

บทที่ 2

แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายเป็นเทคโนโลยีที่ใช้วัดค่าข้อมูลครอบคลุมบริเวณที่ต้องการ เก็บรวบรวมข้อมูลเข้าสู่คอมพิวเตอร์ เพื่อนำไปวิเคราะห์ และแสดงผล ทำหน้าที่ทั้งวัดค่าข้อมูล ประมวลผล และสื่อสาร เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายเป็นการเพิ่มความสามารถในการวัดค่าทางกายภาพในบริเวณกว้างพร้อมกันหลายๆ จุดในเวลาเดียวกัน และส่งค่าข้อมูลเข้าสู่คอมพิวเตอร์ เพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมในลักษณะองค์รวม ทำให้สามารถอธิบายความสัมพันธ์ และคาดการณ์สิ่งที่จะเกิดขึ้น เพื่อหาแนวทางการแก้ไขได้ทันเวลา สำหรับการเก็บข้อมูลที่ต้องใช้ระยะเวลานาน ระบบนี้ช่วยลดความผิดพลาดที่เกิดจากมนุษย์ เพิ่มความสามารถในการจัดการข้อมูล ตัวอย่างการประยุกต์ [7] ได้แก่ การวัดความดันโลหิต อัตราการเต้นชีพจรของผู้ป่วยในโรงพยาบาล การตรวจสอบตำแหน่งของฝ่ายตรงข้ามในสนามรบ การศึกษาพัฒนาการของเด็กก่อนวัยเรียนในสถานศึกษา การตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของภูเขาไฟที่ยังคงคุกรุ่น การตรวจสอบการเกิดแผ่นดินไหว ระบบบ้านอัตโนมัติ เป็นต้น

เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายมีคุณสมบัติที่โดดเด่นหลายประการ เช่น มีการสื่อสารแบบ Ad-hoc หรือแบบ point-to-point ไม่จำเป็นต้องมีอุปกรณ์จำพวก access point เนื่องจากสามารถประพฤติตัวเป็นได้ทั้ง ตัววัดค่าข้อมูล ประมวลผลสัญญาณ รับส่งค่าข้อมูลผ่านเครือข่ายไร้สาย และส่งเข้าสู่คอมพิวเตอร์ได้ในตัวเดียว นอกจากนี้ยังสามารถสื่อสารแบบหลายทอดเป็นการสื่อสารในเครือข่ายขนาดใหญ่ มีการส่งข้อมูลจากต้นทางไปยังปลายทางเป็นทอดๆ สามารถปรับปรุงเส้นทางได้เองกรณีที่เส้นทางเดิมขาดหายไป เพื่อให้ระบบสามารถทำงานได้ตามปกติ และเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายจะเน้นด้านการจัดการพลังงานเป็นสำคัญ สามารถทำงานได้นานเป็นปีๆ โดยไม่ต้องการการบำรุงรักษา ด้วยข้อจำกัดทางด้านกายภาพของอุปกรณ์ ทำให้ไม่สามารถประมวลผลข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ หรือใช้การประมวลผลที่ซับซ้อนได้

โหนดในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายสามารถแบ่งตามลักษณะการทำงานได้เป็น 4 ประเภท คือ หน่วยที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลทางกายภาพ หรือโหนดเซ็นเซอร์ ประกอบด้วย เซ็นเซอร์ต่างๆ ที่จำเป็นต่อการวัดค่าข้อมูล หน่วยที่ใช้สำหรับรับส่งข้อมูล หรือโหนดสื่อสาร ทำหน้าที่รับส่งข้อมูลโดยเฉพาะ เกี่ยวข้องกับการหาเส้นทาง เพื่อส่งข้อมูลไปยังปลายทาง สามารถสร้างเส้นทาง

ได้เอง หากเส้นทางเดิมมีการเปลี่ยนแปลง หน่วยสำหรับรับข้อมูลทั้งหมดเข้าสู่คอมพิวเตอร์ หรือ โหนดฐาน ทำหน้าที่ส่งผ่านข้อมูลทั้งหมดเข้าสู่คอมพิวเตอร์ เพื่อนำข้อมูลเหล่านั้นไปวิเคราะห์ใน ประเด็นที่สนใจ และตัดสินใจให้เกิดการตอบสนองต่อเหตุการณ์ที่เข้ามา ด้วยการสั่งการไปยัง หน่วยสุดท้าย คือโหนดควบคุมซึ่งติดอยู่กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เมื่อรับคำสั่งจากโหนดฐานแล้ว จึงทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์เหล่านั้น เพื่อตอบสนองต่อเหตุการณ์ได้ทันเวลา

