บทที่ 2

แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้อมูลภาพ (Imagery Data) และ แผนที่ภาพ (Image Map)

จากรายงานเชิงเทคนิค (Technical Report) โดยคณะกรรมการ ISO/TC 211 เพื่อจำแนกประเภทข้อมูลภาพและข้อมูลกริด (Imagery and Gridded data) สำหรับมาตรฐาน ISO 19121 (International Standards Organization [ISO], 2000) มีการแบ่งข้อมูลภาพออกเป็น 2 ประเภทได้แก่ ข้อมูลภาพเชิงธรรมชาติ (Natural Image) และข้อมูลภาพเชิงสังเคราะห์ (Synthetic Image)

ข้อมูลภาพเชิงธรรมชาติคือ การแสดงข้อมูลในรูปของการวัดพลังงานหรือรังสีจากโลกจริงที่สามารถรับรู้ได้จากการอุปกรณ์ตรวจวัดเชิงแสงหรืออุปกรณ์ตรวจวัดอื่นๆส่วนข้อมูลภาพเชิงสังเคราะห์คือ การแสดงข้อมูลเชิงปริภูมิในรูปแบบที่มนุษย์สามารถรับรู้หรือเข้าใจได้ โดยข้อมูลทั้งสองประเภทนี้มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในงานด้านสารสนเทศภูมิศาสตร์หรือภูมิสารสนเทศ (Geographic Information/Geomatics) ข้อมูลภาพทั้งสองชนิดมีองค์ประกอบพื้นฐานที่สำคัญ 4 องค์ประกอบคือ

2.1.1 องค์ประกอบเชิงภาพของเซลล์ (Picture elements of cells)

หมายถึง รูปแบบของการแสดงผลจากขอบเขตเชิงปริภูมิ (Spatial domain) บนพื้นที่จริงให้เป็นขอบเขตอรรถาธิบาย (Attribute domain) สามารถแสดงผลได้หลายรูปแบบ โดยมีรูปแบบอย่างง่ายคือ การเรียงของแถวลำดับแบบสม่ำเสมอ (Rectangular array) ของพื้นที่สี่เหลี่ยม นอกจากนี้ยังสามารถแสดงผลในรูปแบบอื่นได้อีก เช่น ชุดของข้อมูลแบบจุดไม่เป็นระเบียบ (Irregularly spaced points) ชุดของข้อมูลแบบเส้นและข่ายสามเหลี่ยมแบบไม่เป็นระเบียบ (Triangulated Irregular Network) หรือ TIN เป็นต้น

การแสดงผลแบบแรสเตอร์ (Raster) คือ ลักษณะการกระจายของเรขาคณิตในขอบเขตเชิงปริภูมิ เรขาคณิตในที่นี้อาจเป็นพื้นที่สี่เหลี่ยมมุมฉากหรืออาจจะเป็นพื้นที่ของรูปร่างแบบซับซ้อนก็ได้ เช่น รูปหลายเหลี่ยมแบบ ซึ่งตำแหน่งของบริเวณครอบคลุม (Coverage) จะถูกกำหนดโดยค่าอรรถาธิบาย (Attribute value) ข้อมูลเหล่านั้นอาจจะมีการวางเรียงทางเรขาคณิตแบบสม่ำเสมอก็ได้ เช่น แบบจำลองระดับ (DEM)

ค่าอรรถาธิบายที่มีปรากฏบนพื้นที่อาจจะมาจากการจัดเก็บข้อมูลด้วยการสร้างภาพลักษณ์ (Imaging) หรือการจัดเก็บข้อมูลผ่านตัวรับรู้ (Sensor) หรือการจัดเก็บค่าอรรถาธิบาย

จากการคำนวณหรือการรังวัดข้อมูล เช่น ค่าความสูง ค่าระดับของน้ำขึ้น-น้ำลง เมื่อมีการแสดงผล (ของข้อมูลอรรถาธิบาย) ให้สามารถรับรู้ได้เชิงภาพ เราจะเรียกองค์ประกอบที่รวมกันเป็นภาพเหล่านั้นว่า จำนวนของเซลล์หรือจุดภาพ (Pixel) โดยทั่วไปแล้วเราเรียกองค์ประกอบที่ถูกวางเรียงกันจนปรากฏเป็นภาพว่า เซลล์ (Cells)

ค่าพื้นฐานที่สำคัญของแรสเตอร์คือ จำนวนของเซลล์และขนาดของเซลล์ โดยจำนวนของเซลล์ นั้นจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับพื้นที่สำหรับการเรียงตัวของเซลล์ ตัวอย่างเช่น ข้อมูลภาพจะมีจำนวนจุดภาพเท่าใดนั้นจะต้องพิจารณาจากพื้นที่ครอบคลุมของภาพและการแยกต่างเชิงปริภูมิ (Spatial resolution) ของจุดภาพที่ตัวรับรู้สามารถบันทึกได้

นอกจากนี้ยังมี ค่าความลึกทางรังสี (Radiometric Depth) ของจุดภาพที่ผ่านการบันทึกและการจัดเก็บสำหรับ ค่าพื้นฐานของแรสเตอร์เหล่านี้มักจะปรากฏกับข้อมูลภาพเชิงสังเคราะห์ เช่น ข้อมูลภาพได้จากการกราด (Scanned images)

การแสดงสีของภาพ สามารถกระทำได้สองแบบคือ การแสดงสีทางตรง (Direct colors) ซึ่งได้จากค่าของแม่สีต่างๆ และการแสดงสีทางอ้อม (Indirect colors) โดยอาศัยข้อมูลเชิงลักษณะประจำของจุดภาพเปรียบเทียบกับข้อมูลจานสี (Color palette)

ตัวอย่างของการแสดงสีโดยตรงได้แก่ ข้อมูลภาพที่มีการจัดเก็บข้อมูลแบบ 8 บิต สำหรับแม่สีต่างๆ ทั้งสีแดง สีเขียวและสีน้ำเงินซึ่งทำให้สามารถแสดงสีได้มากถึง 16 ล้านสี เช่น ข้อมูลภาพที่ได้จากการถ่ายด้วยดาวเทียมแล้วนำค่าของแต่ละช่วงคลื่นมาแทนค่าด้วยแม่สีแสง (แดง เขียวและน้ำเงิน) เมื่อแทนค่าแล้วจะได้ข้อมูลภาพที่มีสีสันสามารถแปลตีความภาพเบื้องต้นได้ ส่วนการแสดงสีโดยอ้อมนั้นปกติแล้วมักจะใช้กับข้อมูลที่ถูกจำกัดระดับสีสำหรับการแสดงผล วิธีนี้ส่วนใหญ่แล้วใช้กับงานที่ไม่ต้องการระดับสีมากนัก

การเรียงตัวของเซลล์นั้นโดยทั่วไปมักจะกำหนดให้เซลล์ต่างๆมีขนาดที่เท่ากัน (ความกว้างและความยาว) และมีการวางเรียงต่อกันแบบสม่ำเสมอทั้งแถว (Row) และสดมภ์ (Column) นอกจากนี้ยังสามารถทำการวางเรียงเซลล์ได้อีกหลายแบบ (แนบในภาคผนวก ก) เช่น แบบซิกแซกหรือการเรียงตัวของเซลล์ที่มีขนาดของเซลล์ไม่เท่ากัน เป็นต้น

2.1.2 คำอธิบายข้อมูล (Metadata)

หมายถึง ข้อมูลหรือสารสนเทศที่ใช้สำหรับอธิบายข้อมูล ซึ่งจำเป็นอย่างมากสำหรับการประมวลผลข้อมูลภาพและข้อมูลกริด เนื่องจากเราไม่สามารถแปลผลหรือประมวลผลข้อมูลภาพและข้อมูลกริดได้หากไม่ทราบว่าค่าเชิงลักษณะประจำของเซลล์เหล่านั้นหมายถึงอะไร

การใช้งานคำอธิบายข้อมูลในงานการสำรวจระยะไกล (Remote Sensing) คือ การอธิบายรายละเอียดการได้มาของข้อมูลจากการรังวัดทางกายภาพ เช่นคุณสมบัติเชิงเสปกตรัม คุณสมบัติเชิงคลื่นรังสีและคุณสมบัติเชิงเรขาคณิต คำอธิบายข้อมูลเหล่านี้จะมีการระบุความถูกต้องและความคลาดเคลื่อนที่ต่างๆ เพื่อความสะดวกและความถูกต้องในการทำงานขั้นต่อไป

นอกจากกระบวนการผลิตข้อมูลภาพแล้วคำอธิบายข้อมูลยังมีรายละเอียดอื่นๆที่จำเป็น เช่น การแยกต่างเชิงปริภูมิ (Spatial resolution) การสุ่มเชิงปริภูมิ (Spatial sampling) ฟังก์ชันการถ่ายโอนการกล้ำ (Modulation transfer function) ความเปรียบต่าง (Contrast) สภาพไว (Sensitivity) อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal-to-noise ratio) การตอบสนองเชิงเสปกตรัม (Spectral response) การสุ่มเชิงเสปกตรัม (Spectral sampling) และ เกณฑ์สมรรถนะของคุณภาพข้อมูลภาพ (Image quality performance criteria) ข้อมูลเหล่านี้จะมีความสำคัญอย่างมากสำหรับการประมวลผลข้อมูล ขั้นตอนวิธีการประมวล (Processing algorithm) การตรวจแก้ของซอฟต์แวร์ (Software correctness) การพิจารณาอุปกรณ์ส่งออก (Output device consideration) และสิ่งแวดล้อมการปฏิบัติการ (Operating environment)

2.1.3 การปรับยึดเชิงปริภูมิ (Spatial Registration)

หมายถึง ข้อมูลที่ใช้อธิบายว่าข้อมูลเหล่านั้นอยู่ ณ ตำแหน่งใดที่แท้จริงบนพื้นโลก โดยข้อมูลที่ใช้อธิบายตำแหน่งนั้นมีหลายองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องตั้งแต่คุณสมบัติของเลนส์ การบิดเบี้ยวของตัวรับรู้ เรขาคณิตของตำแหน่งเครื่องกราดภาพหรือตัวรับรู้ ไปจนถึงข้อมูลยีออเดติก (Geodetic parameter) ที่ใช้สำหรับการอธิบายขนาดและรูปร่างของโลก ข้อมูลเหล่านี้จะถูกจัดเก็บในรูปของคำอธิบายข้อมูล เนื่องจากข้อมูลเหล่านี้มีความสำคัญอย่างมากทำให้ต้องแยกออกมาจากคำอธิบายข้อมูลและเป็นอีกองค์ประกอบหนึ่งที่สำคัญของข้อมูลภาพและข้อมูลกริด ข้อมูลการปรับยึดยังจำเป็นสำหรับข้อมูลภาพที่ได้จากการกราดข้อมูลภาพแบบกระดาษ และข้อมูลที่ได้จากเอกสารการพิมพ์ (Reproduction Material) ข้อมูลภาพ เช่น ความคลาดเคลื่อนที่จำแนกไม่ได้ (Inherent error) เช่น ลักษณะสกรูของเครื่องกราดที่ใช้งาน เป็นต้น

แบบจำลองตัวรับรู้ (Sensor model) เป็นข้อมูลที่มีประโยชน์ในการปรับแก้ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งของข้อมูลภาพ ซึ่งในแบบจำลองตัวรับรู้ได้มีการกำหนดลักษณะและ

คุณสมบัติของตัวรับรู้ โดยแต่ละแบบได้รับการจำแนกให้มีลักษณะเฉพาะตัวที่ไม่ซ้ำกับแบบจำลองอื่น เช่น ประเภทของตัวรับรู้หรือลักษณะการทำงานของตัวรับรู้ เป็นต้น

แบบจำลองเรขาคณิต (Geometry model) เป็นอีกส่วนที่จำเป็นอย่างมากสำหรับการอธิบายรายละเอียดของตัวรับรู้ว่ามีการทรรศนะโลกอย่างไร หากตัวรับรู้ไม่ได้มีการทรรศนะแบบดิ่งมายังวัตถุบนพื้นโลกควรมีการชดเชยค่าการเอียงและเรขาคณิตของตัวรับรู้สำหรับการประมวลผลข้อมูลภาพเพื่อให้ความถูกต้องทางตำแหน่งน่าเชื่อถือยิ่งขึ้น นอกจากนี้แล้วข้อมูลการอ้างอิงพิกัดโลกก็ควรที่จะระบุอยู่ในส่วนของการปรับยึดเชิงปริภูมิด้วย ไม่ว่าจะเป็นข้อมูลยืออเดติก เช่น กริด (Grid) รูปทรงรี (Ellipsoids) พื้นหลักฐาน (Datum) หรือการฉายแผนที่ เป็นต้น

2.1.4 การเข้ารหัส (Coding)

