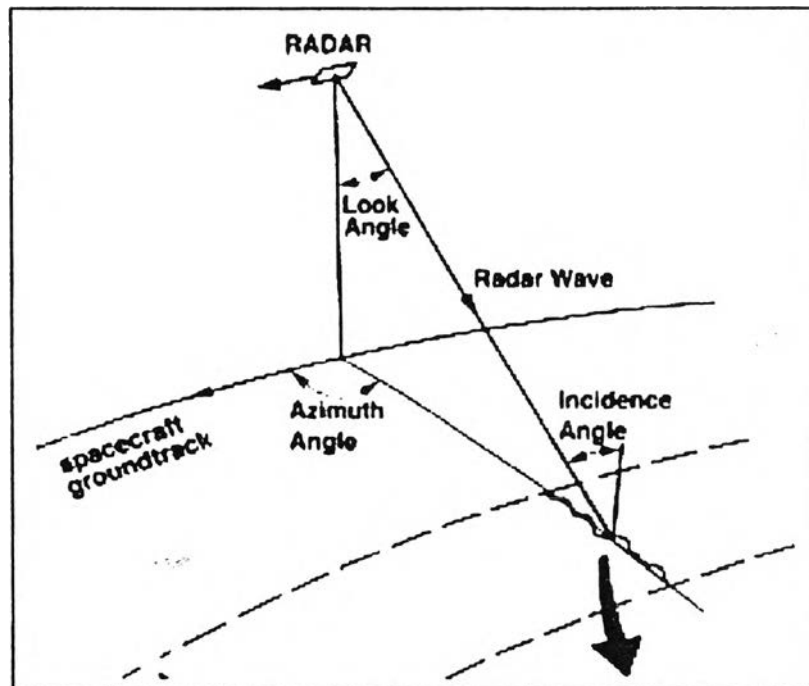
รูปที่ 16 – แสดงความสัมพันธ์ของช่วงคลื่น ความสามารถในการทะลุทะลวงของแต่ละช่วงคลื่น
ที่มา : <http://www.gisdemelopment.net/application/archeology/site/archs0002.htm>

ข. ระนาบของคลื่น (Polarization)

วัตถุที่มีทรวดทรงเชิงเรขาคณิต จะสามารถตอบสนองต่อความแตกต่างของระนาบของคลื่นที่ใช้ได้ชัดเจน เช่น พีชเกษตร ซึ่งมีทรวดทรงขึ้นทางตั้ง ได้แก่ ต้นข้าว ข้าวโพด จะสะท้อนต่อช่วงคลื่นในทางตั้ง (Vertical) ได้ดี ในขณะที่เดียวกันก็จะยอมให้ช่วงคลื่นในระนาบนอน (Horizontal) สามารถทะลุเข้าไปภายในได้ด้วยเช่นกัน ทั้งนี้พบว่าค่าการสะท้อนของช่วงคลื่นเดียวกัน แต่ต่างระนาบของคลื่นจะมีค่าแตกต่างกันออกไป นอกจากนี้ความแตกต่างของระนาบของคลื่นที่รับกลับ (cross-polarization VS. right-polarization) ก็มีผลต่อค่าการสะท้อนด้วยเช่นกัน

ค. มุมถ่ายภาพ (Incidence Angle)

มุมถ่ายภาพ หมายถึง มุมเอียงในการถ่ายภาพ หรือ การบันทึกข้อมูล เป็นมุมวัดจากแนวตั้งของดาวเทียม หรือ ตัวเครื่องบิน กับแนวสัญญาณเรดาร์ที่ส่งออกจากเครื่องมือบันทึกข้อมูล หรือ มุมตกกระทบของสัญญาณเรดาร์บนวัตถุเป้าหมายนั่นเอง (รูปที่ 17)



รูปที่ 17 : แสดงลักษณะของมุมถ่ายภาพ (Incidence Angle)

ที่มา : http://www.geog.ucsb.edu/~jefrf/1159/remote_sensing/radar

มุมตกกระทบของสัญญาณเรดาร์ บนพื้นผิววัตถุ มีผลต่อการสะท้อนกลับของสัญญาณเรดาร์ อย่างชัดเจน เนื่องจากการถ่ายภาพเรดาร์เป็นการถ่ายภาพในลักษณะมุมเอียง พบว่าในกรณีที่ใช้มุมถ่ายภาพที่แคบกว่า การสะท้อนกลับของสัญญาณจะมากกว่า ณ พื้นผิวลักษณะเดียวกัน นอกจากนี้ยังสัมพันธ์กับความหยาบ ความละเอียดของพื้นผิวอีกด้วย เช่น กรณีของพื้นผิวเรียบ ที่มีมุมตกกระทบแคบ (ไม่เกิน 20 องศา) พบว่าค่าการสะท้อนกลับจะสูงมาก และจะลดลงอย่างรวดเร็วในขณะที่พื้นผิวขรุขระ

2. ปัจจัยคุณสมบัติของวัตถุ (Object Parameters)

ก. ความหยาบความละเอียด (ความขรุขระ) ของพื้นผิว (Surface roughness) คุณลักษณะของพื้นผิวของวัตถุเป้าหมายจะมีอิทธิพลอย่างมากต่อการสะท้อนกลับของสัญญาณเรดาร์ โดยถือเป็นปัจจัยหลักที่ควบคุมการสะท้อนกลับของสัญญาณเรดาร์ ซึ่งหมายถึงความเข้มหรือจางของภาพเรดาร์ที่ปรากฏ

ความขรุขระ หรือ ความหยาบละเอียดของผิววัตถุ วัดได้จากลักษณะองค์ประกอบของผิววัตถุ (surface textural features) เช่น ลักษณะใบและทรงพุ่มของต้นไม้ ขนาดของเม็ดกรวด ทรายดิน เป็นต้น โดยการเปรียบเทียบขนาดความแตกต่างในแนวนอนและแนวตั้ง ประกอบกับลักษณะทางเรขาคณิตของวัตถุนั้นๆ กับขนาดของคลื่นไมโครเวฟ และมุมที่คลื่นตกกระทบกับผิววัตถุ ตามเกณฑ์ของ Rayleigh Criterion ซึ่งอธิบายด้วยสูตร ที่ 4 และ 5 ดังนี้