2.1.1 ระบบปฏิบัติการ TinyOS [8]

TinyOS (Tiny Microthreading Operating System) เป็นระบบปฏิบัติการแบบโอเพนซอร์สใช้สำหรับเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายโดยเฉพาะ โดยทำงานร่วมกันระหว่างแทสก์กับโปรเซส เขียนด้วยภาษา nesC (network embedded systems C) ซึ่งพัฒนามาจากภาษา C โดยเพิ่มการจัดการพื้นที่หน่วยความจำที่จำกัด และเพิ่มเครื่องมือในการเชื่อมต่ออื่นๆ โดยใช้ภาษา Java, C, Python และเซลล์สคริปต์ TinyOS มีการสื่อสารกับอุปกรณ์ในลักษณะซอฟต์แวร์คอมโพเนนท์ซึ่งซ่อนรายละเอียดของการเชื่อมต่อไว้ แต่ละคอมโพเนนท์เชื่อมต่อถึงกันด้วยอินเทอร์เฟส เช่น การสื่อสารของแพคเกจ การหาเส้นทาง การส่งข้อมูล การกระตุ้นการทำงาน และการเก็บข้อมูล เป็นต้น

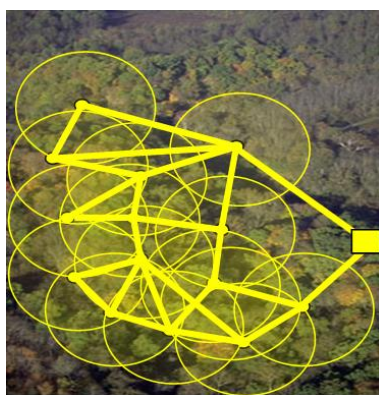
TinyOS มีการทำงานแบบอะซิงโครนัส โดยส่งคอลล์แบ็กกลับมาเมื่อทำงานเสร็จสิ้น นิยามการเชื่อมต่อกับคอลล์แบ็กจะถูกเรียกใช้จากอีเวนต์ที่กำลังดำเนินการอยู่ ดังนั้น ทุกๆ การทำงานของอินพุตเอาต์พุตจะนานกว่า 100 มิลลิวินาที กลไกการประมวลผลแบบน็อนบล็อคกิ้งอนุญาตให้ TinyOS ดำเนินการในระดับบนโดยใช้สแต็กเดียว ซึ่งทำให้โปรแกรมมีความซับซ้อน เนื่องจากใช้อีเวนต์แฮนด์เลอร์ขนาดเล็กจำนวนมาก เพื่อรองรับการคำนวณขนาดใหญ่ นอกจากนี้ TinyOS สามารถใช้แทสก์ และอินเทอร์รัพแฮนด์เลอร์ได้ โดยระบบปฏิบัติการจะเป็นผู้จัดตารางการทำงานของแทสก์ ซึ่งเป็นการทำงานแบบ non-preemptive มีลำดับการทำงานแบบ FIFO (First in First out) เป็นโมเดลแบบคอลเคอร์เรนซ์อย่างง่ายเพียงพอสำหรับอินพุตเอาต์พุตที่ใช้แอปพลิเคชันแบบรวมศูนย์ ใ้ค้ใน TinyOS มีการเชื่อมต่อแบบคงที่เมื่อคอมไพล์แล้วจะเหลือไฟล์ไบนารีขนาดเล็ก

ภาษา nesC [9] เป็นการเขียนโปรแกรมแบบอีเวนต์ไดร์เวน ใช้สำหรับสร้างแอปพลิเคชันใน TinyOS [10] หรือสร้างคอมโพเนนท์ใหม่ไว้ให้คอมโพเนนท์อื่นๆ เรียกใช้ ประกอบด้วยคอนฟิกูเรชัน และโมดูล คอนฟิกูเรชันทำหน้าที่เชื่อมต่อแอปพลิเคชัน หรือคอมโพเนนท์ใหม่เข้ากับคอมโพเนนท์อื่นๆ ที่ต้องการเรียกใช้ ส่วนโมดูลคือโปรแกรมการทำงานหลัก ซึ่งอธิบายลำดับการทำงาน

