บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 ดาวเทียม

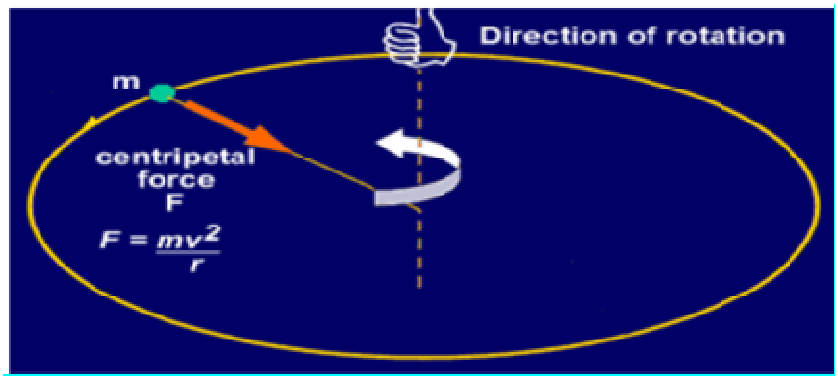
ดาวเทียม คือ ห้องทดลองที่นักวิทยาศาสตร์บรรจุอุปกรณ์ต่างๆ เอาไว้แล้วส่งขึ้นไปโคจรรอบโลกเพื่อประโยชน์ในด้านต่างๆ มีขนาดและรูปร่างแตกต่างกันแล้วแต่ความมุ่งหมายของแต่ละโครงการดาวเทียมอาจมีรูปร่างเป็นทรงกลม รูปกลองหรือหีบก็ได้ และไม่จำเป็นต้องมีรูปร่างเพรียวลมเหมือนยวดยานต่างๆ ที่เราใช้อยู่บนโลก เพราะในอวกาศไม่มีอากาศที่จะมาปะทะเป็นแรงต้านทาน ขนาดของดาวเทียมบางดวงมีขนาดเล็กมาก มีเส้นผ่าศูนย์กลางเพียง 2-3 นิ้ว หรือ 2-3 ฟุต แต่บางดวงอาจใหญ่โตจนมีเส้นผ่าศูนย์กลางเป็นร้อยๆ ฟุต เช่น ดาวเทียมเอกโก (Echo) เป็นต้น ดาวเทียมที่ถูกส่งออกไปสู่อวกาศ อาจมีระยะเวลาในการโคจรรอบโลกเป็นเวลานานมากน้อยต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดและระยะห่างของวงทางโคจร ถ้าเข้ามาใกล้โลกมากๆ จะเกิดแรงต้านทานทำให้ความเร็วของดาวเทียมลดลง เมื่อมีความเร็วน้อยกว่าที่กำหนด ดาวเทียมก็จะตกลงสู่โลกและถูกเผาไหม้ในบรรยากาศของโลก โดยทั่วไปดาวเทียมที่มีขนาดใหญ่และมีวงโคจรต่ำการสลายตัวไปจะเร็วกว่าดาวเทียมที่มีขนาดเล็กแต่มีวงโคจรสูง เช่น ดาวเทียมแวนการ์ด หมายเลข 1 (Vanguard 1) โดย อาร์เธอร์ ซี.คลาร์ก ได้เสนอแนวความคิดในการติดต่อสื่อสารรอบโลก โดยใช้สถานีถ่ายทอดสัญญาณในอวกาศที่ความสูงระยะประมาณ 42,000 กิโลเมตร จากจุดศูนย์กลางโลก โดยมีความเร็วเท่ากับความเร็วที่โลกหมุนรอบตัวเอง 1 รอบ และใช้เพียง 3 สถานีก็จะครอบคลุมพื้นที่รอบโลกทั้งหมด ซึ่งตรงกับหลักการของดาวเทียมวงโคจรค้างฟ้า (GEO Stationary Orbit) ในเวลาต่อมา

2.1.1 หลักการส่งดาวเทียม

การที่จะส่งดาวเทียมขึ้นไปได้จะต้องมีความเร็วที่พอเหมาะ คือ ความเร็ว 5 ไมล์ต่อวินาที หรือ 18,000 ไมล์ต่อชั่วโมง วัตถุก็จะเคลื่อนที่เป็นวงกลม และวัตถุจะไม่มีโอกาสตกถึงพื้นดินอีกเลย และจะเคลื่อนที่อยู่ในความสูงประมาณ 200-300 กิโลเมตร หรือ 124-186 ไมล์ จากพื้นผิวโลก ถ้าวัตถุเริ่มเคลื่อนที่มีความเร็วมากกว่า 5 ไมล์ต่อวินาที จะได้วงโคจรแบบวงรีซึ่งใช้สำหรับส่งยานอวกาศไปสำรวจดวงจันทร์ ถ้าหากมีความเร็วต้นเพิ่มขึ้นถึง 7 ไมล์ต่อวินาทีจะได้วง

โคจรที่เรียกว่า พาราโบลา ถ้ามีความเร็วมากกว่า 7 ไมล์ต่อวินาที วงโคจรจะเป็นแบบ ไฮเพอร์โบลา ความเร็ว 7 ไมล์ต่อวินาทีที่ทำให้วัตถุหลุดออกไปจากโลก เรียกว่า ความเร็วหลุดพ้น

ดาวเทียมโคจรรอบโลกได้เพราะมีแรง 2 แรงที่สมดุลกันพอดี คือ ในขณะที่ดาวเทียมเคลื่อนที่เป็นทางโค้ง จะมีแรงสู่ศูนย์กลาง (Centripetal force) และแรงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal force) เกิดขึ้น

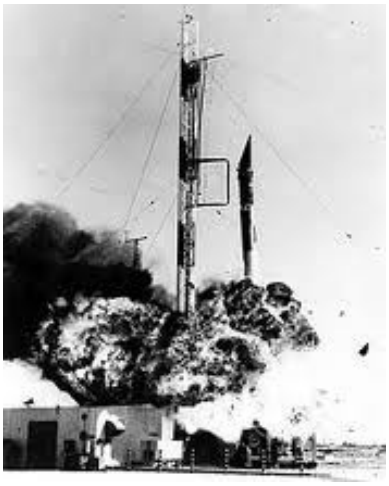


รูปที่ 2.1 ดาวเทียมโคจรรอบโลก [1]

ในการนำดาวเทียมขึ้นไปโคจรรอบโลกนั้น มีหลักอยู่ 2 ประการ คือ

1). จรวดที่ใช้ดันขึ้นจะต้องนำเอาดาวเทียมไปถึงความสูงที่ต้องการ ถ้าจะส่งดาวเทียมให้มีวงทางโคจรเกือบจะเป็นวงกลม จรวดจะต้องนอนราบขนานกับพื้นโลกถ้าจะให้วงทางโคจรเป็นรูปวงรีมากๆ จรวดจะต้องตั้งฉากกับผิวโลก ดังรูปที่ 2.2

2). ความเร็วของดาวเทียมขณะถูกปล่อยออกจากจรวดท่อนสุดท้ายต้องพอกับระดับความสูงความเร็วของดาวเทียมจะต้องถูกต้องตามที่ต้องการพอดี

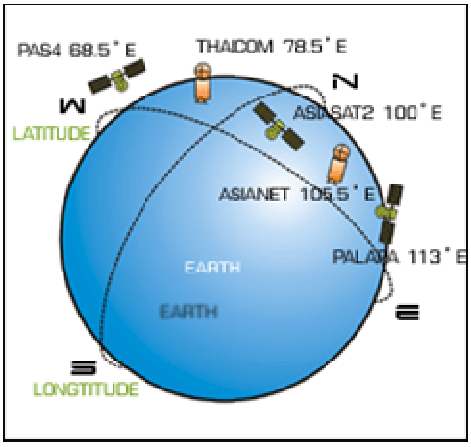


รูปที่ 2.2 การนำดาวเทียมขึ้นไปโคจรรอบโลก [1]

2.1.2 วิถีโคจรแบบต่างๆ ของดาวเทียม

2.1.2.1 วิถีโคจรแบบวงกลม ใช้ส่งดาวเทียมขึ้นไปโคจรรอบโลกในระยะที่ไม่ห่างออกไปมากนัก แต่จะให้วิถีโคจรเป็นรูปวงกลมจริงๆ นั้นทำได้ยาก เพราะ โลกไม่ได้เป็นทรงกลมเลยทีเดียว ตรงขั้วเหนือและใต้จะแบนและป่องตรงเส้นศูนย์สูตร ดังรูปที่ 2.3

2.1.2.2 วิถีโคจรแบบวงรี ใช้สำหรับส่งดาวเทียมขึ้นไปโคจรในระยะสูง ซึ่งวิถีโคจรนี้นักคณิตศาสตร์และดาราศาสตร์ชาวเยอรมัน ชื่อ โจฮันส์ เคปเลอร์ ได้ค้นพบกฎซึ่งควบคุมการเคลื่อนที่ของดาวเคราะห์ เรียกว่า กฎการเคลื่อนที่ของดาวเคราะห์เคปเลอร์ (Kepler’s Laws of Planetary Motion) ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 วิถีโคจรแบบต่างๆ ของดาวเทียม [2]

การส่งดาวเทียมที่โคจรเป็นรูปวงรีนั้นจะมีตำแหน่งที่ดาวเทียมเข้าใกล้โลกมากที่สุดเรียกว่า เพอริจี (Perigee) และมีตำแหน่งที่ดาวเทียมอยู่ห่างจากโลกมากที่สุดเรียกว่า อะโพจี (Apogee) ทำให้การเคลื่อนที่ตามทางวงโคจรเปลี่ยนแปลงไป

วิถีโคจรแบบวงรีนี้ใช้เมื่อนักวิทยาศาสตร์ต้องการเรียนรู้สิ่งต่างๆ ที่อยู่ห่างออกไปมากๆ เช่น วิถีโคจรของยานอวกาศเอ๊กซ์ปลอเรอร์ที่ 6 (Explorer VI) ซึ่งถูกส่งขึ้นไปวัดการแผ่รังสีความร้อนของดวงอาทิตย์ (Radiation) ในอวกาศ มีตำแหน่งเพอริจีห่างจากโลก 156 ไมล์ ส่วนตำแหน่งอะโพจี ห่างออกไปจากโลก 26,300 ไมล์ ความเร็วของยานอวกาศขณะที่เข้าใกล้ตำแหน่งเพอริจีคือ 23,031 ไมล์ต่อชั่วโมงแต่เมื่อเข้าใกล้ตำแหน่งอะโพจีความเร็วจะเหลือเพียง 3,126 ไมล์ต่อชั่วโมง

2.1.2.3 วิถีโคจรที่เข้าจังหวะกับโลกหรือวิถีโคจรที่อยู่กับที่ (Synchronous หรือ Stationary Orbit) ซึ่งดาวเทียมจะอยู่ห่างจากโลก 22,300 ไมล์ ดาวเทียมจะต้องใช้เวลา 24 ชั่วโมง เพื่อเดินทางรอบโลก ซึ่งเท่ากับเวลาที่โลกหมุนรอบตัวเอง 1 รอบ ซึ่งวิถีโคจรแบบนี้ใช้กับดาวเทียมซินคอม (Syncom) ซึ่งเป็นดาวเทียมที่บรรจุเครื่องมือสื่อสาร ในการส่งขึ้นไปจะใช้จรวดเดลต้ายิงดาวเทียมให้อยู่ในวิถีโคจรรูปวงรีก่อน ตำแหน่งเพอริจีอยู่ห่างจากโลก 100 ไมล์ และตำแหน่งอะโพจีอยู่ห่างจากโลก 22,300 ไมล์ ขณะนั้นดาวเทียมมีความเร็วเพียง 3,275 ไมล์ต่อชั่วโมงหลังจากนั้นมอเตอร์เล็กๆ ซึ่งใช้เชื้อเพลิงแข็งจะเริ่มต้นทำงานเพิ่มความเร็วของดาวเทียมขึ้น

เป็น 6,870 ไมล์ต่อชั่วโมง ดาวเทียมซินคอมก็จะมีวิถีโคจรใหม่ตามต้องการ การผลักดันครั้งสุดท้ายเรียกว่าอะโพจีคิค (Apogee Kick)

2.1.2.4 วิถีโคจรข้ามขั้วโลก (Polar Orbit) วิถีโคจรแบบนี้ดาวเทียมจะถูกส่งไปทางทิศเหนือหรือใต้ ทำให้วิถีโคจรของดาวเทียมข้ามทั้งขั้วโลกเหนือและขั้วโลกใต้ ซึ่งจะสามารถมองเห็นโลกทั้งโลกได้ภายในเวลา 1 วัน

2.1.3 ดาวเทียมแบ่งเป็นประเภทใหญ่ๆ ได้ 5 ประเภท ดังนี้

2.1.3.1 ดาวเทียมระหว่างประเทศ (International Communication Satellite) เป็นดาวเทียมที่ใช้ในกิจการโทรคมนาคมระหว่างประเทศ เช่น ดาวเทียม INTELSAT

2.1.3.2 ดาวเทียมภายในประเทศหรือภูมิภาค (Domestic and regional Satellite) เป็นดาวเทียมที่ใช้ภายในแต่ละประเทศหรือภายในกลุ่มประเทศใกล้เคียงในภูมิภาคเดียวกัน เช่น ดาวเทียม PALAPA ของอินโดนีเซีย, ASIASAT ของฮ่องกง, THAICOM ของไทย เป็นต้น

2.1.3.3 ดาวเทียมทางทหาร (Military Communication Satellite) เป็นดาวเทียมเพื่อใช้ในทางทหารโดยเฉพาะปกติใช้ย่านความถี่ X - band (8/7 GHz) เช่น ดาวเทียม DSCS (Defense Satellite Communication System) ของสหรัฐอเมริกาที่ใช้ในการสื่อสารทางทหารทั่วโลก เป็นต้น

2.1.3.4 ดาวเทียมสำหรับการส่งโทรทัศน์และความมุ่งหมายพิเศษ (Broadcast and Special purpose satellite) เป็นดาวเทียมที่ออกแบบมาใช้ทั้งภายในประเทศและภูมิภาค เพื่อส่งสัญญาณโทรทัศน์กำลังสูงมายังจานสายอากาศรับสัญญาณขนาดเล็กของผู้ชมจำนวนมาก นิยมใช้ย่านความถี่ KU - band ส่วนดาวเทียมที่ใช้ในความมุ่งหมายพิเศษ เช่น MARISAT หรือ INMARSAT ในปัจจุบันใช้ในการนำทาง (Navigation) ติดต่อกับยานพาหนะเคลื่อนที่ทางบก ทางเรือ และทางเครื่องบิน ดาวเทียม NAVSTAR GPS เพื่อกำหนดตำแหน่ง

2.1.3.5 ดาวเทียมเพื่อการทดลอง (Experimental Satellite) เป็นดาวเทียมที่ใช้ในการทดลองต่างๆ

2.1.4 องค์ประกอบระบบสื่อสารดาวเทียม (Satellite System)

ในระบบการสื่อสารดาวเทียมจะมีองค์ประกอบหลัก 3 ส่วน คือ ดาวเทียมอยู่ในอวกาศ, ระบบควบคุมและสั่งการ และสถานีดาวเทียมภาคพื้นดิน โดยมีการทำงานง่ายๆ ดังนี้ สถานีภาคพื้นดินจะส่งสัญญาณขาขึ้น (Uplink) กำลังส่งสูงผ่านจานสายอากาศไปยังจานสายอากาศไปยังจานสายอากาศและเครื่องบนดาวเทียม ทำการขยายสัญญาณ แปลงความถี่ แล้วขยายให้กำลังสูงส่งผ่านจานสายอากาศเป็นสัญญาณขาลง (Downlink) มายังจานสายอากาศรับสถานีภาคพื้นดิน สถานีรับจะทำการขยายสัญญาณแล้วดำเนินกรรมวิธีนำข้อมูลต่างๆ ไปใช้งาน

2.1.5 ดาวเทียมแบ่งตามความสูงของวงโคจร ได้ 3 แบบ

2.1.5.1 วงโคจรแบบค้างฟ้า (Geostationary Orbit) หรือ GEO วงโคจรประเภทนี้ดาวเทียมจะลอยอยู่เหนือเส้นศูนย์สูตร ห่างจากพื้นผิวโลกประมาณ 35,786 กิโลเมตร มีรอบวงโคจรประมาณ 24 ชั่วโมงต่อรอบ ทำให้เสมือนลอยนิ่งอยู่เหนือพื้นเส้นศูนย์ ณ จุดใดจุดหนึ่ง ประมาณ 90% ของดาวเทียมสื่อสารจะใช้วงโคจรแบบนี้ เช่น ดาวเทียมไทยคม ดาวเทียมอินเทลเซท (Intelsat) เป็นต้นตำแหน่ง - ดาวเทียมค้างฟ้าเสมือนลอยอยู่นิ่งเหนือเส้นศูนย์สูตรตลอดเวลา การบอกตำแหน่งของดาวเทียมจึงบอกด้วยตำแหน่งของ Longitude ที่ดาวเทียมตั้งอยู่ เช่น ดาวเทียมไทยคม 1A อยู่ที่ตำแหน่ง 120ºE ดาวเทียมไทยคม 2 78.5ºE ดาวเทียม INTELSAT 7 มี 6 ดวง อยู่ที่ตำแหน่ง 177ºW, 174ºW, 53ºW, 35.5ºW, 16ºW, 1ºW ตามลำดับ เป็นต้น ตำแหน่งของดาวเทียม GEO แต่ละดวงจะไม่เหมือนกันยกเว้นดวงที่เป็นดาวเทียมสำรอง และตามข้อบังคับระหว่างประเทศดาวเทียมแต่ละดวงจะต้องอยู่ห่างกันไม่น้อยกว่า 2 องศา เนื่องจากดาวเทียม GEO อยู่ไกลจากพื้นผิวโลกและดังนั้นไกลจากสถานีภาคพื้นมาก ถ้าคำนวณคร่าวๆ ระยะห่างเท่ากับ 36,000 km สัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเท่าแสงคือ 3×108 m/s ดังนั้นสัญญาณจะ ใช้เวลาในการเดินทางไปและกลับจากดาวเทียม (1 hop) ประมาณ 240 ms (millisecond) ซึ่งค่อนข้างช้ามากในแง่การสื่อสารและเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิด echo นอกจากดาวเทียมจะเคลื่อนที่ตามวงโคจรแล้ว ดาวเทียมยังเคลื่อนที่ เป็นรูปเกลียวในแนววงโคจรของมันเองอีกด้วย เนื่องจากแรงดึงดูดที่ไม่แน่นอนของโลก และแรงดึงดูดจากดวงจันทร์และดวงอาทิตย์ โดยผู้ควบคุมดาวเทียมจะควบคุมให้ดาวเทียมอยู่ใน ‘Window’ ขนาด ±0.1º จากจุดกึ่งกลางของตำแหน่งดาวเทียมที่ต้องการ

2.1.5.2 วงโคจรระดับกลาง (Medium Earth Orbit) หรือ MEO ดาวเทียมจะโคจรตามแนวเส้นศูนย์สูตรหรือโคจรทำมุมกับเส้นศูนย์สูตรที่ความสูงประมาณ 10,000 กิโลเมตร เช่น กลุ่มดาวเทียม ICO

2.1.5.3 วงโคจรระดับต่ำ (Low Earth Orbit) หรือ LEO ดาวเทียมจะโคจรทำมุมกับเส้นศูนย์สูตรประมาณ 60°- 89° ที่ความสูงประมาณ 1,000 กิโลเมตร เช่น กลุ่มดาวเทียม ณ Iridium ดาวเทียมตรวจอากาศ ดาวเทียมถ่ายภาพ เป็นต้น

2.1.6 ITU (International Telecommunication Union) ได้กำหนดรูปแบบการให้บริการดาวเทียมเป็น 2 แบบ ได้แก่

2.1.6.1 ดาวเทียมสำหรับผู้ใช้บริการประจำที่ (Fixed Satellite Service: FSS) ได้แก่ สถานีภาคพื้นดินที่จานดาวเทียมติดตั้งประจำที่ สามารถพบเห็นได้ในกิจการทั่วไป ดาวเทียมหลักที่ให้บริการแบบนี้ เช่น Intelsat, Eutelsat, Thaicom เป็นต้น

2.1.6.2 ดาวเทียมสำหรับผู้ใช้บริการเคลื่อนที่ (Mobile Satellite Service: MSS) ได้แก่ดาวเทียมที่ใช้สถานีดาวเทียมภาคพื้นดินติดตั้งอยู่บนยานพาหนะบนบก เรียกดาวเทียม LMS (Land Mobile Satellite), ติดตั้งอยู่บนเครื่องบินเรียกดาวเทียม AMS (Airborne Mobile Satellite) หรือติดตั้งบนเรือดาวเทียมที่ให้บริการแบบนี้เช่น Inmarsat เป็นต้น

2.1.7 ความถี่ที่ใช้ในการสื่อสารผ่านดาวเทียม

ปัจจัยในการเลือกใช้ความถี่สำหรับการสื่อสารผ่านดาวเทียมประกอบด้วย การลดทอนเมื่อผ่านละอองไอน้ำ การขยายสัญญาณขีดความสามารถในการรองรับช่องสื่อสารสัญญาณที่ส่งไปหาดาวเทียมเรียกว่า Up-link สัญญาณจากดาวเทียมลงมายังพื้นผิวโลกเรียกว่าDownlink ความถี่ของ Up-link จะมากกว่า Downlink

2.1.7.1 ความถี่ย่าน VHF จานสายอากาศมีขนาดเล็ก สภาพอากาศไม่มีผลต่อการสื่อสาร แต่รองรับช่องสื่อสารได้น้อยมาก ใช้ในการควบคุมดาวเทียม ดาวเทียม ทดลองและดาวเทียมสมัครเล่น

2.1.7.2 ความถี่ย่าน L-Band ช่วงความถี่ประมาณ 2/1 GHz จานสายอากาศมีขนาดเล็ก ใช้สำหรับสถานีรับ-ส่งสัญญาณเคลื่อนที่ รับส่งสัญญาณได้ระดับ 10 kbps ประมาณ 10 กว่าช่องสัญญาณ

2.1.7.3 ความถี่ย่าน C-Band – Up-link 5.850-6.425 GHz, Down-link 3.625-4.2 GHz เป็นย่านความถี่ที่ใช้มากที่สุดในปัจจุบัน สำหรับสถานีรับ-ส่งสัญญาณแบบประจำที่ สภาพอากาศมีผลต่อสัญญาณบ้าง สามารถรองรับช่องสื่อสารได้ถึงระดับ 50 Mbps

2.1.7.4 ความถี่ย่าน X-band - Up-link 7.90-8.40 GHz, Down-link 7.25-7.75 GHz สำหรับกิจการด้านทหารและรัฐบาลโดยเฉพาะ สภาพอากาศมีผลต่อสัญญาณบ้างเล็กน้อย สามารถรองรับช่องสื่อสารได้ในระดับ 50 Mbps สำหรับสถานีประจำที่