ความหมายของการเข้ารหัสสำหรับข้อมูลภาพมักจะใช้ในกรณีที่ต้องการอธิบายลักษณะการบีบอัดข้อมูลภาพ การบีบอัดข้อมูลภาพมีเป้าหมายหลักคือ การลดขนาดสำหรับการจัดเก็บข้อมูลภาพ เพื่อความสะดวกในการกระจายข้อมูลและการประมวลผลข้อมูล การบีบอัดข้อมูลภาพและข้อมูลกริดสามารถทำได้ทั้งการบีบอัดแบบคงข้อมูลหลัก (Lossy compression) หรือแบบสูญเสียรายละเอียดและการบีบอัดแบบคงรายละเอียด (Lossless compression) หรือแบบไม่สูญเสียรายละเอียด

ธรรมชาติของข้อมูลภาพและข้อมูลกริดมักจะมีจำนวนจุดภาพมากมายมหาศาล เพื่อให้เกิดความเหมาะสมสำหรับการประมวลผลข้อมูลทำให้บางครั้งจำเป็นต้องใช้การเข้ารหัสเพื่อให้การทำงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ปัจจุบันมีรูปแบบการเข้ารหัสที่นิยมกันอย่างแพร่หลายเช่น Run-Length, JPEG, JPEG2000 หรือ LZW เป็นต้น

ส่วนแผนที่ภาพคือ รูปแบบหนึ่งของแผนที่มีการบันทึกลักษณะสิ่งปกคลุมภูมิประเทศรายละเอียดต่างๆ ที่ได้จากการบันทึกภาพจะคงไว้บนภาพทั้งหมดไม่มีการแปลความหมาย แผนที่ภาพสามารถใช้งานได้เช่นเดียวกับแผนที่ลายเส้นทั่วไปในการหาพิกัด วัดขนาดและรูปร่างของวัตถุ (ไพศาล สันติธรรมนนท์, 2546)

2.2 การอ้างอิงตำแหน่งโลกของข้อมูลภาพ

การอ้างอิงตำแหน่งโลก (Georeference) คือ การอ้างอิงตำแหน่งของชุดข้อมูล (Dataset) กับตำแหน่งบนพื้นโลก (Kresse and Fadaie, 2004) การอ้างอิงตำแหน่งโลกของข้อมูลภาพสามารถทำได้ 2 วิธีคือการอ้างอิงโดยภาพ (Image reference) และการอ้างอิงโดยตัวรับรู้ (Sensor reference)

การอ้างอิงโดยภาพคือ การอ้างอิงที่อาศัยข้อมูลภาพและจุดควบคุมเท่านั้นไม่จำเป็นต้องใช้แบบจำลองเรขาคณิตของตัวรับรู้ที่ใช้ในการถ่ายภาพ วิธีการนี้ใช้สมการพหุนามแบบ2 มิติ (2-Dimentional Polynomial) ทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งบนข้อมูลภาพกับตำแหน่งบนพื้นโลกโดยอาศัยจุดต่างๆที่ปรากฏบนข้อมูลภาพและมีค่าตำแหน่งบนพื้นโลกโดยเรียกจุดเหล่านี้ว่า จุดควบคุม (Control Point)

การอ้างอิงโดยตัวรับรู้คือ การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับค่าที่ใช้ในการถ่ายภาพตัวรับรู้ วิธีการนี้ต้องการค่าตัวแปรหลายชนิด เช่น ค่าความยาวโฟกัส (Focal length) ค่าพิกัดตำแหน่งและค่าความสูงของอุปกรณ์ตรวจวัดขณะถ่ายภาพ เป็นต้น โดยวิธีการนี้เป็นการประยุกต์จากการรังวัดด้วยภาพ (Photogrammetry) และการทำแผนที่จากอวกาศ (Mapping from space)

ผลลัพธ์ที่ได้จากการอ้างอิงตำแหน่งโลกคือ ชุดข้อมูลเหล่านั้นมีความสัมพันธ์กับตำแหน่งบนพื้นโลกทั้งทิศทางและระยะทางซึ่งสามารถใช้ในการรังวัด สำรวจและการทำแผนที่ได้ เช่น การวัดระยะห่างของจุดที่สนใจบนข้อมูลภาพ การคำนวณหาพื้นที่ของปรากฏการณ์หรือวัตถุที่ปรากฏบนข้อมูลภาพ เป็นต้น

ในงานด้านการทำแผนที่ของประเทศไทยนั้นมีการอ้างอิงตำแหน่งโลกที่นิยมใช้อยู่ 2 ประเภทคือการอ้างอิงโดยใช้ระบบพิกัดทางภูมิศาสตร์ (Geographic Coordinate System) ซึ่งเป็นการบอกตำแหน่งของจุดใดๆบนพื้นโลกโดยใช้ตำแหน่งที่ตัดกันของเส้นลองจิจูด (Longitude) กับเส้นละติจูด (Latitude) และการอ้างอิงโดยใช้กริดยูทีเอ็ม (Universal Transverse Mercator Grid) ที่ปัจจุบันเป็นระบบสากลที่นิยมใช้ทั้งทางการทหารและการรังวัดทั่วไป

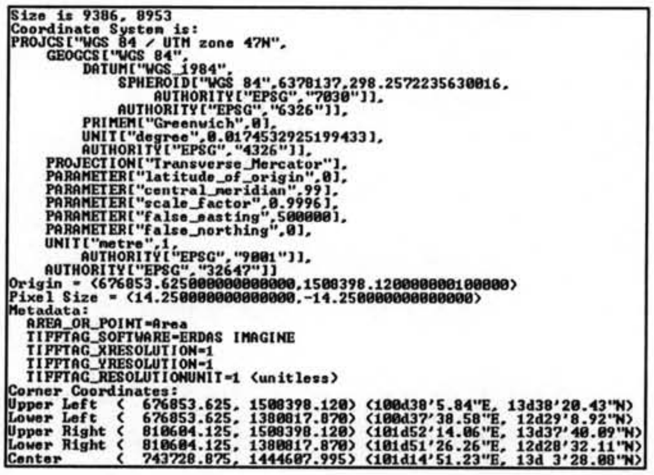
กลุ่มสำรวจปิโตรเลียมแห่งสหภาพยุโรป (European Petroleum Survey Group)ได้มีการกำหนดรหัสเพื่อใช้แทนข้อมูลในการอ้างอิงตำแหน่งโลก โดยใช้เพียงตัวเลขจำนวนไม่เกิน 5 สำหรับการอธิบายเพื่อให้สะดวกในการอธิบาย เช่น ข้อมูลภาพที่มีระบบการอ้างอิงตำแหน่งโลกแบบพิกัดภูมิศาสตร์ ระนาบอ้างอิงแบบ WGS84 สามารถแทนได้ด้วยรหัส EPSG: 4326 จากการศึกษาพบว่าปัจจุบันประเทศไทยมีการระบบอ้างอิงตำแหน่งโลกที่นิยมใช้สำหรับงานสำรวจรังวัดและทำแผนที่อยู่ 6 ประเภทซึ่งแต่ละประเภทสามารถแทนได้ด้วยรหัสดังตารางที่ 2.1 ดังนี้

ตารางที่ 2.1 แสดงระบบการอ้างอิงตำแหน่งโลกและรหัสที่มีการใช้งานในประเทศไทย

ระบบการอ้างอิง	โซน	พื้นหลักฐาน	รหัส EPSG
พิกัดภูมิศาสตร์	-	Indian 1975	4240
พิกัดภูมิศาสตร์	-	WGS 84	4326
พิกัดกริดยูทีเอ็ม	47	Indian 1975	24047
พิกัดกริดยูทีเอ็ม	48	Indian 1975	24048
พิกัดกริดยูทีเอ็ม	47	WGS 84	32647
พิกัดกริดยูทีเอ็ม	48	WGS 84	32648

ปัจจุบันกลุ่มสำรวจปิโตรเลียมแห่งสหภาพยุโรปได้มีการเปลี่ยนแปลงไปเป็นคณะกรรมการด้านการกำหนดตำแหน่งและการสำรวจ (Surveying & Positioning) ของสมาคมระหว่างประเทศของผู้ผลิตน้ำมันและแก๊ส (International Association of Oil & Gas producers) หรือ OGP ผู้ที่สนใจสามารถศึกษาเพิ่มเติมได้ที่ http://www.epsg.org/

การอ้างอิงพิกัดโลกของข้อมูลภาพสามารถทำได้ 2 วิธีคือ การอ้างอิงตำแหน่งโลกโดยอาศัยข้อมูลการปรับยึดเชิงปริภูมิที่จัดเก็บไว้ในส่วนของหัวเรื่อง (Header) ของข้อมูลภาพ และการอ้างอิงตำแหน่งโลกโดยอาศัยแฟ้มข้อมูลโลก (Worldfile) ตัวอย่างของรายละเอียดสำหรับการอ้างอิงที่สำคัญ ได้แก่ พื้นหลักฐาน (Datum) การฉายแผนที่ (Map projection) การแยกต่างเชิงปริภูมิ (Spatial resolution) เป็นต้น



```
Size is 9386, 8953
Coordinate System is:
PROJCS["WGS 84 / UTM zone 47N",
    GEOGCS["WGS 84",
        DATUM["WGS_1984",
            SPHEROID["WGS 84",6378137,298.2572235630016,
                AUTHORITY["EPSG","7030"]],
            AUTHORITY["EPSG","6326"]],
        PRIMEM["Greenwich",0],
        UNIT["degree",0.0174532925199433],
        AUTHORITY["EPSG","4326"]],
    PROJECTION["Transverse_Mercator"],
    PARAMETER["latitude_of_origin",0],
    PARAMETER["central_meridian",99],
    PARAMETER["scale_factor",0.9996],
    PARAMETER["false_easting",500000],
    PARAMETER["false_northing",0],
    UNIT["metre",1,
        AUTHORITY["EPSG","9001"]],
    AUTHORITY["EPSG","32647"]]
Origin = (676853.625000000000000,1500398.120000000100000)
Pixel Size = (14.250000000000000,-14.250000000000000)
Metadata:
  AREA_OR_POINT=Area
  TIFFTAG_SOFTWARE=ERDAS IMAGINE
  TIFFTAG_XRESOLUTION=1
  TIFFTAG_YRESOLUTION=1
  TIFFTAG_RESOLUTIONUNIT=1 (unitless)
Corner Coordinates:
Upper Left  (  676853.625, 1500398.120) (100d38'5.84"E, 13d38'20.43"N)
Lower Left  (  676853.625, 1380817.870) (100d37'38.58"E, 12d29'8.92"N)
Upper Right (  810604.125, 1500398.120) (101d52'14.06"E, 13d37'40.09"N)
Lower Right (  810604.125, 1380817.870) (101d51'26.26"E, 12d28'32.11"N)
Center      (  743728.875, 1444607.995) (101d14'51.23"E, 13d 3'28.08"N)
```

รูปที่ 2.1 แสดงรายละเอียดข้อมูลการปรับยึดเชิงปริภูมิของข้อมูลภาพ

การอ้างอิงตำแหน่งโลกโดยอาศัยแฟ้มข้อมูลโลก (Worldfile) มีการริเริ่มพัฒนาโดยบริษัท Environmental Systems Research Institute หรือที่รู้จักในนามบริษัท ESRI ซึ่งอาศัยชุดข้อมูลแบบตัวเลขจำนวน 6 บรรทัดในการอ้างอิงตำแหน่งของจุดภาพกับตำแหน่งบนระบบพิกัด โดยใช้การ

แปลงแบบสัมพรรค (Affine transformation) ในการคำนวณหาค่าพิกัดของตำแหน่งต่างๆบนข้อมูลภาพ สามารถอธิบายความหมายของชุดตัวเลขบนบรรทัดต่างๆได้ดังตารางที่ 2.3 ดังนี้

ตารางที่ 2.2 แสดงรายละเอียดของข้อมูลเวิลด์ไฟล์

บรรทัดที่	ความหมาย
1	[A] ขนาดของจุดภาพทางแกน X เมื่อเทียบกับหน่วยแผนที่
2	[D] สัมประสิทธิ์ทางแกน X
3	[B] สัมประสิทธิ์ทางแกน Y
4	[E] ขนาดของจุดภาพทางแกน Y เมื่อเทียบกับหน่วยแผนที่ (ปกติมีค่าติดลบ)
5	[C] ค่าพิกัดทางแกน X ของกึ่งกลางจุดภาพบริเวณมุมซ้ายบนของข้อมูลภาพ
6	[F] ค่าพิกัดทางแกน Y ของกึ่งกลางจุดภาพบริเวณมุมซ้ายบนของข้อมูลภาพ

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพิกัดภาพและค่าพิกัดบนระบบพิกัดฉากคือ

$$\begin{bmatrix} x\prime \\ y\prime \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ D & E \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} C \\ F \end{bmatrix}$$

โดย x, y คือค่าพิกัดภาพและ x’ และ y’ คือค่าพิกัด บนระบบพิกัดฉากเมื่อทำการคูณเมตริกซ์แล้วจะได้สมการเพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าพิกัดดังนี้