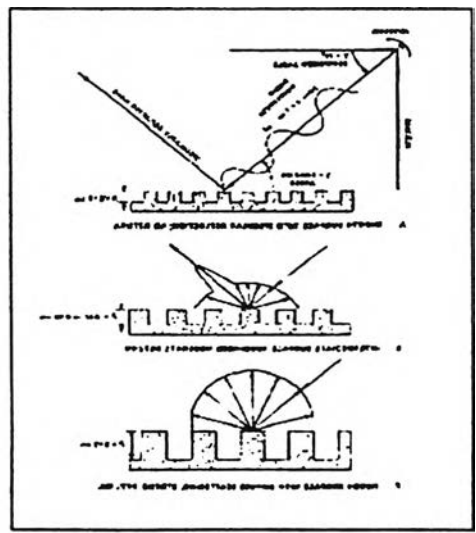
เกณฑ์ของพื้นผิวเรียบ

$$h < \lambda / 25 \sin\theta \dots\dots\dots(4)$$

เกณฑ์ของพื้นผิวขรุขระ

$$h > \lambda / 4.4 \sin\theta \dots\dots\dots(5)$$

- เมื่อ h = ดัชนีความขรุขระ
- λ = ความยาวคลื่นเรดาร์
- θ = มุมที่พลังงานตกกระทบกับผิววัตถุ



รูปที่ 18 : รูปแบบของพื้นผิวขรุขระแบบต่างๆ
ที่มา : ศุภธินี ดินตรี. ความรู้พื้นฐานด้านการสำรวจจากระยะไกล. 2543, หน้า 4-6

จากเกณฑ์ของ Rayleigh Criterion (สูตรที่ 4 และ 5) พบว่าหากมุมตกกระทบที่เท่ากัน แต่ความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน คลื่นที่มีความยาวที่สั้นกว่า จะแสดงความขรุขระได้มากกว่าคลื่นที่มีขนาดยาว และคลื่นที่สั้นกว่าจะให้รายละเอียดของวัตถุต่างๆตามลักษณะของพื้นผิวได้มากกว่าคลื่นขนาดยาว (ศุทธิณี ดินตรี, 2543)

ข. คุณสมบัติทางไฟฟ้า (Dielectric Properties)

วัตถุแต่ละชนิดมีคุณสมบัติทางไฟฟ้า ในการตอบสนองต่อช่วงคลื่นแตกต่างกัน ซึ่งเรียกว่า dielectric constant (ϵ) ซึ่งหมายถึง คุณสมบัติในการยอมให้ผ่าน (permittivity) และการเป็นสื่อนำพลังงาน (conductivity) วัตถุที่มีค่า ϵ สูงจะให้การสะท้อนของสัญญาณสูง โดยค่า ϵ นี้จะแปรเปลี่ยนตามค่าความชื้นของวัตถุด้วย กล่าวคือเมื่อวัตถุมีความชื้นเพิ่มขึ้นค่า ϵ จะเพิ่มตามไปด้วย นั่นหมายถึง เราสามารถแยกแยะความแตกต่างของค่าความชื้นของวัตถุชนิดเดียวกันได้ โดยอาศัยคุณสมบัติดังกล่าวนี้ ซึ่งค่า ϵ จะเป็นปัจจัยควบคุมการสะท้อนของสัญญาณเรดาร์ ร่วมกับความหนาแน่นความละเอียดของพื้นผิวด้วย โดยธรรมชาติวัตถุต่างๆจะมีค่าความชื้นอยู่ระหว่าง 3-8 แต่สำหรับน้ำจะมีค่าความชื้นอยู่ประมาณ 80 จึงทำให้สัญญาณเรดาร์ไม่สามารถทะลุผ่านน้ำได้

กล่าวโดยสรุปคือ เมื่ยวัตถุมีความชื้นต่ำหรือแห้ง จะมีคุณสมบัติยอมให้ช่วงคลื่นผ่านไปได้ง่าย นั่นหมายถึงคลื่นสามารถทะลุทะลวงไปได้ไกล แต่จะลดลงเมื่อความชื้นของวัตถุเพิ่มขึ้น

ค. การวางตัวของวัตถุและลักษณะภูมิประเทศ (Orientation and topographic feature)

ลักษณะรูปทรงของวัตถุ และการวางตัว โดยเฉพาะวัตถุที่มีรูปทรงเชิงเส้น ทั้งในแนวตั้งหรือ แนวนอน จะตอบสนองต่อสัญญาณเรดาร์ แตกต่างกันไปตามทิศทางการวางตัวของวัตถุ เช่น แนวร่องเพาะปลูกที่วางตั้งฉากกับทิศทางของสัญญาณ จะให้ค่าการสะท้อนสูงกว่าในทิศทางอื่น เนื่องจากแนวร่องเอียงเข้าหาจานเรดาร์ ซึ่งทำให้สัญญาณที่ส่งออกมาสะท้อนกลับได้มาก (มีคุณลักษณะคล้ายกับ Corner reflector) โดยเฉพาะแถวปลูกที่เป็นระเบียบสม่ำเสมอจะให้ค่าการสะท้อนสัญญาณเรดาร์สูง เรียกว่า bowtie effect ซึ่งหมายถึง การสะท้อนจากพื้นผิวแบบ resonance คือการการสะท้อนแบบลูกคลื่นสม่ำเสมอ (เช่น คลื่นในทะเล)

3. คุณสมบัติการสะท้อนสัญญาณเรดาร์จากวัตถุ

ในการวิเคราะห์ข้อมูลเรดาร์ ค่าตัวแปรที่นำมาศึกษา ได้แก่ ค่าการสะท้อนกลับของสัญญาณเรดาร์ (Back-scattering) ซึ่งสามารถแยกแยะได้ 2 กรณีหลัก ดังนี้

1. ค่าสะท้อนกลับของสัญญาณเรดาร์ ที่ได้จากน้ำ (Back-scattering from water)