2.1.7.5 ความถี่ย่าน Ku-Band – Up-link 14.0-14.5 GHz, Down-link 10.95-12.75 GHz เริ่มมีการใช้มากในปัจจุบันและใช้เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ดาวเทียมสื่อสารรุ่นใหม่ทุกดวงจะมีย่าน Ku-band สภาพอากาศมีผลต่อสัญญาณมากต้องมีอุปกรณ์ปรับกำลังขยายของสัญญาณเพื่อรักษาคุณภาพของสัญญาณ สามารถรองรับช่องสื่อสารได้ในระดับ 100 Mbps เหมาะสำหรับการส่งสัญญาณแบบ broadcast

2.1.7.6 ความถี่ย่าน Ka-Band – ย่านความถี่ 30/20 GHz อยู่ในระหว่างการทดลองใช้งาน สภาพอากาศมีผลต่อคุณภาพของสัญญาณมาก เหมาะสำหรับการรับ-ส่งสัญญาณระหว่างดาวเทียม สามารถรองรับระดับสัญญาณได้เป็น 100 Mbps คาดว่าจะเริ่มใช้งานได้ในอีกประมาณ 5 ปี ซึ่งปัญหาที่พบเกี่ยวกับวงโคจรดาวเทียมนั้นเกิดจาก ในปัจจุบันมีดาวเทียมเป็นจำนวนมากในอวกาศ ทำให้ ตำแหน่งอาจทับซ้อนกันโดยเฉพาะดาวเทียมวงโคจรค้างฟ้า ดังนั้น ITU จึงกำหนดให้ดาวเทียมประเภทนี้มีตำแหน่งในวงโคจรให้ห่างกันอย่างน้อย 2 องศา เพื่อไม่ให้สัญญาณรบกวนกัน สำหรับประเทศไทยได้ถูกกำหนดให้อยู่ใกล้กับจีนนอกจากนี้ ITU ได้จัดสรรและควบคุมการใช้ความถี่ในกิจการต่างๆ ทั้งในประเทศ และระหว่างประเทศ เพื่อไม่ให้เกิดการซับซ้อนและรบกวนกัน ความถี่ที่ใช้กับดาวเทียมจะใช้หลักการเรียกชื่อคล้ายกับที่ใช้ในเรดาร์และไมโครเวฟ แต่ความถี่ใช้งานอาจแตกต่างกันบ้างตามภารกิจและวิธีการใช้ความถี่ เช่น L-band, C-band, Ku-band, X-band, Ka –band เป็นต้น ความถี่ที่นิยมใช้กันมากคือย่าน C-band สัญญาณย่านขาขึ้น (Uplink) ใช้ย่านความถี่ 6 GHz และสัญญาณขาลง (Downlink) ใช้ย่านความถี่ 4 GHz จึงนิยมเรียกว่า 6/4 GHz ความถี่ C-band นี้อาจรบกวนกับการสื่อสารผ่านคลื่นไมโครเวฟบนภาคพื้นดินได้

ง่ายอีกความถี่ที่ใช้งานมากคือ Ku-band ใช้ความถี่ขาขึ้น 12-14 GHz และความถี่ขาลง 11–12 GHz โดยประมาณซึ่งนิยมใช้ในกิจการส่งสัญญาณโทรทัศน์โดยตรง (Direct Broadcast System: DBS) แต่มีข้อเสียหลักคือ สัญญาณจะถูกลดทอนกำลังจากเม็ดฝนค่อนข้างมาก ความถี่ย่าน X–band (8/7 GHz) ใช้ในกิจการทหารส่วนความถี่ย่าน Ka-band (40/20 GHz) มีแนวโน้มจะนำมาใช้มากในอนาคตเพื่อแก้ปัญหาความแออัดของความถี่ใช้งาน เช่น โครงการ IP-Star ของบริษัท ไทยคม สำหรับความกว้างของแถบความถี่ (Bandwidth) การใช้งานปกติ C-band กว้าง 500 MHz โดยทั่วไปแบ่งได้ 12 ช่อง ดาวเทียม (Transponder) กว้างช่องละ 40 MHz ซึ่งเพียงพอในการส่งสัญญาณโทรทัศน์ได้ 1 ช่อง หรือส่งสัญญาณเสียงอนาล็อกได้ 1500 ช่องการสื่อสาร หรือสัญญาณโทรทัศน์ข้อมูลขนาด 10 – 50 เมกะบิต (Megabit) ได้ ความกว้างของแบนด์อาจกว้างขึ้นได้ถึง 1 GHz หรือ 2 GHz เช่น ในย่านความถี่ EHF (Ka-band) ที่จะนำมาใช้ในอนาคต

ตารางที่ 2.1 การจำแนกย่านความถี่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ชื่อย่านความความถี่	ความถี่
HF	3-30 MHz
VHF	30-300 MHz
UHF	300-1000 MHz
L Band	1-2 GHz
S Band	2-4 GHz
C Band	4-8 GHz
X Band	8-12 GHz
Ku Band	12-18 GHz
K Band	18-26 GHz
Ka Band	26-40 GHz

โดยทั่วไปดาวเทียมแต่ละดวงจะถูกจำกัดด้วยความกว้างของความถี่ใช้งาน (Bandwidth) เช่น ย่านความถี่ C-band ซึ่งกว้าง 500 MHz แบ่งได้ 12 ทรานสพอนเดอร์ (Transponder) ขนาดกว้าง 400 MHz

2.1.8 ความถี่ซ้ำ (Frequency Re-use) ซึ่งมีเทคนิคหลักๆ อยู่ 2 วิธี ต่อไปนี้

2.1.8.1 ใช้เทคนิค Spatial Isolation คือ การใช้จานสายอากาศเป็นตัวแยกลำคลื่น (Beam) ให้ครอบคลุมพื้นที่ต่างกัน เช่น ถ้าปกคลุมครึ่งโลก เรียก Hemispheric beam, ครอบคลุมเฉพาะย่านหรือภูมิภาค เรียก Zone beam หรือครอบคลุมเป็นจุดเฉพาะแห่ง เรียก Spot beam เป็นต้น สถานีภาคพื้นดินที่อยู่ในพื้นที่ครอบคลุมของสัญญาณคนละลำคลื่นไม่มีการเหลื่อมกัน จะสามารถติดต่อได้พร้อมกันโดยไม่มีการรบกวนกัน

2.1.8.2 ใช้เทคนิคแยกขั้วสัญญาณการแพร่กระจายคลื่น (Polarization) ซึ่งปกติจะแยกเป็นการแพร่กระจายคลื่นในแนวนอน (Horizontal Polarization) การแพร่กระจายคลื่นในแนวตั้ง (Vertical Polarization) หรือ การแพร่กระจายคลื่นเป็นวงกลม (Circular Polarization) ซึ่งอาจแยกเป็นวงกลมเวียนขวา (Right-hand Circular Polarization: RHCP) หรือเวียนซ้าย (Left-hand Circular Polarization: LHCP) สถานีที่ใช้ขั้วการแพร่กระจายคลื่นต่างกัน แม้จะใช้ความถี่เดียวกันก็จะไม่รบกวนกัน เช่นในดาวเทียม INTELSAT 6 จะมีการใช้ความซ้ำ 6 ค่า

2.1.9 ดาวเทียม (Satellite) ดาวเทียมมีส่วนประกอบที่สำคัญ

คือ ระบบควบคุมตำแหน่งและวงโคจร ระบบตรวจจับและสั่งการดาวเทียม (TT&C) ระบบจ่ายกำลังไฟฟ้า ระบบสื่อสารของดาวเทียม และระบบสายอากาศดาวเทียม

2.1.9.1 ระบบควบคุมตำแน่งและวงโคจรดาวเทียม ปกติจะประกอบด้วยมอเตอร์จรวดที่คอยทำหน้าที่ปรับเปลี่ยนวงโคจรดาวเทียม ให้อยู่ในวงโคจรถูกต้องเมื่อเกิดการคลาดเคลื่อน (Beam) มายังตำแหน่งบนพื้นโลกอย่างถูกต้อง ระบบการควบคุมตำแหน่งอาจใช้ตัวดาวเทียมหมุน ที่เรียกว่า Spinners หรือ ใช้ Momentum wheels ช่วย วิธีหลังนี้นิยมใช้ในปัจจุบัน เพราะทำให้ลดขนาดแผงโซล่าเซลล์ลงได้ถึง 1/3 เท่า ส่วนระบบควบคุมวงโคจรนั้นเราใช้ Gas Jet ควบคุมวงโคจรให้อยู่ในระนาบเส้นศูนย์สูตร

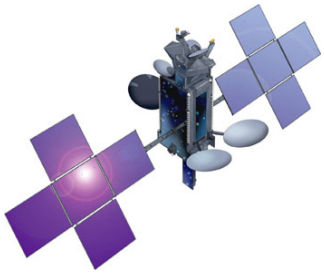
2.1.9.2 ระบบตรวจจับและสั่งการดาวเทียม (Telemetry, Tracking and Command: TT&C) ระบบนี้มีทั้งส่วนที่อยู่บนดาวเทียมและบนพื้นดินทำงานสัมพันธ์กัน โดย Telemetry จะส่งข้อมูลได้จากการตรวจจับ (Sensor) สัญญาณควบคุมต่างๆ บนดาวเทียม แล้วส่งกลับมายังสถานีภาคพื้นดิน ระบบ Tracking บนภาคพื้นดินจะติดตามดาวเทียมและรับสัญญาณจากระบบ Telemetry ส่งให้ระบบ Command นำเอาสัญญาณไปประมวลในระบบคอมพิวเตอร์

เป็นสัญญาณสั่งการส่งไปยังดาวเทียม เพื่อปรับแก้ตำแหน่งวงโคจรและระบบควบคุมต่างๆ ในตัวดาวเทียมให้ถูกต้อง

2.1.9.3 ระบบจ่ายกำลังไฟฟ้า ดาวเทียมทุกแบบได้รับพลังงานมาจากแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Cells) เพื่อนำไปใช้ในระบบสื่อสารของดาวเทียมโดยเฉพาะภาคส่ง พลังงานที่เหลือจะนำไปใช้ในส่วนอื่นๆ ซึ่งเรียกว่า Housekeeping เพื่อสนับสนุนดาวเทียมให้ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ

2.1.9.4 ระบบสื่อสารดาวเทียม เป็นส่วนประกอบหลักของดาวเทียมสื่อสาร ระบบอื่นเป็นเพียงส่วนสนับสนุนระบบนี้จะประกอบด้วยจานสายอากาศที่คอบรับส่งสัญญาณแบนด์กว้าง ภาครับ-ส่ง และขยายกำลังของสัญญาณ ที่เรียกว่า Transponder ซึ่งเป็นหน่วยรับ-ส่งสัญญาณแต่ละช่องในตัวดาวเทียม

2.1.9.5 ระบบสายอากาศ ระบบนี้อาจถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของระบบสื่อสารดาวเทียมโดยแยกออกมาจากทรานสปอนเดอร์ (Transponder) ปัจจุบันดาวเทียม ดังรูปที่ 2.4 มีระบบจานสายอากาศที่ซับซ้อนเพื่อให้สามารถแยกลำคลื่น (Beam) ส่งมาครอบคลุมพื้นโลกในรูปแบบต่างๆ ได้ตามต้องการ



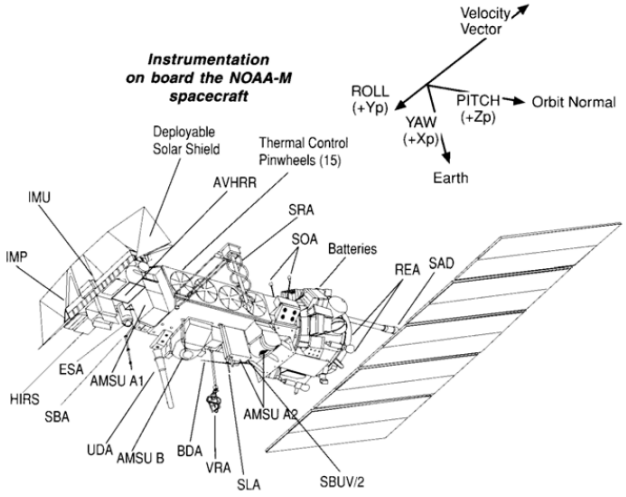
รูปที่ 2.4 ดาวเทียมไทยคม [3]

2.2 ดาวเทียม NOAA

ดาวเทียม NOAA เป็นดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา ควบคุมโดยองค์การบริหารสมุทรศาสตร์และบรรยากาศแห่งชาติ (National Oceanic and Atmospheric Administration: NOAA) ของประเทศสหรัฐอเมริกา ที่แสดงในรูปที่ 2.5 ซึ่งเป็นดาวเทียมสำรวจอุตุนิยมวิทยา เช่น ใช้ติดตามกลุ่มเมฆ ประมาณพื้นที่ปกคลุมด้วยหิมะและวัดอุณหภูมิผิวน้ำทะเล ซึ่งภายหลังสามารถประยุกต์ใช้ในการศึกษาพืชพรรณครอบคลุมโลกได้รายวัน โดยดาวเทียมรุ่นแรกได้แก่ ดาวเทียมชุด TIROS หรือ Television and Infrared Radiometer Observation Satellite ปฏิบัติการระหว่างปี พ.ศ. 2503 ถึง 2508 รุ่นที่สองคือ ดาวเทียมชุด ITOS (Improved TIROS Operational Satellite) ปฏิบัติการระหว่างปี พ.ศ. 25013 ถึง 2519 ดาวเทียมชุดที่ 3 ที่ส่งขึ้น เมื่อปี 2521 มิถุนายน 2545 ซึ่งเป็นดาวเทียมชุด Advanced TIROS-N (ATN series)

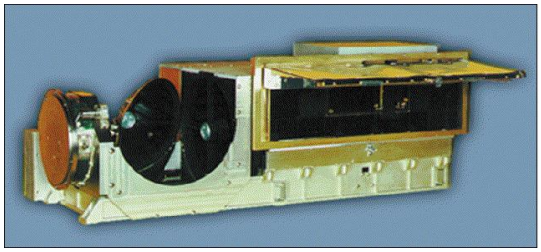
ดาวเทียม NOAA เป็นดาวเทียมที่มีระบบการทรงตัวแบบ Three axis Stabilized ที่มีวงโคจรในแนวเหนือใต้ ดาวเทียมในชุดนี้จะทำงานพร้อมกัน 2 ดวง เพื่อให้ได้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาในบริเวณต่างๆ ทุก 6 ชั่วโมง ดวงหนึ่งจะตัดแนวเส้นศูนย์สูตรจากเหนือลงใต้เวลา 7.30 น. (เรียก Morning orbit มีระดับวงโคจรที่ 830 กม.) อีกดวงจะตัดแนวเส้นศูนย์สูตรจากเหนือลงใต้เวลา 13.40 น. (เรียก Afternoon orbit มีระดับวงโคจรที่ 870 กม.) และมีวงโคจรแบบสัมพัทธ์กับดวงอาทิตย์ (Sun synchronous orbit) มีรูปร่างลักษณะและระบบบันทึกข้อมูลของดาวเทียม ดังรูปที่ 2.6

รูปที่ 2.5 ดาวเทียม NOAA [4]



รูปที่ 2.6 รูปร่างลักษณะและระบบบันทึกข้อมูลของดาวเทียม NOAA-17 (Colorado State University, 2003) [5]

ดาวเทียมวงโคจรต่ำ NOAA ทั้งสองดวงที่ช่วยในการพยากรณ์อากาศโดยดาวเทียม วงโคจรต่ำจะมีเครื่องมือวัดหลายชนิด เช่น AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer), HIRS/2 (High Resolution Infrared Radiometer Sounder/3), SSU (Stratospheric Sounding Unit), MSU (Microwave Sounding Unit) ซึ่งอุปกรณ์หลักคืออุปกรณ์ถ่ายภาพความละเอียดสูง (AVHRR - Advanced Very High Resolution Radiometer) ดังรูปที่ 2.7 ซึ่งจะถ่ายภาพด้วยจุดภาพขนาด 1.1 กิโลเมตร ครอบคลุมพื้นที่ 2,600 × 2,600 ตารางกิโลเมตร ซึ่งทำงานโดยอาศัยหลักการสะท้อนที่แตกต่างกันของคลื่น 6 แบนด์ของความยาวคลื่นที่ประกอบกันเพื่อสร้างภาพที่ต้องการ ซึ่ง 6 แบนด์ของความยาวคลื่นดังกล่าวประกอบไปด้วยแบนด์ต่าง ๆ ดังตารางที่ 2.2



รูปที่ 2.7 Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) [6]

ตารางที่ 2.2 คุณลักษณะของอุปกรณ์ AVHRR

แบนด์	ช่วงคลื่น (ไมโครเมตร)	การใช้ประโยชน์
1 (Visible)	0.58 – 0.68	การปกคลุมของเมฆและแผนที่พื้นผิวโลก
2 (Near IR)	0.725 – 1.10	การปกคลุมของเมฆ แผนที่ พื้นผิวโลก และแยกน้ำกับแผ่นดิน
3A (Short wave IR)	1.580 – 1.64	การสังเกตการกระจายตัวของพืชพรรณ เมฆ ทะเลสาบ ชายฝั่ง ละอองในอากาศ หิมะ และน้ำแข็ง
3B (Thermal IR)	3.55 – 3.93	อุณหภูมิของพื้นผิวโลก แหล่งพลังงานความร้อน การปกคลุมเมฆในเวลากลางคืน
4 (Thermal IR)	10.30 – 11.30	อุณหภูมิของน้ำทะเล การปกคลุมเมฆทั้งกลางวันและกลางคืน
5 (Thermal IR)	11.50 – 12.50	อุณหภูมิของน้ำทะเล แผนที่การปกคลุมของเมฆ

เมื่อทำการเก็บภาพได้แล้วจะส่งสัญญาณภาพลงมาภาคพื้น 2 ระบบ ต่อการส่งสัญญาณ 1 ครั้งคือ ในระบบ HRPT (High Resolution Picture Transmission) มีความละเอียดของภาพ 1×1 ตารางกิโลเมตร ต่อ 1 พิกเซล ความถี่ในการส่งสัญญาณ 1700 MHz อยู่ในย่าน L-Band และระบบ APT (Automatic Picture Transmission) มีความละเอียดของภาพ 4×4 ตารางกิโลเมตรต่อ 1 พิกเซล ซึ่งในระบบนี้ เป็นการลดความละเอียดของภาพที่ได้จากอุปกรณ์ AVHRR แล้วทำการส่งสัญญาณด้วยความถี่ต่ำกว่าระบบ HRPT คือ 137.5 MHz ซึ่งเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการตั้งสถานีรับภาคพื้นดินนั่นเอง

สำหรับข้อมูลจำเพาะต่างๆ และสถานะของระบบของดาวเทียม NOAA แต่ละดวงสามารถเข้าไปดูได้ที่ http://www.oso.noaa.gov/poesstatus/ (หรือ website อื่นๆ) จาก website ข้างต้นสามารถตรวจสอบได้ตาม link ต่อไปนี้

NOAA-15: http://www.oso.noaa.gov/poesstatus/spacecraftStatusSummary.asp?spacecraft=15

NOAA-16: http://www.oso.noaa.gov/poesstatus/spacecraftStatusSummary.asp?spacecraft=16

NOAA-17: http://www.oso.noaa.gov/poesstatus/spacecraftStatusSummary.asp?spacecraft=17

NOAA-18: http://www.oso.noaa.gov/poesstatus/spacecraftStatusSummary.asp?spacecraft=18

NOAA-19: http://www.oso.noaa.gov/poesstatus/spacecraftStatusSummary.asp?spacecraft=19

2.2.1 ตัวอย่างข้อมูลจำเพาะของดาวเทียม **NOAA**

NOAA 15- Information

Spacecraft Letter:	K	**International Designation:**	1998 030A	**Catalog Number:**	25338		
Launch Date:	05/13/1998	**Operational Date:**	12/15/1998	**Operational Status:**	AM Secondary		
Notes:	AMSU B Scan Motor stalled on March 28, 2011 recovery effort on going. HIRS Filter Wheel stalled on May 31, 2009 recovery effort on going.						
GAC:	Yes	**HRPT:**	Yes	STX-2/MSB	1702.5 MHz		
LAC:	No	**APT:**	Yes	VTX-2	137.62 MHz		
LTAN:	16:42:14	**Inclination Angle:**	98.5 (Deg)	**Altitude:**	807(Km)		
		Precession Rate:	0.63(min/month)	**Period:**	101.1(minutes)		

NOAA 16- Information

Spacecraft Letter:	L		**International Designation:**	2000 055A	**Catalog Number:**	26536	
Launch Date:	09/21/2000		**Operational Date:**	03/20/2001	**Operational Status:**	PM Secondary	
GAC:	Yes	**HRPT:**	Yes	STX-1/LSB	1698.0 MHz		
LAC:	No	**APT:**	No	Inoperable			
LTAN:	20:28:56	**Inclination Angle:**	99.0 (Deg)		**Altitude:**	849(Km)	
		Precession Rate:	3.63(min/month)		**Period:**	102.1(minutes)	

NOAA 17-Information

Spacecraft Letter:	M		**International Designation:**	2002 032A	**Catalog Number:**	27453	
Launch Date:	06/24/2002		**Operational Date:**	10/15/2002	**Operational Status:**	AM Backup	
Notes:	NOAA-17 AVHRR scan motor operation became erratic on Sep. 28 often indicating motor current saturating to 271 mA. It finally ceased to operate indicating a stall condition at 271 mA on Oct.15, 2010.						
GAC:	Yes	**HRPT:**	Yes	STX-1/LSB	1698.0 MHz		
LAC:	No	**APT:**	Yes	VTX-1	137.5 MZ		
LTAN:	19:12:50	**Inclination Angle:**	98.7 (Deg)		**Altitude:**	810(Km)	
		Precession Rate:	-4.53(min/month)		**Period:**	101.2(minutes)	

NOAA 18- Information

Spacecraft Letter:	N	**International Designation:**	2005018A	**Catalog Number:**	28654
Launch Date:	05/20/2005	**Operational Date:**	08/30/2005	**Operational Status:**	PM Secondary
Notes:	NOAA-18 & 19 RF conflict period ended 0n May 18, 2012. NOAA-18 SARR TX A was re-enabled for normal operations. NOAA-18 primary playback was switched from STX 1 to STX 4 May22, 2012. HRPT TX remains unchanged.				
GAC:	YES	**HRPT:**	Yes	STX-3/HSB	1707.0 MHz
LAC:	YES	**APT:**	Yes	VTX-2	137.9125 MHz
LTAN:	14:51:13	**Inclination Angle:**	98.74 (Deg)	**Altitude:**	854(Km)
		Precession Rate:	2.83(min/month)	**Period:**	102.12(minutes)

NOAA 19-Information

Spacecraft Letter:	N-PRIME	**International Designation:**	2009-005-A	**Catalog Number:**	33591
Launch Date:	02/06/2009	**Operational Date:**	06/02/2009	**Operational Status:**	PM Primary
Notes:	NOAA-19 ADCS Digital Signal Processor (DSP) Software Restart Command Procedure (CP) was initiated at 19:42:41 Z on July 11, 2012 as per CNES/CLS-Argos request due to internal DSP anomaly. Mission recovery was successfully completed at 22:46:00 Z.				
GAC:	Yes	**HRPT:**	Yes	STX-1/LSB	1698.0 MHz
LAC:	Yes	**APT:**	Yes	VTX-1	137.1 MHz
LTAN:	13:33:02	**Inclination Angle:**	98.7 (Deg)	**Altitude:**	870(Km)
		Precession Rate:	0.25(min/month)	**Period:**	102.14(minutes)

