

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันวิทยาการทางด้านอวกาศและการทำแผนที่ได้นำเทคโนโลยีและคุณสมบัติของคลื่นไมโครเวฟมาใช้โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านเทคนิคการทำแผนที่เนื่องจากคุณสมบัติเด่นของคลื่นชนิดนี้คือ มีความสามารถในการทะลุทะลวงสูง สามารถถ่ายภาพชั้นบรรยากาศได้, ในกรณีที่เป็น Active Remote Sensing ทำให้สามารถถ่ายภาพได้ทุกเวลา ฯลฯ การนำข้อมูลเรดาร์และข้อมูลภาพ SAR มาใช้นั้นมีอยู่หลายด้านด้วยกัน เช่น ด้านป่าไม้, ด้านการเกษตรและการใช้ที่ดิน, ด้านธรณีวิทยา, ด้านการทำแผนที่, ด้านสมุทรศาสตร์และทรัพยากรชายฝั่ง, ด้านอุทกศาสตร์ เป็นต้น ข้อมูลภาพที่ได้ส่วนใหญ่มาจากดาวเทียม SPOT และ ERS1-2 ซึ่งดาวเทียมแต่ละดวงก็จะมีคุณสมบัติแตกต่างกันออกไป ในกรณีศึกษานี้จะใช้ภาพจากดาวเทียม ERS1 และ ERS2 มาทำการหา Interferogram เพื่อหาขนาดของการทรุดตัวของผิวดินในเขตกรุงเทพมหานคร

Interferometric มี 2 ประเภท คือ single-pass interferometry และ Double-pass interferometry สำหรับ single-pass interferometry จะบินผ่านเป้าหมายเพียงครั้งเดียว ซึ่งระบบนี้มักจะติดตั้งอยู่บนอากาศยาน แต่ก็ติดตั้งอยู่ในยานอวกาศด้วย เช่น NASA airborne interferometry SIR-C, X-SAR สัญญาณจะถูกส่งออกจากจานรับส่งที่ติดตั้งอยู่ที่ปีกด้านขวาของอากาศยาน พลังงานที่สะท้อนกลับมาจากพื้นนั้น จานรับส่งด้านขวาเป็นดั่งรับสัญญาณ และในแนวเดียวกันนั้นจานรับสัญญาณที่ติดตั้งไว้ที่ปีกด้านซ้ายก็ได้รับสัญญาณด้วยเหมือนกัน สำหรับ SIR-C จานรับส่งสัญญาณทั้งสองนี้จะห่างกัน 11.1 เมตร

ตัวอย่างอีกอันหนึ่งของ single-pass interferometer ที่ติดตั้งอยู่บนยานอวกาศคือ shuttle Radar Topographic Mission (SRTM)

ส่วน double-pass interferometry นั้นจะติดตั้งระบบ SAR และจานรับเพียงอันเดียวเท่านั้น ซึ่งจะบินผ่านบริเวณเดิมด้วยแนวบินหรือวงโคจรที่ห่างกันเล็กน้อย ระยะห่างระหว่างการบินผ่านทั้งสองครั้งจะต้องมีค่าน้อยเมื่อรักษาเงื่อนไขของ interferometric ซึ่งระยะห่างนี้จะเป็นค่าความยาวของเส้นฐานสัญญาณนี้ได้รับทั้งสองครั้งจะนำมาใช้ในการประมวลผล

ระบบ double-pass นี้ส่วนใหญ่จะใช้ในยานอวกาศ เช่น SIR-C/X-SAR mission, ERSV2 และอาจมีการเปลี่ยนแปลงทางภาคพื้นดินไปบ้างในการบินผ่านครั้งที่สอง ซึ่งจะทำให้ความสัมพันธ์ของ

สัญญาณแฉ่ง จึงจำเป็นต้องให้ค่าต่างๆของวงโคจรทั้ง 2 ครั้งมีความถูกต้องที่สุด และระยะเวลาที่เป็นสิ่งสำคัญ ระยะเวลาของการบินผ่านทั้งสองครั้งควรมีค่าน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ คือประมาณ 1 วัน

2.1. หลักการทำงานของเรดาร์ (RADAR)

RADAR ย่อมาจาก Radio Detection and Ranging ระบบเรดาร์ทำงานโดยการส่งช่วงคลื่นสัญญาณของพลังงาน ไมโครเวฟออกไปยังวัตถุเป้าหมาย และพลังงานดังกล่าวจะสะท้อนกลับมายังเครื่องรับสัญญาณบนดาวเทียม เรียกการสะท้อนกลับมาของพลังงานนี้ว่า พลังงานกระจัดกระจายกลับ (Backscatter Energy) ซึ่งความเข้มของสัญญาณที่สะท้อนกลับมามีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับวัตถุเป้าหมายและปัจจัยแวดล้อม

การบันทึกข้อมูลระบบเรดาร์ ไม่ได้บันทึกภาพในแนวตั้งเหมือนกับดาวเทียมระบบเชิงแสง แต่เป็นลักษณะการบันทึกจากทางด้านข้างของดาวเทียม (Side Looking) ดังนั้นมุมตกกระทบในการบันทึกภาพของดาวเทียมระบบเรดาร์ในแต่ละดวงจึงแตกต่างกันออกไป มุมตกกระทบนี้มีผลต่อการกระจัดกระจายกลับของพลังงานเรดาร์เช่นกัน

2.1.1 ช่วงคลื่นที่บันทึกข้อมูล

ระบบเรดาร์บันทึกข้อมูลในช่วงคลื่นความถี่ระหว่าง 3-12.5 GHz. หรือความยาวคลื่นระหว่าง 2.4-100 เซนติเมตร ซึ่งเรียกว่าช่วงคลื่นไมโครเวฟ ซึ่งแบ่งออกเป็นช่วงหรือBand ต่างๆ ได้ดังนี้

1. X-band ความถี่ระหว่าง 8-12.5 GHz. หรือความยาวคลื่นระหว่าง 2.4-3.75 ซม.
2. C-band ความถี่ระหว่าง 4-8 GHz. หรือความยาวคลื่นระหว่าง 3.75-7.5 ซม.
3. S-band ความถี่ระหว่าง 2-4 GHz. หรือความยาวคลื่นระหว่าง 7.5-15 ซม.
4. L-band ความถี่ระหว่าง 1-2 GHz. หรือความยาวคลื่นระหว่าง 15-30 ซม.
5. P-band ความถี่ระหว่าง 0.3-1 GHz. หรือความยาวคลื่นระหว่าง 30-100 ซม.

2.1.2 ลักษณะการกระจัดกระจายกลับของสัญญาณเรดาร์ (Radar Scattering)

ลักษณะการสะท้อนของสัญญาณเรดาร์เรียกว่า Scattering โดยสัญญาณที่สะท้อนกลับและบันทึกเป็นข้อมูลเรียกว่า Backscattering ซึ่งมีหน่วยวัดเป็นเดซิเบล (decibel) และสัญญาณที่

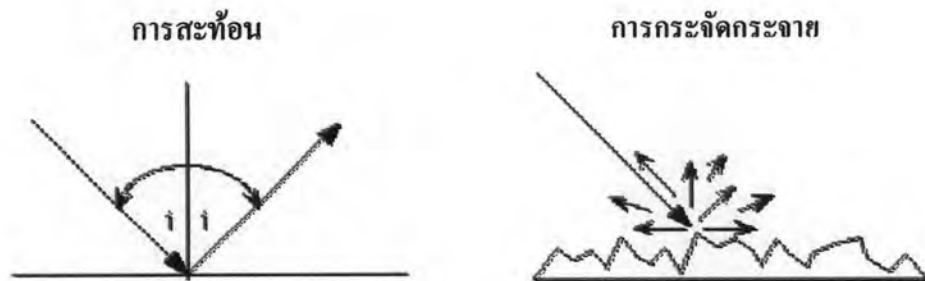
สะท้อนกลับมานำไปสร้างเป็นค่าความเข้ม (Intensity) เพื่อให้ปรากฏเป็นภาพนำไปใช้งานต่างๆ ไป ลักษณะของการกระจัดกระจายกลับของสัญญาณเรดาร์จากวัตถุต่างๆ มี 2 ลักษณะได้แก่

1. การกระจัดกระจายเชิงผิวหน้า (Surface Scattering)
2. การกระจัดกระจายเชิงปริมาตร (Volume Scattering)

สำหรับวัตถุที่มีการกระจัดกระจายเชิงผิวหน้าไม่จำเป็นต้องมีการกระจัดกระจายเชิงปริมาตร แต่ในกรณีที่วัตถุมีการกระจัดกระจายเชิงปริมาตรต้องมีการกระจัดกระจายเชิงผิวหน้าเกิดขึ้นเสมอ ซึ่งจะมีการกระจัดกระจายมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัตถุและสิ่งแวดล้อม

2.1.2.1 การกระจัดกระจายเชิงผิวหน้า (Surface Scattering)

หมายถึงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นบริเวณผิวหน้าของวัตถุที่มีความต่อเนื่องหรือสัมผัสกับชั้นบรรยากาศ เช่น แหล่งน้ำต่างๆ หรือของแข็งอื่นๆ เช่น ถนน, พื้นสนามบิน, ค่าการกระจัดกระจายเชิงผิวหน้าขึ้นอยู่กับความขรุขระของผิวหน้าของวัตถุดังรูปที่ 2.1