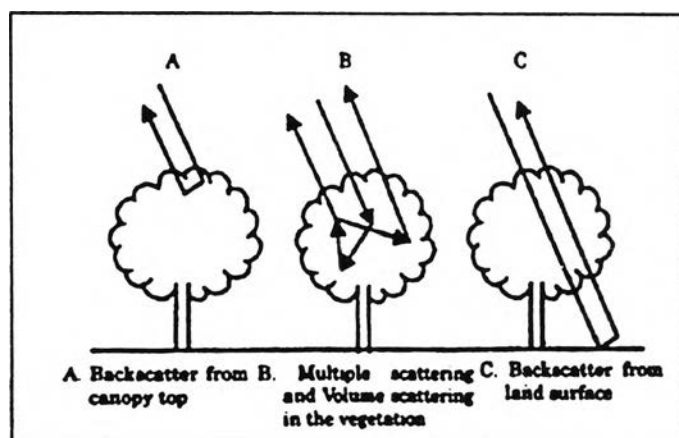
ด้วยสาเหตุที่ช่วงคลื่นเรดาร์ไม่สามารถทะลุผ่านผิวน้ำได้ ดังนั้น ค่าการสะท้อนสัญญาณเรดาร์จากน้ำจึงเป็นค่าการสะท้อนจากพื้นผิวเพียงอย่างเดียว นั่นก็คือ ค่าการสะท้อนสัญญาณเรดาร์จากน้ำจะเป็นแบบ Surface scatter เท่านั้น

2. ค่าสะท้อนกลับของสัญญาณเรดาร์ ที่ได้จากแผ่นดิน (Back-scattering from land)

การสะท้อนกลับของสัญญาณเรดาร์ในส่วนของแผ่นดินนั้น จะเป็นไปในลักษณะของการผสมผสานจากส่วนต่างๆ ของวัตถุเป้าหมายตามความสามารถในการทะลุทะลวงผ่านเข้าไปในตัวเป้าหมายนั้นๆ ซึ่งจัดเป็นลักษณะการสะท้อนที่เรียกว่า Volume scatter ดังนั้น ตัวแปรหลักที่จะควบคุมค่าการสะท้อนสัญญาณเรดาร์นั้น จะมาจากความหยาบหรือความละเอียด และคุณสมบัติทางไฟฟ้าของวัตถุของวัตถุเป้าหมาย ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว ค่าการสะท้อนสัญญาณเรดาร์จะเป็นไปในลักษณะของการผสมผสาน เช่น จากเรือนยอดพืช ลำต้น และดิน เป็นต้น

ก. การสะท้อนจากพืช

กรณีของป่าไม้ค่าการสะท้อนจะประกอบไปด้วย ค่าการสะท้อนจากเรือนยอด จากลำต้น และจากโครงสร้างภายใต้เรือนยอด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความยาวช่วงคลื่นที่ใช้ สำหรับกรณีของพืชเกษตร ก็จะเป็นการสะท้อนจาก ยอดพืช (canopy) และจากดิน ตลอดจนจากชั้นใต้ผิวดิน ดังรูป 19 เป็นต้น



รูปที่ 19 – แสดงการสะท้อนแบบต่างๆ จากพืช

ที่มา : <http://www.gisdemelopment.net/application/archeology/site/archs0002.htm>

ปัจจัยที่ควบคุมการสะท้อนสัญญาณเรดาร์ของพืช จะประกอบด้วย ความหนาแน่นของพืช โครงสร้างเรือนยอด รูปทรงของพืช ลักษณะใบ การรวมตัวของพืช ระบบการเติบโต ความชื้น และความหลากหลายของพืชด้วย

ข. การสะท้อนจากดิน

การสะท้อนจากดิน ลักษณะการสะท้อนจากมาจากผิวดิน และภายในผิวดิน ซึ่งขึ้นอยู่กับ คุณสมบัติของดิน ชนิดดิน ความขรุขระของผิวดิน ความชื้นในดิน เป็นต้น ในกรณีที่ดินแห้ง จะทำให้ช่วงคลื่นสามารถทะลุทะลวงเข้าไปได้ไกลภายใต้ผิวดิน และจะลดลงเมื่อความชื้นของดินเพิ่มขึ้น

ค. การสะท้อนจากสิ่งก่อสร้าง

สิ่งก่อสร้าง เช่น อาคาร ถนน ทางรถไฟ สะพาน เป็นต้น ค่าการสะท้อนส่วนใหญ่จะเป็นไปในลักษณะของ Conner reflector นั่นคือ ค่าการสะท้อนจะสูงมากโดยปรากฏให้เห็นสีขาวบนภาพเรดาร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณที่เป็นตัวเมือง

2.1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Laili, Mariamni and Noh (1998) ทำการศึกษาลักษณะของค่าสัมประสิทธิ์ของการสะท้อนกลับของสัญญาณเรดาร์ (backscattering coefficient) โดยใช้วิธีการตีความด้วยสายตา โดยอาศัย สี (color), ลวดลาย(texture), รูปแบบ(pattern) และขนาด (size) ของสิ่งปกคลุมดิน 5 ชนิด ได้แก่ ยางพารา ,ปาล์มน้ำมัน , ป่าธรรมชาติ, พื้นที่เปิดโล่ง(clear-cut) และ ชุมชน ในประเทศมาเลเซีย ด้วยข้อมูล AIRSAR (L-HH,L-WV,L-HV,P-HH,P-WV และ P-HV) โดยการศึกษาอยู่บนสมมุติฐานว่า พืชมีค่าความชื้น (moisture content) ที่เท่ากัน และพื้นที่ศึกษามีค่าความชื้นของดินที่เหมือนกัน ผลการศึกษาพบว่า พืชแต่ละชนิดมีลักษณะโครงสร้างของใบและลำต้นที่แตกต่างกัน ซึ่งส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์ของการสะท้อนกลับของสัญญาณเรดาร์แตกต่างกัน จากการศึกษาพบว่า แบนด์ L (HH,HV,WV) ให้ค่าสัมประสิทธิ์ของการสะท้อนกลับของสัญญาณเรดาร์ของชุมชนสูงสุด และให้ค่าสัมประสิทธิ์ของการสะท้อนกลับของสัญญาณเรดาร์ของพื้นที่เปิดโล่งต่ำสุด ในขณะที่พื้นที่เพาะปลูกให้ค่าสัมประสิทธิ์ของการสะท้อนกลับของสัญญาณเรดาร์ปานกลางทั้งในแบนด์ L (HH,HV,WV) และ แบนด์ P(HH,HV,WV) และพบว่า แบนด์ L (HH,HV) ให้ความแตกต่างพื้นที่เพาะปลูกกับพื้นที่ปาล์มน้ำมันได้อย่างชัดเจน