สำหรับ Mode ในการรับสัญญาณสำหรับโครงการการพัฒนาสถานีภาคพื้นดินสำหรับรับสัญญาณดาวเทียมอุตุวิทยา NOAA แบบต้นทุนต่ำที่จะทำการศึกษาจะเป็นแบบการรับใน Mode ATP ซึ่งดาวเทียม NOAA ดวงที่เราจะสามารถทำการรับใน Mode ATP ได้นั้น ในปัจจุบันที่ยังใช้งานอยู่มีดังที่สรุปไว้ในตารางที่ 2.3

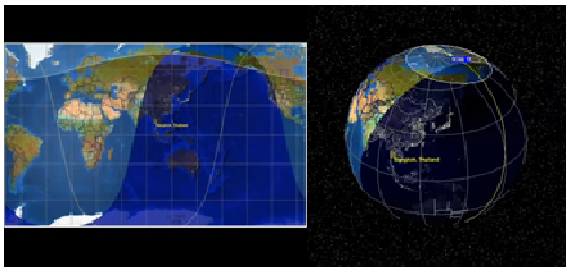
ตารางที่ 2.3 ดาวเทียม NOAA ที่ปฏิบัติงานอยู่ ณ ปัจจุบัน

ดาวเทียม	ความถี่ที่ใช้ (Mode APT)	สถานะ
NOAA 15	137.6200 MHz	ON
NOAA 16	137.6200 MHz	OFF ตั้งแต่ 15/11/2000
NOAA 17	137.5000 MHz	ON แต่ปัจจุบันประสบปัญหาเกี่ยวกับ scan mirror sync.
NOAA 18	137.9125 MHz	ON
NOAA 19	137.1000 MHz	ON

ดังนั้นระบบรับสัญญาณและผลิตภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา NOAA ที่จะทำการพัฒนาขึ้นจะการรับสัญญาณข้อมูลจากดาวเทียม NOAA 15, 18 และ 19

2.2.2 การโคจรของดาวเทียม NOAA

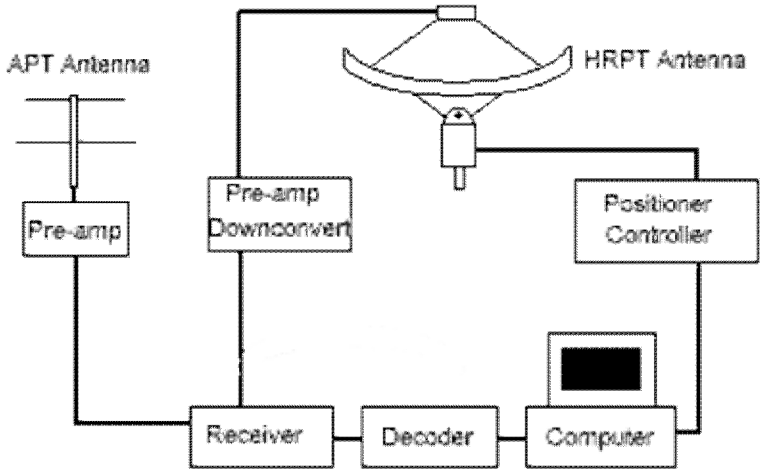
มีวงโคจรแบบสัมพันธ์กับดวงอาทิตย์ (Sun synchronous orbit) ดังรูปที่ 2.8 เป็นวงโคจรในแนวเหนือ-ใต้ และผ่านแนวละติจูดหนึ่งๆ ที่เวลาท้องถิ่นเดียวกัน



รูปที่ 2.8 การโคจรของดาวเทียม NOAA

2.2.3 เปรียบเทียบโหมด APT และ HRPT

เปรียบเทียบความแตกต่างของระบบรับสัญญาณดาวเทียงอุตุนิยมวิทยา NOAA ระหว่างโหมด APT และ HRPT เพื่อวิเคราะห์หาจุดเด่นจุดด้อยของระบบรับสัญญาณที่สร้างขึ้นมาจากโครงสร้างของระบบทั้ง 2 ระบบ



รูปที่ 2.9 โครงสร้างของระบบรับสัญญาณอุตุนิยมวิทยา NOAA ในโหมด APT และ HRPT

จากภาพแสดงให้เห็นโครงสร้างของระบบรับสัญญาณอุตุนิยมวิทยา NOAA ในโหมด APT และ HRPT ซึ่งระบบทั้งสองมีความแตกต่างกันจึงสามารถเปรียบเทียบความแตกต่างของทั้ง 2 ระบบ ได้ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบความแตกต่างของระบบรับสัญญาณ ระหว่างโหมด APT และ HRPT

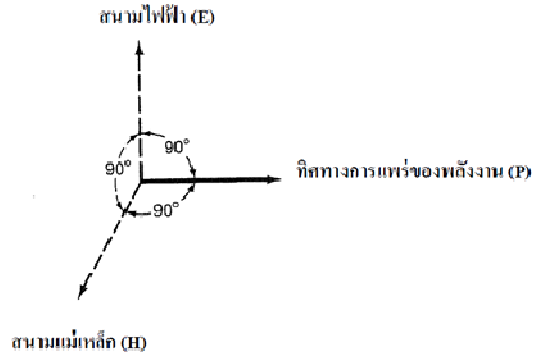
	โหมด HRPT	**โหมด APT**
Resolution	1×1 ตารางกิโลเมตร/พิกเซล	4×4 ตารางกิโลเมตร/พิกเซล
Downlink Frequency	1.7 GHz	137.100-137.9125 MHz
Modulation	BPSK	AM-Subcarrier and FM
Antenna	3 m. Parabolic Ant.	Turnstile and QFH Ant.
Pros	คุณภาพของภาพถ่ายดาวเทียมที่ได้มีความละเอียดของภาพที่ดีกว่า	ระบบรับสัญญาณมีความซับซ้อนที่น้อยกว่า สามารถสร้างได้เองและประหยัดค่าใช้จ่ายในการสร้างระบบได้มาก
Cons	ระบบรับสัญญาณมีความซับซ้อน ทำให้การสร้างระบบนั้นทำได้ยาก และค่าใช้จ่ายในการสร้างระบบสูง	คุณภาพของภาพถ่ายดาวเทียมที่ได้มีความละเอียดของภาพน้อยกว่า แต่ก็ยังสามารถใช้ภาพในการศึกษาได้

2.3 สายอากาศ

คือ ตัวนำโลหะ ซึ่งมักจะเป็นแบบใดแบบหนึ่งของความยาวลวดหรือท่อกลวง ตัวนำที่จะใช้สำหรับสายอากาศจะต้องให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวนำนั้นได้ สายอากาศของเครื่องส่งกระแสไฟฟ้าจะสร้างคลื่นวิทยุแม่เหล็กไฟฟ้า คลื่นนี้จะประกอบไปด้วยสนามไฟฟ้า และสนามแม่เหล็กซึ่งเคลื่อนที่ไปในอากาศจากสายอากาศ สายอากาศของเครื่องรับ คลื่นวิทยุจะเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสไฟฟ้าในสายอากาศ ซึ่งกระแสไฟฟ้านี้จะเป็นสัญญาณเข้าของเครื่องรับซึ่งเครื่องส่งและเครื่องรับนี้ต่างก็ต้องมีสายอากาศเช่นเดียวกัน แต่ทำหน้าที่ต่างกัน เช่นตัวอย่างวิทยุความถี่ประชาชน (CB) ต่างก็ใช้สายอากาศสำหรับรับส่งเหมือนกันสายนำสัญญาณจะต่อกับสายอากาศ ภายในสายนำสัญญาณจะประกอบด้วยตัวนำลวดคู่ วางในช่องว่างระหว่างกันคงที่ หน้าที่ของสายนำสัญญาณคือ การนำกระแสไฟฟ้าโดยปราศจากการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

2.3.1 คลื่นวิทยุแม่เหล็กไฟฟ้า

สายอากาศที่ถูกสร้างขึ้นจะมีมากมายหลายขนาด และหลายรูปร่างเพื่อรองรับการใช้งานแบบต่างๆ เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน สายอากาศจะมีความสัมพันธ์เกี่ยวเนื่องกับสนามแม่เหล็กซึ่งอยู่รอบๆ ตัว เมื่อความเข้มของสนามแม่เหล็กเปลี่ยน หรือสนามแม่เหล็กเคลื่อนที่ จะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำแรงดันไฟฟ้าขึ้น ซึ่งแรงดันไฟฟ้านี้จะสัมพันธ์เกี่ยวเนื่องกับสนามไฟฟ้า ผลลัพธ์ของทั้งสองสนามนี้คือ หนึ่งเกิดฟลักซ์แม่เหล็ก และสองเกิดแรงจากเส้นแรงไฟฟ้าแท้จริงแล้ว สนามทั้ง 2 มีความสำคัญมากกว่าตัวนำ การเปลี่ยนแปลงต่างๆ ของสนามแม่เหล็กจะมีผลต่อการสร้างสนามไฟฟ้าเช่นกัน การเปลี่ยนแปลงต่างๆ ของสนามไฟฟ้าจะมีผลต่อการสร้าง ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ส่วนประกอบของคลื่นวิทยุแม่เหล็กไฟฟ้าและการแพร่ขยายในอากาศ [7]

สนามไฟฟ้าใช้สัญลักษณ์ E สนามแม่เหล็กใช้สัญลักษณ์ H ทั้ง 2 สนามจะเปลี่ยนแปลง ผันแปรตามความแรงในขณะที่เคลื่อนที่ไปในทิศทางของการแพร่ขยาย P จากการมองเห็นภาพ ลูกศรในสามมิติสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กจะตั้งฉากซึ่งกันและกัน มุมทางขวาจะเป็นทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นรูปแบบของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กจะทำให้เกิดการแพร่ขยายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไหลไปในอากาศ พลังงานการเคลื่อนที่ของคลื่นคือการแบ่งเท่าๆ กันระหว่างองค์ประกอบของไฟฟ้าและแม่เหล็ก

2.3.2 ความเร็วของคลื่นวิทยุ

โดยทั่วๆ ไป คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า คือ รูปแบบของการแผ่ ซึ่งส่งพลังงานออกไปในอากาศ การแผ่ของแสง การแผ่ความร้อน รังสีเอกซ์และคลื่นวิทยุ เหล่านี้เป็นตัวอย่างของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แพร่ขยายไปในอากาศกับความเร็วของแสงมีสัญลักษณ์ C ความเร็วคือ

C = 300,000,000 เมตร / วินาที
หรือ C = 3×10^{8} เมตร / วินาที
หรือ C = 3×10^{10} เซนติเมตร / วินาที

จะพิจารณาในอวกาศหรือสุญญากาศจะมีค่าเท่ากัน ในคลื่นวิทยุความถี่ของการแปรผันในความเข้มของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก จะเป็นเหมือนกับความถี่ของการแปรผันในสายอากาศกระแสไฟฟ้าซึ่งจะสร้างคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า หรือกล่าวง่ายๆ ว่าความถี่ของสนาม คือความถี่ของแหล่งกำเนิดซึ่งทำให้เกิดสนามนั้น

2.3.3 คุณสมบัติของสายอากาศ (Antenna Characteristics)

การเลือกชนิดของสายอากาศต่างๆ เพื่อใช้งานกับความถี่ใช้งาน ความถี่ที่สูงกว่า, ตัวนำสายอากาศที่มีความยาวพอเหมาะ ไม่ยาวจนเกินไป สายอากาศสามารถเรโซแนนซ์หรือไม่เรโซแนนซ์ สายอากาศเรโซแนนซ์จะมีความยาวเฉพาะเจาะจงสำหรับความถี่ใช้งาน โดยเฉพาะ

แถบความถี่สูงมาก (VHF) 30 ถึง 300 MHz จะใช้สายอากาศครึ่งคลื่น (Half-wave) ในทางปฏิบัติสายอากาศของโทรทัศน์ คือ ตัวอย่างของขั้วคู่ครึ่งคลื่น (Half-wave dipole) มีความยาวประมาณ 240 เซนติเมตร เช่นนั้น สายอากาศนี้ใช้สำหรับโทรทัศน์และแถบความถี่วิทยุเอฟเอ็ม (FM)

จากรูปที่ 2.11 และ 2.12 แสดงสายอากาศแบบที่นิยมใช้ในการรับสัญญาณใน Mode ATP 137 MHz สายอากาศรูปที่ 2.11 จะเป็นสายอากาศแบบ Cross Dipole หรือที่เรียกกันว่า Turnstile antenna ซึ่งมี Polarization แบบวงกลมวนขวา (Right-hand Circular Polarization) เนื่องจากดาวเทียม NOAA ก็ทำการส่งด้วย Polarization แบบวงกลมวนขวาเช่นกัน ก็จะทำการรับสัญญาณที่ส่งมาจากดาวเทียม NOAA

ในการติดตั้งสายอากาศให้ทำการติดตั้งในบริเวณที่โล่งไม่มีอะไรมาขวางเช่นที่ดาดฟ้า หรือหลังคา โดยให้ความสูงอยู่สูงกว่าสายอากาศ TV เพื่อที่จะได้รับสัญญาณจากดาวเทียมได้โดยไม่มีอะไรมาขวางกั้น สายอากาศอีกลักษณะหนึ่งที่ใช้ได้เช่นกันคือสายอากาศแบบ Quadrifilar Helix (QFH) antenna ลักษณะสายอากาศแบบ Turnstile ดังรูปที่ 2.11 และแบบ QFH แสดงได้ดังรูปที่ 2.12

การใช้งานสายอากาศทั้งสองดังกล่าวมีข้อดีอีกอย่างหนึ่งคือไม่ต้องทำการออกแบบระบบการ Tracking สายอากาศตามการเคลื่อนที่ของดาวเทียมดังเช่นกรณีที่ใช้สายอากาศทิศทางหรือสายอากาศแบบจานพาราโบลา เนื่องจากสายอากาศดังกล่าวเป็นลักษณะของสายอากาศรอบตัว

รูปที่ 2.11 Turnstile Antenna [8]

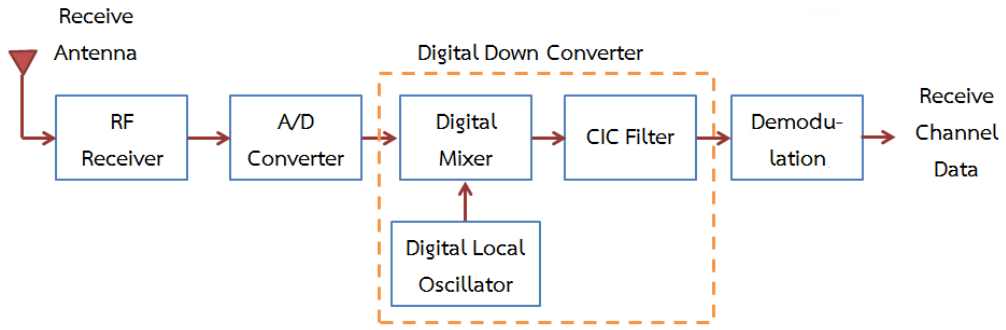
รูปที่ 2.12 QFH Antenna [9]

2.4 เครื่องรับวิทยุกำหนดด้วยซอฟต์แวร์ Software Defined Radio (SDR)

ระบบ Software Defined Radio (SDR) ได้ถูกกำเนิดขึ้นจากการพัฒนาเทคโนโลยีทางการทหารโดยสถาบันวิจัย Roke Manor ซึ่งนาย Walter Tuttlebee เป็นผู้บุกเบิกและวิจัยเกี่ยวกับระบบ Software Defined Radio (SDR) เหตุผลก็เพื่อให้อุปกรณ์ที่มีลักษณะการรับ-ส่งดังรูปที่ 2.13 และรูปที่ 2.14 สัญญาณที่มีความแตกต่างกันให้สามารถใช้งานร่วมกันได้

ในระบบเครื่องรับวิทยุแบบอนาล็อก ดังรูปที่ 2.13 แสดงบล็อกไดอะแกรมของเครื่องรับวิทยุแบบอนาล็อก Heterodyne ซึ่งในส่วนแรกสัญญาณ RF ที่รับเข้ามาจากสายอากาศและทำการขยายสัญญาณ จากนั้นจะถูกส่งต่อไปยังภาค Analog Mixer เพื่อทำการผสมสัญญาณระหว่างสัญญาณ RF จากสายอากาศกับสัญญาณที่มาจากภาคผลิตความถี่แบบอนาล็อก (Analog Local Oscillator) ภาคผลิตความถี่แบบอนาล็อกจะทำหน้าที่ผลิตความถี่ที่ต้องการเพื่อใช้ในการเลือกย่านความถี่ของสัญญาณวิทยุที่จะรับเข้ามาและจะเปลี่ยนสัญญาณ RF ที่รับเข้ามาให้อยู่ในช่วงสัญญาณความถี่กลาง (Intermediate Frequency : IF) จากนั้นสัญญาณจะถูกส่งต่อไปยังภาค IF AMP เพื่อทำการขยายสัญญาณ ซึ่งสัญญาณความถี่กลางของระบบวิทยุแบบ AM จะเท่ากับ 455 KHz และสัญญาณความถี่กลางแบบ FM เท่ากับ 10.7 MHz จากนั้นสัญญาณจากภาค IF AMP จะถูกส่งต่อไปยังภาค Demodulator เพื่อทำการแปลงสัญญาณที่รับเข้ามาด้วยวิธีการ Modulate ต่างๆ เช่น การ Modulate แบบ AM จะใช้การ Demodulate แบบเอ็นเวลโลบดีเทคเตอร์ (Envelop detector) และการ Modulate แบบ FM จะใช้การ Demodulate แบบแยกความถี่ (Frequency

discriminator) จากนั้นจะถูกส่งเข้าภาค Audio AMP เพื่อขยายสัญญาณไปยังลำโพง (Speaker)

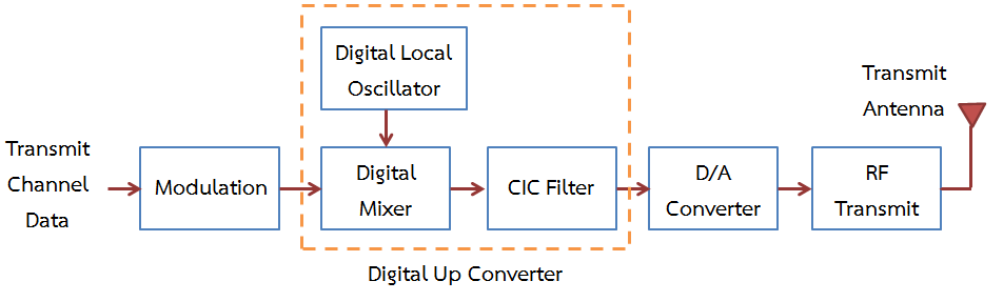


รูปที่ 2.13 Digital Down Converter

ตัวอย่าง ถ้าเราต้องการเลือกความถี่วิทยุ FM จากสถานีที่ต้องการ เช่น สถานวิทยุ FM ที่ความถี่เท่ากับ 100.7 MHz ดังนั้นเราจะต้องปรับความถี่ที่ภาคผลิตความถี่เพื่อให้ได้สัญญาณความถี่กลาง (IF) เท่ากับ 10.7 MHz เพราะฉะนั้นภาคผลิตความถี่จะผลิตความถี่เท่ากับ 100.7-10.7 = 90 MHz

ซึ่งจะเรียกวิธีการนี้ว่า Down conversion หรือ Translation เนื่องจากสัญญาณความถี่สูงจะถูกแปลงลงมาเป็นสัญญาณช่วงความถี่กลาง (IF) ด้วยภาคผสมสัญญาณ (Mixer)

เครื่องรับวิทยุกำหนดด้วยซอฟต์แวร์ (Software Defined Radio Receiver: SDR Receiver) คือเครื่องรับวิทยุที่มีกระบวนการทำงานภายในเป็นแบบดิจิตอลซึ่งจะประกอบไปด้วยหลายส่วนด้วยกันแต่ส่วนที่เป็นหัวใจหลักของระบบเครื่องรับวิทยุกำหนดด้วยซอฟต์แวร์ คือส่วนที่ทำหน้าที่ลดอัตราสุ่มตัวอย่างสัญญาณ

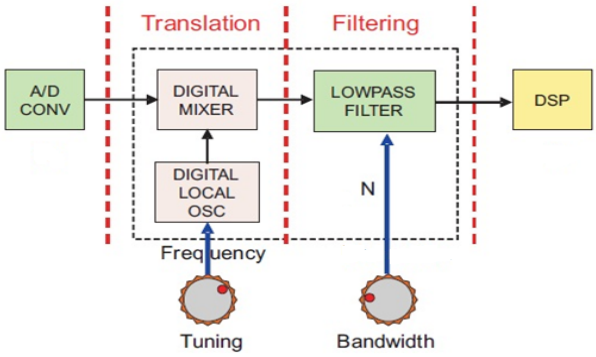


รูปที่ 2.14 Digital Up Converter

ในรูปภาค RF Tuner จะทำการแปลงสัญญาณอนาล็อก RF จากสายอากาศไปเป็นสัญญาณในช่วงความถี่กลาง (IF) ซึ่งจะเหมือนกับสามบล็อกแรกของเครื่องรับวิทยุแบบอนาล็อกจะทำการแปลงสัญญาณความถี่กลางแบบอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอลด้วยภาค A/D (Analog to Digital converter) จะได้เป็นสัญญาณความถี่กลางแบบดิจิตอล (Digital IF Samples) ส่งไปยังส่วนที่เรียกว่า Digital down converter (DDC) ซึ่งทำหน้าที่แปลงสัญญาณความถี่กลางแบบดิจิตอลไปเป็นสัญญาณดิจิตอลเบสแบรนด์ (Digital Baseband Samples) ซึ่งจะประกอบไปด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

ส่วนประกอบของภาค Digital Down Converter ดังรูปที่ 2.15

- ภาคผสมสัญญาณแบบดิจิตอล (Digital Mixer)
- ภาคผลิตความถี่แบบดิจิตอล (Digital Local Oscillator)
- วงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่านแบบลดอัตราสุ่มตัวอย่าง (FIR Lowpass filter or Decimation Filter)



รูปที่ 2.15 ส่วนประกอบของภาค Digital Down Converter

- ภาคผสมสัญญาณแบบดิจิตอล (Digital Mixer) จะทำการแปลงสัญญาณที่รับเข้ามาจากภาค Analog to Digital converter ให้เป็นสัญญาณดิจิตอลเบสแบรนด์ด้วยการผสมกับสัญญาณรูปคลื่น sine และ สัญญาณ cosine ที่ผลิตจากภาคผลิตความถี่แบบดิจิตอลและจะได้สัญญาณสัญญาณที่ส่งต่อไปยังภาค Lowpass Filter ที่ทำหน้าที่กรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่านแบบลดอัตราสุ่มตัวอย่างสัญญาณ โดยที่สัญญาณขาออกจะอยู่ในรูปสัญญาณ I (In-phase) และสัญญาณ Q (Quadrature)