การรับส่งข้อมูล การตอบสนองต่อเหตุการณ์ ตลอดจนเงื่อนไขการทำงานต่างๆ โดยแอปพลิเคชัน จะไม่มีการเตรียมอินเทอร์เน็ตไว้ติดต่อกับคอมพิวเตอร์อื่นๆ แต่การสร้างคอมพิวเตอร์ใหม่จะมีการเตรียมอินเทอร์เน็ตไว้ ซึ่งประกอบด้วยคอมมานด์และอีเอนต์ไว้สำหรับกระตุ้นการทำงานของโปรแกรม โดยคอมมานด์เปรียบเสมือนคำสั่งสำหรับเรียกใช้งาน และอีเอนต์คือสัญญาณของเหตุการณ์ที่โปรแกรมตอบสนองกลับมาตามคำสั่งที่ร้องขอ

2.1.2 การสื่อสารแบบหลายทอด

การส่งข้อมูลแบบหลายทอด ใช้สำหรับส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายขนาดใหญ่จากต้นทางไปยังปลายทาง เพื่อให้ข้อมูลสามารถส่งถึงปลายทางได้ครบถ้วนสมบูรณ์ แสดงดังรูปที่ 2.1 เป็นการสื่อสารแบบ Ad-hoc ไม่ใช้อุปกรณ์ตัวกลาง เช่น access point, router ฯลฯ วัดค่าข้อมูลประมวลผลสัญญาณ รับส่งข้อมูลได้ในโหมดเดียว ปรับปรุงเส้นทางเมื่อบางโหนดหายไป เพื่อให้ระบบทำงานได้ตามปกติ วิธีสื่อสารแบบหลายทอดประกอบด้วย 2 ขั้นตอนคือ การค้นหาโหนดข้างเคียง พร้อมกับประมาณค่าคุณภาพสัญญาณเชื่อมต่อ และการหาลำดับครั้งของการส่งข้อมูล



รูปที่ 2.1 การสื่อสารแบบหลายทอด

การหาเส้นทางในระบบปฏิบัติการ TinyOS [11] มี 3 แบบ แบบที่ 1 Broadcast เป็นการกระจายข้อมูลไปยังโหนดทุกโหนดทำได้ 2 วิธี วิธีที่ 1 Flooding protocol เป็นวิธีที่ใช้กันทั่วไป โหนดฐานส่งข้อมูลไปยังโหนดข้างเคียงและส่งต่อไปเรื่อยๆ จนกระทั่งได้รับข้อมูลของตนเองจึงหยุดส่งซึ่งเกิดการส่งซ้ำได้ง่าย วิธีที่ 2 Epidemic algorithm จะแตกต่างจากวิธีแรกคือ มีการเพิ่มลำดับครั้งของการส่งเพื่อให้ทราบการกระจายตัวของข้อมูล ช่วยลดการส่งข้อมูลซ้ำซ้อน ช่วยประหยัดพลังงาน และยืนยันได้ว่าโหนดทุกตัวได้รับข้อมูล แก้ปัญหาการเข้าสู่โหมดประหยัดพลังงานแบบชั่วคราว แบบที่ 2 Intra-Network-Routing เป็นโพรโตคอลแบบ Ad-hoc เช่น DSDV (Destination

Sequence Distance Vector) และ AODV (Ad hoc On-Demand Distance Vector) ซึ่งออกแบบสำหรับการส่งข้อมูลไปยังปลายทางที่เจาะจง เช่น การเชื่อมต่อเข้ากับระบบอินเทอร์เน็ต แบบที่ 3 Tree-Base-routing ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ หมายเลขต้นทางและปลายทาง และจำนวนครั้งในการสื่อสาร โดยการส่งข้อมูลไปยังโหนดข้างเคียงพร้อมกับเพิ่มจำนวนครั้งไปเรื่อยๆ จนกระทั่งถึงปลายทาง