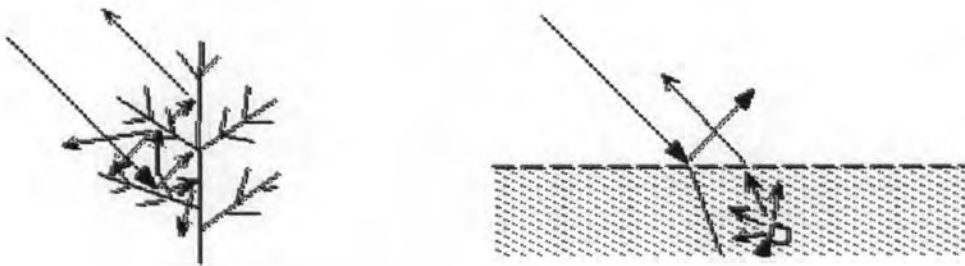


รูปที่ 2.1 แสดงการกระจัดกระจายเชิงผิวหน้าของวัตถุ

โดยปกติวัตถุที่มีผิวหน้าเรียบจะสะท้อนพลังงานตกกระทบเกือบทั้งหมดไปในทิศทางตรงข้าม หากมุมตกกระทบกว้างกว่าศูนย์องศา พลังงานทั้งหมดจึงไม่สะท้อนกลับไปยังแหล่งพลังงาน สำหรับวัตถุที่มีผิวขรุขระ พลังงานจะกระจัดกระจายไปยังทิศทางต่างๆ และกลับไปยังแหล่งพลังงานซึ่งมีอุปกรณ์รับสัญญาณอยู่ ดังนั้นวัตถุผิวเรียบจึงปรากฏเป็นสีดำบนภาพ SAR และปรากฏสีขาวสำหรับวัตถุที่มีผิวหน้าขรุขระ

2.1.2.2 การกระจัดกระจายเชิงปริมาตร (Volume Scattering)

หมายถึงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นกับผิวหน้าของวัตถุที่ขาดความต่อเนื่องกับบรรยากาศ เช่นยอดต้นไม้ ทำให้รังสีเรดาร์ผ่านทะลุเข้าไปภายในวัตถุเป้าหมาย และมีปฏิกิริยากับองค์ประกอบภายในปริมาตรของวัตถุดังกล่าวนั้น แล้วพลังงานจึงสะท้อนกลับไปยังทิศทางจากรับสัญญาณตั้งอยู่และบันทึกสัญญาณนั้นไว้ การกระจัดกระจายเชิงปริมาตรมีปัจจัยหลายอย่างเข้ามาเกี่ยวข้องเช่น ขนาดของมุมตกกระทบ ขนาดของโครงสร้าง ความหนาแน่นของวัตถุ ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การกระจัดกระจายเชิงปริมาตร

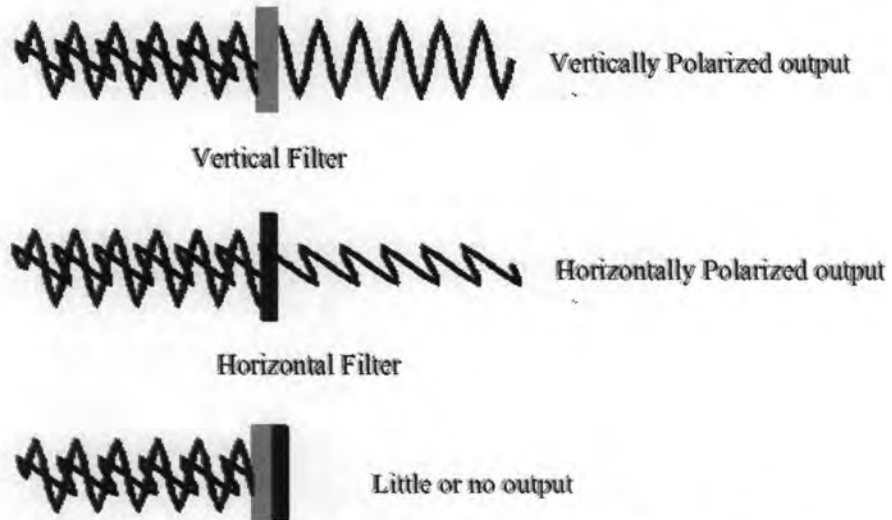
2.1.3 ปัจจัยที่มีผลต่อข้อมูลเรดาร์

วัตถุต่างๆ จะสนองตอบต่อสัญญาณเรดาร์ในลักษณะของการกระจัดกระจายกลับ ซึ่งปรากฏให้เห็นบนภาพที่มีความสว่าง(Brightness)แตกต่างกัน เช่นวัตถุใดๆที่การกระจัดกระจายกลับของสัญญาณเรดาร์มีค่าสูง จะปรากฏเป็นสีสว่าง ส่วนวัตถุใดมีค่าการกระจัดกระจายต่ำจะปรากฏเป็นสีดำ โดยมีปัจจัยที่สำคัญในการกระจัดกระจายของข้อมูลเรดาร์ดังนี้

2.1.3.1 ปัจจัยที่มีผลต่อระบบเรดาร์

ความยาวคลื่น(Wave length) ความยาวคลื่นที่แตกต่างกันมีผลให้ค่าการกระจัดกระจายกลับของรังสีเรดาร์แตกต่างกัน คือในช่วงคลื่นที่ยาวกว่า เรดาร์จะสามารถทะลุทะลวงเข้าไปในปริมาตรของวัตถุได้มากกว่า ดังนั้น โอกาสที่จะมีการกระจัดกระจายกลับเชิงปริมาตรในช่วงคลื่นยาวจึงมีมากกว่าที่จะเกิดในช่วงคลื่นสั้น

ระนาบคลื่น(Polarization) คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีเวกเตอร์เกี่ยวข้องกันอยู่ 3 ชนิด คือ เวกเตอร์ไฟฟ้า(E), เวกเตอร์แม่เหล็ก (H), และเวกเตอร์ทิศทาง โดยเวกเตอร์ทั้ง 3 ชนิดดังกล่าว ทำมุมฉากซึ่งกันและกัน การแผ่รังสีของเรดาร์มีทิศทางระนาบคลื่นที่มีเวกเตอร์ไฟฟ้าวางตัวอยู่ ประกอบด้วย 2 ทิศทาง คือระนาบคลื่นในแนวตั้ง(Vertical Polarization) และระนาบคลื่นในแนวนอน (Horizontal Polarization) ความสำคัญของระนาบคลื่นคือ มีผลกระทบที่ทำให้คลื่นรังสีเรดาร์มีปฏิกิริยาต่อวัตถุเป้าหมายต่างกันตามคุณสมบัติของวัตถุนั้นๆ โดยปกติระนาบคลื่นในแนวตั้งจะทำให้เกิดปฏิกิริยาตอบสนองที่ดีจากเป้าหมายที่มีองค์ประกอบเชิงโครงสร้างในแนวตั้ง เช่นพีชพรรณต่างๆ ส่วนระนาบคลื่นในแนวนอนจะมีปฏิกิริยาเพียงเล็กน้อยต่อยอดของพีช ดังนั้นค่าการกระจัดกระจายกลับของช่วงคลื่นเดียวกันแต่ต่างระนาบคลื่นจะมีค่าแตกต่างกันออกไป นอกจากนี้ความแตกต่างของระนาบคลื่นที่รับกลับก็มีผลต่อการกระจัดกระจายเช่นกัน

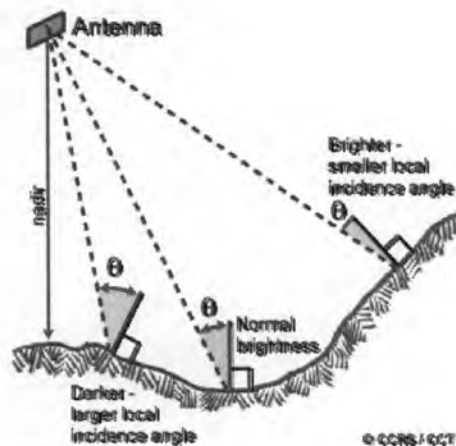


รูปที่ 2.3 แสดงระนาบของคลื่น และการผ่านตัวกรองของระนาบของคลื่น

มุมตกกระทบ (Incidence angle) หมายถึงขนาดของมุมที่สัญญาณเรดาร์ตกกระทบกับพื้นผิวของวัตถุเป้าหมายเมื่อวัดจากแนวตั้งของดาวเทียม เนื่องจากภาพเรดาร์ได้จากการบันทึกภาพในมุมเอียง มุมตกกระทบจึงมีความสำคัญในการพิจารณาว่าวัตถุสามารถกระจัดกระจายพลังงานได้ดีเพียงใด ส่วนมากทิศทางการกระจัดกระจายจะเปลี่ยนไปตามมุมมองการบันทึกภาพ ในกรณีที่ใช้มุมแคบ การกระจัดกระจายกลับของสัญญาณเรดาร์จะมากกว่า ณ จุดเป้าหมายที่มีพื้นผิวหน้าลักษณะเดียวกัน โดยลักษณะความขรุขระของพื้นผิวมีส่วนเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย เช่น ในกรณีของวัตถุที่มี

ผิวหน้าเรียบค่าการกระจัดกระจายกลับจะสูงมากเมื่อมุมตกกระทบแคบ และจะลดลงอย่างรวดเร็ว ส่วนในพื้นที่ขรุขระการกระจัดกระจายกลับจะค่อยๆลดลงเมื่อมุมตกกระทบกว้างขึ้น