Laili et al. กล่าวสรุปว่า เป็นการง่ายที่จะจำแนกพื้นที่ที่เป็นพืช (vegetated area) กับพื้นที่ที่ไม่มีพืช (non-vegetated area) ด้วยข้อมูล AIRSAR นอกจากนี้ยังพบว่าสำหรับพืช (ปาล์มน้ำมัน

มัน,ป่าธรรมชาติ,ยางพารา) จะให้ค่าเฉลี่ยของค่าการกระจายกลับของสัญญาณเรดาร์มาก เมื่อมีความหนาแน่นของพืชมากและมีความเป็นเอกพันธ์ (homogenous) ในทางตรงกันข้ามพืชจะให้ค่าเฉลี่ยของการกระจายกลับของสัญญาณเรดาร์น้อยลงเมื่อมีความคละกันของชนิดพืชมากขึ้นอีกด้วย นอกจากนี้พบว่าพื้นที่ป่าธรรมชาติกับยางพาราให้ค่าเฉลี่ยของค่าการกระจายกลับของสัญญาณเรดาร์ที่ใกล้เคียงกันจึงเป็นการยากที่จะแยกพื้นที่ทั้งสองออกจากกันด้วยการตีความด้วยสายตาเพียงอย่างเดียว

Lee, Liew and Kwho (2001) ทำการศึกษาศักยภาพข้อมูล AIRSAR ในการจำแนกสิ่งปกคลุมดิน 6 ชนิดได้แก่ ข้าว ยางพารา หญ้า แม่น้ำ รันเวย์ (Runway) และพื้นที่ที่เป็นสิ่งปลูกสร้าง (Built-up area) บริเวณตะวันตกเฉียงเหนือของประเทศมาเลเซีย โดยใช้วิธีจำแนกแบบกำกับ และอาศัยวิธีการประมาณค่าสถิติแบบ Maximum Likelihood เป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจ (Decision Rule) โดยใช้ข้อมูล AIRSAR ที่บันทึกด้วยช่วงคลื่น แบนด์ C (HH,HV, VV) และ แบนด์ L (HH,HV,VV) โดยที่เมื่อวันที่ 3 ธันวาคม 1996 โดย LEE et al. ได้ใช้วิธีการกรองภาพแบบ Lee filter ขนาดหน้าต่าง 5*5 เพื่อลดสัญญาณรบกวน

ผลการศึกษาพบว่า สิ่งปกคลุมดินแต่ละชนิดมีลักษณะของการกระจายกลับของสัญญาณเรดาร์ที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของพื้นผิวของสิ่งปกคลุมดินแต่ละชนิดและขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นที่ใช้ในการบันทึกข้อมูล นอกจากนี้ LEE et al. ได้พบข้อสังเกตที่น่าสนใจคือ แบนด์ L สามารถให้ความแตกต่างของพื้นที่ นาข้าว กับ พื้นที่ที่เป็นสิ่งปลูกสร้างได้อย่างชัดเจน ในขณะที่พื้นที่ที่เป็นสิ่งปลูกสร้างมีค่าการกระจายกลับสูงสุดใน L-HH ดังนั้นหากต้องการแยกพื้นที่นาข้าวกับพื้นที่ที่เป็นสิ่งปลูกสร้างออกจากกันโดยใช้แบนด์เดี่ยวจากข้อมูล AIRSAR พบว่า L-HH ให้ค่าต่างระหว่างสองสิ่งนี้ได้ดีที่สุด สำหรับยางพาราพบว่าให้ค่าการกระจายกลับของสัญญาณเรดาร์สูงในแบนด์ L แต่ให้การกระจายกลับของสัญญาณเรดาร์ค่อนข้างปานกลาง (medium scattering) แบนด์ C ซึ่งลักษณะของการสะท้อนกลับเป็นการสะท้อนแบบทั่วไป (vegetation scattering) สำหรับสิ่งปกคลุมชนิดอื่นๆ ให้ค่า การกระจายกลับของสัญญาณเรดาร์ค่อนข้างปานกลาง ทั้งในแบนด์ L และ แบนด์ C และหากต้องการแยกพื้นที่นาข้าวกับยางพาราออกจากกันพบว่า C-HV และL-HV ให้ความแตกต่างของสิ่งปกคลุมดินทั้งสองชนิดได้อย่างชัดเจนแต่ไม่เหมาะสำหรับการศึกษาพื้นที่ที่เป็นสิ่งปลูกสร้าง แต่ในภาพรวมของแล้วพบว่า C-HH และ L-HH ให้ผลการแยกชัดได้ดีที่สุด และเมื่อทำการจำแนกข้อมูลของแต่ละช่วงคลื่นได้ผลดังตารางที่ 1

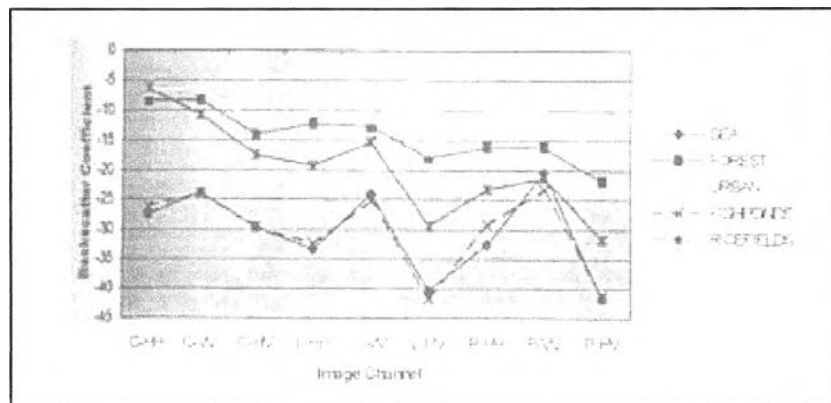
ตารางที่ 1 - แสดงผลการจำแนกของสิ่งปกคลุมดินทั้ง 6 ชนิด

	Percent of correct classified into						Overall ACC.
	Paddy	Rubber	Built-up area	Grassland	Runway	Waterbody	
C-band	80.78	83.59	73.44	79.18	75	70.82	78.18
L-band	87.65	80.12	85.83	72.55	74.03	71.09	80.74

ที่มา : [http:// www.gisdevelopment.net/aars/acrs/2002/luc/luc011.shtml](http://www.gisdevelopment.net/aars/acrs/2002/luc/luc011.shtml)