- ภาคผลิตความถี่แบบดิจิตอล (Digital Local Oscillator) จะทำหน้าที่ผลิตสัญญาณความถี่ด้วยกระบวนการทางดิจิตอลซึ่งจะผลิตสัญญาณรูปคลื่น sine และ cosine โดยอาศัยวิธีการทางดิจิตอลด้วยการบวกวนซ้ำด้วยความถี่ควบคุม (Fcw) ตามสัญญาณอ้างอิง (Fclk) และจะได้สัญญาณเอาท์พุท Fout สัญญาณนี้จะนำไปชี้ในตารางเปิดดู (Look up Table) ที่ตำแหน่ง Address ต่างๆ ที่เก็บค่าเฟสสะสมของสัญญาณไว้

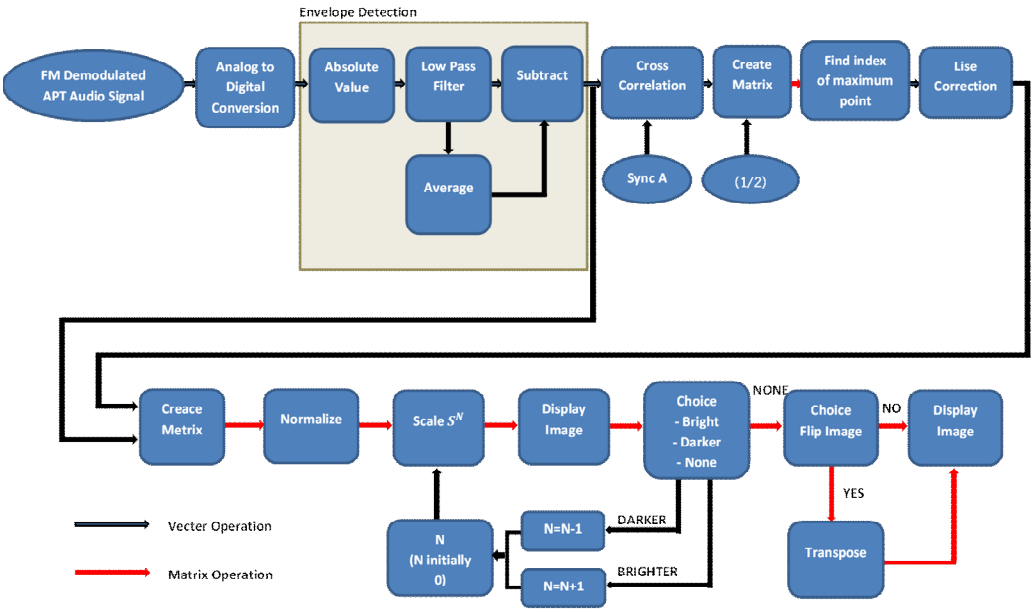
- วงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่านแบบลดอัตราสุ่มตัวอย่าง (FIR Lowpass filter or Decimation filter) ทำหน้าที่กรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่านและทำการลดอัตราสุ่มตัวอย่างของสัญญาณลง เพื่อให้ ได้อัตราสุ่มตัวอย่างตามที่ต้องการ ในการปรับอัตราสุ่มตัวอย่างลงนั้นจะทำการปรับที่พารามิเตอร์ N ซึ่งเป็นตัวแปรที่ใช้ในการลดอัตราสุ่มตัวอย่างสัญญาณ

จากที่ได้กล่าวข้างต้นนั้นส่วนที่เป็นหัวใจหลักในการทำระบบเครื่องรับวิทยุกำหนดด้วยซอฟต์แวร์ (SDR) นั้นก็คือ ภาคผลิตความถี่แบบดิจิตอล (Digital Local Oscillator or Direct

Digital Synthesis: DDS) และวงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่านแบบลดอัตราสุ่มตัวอย่าง (FIR Lowpass filter or Decimation filter) ซึ่งสองส่วนนี้จะอาศัยซอฟต์แวร์เพื่อช่วยในการปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น การปรับความถี่ให้กลับภาคผลิตความถี่แบบดิจิตอล ปรับลดอัตราการสุ่มตัวอย่างสัญญาณความจุช่องสัญญาณเป็นต้น จึงเป็นที่มาของคำว่า “วิทยุกำหนดด้วยซอฟต์แวร์” (Software Defined Radio : SDR)

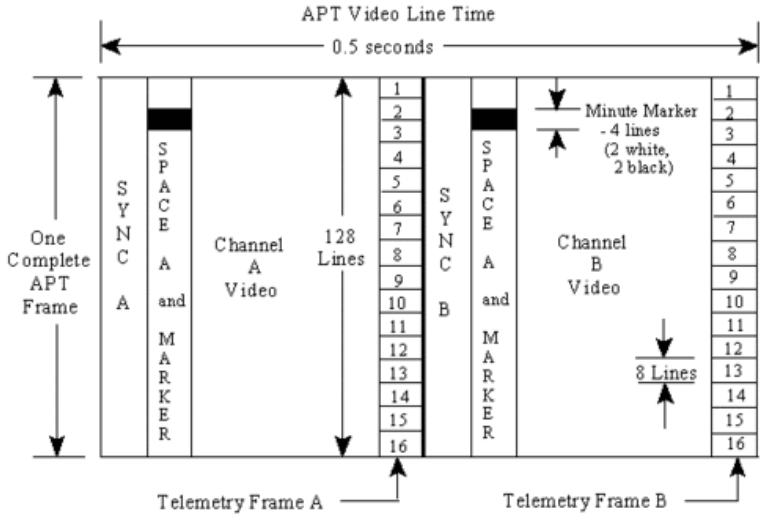
2.5 กระบวนการแปลงเสียงให้เป็นภาพถ่ายดาวเทียม

กระบวนการแปลงสัญญาณเสียงให้เป็นภาพถ่ายดาวเทียม ดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 กระบวนการสร้างภา

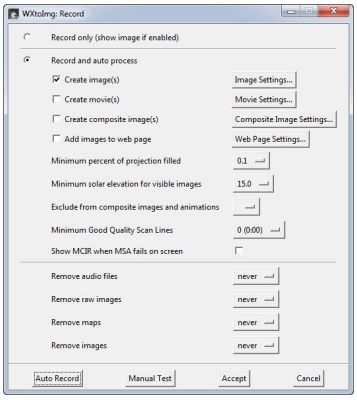
จากนั้นจะได้ภาพ Output Image ออกมาเป็น NOAA APT Frame Format ซึ่งแบ่งเป็น Channel A และ Channel B โดยความกว้างของภาพจะใช้เวลา 0.5 วินาที/เส้น และความยาวของภาพจะขึ้นอยู่กับความยาวของ wav.file ดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 NOAA APT Frame Format [10]

2.6 โปรแกรม WXtoImg

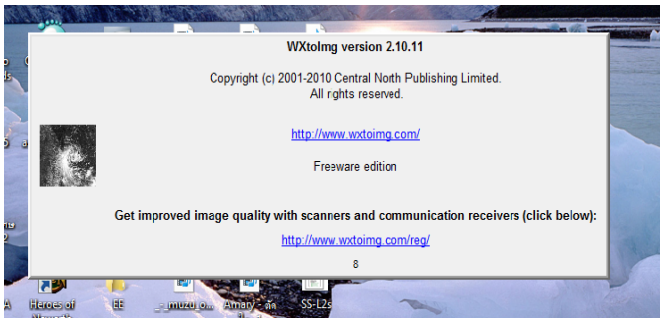
จากเครื่องรับซึ่งอาจเป็นเครื่องรับเฉพาะงานสำหรับสัญญาณ ATP Mode หรือเป็น Scanner ที่มีแบนด์วิทอยู่ในช่วงที่กำหนดข้างต้นจะให้เอาท์พุทออกมาในลักษณะของเสียง (Audio Output) จากนั้นสัญญาณจะถูกส่งต่อเข้าไปยังคอมพิวเตอร์ผ่านทางการ์ดเสียง (Sound Card) เพื่อทำการบันทึก และถอดรหัสสัญญาณให้ออกมาเป็นภาพถ่ายดาวเทียมบนจอแสดงผล ซึ่งบนจอคอมพิวเตอร์นี้จะทำการติดตั้งโปรแกรม WxtoImg (มีทั้ง Version ที่เป็น Freeware และแบบที่ต้องซื้อ) โปรแกรม WxtoImg ที่ติดตั้งอยู่บนคอมพิวเตอร์นั้นจะทำการบันทึกสัญญาณที่รับได้เป็นไฟล์ (.wav file) จากนั้นจะทำการถอดรหัสสัญญาณที่ได้รับออกมาเป็นภาพถ่ายดาวเทียม ซึ่งในการถอดรหัสนี้สามารถทำได้ทั้งแบบ Real Time และ Non-Real Time และสำหรับการแสดงก็จะทำให้สามารถแสดงผลเป็นแบบภาพนิ่ง (Still Image) หรือเป็นแบบภาพยนตร์ (Movie) โดยทำการ Set Option ของการ Record และ Auto process ให้เป็นดังในรูปที่ 2.18 และยังสามารถเพิ่มภาพถ่ายดาวเทียมที่ได้ขึ้นไปแสดงผลบน Web page ได้อีกด้วย



รูปที่ 2.18 การ Set Option ในการบันทึก Auto process

นอกจากนั้นโปรแกรมดังกล่าวยังสามารถทำการปรับภาพ เช่น การทำ Histogram Equalization ปรับ Contrast เป็นต้น และยังสามารถทำการ Enhancement ภาพในแบบต่างได้ เช่น แบบ Contrast enhance, MCIR Map colour IR (NOAA), Sea surface temp และ Thermal เป็นต้น รวมทั้งการทำ Multispectral analysis แบนด์วิทของสัญญาณต่ำสุดที่โปรแกรม WXtoImg สามารถทำการประมวลได้คือ 12 kHz นั่นหมายความว่าแม้กระทั่งการใช้เครื่องวิทยุสื่อสารแบบปกติซึ่งมีแบนด์วิทประมาณ 15 kHz ในการรับสัญญาณ WXtoImg ก็สามารถทำการประมวลผลเป็นภาพถ่ายดาวเทียมได้แต่อาจจะได้คุณภาพที่ไม่ดีนักเนื่องจากข้อจำกัดเรื่องแบนด์วิทของเครื่องวิทยุเครื่องวิทยุสื่อสารทั่วไปที่แบนด์วิทไม่ได้อยู่ในช่วง 30 – 40 kHz ตามที่เครื่องรับในระบบ ATP Mode ทั่วไปกำหนดไว้อยู่

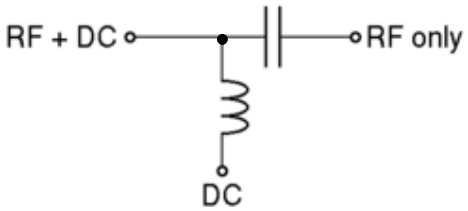
โปรแกรม WXtoImg ดังรูปที่ 2.19 เป็นซอฟต์แวร์ที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้ในการถอดรหัสภาพ จากดาวเทียม NOAA ซึ่งเป็นดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา ในโหมด APTและอยู่ในย่านความถี่ 137-138 MHz



รูปที่ 2.19 โปรแกรม WXtoImg

2.7 Bias Tee

Bias Tee เป็นอุปกรณ์สามพอร์ตที่ใช้ในการตั้งค่า DC มักจะมีการจัดรูปเป็นตัว T Bias Tee ถูกออกแบบมาเพื่อใช้สำหรับสายส่ง โดยปกติอิมพีแดนซ์ของ Z_0 จะเป็น 50 โอห์ม Z_0 หรือ 75 โอห์ม อิมพีแดนซ์ของตัวเก็บประจุ (X C) คือเลือกที่จะมีน้อยกว่า Z_0 และความต้านทานของตัวเหนี่ยวนำ (X L) ได้รับการแต่งตั้งให้เป็นมากกว่า Z_0



รูปที่ 2.20 วงจร Bias Tee

2.8 ลักษณะพื้นฐานของภาพดาวเทียม

ภาพ (Image) โดยทั่วไปหมายถึง รูปภาพเชิงตัวเลข (Digital picture) หรือ ตัวแทนของวัตถุหนึ่งๆ (Representation) ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมเป็นตัวแทนเชิงตัวเลขของพื้นผิวโลก ข้อ

มูลภาพถูกเก็บไว้ในแฟ้มข้อมูล (Data file) หรือเรียกว่า แฟ้มภาพ (Image file) บนเทปแม่เหล็ก ในแผ่นดิสค์ บนแผ่นซีดี หรือสื่ออื่นๆ ข้อมูลเหล่านี้ประกอบด้วยตัวเลขเท่านั้น ตัวแทนเหล่านี้จะแสดงออกเป็นภาพก็ต่อเมื่อฉายออกทางจอภาพ หรือเมื่อพิมพ์ออกมาเป็นภาพพิมพ์แข็ง

2.8.1 คุณลักษณะข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม

ภาพจากดาวเทียมสำรวจทรัพยากรที่บันทึกด้วยระบบกล้องหลายช่วงคลื่นมีคุณสมบัติพิเศษแตกต่างจากกล้องถ่ายภาพธรรมดา คือ

2.8.1.1 เป็นข้อมูลเชิงเลข ที่มีความละเอียดของค่าการสะท้อนช่วงคลื่นแสงเป็นระดับความเข้มสีเทา จำนวน 256 ระดับ ซึ่งสามารถนำข้อมูลที่มีปริมาณมากเหล่านี้ไปผลิตเป็นภาพขาวดำและสีผสม ตลอดจนนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ ทำให้มีความถูกต้องยิ่งขึ้น และยังสามารถนำไปบูรณาการในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ได้สะดวกและมีประสิทธิภาพ

2.8.1.2 ข้อมูลที่บันทึกสามารถส่งมายังสถานีรับภาคพื้นดินได้ทันที (Real time) ทำให้ได้ข้อมูลที่ทันสมัย

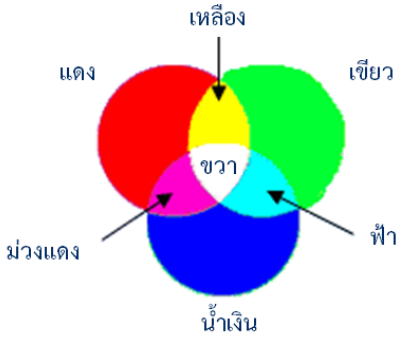
2.8.1.3 การบันทึกข้อมูลเป็นบริเวณกว้าง (Synoptic View) ภาพจากดาวเทียมภาพหนึ่งครอบคลุมพื้นที่กว้าง ทำให้ได้ข้อมูลในลักษณะต่อเนื่องในระยะเวลาบันทึกภาพสั้นๆ ซึ่งจะช่วยให้สามารถศึกษาสภาพแวดล้อม ต่างๆ ในบริเวณกว้างต่อเนื่องในเวลาเดียวกันทั้งภาพ

2.8.1.4 การบันทึกภาพได้หลายช่วงคลื่น ดาวเทียมสำรวจทรัพยากรมีระบบกล้องที่บันทึกภาพได้หลายช่วงคลื่นในบริเวณเดียวกัน ทำให้แยกวัตถุต่างบนพื้นโลกได้อย่างชัดเจน ดาวเทียม LANDSAT 1, 2, 3 ระบบ MMS (Multispectral Electron Self-Scanning Radio meter) มี 4 ช่วงคลื่น ดาวเทียม LANDSAT 4, 5 ระบบ TM (Thematic Mapper) มี 7 ช่วงคลื่น เป็นต้น

2.8.1.5 การบันทึกภาพซ้ำบริเวณเดิม (Repetitive coverage) ดาวเทียมสำรวจทรัพยากรมีวงโคจรจากเหนือลงใต้ (Polar orbit) และกลับมายังจุดเดิมในเวลาท้องถิ่นอย่างสม่ำเสมอ และในช่วงเวลาที่แน่นอน อาทิ ดาวเทียม LANDSAT จะถ่ายภาพซ้ำทุกๆ 16 วัน MOS ทุกๆ 17 วัน และ SPOT ทุกๆ 26 วัน ทำให้ได้ข้อมูลบริเวณเดียวกันหลายๆ ช่วงเวลา สามารถเปรียบเทียบและติดตามการเปลี่ยนแปลงต่างๆ บนพื้นผิวโลกได้เป็นอย่างดี

2.8.1.6 ภาพจากดาวเทียมให้ความละเอียดหลายระดับ มีผลดีในการเลือกนำไปใช้ประโยชน์ในการศึกษาด้านต่างๆ ตามวัตถุประสงค์ เช่น ภาพในระบบ Panchromatic ของดาวเทียม IRS ความละเอียดภาพ 5.8 เมตร สามารถศึกษาตัวเมือง เส้นทางคมนาคมระดับหมู่บ้าน ภาพในระบบกวาดภาพหลายช่วงคลื่นของดาวเทียม SPOT ให้ความละเอียดภาพ 20 เมตร ใช้ศึกษาการบุกรุกพื้นที่ป่าไม้เฉพาะจุดเล็กๆ และแหล่งน้ำขนาดเล็ก ภาพจากดาวเทียม LANDSAT 5 และ 7 ความละเอียดภาพ 30 เมตร ศึกษาสภาพการใช้ดินระดับจังหวัด เป็นต้น

การทำภาพสีผสมด้วยภาพจากดาวเทียมที่บันทึกในหลายช่วงคลื่นสามารถนำมาซ้อนทับกันได้ โดยใช้ 3 สีหลักคือ สีน้ำเงิน (Blue) สีเขียว (Green) และสีแดง (Red) ซึ่งเป็นช่วงคลื่นตามองเห็น เมื่อนำมาซ้อนทับกันทำให้เกิดสีผสมปรากฏสีต่างๆ ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีสี คือ การซ้อนทับของแม่สีบวกแต่ละคู่จะให้แม่สีลบ (Subtractive primary color) คือ สีเหลือง (Yellow) สีม่วงแดง (Magenta) และสีฟ้า (Cyan) ดังรูปที่ 2.21



ภาพที่ 2.21 การเกิดภาพสีผสมของข้อมูลดาวเทียม [11]

สีแดง (R) + สีเขียว (G) = สีเหลือง (Y)
สีแดง (R) + สีน้ำเงิน (B) = สีม่วงแดง (R)
สีน้ำเงิน (B) + สีเขียว (G) = สีฟ้า (C)
สีน้ำเงิน (B) + สีเขียว (G) + สีแดง (R) = สีขาว (W)
สีเหลือง (Y) + สีม่วงแดง (M) + สีฟ้า (C) = สีดำ

ในกรณีที่ต้องการให้ได้ภาพสีผสมธรรมชาติ (Natural color composite) เราต้องใช้ข้อมูลช่วงคลื่น สีน้ำเงิน สีเขียว และแดงตามลำดับ ในกรณีที่ใช้การผสมภาพจากข้อมูลช่วงคลื่นที่แตกต่างไปจากนี้ภาพที่ได้จะเรียกว่าภาพสีผสมเท็จ (False color composite) เช่น ข้อมูลช่วงคลื่นสีเขียว สีแดง และอินฟราเรดใกล้ ตามลำดับจะให้ข้อมูลพืชพรรณเป็นสีแดง เนื่องจากพืชสามารถสะท้อนช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ได้ดี เป็นต้น จากหลักการดังกล่าว ทำให้เราสามารถตีความแบ่งแยกชนิดวัตถุตามสีที่ปรากฏได้

ข้อมูลภาพดาวเทียมเป็นข้อมูลดิจิตอล ได้มาโดยตรงจากระบบตรวจวัดข้อมูลหลายช่วงคลื่น เช่น จากดาวเทียม Landsat, Spot และ NOAA เป็นต้น แต่ก็อาจได้จากการถ่ายภาพในห้องปฏิบัติการเป็นข้อมูล ดิจิตอลที่ได้จากอุปกรณ์ประเภทกวาดภาพเชิงแสง

คำว่า “Image” ให้ความหมายได้หลายทาง คำนี้ไม่ใช่หมายถึงรูปภาพธรรมดาแต่เป็นข้อมูลตัวเลข 2 มิติ แต่ละตัวแทนค่าความสว่าง (Brightness Value) หรือค่าสะท้อนพลังงานของพื้นที่ขนาดเล็กในภาพ ตัวเลขที่เป็นตัวแทนของภาพทำให้สามารถนำมาวิเคราะห์ได้โดยใช้คอมพิวเตอร์และเทคนิคการวิเคราะห์ทำให้ได้ตัวเลขชุดใหม่ที่เป็นตัวแทนในการปรับปรุงภาพหรือผ่านการจำแนกข้อมูลแล้ว

ภาพดาวเทียมหรือภาพดิจิทัล ประกอบด้วย องค์ประกอบเล็กๆ ที่แยกออกจากกัน (Discrete Picture Elements) เรียกว่า จุดภาพ (Pixel) สิ่งที่มีอยู่ร่วมกับจุดภาพก็คือตัวเลขค่าสะท้อนพลังงานเฉลี่ย (Average Radiance) หรือค่าความสว่างของพื้นที่ขนาดเล็กในภาพ

ขนาดของพื้นที่มีผลต่อความละเอียดของภาพ เมื่อขนาดของจุดภาพเล็กลงทำให้ภาพมีรายละเอียดมากขึ้น คล้ายกับภาพถ่ายทางอากาศที่สามารรถลดขนาดหรือขยายขนาดได้ ภาพดิจิทัลก็สามารถลดและขยายขนาดภาพได้เช่นเดียวกัน โดยใช้กระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยคอมพิวเตอร์ที่เหมาะสม ขนาดของจุดภาพสามารถควบคุมมาตราส่วนของภาพดิจิทัลได้

สำหรับภาพที่มีคุณภาพสูง ขนาดของจุดภาพปกติมีขนาดน้อยกว่า 0.1 mm ดังนั้น แต่ละจุดภาพไม่สามารถแยกแยะออกมาให้เห็นเป็นแบบปกติได้ สำหรับการนำข้อมูลภาพมาทำแผนที่การจำแนกนั้น มักจะใช้จุดภาพที่มีขนาดใหญ่กว่า เพื่อให้ตรวจสอบข้อมูลระดับจุดภาพได้

ระบบสัมผัสระยะไกลที่ใช้ดาวเทียมเป็นยานสำรวจนั้น การเก็บข้อมูลภาพต้องผ่านบรรยากาศของโลก ตัวอุปกรณ์ตรวจวัดไม่เพียงแต่จะวัดการแผ่รังสีสะท้อนจากพื้นโลกและส่งผ่านบรรยากาศ แต่การแผ่รังสีนั้นยังมีการกระจายโดยบรรยากาศด้วย ค่าของจุดภาพแต่ละจุดภาพเป็นตัวแทนของการสะท้อนพลังงานเข้าสู่อุปกรณ์ตรวจวัด (Sensor)