ในกรณีที่มีความลาดเอียงของภูมิประเทศเข้ามาเกี่ยวข้องกับขนาดของมุมตกกระทบจะแปรไปตามลักษณะภูมิประเทศ เรียกว่ามุมตกกระทบเฉพาะที่ (Local Incidence Angle) ซึ่งมีส่วนต่อการกระจัดกระจายกลับของสัญญาณเรดาร์ เช่น กรณีของพื้นราบ มุมถ่ายภาพจะเท่ากับมุมตกกระทบ การกระจัดกระจายกลับจะเป็นไปตามปกติ ทำให้จุดภาพที่ได้ค่อนข้างมืด ในกรณีพื้นเป้าหมายเอียงจากจานเรดาร์ มุมตกกระทบจะกว้างกว่ามุมถ่ายภาพ สัญญาณการกระจัดกระจายกลับจะต่ำกว่าปกติทำให้จุดภาพที่ได้มีความสว่างน้อย ในทางตรงกันข้าม หากพื้นที่เป้าหมายเอียงเข้าหาจานรับสัญญาณ มุมตกกระทบจะแคบกว่ามุมถ่ายภาพการกระจัดกระจายจะสูงกว่าปกติ จุดภาพที่ได้จะค่อนข้างสว่างมาก ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ลักษณะของมุมตกกระทบเฉพาะที่

(http://ccrs.nrcan.gc.ca/resource/tutor/stereo/chap5/chapter5_7_e.php)

ทิศทางการบินที่ภาพ (Look Direction หรือ Aspect Angle) หมายถึงแนวของสัญญาณเรดาร์ที่ตกกระทบยังวัตถุเป้าหมาย โดยทั่วไปแนวของสัญญาณจะมีทิศทางตั้งฉากกับแนวบินหรือแนวโคจรของดาวเทียม ทิศทางการบินที่ข้อมูลมีผลต่อวัตถุเป้าหมายที่มีองค์ประกอบเชิงโครงสร้างที่มีลักษณะเชิงทิศทาง หรือเป็นแถบแนวยาวเห็นได้ชัดเจน เช่น ทางรถไฟ พื้นที่ลักษณะดังกล่าวมีความไวเชิงทิศทางต่อการบันทึกภาพด้วยระบบเรดาร์ที่มีมุมมองจากด้านข้างมาก

ในกรณีที่แนวของสัญญาณเรดาร์มีทิศทางตั้งฉากกับทิศทางการวางตัวของวัตถุ เป้าหมายจะให้ค่าการกระจัดกระจายกลับของเรดาร์สูงสุด เมื่อเปรียบเทียบกับทิศทางอื่น และจะลดลงตามลำดับจนเข้าสู่ทิศทางที่ขนานกับวัตถุเป้าหมาย

2.1.3.2 ปัจจัยที่เกี่ยวกับคุณสมบัติของวัตถุ

ความขรุขระของผิวหน้าวัตถุ (Surface Roughness) โดยที่การบันทึกภาพเรดาร์เป็นการบันทึกภาพจากด้านข้าง หรือในมุมเฉียงดังนั้นคุณลักษณะของพื้นผิวหน้าของวัตถุเป้าหมายจึงมีอิทธิพลมากต่อการกระจัดกระจายกลับของสัญญาณเรดาร์ โดยถือเป็นปัจจัยหลักที่ควบคุมการกระจัดกระจายของสัญญาณออกไปในทิศทางต่างๆกันตามคุณลักษณะของพื้นผิวนั้นๆ

ในกรณีที่พื้นที่มีผิวหน้าเรียบ การกระจัดกระจายกลับมีค่าสูงสุดเมื่อมีมุมตกกระทบขนาดเล็ก และค่าการกระจัดกระจายกลับมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อมุมตกกระทบกว้างขึ้นสำหรับผิวหน้าที่มีความขรุขระเล็กน้อย ค่าการกระจัดกระจายกลับสูงสุดยังเกิดขึ้นที่มุมตกกระทบขนาดเล็ก แต่อยู่ในระดับที่ต่ำกว่าและมีช่วงกว้างกว่ากรณีของผิวหน้าเรียบ ในกรณีพื้นที่ที่มีผิวหน้าขรุขระมาก ค่าการกระจัดกระจายกลับจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อมุมตกกระทบกว้างขึ้น

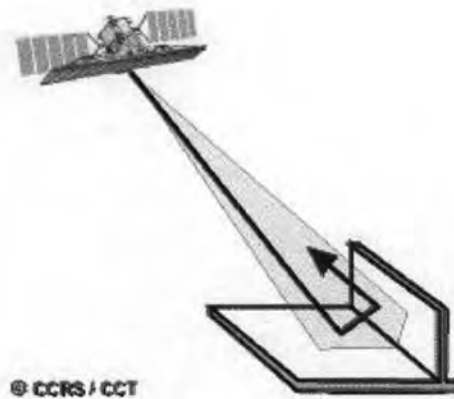
ในกรณีที่มุมตกกระทบเท่ากัน การกระจัดกระจายกลับของสัญญาณเรดาร์จากพื้นผิวหน้าขรุขระจะมีค่าสูงกว่าที่เกิดจากบริเวณผิวหน้าเรียบ

คุณสมบัติทางไฟฟ้า (Dielectric Property) วัสดุธรรมชาติทุกชนิดมีคุณสมบัติในการตอบสนองต่อช่วงคลื่นที่เรียกว่าค่าคงตัวไดอิเล็กทริก (Dielectric Constant) ซึ่งหมายถึงคุณสมบัติในการยอมให้ผ่าน (Permeability) และการเป็นสื่อนำพลังงาน (Conductivity) ค่าคงตัวไดอิเล็กทริก เป็นปัจจัยหลักประการหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อการกระจัดกระจายกลับของรังสีเรดาร์

ลักษณะภูมิประเทศและการวางตัวของวัตถุ (Topography and Feature Orientation) ลักษณะภูมิประเทศและทิศทางการวางตัวของวัตถุมีอิทธิพลต่อการกระจัดกระจายกลับของสัญญาณเรดาร์ โดยเฉพาะวัตถุหรือพื้นผิวที่มีรูปทรงเชิงเส้น (Linear Feature) ทิศทางการวางตัวของวัตถุดังกล่าวจะตอบสนองต่อสัญญาณเรดาร์แตกต่างกันออกไป เช่น แนวร่องพืซ หรือทางรถไฟ ที่วางตัวตั้งฉากกับทิศทางของสัญญาณเรดาร์ จะให้ค่าการกระจัดกระจายกลับสูงกว่าในทิศทางอื่นๆ ในทางตรงกันข้าม หากวางตัวขนานกับทิศทางของสัญญาณเรดาร์ ค่าการกระจัดกระจายกลับจากวัตถุดังกล่าวจะต่ำ ค่าการกระจัดกระจายกลับจากวัตถุดังกล่าวจะต่ำ

สำหรับกรณีของลักษณะภูมิประเทศที่เป็นเนินหรือภูเขาบริเวณที่หันหน้าเข้าหาจานเรดาร์ หรือวางตัวในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางของสัญญาณเรดาร์จะให้ค่าการกระจัดกระจายกลับสูง ในขณะที่ด้านตรงข้ามจะไม่มีสัญญาณตกกระทบ

การสะท้อนเชิงมุม (Corner Reflection) เป็นการสะท้อนของวัตถุที่มีลักษณะผิวเรียบทำมุมฉากซึ่งกันและกัน โดยมีทิศทางของมุมฉากหันเข้าหาจานเรดาร์ การสะท้อนดังกล่าวมี 2 ลักษณะ คือการสะท้อน 2 ต่อ และ การสะท้อน 3 ต่อ



รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะของการสะท้อนเชิงมุม

(http://ccrs.nrcan.gc.ca/resource/tutor/fundam/chapter3/05_e.php)

ลักษณะการสะท้อนเชิงมุมนี้จะให้ค่าการสะท้อนเรดาร์สูงมาก ทำให้ปรากฏเป็นสีขาวสว่างบนภาพ การสะท้อนแบบนี้พบได้ชัดเจนในบริเวณตัวเมืองที่ประกอบด้วยอาคารบ้านเรือนและสิ่งก่อสร้างต่างๆ จึงทำให้การสำรวจระยะไกลด้วยดาวเทียมระบบเรดาร์ เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพมากในการระบุตำแหน่งของอาคารบ้านเรือนหรือบริเวณที่เป็นแหล่งชุมชน

2.1.4 คุณสมบัติบางประการของดาวเทียม ERS-1 และ ERS-2

ดาวเทียม ERS-1 และ ERS-2 บันทึกข้อมูลในช่วงคลื่น ไมโครเวฟมีคุณลักษณะดังนี้

ความถี่	1.275 GHz. (L-Band)
ลักษณะการถ่าย	HH ซึ่ง
มุมเอียง	98.52 องศา
Orbit	Near-Circular, Polar Synchronous

2.2 หลักการทำงานของ Synthetic Aperture Radar (SAR)