จากตารางที่ 1 LEE et al. พบข้อสรุปว่าแบนด์ L ให้ค่าความถูกต้องในการจำแนกข้อมูล แต่ละประเภทได้ดีกว่า แบนด์ C และให้ค่าเฉลี่ยของการจำแนกรวมถึงร้อยละ 80.74

Enrico, Epifanio, Florence, and Randy (1998) ทำการศึกษาลักษณะของการกระจายกระจายกลับของสัญญาณเรดาร์ ของสิ่งปกคลุมดิน 5 ชนิด ได้แก่ ป่าไม้, พื้นที่ปลูกสร้าง, นาข้าว, แหล่งน้ำ และ พื้นที่เลี้ยงปลา (fish ponds) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะปฏิบัติการของการกระจายกลับของสัญญาณเรดาร์ต่อช่วงคลื่นและทิศทางการแผ่ของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า โดยใช้ข้อมูล AIRSAR (C-HH, C-HV, C-VV, L-HH, L-HV, L-VV, P-HH, P-HV, P-VV) บันทึกเมื่อ 28 พฤศจิกายน 1996 โดยใช้พื้นที่ศึกษาบริเวณ Coastal Panay ผลการศึกษาแสดงดังรูปที่ 20



รูปที่ 20 – กราฟแสดงลักษณะของค่าการกระจายกลับเฉลี่ยของสิ่งปกคลุมดินแต่ละชนิด (Enrico al et., 1998)

Enrico al et. สรุปผลการศึกษาว่า สิ่งปกคลุมดินแต่ละชนิดให้ค่าการกระจายกลับที่แตกต่างกัน โดยพบว่า แหล่งน้ำกับพื้นที่เลี้ยงปลา จะให้ลักษณะของการกระจายกลับของสัญญาณเรดาร์ที่เหมือนกัน และมีค่าการกระจายกลับค่อนข้างต่ำ ในทุกแบนด์และทุกทิศทาง การแผ่สนามแม่เหล็กไฟฟ้า แต่พบว่าในทิศทางการแผ่สนามแม่เหล็กไฟฟ้าแบบ VV จะให้ค่าการ

การจัดกระจายกลับของสัญญาณเรดาร์สูงสุด สำหรับพื้นที่ๆเป็นสิ่งปลูกสร้างหรือชุมชน พบว่ามีค่าของการกระจายกลับของสัญญาณเรดาร์ค่อนข้างสูงทุกแบนด์และทุกทิศทางการแผ่สนามแม่เหล็กไฟฟ้า ทั้งนี้เนื่องจากการสะท้อนของวัสดุที่ใช้ก่อสร้างตัวอาคาร และหลังคา ตลอดจนเกิดการสะท้อนเชิงมุม (Conner scattering) ของตัววัตถุจึงส่งผลให้ค่าการจัดกระจายกลับของสัญญาณเรดาร์ค่อนข้างสูง สำหรับพืชพรรณ (ป่าไม้, นาข้าว) มีลักษณะของการสะท้อนที่ประกอบด้วย การสะท้อนแบบทั่วไป (diffuse scattering) และ การสะท้อนจากองค์ประกอบภายในของพืช (bounce conner)

Prakoso (2003) ทำการจำแนกความแตกต่างของพื้นที่ป่าในประเทศอินโดนีเซีย ด้วยข้อมูล AIRSAR แบนด์ C, L และ P (HH, HV, VV) โดยมีจุดประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะของการกระจายกลับของสัญญาณเรดาร์ของป่าแต่ละประเภท พร้อมทั้งจำแนกข้อมูลด้วยวิธีกำกับ (Supervised Classification) และใช้การประมาณค่าทางสถิติด้วยวิธี Maximum Likelihood ผลการศึกษาพบว่าป่าแต่ละชนิดให้ค่าการกระจายกลับของสัญญาณเรดาร์ที่แตกต่างกันและเมื่อบันทึกด้วยช่วงคลื่นและทิศทางการแผ่สนามแม่เหล็กที่ต่างกันค่าของการกระจายกลับของสัญญาณเรดาร์ของป่าชนิดเดียวกันก็ให้ค่าที่ต่างกัน ดังรูป 21

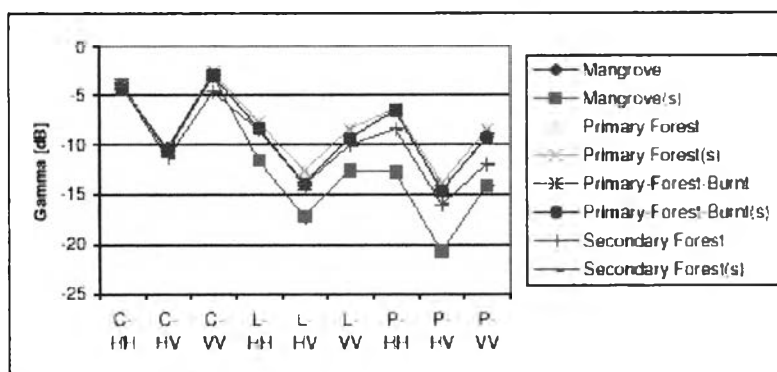







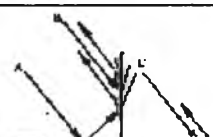






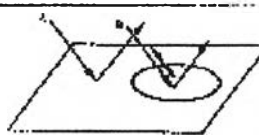
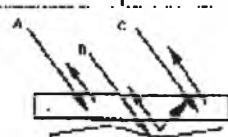
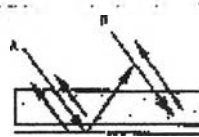
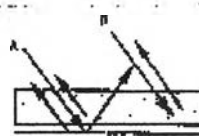
Fig. 2 Averaged backscatter in C-, L- and P-band for mangrove, primary forest (unburnt), primary forest burnt and secondary forest.