$x' = Ax + By + C$

$y' = Dx + Ey + F$

<u>ตัวอย่างการคำนวณ</u>

ค่าพิกัดภาพที่วัดได้ x = 120 และ y = 420 และค่าเวิลด์ไฟล์มีดังนี้

บรรทัดที่ 1 [A] 14.25

บรรทัดที่ 2 [D] 0.0

บรรทัดที่ 3 [B] 0.0

บรรทัดที่ 4 [E] -14.25

บรรทัดที่ 5 [C] 669100

บรรทัดที่ 6 [F] 1489200

เมื่อแทนค่าลงในสมการแล้วจะได้ค่าพิกัด x’ = 670810 และ y’ = 1483215 ตามลำดับ

รูปที่ 2.2 แสดงวิธีการคำนวณค่าพิกัดจากข้อมูลเวิลด์ไฟล์และตัวอย่างการคำนวณ

```
1 14.250000000000000
2 0.0
3 0.0
4 -14.250000000000000
5 676860.75000000000
6 1508390.9950000000
```

รูปที่ 2.3 แสดงตัวอย่างรายละเอียดในเวิลด์ไฟล์

เวิลด์ไฟล์นั้นสามารถใช้ร่วมกับไฟล์ข้อมูลภาพทั้งแบบ TIFF และ JPEG โดยมีนามสกุลของเวิลด์ไฟล์คือ tfw (Tiff Worldfile) และ jpw (Jpeg worldfile) ตามลำดับ โดยที่ชื่อของแฟ้มข้อมูลภาพและเวิลด์ไฟล์ต้องมีชื่อที่ตรงกัน (แต่ส่วนขยายหรือนามสกุลของไฟล์ต่างกัน) เช่น โปรแกรมที่รองรับการอ่านเวิลด์ไฟล์จะอ่านค่าพิกัดภาพจากไฟล์ Image.tif แล้วนำค่าพิกัดภาพกับค่าที่ระบุในเวิลด์ไฟล์จากไฟล์ Image.tfw มาทำการคำนวณและแสดงเป็นค่าพิกัดอ้างอิงบนพื้นโลก การใช้งานเวิลด์ไฟล์นี้ยังมีข้อจำกัดบางประการเนื่องจากค่าพิกัดที่อ่านได้นั้นจะเป็นค่าพิกัดในระบบพิกัดฉาก (Cartesian coordinate) เท่านั้นซึ่งไม่มีข้อมูลอื่นๆประกอบเช่น พื้นหลักฐาน การฉายแผนที่ หรือข้อมูลเส้นโครงแผนที่ เป็นต้น

2.3 รูปแบบข้อมูลภาพ

จากรายงานเชิงเทคนิค (Technical Report) มาตรฐานข้อมูลภาพและข้อมูลกริด (Imagery and gridded data) หรือ ISO/TR 19121 ได้มีการปริทัศน์ (Reviews) มาตรฐานรูปแบบที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในปัจจุบันจำนวน 9 มาตรฐานหลักดังนี้

2.3.1 มาตรฐานโดยองค์การระหว่างประเทศว่าด้วยการมาตรฐาน (International Organization for Standardization) หรือ ISO สามารถแบ่งตามคณะกรรมการที่รับผิดชอบได้ดังนี้

2.3.1.1 คณะกรรมาธิการร่วมด้านเทคนิคระหว่างองค์การระหว่างประเทศว่าด้วยการมาตรฐานและคณะกรรมาธิการเทคนิคไฟฟ้าระหว่างประเทศชุดที่ 1 (ISO/IEC JTC 1) ดูแลเรื่องมาตรฐานข้อมูลภาพสำหรับงานเทคโนโลยีสารสนเทศโดยคณะอนุกรรมการ (Subcommittee) ที่รับผิดชอบมีดังนี้

2.3.1.1.1 คณะอนุกรรมการชุดที่ 24 ดูแลข้อมูล Portable Network Graphics (PNG) เป็นรูปแบบที่มีการพัฒนาครั้งแรกโดย World wide Web Consortium (W3C) เพื่อตอบโต้การใช้สิทธิบัตรโดย Unisys สำหรับการประกาศลิขสิทธิ์ข้อมูลแบบ GIF โดยต้องการให้มีการใช้งานแทน GIF จุดเด่นของมาตรฐานนี้คือ มีใช้คุณสมบัติการให้สีและสัญลักษณ์จากมาตรฐาน IHO S-52 ซึ่งรองรับการแสดงสีทั้งแบบ 256 ระดับสี (แบบเดียวกับ GIF) การแสดงสีแบบสีจริง (True color) รองรับการแสดงข้อมูลแบบโปร่งใส (Transparent color) และรองรับภาพเคลื่อนไหว (Animation) ผ่านรูปแบบ Multiple –image Network Graphic (MNG)

2.3.1.1.2 คณะอนุกรรมการชุดที่ 29 ดูแลข้อมูล Joint Photographic Experts Group (JPEG) มาตรฐานข้อมูลภาพแบบนี้เป็นที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายในงานประยุกต์สาขาต่างๆ เนื่องจากสามารถบีบอัดข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพทำให้ข้อมูลที่ได้มีขนาดเล็กลงอย่างมากและใช้ได้ดีกับข้อมูลที่มีโทนสีแบบต่อเนื่อง โดยมีลักษณะที่สำคัญคือ เป็นข้อมูลภาพที่มีการบีบอัดข้อมูลแบบคงข้อมูลหลัก (Lossy Compression) ที่ใช้การแปลงแบบโคไซน์ไม่ต่อเนื่อง (Discrete Cosine Transform หรือ DCT) สามารถใช้ระบบการเข้ารหัสแบบเพิ่มเติมส่วนขยาย (Extended Coding System) สำหรับการบีบอัดที่ต้องการความแม่นยำและประสิทธิภาพที่สูงขึ้น (Gonzalez and Woods, 2002) ปัจจุบันคณะกรรมการชุดนี้ยังดูแลรูปแบบ JPEG2000 ซึ่งเป็นรูปแบบใหม่ที่มีพื้นฐานระบบการเข้ารหัสแบบเวฟเลต (Wavelet) ซึ่งจะให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าแบบเจเพ็กและยังสามารถรองรับการบีบอัดแบบคงรายละเอียด (Lossless compression) ซึ่งต่างจากแบบเจเพ็กที่รองรับการบีบอัดแบบคงข้อมูลหลัก (Lossy compression) เพียงแบบเดียว นอกจากนี้จากการศึกษาเอกสารเรื่อง JPEG2000 requirements and profiles version 6.3ยังพบว่ารูปแบบนี้มีจุดเด่นอีกหลายประการที่เกี่ยวข้องกับงานระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เช่น สนับสนุนการแบ่งส่วนข้อมูลภาพ (Tiling) และการสร้างพีรามิดข้อมูลภาพ (Pyramiding) เป็นต้น

2.3.1.2 คณะกรรมาธิการด้านเทคนิคขององค์การระหว่างประเทศว่าด้วยการมาตรฐานชุดที่ 130 (ISO/TC 130) ดูแลข้อมูล Tag Image File Format for image technology (TIFF/IT) สำหรับงานด้านกราฟิกและมุ่งหวังให้เข้ากันได้กับมาตรฐาน TIFF เวอร์ชัน 6.0

2.3.2 มาตรฐานการแลกเปลี่ยนข้อมูลภูมิศาสตร์เชิงเลข (Digital Geographic Information Exchange Standard) หรือ DIGEST หน่วยงานที่รับผิดชอบคือ Digital Geographic Information Working Group (DGIWG) เป็นมาตรฐานที่ใช้ในกลุ่มประเทศองค์กรสนธิสัญญาป้องกันแอตแลนติกเหนือ (North Atlantic Treaty Organization) ปัจจุบัน (ต้นปี 2550) ได้พัฒนามาตรฐานมาถึงรุ่นที่ 2.1 (พัฒนาจนถึงเดือนกันยายนปี พ.ศ. 2543) ผู้ที่สนใจสามารถเข้าถึงเอกสารมาตรฐานได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่ายที่ https://www.dgiwg.org/digest/DownloadDigest.htm

มาตรฐานนี้คล้ายกับรูปแบบข้อมูลภาพแบบ BIIF ในด้านรูปแบบการแลกเปลี่ยนข้อมูลภาพซึ่งใช้รูปแบบการห่อหุ้ม (Encapsulation) ของ NATO Secondary Image Format (NSIF) สำหรับข้อมูลภาพที่ผ่านการอ้างอิงตำแหน่งโลก ข้อมูลเมทริกซ์ หรือข้อมูลแผนที่แรสเตอร์

ส่วยขยายที่สำคัญสำหรับการบันทึกรายละเอียดต่างๆของข้อมูลของมาตรฐานนี้ได้แก่ GEOPS สำหรับการจัดเก็บข้อมูลการอ้างอิงตำแหน่งโลกที่รวมถึง ข้อมูลยีออเดติก รูปทรงรีหรือการฉายแผนที่ และ GEOLO สำหรับข้อมูลภาพ ข้อมูลเมทริกซ์ ที่ผ่านการดัดแก้ (Rectified)

ด้วยระบบพิกัดภูมิศาสตร์ และ MAPLO สำหรับข้อมูลภาพหรือข้อมูลเมทริกซ์ ที่ผ่านการดัดแก้ (Rectified) ด้วยระบบพิกัดแบบการทำแผนที่ (Cartographic Coordinate System)

มาตรฐาน DIGEST นี้สามารถสนับสนุนการจัดเก็บข้อมูลภาพได้หลายประเภทการใช้งาน เช่น Side-Looking Radar (SL), Forward Looking Infrared Radar (FL), High Resolution Radar (HR), Hyperspectral (HS), Synthetic Aperture Radar (SAR), Infreared (IR), Multispectral (MS), Raster Maps, Location Grid และ Matrix Data (Elevations) เป็นต้น

2.3.3 มาตรฐานการแลกเปลี่ยนข้อมูลเชิงปริภูมิ (Spatial Data Transfer Standard)

เป็นมาตรฐานสำหรับการแลกเปลี่ยนข้อมูลที่ใช้ระหว่างประเทศสหรัฐอเมริกา ออสเตรเลีย นิวซีแลนด์และเกาหลีใต้ ภายใต้การดูแลของสถาบันมาตรฐานแห่งชาติอเมริกา (American National standards Institute) สิ่งที่น่าสนใจของมาตรฐานนี้คือการสร้างคำอธิบายข้อมูลสำหรับการแลกเปลี่ยนข้อมูลเชิงปริภูมิ เช่น สนับสนุนการสร้างข้อมูลรายละเอียดคุณภาพข้อมูล (Data quality report) ระบบพิกัดอ้างอิง หรือข้อมูลด้านความปลอดภัย เป็นต้น รายละเอียดเพิ่มเติมของมาตรฐานนี้สามารถเข้าถึงได้ที่ http://mcmcweb.er.usgs.gov/sdts/

2.3.4 มาตรฐานโดยองค์กรระหว่างประเทศว่าด้วยอุทกศาสตร์ (International Hydrographic Organization) รูปแบบของหน่วยงานนี้ได้รับการพัฒนาภายใต้ชื่อ S-57 สำหรับการแบ่งสรรข้อมูลกระดาษที่ผ่านการกราด (Scanned paper) แผนที่การนำหน (Navigational charts) มาตรฐานนี้ได้มีการพัฒนาให้สนับนุนการทำงานกับข้อมูลเชิงเมทริกซ์และข้อมูลเสียงที่ได้จากโซนาร์เนื่องจากข้อมูลโซนาร์มีมีความต้องการการจัดเก็บที่แตกต่างจากข้อมูลแรสเตอร์ทั่วไป เช่น การจัดเก็บข้อมูลด้านเวลา ข้อมูลตัวรับรู้และข้อมูลแบบพหุมิติ (Multi-dimentional) เป็นต้น ผู้ที่สนใจมาตรฐานนี้สามารถเข้าถึงได้ที่ http://www.iho.shom.fr/PUBLICATIONS/download.htm

2.3.5 มาตรฐานโดยคณะกรรมการด้านดาวเทียมสำรวจโลก (Committee on Earth Observation Satellites) คณะกรรมการด้านดาวเทียมสำรวจโลกหรือ CEOS เป็นองค์กรที่มีเป้าหมายเพื่อความร่วมมือในการวางแผนการใช้งานดาวเทียมเพื่อการสำรวจโลกและเพิ่มการใช้ประโยชน์จากข้อมูลดาวเทียมให้มากที่สุด โดยมาตรฐานสำหรับข้อมูลภาพนั้นได้รับการพัฒนาอย่างหลากหลายตามคุณลักษณะของข้อมูลเชิงภาพจากดาวเทียมที่ประกอบด้วย ข้อมูลดิบ (Raw data) ที่ได้จากตัวรับรู้ทั้งระบบเชิงแสง (Optical) เรดาร์ (Radar) และระบบอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับการสำรวจโลก

มาตรฐานสำหรับการจำแนกประเภทของดาวเทียมและตัวรู้ส่วนใหญ่ที่ใช้งานในปัจจุบันล้วนแต่ได้รับการพัฒนาจาก CEOS ทั้งสิ้น จากการศึกษาสามารถจำแนกโครงสร้างของมาตรฐานได้เป็น 4 ประเภทคือ