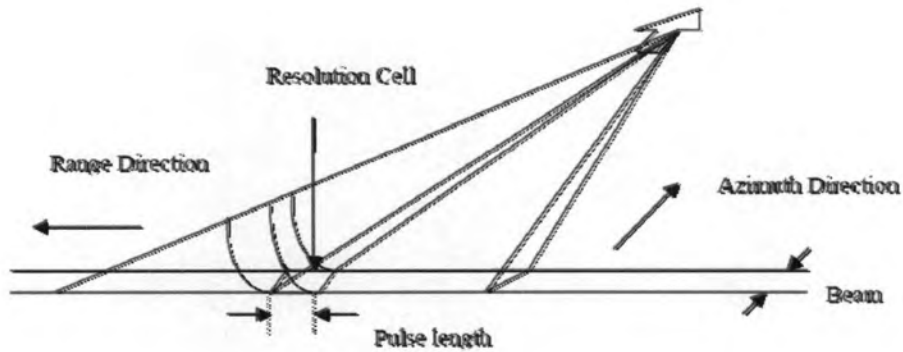
2.2.1 SAR

การถ่ายภาพด้วยเรดาร์นั้นก็คล้ายกับการถ่ายภาพด้วยกล้องถ่ายรูปด้วยไฟแฟลชนั่นเอง คือตัวกล้องฉายแสงออกมาให้ไปกระทบวัตถุแล้วมันก็กลับแสงสะท้อนกลับมาผ่านเลนส์ และบันทึกลงบนแผ่นฟิล์มในตัวกล้อง แต่ในเรดาร์นั้นจะใช้ฐานรับคลื่นและคอมพิวเตอร์ในการบันทึกในภาพถ่ายเรดาร์นั้นภาพที่เห็นเป็นภาพที่ได้จากการสะท้อนกลับมาซึ่งจากรับ

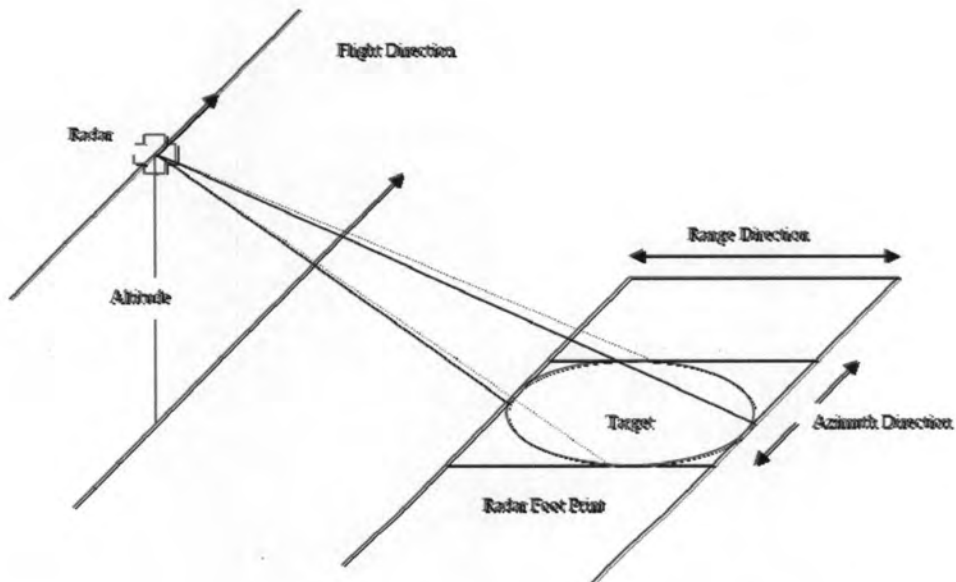
โดยทั่วไปนั้น เรดาร์จะวัดกำลังของคลื่น และเวลาที่เดินทางไป-กลับของสัญญาณคลื่น ไมโครเวฟซึ่งจากรับส่งคลื่นออกไปแล้วสะท้อนกลับจากพื้นผิวหรือวัตถุออกไปประมวลผล และแสดงผลออกมาเป็นภาพ เนื่องจากคลื่นเดินทางด้วยความเร็วแสงซึ่งมีค่าคงที่ จึงสามารถวัดระยะเวลาในการเดินทางไปกลับของคลื่นแล้วนำมาคำนวณระยะทางของวัตถุที่สะท้อนได้ ระยะความถี่ของ Bandwidth ที่เลือกไว้จะเป็นตัวกำหนดให้ถี่มากขึ้นก็จะได้ภาพที่คมชัดมากขึ้น ดังรูปที่ 2.6

ความยาวของแฉงที่บรรจุฐานรับส่งคลื่น จะเป็นตัวกำหนดความคมชัดทางยาวของภาพ (Azimuth (along-track) direction) ยิ่งแนวรับส่งคลื่นยาวมากขึ้นก็จะเพิ่มความคมชัดทางยาวของภาพให้มากขึ้น Synthesis Aperture Radar หรือ SAR นั้น ใช้เทคนิคการจำลองว่ามีแนวฐานรับคลื่นที่ยาวมากๆ โดยการรวบรวม-สะสมสัญญาณจากคลื่นที่ได้รับตลอดแนวการเคลื่อนที่ของเรดาร์ คือจากรับส่งคลื่น การจำลองแนวรับจากรับส่งคลื่นนั้นอาศัยการเคลื่อนที่ของการรับส่งคลื่นไปตามแนวทางการเคลื่อนที่ของเรดาร์ เมื่อเรดาร์เคลื่อนที่ สัญญาณที่ส่งออกไปในแต่ละตำแหน่งจะสะท้อนกลับมาซึ่งตัวรับสัญญาณ และจัดเก็บลงในส่วนเก็บข้อมูลสะท้อน เพราะว่าเรดาร์เคลื่อนที่สัมพันธ์กับพื้นผิวโลก สัญญาณที่สะท้อนมาคือ Doppler-shifted (จะมีค่าเป็นลบเมื่อเรดาร์เข้าใกล้เป้าหมาย มีค่าเป็นบวกเมื่อเคลื่อนที่ออกจากเป้าหมาย) ดังที่แสดงในรูปที่ 2.7 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างความถี่ของ Doppler-shifted กับความถี่อ้างอิงซึ่งให้สัญญาณทั้งหลายที่สะท้อนกลับมารวมกันเป็นจุดเดียว อันเป็นประสิทธิภาพของการเพิ่มความยาวของแฉงจากรับคลื่น โดยขั้นตอนที่กล่าวมานี้ เป็นที่รู้จักกันโดยทั่วไปว่าการประมวลผลแบบ SAR (SAR processing) ซึ่งประมวลผลบนระบบคอมพิวเตอร์ที่มีความเร็วสูง เคล็ดลับของการประมวลผลแบบ SAR คือการจับคู่ความคลาดเคลื่อนหรือความเปลี่ยนแปลงความถี่ Doppler ของแต่ละจุดในภาพได้อย่างถูกต้อง ซึ่งจำเป็นต้องทราบความสัมพันธ์ของลักษณะท่าทางระหว่างกระบวนการเคลื่อนที่กับวัตถุที่ถ่ายภาพมาอย่างถูกต้องมากๆ ซึ่งเป็นสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงแบบ Doppler ในตอนแรก ในปัจจุบัน Synthetic Aperture Radar เป็นเทคนิคที่สมบูรณ์เต็มที่ที่ใช้สร้างภาพ

จากเรดาร์ที่มีรายละเอียดที่ดีเยี่ยม ระบบ SAR เป็นระบบที่มีลักษณะเฉพาะคือ สามารถที่จะแปลงแสงหรือคลื่นได้ด้วยตัวเอง ไม่จำเป็นต้องอาศัยแสงจากดวงอาทิตย์ซึ่งสามารถที่จะถ่ายภาพได้ไม่ว่าจะเป็นเวลาใด และด้วยเหตุที่ความยาวคลื่นของเรดาร์ยาวกว่าความยาวคลื่นของแสงหรือ อินฟราเรด ซึ่งสามารถทะลุผ่านเมฆหมอกได้อย่างดี



รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะของ Bandwidth



รูปที่ 2.7 เรขาคณิตพื้นฐานของ Synthetic Aperture Radar

โดยสามารถแยกการสำรวจระยะไกลด้วยเรดาร์ออกจากการสำรวจที่อาศัยเซนเซอร์แสง คลื่นรังสีตามธรรมชาติจากแหล่งอื่นนั้น มีหลากหลายสีหรือหลายช่วงความถี่คลื่น ซึ่งจะมีการ โครงสร้างเฟสแบบสุ่มระหว่าง 2 จุดใดๆ ในพื้นที่ที่ได้รับแสง ทำให้สนามของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ สะท้อนนั้นไม่ต่อเนื่องกัน ในทางตรงกันข้ามสำหรับเรดาร์คลื่นที่ส่งออกไปในแต่ละครั้งจะมีช่วง ความถี่เดียว ส่งออกจากจุดเดียว ภาพที่ได้นั้นสร้างขึ้นจากการประมวลผลสัญญาณทั้งหมดที่สะท้อน มา ถ้าเรดาร์ถูกควบคุมไว้ลำดับของการส่งคลื่นก็จะต่อเนื่องกัน

2.3 SAR Interferometry (InSAR)

Interferometry เป็นวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวกับฟิสิกส์และแสง ซึ่งกระบวนการ Interferometry ให้ความถูกต้องสูงในการวัดระยะทางโดยอาศัยความแตกต่างของเฟสของคลื่นแสงและที่ต่อเนื่อง (coherence light source) จากเซนเซอร์ 2 ตัว เทคโนโลยีนี้ใช้ในการสำรวจดาวเคราะห์และดวงจันทร์ จากโลก แนวคิดของ interferometry นั้นได้แสดงถึงศักยภาพในการสร้างพื้นผิวที่มีความถูกต้องสูง และวิธีนี้ได้พัฒนาอย่างต่อเนื่อง ตัวอย่างเช่น การสำรวจดาวเคราะห์และดวงจันทร์จากโลกในปี 1965 การสำรวจดาวศุกร์จากโลกในปี 1969 ระดับความสูงของพื้นผิวดวงจันทร์ในปี 1972 เป็นต้น