โพรโตคอลที่ใช้ในเครือข่ายไร้สายแบบ Ad-hoc มีอยู่หลายประเภทด้วยกันสำหรับใน TinyOS จะมีรูปแบบของการส่งข้อมูลเป็นแพ็คเกจที่เรียกว่า Active Message [12] ซึ่งมีโครงสร้างของข้อมูลประกอบด้วย Link layer การตอบกลับ (ACK), Time stamp เพื่อตรวจสอบเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูลจากต้นทางไปปลายทาง, ค่าความแรงของสัญญาณ (RSSI) ใช้ในการส่งแบบหลายทางโดยมีค่าแปรผกผันกับระยะทาง, ค่าคุณภาพการเชื่อมต่อสัญญาณ (LQI) เป็นเปอร์เซ็นต์การรับค่าข้อมูลเมื่อผ่านการส่งแบบหลายทางสำหรับในชั้นเน็ตเวิร์ค จะมีการกำหนด รูปแบบการส่งแพ็คเกจในรูป TOS_Msg ซึ่งเป็นข้อมูลที่จะใช้ส่ง ประกอบด้วยข้อมูลส่วนหัวจะเป็นส่วนที่บอกรายละเอียดของแพ็คเกจ และใช้ตรวจสอบปลายทาง ซึ่งมีจำนวนความยาวของข้อมูล fcfhi (Frame Control Field Hight) fcflo (Frame Control Field Low) ตัวนับจำนวนข้อมูล กลุ่มปลายทาง หมายเลขปลายทาง หมายเลขของข้อมูลที่ส่ง กลุ่มของข้อมูล ข้อมูลที่ต้องการส่ง นอกจากนี้ เมื่อปลายทางได้รับข้อมูลแล้วจะมีการหาค่าความแรงของสัญญาณ ค่าคุณภาพการเชื่อมต่อสัญญาณ เปอร์เซ็นต์การได้รับข้อมูล CRC เพื่อเตรียมพร้อมสำหรับส่งข้อมูล การตอบกลับ เป็นการตอบกลับไปยังต้นทางว่าได้รับข้อมูลแล้ว Time Stamp บอกระยะเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูลทั้งหมด

2.1.3 โพรโตคอล CTP (Collection Tree Protocol)

โพรโตคอล CTP [13] คือรูปแบบการสื่อสารสำหรับรวบรวมข้อมูลเข้าสู่ศูนย์กลาง มีวิธีการสร้างเครือข่ายแบบ Tree-Based Routing ซึ่งจะค้นหาเส้นทางที่ดีที่สุดจากตัวส่งหลายๆ ตัว ไปยังตัวรับตัวเดียวกัน แล้วสร้างเครือข่ายเชื่อมต่อเข้าสู่ตัวรับหรือโหนดฐาน เมื่อต้องการเก็บข้อมูลจะส่งข้อความไปยังตัวส่งหรือโหนดเซ็นเซอร์ ระบบจะต้องทราบลำดับการส่งแพ็คเกจอย่างละเอียดเพื่อควบคุมการส่งข้อมูลให้ถึงปลายทาง ในกรณีที่มีโหนดฐานมากกว่า 1 ตัว จะเกิดสาขามากกว่า 1 สาขา โดยการกำหนดโหนดต้นทางและโหนดปลายทาง จะเป็นตัวเลือกเส้นทางการเชื่อมต่อระหว่างสาขา ในการเก็บข้อมูลโพรโตคอลจะเตรียมเส้นทางที่ดีที่สุดสำหรับส่งแพ็คเกจไปยังโหนดฐาน เพื่อส่งด้วยจำนวนครั้งที่น้อยสุดแต่มีโอกาสส่งข้อมูลสำเร็จมากที่สุด

2.1.4 โปรแกรมจำลองการทำงาน TOSSIM [14]

ในระบบปฏิบัติการ TinyOS จะมีโปรแกรม TOSSIM (TinyOS Simulator) ใช้สำหรับจำลองสภาพแวดล้อมในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายทั้งระบบ การรับส่งข้อมูล การค้นหาเส้นทาง รวมถึงสัญญาณรบกวน สามารถควบคุมการสูญหายข้อมูลระหว่างการส่งของระบบปฏิบัติการ TinyOS โดยอ้างอิงสัญญาณจากบอร์ด Mica2 ซึ่งใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR128 และการดัดแปลงสสาร CC2420 โดยออกแบบ physical layer และ MAC layer ตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4 ใช้สำหรับทดสอบอัลกอริทึม โปรโตคอล และการทดสอบต่างๆ โดยสามารถควบคุมและสร้างสภาพแวดล้อมได้เอง โดยใช้ภาษา Python และการกำหนดสภาพแวดล้อมประกอบด้วยการกำหนดค่าช่องสัญญาณความถี่ ค่าสัญญาณคลื่นวิทยุ และค่าโทโพโลยี ดังนี้