2.3.5.1 CEOS Superstructure

คือรูปแบบข้อมูลที่มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายขององค์กรด้านอวกาศ โดยรูปแบบนี้พัฒนาต่อจากรูปแบบของแลนด์แซต (Landsat format) โดยการเพิ่มรูปแบบสำหรับข้อมูลข้อมูล Synthetic Aperture Radar หรือ SAR

2.3.5.2 Catalogue Interoperability Protocol (CIP)

เป็นรูปแบบสำหรับการทำสารบัญแฟ้ม (Catalogue) ของ CEOS Superstructure เพื่อส่งเสริมให้ความร่วมมือระหว่างหน่วยงานด้านอวกาศ

2.3.5.3 สถาปัตยกรรมของ Catalogue Interoperbility Protocol

เป็นมาตรฐานสำหรับการทำงานร่วมกันระหว่างผู้ใช้งานและผู้จัดหาข้อมูล (Data provider) ผ่านระบบ Interoperable Catalogue System หรือ ICS โดยระบบนี้สามารถทำการค้นหา การค้นคืน การเรียกดูและการสั่งซื้อข้อมูลและบริการอื่นๆที่เกี่ยวข้อง

2.3.5.4 คุณสมบัติของ Catalogue Interoperbility Protocol

ประกอบด้วยการทำให้เป็นมาตรฐานในด้านการค้นหา (Search) การค้นคืน (Retrieval) ข้อมูลอรรถธาธิบาย (Attribute) โครงแบบลูกข่ายแบบพลวัต (Dynamic client configuration) กระบวนการสั่งซื้อ (Order procedures) และความปลอดภัย (Security) ภายใต้มาตรฐาน Z39.50 โดยมุ่งหวังให้มีการนำไปใช้ในลักษณะของฟรีแวร์

2.3.6 มาตรฐาน EOSDIS/HDF

เป็นมาตรฐานที่ได้รับการพัฒนาจากโครงการวิจัยด้านการเปลี่ยนแปลงของโลกประเทศสหรัฐอเมริกา (U.S. Global Change Research Program) ในความดูแลขององค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติหรือองค์การนาซา มาตรฐานนี้สามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วนดังนี้

2.3.6.1 การสร้างแบบจำลองข้อมูลเชิงแนวคิด (Conceptual data model)

เป็นแบบจำลองภายใต้ระบบการสำรวจโลก (Earth Observation System) หรือ EOS ในส่วนของระบบสารสนเทศข้อมูล (Data Information System) ที่ได้รับการออกแบบมาเพื่อรองรับการประมวลผล การกระจายและการจัดเก็บข้อมูลจากดาวเทียม เครื่องบินหรืออากาศยาน เนื่องจากข้อมูลที่ได้นั้นมาจากหลายแหล่งทำให้ต้องมีการกำหนดรูปแบบที่แน่นอนเพื่อความสะดวกในการทำงาน จากการศึกษาพบว่าแบบจำลอง EOSDIS นี้มีการจำแนกแบบจำลองข้อมูลออกเป็น 3 ประเภทคือ ข้อมูลแบบกริด (Grid) ข้อมูลแบบแถบ (Swath) และข้อมูลแบบจุด โดยข้อมูลทั้ง 3 แบบมีรูปแบบพื้นฐานสำหรับการจัดเก็บข้อมูลคือแบบอักษรแอสกี (ASCII text) แบบตางราง (Table) และแบบอาเรย์ n มิติ (n Dimensional array) โดยข้อมูลแบบกริดและแบบแถบสามารถจัดเก็บได้ทั้ง 3 รูปแบบ ส่วนข้อมูลแบบจุดนั้นจัดเก็บได้เพียงแบบตารางและแบบอักษรแอสกี เท่านั้น

2.3.6.2 การศึกษารูปแบบข้อมูล Hierarchical Data Format (HDF)

ในการนำแบบจำลองข้อมูลเชิงแนวคิดไปใช้งานจริงนั้นทางองค์การนาซาได้เลือกรูปแบบ HDF เป็นรูปแบบพื้นฐานการพัฒนาสำหรับ EOSDIS เนื่องจากมีจุดเด่นหลายประการคือ

- สนับสนุนการจัดเก็บข้อมูลทุกรูปแบบที่ EOSDIS ต้องการ
- สามารถใช้งานได้หลายระบบ (Portability)
- สะดวกในการพัฒนาและนำไปใช้งานเนื่องจากมีคลังโปรแกรม (library) และเอกสารที่ดีอยู่แล้ว
- ทั้งโปรแกรมและเอกสารไม่เสียค่าจ่าย
- เครื่องที่ใช้สำหรับการประมวลผลและการเรียกดูส่วนใหญ่แล้วไม่เสียค่าใช้จ่าย

2.3.6.3 การพัฒนาแบบจำลองข้อมูลเชิงแนวคิด EOSDIS บนรูปแบบข้อมูล HDF

ขั้นตอนนี้เป็นการเพิ่มแบบจำลองข้อมูล EOSDIS ทั้ง 3 แบบ (แบบกริด แบบแถบและแบบจุด) ให้แก่รูปแบบ HDF (ซึ่งมีอยู่แล้ว 6 แบบจำลองพื้นฐาน) โดยการผสมผนวกรวมทั้งตัวข้อมูลและข้อมูลการอ้างอิงตำแหน่งโลกโดยที่การจัดเก็บยังยังคงให้อยู่ในรูปแบบมาตรฐาน HDF แบบเดิม การทำงานลักษณะนี้จะเรียกรูปแบบใหม่นี้ว่า HDF-EOS ผู้ที่สนใจสามารถเข้าถึงได้ที่ http://hdf.ncsa.uiuc.edu/hdfeos.html หรือที่ http://www.hdfgroup.org/

2.3.7 มาตรฐานโดยสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ (International Telecommunication Union)

ได้แก่มาตรฐาน T.4 และ T.6 มาตรฐานนี้มีการใช้การเข้ารหัสที่แตกต่างกันตามแถวของข้อมูล (Differential line to line coding) ซึ่งมีประสิทธิภาพมากสำหรับข้อมูลภาพเชิงสังเคราะห์ (Synthetic image) เช่น ข้อมูลภาพที่มีตัวอักษรประกอบอยู่ด้วยเนื่องจากข้อมูลแบบนี้มักจะปรากฏพื้นที่ว่าง (White space) หรือพื้นที่ที่มีสีแบบเดียวกันจำนวนมาก รูปแบบข้อมูลภาพนี้น่าจะเหมาะสำหรับข้อมูลภาพประเภทแผนที่กระดาษที่ผ่านการกราด (Scanned paper map)

2.3.8 มาตรฐานโดย Open GIS Consortium (OGC)

สำหรับมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลภาพภายใต้ความรับผิดชอบของ OGC ประกอบด้วย 2 ส่วนที่สำคัญดังนี้

2.3.8.1 OGC Coverage

เป็นการนิยามลักษณะของข้อมูลที่เป็นชนิดย่อย (Subtype) ของ OGC Feature โดย Coverage นั้นหมายถึงข้อมูลหรือสารสนเทศที่เกี่ยวกับโลกที่แสดงในรูปของแรสเตอร์ หรือ Grid coverage เช่นข้อมูลภาพหรือข้อมูลแบบจำลองความสูงภูมิประเทศ (Digital Terrain Model) หรือ DTM

2.3.8.2 Grid Coverage เป็นข้อมูลที่มีลักษณะดังต่อไปนี้

- จัดเก็บข้อมูลได้หลายประเภทต่อหนึ่งกริด (Bit per pixel) เช่น 1, 2, 4 หรือ 8 บิตสำหรับข้อมูลแบบจำนวนเต็มไม่ระบุเครื่องหมาย (Unsigned integer) หรือ 32 และ 64 บิตสำหรับข้อมูลแบบจำนวนจริง (Real)
- มีช่วงคลื่นหรือแบนด์ (Band) ตั้งแต่ 1 ช่วงคลื่นขึ้นไป
- มีมิติ (Dimension) ตั้งแต่ 1 มิติขึ้นไป
- สำหรับข้อมูลแบบหลายช่วงคลื่นสามารถทำการเรียงค่าข้อมูลได้ เช่น ข้อมูล Grid Coverage แบบ 2 มิติ สามารถทำการเรียงข้อมูลแบบแทรกสลับเชิงจุดภาพ (Pixel interleaved) ที่ประกอบด้วย แถว (Row) สดมภ์ (Column) และช่วงคลื่น (Band) หรือทำการเรียงข้อมูลแบบแทรกสลับเชิงเส้น (Line interleaved) ที่ประกอบด้วย แถว ช่วงคลื่น และสดมภ์ เป็นต้น
- รองรับจุดภาพแบบไม่มีค่าข้อมูล (No data value)
- รองรับแบบจำลองการแสดงสีที่หลากหลาย เช่น แบบสีเทา (Grey scale) แบบสีเทียม (Pseudo color) แบบ RGB หรือแบบ CMYK เป็นต้น
- สนับสนุนการทำภาพรวม (Overviews) หรือข้อมูลที่มีการสร้างพีรามิดข้อมูลภาพ

นอกจากการกำหนดลักษณะของข้อมูลภาพแล้ว OGC ยังมีการสร้างข้อกำหนด (Specification) ในด้านการให้บริการข้อมูลผ่านเครือข่ายสำหรับการพัฒนาอุสาหกรรมซอฟแวร์ด้านระบบภูมิสารสเทศที่สำคัญอีกมากมาย เช่น Web Map Service (WMS) Web Feature Service (WFS) และ Web Coverage Service (WCS) เป็นต้น

2.3.9 รูปแบบข้อมูลภาพแบบเฉพาะ (Private formats)

ปัจจุบันมีการใช้งานรูปแบบข้อมูลภาพที่หลากหลายสำหรับงานระบบภูมิสารสนเทศในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการรวบรวมรูปแบบที่แพร่หลายและมีสิทธิบัตรซึ่งประกอบด้วยรูปแบบต่างๆดังนี้

2.3.9.1 Graphic Interchange Format (GIF)

รูปแบบนี้ได้รับการพัฒนาโดย CompuServe ที่มีการใช้การบีบอัดแบบ LZW ปัจจุบันมีการใช้งานไม่ค่อยแพร่หลายมากนักเนื่องจาก Unisys ที่เป็นเจ้าของสิทธิบัตรได้เริ่มบังคับใช้กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับสิทธิบัตรของตน จุดเด่นของรูปแบบนี้คือสามรถแสดงสีได้ 256

ระดับสี มีการบีบอัดข้อมูลภาพ รองรับการแสดงผลแบบภาพเคลื่อนไหวและมีขนาดภาพที่เล็กเหมาะสำหรับการใช้งานผ่านเครือข่าย

2.3.9.3 Tag Image File Format (TIFF)

เป็นรูปแบบที่เป็นลิขสิทธิ์ของบริษัท Aldus มีความยืดหยุ่นสูงสำหรับการจัดเก็บข้อมูลภาพและง่ายสำหรับการแปลตีความข้อมูลเนื่องจากใช้ป้ายระบุ (Tag) ในการอธิบายว่าข้อมูลที่ถูกจัดเก็บนั้นมีลักษณะหรือคุณสมบัติอย่างไร เช่น ป้ายระบุลำดับที่ 259 (สำหรับอธิบายการบีบอัด) มีค่าเท่ากับ 5 หมายความว่า ข้อมูลภาพนี้มีการบีบอัดแบบ Lempel-Ziv-Welch (LZW) เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีป้ายระบุพิเศษสำหรับส่วนขยาย (Extension) เพื่อรองรับงานความต้องการการจัดเก็บข้อมูลเฉพาะบางอย่างสำหรับงานเฉพาะทางบางประเภทและหากมีการเพิ่มเติมข้อมูลลงบนป้ายระบุพิเศษแล้วโปรแกรมทั่วไปก็ยังสามารถเรียกดูข้อมูลภาพได้โดยไม่จำเป็นต้องติดตั้งโปรแกรมเพิ่มเติม จากการศึกษาสามารถสรุปคุณสมบัติที่สำคัญได้ดังนี้

1) ด้านการบีบอัดข้อมูลสามารถรองรับได้หลายประเภทคือ

- ไม่มีการบีบอัด (Uncompressed)
- การบีบอัดคงข้อมูลหลัก (Lossy compression) หรือแบบสูญเสียรายละเอียดเช่น Joint Photographic Expert Group (JPEG) เป็นต้น
- การบีบอัดคงรายละเอียด (Lossless compression) หรือแบบไม่สูญเสียรายละเอียด เช่น Lempel-Ziv-Welch (LZW) หรือ Packbits เป็นต้น

2) ด้านการแสดงสีรองรับแบบจำลองการแสดงได้หลายแบบคือ

- ขาวคือศูนย์ (WhiteIsZero)
- ดำคือศูนย์ (BlackIsZero)
- ระดับสีเทา (Grayscale)
- สีแดง เขียวและน้ำเงิน (RGB)
- จานสี สีแดง เขียวและน้ำเงิน (RGB Palette)
- หน้ากากโปร่งแสง (Transparency mask)
- สีฟ้า ม่วงแดง เหลืองและดำ (CMYK)