รูปแบบเรขาคณิตพื้นฐานของ interferometric SAR แสดงในรูปที่ 2.8 โดยใช้ A_1 และ A_2 แทน จานรับส่งสัญญาณทั้งสอง h แทนความสูงเหนือพื้นดิน H แทนความสูงเหนือ ellipsoid B แทนความ ยาวเส้นฐานรอบจานรับส่งสัญญาณทั้งสอง ρ แทนระยะไปยังเป้าหมาย θ แทนมุมก้มไปยังเป้าหมาย α แทนมุมของเส้นฐานเทียบกับแนวระดับ

จานรับส่งสัญญาณ 1 ส่งและรับสัญญาณ ในขณะที่คนรับส่งสัญญาณ 2 ในเวลาเดียวกับจาน A_1 จะได้

$$h = H - \rho \cos(\theta) \quad (2.1)$$

จากกฎของ cosine จะได้

$$(\rho + \delta\rho)^2 = \rho^2 + B^2 - 2\rho B \cos(90 - \theta + \alpha) \quad (2.2)$$

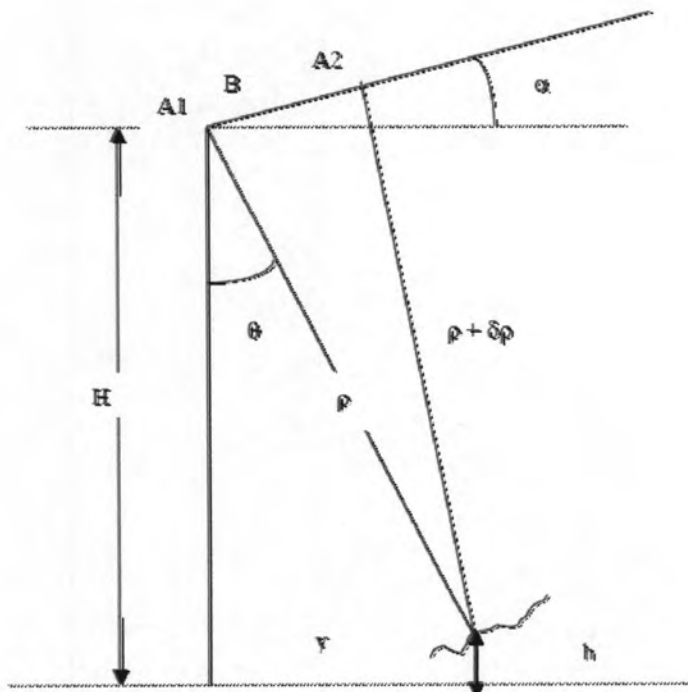
โดยที่ $\delta\rho$ คือความแตกต่างของเส้นที่เอียง และ α คือมุมของเส้นฐานที่เทียบกับแนวระดับ
 แก่สมการ 2.2 เพื่อหาค่า ρ และแทนค่าในสมการ 2.1 จะได้

$$h = H - \{(\delta\rho^2 - B^2) / (2 B \sin(\alpha - \theta) - 2\delta\rho)\} \cos(\theta) \quad (2.3)$$

ในสมการ 2.3 ยังคิดตัวแปรอีกตัวคือ $\delta\rho$ ซึ่งหาได้จาก

$$\delta\rho = \lambda\phi / 2\pi \quad (2.4)$$

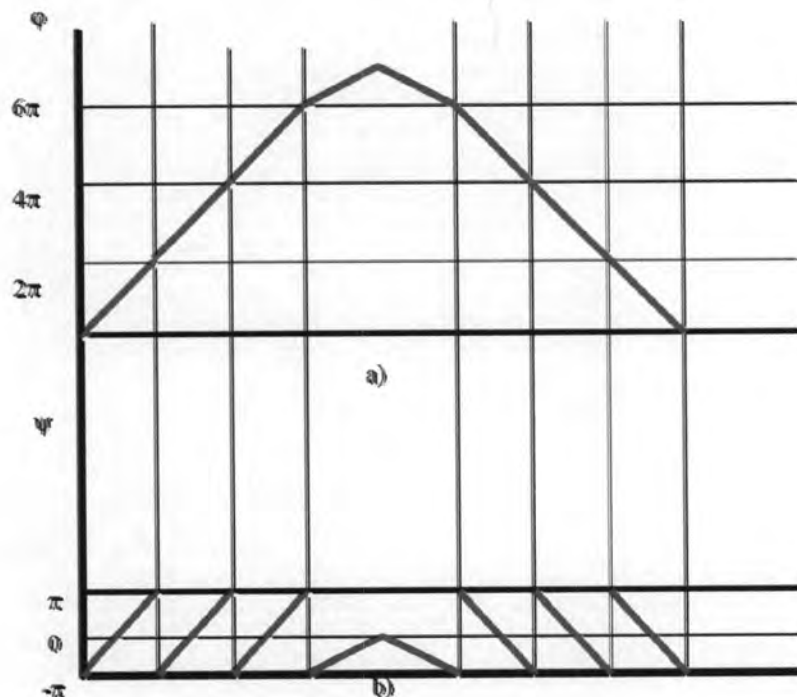
โดยที่ λ คือความยาวคลื่น และ ϕ คือค่าความต่างของเฟสสัมบูรณ์ (absolute phase difference)
 ของคลื่นที่สะท้อนกลับมาทั้ง 2 ครั้ง ค่า ϕ นั้นหาไม่ได้จากการวัดด้วยเรดาร์โดยตรง การประมวลผล
 phase unwrapping ใช้กำหนดจำนวนเต็มของ ϕ หลังจากประมวลผล phase แล้วก็จะได้โมเดลความสูง
 (DEM)



รูปที่ 2.8 พื้นฐานของ configuration ของ SAR Interferometry

Phase unwrapping เป็นปัญหาสำคัญในการสร้างลักษณะพื้นผิววัตถุในรูปแบบ 2 มิติ ในกรณีของการประมวลผล synthetic aperture radar, array ของเลขเชิงซ้อนที่ได้มาใหม่จากการคูณแต่ละ pixel ของ ภาพคู่ SLC (Single Look Complex) ด้วย Conjugated pixel ของอีกภาพหนึ่ง ถ้าเฟสของจำนวนเชิงซ้อนคำนวณและแสดงในลักษณะภาพราสเตอร์ (Raster image) ภาพเหล่านี้จะเรียกว่า interferogram หรือ fringe image, phase array ที่อยู่ใน interferogram คือ array ที่ล้อมรอบ interferometric phase ส่วน wrapped interferometric phase มีระยะจาก $-\pi$ ไปถึง π ซึ่งมาจากการนำ arc-tangent ไปคูณ

Phase unwrapping ใน InSAR จะมากขึ้นเมื่อ interferogram มีอัตรา phase to noise ต่ำ หรือมีค่าความต่อเนื่อง (coherence) ต่ำ array wrapped phase ใน InSAR array ที่มีขนาดใหญ่กว่าจะใช้เวลาในการคำนวณมากกว่าเมื่อเทียบกับคลื่นรบกวนในปัญหาทำนองเดียวกัน ผลจาก interferometric phase array จะสะท้อนให้เห็นถึงลักษณะภูมิประเทศ และด้วยความสัมพันธ์ทางเรขาคณิตที่ถูกต้อง interferometric phase array สามารถเปลี่ยนเป็น require DEM โดย DEM ในขั้นตอนสุดท้ายจะถูก resampling ไปเป็นราสเตอร์ที่มีระยะเท่ากัน (equidistant raster) และลงค่าพิกัดไปยังระบบพิกัดที่ต้องการ



รูปที่ 2.9 ลักษณะพื้นผิวของ phase unwrapping

Phase unwrapping แบบ 2 มิติสามารถนำไปประยุกต์ใช้หลายด้าน ทั้งทางด้านวิทยาศาสตร์ และวิศวกรรม ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

1. Deterministic Method

2. Numerical Method

ซึ่ง Deterministic Phase Unwrapping มีพื้นฐานมาจากแนวคิดของการตรวจพบว่ามีเฟสเปลี่ยนจาก $-\pi$ ไปเป็น $+\pi$ ในกรณีที่ความถี่ลดลงหรือเปลี่ยนจาก $+\pi$ ไปเป็น $-\pi$ ในกรณีที่ความถี่เพิ่มขึ้น เช่นในกรณีของความถี่ที่เพิ่มขึ้น ค่า 2π จะถูกบวกเข้าไปในค่าของเฟส ผลรวมของข้อมูลเฟสที่เอาไปทดสอบนั้นยอมรับได้ โดยใช้ค่าของ Pixel แรกเป็นค่าเริ่มต้นโดยสมมติให้มีค่าเป็น 0 (ศูนย์) ซึ่งหมายความว่าหลังจากทำ phase unwrapping แล้วอย่างน้อยจะต้องทราบค่าความสูง 1 จุด เพื่อที่จะใช้เป็นค่าเริ่มต้นของโมเดลความสูงทั้งหมดได้