1. การกำหนดค่าช่องสัญญาณความถี่

เมื่อสัญญาณคลื่นวิทยุถูกกระจายออกไป จะเกิดการกระจาย การสะท้อน และการหักเหของคลื่นวิทยุ ส่งผลกระทบต่อค่าความแรงของสัญญาณซึ่งจะลดลงตามระยะทางแบบเอ็กโพเนนเชียล ค่าความแรงของสัญญาณที่ระยะต่างๆ มักจะพิจารณาการกระจายแบบลอสปกติ ซึ่งใช้เป็นรูปแบบของการสูญหายค่าคุณภาพสัญญาณตามระยะทางที่พิจารณาในวิทยานิพนธ์ต่างๆ

- PATH_LOSS_EXPONENT : เป็นอัตราการลดลงของค่าคุณภาพสัญญาณ
 - SHADOWING_STANDARD_DEVIATION : เป็นพารามิเตอร์แสดงถึงการสุ่มรับสัญญาณหลายทาง
 - D0 : เป็นค่าระยะห่างน้อยสุดระหว่างโหนด ส่วนใหญ่อยู่ที่ 1 เมตร
 - PL_D0 : เป็นค่าการลดลงของกำลังส่งในหน่วย dB สำหรับค่าระยะอ้างอิง D0
- ตารางที่ 2.1 แสดงถึงตัวแปรช่องสัญญาณ ซึ่งได้ศึกษาภายในเงื่อนไขไม่มีสิ่งกีดขวาง

ตารางที่ 2.1 การกำหนดค่าช่องสัญญาณความถี่

สถานที่	PL_D0 (dB)	PATH_LOSS_ EXPONENT	SHADOWING_STANDARD _DEVIATION (dB)
สนามฟุตบอล	55.4	4.7	3.2
ภายในอาคาร	52.1	3.3	5.5

2. การกำหนดค่าสัญญาณคลื่นวิทยุ

ผลกระทบอื่นที่ต้องพิจารณาคือ ความไม่สมมาตรของค่าคุณภาพสัญญาณคลื่นวิทยุในเครือข่ายซึ่งประกอบด้วยโหนดเคลื่อนที่และหยุดนิ่ง สำหรับโหนดเคลื่อนที่ที่ค่าคุณภาพสัญญาณจะขึ้นอยู่กับสัญญาณรบกวนอุณหภูมิ (Thermal noise) ซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าระดับพื้นสัญญาณรบกวน (Noise floor) ของโหนดในขณะนั้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงจะเป็นการกระจายตัวแบบเกาส์เซียน (Gaussian distribution) ที่มีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานขึ้นอยู่กับข้อกำหนดค่าผ่านตัวแปร

- WHITE_GAUSSIAN_NOISE : เป็นค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสำหรับสัญญาณรบกวนแบบไวท์เกาส์เซียน

สำหรับโหนดอยู่กับที่ค่าคุณภาพสัญญาณจะขึ้นอยู่กับชนิดของอุปกรณ์ ทั้งในแง่ของกำลังการส่ง และค่าเริ่มต้นของระดับพื้นสัญญาณรบกวนระหว่างโหนด เมื่อผู้ใช้กำหนดค่ากำลังการส่งแล้ว ค่ากำลังการส่งจริงจะมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าที่กำหนดไว้ เหมือนกับค่าเริ่มต้นของระดับพื้นสัญญาณรบกวนจะมีค่าเปลี่ยนแปลงและมีค่าความแปรปรวนอยู่ในช่วงของค่าเฉลี่ยนั้น นอกจากนี้ ต้องมีการกำหนดความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความแปรปรวนของกำลังการส่งและระดับพื้นสัญญาณรบกวนด้วย เช่น ใน Mica2 แสดงค่ากำลังการส่งสูงกว่าค่าที่กำหนด และมีค่าระดับพื้นสัญญาณรบกวนต่ำกว่าที่กำหนดไว้เช่นกัน

ค่าความแปรปรวนสามารถกำหนดในรูปของเมตริกซ์ความสัมพันธ์สำหรับกระบวนการแบบเกาส์เซียนในหลายมิติ ซึ่งเมตริกซ์ความสัมพันธ์ประกอบด้วยค่าความแปรปรวนของกำลังการส่ง $S = [S_{11} \ S_{12}; S_{21} \ S_{22}]$ ค่าระดับพื้นสัญญาณรบกวนและค่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งสอง ในหน่วย dBm ดังนี้

- NOISE_FLOOR : เป็นค่าสัญญาณระดับพื้นสัญญาณรบกวนในหน่วย dBm
- S11 : เป็นค่าความแปรปรวนของระดับพื้นสัญญาณรบกวน
- S12 = S21: เป็นค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า Noise floor และค่ากำลังการส่ง
- S22 : ค่าความแปรปรวนของค่ากำลังส่ง