รูปที่ 21- แสดงค่าการจัดกระจายกลับของสัญญาณเรดาร์เฉลี่ยของป่าแต่ละประเภท

http://earth.esa.int/polinsar/participants/prakoso15/Kemal_paper_POLinSAR_2003_final.pdf

เมื่อทำการจำแนกข้อมูลพบว่าผลการจำแนกข้อมูลที่ได้จาก แบนด์ C (HH,HV,VV) รวมกับ แบนด์ L (HH,HV,VV) ให้ค่าความถูกต้องเฉลี่ยร้อยละ 85.91 และผลการจำแนกข้อมูลที่ได้จาก แบนด์ C (HH,HV,VV)รวมกับแบนด์ L (HH,HV,VV) รวมกับแบนด์ P (HH,HV,VV) ให้ค่าความถูกต้องเฉลี่ยสูงถึงร้อยละ 90.71

Brisco, Fan, Guo and Shao (2002) กล่าวว่าวัตถุหรือพืชต่างชนิดกันจะมีคุณลักษณะทางด้านเรขาคณิตหรือทรงที่แตกต่างกัน เช่น โครงสร้างของลำต้น (Trunk) โครงสร้างของกิ่งก้านใบ (Branches) จึงทำให้ค่าที่สะท้อนกลับแตกต่างกันออกไป ดังรูปที่ 22

Herbaceous				Woody
Bowl-like leaf aquatic herbaceous	Long broad blade-like leaf	Large broad leaf		Small broad leaf shrub
				
Lily pond	Sage grass	Magnolia tree		Shrub
Trunk	None	Cylindrical trunks with high dielectric	Cylindrical trunks	Many small trunks with specific orientations
Branches	Non-woody stems, stand in the water	None	None	Many small branches
Foliage	Bowl-like leaves, open upward	Long broad blade-like leaves, grow upward with small inclination angle	Large broad leaves, growing divergently	Blade-like or broad leaves
				
A: Leaf scattering, leaf-skid edge scattering B: Water surface → Stem or Stem → water surface scattering C: Mirror reflectance (dominant in early stage)	A: Ground surface → stem or stem → ground surface scattering B: Scattering from leaf and stem C: Ground surface scattering (dominant in early stage)	A: Ground surface scattering B: Ground surface → Stem or Stem → ground surface scattering C: Leaf surface scattering or leaf-leaf double scattering		A: Leaf and long volume scattering B: 1) Ground scattering 2) Ground-canopy interaction
Herbaceous				
Disc-like leaf aquatic herbaceous	Blade-like leaf	Broad leaf		Broad-like leaf
				
Euryale ferox	Grass	Peanut and soybean		Rice
Trunk	None	None	None	None
Branches	Non-woody stems grow under water	Non-woody stems	Non-woody stems	Non-woody stems
Foliage	Disc-like leaves with small wrinkles	Blade-like leaves, mostly	Broad leaves, randomly	Blade-like leaves, erect growing in less 25°
				
A: Mirror reflectance of water surface B: 1) Partly mirror reflectance of leaf 2) Partly leaf surface scattering caused by wrinkles	A: Surface and volume scattering of blade-like leaves B: 1) Ground scattering 2) Ground-canopy interaction C: Surface and volume scattering of broad leaves	A: Surface and volume scattering of broad leaves		A: 1) Mirror reflectance of water surface (dominant in early stage) 2) Water surface → rice canopy interaction, or Rice canopy → water surface interaction 3) Double bounce B: Scattering directly from rice canopy

รูปที่ 22 – แสดงการตอบสนองต่อคลื่นไมโครเวฟของพืชแต่ละชนิด

ที่มา : Analysis of Multi-temporal RADARSAT Imagery for Rice and Land Cover

Dupas (2000) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบเทคนิคการผสมหรือหลอมข้อมูลดาวเทียม โดยวิธี IHS (Intensity : Hue :Saturation Color Transformation) และวิธี Brovey Transformation โดยใช้ข้อมูลภาพดาวเทียมดัง ตารางที่ 2

ตารางที่ :2 แสดงข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

Fused Image	Imagery used	Transformation Used
TMJC	Landsat TM 95 / JERS-1	IHS Cylindrical Transformation
TMJB	Landsat TM 95 / JERS-1	Brovey Transformation
TMEC	Landsat TM 95 / ERS-2	IHS Cylindrical Transformation
TMEB	Landsat TM 95 / ERS-2	Brovey Transformation

ที่มา : International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. Vol 33, P98

โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อจำแนกพื้นที่ป่าในแถบประเทศบราซิล แอตแลนติก เพื่อจำแนกพื้นที่ป่าดั้งเดิม (original forest) กับพื้นที่ป่าใหม่ (native forest) ที่ถูกชนพื้นเมืองบุกรุกเพื่อทำการเพาะปลูก ต้นอ้อย, กาแฟ, ถั่ว และ ยางพารา เพื่อทำการอนุรักษ์พื้นที่ป่าที่เหลืออยู่ โดยอาศัยการผสมข้อมูลดาวเทียม (ตารางที่3) และทำการจำแนกข้อมูลแบบกำกับ (Supervised classification) และการประมาณค่าทางสถิติที่เรียกว่า Maximum Likelihood เป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจ และเปรียบเทียบผลการจำแนกด้วยค่า Overall จากตาราง Error Matrix

ผลการศึกษาพบว่าข้อมูลภาพที่ได้จากการผสมโดยวิธี IHS (Intensity : Hue :Saturation Color Transformation) ให้ค่า Overall Accuracy มากกว่าข้อมูลภาพที่ได้จากการผสมด้วยวิธี Brovey Transformation (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 – แสดงผลการจำแนกข้อมูลภาพที่ได้จากการผสมข้อมูลดาวเทียม

Cover Class	Classified Fused images IHS cylindrical transf.				Classified Fused images Brovey transf.			
	TMJC2		TMEC2		TMJB2		TMEB2	
	User	Prod	User	Prod	User	Prod	User	Prod
Forest A	33.3	23.1	53.8	53.8	42.9	46.2	30.0	23.14
Forest B	50.0	69.2	60.0	60.0	45.5	38.5	25.0	7.7
Eucalyptus plantation	81.8	69.2	66.7	76.9	61.5	61.5	41.7	76.9
Overall Accuracy	53.8		59		48.7		35.9	