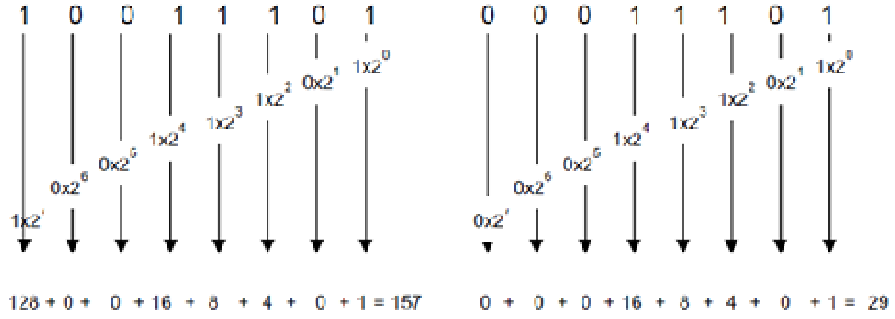
พื้นที่ซึ่งเป็นพื้นดินมีจุดภาพเป็นตัวแทนและมีองค์ประกอบอื่น ได้แก่ ความสูงของอุปกรณ์ตรวจวัด มุมมองของการถ่ายภาพแต่ละครั้ง (Instantaneous Field of View, IFOV) ซึ่งไอเอฟโอวี (IFOV) นี้เป็นมุมขนาดเล็กในเรขาคณิตของภาพความสัมพันธ์ระหว่างพื้นผิวโลกและอุปกรณ์ตรวจวัด เป็นค่ามุมที่เกิดจากอุปกรณ์เก็บข้อมูลตัวเดียวที่กระทำกับพื้นผิวโลก มีวิธีการกวาดภาพหลายวิธีในการเคลื่อนที่ของไอเอฟโอวีของอุปกรณ์ให้ผ่านพื้นผิวโลก ผลจากการวาดภาพได้ภาพหรือแผนที่ของภาพที่มีค่าสะท้อน 2 มิติ ได้จุดภาพที่มีข้อมูล 2 มิติจำนวนมาก ทำให้ได้ภาพดิจิตอลขนาดใหญ่

ระยะทางระหว่างจุดภาพ คือ ขนาดของจุดภาพ ข้อมูลดิจิตอลใช้ตัวเลขของบิตเป็นตัวแทนข้อมูลการสะท้อนพลังงานที่ต่อเนื่องของภาพได้นำมาทำให้เป็นปริมาณ (Quantized) ให้เป็นหน่วยที่ไม่ต่อเนื่อง (Discrete) เรียกว่า ค่าระดับสีเทา (Gray Levels) จุดภาพที่มีจำนวนบิต 5 – 6 บิต ต่อจุดภาพ (32 ถึง 64 ระดับ) ก็สามารถแสดงภาพดิจิตอลได้ จำนวนบิตต่อจุดภาพยิ่งมากยิ่งทำให้ได้ข้อมูลละเอียดขึ้น ถ้ามีจำนวนของค่าระดับสีเทาลดลง ภาพจะสูญเสียรายละเอียดของพื้นที่

2.8.2 ความละเอียดของภาพ

ความละเอียดของภาพในแง่ของค่าเชิงตัวเลขขึ้นอยู่กับการแปลงค่าภาพเหมือนให้เป็นค่าตัวเลขจำนวนเต็ม ซึ่งขึ้นอยู่กับการออกแบบในการบันทึกข้อมูล ตัวเลขแต่ละค่าจะถูกบันทึกในรูปอนุกรม (Series) ของระบบเลขฐานสอง (Binary) ที่ใช้เฉพาะเลข 0 และ 1 หรือ สถานะ “ปิด” “เปิด”เครื่องคอมพิวเตอร์ หรือเรียกว่า bits (บิต) แต่ละบิตจะบันทึกค่าเลข 2 ยกกำลัง โดยที่ตัวเลขยกกำลังถูกกำหนดโดยตำแหน่งของบิตในลำดับที่อยู่ ยกตัวอย่างเช่น ถ้าระบบออกแบบให้ตัวเลขแต่ละค่าบันทึกได้แปดบิตหรือ 1 ไบต์ (Byte) แสดงว่ามีตำแหน่งตัวเลขยกกำลัง 8 ตำแหน่งที่สามารถบันทึกความส่องสว่างที่ตรวจจับได้ในแต่ละช่วงคลื่น ค่าทั้งแปดจะบันทึกค่าฐานสองยกกำลังเรียงตามลำดับค่าฐานสอง (0 และ 1) ในแต่ละตำแหน่ง จะเป็นตัวบอกว่าค่าในตำแหน่งนั้นจะเอาไป

รวมหรือไม่ เช่น ในรูปที่ 2.22 ค่า 157 หรือ 29 ได้มาจากผลบวกของเลขฐาน 2 ยกกำลังตามตำแหน่งตามลำดับ ตำแหน่งใดจะนำค่าไปบวกหรือไม่ ขึ้นอยู่กับเลขฐานสองนั้นว่าเป็น 0 หรือ 1 ถ้าเป็น 0 จะไม่เอาไปคิด แต่ถ้าเป็น 1 จะเอาไปคิดบวกด้วย

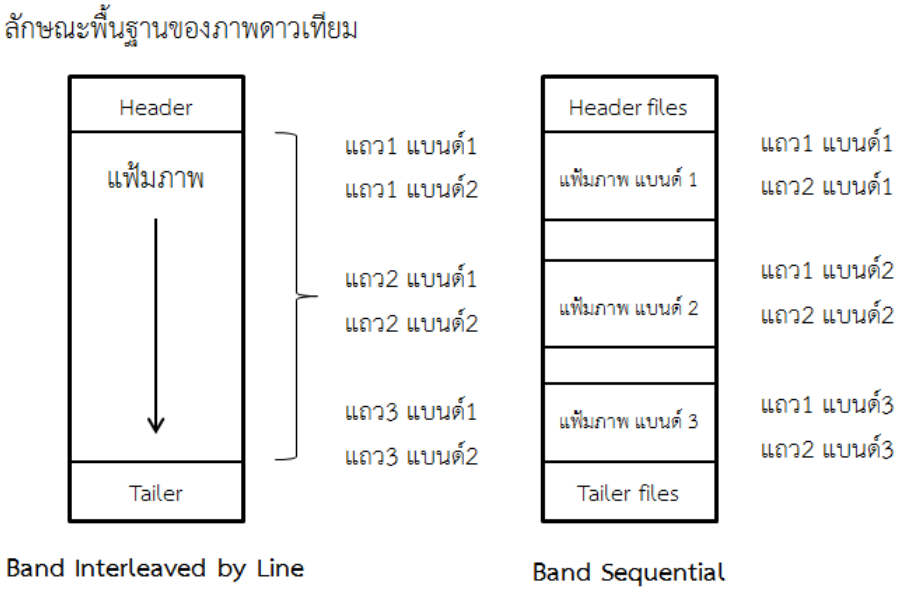


รูปที่ 2.22 การแสดงค่าเป็นตัวเลขใน 8 บิต [12]

จำนวนของค่าความส่องสว่างในภาพเชิงตัวเลข จะถูกกำหนดโดยจำนวนของบิตที่มีอยู่ ตัวอย่างเช่น 8 บิตในรูปที่ 5.2 ทำให้มีค่าความส่องสว่างได้ 256 ค่า หรือมีค่าได้ตั้งแต่ 0 ถึง 255 (27+26+25+24+23+22+21+20 = 128+64+32+16+8+4+2+1= 255) ดังนั้น จำนวนบิตจะบอกถึงความละเอียดเชิงมาตรรังสีของภาพดาวเทียม (Radiometric resolution) ภาพดาวเทียมรายละเอียดสูงในปัจจุบัน มีความละเอียดเชิงมาตรรังสีถึง 32 บิต ภาพที่มีความละเอียดเชิงมาตรรังสีมาก จะยิ่งแยกข้อมูลได้ละเอียดมาก ความละเอียดของสีจะมากขึ้นการเก็บข้อมูลในรูปนี้จะทำให้ง่ายต่อการเก็บข้อมูลไว้ในสื่อต่างๆ เช่น แผ่น CD เทป หรืออื่นๆ ที่สามารถเก็บข้อมูลเชิงตัวเลขได้ และสามารถนำข้อมูลไปใช้ในระบบคอมพิวเตอร์ได้ข้อมูลภาพ ดาวเทียมที่ได้รับมา ไม่ได้ถูกจัดเก็บในรูปของภาพแต่จะจัดเก็บเป็นตัวเลขแต่ละจุดภาพที่ต่อเนื่องกัน โดยทั่วไปมีการจัดเก็บเป็น 3 รูปแบบ (format) ดังรูปที่ 2.23 คือ

- BIL (Band Interleaved by Line) เป็นรูปแบบการเก็บข้อมูลเป็น แต่ละแถวสแกนของแต่ละแบนด์ข้อมูลแถวหนึ่งๆ ของทุกแบนด์จะถูกเก็บเป็นลำดับต่อเนื่องกันภายในแฟ้มข้อมูล
- BSQ (Band Sequential) เป็นรูปแบบการเก็บข้อมูล แยกที่ละแบนด์

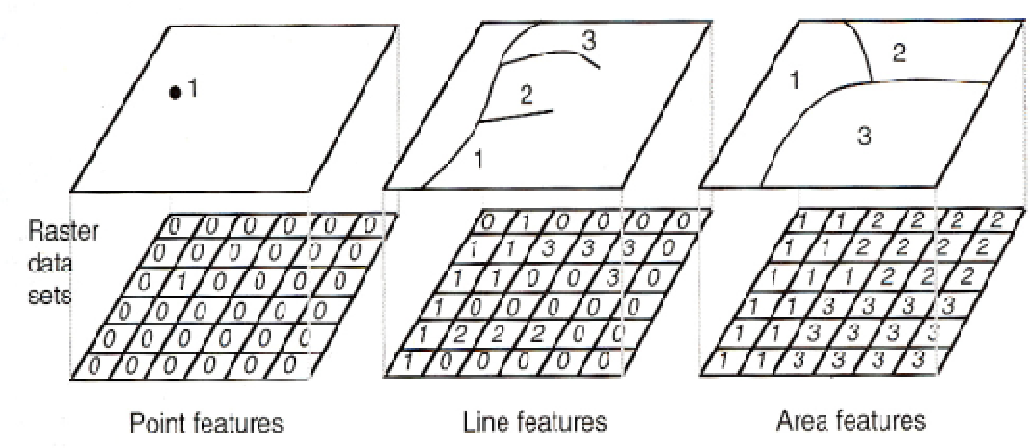
- BIP (Band Interleaved by Pixel) เป็นรูปแบบการเก็บข้อมูลคล้ายกับ BIL แต่จะเก็บที่ละจุดภาพแทนที่จะเก็บทีละแถว



รูปที่ 2.23 รูปแบบการเก็บข้อมูลภาพ [12]

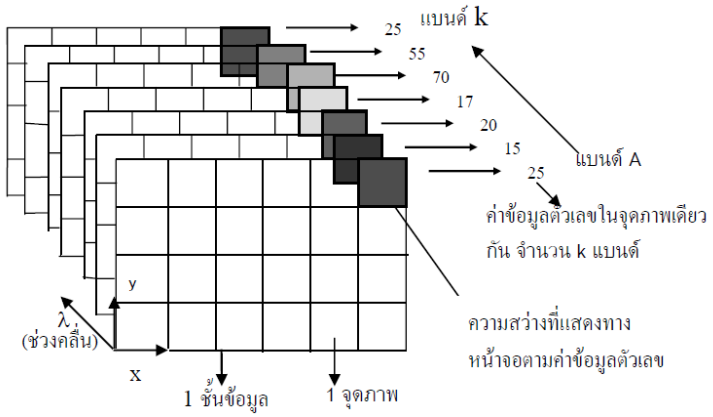
การเลือกเก็บข้อมูลภาพในรูปแบบใด ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้ เช่น ถ้าผู้ใช้ต้องการโหลดภาพทั้งภาพ และทุกแบนด์ในเวลาเดียวกัน ให้เลือกใช้ BIL หรือ BSQ แต่ถ้าผู้ใช้รู้ตำแหน่งแน่นอนของภาพ และต้องการตัดเอาพื้นที่เพียงบางส่วน ให้ใช้รูปแบบ BIP เพราะสามารถกำหนดตำแหน่งของจุดภาพได้

ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม เป็นข้อมูลแบบตัวเลขที่จัดเก็บในรูปกริด (Grid) ดังรูปที่ 2.24 หรือตารางของตัวเลขที่มีจุดอ้างอิงตามแนวนอนและแนวตั้ง แต่ละส่วนประกอบเรียกว่าจุดภาพ ซึ่งหมายถึง ส่วนที่เล็กที่สุดของภาพ (พื้นที่ที่ถูกสแกน) ที่มีค่าค่าหนึ่ง เนื่องจากพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าที่วัดได้ของแต่ละจุดภาพถูกแปลงให้อยู่ในรูปของค่าตัวเลข (Digital number) จึงเรียกภาพที่แสดงข้อมูลเชิงตัวเลขนี้ว่า ภาพเชิงตัวเลข ตัวอย่าง ภาพที่มีลักษณะเชิงตัวเลข

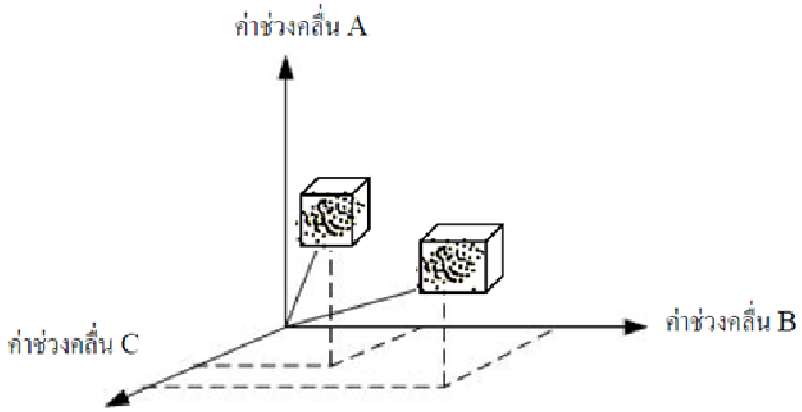


รูปที่ 2.24 โครงสร้างข้อมูลแบบเซลล์ที่ประกอบด้วยแถวและคอลัมน์ หรือ แบบกริด [12]

กลุ่มของเซลล์จะเป็นตัวแทนลักษณะต่างๆ ค่าของแต่ละเซลล์ จะแสดงถึงค่าของลักษณะนั้นๆ ลักษณะของภาพถ่ายดาวเทียม ตำแหน่งจุดภาพเดียวกันในแต่ละแบนด์ จะอยู่ตรงกัน ข้อมูลภาพของแต่ละแบนด์ จะถูกเก็บเป็นแต่ละชั้นข้อมูล (Layer) จุดภาพใดในแบนด์ใดที่จับค่าการสะท้อนได้สูง ก็จะมีค่าตัวเลขสูง และแสดงเป็นความสว่างบนจอภาพตามค่าตัวเลข จุดภาพที่มีค่าตัวเลขเป็น 0 จะแสดงเป็นสีมืด การเพิ่มค่าตัวเลข ก็จะเพิ่มโทนสว่างขึ้น จากดำ ไปเทา และขาวค่าตัวเลขสูงสุด จะแสดงเป็นสีขาวสว่าง สำหรับภาพที่มีจำนวน k แบนด์ แต่ละจุดภาพจะมีระดับโทนสีเทา k ค่า ซึ่งแต่ละค่าจะเป็นของแต่ละแบนด์ ดังรูปที่ 2.25 ดังนั้นระดับโทนสีเทาของภาพดาวเทียม k ค่า จะมีพื้นที่เชิงช่วงคลื่น k มิติ (k dimensional spectral space) ซึ่งแต่ละจุดภาพจะมีขนาดและทิศทาง (Vector) ในพื้นที่เชิงช่วงคลื่น ดังรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.25 ค่าข้อมูลในแบบราสเตอร์ของภาพดาวเทียมที่ถ่ายด้วย 7 แบนด์ [12]



รูปที่ 2.26 ขนาดและทิศทาง (เส้นทึบ) ของแต่ละจุดภาพในพื้นที่เชิงช่วงคลื่น 3 มิติ [12]

เนื่องจากภาพดาวเทียมอยู่ในรูปตัวเลข ดังนั้น ข้อมูลต่างๆ ที่เป็นตัวเลขสามารถนำมาประมวลผลทางคอมพิวเตอร์ โดยผ่านปฏิบัติการทางคณิตศาสตร์ เพื่อทำให้ภาพเด่นชัดขึ้น ง่ายต่อการแปลหรือช่วยในการแปลภาพ หรือวัตถุประสงค์อื่น เทคนิคที่ใช้ในแต่ละกระบวนการ ขึ้นอยู่กับผลลัพธ์ที่เราต้องการ

2.8.3 ชนิดของตัวเลข (Numeral type) ที่บรรจุอยู่ในระบบราสเตอร์ทั่วไป

ช่วงตัวเลขหรือชนิดของตัวเลขที่ใช้ในระบบราสเตอร์ จะเป็นตัวบอกว่าชั้นข้อมูลนั้นๆ จะถูกแสดง หรือสามารถนำไปประมวลผลได้อย่างไร ตัวอย่างเช่น ชั้นข้อมูลความสูง ที่มีค่าในช่วง 550 ถึง 560 จะถูกใช้ต่างกับชั้นข้อมูลที่มีค่าแค่ 1, 2 หรือ 3 ซึ่งเป็นตัวแทน น้ำ ดิน พืช อย่างไรบ้าง ค่าตัวเลข ในชั้นข้อมูลระบบราสเตอร์โดยทั่วไปจะเป็นตัวเลขดังนี้ คือ

- ตัวเลขแบบแยกประเภท (Nominal) แสดงถึง ค่าตัวเลขที่ถูกจัดแบ่งแบบง่ายๆ และแทนชื่อ ค่าของตัวเลขไม่มีความสัมพันธ์กับตัวเลข ซึ่งมักจะเป็นตัวเลขที่ให้กับประเภทหรือลำดับขั้นเช่น ดินแต่ละชนิดให้ตัวเลขแตกต่างกัน ชั้นข้อมูลที่มีตัวเลขลักษณะนี้ มักเป็นชั้นข้อมูลที่แสดงเรื่องเฉพาะ (Thematic layer) เช่น ชนิดของดิน การใช้ที่ดิน ถนน แม่น้ำ และมักจะแสดงสารสนเทศในเชิงคุณภาพ

- ตัวเลขแบบอันดับ (Ordinal) แสดงถึง ค่าตัวเลขที่คล้ายกับตัวเลขแบบแยกประเภท แต่มีลำดับ หรือมีช่วงของตัวเลข มักจะสร้างจากตัวเลขแบบแยกประเภท เช่น ดี =1 เลว = 2 เลวที่สุด = 3

- ตัวเลขแบบนับจำนวน (Cardinal) แสดงถึง ค่าตัวเลขที่มีความสัมพันธ์กับสภาพความเป็นจริงหรือมีความหมาย ดังนั้น ตัวเลขที่ปรากฏในแฟ้มข้อมูลจึงเป็นแบบต่อเนื่อง (continuous) ซึ่งมีหลายแบบ คือ

2.8.3.1 ตัวเลขแบบเป็นช่วง (Interval) เป็นตัวเลขที่มีค่าเป็นระเบียบตามลำดับ (Order) แต่ละช่วงห่างจะมีความหมาย และใช้วัดลักษณะบางอย่าง เช่น ความสูง อุณหภูมิ (ปกติค่าแบบช่วงห่างไม่มีค่า 0)

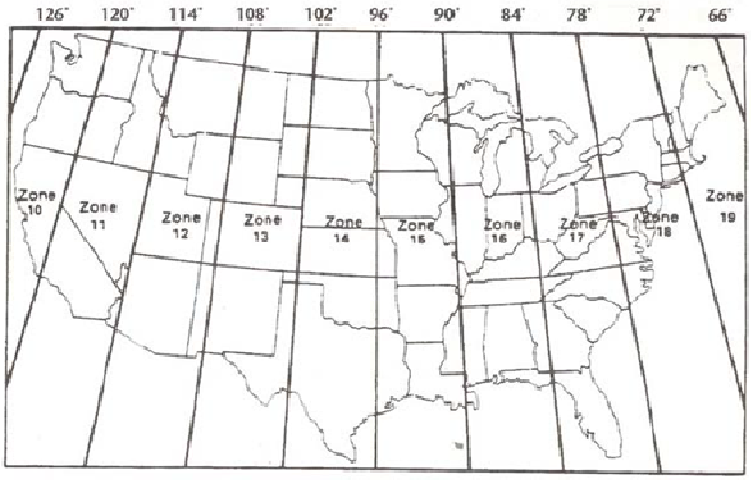
2.8.3.2 ตัวเลขแบบอัตราส่วน (Ratio) เป็น ตัวเลขที่วัดสภาพ (Condition) จะเป็นเลขจำนวนเต็ม หรือ จุดทศนิยมก็ได้ มีค่า 0 ก็ได้ ชั้นข้อมูลที่มีตัวเลขลักษณะนี้ มักเป็นค่าแบบต่อเนื่อง เช่น ค่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ปริมาณน้ำฝน โมเดลระดับพื้นที่ภูมิประเทศแบบตัวเลข (Digital Elevation Model, DEM) และมักจะแสดงข้อมูลในเชิงปริมาณ ภาพดาวเทียมจะมีลักษณะเช่นนี้

2.8.4 ระบบจุดพิกัด (Coordinate system)

ข้อมูลภาพที่มีการจัดเรียงด้วยระบบราสเตอร์ ตำแหน่งของจุดภาพในแฟ้มข้อมูลหรือในภาพที่แสดง หรือในภาพพิมพ์ จะถูกกำหนดโดยระบบจุดพิกัด ระบบจุดพิกัด 2 มิติ กำหนดเป็นตารางตามแนวตั้ง (Column) และแนวนอน (Row) แต่ละตำแหน่งบนกริดจะมีจุด x และ y โดยจุด x แสดงตำแหน่งของแนวตั้ง และ y แสดงตำแหน่งของแนวนอนระบบจุดพิกัดในภาพดาวเทียม มี 2 แบบ คือ

2.8.4.1 พิกัดแฟ้มข้อมูล (File coordinate) แสดงตำแหน่งของจุดภาพในภาพ เช่น ตำแหน่งจุดภาพที่ 1 แถวที่ 3 หรือตำแหน่งจุดภาพที่ 3 แถวที่ 4