ค่าความแปรปรวนทั้งหมดในเซตของ S อยู่ในหน่วย dB โดยค่าเมตริกซ์ความสัมพันธ์นี้จะขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ ในวิทยานิพนธ์นี้ คือ Mica2 โดยปกติแล้วค่า S11 และ S22 จะมีค่าน้อยซึ่งจะส่งผลกระทบน้อยมากในการวางแผนไม่สมมาตร ส่วนค่า S12 หรือ S21 จะมีค่าติดลบ โดยค่า

สัมบูรณ์ของ S12 หรือ S21 จะต้องน้อยกว่ารากที่สองของผลคูณระหว่าง S11 กับ S22 หากเป็นการวางแบบสมมาตรให้กำหนด S11 และ S22 เป็นศูนย์ สามารถปรับค่าแปรเพื่อใช้ในการศึกษาผลกระทบต่อโพโรโตคอลชนิดต่างๆ ได้ แต่ควรระวังการปรับค่าความแปรปรวนมากเกินไปเนื่องจากค่าของ Mica2 ที่กำหนดไว้มีค่าสูงมากแล้ว ในกรณีที่เป็นการวางแบบสมมาตรให้กำหนดค่าเมตริกซ์ความแปรปรวนดังนี้ $[0 \ X; \ X \ 0]$ โดย X เป็นตัวเลขใดๆ ตัวอย่างการกำหนดค่าสัญญาณคลื่นวิทยุ ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 การกำหนดค่าสัญญาณคลื่นวิทยุ

NOISE_FLOOR	ระหว่าง -110 ถึง -104 dBm
S=[S11 S12; S21 S22]	[3.7 -3.3; -3.3 6.0] ไม่สมมาตรมาก [0.9 -0.7; -0.7 1.2] เกือบสมมาตร
WHITE_GAUSSIAN_NOISE	ระหว่าง 4 ถึง 5 dB

3. การกำหนดค่าโทโพโลยี

รูปแบบการจัดวางโหนดต่างๆ ในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายสามารถกำหนดได้ 4 แบบ โดยการระบุหมายเลขเพื่ออ้างอิงรูปแบบต่างๆ ดังนี้

- แบบตาราง (GRID) : 1 เป็นการวางโหนดแบบตารางสี่เหลี่ยมจัตุรัส จำนวนโหนดต้องเป็นจำนวนเต็มกำลังสอง เช่น 4, 9, 16, 25,... เป็นต้น
- แบบสม่ำเสมอ (UNIFORM) : 2 เป็นการวางโหนดที่มีการกระจายตัวแบบสม่ำเสมอ โดยจำนวนโหนดเป็นจำนวนเต็มกำลังสอง โดยพื้นที่ที่กำหนดจะเป็นตัวแบ่งจำนวนโหนดในแต่ละส่วน ซึ่งจะถูกรวบรวมแบบสุ่ม
- แบบสุ่ม (RANDOM) : 3 เป็นการวางโหนดแบบสุ่มในพื้นที่ที่กำหนด
- แบบเจาะจง (FILE) : 4 เป็นการวางโหนดตามที่ผู้ใช้กำหนด โดยตำแหน่งของโหนดจะถูกอ่านจากไฟล์ที่ผู้ใช้เป็นผู้กำหนด

ตัวอย่าง หากต้องการจัดวางโหนดแบบสุ่ม ให้กำหนดตัวแปร TOPOLOGY = 3 แต่ถ้าต้องการกำหนดการจัดวางแบบเจาะจงให้กำหนดตัวแปร TOPOLOGY = 4 โดยกำหนดรูปแบบของไฟล์ไว้ดังนี้

nodeid Xcoordinate Ycoordinate

เมื่อ X coordinate และ Y coordinate เป็นการกำหนดพิกัดของโหนดในระนาบ X และ Y อยู่ในหน่วยเมตร และ nodeid คือหมายเลขของโหนดซึ่งควรจะเริ่มที่ 0 ตัวอย่างไฟล์ระบุโทโพโลยีของเครือข่าย เช่น

0	1.0	2.7
1	3.0	5.6
2	5.2	7.8

นอกจากนี้ เรายังสามารถกำหนดค่าพารามิเตอร์ในการจัดเรียงโหนดภายในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไว้สายได้ ดังนี้