3) ด้านการจัดเก็บข้อมูลรองรับการจัดเก็บข้อมูลหลายแบบคือ

- 1 ถึง 64 บิต Unsigned Integer และ Signed Integer
- 32 หรือ 64 บิต Floating point (ตามมาตรฐาน IEEE)
- สามารถจัดเก็บข้อมูลได้มากถึงประมาณ 4 กิกะไบต์ในไฟล์เดียว

2.3.9.4 GeoTIFF

GeoTIFF อ่านออกเสียงว่า จีโอทิฟฟ์ นั้นเป็นส่วนขยายจากรูปแบบทิฟ (TIFF) โดยรูปแบบนี้เกิดจากความร่วมมือของผู้ใช้และผู้ผลิตข้อมูลภาพ ผู้ที่ริเริ่มคือบริษัท Intergraph และ Jet Propulsion Laboratory (JPL) ในตอนต้นทศวรรษที่ 1990 และได้รับการเพิ่มสมรรถนะโดยบริษัท SPOT Image ในปี 1994 ปัจจุบันยังมีการพัฒนาและดูแลผ่านบัญชีจ่าหน้า (Mailing list)

ส่วนที่เพิ่มเติมจากรูปแบบ TIFF คือ การรองรับคำอธิบายข้อมูลและการอ้างอิงตำแหน่งโลก (Geo-metadata and geo-referencing) ผู้ใช้งานสามารถเรียกดูข้อมูลแบบ GeoTIFF จากโปรแกรมที่สามารถเรียกดูข้อมูลแบบ TIFF โดยโปรแกรมเหล่านั้นจะละเว้นการอ่านข้อมูลคำอธิบายข้อมูลและข้อมูลการอ้างอิงตำแหน่งโลก โดยเนื้อหาของป้ายระบุพิเศษที่เพิ่มเติมมีดังนี้

- ข้อมูลการฉายแผนที่ (Cartographic projection)
- พื้นหลักฐาน (datum)
- ขนาดจุดภาพภาคพื้นดิน (Ground pixel dimension)
- ข้อมูลอื่นๆที่เกี่ยวข้องทางภูมิศาสตร์

โดยนามสกุลที่จัดเก็บนั้นจะยังคงเหมือนกันทั้งสองแบบ TIFF (*.tif) ทำให้บางครั้งผู้ใช้งานทั่วไปไม่ทราบว่าข้อมูลภาพที่มีอยู่นั้นเป็นข้อมูลทิฟฟ์หรือจีโอทิฟฟ์ (ที่มีข้อมูลการปรับยึดเชิงปริภูมิ)

ตารางที่ 2.3 แสดงมาตรฐานรูปแบบข้อมูลภาพและหน่วยงานที่ดูแลและรับผิดชอบ

ชื่อรูปแบบมาตรฐานข้อมูลภาพ	หน่วยงานที่ดูแล
Basic Image Interchange Format (BIIF)	ISO/IEC JTC1/SC24
CEOS CIP, Superstructure	Committee on Earth Observation Satellites
DIgital Geographic Information Exchange Standard (DIGEST)	DIgital Geographic Information Working Group NATO (DGIWG NATO)
Hierarchical Data Format (HDF), HDF-EOS	NASA (U.S.)
Joint Photographic Experts Group (JPEG)	ISO/IEC JTC1/SC29
Joint Binary Images Group (JBIG)	ISO/IEC JTC1/SC29
Portable Network Graphics (PNG)	ISO/IEC JTC1/SC24
Moving Pictures Experts Group (MPEG-2)	ISO/IEC JTC1/SC29

ตารางที่ 2.3 แสดงมาตรฐานรูปแบบข้อมูลภาพและหน่วยงานที่ดูแลและรับผิดชอบ (ต่อ)

ชื่อรูปแบบมาตรฐานข้อมูลภาพ	หน่วยงานที่ดูแล
National Imagery Transmission Format (NITF)	NIMA (U.S.)
S-57	IHO
Spatial Data Transfer standard (SDTS) raster	ANSI (U.S.) and other countries
T.4 and T.6	ITU
Tag Image File Format (TIFF)/IT	ISO/TC130
Coverages	OGC
Fractal Transform Coding	Microsoft
GeoTIFF	JPL, Intergraph, Spot-Images
Graphics Interchange Format (GIF)	CompuServe
PhotoCompactDisk	Eastman Kodak
Tag Image File Format (TIFF)	Aldus

2.4 เครือข่ายและการบริการข้อมูลผ่านเครือข่าย

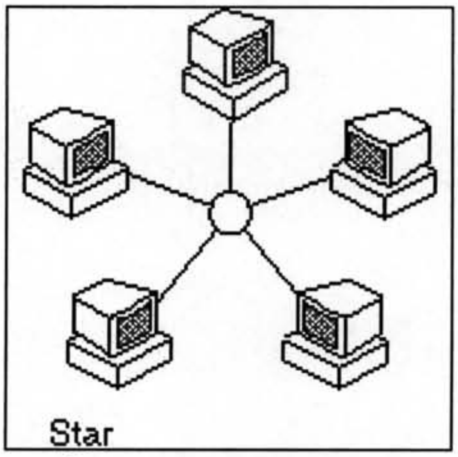
เครือข่ายคือการเชื่อมต่อของคอมพิวเตอร์ตั้งแต่ 2 เครื่องขึ้นไปสำหรับการแบ่งปันข้อมูลหรือทรัพยากร(Laudon, 2004) ผู้ใช้งานคอมพิวเตอร์สามารถติดต่อสื่อสารกับคอมพิวเตอร์เครื่องอื่นๆ ได้ผ่านทางเครือข่าย ปัจจุบันอาจกล่าวได้ว่าระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์นั้นได้มีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็วทั้งในด้านรูปแบบการติดต่อสื่อสารและรูปแบบการให้บริการผ่านเครือข่าย ไม่ว่าจะเป็นการติดต่อสื่อสารกันแบบทางเดียว เช่น การอ่านข่าวผ่านทางเว็บไซต์ที่ให้บริการ การดาวน์โหลดข้อมูลผ่านเครือข่าย หรือ การติดต่อสื่อสารกันแบบโต้ตอบกัน เช่น การสนทนาผ่านระบบอินเตอร์เน็ต การรับและส่งจดหมายอิเลคทรอนิคส์ การใช้เรียกดูแผนที่ภาพถ่ายดาวเทียมรายละเอียดสูงผ่านทางโปรแกรมกูเกิลเอิร์ธ หรือ โปรแกรมนาซาเวิลด์วินด์

เครือข่ายสามารถแบ่งออกได้ตามลักษณะการเชื่อมต่อหรือโทโพโลยี ได้ดังนี้

2.4.1 เครือข่ายชนิดรูปดาว (Star Network)

เครือข่ายรูปดาวจะประกอบด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ศูนย์กลาง (Central Computer) ที่เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ที่เล็กกว่าหรือที่เรียกว่าเทอร์มินอล (Terminal) เครือข่ายแบบนี้มักถูกออกแบบสำหรับการทำงานบางประเภทที่ต้องอาศัยการประมวลผลข้อมูลที่เครื่องหลักและบางครั้งก็สามารถประมวลผลข้อมูลที่เทอร์มินอลได้ ปัญหาหนึ่งที่มักพบในเครือข่ายแบบนี้คือ ความไม่มีประสิทธิภาพของระบบ กล่าวคือ ทุกๆการติดต่อสื่อสารระหว่างเทอร์มินอลจะต้องผ่าน

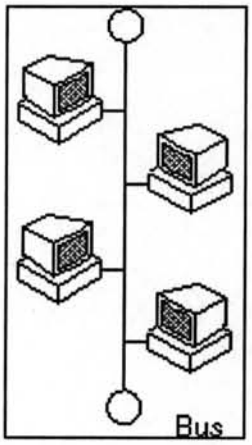
คอมพิวเตอร์ศูนย์กลางทำให้ ซึ่งถ้าเครื่องคอมพิวเตอร์ศูนย์กลางถูกหยุดการทำงานไม่ว่าจากสาเหตุใดก็ตาม ก็จะทำให้การติดต่อสื่อสารระหว่างเทอร์มินอลหยุดลงทันที



รูปที่ 2.4 แสดงเครือข่ายชนิดรูปดาว

2.4.2 เครือข่ายชนิดรถบัส (Bus Network)

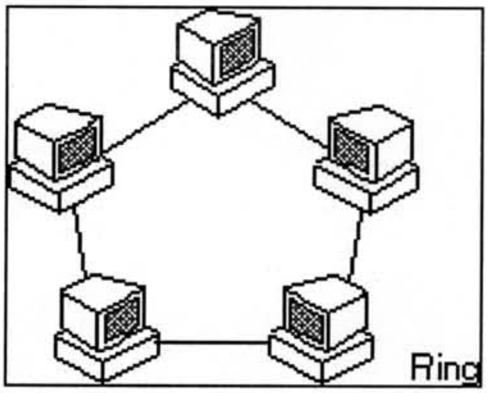
เครือข่ายรถประจำทางคือการเชื่อมต่อของคอมพิวเตอร์ต่างๆบนเครือข่ายโดยผ่านวงจรเดียว ทุกๆการติดต่อสื่อสารจะกระจายไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์อื่นๆผ่านสายเกลียว สายเคเบิลแกนร่วม หรือ ใยแก้วนำแสงที่อยู่บนเครือข่ายทั้งหมดด้วยโปรแกรมพิเศษเพื่อที่จะระบุว่าจะให้รับหรือไม่รับข้อความใด การทำงานลักษณะนี้จะไม่ส่งผลต่อคอมพิวเตอร์เครื่องอื่นกรณีที่คอมพิวเตอร์เครื่องใดเครื่องหนึ่งบนเครือข่ายมีปัญหา อย่างไรก็ตามช่องสัญญาณของเครือข่ายแบบรถประจำทางนี้สามารถทำงานได้คราวละหนึ่งคำสั่งเท่านั้น ประสิทธิภาพการทำงานจะลดลงในกรณีที่แต่ละคำสั่งมีปริมาณการใช้เครือข่ายสูง และหากเกิดการสั่งงานพร้อมกัน จะทำให้เกิดการชนกันของชุดคำสั่ง ทำให้จำเป็นต้องมีการส่งข้อมูลซ้ำ



รูปที่ 2.5 แสดงเครือข่ายชนิดรถบัส

2.4.3 เครือข่ายแบบวงแหวน (Ring Network)

จะคล้ายกับเครือข่ายแบบรถประจำทางแต่จะไม่อาศัยเครื่องคอมพิวเตอร์ศูนย์กลาง และจะไม่มีการหยุดการทำงานหากเครื่องคอมพิวเตอร์เครื่องใดเครื่องหนึ่งเกิดข้อผิดพลาด โดยคอมพิวเตอร์แต่ละตัวสามารถเชื่อมต่อกันได้โดยตรง ซึ่งจะทำให้เกิดการประมวลผลอย่างอิสระ



รูปที่ 2.6 แสดงเครือข่ายชนิดวงแหวน

2.4.4 เครือข่ายเฉพาะที่ (Local Area Network)

หรือ LAN หมายถึงเครือข่ายประเภทนี้มีการใช้ทั้งเครือข่ายแบบรถประจำทางและเครือข่ายแบบวงแหวนประกอบเข้าด้วยกัน เครือข่ายประเภทนี้จะมีการกำหนดขอบเขตหรือระยะทาง ปกติแล้วมักใช้ในอาคารเดียวกันหรืออาคารที่อยู่ใกล้เคียง โดยส่วนใหญ่มีการเชื่อมต่อในรัศมีประมาณ 600 เมตร เครือข่ายประเภทนี้เป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางสำหรับการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล รวมทั้งอุปกรณ์อื่นๆ เช่น เครื่องพิมพ์ เป็นต้น

2.4.5 เครือข่ายบริเวณกว้าง (Wide Area Network)

หรือ WAN หมายถึงเครือข่ายประเภทสามารถขยายพื้นที่หรือระยะทางได้อย่างกว้างขวาง ตั้งแต่หลายกิโลเมตรไปจนถึงระดับทวีป เครือข่ายประเภทสามารถเชื่อต่อได้ทั้งแบบใช้สายส่ง ใช้คลื่นไมโครเวฟ และใช้สัญญาณจากดาวเทียม

2.4.6 อินเตอร์เน็ต

คือกลุ่มของเครือข่ายที่เชื่อมต่อกันโดยผ่านตัวจัดเส้นทาง (Router) ที่มีการกำหนดไว้ เพื่อเชื่อมโยงคอมพิวเตอร์ต่างๆ ที่อยู่ในเครือข่ายเข้าด้วยกัน โดยส่วยใหญ่แล้วเครือข่ายอินเตอร์เน็ตมักจะใช้โปรโตคอล Transmission Control Protocol/Internet Protocol (TCP/IP) โปรโตคอลนี้ได้รับพัฒนาพร้อมกับการวิจัย Internetworking เพื่อพัฒนาเครือข่ายอินเตอร์เน็ตมาตั้งแต่ทศวรรษที่ 1970 หรือพร้อมๆกับการพัฒนาเครือข่ายพื้นที่ท้องถิ่น โดยการสนับสนุนของหน่วยงานทหารของสหรัฐอเมริกาสนับสนุนเงินวิจัยผ่านทาง Advanced Research Projects Agency (ARPA)