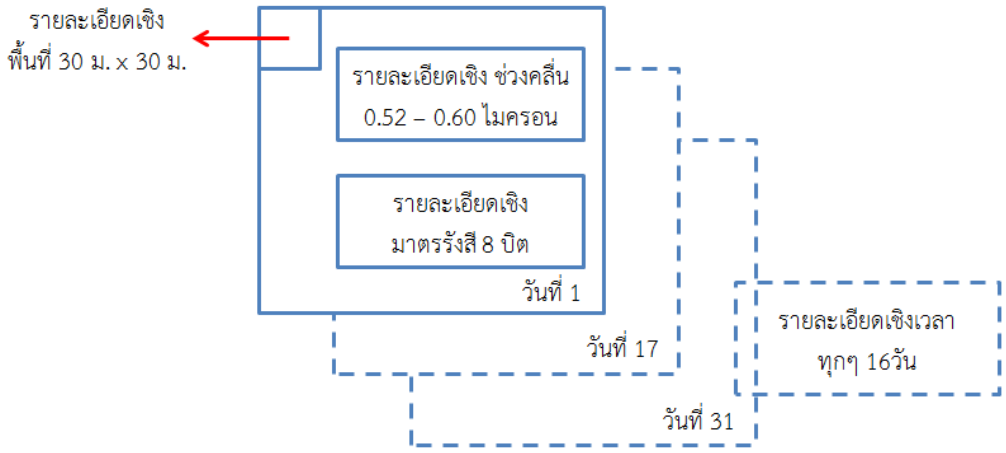
2.8.4.2 พิกัดแผนที่ (Map coordinate) แสดงตำแหน่งจุดภาพแบบเดียวกับแผนที่ภูมิประเทศ ในประเทศไทยใช้ระบบ UTM ในแผนที่ภูมิประเทศ ระบบ UTM เป็นระบบพิกัดสี่เหลี่ยมที่พัฒนาจากสหรัฐอเมริกาและนำไปใช้ทั่วโลก โดยครอบคลุมตั้งแต่ 84°N ถึง 80°S โดยแบ่งออกเป็น 60 โซนทั่วโลก แต่ละโซนครอบคลุมพื้นที่ 6° ลองจิจูด โดยขยายไปทางตะวันออก 3° และตะวันตก 3° จากกึ่งกลางเมอริเดียน เลขที่โซนจะนับจากตะวันตกไปตะวันออก โดยเริ่มจาก 180° เมอริเดียน สำหรับประเทศไทยอยู่ในโซนที่ 47 และ 48 ตัวอย่างการแบ่งพิกัดแผนที่แบบ UTM ของประเทศสหรัฐอเมริกา ดังรูปที่ 2.27



รูปที่ 2.27 การแบ่งพิกัดแผนที่แบบ UTM ของประเทศสหรัฐอเมริกา [13]

2.8.5 คุณสมบัติของภาพดาวเทียม

คุณภาพเริ่มต้นของภาพถ่ายดาวเทียมขึ้นอยู่กับลักษณะของระบบการตรวจจับ ซึ่งพิจารณาจากความสามารถในการแยกแยะ หรือ การให้รายละเอียด (Resolution) ในด้านต่างๆ ความละเอียดใความหมายกว้างๆ ใช้อธิบายถึง จำนวนจุดภาพที่สามารถแสดงได้บนจอ หรือ พื้นที่ในภาคพื้นดินซึ่งแสดงโดย 1 จุดภาพในแฟ้มภาพ แต่เมื่อใช้ในการอธิบายข้อมูลระยะไกล จะมีความหมายเพิ่มขึ้น เป็นรายละเอียดเชิงช่วงคลื่น (Spectral resolution) รายละเอียดเชิงพื้นที่ (Spatial resolution) รายละเอียดเชิงเวลา (Temporal resolution) และรายละเอียดเชิงมาตรรังสี (Radiometric resolution) ดังรูปที่ 2.28



รูปที่ 2.28 รายละเอียด 4 ชนิดของภาพดาวเทียม LANDSAT-TM แบนด์ 2 [14]

รายละเอียดเชิงช่วงคลื่น หมายถึง ช่วงห่างความยาวคลื่นหนึ่งๆ ในแถบแม่เหล็กไฟฟ้า (EMR) ที่เครื่องมือสามารถตรวจจับได้ ถ้าช่วงคลื่นที่เครื่องสามารถตรวจจับได้มีช่วงห่าง แสดงว่า ภาพนั้นมีรายละเอียดเชิงช่วงคลื่นหยาบกว่าภาพที่ใช้เครื่องตรวจจับที่สามารถตรวจจับช่วงคลื่นได้แคบกว่าตัวอย่างเช่น เครื่องตรวจจับของดาวเทียม SPOT ในระบบขาว-ดำ ให้รายละเอียดเชิงช่วงคลื่นที่ละเอียด เพราะบันทึก EMR ระหว่างช่วงคลื่น 0.51 - 0.73 ซึ่งมีระยะห่างระหว่างช่วงคลื่นแคบ ในทางตรงกันข้าม LANDSAT - 7 ระบบขาว-ดำ ให้รายละเอียดเชิงช่วงคลื่นหยาบกว่า เพราะบันทึก ERMระหว่างช่วงคลื่น 0.50 - 0.90 ซึ่งมีระยะห่างช่วงคลื่นกว้างกว่า

รายละเอียดเชิงพื้นที่ หมายถึง ขนาดพื้นที่ของวัตถุที่เล็กที่สุด ที่เครื่องตรวจจับสามารถแยกแยะได้หรือ หมายถึง พื้นที่ในภาคสนามที่แสดงโดย 1 จุดภาพ ตัวเลขยิ่งน้อยแสดงว่ายิ่งมีความละเอียดเชิงพื้นที่สูงเช่น รายละเอียดเชิงพื้นที่ 79 เมตร จะหยาบกว่ารายละเอียดเชิงพื้นที่ 10 เมตรรายละเอียดเชิงพื้นที่ และมาตราส่วนไม่ใช่เรื่องเดียวกัน ภาพที่มีรายละเอียดเชิงพื้นที่เท่ากันแต่อาจจะแสดงภาพในมาตราส่วนที่แตกต่างกันได้ อย่างไรก็ตามภาพที่มีรายละเอียดเชิงพื้นที่สูงกว่าจะสามารถแสดงภาพในมาตราส่วนที่ใหญ่กว่าได้

รายละเอียดเชิงมาตรรังสี หมายถึง ตัวเลขข้อมูลที่จะมีได้ในแฟ้มข้อมูลของแต่ละแบนด์ ซึ่งหมายความถึง จำนวนบิต (bits) ที่แยกแยะได้ในการบันทึกพลังงาน ยกตัวอย่างเช่น การบันทึกพลังงานในรูป 8 บิต (1 Byte) แสดงว่าค่าตัวเลขในแฟ้มข้อมูลจะมีความละเอียดได้ถึง 28 ค่า หรือ มีค่าได้ตั้งแต่ 0 ถึง 255 แต่ถ้าบันทึกพลังงานในรูป 6 บิต ตัวเลขในแฟ้มข้อมูลจะมีค่าเพียง 27 ค่าหรือ มีค่าได้ตั้งแต่ 0 ถึง 127 ดังนั้น การบันทึกพลังงานในรูป 8 บิต จะให้ความละเอียดหรือความแตกต่างของโทนสีได้กว่าการบันทึกพลังงานในรูป 6 บิตรายละเอียดเชิงเวลา หมายถึง ความถี่ของช่วงเวลาที่เครื่องตรวจจับบันทึกภาพในพื้นที่เดียวกัน ยกตัวอย่างเช่น LANDSAT-TM ถ่ายภาพในพื้นที่เดียวกันบนพื้นโลกทุกๆ 16 วัน แต่ SPOTถ่ายภาพในพื้นที่เดียวกันทุกๆ 28 วัน ดังนั้น เช่น LANDSAT-TM จะมีรายละเอียดเชิงเวลามากกว่า SPOT

2.8.6 ปริมาณของข้อมูลภาพ

ภาพดาวเทียมแต่ละภาพ จะมีข้อมูลเป็นจำนวนมาก เพราะการจัดเก็บข้อมูลเป็นแบบราสเตอร์ ปริมาณข้อมูลของภาพหนึ่งๆ คำนวณได้จาก ขนาดของภาพ (Image size) x จำนวนช่วงคลื่น x Quantization โดยที่ขนาดของภาพ คือ จำนวนจุดภาพแต่ละแถวในแนวตั้ง x จำนวนจุดภาพแต่ละแถวในแนวนอนจำนวนช่วงคลื่น คือจำนวนช่วงคลื่นที่ดาวเทียมแต่ละระบบใช้ถ่าย เช่น LANDSAT- TM ถ่ายด้วยระบบ 7 แบนด์ Quantization (รูปแบบข้อมูลที่เก็บพลังงานที่วัดได้) ค่าที่วัดได้แต่ละค่าจะถูกจัดเก็บในรูป binary 6 บิต, 8 บิต (1 byte) หรือสูงกว่า ซึ่งแสดงความเป็นไปได้ในการแยกค่าตัวเลขได้ตั้งแต่ 0 – 127 หรือ 0 - 255 หรือมากกว่า

ตัวอย่างเช่น ภาพของดาวเทียม SPOT-1 มีขนาด 3000 x 3000 จุดภาพ ถ่ายด้วยระบบ 3ช่วงคลื่น และเก็บข้อมูลแบบ 8 บิต ต้องการเนื้อที่ในการเก็บข้อมูลจุดภาพ x 3000 จุดภาพ x 3 แบนด์ x (บิต/8) = 27

2.9 การวิเคราะห์ข้อมูลจากดาวเทียม

การวิเคาระห์ข้อมูลจากดาวเทียม แบ่งกว้างๆ ได้ 2 วิธี คือ การแปลตีความด้วยสายตา (Visual interpretation) และการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ (Image processing and classification) โดยใช้องค์ประกอบหลักสำคัญ (Elements of interpretation) ในการพิจารณา ประกอบด้วย

2.9.1 ความเข้มของสีและสี (Tone / Color) ระดับความแตกต่างของความเข้มของสีหนึ่งๆ ขึ้นอยู่กับค่าการสะท้อนช่วงคลื่นการทำมุมกับแสง ตลอดจนการเรียงตัวของวัตถุ เช่น ป่าไม้ทึบมีคลอโรฟิลล์หรือความเขียวมากปรากฏสีเข้ม ป่าโปร่งมีสีจาง น้ำลึกปรากฏสีดำหรือเข้ม น้ำตื้น หรือ น้ำขุ่นมีสีจาง เป็นต้น

2.9.2 ขนาด (Size) ขนาดของวัตถุที่ปรากฏในภาพซึ่งขึ้นกับความละเอียดของภาพหรือ มาตราส่วนของภาพที่ปรากฏ ในรูปของความยาว กว้าง หรือพื้นที่ เช่น ความแตกต่างระหว่างแม่น้ำลำคลอง พื้นที่ป่าไม้ธรรมชาติ และสวนป่า เป็นต้น

2.9.3 รูปร่าง (Shape) รูปร่างของวัตถุที่เป็นเฉพาะตัว อาจสม่ำเสมอ (Regular) หรือรูปร่างไม่สม่ำเสมอ (Irregular) เช่น สนามบิน พื้นที่นาข้าว ถนน แม่น้ำ คลองชลประทาน และเขื่อนเก็บกักน้ำ เป็นต้น

2.9.4 เนื้อภาพ (Texture) ความหยาบ ละเอียดของผิววัตถุที่รวมกันอยู่ หรือความต่อเนื่องของค่าการสะท้อน เช่น ภาพสวนยางพารามีเนื้อภาพละเอียดเนื่องจากมีขนาดความสูงใกล้เคียงกันซึ่งแตกต่างจากพืชไร่และสวนผสม เป็นต้น

2.9.5 รูปแบบ (Pattern) ลักษณะการจัดเรียงตัวของวัตถุปรากฏเด่นชัดระหว่างความแตกต่างตามธรรมชาติและสิ่งที่มนุษย์สร้างขึ้น เช่น ความแตกต่างระหว่างแม่น้ำ คลองกับคลองชลประทาน ความแตกต่างระหว่างบ่อ สระน้ำกับเขื่อน เป็นต้น

2.9.6 ความสูงและเงา (Height and Shadow) เงาของวัตถุมีความสำคัญในการพิจารณาความสูง และมุมของดวงอาทิตย์ เช่น เงาบริเวณเขาหรือหน้าผา เงาของเมฆ เป็นต้น

2.9.7 ที่ตั้ง (Site) หรือตำแหน่งของวัตถุที่พบตามธรรมชาติ เช่น พื้นที่ป่าชายเลนพบบริเวณชายฝั่งทะเลท่วมถึง

ความเกี่ยวพัน (Association) วัตถุบางอย่างมีความเกี่ยวพันกับสิ่งแวดล้อมอื่นๆ เช่น บริเวณที่มีต้นไม้เป็นกลุ่มๆ มักเป็นที่ตั้งของหมู่บ้าน ไร่เลื่อนลอยอยู่ในพื้นที่ป่าไม้บนเขา นากุ้งอยู่บริเวณชายฝั่งรวมกับป่าชายเลน เป็นต้น

การแปลภาพเพื่อจำแนกวัตถุได้ดีและถูกต้อง ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่างๆ ดังกล่าวข้างต้นอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างพร้อมๆ กันไป ตามความยากง่ายและมาตราส่วนที่แตกต่างกันไปซึ่งอาจไม่แน่นอนเสมอไป รูปร่าง สี ขนาด อาจใช้องค์ประกอบในการแปลภาพพื้นที่เดียวกันอาจจะใช้องค์ประกอบอื่นก็ได้ ทั้งนี้ การใช้คอมพิวเตอร์จะเป็นการนำเอาเฉพาะค่าการสะท้อน ซึ่งในที่นี้คือ ค่าความเข้ม มาใช้เท่านั้น

นอกจากองค์ประกอบที่กล่าวมาแล้ว ยังต้องพิจารณาคุณลักษณะข้อมูลที่ได้รับจากภาพจากดาวเทียวอีก 3 ลักษณะ คือ

- ลักษณะการสะท้อนช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของวัตถุ (Spectral Characteristic) ซึ่งสัมพันธ์กับความยาวช่วงคลื่นแสงในแต่ละแบนด์ โดยวัตถุต่างๆ สะท้อนแสงในแต่ละช่วงคลื่นไม่เท่ากัน ทำให้สีของวัตถุในภาพแต่ละแบนด์แตกต่างในระดับสีขาว – ดำ และทำให้สีแตกต่างกันในภาพสีผสมด้วย

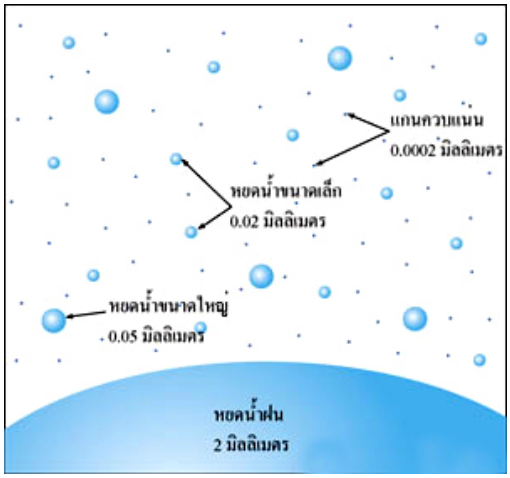
- ลักษณะรูปร่างของวัตถุที่ปรากฏในภาพ (Spectral Characteristic) แตกต่างตามมาตราส่วน และความละเอียดภาพจากดาวเทียม ถ้าคุ้นเคยกับลักษณะรูปร่างวัตถุ ก็จะทำให้ทราบถึงลักษณะที่จำลองในภาพจากดาวเทียม

- ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของวัตถุตามช่วงเวลา (Temporal Characteristic) ซึ่งทำให้สถานะของวัตถุต่างๆ มีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะการเปลี่ยนแปลงตามช่วงฤดูกาล การเปลี่ยนแปลงรายปี เป็นต้น ลักษณะการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวทำให้มีความแตกต่างของระดับสีในภาพขาวดำ และภาพสีผสม เราจึงสามารถใช้ข้อมูลดาวเทียมที่ถ่ายซ้ำที่เดิมในช่วงเวลาต่างๆ มาติดตามการเปลี่ยนแปลงได้ เช่น สามารถติดตามการบุกรุกทำลายป่า การเติบโตของพืชตั้งแต่พื้นที่เพาะปลูกจนถึงการเก็บเกี่ยว เป็นต้น

2.10 เมฆ

เมฆ คือ ละอองน้ำและเกล็ดน้ำแข็งที่รวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนลอยตัวอยู่ในชั้นบรรยากาศ ที่เราสามารถมองเห็นได้ไอน้ำที่ควบแน่นเป็นละอองน้ำ (โดยปกติแล้วจะมีขนาด 0.01

มม) หรือเป็นเกล็ดน้ำแข็ง ดังรูปที่ 2.29 ซึ่งเมื่อเกาะตัวกันเป็นกลุ่มจะเห็นเป็นก้อนเมฆ ก้อนเมฆนี้จะสะท้อนคลื่นแสงในแต่ละความยาวคลื่นในช่วงที่ตามองเห็นได้ ในระดับที่เท่าๆ กัน จึงทำให้เรามองเห็นก้อนเมฆนั้นเป็นสีขาว แต่ก็สามารถมองเห็นเป็นสีเทาหรือสีดำถ้าหากเมฆนั้นมีความหนาแน่นสูงมากจนแสงผ่าน ไม่ได้



รูปที่ 2.29 ละอองน้ำและเกล็ดน้ำแข็ง [15]

สิ่งที่ช่วยให้เกิดการกลั่นตัวของไอน้ำเป็นก้อนเมฆ คือ ฝุ่นผงเล็กๆ หรือ เกลือในบรรยากาศที่มีคุณสมบัติดูดน้ำในบรรยากาศได้ดี เราเรียกปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้ว่า อนุภาคกลั่นตัว (Condensation nuclei) ซึ่งการกลั่นตัวของไอน้ำในบรรยากาศจะไม่เกิดขึ้นหากบรรยากาศปราศจากฝุ่นผง แม้ว่าไอน้ำจะอิ่มตัวแล้วก็ตาม

2.10.1 การแบ่งประเภทและ ชนิดของเมฆ

2.10.1.1 แบ่ง ตามรูปร่าง

เมฆนั้นแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ แบบเป็นชั้น (Layered) ในแนวนอน และ แบบลอยตัวสูงขึ้น (Convective) ในแนวตั้ง โดยจะมีชื่อเรียกว่า สเตรตัส (Stratus ซึ่งหมายถึงลักษณะเป็นชั้น) และ คิวมูลัส (Cumulus ซึ่งหมายถึงทับถมกันเป็นกอง) ตามลำดับ นอกจากนี้แล้วยังมีคำที่ใช้ในการบอกลักษณะของเมฆอีกด้วย

- สเตรตัส (Stratus) หมายถึง ลักษณะเป็นชั้น
- คิวมูลัส (Cumulus) หมายถึง ลักษณะเป็นกองสุม
- เซอร์รัส (Cirrus) หมายถึง ลักษณะเป็นลอนผม
- นิมบัส (Nimbus) หมายถึง ฝน

2.10.1.2 แบ่งตามระดับความสูง

เมฆยังอาจแบ่งเป็น 4 กลุ่ม ตามระดับความสูงของเมฆ โดยระดับความสูงของเมฆนี้จะวัดจากฐานของก้อนเมฆ ไม่ได้วัดจากยอด โดย Luke Howard เป็นผู้นำเสนอวิธีการแบ่งกลุ่มแบบนี้ แก่ Askesian Society ในปี ค.ศ. 1802

ซึ่งการแบ่งตามระดับความสูงจะใช้ในการตรวจและแบ่งชนิดของเมฆทาง อุตุนิยมวิทยาสำหรับเป็นมาตรฐานเดียวกันเพื่อผลทางการวิเคราะห์สภาพลมฟ้าอากาศการพยากรณ์โดยใช้ความสูงของฐานเมฆเป็นหลักในการแบ่งชนิด ซึ่งลักษณะของเมฆแต่ละชนิดนั้นสามารถที่จะบอกให้ทราบถึงแนวโน้มลักษณะของ สภาวะอากาศที่จะเกิดขึ้นล่วงหน้าได้ เช่น ถ้าในท้องฟ้ามีเมฆก่อตัว ในทางแนวตั้งแสดงว่าอากาศกำลังลอยตัวขึ้น หมายถึง สภาวะของอากาศก่อนที่จะเกิดลมพายุ หรือถ้าเมฆในท้องฟ้าแผ่ตามแนวนอนเป็นชั้นๆ หมายถึง สภาวะอากาศที่สงบและจะมีกระแสลมทางแนวตั้งเล็กน้อย

หรือถ้าเมฆในท้องฟ้าก่อตัวทางแนวตั้งสูงใหญ่ หมายถึงลักษณะของเมฆ พายุฟ้าคะนอง ที่เรียกว่า เมฆคิวมูโลนิมบัส ฝนจะตกหนักและมีฟ้าแลบ ฟ้าร้อง บางครั้งอาจมีฟ้าผ่าลงมายังพื้นดินด้วย ซึ่งเมฆพายุฟ้าคะนองนี้เป็นอันตรายต่อเครื่องบินขนาดเล็กเป็นอันมาก

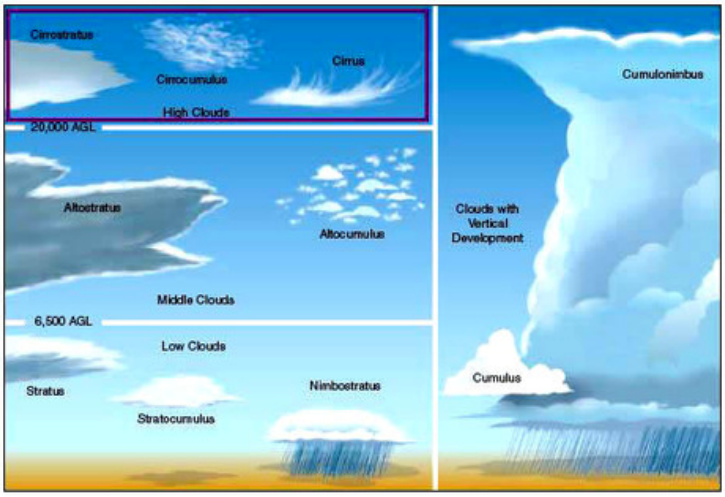
- เมฆระดับสูง (High Clouds)

ก่อตัวที่ความสูงมากกว่า 16,500 ฟุต (5,000 เมตร) ในบริเวณที่อุณหภูมิต่ำในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ ที่ความสูงระดับนี้น้ำส่วนใหญ่นั้นจะแข็งตัว ดังนั้นเมฆจะประกอบด้วยผลึกน้ำแข็ง เมฆในชั้นนี้ส่วนใหญ่มักจะมีลักษณะเป็นก้อนเล็กๆ และ มักจะค่อนข้างโปร่งใส ดังรูปที่ 30

- เมฆเซอรัส (Cirrus) มีฐานสูงเฉลี่ย 10,000 เมตร มีลักษณะเป็นฝอยปุยสีขาวเหมือนขนนกบางๆ หรือเป็นทางยาว และอาจมีวงแสง (Halo) ด้วย

- เมฆเซอโรคิวมูลัส (Cirrocumulus) มีฐานสูงเฉลี่ย 7,000 เมตร มีลักษณะเป็นเกล็ดบางๆ สีขาว หรือเป็นละอองคลื่นเล็กๆ อยู่ติดกัน บางตอนอาจแยกจากกันแต่จะอยู่เรียงรายกันอย่างมีระเบียบ โปร่งแสง อาจมองเห็นดวงอาทิตย์หรือดวงจันทร์ได้

- เมฆเซอโรสเตรตัส (Cirrostratus) มีฐานสูงเฉลี่ย 8,500 เมตร มีลักษณะเป็นแผ่นเยื่อบางๆ โปร่งแสงเหมือนม่านติดต่อกันเป็นแผ่นในระดับสูง มีสีขาวหรือน้ำเงินจางปกคลุมเต็มท้องฟ้าหรือเพียงบางส่วน เป็นเมฆที่ทำให้เกิดวงแสงสีขาวหรือมีวงแสง (Halo) รอบดวงอาทิตย์หรือดวงจันทร์ได้