- NUMBER_OF_NODE : สำหรับการวางแบบตาราง และแบบสมมาตรเป็นจำนวนเต็มกำลังสอง หากเป็นการวางแบบเจาะจงไม่จำเป็นต้องมีตัวแปร
- TERRAIN_DIMENSIONS_X : เป็นความกว้างในแนวนอน X สำหรับการวางแบบสมมาตร และแบบสุ่ม
- TERRAIN_DIMENSIONS_Y : เป็นความกว้างในแนวนอน Y สำหรับการวางแบบสมมาตร และแบบสุ่ม หากเป็นการจัดเรียงแบบสมมาตรค่านี้ต้องเท่ากับค่า TERRAIN_DIMENSIONS_X
- GRID_UNIT : เป็นระยะห่างระหว่างโหนดในแต่ละจุดใช้สำหรับการวางแบบตารางเท่านั้น
- TOPOLOGY_FILE : เป็นชื่อไฟล์ที่ใช้กำหนดตำแหน่งของโหนดไว้ สำหรับการวางแบบเจาะจงเท่านั้น

การกำหนดระยะห่างระหว่างโหนดจะต้องมากกว่าหรือเท่ากับค่า D0 เช่นการกำหนดค่า GRID_UNIT สำหรับการวางแบบตาราง และการสร้างไฟล์ระบุพิกัดของการวางแบบเจาะจงจะต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขนี้ ส่วนการวางแบบสมมาตร และแบบสุ่ม ความหนาแน่นของโหนด หรือจำนวนโหนดต่อพื้นที่จะต้องไม่เกิน 0.5 โหนดต่อพื้นที่ขนาด $D0^2$

2.2 ภาพดิจิทัล

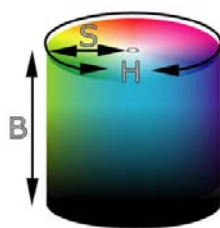
ข้อมูลภาพเป็นการใช้ค่าทางดิจิทัลเพื่อแทนจุดเล็กหนึ่งจุด การแสดงผลข้อมูลภาพเปรียบเสมือนการนำหน่วยย่อยเล็ก ๆ ที่มีสีพื้นฐาน 3 สีรวมกันที่อัตราส่วนต่างๆ ขึ้นอยู่กับค่า

ความละเอียดของสีเรียกว่าพิกเซล เมื่อนำพิกเซลเหล่านั้นมาเรียงอัดแน่นกันเป็นจำนวนมากใน 2 มิติจะเกิดเป็นภาพยังมีความละเอียดมากก็ทำให้ภาพมีความเหมือนจริงมากยิ่งขึ้น ภาพนิ่ง 2 มิติที่สร้างและนำมาใช้งานกับคอมพิวเตอร์แบ่งได้ 2 ประเภท คือ ภาพเวกเตอร์ และภาพบิตแมป ภาพเวกเตอร์เป็นที่มีโครงสร้างแบบเรขาคณิต ตัวอย่างรูปแบบไฟล์ภาพเวกเตอร์ ได้แก่ Ai, Cdr, Cgm, Cmx, Drw, Eps, Pdf, Pct, Pic, Plt และ Wmf เป็นต้น ภาพเวกเตอร์เป็นไฟล์ขนาดเล็กสามารถปรับปรุงโครงร่างของภาพได้แม้จะเป็นเส้นบางๆ และสามารถย่อขยายภาพได้โดยไม่สูญเสียคุณภาพ ส่วนภาพบิตแมปเป็นภาพที่เกิดจากการประกอบรวมกันของพิกเซล ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่เล็กที่สุดที่ใช้แสดงผลบนจอภาพ สามารถรองรับการแสดงสีได้มากกว่า 16.7 ล้านสี ภาพแบบบิตแมปสร้างได้หลายวิธี เช่น ภาพจากคอมพิวเตอร์ เครื่องสแกนเนอร์ และกล้องหรือวิดีโอดิจิทัล ภาพบิตแมปที่มีความละเอียดน้อยเมื่อทำการขยายจะทำให้สูญเสียรายละเอียดของภาพ เกิดเป็นรอยหยัก ไฟล์ภาพบิตแมปมีให้เลือกใช้งานหลายชนิด เช่น Bmp, Cgm, Gif, Hgl, Jpeg, Pbm, Pcx Pgm, Pnm, Ppm, Psd, Rle, Tga, Tiff และ Wpg เป็นต้น