ในรูป 2.11 เน้นกราฟที่มีลักษณะคล้ายเนิน ซึ่งแสดงถึงลักษณะพื้นผิว 1 มิติ ของ phase variation ซึ่งจะช่วยให้เข้าใจเทคนิค phase unwrapping ให้ดีมากขึ้น โดยในรูปที่ 2.9 a) เป็นกราฟรูปเนิน 1 มิติที่มี phase เพิ่มขึ้นจาก 0 ทางด้านซ้ายสุดเป็น 7π และลดลงเหลือ 0 อีกครั้ง ส่วนรูปที่ 2.9 b) เป็นกราฟที่ผ่านขั้นตอนการ wrap แล้ว

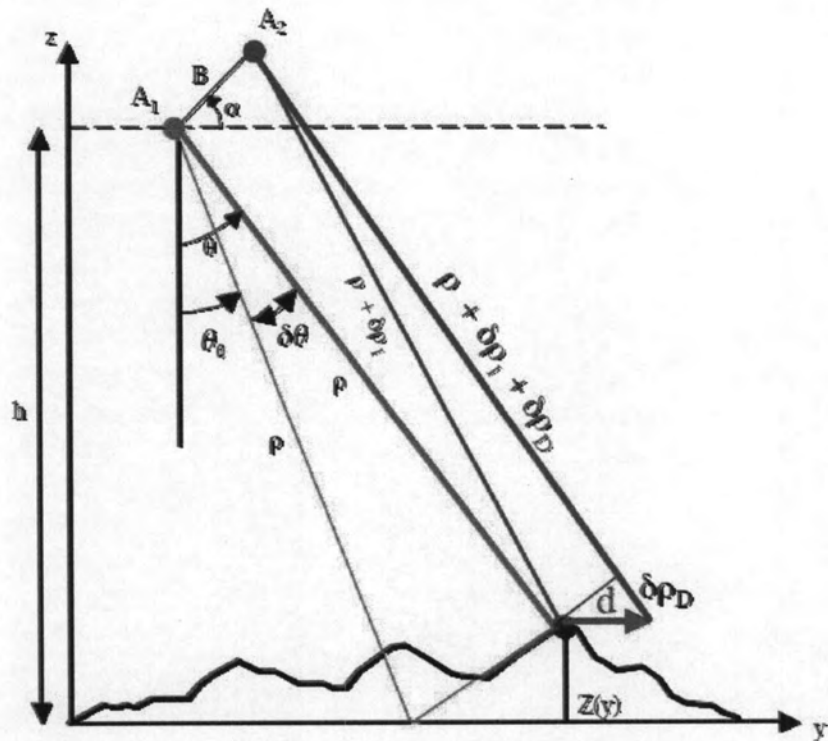
สำหรับกราฟรูปเนิน 1 มิติที่ผ่านการ simplified แล้ว มาจากแนวคิดเกี่ยวกับ deterministic phase unwrapping ที่ได้กล่าวไปแล้วสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้โดยง่าย เริ่มจากทางด้านซ้ายที่มีความสูงเป็น 0 ความสูงก็จะถูกบวกเข้าไปเรื่อยๆ ไปทางด้านขวา ณ จุดที่ค่าเปลี่ยนจาก $+\pi$ ไปเป็น $-\pi$ ค่า 2π จะถูกบวกเข้าไป และจุดที่มีค่าเปลี่ยนจาก $-\pi$ ไปเป็น $+\pi$ ค่า 2π ก็จะถูกนำไปลบจากค่าความสูง ณ จุดนั้น

การวิจัยต่อมาในเรื่อง phase unwrapping 2 มิติโดยใช้เมทริกซ์ อัลจิบรา โดยใช้กริดขนาดเล็ก เช่น ขนาด 64×64 pixel หรือเล็กกว่า ซึ่งสามารถกำหนดสูตรได้เป็น partial differential equation (PDE) ลำดับที่สอง

Partial differential equation แบ่งได้เป็น 3 ประเภทคือ hyperbolic, parabolic และ elliptic ขึ้นอยู่กับข้อกำหนดของแต่ละประเภท ในกรณีของ phase unwrapping นั้นเป็นแบบ elliptic ซึ่งสามารถแบ่งย่อยได้อีก คือ Laplace equation กับ Poisson equation ซึ่ง Laplace equation ก็คล้ายกับ Poisson equation แต่ว่า $\rho(x,y) = 0$ ซึ่ง phase unwrapping ใช้ poisson equation ในการแก้ปัญหา

2.3.1 Ground Motion

จากทฤษฎีของ SAR สามารถนำมาประยุกต์ในเรื่องของการเคลื่อนที่ของพื้นดินได้ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แสดง Ground Motion

จากรูปนำมาแสดงสมการได้ดังนี้

$$\Delta\phi = (4\pi / \lambda)\delta\rho \quad (2.5)$$

$$\delta\rho = \delta\rho_1 + \delta\rho_D \quad (2.6)$$

$$\delta\rho_1 = B\sin(\alpha - \theta) \quad (2.7)$$

$$\Delta\phi = (4\pi / \lambda)(B\sin(\alpha - \theta_z) + \delta\rho_D) \quad (2.8)$$

จากสมการที่ 2.8 มีค่าความต่างเฟสที่ได้มาจากค่าของ Flat Earth + Topo และ Range Difference Along the Antenna-Ground path Length due to surface displacement ซึ่งเป็นค่าที่ต้องการ เนื่องจากเป็นค่าที่บ่งบอกถึงขนาดของการทรุดตัว โดยจากสมการดังกล่าวสามารถบอกได้ว่าค่าความต่างเฟสที่ต้องการได้จากองค์ประกอบต่างๆดังนี้

$$(4\pi / \lambda)(B \sin(\alpha - \theta_z)) \text{ คือค่าที่ได้จาก Flat Earth + Topo}$$

$\delta\rho_D$ คือค่าของ Range Difference Along the Antenna-Ground path Length due to surface displacement

2.4 Radar Issues in an Urban Area

2.4.1 คุณลักษณะของการสำรวจระยะไกลด้วยเรดาร์

การสำรวจระยะไกลด้วยไมโครเวฟจะให้ข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติทางโครงสร้างของพื้นที่ที่ถ่ายภาพ ส่วนข้อมูลทางด้านเคมีของพื้นที่นั้น การสำรวจด้วยแสง นี่คือเหตุผลที่ว่าทำไมเรดาร์จึงมีอนาคตที่ดีในการสำรวจพื้นที่เขตเมือง มีตัวแปรหลายตัวที่ส่งผลกระทบต่อความเข้มของสัญญาณของเรดาร์ที่สะท้อนกลับมาจากวัตถุ สิ่งแวดล้อมในการเขตพื้นที่เมืองประกอบไปด้วยอาคารต่างๆ พืชพรรณ และสิ่งปลูกสร้างอื่นๆ ขนาดรูปร่างวัตถุ การวางตัวของอาคารมีอิทธิพลต่อการสะท้อนของคลื่นเรดาร์

ปัจจัยหลักที่เป็นตัวกำหนดคุณลักษณะของเรดาร์ที่สะท้อนกลับมาคือค่าพารามิเตอร์ต่างๆของระบบเรดาร์, คุณสมบัติของพื้นผิว และตัวแปรต่างๆของสภาพแวดล้อม ค่าพารามิเตอร์ของระบบเรดาร์ที่สำคัญคือ ความยาวคลื่น, Polarization, มุมมอง, ทิศทาง และความแตกต่างของเฟสของคลื่นเรดาร์ คุณสมบัติของพื้นผิวกระทบต่อสัญญาณเรดาร์ที่สะท้อนกลับมา ค่าความเป็นฉนวนไฟฟ้า (Dielectric constant) ความขรุขระของพื้นผิว และทิศทางการวางตัวของพีเจอร์ต่างๆ ทิศทางการวางตัวและความลาดเอียงของภูมิประเทศนั้นมีความสำคัญต่อทิศทางการมองเห็นของเรดาร์ เช่นเดียวกับความเข้มของสัญญาณเรดาร์ที่สะท้อนกลับมา ทิศทางการวางตัวของพีเจอร์มีความสัมพันธ์กับมุมมองของเรดาร์ ซึ่งดูเหมือนว่าจะเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดว่าเรดาร์มีปฏิริยาอย่างไรกับสภาพแวดล้อมในเขตเมือง อัน

ได้แก่ ลักษณะของพื้นที่, การแบ่งชั้นสิ่งปกคลุมดิน และ spatial pattern , พืชพรรณ, ประวัติการตั้งถิ่นฐาน และสภาพภูมิอากาศ (Xia and Henderson,1997)

ข้อแตกต่างระหว่างมุมมองกับมุมตกกระทบ คือมุมมองนั้นเป็นมุมระหว่างพื้นระนาบของเรดาร์กับมุมที่เรดาร์มองไปยังวัตถุ มุมตกกระทบคือมุมที่สัญญาณเรดาร์กระทบถึงวัตถุเทียบกับเส้นตั้งฉากกับวัตถุ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ การวางตัวและรูปลักษณะของวัตถุ ส่วนทิศของมุมมองนั้น คือทิศที่เรดาร์มองไปยังวัตถุที่แสดงระนาบ