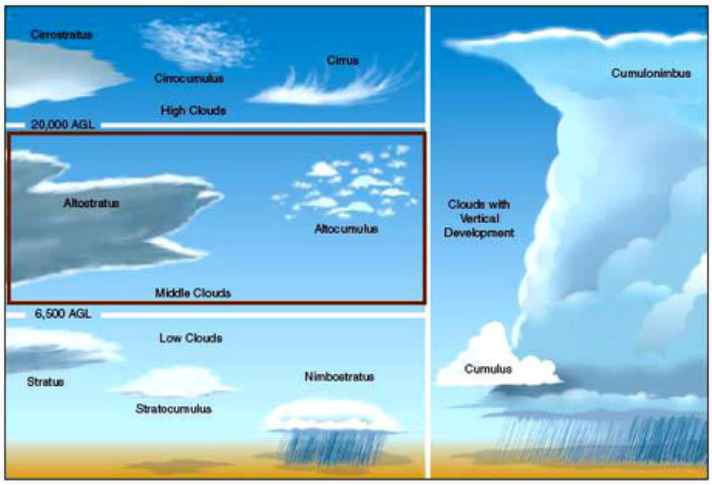
รูปที่ 2.30 เมฆระดับสูง (High Clouds) [16]

- เมฆระดับกลาง (Medium Clouds)

ก่อตัวที่ความสูงระหว่าง 6,500 ฟุต และ 16,500 ฟุต (ระหว่าง 2,000 เมตร และ 5,000 เมตร) เมฆจะประกอบด้วยละอองน้ำ และ ละอองน้ำเย็นยิ่งยวด ดังรูปที่ 2.31

- เมฆอัลโตคิวมูลัส (Altocumulus) มีลักษณะอยู่เป็นกลุ่มๆ คล้ายฝูงแกะ มีสีขาว บางครั้งสีเทา มีการจัดตัวเป็นแถวๆ หรือเป็นคลื่น เป็นชั้นๆ มีเงาเมฆ มีลักษณะเป็นเกล็ดเป็นก้อนม้วนตัวอาจมี 2 ชั้น หรือมากกว่านั้น อาจมีแสงทรงกลด (Corona)

- เมฆอัลโตสเตรตัส (Altostratus) มีลักษณะเป็นแผ่นหนา บางสม่ำเสมอในชั้นกลางของบรรยากาศมองดูเรียบเป็นปุยหรือฝอยละเอียดแผ่ออกเป็นลูกคลื่น ปกคลุมเต็มท้องฟ้า มีสีเทาหรือน้ำเงินอ่อน และอาจมีบางส่วนที่บางจนแสงอาทิตย์จะส่องผ่านลงมายังพื้นดินได้อาจมีแสงทรงกลด (Corona)



รูปที่ 2.31 เมฆระดับกลาง (Medium Clouds) [16]

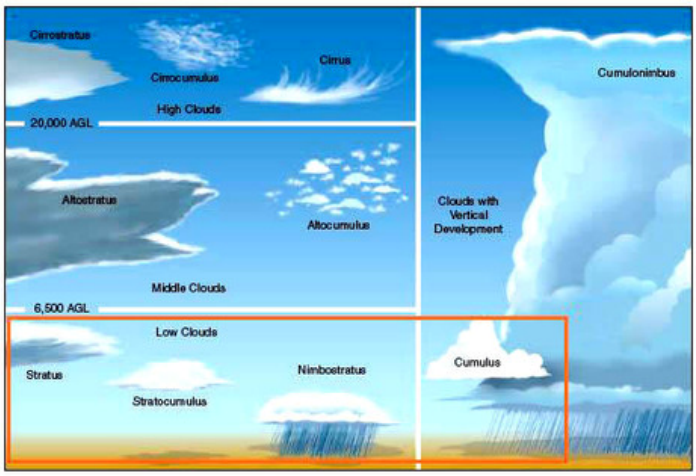
- เมฆระดับต่ำ (Low Clouds)

ก่อตัวที่ความสูงต่ำกว่า 6,500 ฟุต (2,000 เมตร) และ รวมถึงสเตรตัส (Stratus) เมฆสเตรตัสที่ลอยตัวอยู่ระดับพื้นดินเรียก หมอก ดังรูปที่ 2.32

- เมฆสเตรตัส (Stratus) มีลักษณะเป็นแผ่นหนาๆ สม่ำเสมอในชั้นต่ำของบรรยากาศ ใกล้ผิวโลกเหมือนหมอก มีสีเทา มองไม่เห็นดวงอาทิตย์หรือดวงจันทร์ ไม่ทำให้เกิดวงแสง (Halo) เว้นแต่เมื่อมีอุณหภูมิต่ำมากก็อาจเกิดได้

- เมฆสเตรโตคิวมูลัส (Stratocumulus) มีสีเทา ลักษณะอ่อนนุ่ม เป็นก้อนกลมเรียงติดๆ กัน ทั้งทางแนวตั้งและทางแนวนอนทำให้มองเห็นเป็นลอนเชื่อมติดต่อกันไป

- เมฆนิมโบสเตรตัส (Nimbostratus) มีลักษณะเป็นแผ่นหนาสีเทาดำ เป็นแนวยาวติดต่อกันแผ่กว้างออกไป ไม่เป็นรูปร่าง เป็นเมฆที่ทำให้เกิดฝนตกจึงเรียกกันว่าเมฆฝน เมฆชนิดนี้จะไม่มีฟ้าแลบฟ้าร้องเกิดเฉพาะในเขตอบอุ่นเท่านั้น



รูปที่ 2.32 เมฆระดับต่ำ (Low Clouds) [16]

- เมฆแนวตั้ง (Vertical Clouds)

เป็นเมฆที่มีแนวก่อตัวในแนวตั้ง ซึ่งทำให้เมฆมีความสูงจากฐานโดยความสูงของฐานเมฆเฉลี่ย 1,600 ฟุต หรือ 500 เมตร ความสูงของยอดเมฆเฉลี่ยถึงระดับสูงของเมฆเซอรัส ดังรูปที่ 2.33

รูปที่ 2.33 เมฆแนวตั้ง (Vertical Clouds) [16]

- ชนิดของเมฆแนวตั้ง

- เมฆคิวมูลัส (Cumulus) ลักษณะเป็นเมฆก้อนหนามียอดมนกลมคล้ายกะหล่ำดอก เห็นขอบนอกได้ชัดเจน ส่วนฐานมีสีค่อนข้างดำ ก่อตัวในทางตั้งกระจัดกระจายเหมือนสำลี ถ้าเกิดขึ้นเป็นหย่อมๆ หรือลอยอยู่โดดเดี่ยวแสดงถึงสภาวะอากาศดี ถ้ามีขนาดก้อนเมฆใหญ่ก็อาจมีฝนตกภายใต้ก้อนเมฆ ลักษณะเป็นฝนเฉพาะแห่ง

- เมฆคิวมูโลนิมบัส (Cumulonimbus) ลักษณะเป็นเมฆก้อนใหญ่รูปร่างคล้ายภูเขาใหญ่ มียอดเมฆแผ่ออกเป็นรูปร่างคล้ายทั่งที่ใช้ในการตีเหล็ก (Anvil) ฐานเมฆต่ำมีสีดำมืด เป็นเมฆหนา มืดทึบ มีฟ้าแลบ ฟ้าร้อง อาจอยู่กระจัดกระจายหรือรวมกันอยู่ มักมีฝนตกลงมา เรียกเมฆชนิดนี้ว่า “เมฆฟ้าคะนอง”

2.10.2 สีของเมฆ

สีของเมฆนั้นบ่งบอกถึงปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นภายในเมฆ ซึ่งเมฆเกิดจากไอน้ำลอยตัวขึ้นสู่ที่สูง เย็นตัวลง และควบแน่นเป็นละอองน้ำขนาดเล็ก ละอองน้ำเหล่านี้มีความหนาแน่นสูง แสงอาทิตย์ไม่สามารถส่องทะลุผ่านไปได้ไกลภายในกลุ่มละอองน้ำนี้ จึงเกิดการสะท้อนของแสงทำให้เราเห็นเป็นก้อนเมฆสีขาว

ในขณะที่ก้อนเมฆกลั่นตัวหนาแน่นขึ้น และเมื่อละอองน้ำเกิดการรวมตัวขนาดใหญ่ขึ้นจนในที่สุดตกลงมาเป็นฝน ในระหว่างกระบวนการนี้ละอองน้ำในก้อนเมฆซึ่งมีขนาดใหญ่ขึ้นจะมีช่องว่าง ระหว่างหยดน้ำมากขึ้น ทำให้แสงสามารถส่องทะลุผ่านไปได้มากขึ้น ซึ่งถ้าก้อนเมฆนั้น

มีขนาดใหญ่พอ และช่องว่างระหว่างหยดน้ำนั้นมากพอ แสงที่ผ่านเข้าไปก็จะถูกซึมซับไปในก้อนเมฆ และสะท้อนกลับออกมาน้อยมาก ซึ่งการซึมซับและการสะท้อนของแสงนี้ส่งผลให้เราเห็นเมฆตั้งแต่สีขาว สีเทา ไปจนถึง สีดำ ดังรูปที่ 2.34

รูปที่ 2.34 ลักษณะสีเมฆ [16]

โดยสีของเมฆนั้นสามารถใช้ในการบอกสภาพอากาศได้

- เมฆสีเขียวจางๆ นั้น เกิดจากการกระเจิงของแสงอาทิตย์เมื่อตกกระทบน้ำแข็ง เมฆคิวมูโลนิมบัส ที่มีสีเขียวนั้นบ่งบอกถึงการก่อตัวของ พายุฝน พายุลูกเห็บ ลมที่รุนแรง หรือ พายุทอร์นาโด

- เมฆสีเหลือง ไม่ค่อยได้พบเห็นบ่อยครั้ง แต่อาจเกิดขึ้นได้ในช่วงปลายฤดูใบไม้ผลิไปจนถึงช่วงต้นของฤดูใบไม้ร่วง ซึ่งเป็นช่วงที่เกิดไฟป่าได้ง่าย โดยสีเหลืองนั้นเกิดจากฝุ่นควันในอากาศ

- เมฆสีแดง สีส้ม หรือ สีชมพู นั้นโดยปกติเกิดในช่วง พระอาทิตย์ขึ้น และ พระอาทิตย์ตก โดยเกิดจากการกระเจิงของแสงในชั้นบรรยากาศ ไม่ได้เกิดจากเมฆโดยตรง เมฆเพียงเป็นตัวสะท้อนแสงนี้เท่านั้น แต่ในกรณีที่มีพายุฝนขนาดใหญ่ในช่วงเดียวกันจะทำให้เห็นเมฆเป็นสีแดงเข้ม เหมือนสีเลือด

2.11 อุณหภูมิความสว่าง (Tb)

ในการนำภาพถ่ายดาวเทียมมาวิเคราะห์และประมวลผลโดยใช้โปรแกรม MATLAB ในการคำนวณหาค่าอุณหภูมิความสว่าง (Tb) โดยมีขั้นตอนในการหา 2 ขั้นตอน

2.11.1 การหาค่า **E**

นำค่า Digital number ของภาพถ่ายดาวเทียม APT ในการหาค่า E โดยใช้สมการที่ 2.1 โดยแปลงข้อมูลภาพ 8 บิต (0-255) แปลงให้เป็น 10 บิต (0-1023)

$$E = C \cdot S + I \tag{2.1}$$

Where E = Radiance in mW/m2-sr-cm-1
C = ค่า Input DN (0-1023)
S = ค่า Slope (-0.160156 mW/m2-sr-cm-1)
I = ค่า Intercept (159.088867 mW/m2-sr-cm-1)
(National Aeronautics and Space Administration, 1998)

2.11.2 การหาค่าอุณหภูมิความสว่าง **(Tb)** โดยใช้ค่า E ในสมการที่ 2.1

$$Tb = \frac{C_2 V}{\ln\left(1 + \frac{C_1 V^3}{E}\right)} \tag{2.2}$$

Tb = Brightness temperature (K)
C1 = 1.1910659x10-5 mW/m2-sr-cm-1
C2 = 1.438833 cm-K
V = Central wave number for CH4 AVHRR in cm-1
Central wave number of NOAA15 = 925.4075 cm-1
Central wave number of NOAA18 = 926.2947 cm-1
Central wave number of NOAA19 = 928.1460 cm-1

2.12 ภูมิศาสตร์ และ ภูมิภาคต่างๆ ของประเทศไทย

2.12.1 ภาคเหนือ

2.12.1.1 ขนาดและตำแหน่งที่ตั้ง

ภาคเหนือมีพื้นที่ประมาณ 93,691 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 18.26 ของพื้นที่ประเทศ ทิศเหนืออยู่ที่ละติจูด 20 องศา 27 ลิปดาเหนือ ติดกับประเทศพม่าและลาว ทิศใต้อยู่ที่ละติจูด 17 องศา 10 ลิปดาเหนือ ติดกับภาคกลางที่จังหวัดสุโขทัย พิษณุโลกและตาก ทิศตะวันออกอยู่ที่ละติจูด 101 องศา 10 ลิปดาตะวันออก ติดกับประเทศลาว ทิศตะวันตกอยู่ที่ลองจิจูด 97 องศา 22 ลิปดาตะวันออก ติดกับประเทศพม่า

2.12.1.2 ประชากร

ภาคหนือมีจำนวนประชากร 6 ล้านกว่าคน แบ่งออกเป็นกลุ่มใหญ่ๆ ได้คือ กลุ่มที่หนึ่งอาศัยอยู่ในพื้นที่ราบคือ ไทยยอง (โยนก) ไทยเขิน ไทยลื้อ ไทยใหญ่ กลุ่มที่สองคือ ชาวเขาที่อาศัยอยู่บนที่สูง ได้แก่ กระเหรี่ยง ม้ง เย้า ลีซอ มูเซอ และอีก้อ

2.12.1.3 ภูมิประเทศ

ภาคเหนือมีลักษณะธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม คือ พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นแผ่นดิน เทือกเขา และแอ่งหุบเขา เทือกเขา มีป่าไม้ ปกคลุม เป็นแหล่งต้นน้ำลำธาร

2.12.1.4 ภูมิอากาศ

ภาคเหนือมีสภาพอากาศค่อนข้างเย็นในฤดูหนาว เนื่องจากภูมิประเทศมีภูเขามากและห่างไกลจากทะเล ฤดูร้อนอากาศร้อนอบอ้าว ฤดูฝนมีฝนตกทั่วไปและบางแห่งมีฝนตกชุก เพราะได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ที่พัดมาจากมหาสมุทรอินเดีย

2.12.1.5 ลักษณะเศรษฐกิจ

ประชากรส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรม เช่น ทำนา ทำสวน ทำไร่ นอกจากนี้ยังมีอุตสาหกรรมอื่นๆ อีก เช่น อุตสาหกรรมแปรรูปผลผลิตทางเกษตร

2.12.2 ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

2.12.2.1 ขนาดและตำแหน่งที่ตั้ง

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีพื้นที่ประมาณ 169,854 ตารางกิโลเมตร ทิศเหนืออยู่ที่ละติจูด 18 องศา 27 ลิปดาเหนือ ติดกับประเทศลาว ทิศใต้อยู่ที่ละติจูด 14 องศา 7 ลิปดาเหนือ ติดกับประเทศกัมพูชา ทิศตะวันออกอยู่ที่ลองติจูด 105 องศา 37 ลิปดาตะวันออก ติดต่อกับประเทศลาว ทิศตะวันตกอยู่ที่ลองจิจูดที่ 100 องศา 50 ลิปดาตะวันออก ติดกับภาคกลางของไทย

2.12.2.2 ประชากร

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือหนือมีจำนวนประชากร 21 ล้านคน ประกอบไปด้วยคนมากมายหลากหลายกลุ่ม

2.12.2.3 ภูมิประเทศ

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบ โคกโนน เนิน ซึ่งมีความลาดชันน้อย ลักษณะดังกล่าวครอบคลุมพื้นที่ตอนกลาง ทางเหนือ และทางตะวันออกของภูมิภาค ลักษณะภูมิประเทศทั่วไปเป็นที่ราบสูง

2.12.2.4 ภูมิอากาศ

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีสภาพอากาศแบบร้อนชื้นสลับแห้งแล้ง ฤดูฝนมีฝนตกชุกพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นดินทราย

2.12.2.5 ลักษณะเศรษฐกิจ

ประชากรส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรม เช่น เพาะปลูก ทำนา เลี้ยงสัตว์ ทำไร่ นอกจากนี้ยังมีอุตสาหกรรมอื่นๆ อีก เช่น อุตสาหกรรมเกี่ยวกับหินและทราย

2.12.3 ภาคกลาง

2.12.3.1 ขนาดและตำแหน่งที่ตั้ง

ภาคกลางมีพื้นที่ประมาณ 91,759 ตารางกิโลเมตร ทิศเหนืออยู่ที่ละติจูด 17 องศา 45 ลิปดาเหนือ ดินแดนเหนือสุด คือ อำเภอศรีสัชนาลัย จังหวัดสุโขทัย ทิศใต้อยู่ที่ละติจูด 13 องศา 15 ลิปดาเหนือ ดินแดนใต้สุด คือ อำเภออัมพวา จังหวัดสมุทรสงคราม ทิศตะวันออกอยู่ที่ลองจิจูด 101 องศา 35 ลิปดาตะวันออก ดินแดนตะวันออกสุด คือ อำเภอวิเชียรบุรี จังหวัดเพชรบูรณ์ ทิศตะวันตกอยู่ที่ลองจิจูด 98 องศา 55 ลิปดาตะวันออก ดินแดนตะวันตกสุด คือ จังหวัดกำแพงเพชร

2.12.3.2 ประชากร

ภาคกลางมีจำนวนประชากรหนาแน่นต่อพื้นที่มากที่สุด โดยประชากรจะอยู่มากบริเวณที่ราบลุ่ม เป็นศูนย์กลางทางเศรษฐกิจและเป็นหัวใจสำคัญ

2.12.3.3 ภูมิประเทศ

ภาคกลางมีภูมิประเทศเป็นที่ราบลุ่มที่ครอบคลุมพื้นที่กว้างขวางมากที่สุดในประเทศ

2.12.3.4 ภูมิอากาศ

ภาคกลางมีสภาพอากาศแบบทุ่งหญ้าเขตร้อน เนื่องจากมีลักษณะภูมิประเทศที่ราบลุ่มแม่น้ำ มีเทือกเขาล้อมรอบสามด้าน

2.12.3.5 ลักษณะเศรษฐกิจ

ประชากรส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรม เช่น ทำนา ปลูกข้าว ทำสวน ทำไร่ นอกจากนี้ยังมีเขตอุตสาหกรรมอื่นๆ

2.12.4 ภาคตะวันออก

2.12.4.1 ขนาดและตำแหน่งที่ตั้ง

ภาคตะวันออกมีพื้นที่ประมาณ 34,380 ตารางกิโลเมตร ทิศเหนืออยู่ที่ละติจูด 14 องศา 30 ลิปดาเหนือ ติดกับภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ดินแดนเหนือสุด คืออำเภอประจันตคาม จังหวัดปราจีนบุรี ทิศใต้อยู่ที่ละติจูด 11 องศา 32 ลิปดาเหนือ ทิศตะวันออกอยู่ที่ลองจิจูด 102 องศา 52 ลิปดาตะวันออก ทิศตะวันตกอยู่ที่ลองจิจูด 100 องศา 48 ลิปดาตะวันออก ติดกับภาคกลางและอ่าวไทย

2.12.4.2 ประชากร

ภาคตะวันออกมีจำนวนประชากร 3 ล้านกว่าคน ความหนาแน่นประกอบไปด้วยคนหลากหลาย คือ ชาวจีน ชาวลัวะ ชาวเขมร กระจัดกระจาย

2.12.4.3 ภูมิประเทศ

ภาคตะวันออกมีภูมิประเทศทุกรูปแบบเป็นภาคที่มีภูมิประเทศที่หลากหลาย มีทั้งที่ราบชายฝั่ง มีที่ลุ่ม มีภูเขาสูง

2.12.4.4 ภูมิอากาศ

ภาคตะวันออก มีปัจจัยที่ครอบคลุมภูมิอากาศ ได้แก่ ความใกล้ไกลทะเล เป็นเขตรับฝน

2.12.4.5 ลักษณะเศรษฐกิจ

ประชากรส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรม เช่น เลี้ยงสัตว์ ปลูกข้าวและพืชสวน นอกจากนี้ยังมีอุตสาหกรรมอื่นๆ อีก เช่น อุตสาหกรรมด้านการบริการ

2.12.5 ภาคตะวันตก

2.12.5.1 ขนาดและตำแหน่งที่ตั้ง

ภาคตะวันตกมีพื้นที่ประมาณ 56,956 ตารางกิโลเมตร ทิศเหนืออยู่ที่ละติจูด 13 องศา 45 ลิปดาเหนือ ติดกับภาคเหนือ ดินแดนเหนือสุด คือ อำเภอท่าสองยาง จังหวัดตาก ทิศใต้อยู่ที่ละติจูด 10 องศา 59 ลิปดาเหนือ ทิศตะวันออกอยู่ที่ลองจิจูด 100 องศา 06 ลิปดาตะวันออก ทิศตะวันตกอยู่ที่ลองจิจูด 97 องศา 04 ลิปดาตะวันออก ติดกับประเทศพม่า

2.12.5.2 ประชากร

ภาคตะวันตกมีจำนวนประชากร 3 ล้านคน ความหนาแน่นเท่ากับ 57 คนต่อตารางกิโลเมตร มีประชากรน้อยที่สุด เพราะมีเทือกเขาสูงและทุรกันดาร

2.12.5.3 ภูมิประเทศ

มีภูมิประเทศคล้ายภาคเหนือ คือ มีเทือกเขาสลับกับแอ่งหุบเขา เป็นลักษณะเด่นวางตัวเป็นแนวเหนือ-ใต้

2.12.5.4 ภูมิอากาศ

ภาคตะวันตกมีสภาพอากาศแบบทุ่งหญ้าเขตร้อน โดยมีลักษณะอากาศคล้ายคลึงกับภาคเหนือ เป็นเขตเงาฝน เพราะมีเทือกเขาสูงทำให้ฝนตกน้อย และแห้งแล้งที่สุด

2.12.5.5 ลักษณะเศรษฐกิจ

ประชากรส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรม ในด้านพืชไร่ เช่น อ้อย สับปะรด เลี้ยงสัตว์ นอกจากนี้ยังมีอุตสาหกรรมอื่นๆ อีก เช่น อุตสาหกรรมด้านเครื่องปั้นดินเผา

2.12.6 ภาคใต้

2.12.6.1 ขนาดและตำแหน่งที่ตั้ง

ภาคใต้มีพื้นที่ประมาณ 70,715 ตารางกิโลเมตร ทิศเหนืออยู่ที่ละติจูด 11 องศา ติดกับจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ทิศใต้อยู่ที่ละติจูด 5 องศา 45 ลิปดาเหนือ ติดกับประเทศมาเลเซีย ทิศตะวันออกอยู่ที่ลองจิจูด 102 องศาตะวันออกติดกับอ่าวไทย ทิศตะวันตกอยู่ที่ลองจิจูด 98 องศา 17 ลิปดาตะวันออก ติดกับประเทศพม่าและทะเลอันดามัน