2.4.7 โปรโตคอล

คือข้อกำหนดเพื่อใช้สำหรับการควบคุมดูแลการส่งผ่านข้อมูลระหว่างกันผ่านเครือข่ายเพื่อให้คอมพิวเตอร์ต่างๆ บนเครือข่ายสามารถสื่อสารกันได้อย่างถูกต้อง ตัวอย่างโปรโตคอลที่มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย ได้แก่ Hypertext Transport Protocol (HTTP), File Transfer Protocol (FTP) และ Transmission Control Protocol/Internet Protocol (TCP/IP)

2.5 ข้อกำหนดและมาตรฐานการให้บริการข้อมูลสารสนเทศปริภูมิโดย OGC

Open Geospatial Consortium Inc. (OGC) เป็นองค์กรที่เกิดจากความร่วมมือทั้งจากบริษัทเอกชน หน่วยงานภาครัฐและมหาวิทยาลัยมากกว่า 300 หน่วยงาน เพื่อร่วมกันพัฒนาข้อกำหนดหรือมาตรฐาน (Specification) ซึ่งสนับสนุนการทำงานร่วมกันทั้งในส่วนของข้อมูล บุคลากรและระบบที่แตกต่างกันหรือที่เรียกว่า Interoperability ผ่านทางเว็บ (Web) เครือข่ายไร้สายหรือผ่าน Location Based Service ข้อกำหนดเหล่านี้อนุญาตให้มีการพัฒนาได้โดยนักพัฒนาด้านเทคโนโลยีที่หลากหลายสาขาเพื่อสร้างสารสนเทศปริภูมิ (Spatial information) สำหรับการให้บริการ การเข้าถึงข้อมูลในงานประยุกต์ต่างๆ

ข้อกำหนดที่ได้รับการดูแลและพัฒนาโดย OGC นั้นไม่ได้มีจุดประสงค์ที่มุ่งหวังด้านผลกำไรเป็นหลัก ซึ่งในปัจจุบันข้อกำหนดที่มีการใช้งานอย่างกว้างขวางได้แก่ Web Map Service (WMS), Web Feature Service (WFS), Web Coverage Service (WCS), Geographic Markup Language (GML) และ Style Layer Descriptor (SLD) เป็นต้น ผู้ที่สนใจสามารถค้นหาข้อกำหนดและรายละเอียดของข้อกำหนดได้ที่ http://www.opengeospatial.org/standards/

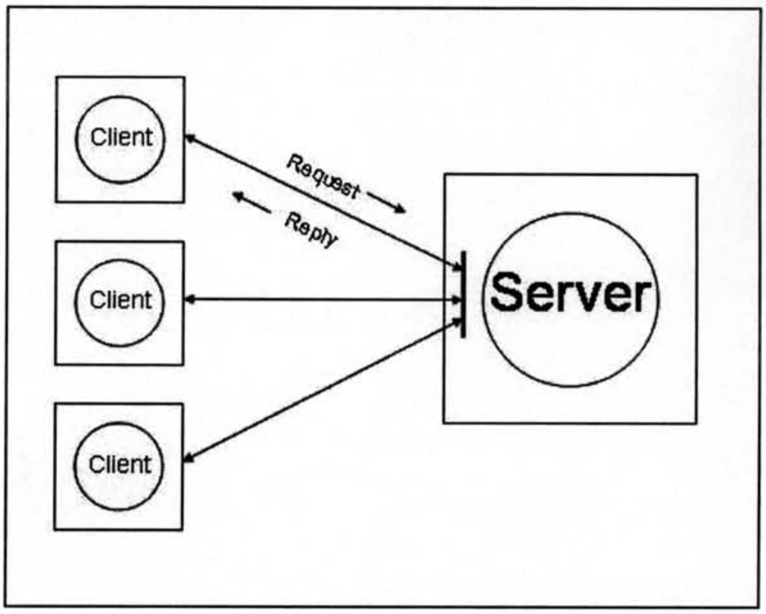
นอกจากนี้ยังพบว่าบางข้อกำหนดได้รับพัฒนาและการประกาศให้เป็นมาตรฐานสากล (International Standard) โดยองค์การระหว่างประเทศว่าด้วยการมาตรฐานหรือไอโซ (International Organization for Standardization) เช่น มาตรฐาน Web Map Service (WMS), Simple Feature Access - Part 1: Common Architecture และ Simple feature access - Part 2: SQL Option เป็นต้น

2.6 แม่ข่ายแผนที่ (Map Server)

แม่ข่ายแผนที่เป็นการให้บริการประเภทหนึ่งของการให้บริการผ่านเครือข่าย (Web Service) ซึ่งแตกต่างจากการให้บริการผ่านเครือข่ายทั่วไปคือ ข้อมูลหรือสารสนเทศที่ให้บริการนั้นเป็นข้อมูลปริภูมิ (Spatial data) หรือข้อมูลเชิงพื้นที่

การให้บริการลักษณะนี้อาศัยการทำงานแบบ แม่ข่าย-ลูกข่าย โดยเครื่องลูกข่ายทำการส่งคำร้องขอข้อมูลหรือบริการ (ที่มีการระบุค่าต่างๆที่กำหนด) ที่ต้องการไปยังเครื่องแม่ข่าย (Server)

หลังจากนั้นเครื่องแม่ข่ายนำคำร้องขอมาแปลตีความและทำการสร้างข้อมูลหรือบริการที่เหมาะสมตามคำร้องขอแล้วจึงส่งกลับไปยังเครื่องลูกข่ายที่ร้องขอมา (Errol Simon, 1996)



รูปที่ 2.7 แสดงแบบจำลองแม่ข่าย-ลูกข่าย

แม่ข่ายแผนที่สามารถแบ่งตามลักษณะข้อมูลที่ให้บริการได้ดังนี้

- แม่ข่ายแผนที่แบบเวกเตอร์
- แม่ข่ายแผนที่แบบราสเตอร์

การทำงานของแม่ข่ายแผนที่ทั้งสองแบบนั้นมีลักษณะการทำงานที่เหมือนกันคือ เครื่องลูกข่ายส่งคำร้องขอข้อมูลหรือบริการไปยังเครื่องแม่ขายแผนที่แล้วเครื่องแม่ข่ายแผนที่จะส่งข้อมูลหรือบริการกลับมายังเครื่องลูกข่ายที่ร้องขอ(ภาณุ อุทัยศรี, 2546)

2.7 มินเนโซตา แมพเซิร์ฟเวอร์ (Minnesota MapServer)

มินเนโซตา แมพเซิร์ฟเวอร์ เป็นซอฟแวร์เสรี(Open Source Software) หรือ OSS ที่ริเริ่มพัฒนาโดยมหาวิทยาลัยมินเนโซตา (Minnesota University) จากความร่วมมือขององค์การอวกาศแห่งชาติของประเทศสหรัฐอเมริกา (National Aeronautics and Space Administration) หรือ NASA และกรมทรัพยากรธรรมชาติแห่งมินเนโซตา (Minnesota Department of Natural Resources) หรือ MNDNR

ปัจจุบันโครงการนี้ ได้รับการดูแลและพัฒนาจากนักพัฒนาจำนวนมากทั่วโลกผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ต โดยบุคคลทั่วไปสามารถดาวน์โหลดโปรแกรมและซอร์สโคดเพื่อนำไปใช้งานและแก้ไขปรับปรุงได้อย่างเสรีที่ http://mapserver.gis.umn.edu/

ลักษณะการทำงานโดยทั่วไปของตัวโปรแกรม นั้นไม่ใช่โปรแกรมทางระบบภูมิสารสนเทศแบบสมบูรณ์ วัตถุประสงค์หลักของโปรแกรมคือการผลิตข้อมูลปริภูมิในรูปแผนที่ภาพและข้อมูลแบบเวคเตอร์เพื่อการใช้งานบนระบบเครือข่ายเท่านั้น จากการค้นคว้าพบว่าตัวโปรแกรมมีคุณสมบัติหลักที่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพดังนี้

- สนับสนุนอักขระแบบ True Type Fonts ซึ่งรองรับการแสดงผลตัวอักษรนานาชาติและภาษาไทย
- การสร้างส่วนประกอบของแผนที่(มาตรส่วนแผนที่ แผนที่อ้างอิงและคำอธิบายสัญลักษณ์) อย่างอัตโนมัติ
- สนับสนุนการทำงานร่วมกับภาษาและสคริปต์ที่นิยมอย่างแพร่หลาย เช่น PHP, Python, Perl, Ruby และ JAVA เป็นต้น
- สนับสนุนการทำงานข้ามระบบปฏิบัติการ เช่น Microsoft Windows, GNU/LINUX, MAC OS และ Solaris เป็นต้น
- การทำงานร่วมกับข้อมูลเวคเตอร์และราสเตอร์หลากหลายรูปแบบผ่านทาง GDAL
- รองรับมาตรฐาน Open Geospatial Consortium (OGC) เช่น WMS (Client/Server), WFS (Client/Server), WMC, WCS, SLD และ GML
- สนับสนุนการทำงานที่เกี่ยวกับเส้นโครงแผนที่มากกว่า 1,000 แบบ ผ่านคลังโปรแกรม Proj.4

2.8 คลังโปรแกรมจีดาล

คลังโปรแกรม Geospatial Data Abstraction Library หรือที่เรียกอย่างย่อว่า GDAL อ่านว่าจีดาล เป็นโปรแกรมประเภทซอร์ฟแวร์เสรีที่มีวัตถุประสงค์เพื่อการประมวลผลข้อมูลปริภูมิแบบราสเตอร์เป็นหลัก สามารถค้าหารูปแบบข้อมูลภาพที่สนับสนุนได้ที่ http://www.gdal.org/formats_list.html ส่วนการประมวลผลข้อมูลปริภูมิที่มีการแสดงผลแบบเวคเตอร์นั้นสามารถทำงานได้กับคลังโปแกรม OGR ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของ GDAL

คลังโปรแกรม GDAL รองรับมาตรฐานรูปแบบข้อมูลภาพที่หลากหลายทั้งแบบมาตรฐาน เช่น PNG, TIFF, HDF, JPEG, JPEG2000 หรือ CEOS และข้อมูลภาพที่มีรูปแบบเฉพาะ(มีลิขสิทธิ์) เช่น Arc/Info Binary Grid, Erdas Imagine, PCI Geomatics Database file และ MrSID เป็นต้น

นอกจากนี้ในชุดคลังโปรแกรม OGR ยังได้รวมเครื่องมือสำหรับการจัดการข้อมูลประเภทฟีเจอร์ (Feature) หรือที่มักเรียกกันว่าข้อมูลแบบเวคเตอร์ (Vector) โดยสนับสนุนรูปแบบที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย เช่น ESRI Shapefile, MapInfo, DGN และ GML เป็นต้น

คลังโปรแกรม GDAL และ OGR ถูกจำแนกออกตามลักษณะการทำงานโดยพื้นฐานการใช้งานของคลังโปรแกรมจะมีการทำงานผ่านการควบคุมเชิงเส้น (Command line) ซึ่งผู้ใช้ต้องระบุพารามิเตอร์และที่อยู่ของข้อมูลรวมถึงการระบุที่จัดเก็บผลลัพธ์หลังการประมวลผล ตัวอย่างของคลังโปรแกรมและคุณสมบัติของคลังโปรแกรมต่างๆสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.4 และ 2.5 ดังนี้

ตารางที่ 2.4 แสดงรายละเอียดโปรแกรมประยุกต์จากคลังโปรแกรม GDAL

โปรแกรมประยุกต์	การใช้งาน
gdalinfo	แสดงรายละเอียดเกี่ยวกับไฟล์
gdal_translate	คัดลอกข้อมูลราสเตอร์แบบมีการกำหนดรูปแบบข้อมูลผลลัพธ์
gdaladdo	สร้างพีรามิดข้อมูลภาพ
gdalwarp	การดัดแก้ข้อมูลภาพโดยการ reproject หรือการตรึงพิกัดจุดภาพ
gdaltindex	สร้าง tileindex ข้อมูลภาพเพื่อการทำงานร่วมกับ Minnesota MapServer
gdal_contour	สร้างเส้นชั้นความสูงจากข้อมูลแบบจำลองระดับ
rgb2pct.py	แปลงข้อมูลจากแบบ 24 บิตไปเป็นข้อมูล 8 บิตแบบใช้จานสี
pct2rgb.py	แปลงข้อมูลจาก8 บิตแบบใช้จานสีไปเป็นข้อมูลแบบ 24 บิต
gdal_merge.py	สร้างการต่อเชื่อมข้อมูลภาพจากชุดข้อมูลภาพ
gdal_rasterize	แปลงข้อมูลจากเวคเตอร์ไปเป็นข้อมูลราสเตอร์
gdal-config	เรียกดูรายละเอียดที่จำเป็นสำหรับการใช้งานคลังโปรแกรม GDAL