ความยาวของคลื่นมีความสัมพันธ์กับความขรุขระของพื้นผิว จะบอกได้ว่าเป็นการกระจายประเภทใด เป็นการสะท้อน (Specular) หรือ การแพร่กระจาย (Diffuse) การกระจัดกระจายแบบสะท้อน (Specular scattering) จะเกิดขึ้นเมื่อคลื่นเรดาร์สะท้อนกับระนาบ สำหรับพื้นผิวที่แบนราบ คลื่นจะสะท้อนออกไปจากตัวเซนเซอร์ และคลื่นที่สะท้อนกลับมานั้นค่อนข้างจะต่ำมาก ส่วนการกระจายแบบแพร่กระจาย (Diffuse scattering) นั้น คลื่นจะกระจายออกไปทุกทิศทุกทาง ปริมาณคลื่นที่กระจายออกไปในแต่ละทิศทางนั้นขึ้นอยู่กับความขรุขระของพื้นผิว และความยาวคลื่นของคลื่นที่ตกกระทบ (Elachi,1988) สำหรับพื้นผิวที่ขรุขระ คลื่นจะกระจายไปยังทุกทิศทาง คลื่นเรดาร์ก็จะสะท้อนกลับมายังเซนเซอร์ ถ้าใช้คลื่นที่มีความยาวมากขึ้น ข้อมูลที่ได้จะเรียบเสมอมากขึ้น Rayleigh criterion เป็นวิธีการประมาณการกระจายของคลื่นสำหรับคลื่นความยาวใดๆ และพื้นผิวที่ขรุขระ

$$\text{Rayleigh's criterion : } H \leq \lambda / (8\cos\theta) \quad (2.9)$$

เมื่อ H คือรากที่สองของความสูงของพื้นผิว λ คือค่าความยาวคลื่น และ θ คือค่ามุมตกกระทบ มุมมองและมุมสะท้อนจะมีค่าเท่ากันเมื่อพื้นผิวแบนราบ

มีความยาวคลื่นมีอิทธิพลต่อความลึกของสัญญาณที่ทะลุผ่านไปยังพื้นที่ที่ปกคลุมไปด้วยพืชพรรณหรือพื้นผิวด่างๆ ดังที่กล่าวไปแล้วนั้น Rayleigh Criterion เป็นฟังก์ชันของมุมตกกระทบ มุมมองของเรดาร์ที่มีค่าสูง (มุมกว้างมาก) จะทำให้พื้นผิวที่ปรากฏมีลักษณะค่อนข้างราบเรียบ ส่วนมุมตกกระทบที่กว้างมากๆนั้น คลื่นส่วนใหญ่หรือทั้งหมดจะสะท้อนออกไปจากเรดาร์ ในขณะที่มุมตกกระทบที่มีค่าน้อยๆจะสะท้อนคลื่นจำนวนมากไปยังจันรับสัญญาณ พื้นผิวที่ขรุขระให้ความเข้มของคลื่นที่สะท้อนกลับนั้นสูง มุมมอง (มุมก้ม?) มีบทบาทสำคัญต่อสภาพแวดล้อมของเขตเมือง ซึ่งมีอิทธิพลต่อ range resolution มุมมองที่มีขนาดเล็กจะให้ range resolution แย่เมื่อเทียบกับมุมมองที่มีขนาดกว้างกว่า ความละเอียดที่สูงขึ้นนั้นจะช่วยให้ตรวจพบชุมชนขนาดเล็ก และแบ่งแยกสิ่งปกคลุมดินที่มีขนาดเล็กได้ แต่อย่างไรก็ตาม มุมมองที่มีขนาดกว้างขึ้นจะทำให้เงาของเรดาร์มีมากขึ้น

เรดาร์สามารถที่จะส่งและรับ polarise wave ทั้งแนวนอน (horizontal-H) และ/หรือ แนวตั้ง (vertical_V) คลื่นที่กระจัดกระจายมาจากพื้นผิวใดๆขึ้นอยู่กับประเภทของ polarize เช่น สายไฟ โลหะที่พาดเป็นแนวนอนจะมีค่า HH (Horizontal out and Horizontal return) สูงกว่าค่า VV (Vertical out and Vertical return)

ค่าพารามิเตอร์ตัวอื่นที่มีอิทธิพลต่อความแรงของสัญญาณที่สะท้อนกลับมาคือ ค่าความเป็นฉนวนของวัตถุ (ϵ) ซึ่งค่านี้จะอธิบายถึงคุณลักษณะการกระจัดกระจายและการดูดซับสัญญาณของวัตถุ ค่าความเป็นฉนวนเป็นจำนวนเชิงซ้อน ซึ่งมีทั้งส่วนจริงและส่วนจินตภาพ ($\epsilon = \epsilon_r + i\epsilon_i$) ค่าความเป็นฉนวนของวัตถุส่งผลกระทบต่อความถี่ในการทะลุทะลวง โดยปกติแล้ววัตถุตามธรรมชาติจะมีค่าความเป็นฉนวนประมาณ 3 ถึง 8 ในขณะที่น้ำจะมีค่าประมาณ 80 ดังนั้นแม้ปริมาณน้ำในวัตถุมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ก็จะส่งผลต่อค่าความเป็นฉนวนของวัตถุอย่างมาก และรวมไปถึงคุณสมบัติการกระจัดกระจายด้วย ส่วนคอนกรีตเสริมเหล็กมีส่วนผสมของโลหะในปริมาณที่สูงจะสะท้อนคลื่นได้ในอัตราส่วนที่สูง ทำให้ความถี่ในการทะลุทะลวงมีค่าน้อย เมื่อเทียบกับหลังคาที่มุงด้วยกระเบื้อง ซึ่งมีส่วนประกอบของวัสดุที่มีค่าความเป็นฉนวนต่ำ ความถี่ในการทะลุทะลวงจึงมีมากกว่า

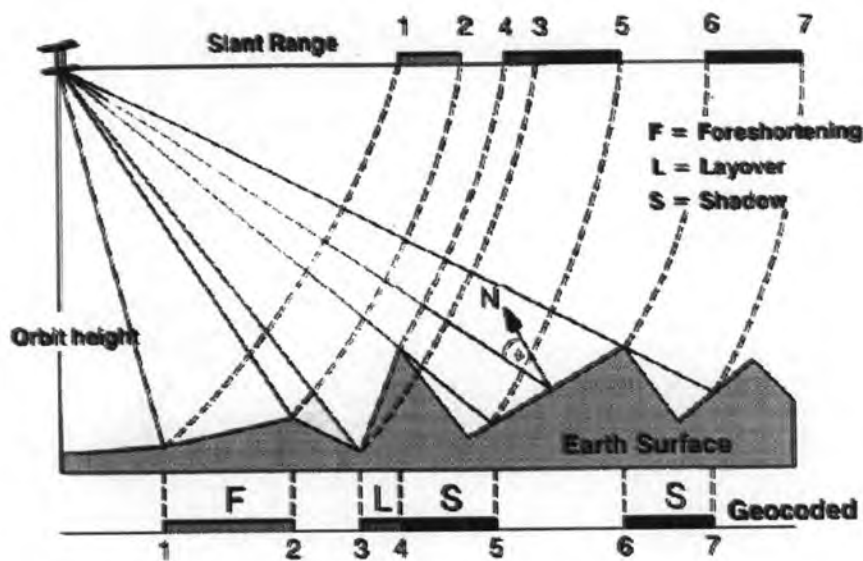
สัญญาณเรดาร์ที่สะท้อนกลับมาจากเขตพื้นที่เมืองนั้นขึ้นอยู่กับขนาด รูปร่างและความหนาแน่นของอาคารเป็นหลัก อาคารที่มีขนาดใหญ่จะสะท้อนสัญญาณได้ดีกว่าอาคารขนาดเล็ก รูปร่างก็เช่นเดียวกัน อาคารที่มีค้ำและมุมมากจะสะท้อนสัญญาณได้ดี อาคารที่มีความหนาแน่นสูงจะสะท้อนสัญญาณได้ดีกว่าเขตที่อาคารมีความหนาแน่นต่ำ

อีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญที่ส่งผลกระทบต่อการสะท้อนของสัญญาณเรดาร์ และทำให้การวิเคราะห์ภาพจากเรดาร์ทำได้ยากลำบาก คือการวางตัวของอาคารเมื่อเทียบกับมุมมองของเรดาร์ สันนิษฐานได้ว่าการวางตัวของอาคารจะขนานกับแนวถนน เมื่อแนวถนนตั้งฉากกับทิศทางการมองของเรดาร์ สัญญาณที่สะท้อนกลับมาจะแรงมาก ทั้งนี้ก็เพราะว่าเกิดการสะท้อนขึ้น 2 ระนาบจากผนังของอาคารซึ่งอยู่ในแนวตั้ง กับสภาพแวดล้อมที่อยู่ในแนวราบ และการสะท้อนจากหลังคาของอาคารไปยังเรดาร์ สัญญาณที่สะท้อนกลับไปจะแรงมาก เมื่อมุมตกกระทบของสัญญาณเรดาร์ตั้งฉากกับหลังคา คล้ายกับการสะท้อนกับกระจก สำหรับการดูดซับสัญญาณขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ทำหลังคา ทิศทางการวางตัวสัมพันธ์กับสัญญาณที่เข้ามา (incoming signal) และความยาวคลื่นของเรดาร์