2.12.6.2 ประชากร

ภาคตะวันตกมีจำนวนประชากร 8 ล้านคน หรือร้อยละ 13 ของประเทศ ประกอบด้วยกลุ่มชนหลายกลุ่ม คือ ชาวไทยพุทธ ชาวไทยมุสลิม ชาวเล ชาวซาไก

2.12.6.3 ภูมิประเทศ

ภาคใต้มีภูมิประเทศที่มีลักษณะเฉพาะ คือชายฝั่งประกบเทือกเขาสูงที่อยู่ตรงกลาง เป็นที่ราบแคบๆ แถบชายฝั่งทะเล มีส่วนที่สูงที่ดอนจะมีกระจัดกระจาย

2.12.6.4 ภูมิอากาศ

ภาคตะวันตกมีสภาพอากาศแบบป่าดงดิบ มีปริมาณฝนตลอดปีและฝนตกชุก เพราะได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ มีอากาศชุ่มชื้นตลอดปี

2.12.6.5 ลักษณะเศรษฐกิจ

ประชากรส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรม ทั้งการเพาะปลูกและเลี้ยงสัตว์ มีดินฟ้าอากาศแปรปรวน นอกจากนี้ยังมีอุตสาหกรรมอื่นๆ อีก เช่น อุตสาหกรรมด้านหินและทราย

2.13 ฟัซซี่ลอจิก (Fuzzy Logic)

2.13.1 ระบบฟัซซี่

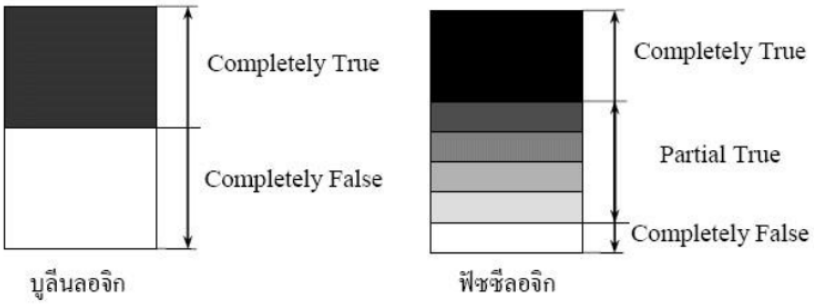
เป็นระบบด้านคอมพิวเตอร์ที่ทางานโดยอาศัยฟัซซี่ซีลอจิกที่คิดค้นโดย L. A. Zadeh ในปี ค.ศ. 1965 ซึ่งเป็นผลงานวิทยานิพนธ์ระดับปริญญาเอก ฟัซซี่ลอจิกเป็นตรรกะที่อยู่บนพื้นฐานความเป็นจริงที่ว่า ทุกสิ่งบนโลกแห่งความเป็นจริงไม่ใช่มีเฉพาะสิ่งมีความแน่นอนเท่านั้น แต่มีหลายสิ่งหลายเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นอย่างไม่เที่ยงและไม่แน่นอน (Uncertain) อาจเป็นสิ่งที่คลุมเครือ (Fuzzy) ไม่ใช่ชัดเจน (Exact) ยกตัวอย่างเช่น เซตของอายุคน อาจแบ่งเป็น วัยทารก วัยเด็ก วัยรุ่น วัยกลางคน และวัยชรา จะเห็นได้ว่าในแต่ละช่วงอายุคนไม่สามารถระบุได้แน่ชัดว่าวัยทารกกับวัยเด็กแยกจากกันแน่ชัดช่วงใด วัยทารกอาจถูกตีความว่าเป็นอายุระหว่าง 0 ถึง 1 ปี บางคนอาจ

ตีความว่าวัยทารกอยู่ในช่วงอายุ 0 ถึง 2 ปี ในทานองเดียวกัน วัยเด็กและวัยรุ่น ก็ไม่สามารถระบุได้ชัดเจนว่าช่วงต่อของอายุควรจะอยู่ในช่วงใด อาจตีความว่าวัยเด็กมีอายุอยู่ในช่วง 1 ถึง 12 ปี หรืออาจเป็น 2 ถึง 10 ปี เป็นต้น สิ่งเหล่าเป็นตัวอย่างของความไม่แน่นอน ซึ่งเป็นลักษณะทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นทั่วไป เซตของเหตุการณ์ที่ไม่แน่นอนเช่นนี้เรียกว่า ฟัซซี่เซต (Fuzzy set)

จากแนวความคิดของ Zadeh เกี่ยวกับความไม่แน่นอนได้มีการขยายแนวคิดเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ มากมายจนนับไม่ถ้วน ได้มีนักวิจัยได้คิดค้นทฤษฎีเสริมกับแนวคิดเดิมจนทำให้ฟัซซี่เซตโดดเด่นในวงการคอมพิวเตอร์ ถึงแม้ว่าฟัซซี่เซตจะนำเสนอจากคนอเมริกันแต่ประเทศอเมริกาก็ไม่ได้นำไปประยุกต์ใช้อย่างจริงจังในช่วงต้นๆ แต่ประเทศญี่ปุ่นเล็งเห็นคุณค่าของศาสตร์ด้านนี้ได้เป็นผู้บุกเบิกฟัซซี่เซตทางการค้า โดยได้นำไปประยุกต์ใช้ในเครื่องใช้ไฟฟ้ามากมาย เช่น เครื่องปรับอากาศ เครื่องซักผ้า หม้อหุงข้าว และอื่นๆ ในยุคปัจจุบันประเทศสหรัฐอเมริกาได้ให้ความสำคัญกับศาสตร์นี้มากขึ้น โดยได้มีการทุ่มงบประมาณให้กับการวิจัยมากขึ้น และฟัซซี่ลอจิกถูกนาไปประยุกต์ใช้งานต่างๆ มากมาย ตัวอย่างเช่น ในโครงการอวกาศ NASA และโครงการด้านการทหาร

2.13.2 แนวคิดพื้นฐานเกี่ยวกับฟัซซี่ลอจิก

ตรรกะแบบฟัซซี่ (Fuzzy logic) เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการตัดสินใจภายในใต้ความไม่แน่นอนของข้อมูลโดยยอมให้มีความยืดหยุ่นได้ ใช้หลักเหตุผลที่คล้ายการเลียนแบบวิธีความคิดที่ซับซ้อนของมนุษย์ ฟัซซี่ลอจิกมีลักษณะที่พิเศษกว่าตรรกะแบบจริงเท็จ (Boolean logic) เป็นแนวคิดที่มีการต่อขยายในส่วนของความจริง (Partial true) โดยค่าความจริงจะอยู่ในช่วงระหว่างจริง (Completely true) กับเท็จ (Completely false) ส่วนตรรกศาสตร์เดิมจะมีค่าเป็นจริงกับเท็จเท่านั้น แสดงดังรูปที่ 2.35



รูปที่ 2.35 ตรรกะแบบจริงเท็จ (บูลีนลอจิก) กับตรรกะแบบฟัซซี่ (ฟัซซี่ลอจิก) [17]

ความเป็นฟัซซี่ (Fuzziness) มีชื่อเรียกว่า มัลติวาลานซ์ (Multivalance) ซึ่งมีค่าที่ความเป็นสมาชิกมากกว่า 2 ค่า และแตกต่างกับไบวาลานซ์ (Bivalance) ที่มีความเป็นสมาชิกเพียง 2 ค่า ฟัซซี่เซต (Fuzzy set) เป็นเครื่องมือทางคณิตศาสตร์ที่สื่อถึง "ความไม่แน่นอน (Uncertainty)" ซึ่งหากกำหนดว่า คนที่อ้วนคือคนที่มีน้ำหนักมากกว่า 75 กิโลกรัม คอมพิวเตอร์จะให้ผลว่าคนที่มีน้ำหนัก 74.50 กิโลกรัม ไม่จัดเป็นคนที่อ้วนจะสร้างและกำหนดรูปแบบ (Modeling) ของลักษณะความไม่แน่นอนที่เป็นความคลุมเครือ ความไม่ตายตัว รวมถึงความขาดข้อมูลบางส่วน โดยทฤษฎีของฟัซซี่เซตจะใช้ลักษณะความหมายตัวแปร (Linguistic) มากกว่าปริมาณ (Quantitative) ของตัวแปร เช่น การหาความหมายของ "คนที่อ้วน" เราไม่สามารถนิยามค่าความอ้วนที่ตรงกันและระบุเป็นหนึ่งเดียว (Identical) สาหรับคนที่อ้วน นาย ก. จะให้ความหมายของ "คนอ้วน" หมายถึงคนที่มีน้าหนักมากกว่า 70 กิโลกรัม นาย ข. ให้ความหมายว่าเป็นคนที่มีน้าหนักมากกว่า 75 กิโลกรัม ซึ่งทั้งสองคนต่างแสดงความหมายของคำว่าคนที่อ้วนโดยเปรียบเทียบและในมุมมองของตัวเองตามน้ำหนักของตน ในการทำงานในมุมมองแบบฐานสอง (Binary sense) จะได้ผลเป็น ใช่ หรือ แต่จะเห็นว่าบุคคลนี้เป็นคนอ้วนน้าหนักเกือบจะ 75 กิโลกรัม และถึงแม้ว่าบุคคลนี้จะมีน้าหนัก 75 กิโลกรัม แต่หากพิจารณาจากกลุ่มคนที่มีน้ำหนักเฉลี่ย 90 กิโลกรัม บุคคลนี้ก็จะไม่จัดอยู่ในกลุ่มคนที่อ้วน แสดงให้เห็นว่าความอ้วนไม่ได้มีลักษณะความไม่แน่นอนแบบสุ่ม จากการศึกษาปัญหาทั่วๆ ไปจะแสดงถึงรูปแบบลักษณะการกระจายของปัญหา

รูปที่ 2.36 เป็นการแสดงให้เห็นว่าแนวทางในการตัดสินใจของปัญหาทั้งหมดมีเพียงส่วนน้อยที่เป็นสิ่งที่แน่นอน (Certainty) ที่เหลือคือสิ่งที่ไม่แน่นอนซึ่งประกอบด้วยความไม่แน่นอนที่มีลักษณะแบบสุ่ม และความไม่แน่นอนที่มีลักษณะเป็นฟัซซี่ หรือคลุมเครือ ซึ่งมีมากกว่าร้อยละ 40 เพราะปัญหาส่วนมากเกี่ยวข้องกับการตัดสินใจของมนุษย์ซึ่งจะตัดสินใจตามพื้นฐานความคิดของตนเป็นหลัก

รูปที่ 2.36 ความไม่แน่นอน (Uncertainty) [17]

ฟัซซี่จะสร้างวิธีทางคณิตศาสตร์ที่แสดงถึงความคลุมเครือ ความไม่แน่นอนของระบบ ที่เกี่ยวข้องกับความคิดความรู้สึกของมนุษย์ เมื่อพิจารณาส่วนประกอบต่างๆ ในความไม่แน่นอนเพื่อกำหนดเงื่อนไขในการตัดสินใจ (Decision making) โดยอาศัยเซตของความไม่เป็นสมาชิก (Set membership)

2.13.3 การประยุกต์ใช้งาน Fuzzy Logic

ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลักดังนี้

1) Fuzzification คือ ส่วนที่แปลงข้อมูลจาก Crisp input เพื่อกำหนดขนาดของฟัซซี่เซต (Fuzzy set) หรือที่เรียกว่าเป็นตัวแปรภาษา (Linguistic)

2) Rule evaluation คือ ส่วนของการกำหนดวิธีการควบคุม ซึ่งได้จากผู้เชี่ยวชาญในรูปแบบของชุดข้อมูลที่เป็นกฎของภาษา (Linguistic rule)

3) Aggregation of the rule outputs คือ กระบวนการในการตรวจสอบข้อเท็จจริงและกฎ เพื่อใช้ในการตีความหาเหตุผล เป็นเหมือนกลไกสำหรับควบคุมการใช้ความรู้ในการแก้ไขปัญหา

4) Defuzzification คือ ส่วนที่แปลงข้อมูลจากฟัซซี่เซต (Fuzzy set) ที่เป็นตัวแปรทางภาษาให้เป็น Crisp input

การอนุมานด้วยระบบฟัซซี่ (Fuzzy inference) ที่นิยมใช้ คือ

- Mamdani-style เป็นระบบฟัซซี่ที่มีความนิยมมากในทางปฏิบัติ เป็นระบบตัวแปรภาษาที่อยู่ในรูปแบบฐานกฎถ้า-ดังนั้น (IF-THEN rule-based form) หรือรูปแบบนิรนัย (Deductive form) สำหรับงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้การอนุมานด้วยระบบฟัซซี่แบบ Mamdani-style เท่านั้น
- Sugeno-style (Most computational efficiency) เป็นระบบการอนุนามแบบรวมค่าน้ำหนัก (Weighted sum) จากหลายๆ กฎ เพื่อรวมเป็นข้อสรุปสุดท้าย

ตัวอย่าง 2-inputs, 1 output problem with 3 rules

Rule 1:

if project_funding is adequate
or project_staffing is small
then risk is low

Rule 2:

if project_funding is marginal
and project_staffing is large
then risk is normal

Rule 3:

if project_funding is inadequate
then risk is high

โดยทั่วไป rules ต่างๆ จะถูกสร้างขึ้นจากองค์ความรู้ของผู้เชี่ยวชาญ (Expert)

กำหนดให้

$x \rightarrow$ project funding
$y \rightarrow$ project staffing
$z \rightarrow$ risk

โดยทั้ง 3 ตัวแปรเป็นตัวแปรที่เรียกกันว่าตัวแปรทางภาษา (linguistic variables)
=> สำหรับ universe of discourse X (project funding)

A_1 = inadequate
A_2 = marginal
A_3 = adequate

ซึ่งทั้ง 3 ตัวเป็น linguistic values สำหรับ project funding linguistic variable‘ x ’

=> สำหรับ universe of discourse Y (project staffing)

B_1 = small

B_2 = large

ซึ่งทั้ง 2 ตัวเป็น linguistic values สำหรับ project staffing linguistic variable‘ y ’

=> สำหรับ universe of discourse Z (risk)

C_1 = low

C_2 = normal

C_3 = high

ซึ่งทั้ง 3 ตัว เป็น linguistic values สำหรับ risk linguistic variable ‘ z ’ เพราะฉะนั้นจากทั้ง 3 rules ข้างต้นที่กำหนดในตัวอย่าง สามารถทำการเขียนใหม่โดยใช้ linguistic ได้เป็น

Rule 1:

if x is A_3
or y is B_1
then z is C_1

Rule 2:

if x is A_2
and y is B_2
then z is C_2

Rule 3:

if x is A_1
then z is C_3

2.13.4 การทำงานของฟัซซี่ลอจิก (fuzzy logic)

สามารถอธิบายเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

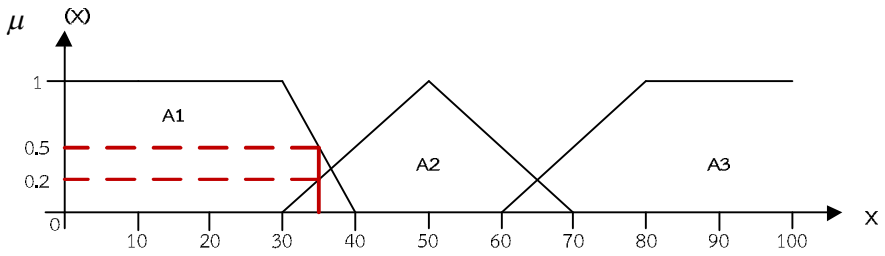
2.13.4.1 Fuzzification

โดย ranges of the universe of discourse กำหนดโดย expert judgments ซึ่งในที่นี้สมมติให้เป็น 0 – 100% ทั้งสำหรับ X (project funding) และ Y (project staffing)

ในที่นี้กำหนดให้

Crisp input x (Project funding) มีค่าเป็น 35% และ crisp input y (Project staffing) มีค่าเป็น 60% (ทั้งสองค่า rated by expert)

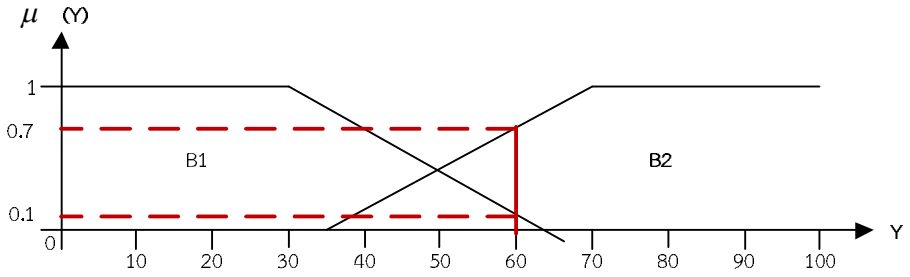
Crisp inputs $\{x, y\}$ จะผ่านค่าไปยังค่าฟังก์ชันสมาชิก (Membership function ของแต่ละตัว โดยจะให้ผลลัพธ์ออกมาเป็นค่าระดับความเป็นสมาชิก (Membership) ซึ่งเป็นฟัซซี่เซต (Fuzzy sets) กระบวนการทำงานดังกล่าวเรียกว่า "Fuzzification"



รูปที่ 2.37 Membership function ของ input x (project funding)

$$\therefore \quad \mu(x = A_1) = 0.5 \qquad\qquad \mu(x = A_2) = 0.2$$

ซึ่งเราเรียกว่าค่าระดับความเป็นสมาชิก (Membership)



รูปที่ 2.38 Membership function ของ input y (project staffing)

$$\therefore \quad \mu(y = B_1) = 0.1 \qquad \mu(y = B_2) = 0.7$$

2.4.4.2 Rule Evaluation

ในขั้นตอนนี้จะต้องใช้ Fuzzy Operation ซึ่งสามารถสรุปลักษณะการทำ Fuzzy Operations หลักๆ ได้ดังนี้

Intersection: (AND, min)

$$\mu_{A\cap B}(x) = \min\left[\mu_A(x), \mu_B(x)\right]$$
$$= \mu_A(x) \cap \mu_B(x) \qquad ; x \in X$$

Union: (OR, max)

$$\mu_{A\cup B}(x) = \max\left[\mu_A(x), \mu_B(x)\right]$$
$$= \mu_A(x) \cup \mu_B(x) \qquad ; x \in X$$

Complement:

$$\mu_{\neg A}(x) = 1 - \mu_A(x)$$

หลังจากทราบลักษณะการใช้งาน Fuzzy operations ต่างๆ แล้ว ขั้นตอนต่อไปในการดำเนินการคือการทำตรวจสอบกฎของฟัซซี่ (Fuzzy rules) ที่ได้กำหนดไว้ได้ดังนี้

Rule 1:

if x is A_3 $\Rightarrow$ if 0
(เนื่องจาก x ไม่มีความเป็นสมาชิกใน A_3)
or y is B_1 $\Rightarrow$ or 0.1
then z is C_1 $\Rightarrow$ then $\max[0, 0.1] = 0.1$

$\therefore \quad \mu_{C_1}(z) = 0.1$

Rule 2:

if x is A_2 $\Rightarrow$ if 0.2
and y is B_2 $\Rightarrow$ and 0.7
then z is C_2 $\Rightarrow$ then $\min[0.2, 0.7] = 0.2$

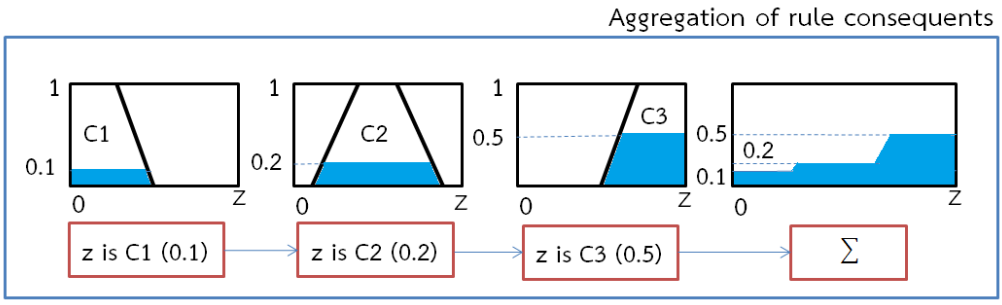
$\therefore \quad \mu_{C_2}(z) = 0.2$

Rule 3:

if x is A_1 $\Rightarrow$ if 0.5
then z is C_3 $\Rightarrow$ then 0.5
(เนื่องจากไม่มี fuzzy operations ใดๆ)

2.13.4.3 Aggregation of rule consequents

กระบวนการ การได้มาของเอาท์พุทรวมกันระหว่างแต่ละฟัซซี่เซต



รูปที่ 2.39 การทำ Aggregation of rule consequents [17]

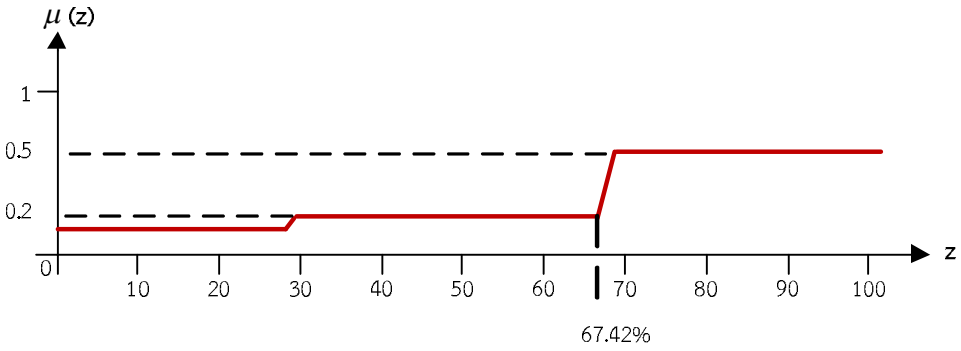
2.13.4.4 Defuzzification

สุดท้ายจะได้เอาท์พุทของระบบฟัซซี่ที่ได้จากการแปลงตัวแปรทางภาษา (Linguistic) เป็น Crisp output

Centroid Technique: (เป็นที่นิยม) ใช้สำหรับหาจุดศูนย์ถ่วง (Center of Gravity: COG)

$$COG = \frac{\int_a^b \mu_A(x)\, x\, dx}{\int_a^b \mu_A(x)\, dx} = \frac{\sum_{x=a}^{b} \mu_A(x)\, x}{\sum_{x=a}^{b} \mu_A(x)} \qquad (2.3)$$

เพราะฉะนั้น จากตัวอย่างที่นำเสนอจะได้



รูปที่ 2.40 การคำนวณหา COG

$$\therefore \quad COG = \frac{\sum_{z=0}^{100} \mu_C(z)\, z}{\sum_{z=0}^{100} \mu_C(z)} \qquad (2.4)$$

$$= \frac{(0\times0.1)+(10\times0.1)+(20\times0.1)+(30\times0.2)+(40\times0.2)+(50\times0.2)+(60\times0.2)+(70\times0.5)+(80\times0.5)+(90\times0.5)+(100\times0.5)}{(0.1+0.1+0.1+0.2+0.2+0.2+0.2+0.5+0.5+0.5+0.5)}$$

$$= \frac{209}{3.1} = 67.42$$

$\therefore$ Crisp output