Forest A = original forest Forest B = native forest

Kumaran and Shyamala (2001) ทำการศึกษาเปรียบเทียบการผสมข้อมูลดาวเทียมด้วยวิธี IHS Color composite และวิธี Principal Component Analysis (PCA) ระหว่างภาพที่ได้จากดาวเทียม IRS 1C และข้อมูลภาพจาก RADARSAT-1 เพื่อจำแนกสิ่งปกคลุมดินในประเทศอินเดีย พบข้อสรุปว่าการผสมข้อมูลดาวเทียม ด้วยวิธี IHS Color composite เป็นการผสมข้อมูลดาวเทียมที่รักษาคุณสมบัติเชิงคลื่นของภาพต้นฉบับได้ดีและให้ความชัดเจนในการมองเห็นขอบเขตของวัตถุได้อย่างชัดเจน ในขณะที่วิธี PCA นั้นทำให้ค่าทางตำแหน่งของภาพบิดเบี้ยวไปมากที่สุด (most spatial distortion) นอกจากนี้ Pohl (1999) กล่าวว่า การผสมข้อมูลดาวเทียมด้วยวิธี IHS Color composite เป็นการผสมข้อมูลดาวเทียมที่ให้ผลลัพธ์ของภาพที่สามารถรักษาคุณสมบัติความชัดเจนและคุณภาพของช่วงคลื่นจากภาพที่มีรายละเอียดเชิงคลื่นสูงได้ดีและเป็นวิธีที่แสดงรายละเอียดของวัตถุได้ชัดเจนจากภาพที่มีรายละเอียดเชิงตำแหน่งสูง

ดาราศรี ดาวเรือง, เชาวลิต ศิลปทอง , และ สุภาพิศ ผลงาม (2545) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบความแตกต่างของการกระจายกลับของสัญญาณเรดาร์ในรูปของค่าระดับสีเทา (Grey Level Value) ของสิ่งปกคลุมดิน 9 ชนิด ได้แก่ แหล่งชุมชน นาข้าวในที่ลุ่ม นาข้าวหลังเก็บเกี่ยว อ้อยในระยะเติบโตเต็มที่ อ้อยในระยะหลังเก็บเกี่ยว มันสำปะหลัง พื้นที่หลังเก็บเกี่ยวของพืชไร่ ป่าริมน้ำ และ แหล่งน้ำ ผลการศึกษาพบว่าสิ่งปกคลุมดินแต่ละประเภทให้ค่าระดับสีเทาแตกต่างกันบนข้อมูลต่างความถี่และต่างทิศทางการแผ่ของสนามไฟฟ้า นอกจากนี้ยังพบข้อสรุปที่น่าสนใจ กล่าวคือจากการศึกษาดังกล่าวสามารถแบ่งประเภทข้อมูลออกเป็น 3 ประเภทใหญ่คือ

- ประเภทที่ 1

ได้แก่ข้อมูลชนิดที่มีพื้นผิวเรียบและค่อนข้างเรียบ ได้แก่ พื้นที่หลังเก็บเกี่ยวของพืชไร่ และ แหล่งน้ำ พบว่าการสะท้อนกลับของสัญญาณเรดาร์น้อย หรือต่ำมาก มีค่าระดับสีเทาค่ำ

- ประเภทที่ 2

ได้แก่ข้อมูลชนิดที่มีพื้นผิวขรุขระปานกลาง ได้แก่ ข้าว พบว่าการสะท้อนกลับของสัญญาณเรดาร์ปานกลางมีค่าระดับสีเทาปานกลาง

- ประเภทที่ 3

ได้แก่ประเภทข้อมูลชนิดที่มีพื้นผิวขรุขระมาก ได้แก่ แหล่งชุมชน และพืชพรรณที่มีลักษณะทรงพุ่ม ทั้งไม้ยืนต้น และไม้พุ่มจำพวกป่าริมน้ำ และมันสำปะหลัง พบว่าการสะท้อนกลับของสัญญาณเรดาร์มากและมีค่าระดับสีเทาสูง

นอกจากนี้ยังพบว่า การจำแนกพืชพรรณประเภทที่ 2 ให้ความแตกต่างได้ชัดเจนในช่วงคลื่นแบนด์ L ส่วนการจำแนกพืชพรรณประเภทที่ 2 ให้ความแตกต่างได้ชัดเจนในช่วงคลื่นแบนด์ P

ดาราศรี ดาวเรือง และคณะ (2545) กล่าวว่า ข้อมูลระบบ SAR จะมีลักษณะข้อมูลแตกต่างจากข้อมูลระบบอื่น กล่าวคือ ข้อมูลมักจะมีสัญญาณรบกวนที่เพิ่มขึ้นแบบเส้นตรงด้วยการเฉลี่ยค่าระดับสีเทาหรือเรียกสัญญาณรบกวนแบบ พหุคูณ (Multiplicative) เป็นผลให้ข้อมูล SAR ที่ได้มีจุดกระ กระจายทั่วทั้งภาพ เรียกจุดกระนี้ว่า "Speckle Noise" หรือ Salt and Pepper" (เกลือและพริกไทย) ดังนั้นก่อนนำข้อมูล SAR มาทำการวิเคราะห์จะต้องทำการลบจุดกระเหล่านี้ก่อน เพื่อลดปัญหาหรือข้อผิดพลาดในการวิเคราะห์ค่าสถิติของประเภทข้อมูลสองปกคลุมดิน ซึ่งหากไม่มีการลบจุดกระเหล่านี้ อาจส่งผลกระทบต่อความที่ผิดเพี้ยนจากความเป็นจริงได้

ในการพิจารณาเลือกใช้ตัวกรองที่เหมาะสมที่สุดเพื่อลดปัญหาหรือลดหรือผิดพลาดดังกล่าวนี้ จะต้องพิจารณาจากปัจจัยดังต่อไปนี้