ตารางที่ 2.5 แสดงรายละเอียดโปรแกรมประยุกต์จากคลังโปรแกรม OGR

โปรแกรมประยุกต์	การใช้งาน
ogrinfo	แสดงรายละเดียดเกี่ยวกับไฟล์
ogr2ogr	แปลงรูปแบบข้อมูล
ogrtindex	สร้าง tileindex ข้อมูล

2.9 เทคนิคการจัดการโครงสร้างข้อมูลภาพ

2.9.1 การแบ่งส่วนข้อมูลภาพ (Tiling)

เป็นกระบวนการแบ่งโครงสร้างของข้อมูลภาพออกเป็นสี่เหลี่ยมย่อยๆจากข้อมูลภาพทั้งหมด ซึ่งสามารถแบ่งออกได้หลายขนาด โดยภาพที่ถูกแบ่งจะเรียงชิดติดกันรวมเป็นภาพเดียวกัน โดยแต่ละภาพที่ถูกแบ่งนั้นจะไม่มีส่วนที่ซ้อนทับกัน (Murray and vanRyper, 1994)

การแบ่งส่วนข้อมูลภาพจะทำการประมวลผลเฉพาะส่วนที่เลือก ทำให้การทำงานเร็วขึ้นและใช้ทรัพยากรน้อยลงในการอ่านข้อมูล แต่หากต้องการแสดงข้อมูลทั้งหมด แล้วยังคงต้องทำการอ่านข้อมูลทั้งหมดก่อน หลังจากนั้นจึงทำการย่อให้เหมาะสำหรับแสดงผลบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ หากต้องการให้การทำงานในลักษณะย่อขยายให้ได้ผลที่รวดเร็วและใช้ทรัพยากรน้อยต้องอาศัยเทคนิคอื่นเข้าช่วย (ภาณุ อุทัยศรี, 2546)

เราสามารถแบ่งส่วนข้อมูลภาพได้หลายขนาดตามความต้องการ เช่น ขนาด 128x128 จุดภาพ หรือ 128x256 จุดภาพ เป็นต้น โดยการแบ่งส่วนขนาดต่างๆสามารถกำหนดได้จากการเตรียมข้อมูลผ่านโปรแกรมประยุกต์ต่างๆ เช่น gdal_translate จากคลังโปรแกรมGDAL เป็นต้น

รูปที่ 2.8 การแบ่งส่วนข้อมูลภาพที่มีขนาดแตกต่างกัน

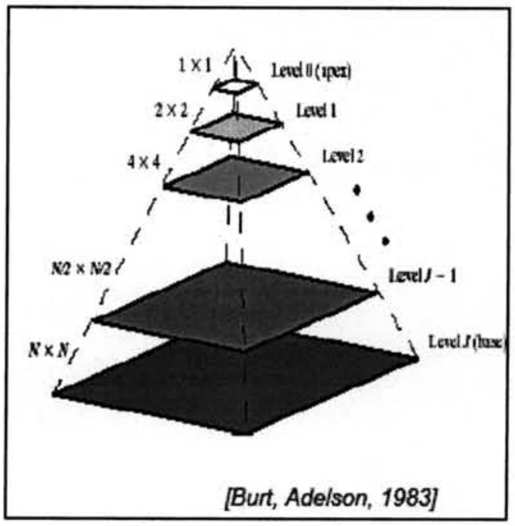
2.9.2 การสร้างพีรามิดข้อมูลภาพ (Pyramiding)

คือ กระบวนการจัดเก็บข้อมูลภาพที่ถูกลดความละเอียดจุดภาพลงในรูปแบบของพีรามิด โดยที่ชั้นฐานของพีรามิดคือข้อมูลที่มีความละเอียดจุดภาพมาก ส่วนชั้นที่อยู่เหนือกว่าจะมีขนาดและความละเอียดจุดภาพลดลง (Gonzalez and Woods, 2002)

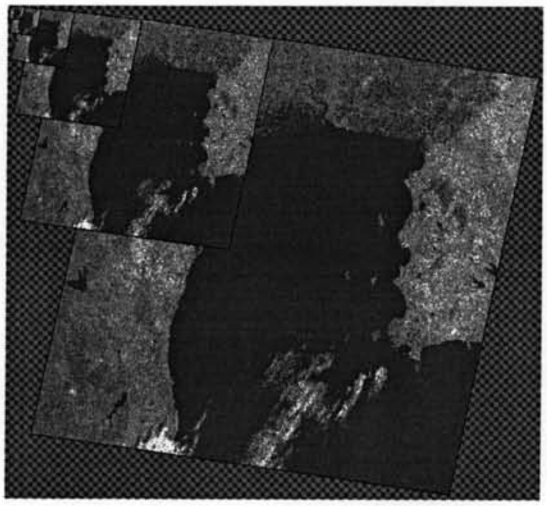
การทำพีรามิดอาศัยหลักการทำงานของคอมพิวเตอร์ที่ว่า ไม่ว่าข้อมูลจะมีขนาดใหญ่แค่ไหน การแสดงผลยังคงอยู่บนจอภาพที่มีขนาดคงที่ หากข้อมูลมีขนาดใหญ่กว่าจอภาพคอมพิวเตอร์จะทำการประมวลผลเพื่อย่อภาพให้สามารถแสดงผลได้บนหน้าจอที่กำหนด นั่นคือต้องอ่านข้อมูลทั้งหมดก่อน จึงค่อยประมวลผลขนาดการแสดงผลหน้าจอแล้วทำการย่อขนาดภาพ

หากมีการเตรียมข้อมูลภาพให้มีขนาดลดหลั่นกันลงมา เมื่อต้องการแสดงผลภาพรวมก็ให้อ่านข้อมูลที่มีขนาดเล็กกว่า แทนที่จะอ่านข้อมูลขนาดใหญ่ทั้งหมดทำให้ประหยัดเวลาในการอ่านข้อมูล (ภาณุ อุทัยศรี, 2546)

เราสามารถสร้างพีรามิดข้อมูลภาพได้หลายชั้นขึ้นอยู่กับความต้องการและปริมาณพื้นที่ที่ใช้สำหรับการจัดเก็บ ซึ่งการสร้างชั้นพีรามิดข้อมูลภาพนั้นแม้ว่าจะสร้างจำนวนชั้นมากมายเท่าใดก็ตามจะใช้พื้นที่สำหรับการจัดเก็บข้อมูลไม่เกิน 33.33 เปอร์เซ็นต์ (ดังรูปที่ XXX) ของขนาดที่ใช้สำหรับจัดเก็บข้อมูลภาพชั้นล่างสุด (ชั้นที่เริ่มทำการลดรายละเอียดข้อมูลภาพ) โดยการสร้างพีรามิดข้อมูลภาพสามารถทำได้ผ่านโปรแกรมประยุกต์ต่างๆ เช่น gdal_translate จากคลังโปรแกรม GDAL โปแกรม Erdas Imagine เป็นต้น



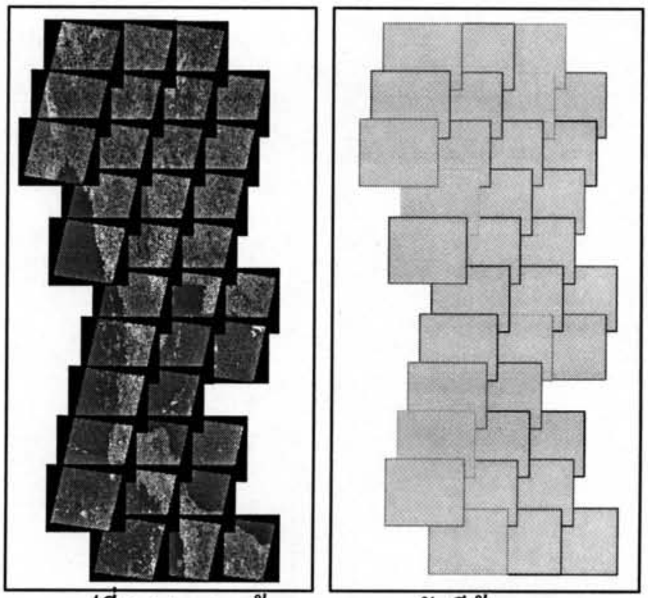
รูปที่ 2.9 แสดงขั้นตอนการสร้างชั้นพีรามิดข้อมูลภาพ



รูปที่ 2.10 แสดงการจัดเก็บข้อมูลภาพที่ผ่านการสร้างพีรามิดข้อมูล

2.9.3 การสร้างดัชนีข้อมูลภาพ (tile index)

เป็นขั้นตอนการเตรียมข้อมูลภาพให้แก่เครื่องแม่ข่ายแผนที่เพื่อความสะดวกในการค้นหาและเข้าถึงข้อมูลภาพโดยผ่านกระบวนการสร้างดัชนีข้อมูลภาพ วิธีการนี้อาศัยข้อมูลแบบเวคเตอร์ที่มีข้อมูลขนาดครอบคลุมของข้อมูลภาพ เช่น ค่าพิกัดทางแกนเอกซ์ที่น้อยที่สุดและมากที่สุด (min x and max x) และค่าพิกัดทางแกนวายน้อยที่สุดหรือมากที่สุด (min y and max y) หรือข้อมูลที่ระบุที่อยู่ (Path) ของข้อมูลภาพประกอบ เพื่อช่วยในการคำนวณหาข้อมูลภาพที่ต้องใช้ในการประมวลผล โดยไม่จำเป็นต้องค้นหาจากคำอธิบายข้อมูล ของข้อมูลภาพซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้เวลาในการทำงานมากกว่า



รูปที่ 2.11 แสดงข้อมูลภาพและดัชนีข้อมูลภาพ

2.9.4 เทคนิคไทล์แคชชิง (Tile caching)

เป็นเทคนิคสำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพการให้บริการข้อมูลภาพผ่านเครือข่ายซึ่งเริ่มมีการอภิปรายครั้งแรกในงาน FOSS4G ปี ค.ศ. 2006 ที่เมือง Lausanne ประเทศสวิตเซอร์แลนด์ เทคนิคนี้เป็นการกำหนดล่วงหน้า (Predefine) สำหรับการผลิตแผนที่ภาพเพื่อการให้บริการ โดยเครื่องแม่ข่ายแผนที่จะทำการเตรียมข้อมูลภาพที่คาดว่าจะได้รับการร้องขอให้ผลิตแผนที่ภาพจากเครื่องลูกข่าย (ในบางกรณีเครื่องแม่ข่ายอาจทำการกำหนดรูปแบบและลักษณะการให้บริการอย่างชัดเจนโดยที่เครื่องลูกข่ายไม่สามารถกำหนดเงื่อนไขของแผนที่ภาพเองได้) เทคนิคนี้ได้มีการเสนอต่อ OGC โดย Open Source Geospatial Foundation (OSGEO) เพื่อการกำหนดเป็นมาตรฐานโดยใช้ชื่ออย่างไม่เป็นทางการว่า WMS tile caching หรือสามารถเรียกแบบสั้นๆว่า WMS-C ในขั้นตอนการเสนอ(Proposal Stage) ต่อ OGC นั้นพบว่าเทคนิคนี้มีอุปสรรคอยู่ 2 ประการหลักคือ การให้รายละเอียดของข้อมูลแคชหรือข้อมูลที่เตรียมไว้ล่วงหน้าสำหรับเครื่องลูกข่าย และวิธีการเรียกข้อมูลอย่างถูกต้อง ทั้งขนาดของไทล์ พื้นที่ครอบคลุม (Bounding Box) ค่าพิกัด หรือมาตรส่วน

ปัจจุบันเทคนิคนี้ได้มีการประยุกต์ใช้งานอย่างแพร่หลายในหลายโปรแกรม เช่น NASA Worldwind, Google Earth, Google Map, Ka-map และ osgPlanet เป็นต้น

2.10 ข้อมูลภาพดาวเทียมแลนด์แซต 7

โครงการแลนด์แซตมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจวัดและติดตามการเปลี่ยนแปลงบริเวณพื้นผิวของโลกเพื่อใช้ในงานต่างๆ ไม่ว่าจะเป็น ธุรกิจการเกษตร การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของโลก การวางแผนและการบริหารในระดับรัฐหรือระดับท้องถิ่น และทางการทหาร ภารกิจหลักของโครงการคือการผลิตข้อมูลแบบหลายช่วงคลื่น ครอบคลุมบริเวณพื้นผิวของโลก โดยข้อมูลที่ได้นั้นเป็นข้อมูลที่มีการบันทึกจากอวกาศผ่านระบบรับ-ส่งข้อมูลระหว่างสถานีภาคพื้นดินและดาวเทียม

วงโคจรของดาวเทียมแลนด์แซต7 เป็นแบบสัมพันธ์กับดวงอาทิตย์ (Sun-synchronous) มีระดับความสูงจากพื้นโลกประมาณ 705 กิโลเมตร (ที่เส้นศูนย์สูตร) ตัวดาวเทียมจะเคลื่อนผ่านเส้นศูนย์สูตรในแนวเหนือ-ใต้ เวลาที่เคลื่อนผ่านพื้นที่ต่างๆเพื่อบันทึกข้อมูลประมาณ 10.00 – 10.15 นาฬิกา ความเร็วในการโคจรประมาณ 7.5 กิโลเมตรต่อวินาที ในหนึ่งวันสามารถโคจรได้ 14 วงโคจรและสามารถกลับมาบันทึกข้อมูล ณ พื้นที่เดิมได้ทุก 16 วัน