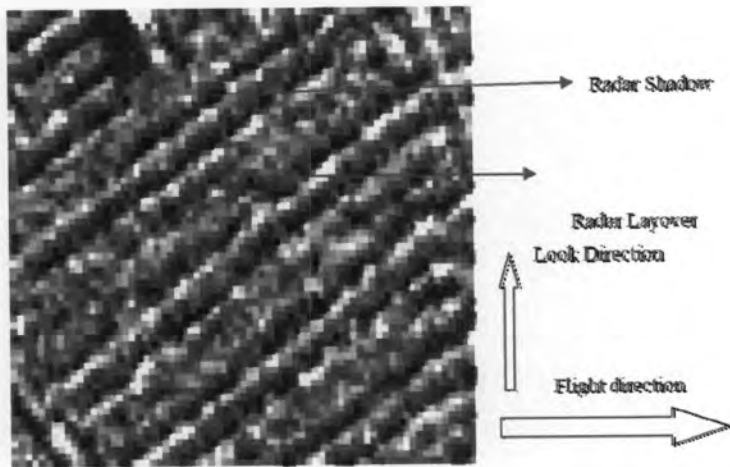
คลื่นที่จะสะท้อนกลับไปส่วนมากจะสัมพันธ์กับขนาดของวัตถุและความยาวคลื่น ในวัตถุที่มีขนาดประมาณความยาวคลื่นหรือใหญ่กว่า จะเห็นเป็นแสงสว่าง ส่วนวัตถุที่มีขนาดเล็กกว่าจะเห็นเป็นความมืด จุดภาพที่สว่างกว่าบนภาพเรดาร์จะเป็นบริเวณที่มีความขรุขระมากกว่า พื้นผิวที่แบน

ราบจะสะท้อนคลื่นไมโครเวฟน้อยมากหรือไม่สะท้อนเลย ซึ่งจะปรากฏเป็นสีดำในภาพ พืชพรรณ โดยทั่วไปแล้วค่อนข้างจะขรุขระสำหรับทุกช่วงความยาวคลื่น และจะปรากฏเป็นสีเทาหรือสีเทาอ่อน ในภาพ พื้นผิวที่เอียงเข้าหาเรดาร์จะสะท้อนสัญญาณได้ดีกว่า พื้นผิวที่หันหน้าออกจากเรดาร์ ซึ่ง จุดภาพจะสว่างกว่าบนภาพเรดาร์ เช่นเดียวกับด้านหลังภูเขาซึ่งเป็นเงา จะปรากฏเป็นสีดำบนภาพ ส่วนถนนในเมืองหรืออาคารที่อยู่ในแนวเดียวกับสัญญาณเรดาร์ปล่อยออกมา สัญญาณจะกระทบ ถนนแล้วไปกระทบอาคารแล้วสะท้อนกลับไปยังเรดาร์ ทำให้ภาพที่ได้มันสว่าง ดังที่กล่าวมาแล้วนั้น คือคุณสมบัติการสะท้อนของเรดาร์ตามอุดมคติและตามค่าของตัวแปรต่างๆ

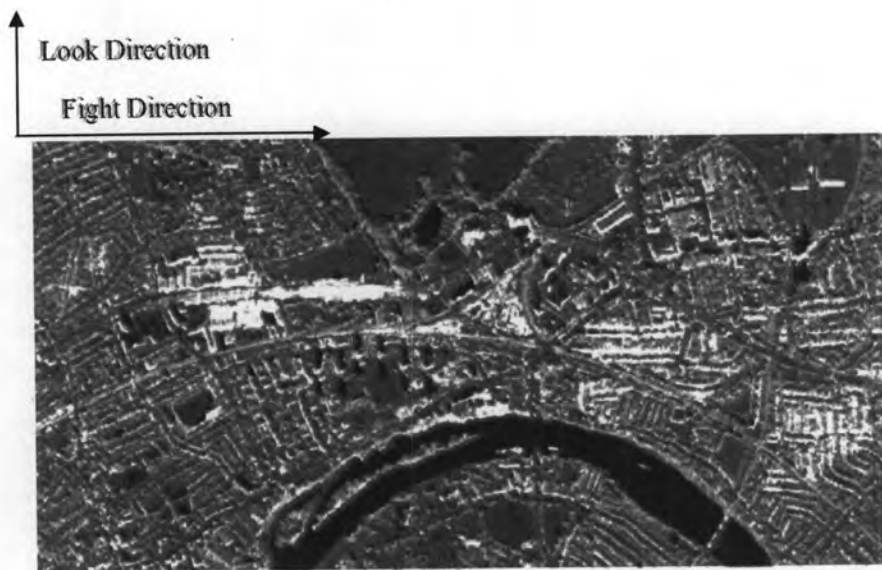
ปัจจัยที่มีผลต่อข้อมูลเรดาร์ในพื้นที่เขตเมืองเช่น Foreshortening, Radar Layover and Radar shadow, Coherent and Incoherent Effect, The specular point, The Cardinal Effect, Speckle เป็นต้น โดยแสดงได้ดังรูปที่ 2.11, 2.12, 2.13



รูปที่ 2.11 Foreshortening, Radar Layover and Radar shadow



รูปที่ 2.12 Foreshortening, Radar Layover and Radar shadow



รูป 2.13 จุดภาพที่สว่างเป็นผลมาจาก Coherent และ Incoherent effects

การวิจัยการทรุดตัวของพื้นดินโดยใช้ภาพ SAR เพื่อหา Interferogram ได้มีการวิจัยมาแล้วหลายครั้ง โดยในแต่ละครั้งได้ผลสรุปดังต่อไปนี้

Benedicte FRUNEAU ได้กล่าวไว้ใน Small displacements detected by SAR interferometry on the city of paris ว่า ความเป็นไปได้ของ SAR interferometry ในการตรวจสอบความผิดปกติของพื้นดินที่เปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ ในเขตพื้นที่เมืองในสภาพปกติสามารถทำได้ การวิจัยในครั้งนี้ได้เน้นไป

ที่เมืองปารีส ซึ่งใช้ข้อมูล interferograms จำนวน 10 ภาพ โดยใช้ภาพระหว่าง ปี 1993 ถึงปี 1996 และพบการทรุดตัวกระจายเป็นวงกว้าง 600 X 700 เมตร ซึ่งเป็นจุดที่อยู่เหนือการก่อสร้างสถานีรถไฟใต้ดิน การทรุดตัวนี้เกิดจากระดับแรงดันน้ำต่ำ ซึ่งเป็นผลมาจากการสูบน้ำบาดาล

Jirathana Worawattanamatekul ได้กล่าวไว้ใน Urban Deformation monitoring in Bangkok metropolitan (Thailand) using permanent scatterer and differential interferometry techniques ว่า ในการศึกษาการทรุดตัวของกรุงเทพมหานคร โดยใช้เทคนิคของ Differential SAR interferometry (DInSAR) และ Permanent Scatterer พบว่าวิธีที่ใช้สามารถตรวจพบการทรุดตัว โดยกรุงเทพมหานครมีอัตราการทรุดตัวโดยเฉลี่ย 6-8 มิลลิเมตรต่อปี โดยมีอัตราการทรุดตัวสูงสุดถึง 24.4 มิลลิเมตร

Feurer Denis ได้ทำการศึกษาเรื่อง Detection of the subsidence affecting a shopping center in Marseilles (France) using SAR interferometry กล่าวว่า เทคนิค SAR INTERFEROMETRY สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับพื้นที่ต่างๆอย่าง the Grand Littoral shopping centre ในเมือง Marseilles ประเทศฝรั่งเศส ซึ่งได้เริ่มถูกปิดที่ละส่วนตั้งแต่ ปี 1997-1999 เนื่องมาจากการทรุดตัวของพื้นที่ โดยวิจัยจากภาพจากดาวเทียม ERS1 44 ภาพ ตั้งแต่ปี 1992-2000 ได้ถูกนำมาสร้างเป็น differential interferograms จำนวน 105 Interferogram จากการศึกษาในครั้งนี้ทำให้พบว่า InSAR แบบดั้งเดิมสามารถใช้เป็นข้อมูลที่บ่งบอกเกี่ยวกับการผิปกดของพื้นดินในพื้นที่เฉพาะหรือที่เล็กๆได้

Teresa A. Cunha และ Francesco Sarti ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับเรื่อง SAR Interferometry as a tool for the detection of active tectonic regions : preliminary results on the ALGARVE region of the south PORTUGAL ได้ผลการวิจัยดังนี้ SAR interferometry ได้ถูกนำมาวิจัยในเขต Algarve ทางใต้ประเทศโปรตุเกส ซึ่งเป็นเขตที่มีการเคลื่อนไหวของเปลือกโลก ซึ่งยืนยันได้จากการเกิดแผ่นดินไหว การวิจัยครั้งนี้การนำมาข้อมูลมาจากดาวเทียม ERS1 and ERS2 ซึ่งตรวจสอบไปตามแนวรอยเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้นใหม่ โดยใช้ภาพของดาวเทียมย้อนขึ้นไป 5 ปี เพื่อจะดูการเกิดรอยเคลื่อนที่ได้เกิดขึ้นอย่างซ้ำๆ การวิจัยครั้งนี้ใช้ข้อมูลทั้งข้างขึ้นและข้างลงของดาวเทียมในช่วงระยะเวลา 2 ปี 3 ปี และ 5 ปี และพบว่ามีการเคลื่อนตัวในแนวตั้ง 0.5-0.6 ซม. ต่อปี นอกจากนี้มีการใช้ความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนระหว่าง interferogram ซึ่งก็สามารถตีความได้ว่ามีอัตราการเคลื่อนตัวที่เหมือนกัน สรุปแล้ว การใช้ SAR interferometry และความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนระหว่าง interferogram สามารถแสดงให้เห็นว่าในเขต Algarve มีโครงสร้างบางอย่างที่ขนานไปกับรอยเคลื่อนที่ของเปลือกโลก ซึ่งสัมพันธ์กับบริเวณพื้นที่ที่มีแผ่นดินไหว