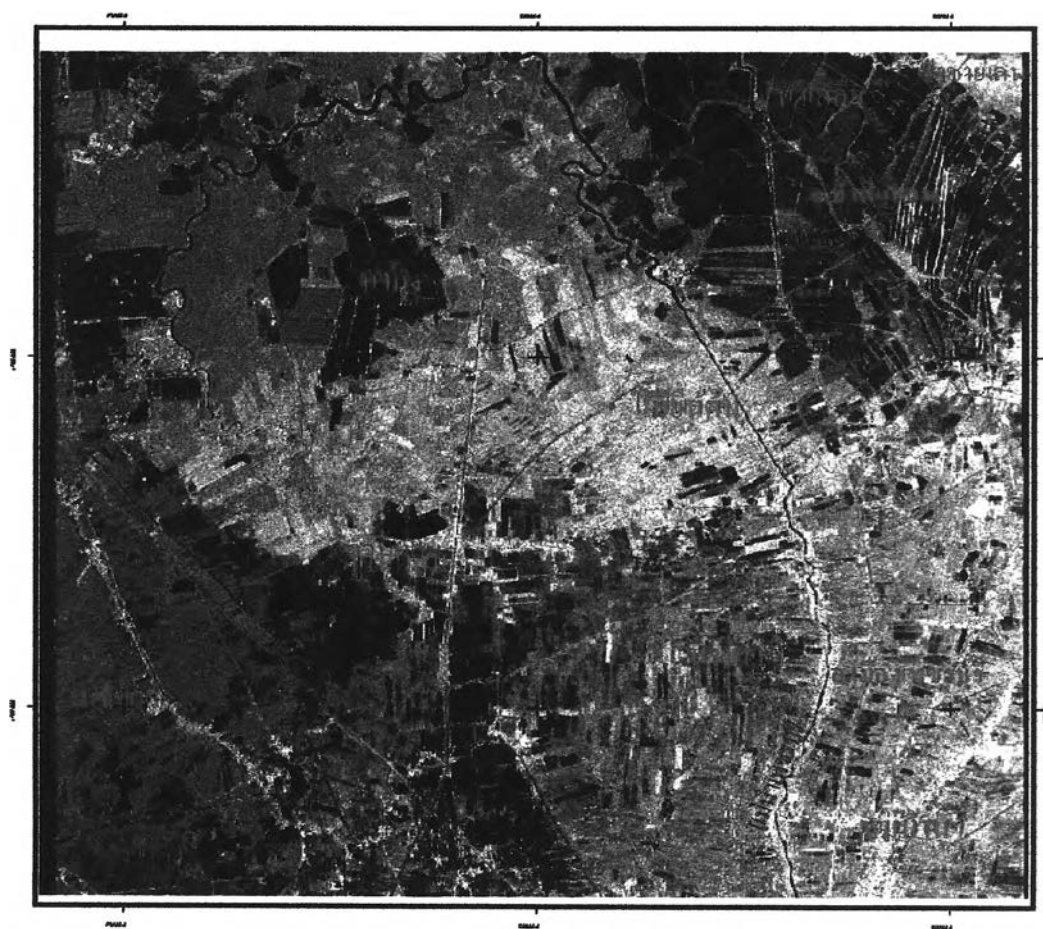
1. ขนาดของหน้าต่างตัวกรองที่เลือกใช้ต้องไม่เล็กหรือใหญ่เกินไป เมื่อเทียบกับขนาดของภาพที่ต้องการลดจุดกระ หากเลือกใช้ขนาดเล็กเกินไปส่งผลให้จุดกระยังคงมีอยู่ และหากเลือกขนาดใหญ่เกินไปก็ส่งผลให้รายละเอียดบางส่วนของข้อมูลหายไป
2. จำนวนมุมมอง (Number of Look) หากกำหนดให้จำนวนมุมมองมีค่ามากจะลบจุดกระได้มาก โดยส่งผลให้ข้อมูลภาพมีความราบเรียบ แต่รายละเอียดของภาพจะลดลง

พร้อมจิตร ตระกูลศิษฐ์ ,วัลย์รัตน์ วรรณปิยะรัตน์ และ สุเทพ ชูติรัตนพันธ์ (2545) ได้ศึกษาถึงวิธีการกรองสัญญาณรบกวนของข้อมูล AIRSAR จากโครงการประยุกต์ข้อมูลภาพถ่ายเรดาร์ AIRSAR ในประเทศไทย, 2539-2540 ในพื้นที่จังหวัด โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาวิธีการกรองและขนาดของหน้าต่างการกรองที่เหมาะสมที่สุด โดยทำการศึกษาวิธีการกรอง 2 วิธีดังต่อไปนี้

1. Lee filtering ขนาดหน้าต่างตัวกรอง 7×7 และ 11×11
2. Gamma filtering ขนาดหน้าต่างตัวกรอง 7×7 และ 11×11

ผลการศึกษาสรุปว่า การกรองสัญญาณรบกวนด้วยวิธี Lee filtering ให้ผลการกรองสัญญาณรบกวนได้ดีกว่าวิธี Gamma filtering โดยพบว่า การกรองด้วยวิธี Lee filtering ขนาดหน้าต่างตัวกรอง 7×7 และ 11×11 ให้ผลการกรองสัญญาณรบกวนไม่แตกต่างกันมาก ถ้าไม่คำนึงถึงเวลาที่ใช้ในการประมวลผล พบว่าการกรองวิธี Lee filtering ขนาดหน้าต่างตัวกรอง 11×11 จะได้ค่าความแปรปรวนน้อยกว่าและมีค่าเฉลี่ยความเข้มเข้าใกล้ค่าเดิมมากกว่าการกรองด้วยวิธี Lee filtering ด้วยขนาดหน้าต่างตัวกรอง 7×7 และจำนวนครั้งของการกรองที่ให้ผลการกรองที่ดีที่สุดคือการกรองซ้ำจำนวน 2 ครั้ง ได้ผลดังรูปที่ 23

พร้อมจิตร ตระกูลดิษฐ์ และคณะ (2545) กล่าวว่าจากการแปลด้วยสายตาพบว่า เป็นการยากที่แยกสิ่งปกคลุมดินบางชนิดออกจากกัน เช่น ไม้ยืนต้น และ สวนผสม ทั้งนี้ พืชทั้งสองชนิดมีผลการสะท้อนสัญญาณเรดาร์โดยรวมไม่แตกต่างกันและพบว่าไม่สามารถแยกความแตกต่างของพื้นที่ปลูกมะพร้าวและชุมชนออกจากกันได้ และยังพบว่าเป็นการยากในการลากเส้นขอบเขตแบ่งพื้นที่ของการใช้ที่ดินแต่ละประเภท แต่หากนำภาพระบบออปติคมาใช้ร่วมกันทำเป็นภาพสีผสม ก็สามารถทำให้เห็นขอบเขตชัดเจนขึ้น



รูปที่ 23 : ผลการแปลภาพด้วยสายตา จากข้อมูล AIRSAR แบนด์ L-HH ที่ผ่านการกรองแบบ Lee filtering ขนาด 7* 7 จำนวน 2 ครั้ง

ที่มา : โครงการประยุกต์ข้อมูลภาพถ่ายเรดาร์ AIRSAR ในประเทศไทย, 2545 ในพื้นที่จังหวัดเพชรบุรี