ตารางที่ 2.6 แสดงรายละเอียดของข้อมูลภาพจากดาวเทียมแลนด์แซต 7

ช่วงคลื่น	ความละเอียดจุดภาพ (เมตร)	จำนวนคอลัมน์ (โดยประมาณ)	จำนวนแถว (โดยประมาณ)	จำนวนบิตต่อจุดภาพ
1-5 และ 7	30	6,600	6,000	8
6	60	3,300	3,000	8
8	15	13,200	12,000	8

ตารางที่ 2.7 แสดงรายละเอียดส่วนซ้อนด้านข้างข้อมูลภาพ

ละติจูดที่ (องศา)	ส่วนซ้อนด้านข้างของภาพ (เปอร์เซ็นต์)
0	7.3
10	8.7
20	12.9
30	19.7
40	29.0
50	40.4

ตารางที่ 2.7 แสดงรายละเอียดส่วนซ้อนด้านข้างข้อมูลภาพ (ต่อ)

ละติจูดที่ (องศา)	ส่วนซ้อนด้านข้างของภาพ (เปอร์เซ็นต์)
60	53.6
70	68.3
80	83.9

ตารางที่ 2.8 แสดงรายละเอียดของช่วงคลื่นและความยาวคลื่นที่ตรวจวัด

ช่วงคลื่น (band)	ความยาวช่วงคลื่น (ไมโครเมตร)
1	0.450 – 0.515
2	0.525 – 0.605
3	0.630 – 0.690
4	0.750 – 0.900
5	1.55 – 1.75
6	10.40 – 12.50
7	2.09 – 2.35
8	0.520 – 0.900

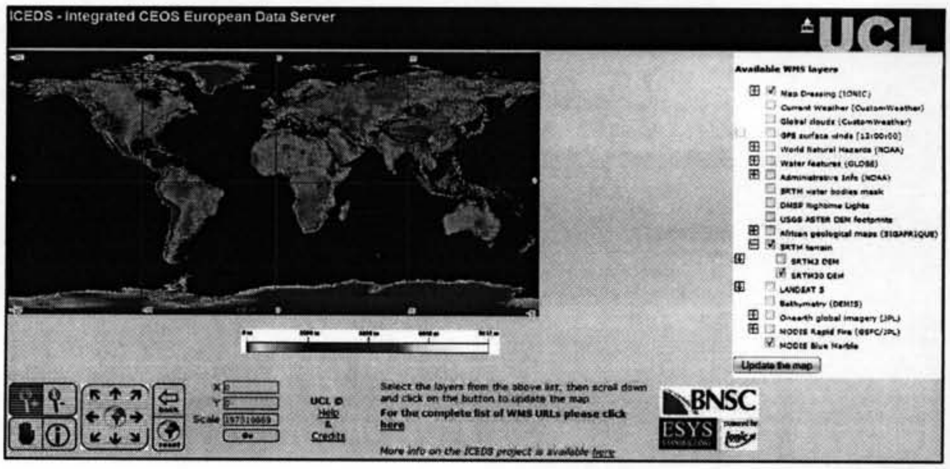
รายละเอียดเพิ่มเติมของโครงการแลนด์แซตสามารถศึกษาและเข้าถึงได้ที่ http://landsat.usgs.gov/resources/project_documentation.php

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องไม่พบว่ามีผู้วิจัย ในหัวข้อการศึกษาประสิทธิภาพของการจัดการ โครงสร้างข้อมูลภาพ ทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ พบเพียงแต่รายงานการพัฒนาระบบบริการข้อมูลภาพ วิธีการจัดเก็บข้อมูลภาพของแม่ข่ายแผนที่และโครงสร้างการจัดเก็บข้อมูลภาพของโปรแกรมเวิลด์วินด์ (WorldWind) เพื่อการให้บริการผ่านเครือข่าย

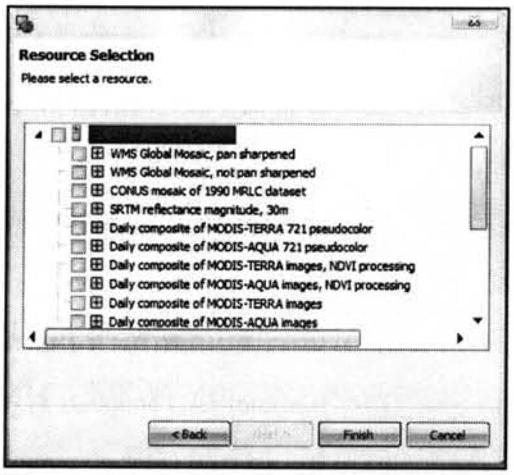
บริษัท ESYS Consulting และภาควิชา Geomatic Engineering แห่ง University College London (UCL) ได้พัฒนาระบบการให้บริการข้อมูลแผนที่ผ่านเครือข่ายโดยข้อมูลเหล่านั้นเป็นข้อมูลจากการสำรวจจากระยะไกล (Remote Sensing) ได้แก่ ข้อมูลแบบจำลองภูมิประเทศเชิงเลข (Digital Elevation Model; DEM) จากโครงการ Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) และข้อมูลภาพที่ได้จากการบันทึกด้วยดาวเทียมแลนด์แซต 7 โครงการนี้มีชื่ออย่างเป็นทางการว่า the Integrated CEOS European Data Server หรือ ICEDS จากคู่มือแนวทางการดำเนินงานของ

โครงการนี้เลือกใช้วิธีการจัดเก็บข้อมูลภาพแบบไฟล์เดียวสำหรับข้อมูลทั้งโครงการ และพัฒนารูปแบบการให้บริการข้อมูลภาพผ่านมาตรฐาน WMS และ WCS



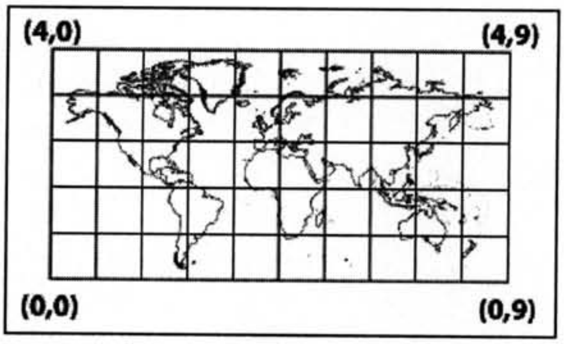
รูปที่ 2.12 แสดงการให้บริการข้อมูลของโครงการ ICEDS

สถาบันเทคโนโลยีแห่งแคลิฟอร์เนีย (California Institute of Technology) และ Jet Propulsion Laboratory (JPL) ได้พัฒนาโครงการ OnEarth สำหรับการให้บริการข้อมูลภาพจากดาวเทียมแลนด์แซทและข้อมูลภาพโมดิส (MODerate resolution Imaging Spectroradiometer; MODIS) จากดาวเทียมเทอรา (Terra) และ อาคัว (Aqua) เป็นหลัก ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมแลนด์แซตของโครงการนี้ได้ผ่านกระบวนการแพนชาร์ปเพนนิง (Pansharpening) เพื่อสร้างข้อมูลภาพที่มีความแยกต่างเชิงที่ดีขึ้น (Higher resolution) และมีการใช้ Style Layer descriptor (SLD) สำหรับการสร้างข้อมูลภาพที่ต้องการผลพิเศษทางภาพแบบซับซ้อน (Complex visual effect) โครงการนี้ไม่มีส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ (Graphic User Interface; GUI) แต่ผู้ใช้งานสามารถนำตัวชี้แหล่งในอินเตอร์เน็ต (Universal Resource Locator) หรือ URL สำหรับเรียกดูข้อมูลที่มีให้บริการไปใช้งานกับโปรแกรมที่รองรับมาตรฐาน WMS

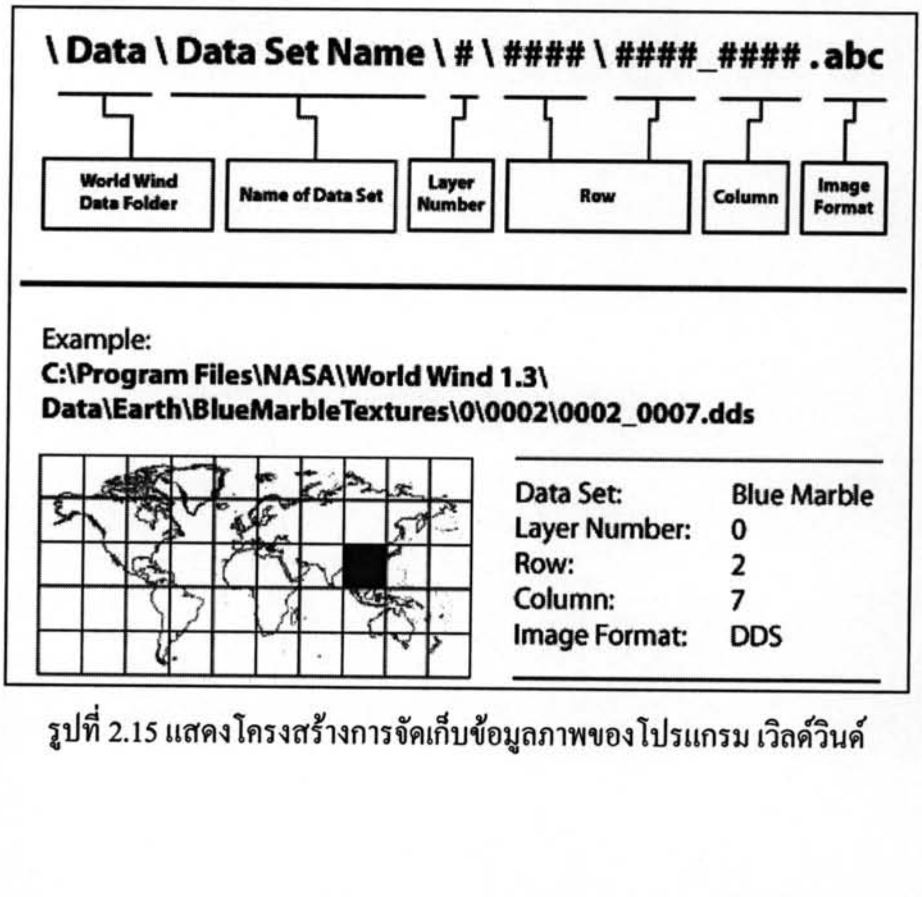


รูปที่ 2.13 แสดงรายการข้อมูลจากโครงการ OnEarth โดยเรียกดูผ่านโปรแกรม uDig

โครงสร้างข้อมูลภาพสำหรับโปรแกรมเวิลด์วินด์ (WorldWind) จะทำการแบ่งข้อมูลออกเป็นส่วนย่อยด้วยเหตุผลทางด้านประสิทธิภาพของการให้บริการ โดยข้อมูลจะถูกแบ่งออกเป็นระดับต่างๆตามพื้นที่ครอบคลุมและความแยกต่างเชิงปริภูมิ ข้อมูลภาพที่มีพื้นที่ครอบคลุมมากที่สุดจะถือว่าอยู่ในระดับศูนย์ (Level 0) ส่วนข้อมูลภาพที่มีพื้นที่ครอบคลุมน้อยกว่าจะอยู่ในระดับถัดไป เช่น หากมีการแบ่งข้อมูลภาพขนาดกว้างและยาวด้าน 36 องศาแล้วจะต้องใช้ข้อมูลภาพทั้งหมด 50 ภาพเพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่โลกทั้งหมด (ใช้ระบบพิกัดภูมิศาสตร์) โดยระดับนี้ถือว่าเป็นระดับศูนย์ ส่วนข้อมูลภาพระดับที่หนึ่ง (Level 1) หมายถึงชั้นข้อมูลที่มีพื้นที่ครอบคลุมเล็กลงกึ่งหนึ่งของชั้นก่อนหน้านี้ซึ่งจะทำให้ข้อมูลภาพมีพื้นที่ครอบคลุมเท่ากับ 18 x 18 องศา และข้อมูลภาพระดับที่สอง (Level 2) มีพื้นที่ครอบคลุมเท่ากับ 9 x 9 องศา เป็นต้น ข้อมูลที่ทำการแบ่งส่วนแล้ว (Tiled image) จะถูกโปรแกรมเรียกใช้งานโดยอาศัยการอ่านค่าพิกัดจากมุมซ้ายล่างเสมอและการเรียกไฟล์ข้อมูลภาพจะอาศัยชื่อของไฟล์ข้อมูลที่มีระบบการอ้างอิงที่เป็นมาตรฐานของโปรแกรม



รูปที่ 2.14 แสดงการอ่านค่าพิกัดระวางข้อมูลภาพของโปรแกรมเวิลด์วินด์



รูปที่ 2.15 แสดงโครงสร้างการจัดเก็บข้อมูลภาพของโปรแกรม เวิลด์วินด์