2.2.1 ระบบสี

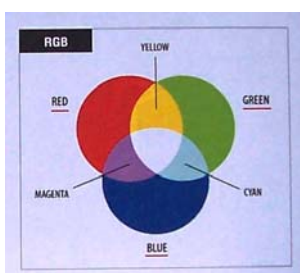
รูปแบบของแสงสีที่ใช้งานบนคอมพิวเตอร์ มีรูปแบบที่แตกต่างกัน แบ่งได้หลายรูปแบบ เช่น HSB (Hue, Saturation, Brightness) เป็นแสงสีที่ตอบสนองการมองเห็นของสายตาสงของมนุษย์ RGB (Red, Green, Blue) เป็นแสงสีที่ใช้งานกับจอภาพคอมพิวเตอร์ และ CMYK (Cyan, Magenta, Yellow, Black) เป็นแสงสีที่ใช้งานกับเครื่องพิมพ์ เป็นต้น

— ระบบสี HSB ประกอบขึ้นด้วยลักษณะของแสงสี 3 ประการ คือ Hue, Saturation และ Brightness โดย Hue (H) เป็นการเปลี่ยนแปลงเฉดสีที่แตกต่างจากแสงหลักทั้งสาม (แดง เขียว น้ำเงิน) ตามมาตรฐานที่เรียกว่า “Standard Color Wheel” โดยเปรียบเทียบกับองศาต่างๆ บนวงกลม ซึ่งเป็นการนำองศาของวงกลมไปแบ่งความแตกต่างของแสงสีตั้งแต่ 0-360 องศา ตามการผสมแสงสีมาตรฐานหลัก 3 สี คือ แดง เหลือง และน้ำเงิน ซึ่งแต่ละสีจะมีค่าองศาที่ต่างกัน ดังนี้ สีแดงมีค่าเป็น 0 หรือ 360 สีเหลืองมีค่าเป็น 120 และสีน้ำเงินมีค่าเป็น 240 ส่วน Saturation (S) เป็นค่าความเข้มของแสงสีที่อยู่ในช่วงสีจางจนถึงสีเข้ม จะเป็นสัดส่วนของสี Hue ที่มีอยู่ในโทนสีเทา โดยวัดค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ ตั้งแต่ 0% (สีเทา) จนถึง 100% (ค่าความเข้มของสีมากที่สุด) และ Brightness (B) เป็นค่าความสว่างของสี คือค่าของสีดำไล่ระดับสว่างขึ้นเรื่อยๆ จนถึงสีขาวซึ่งวัดค่าเป็นเปอร์เซ็นต์จาก 0% (สีดำ) จนถึง 100% (สีขาว) ดังรูปที่ 2.2



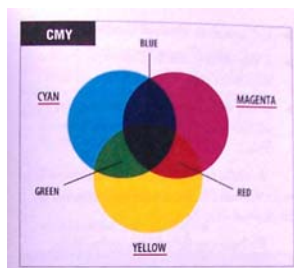
รูปที่ 2.2 ระบบสีแบบ HSB

— ระบบสี RGB เกิดจากการรวมของสีหลักคือ แดง (Red) เขียว (Green) และน้ำเงิน (Blue) อาศัยระบบพิกัด Cartesian โดยค่า RGB จะอยู่ที่แกนสามแกน และที่มุมสามมุมของแต่ละระนาบจะเป็นการรวมกันของสีพื้นฐานกลายเป็นสีน้ำเงินเขียว (Cyan) สีม่วงแดง (Magenta) และสีเหลือง (Yellow) ที่จุดเริ่มต้นจะเป็นสีดำ และที่จุดปลายสุดของทั้งสามแกนจะเป็นสีขาว การรวมกันของสีแสดงดังรูปที่ 11 ซึ่งจะได้สีแตกต่างกันตามสัดส่วนความเข้มของสี RGB โดยสีหลักทั้ง 3 จะมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 255 เมื่อข้อมูลสี RGB เปลี่ยนไปความเข้มของสีแดง เขียว และน้ำเงินบนจอภาพจะปรับเปลี่ยนตามไปด้วย ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ระบบสีแบบ RGB

— ระบบสี CMYK เกิดจากการซึมซับหมึกพิมพ์ลงบนกระดาษ โดยมีสีพื้นฐาน คือ สีน้ำเงินเขียว (Cyan) สีแดงม่วง (Magenta) และสีเหลือง (Yellow) แต่มีบางสีที่ CMYK ไม่สามารถผสมให้เกิดสีได้ เช่น สีน้ำตาล จึงได้มีการเพิ่มสีดำ (Black) ลงไป เป็นผลให้เครื่องพิมพ์สามารถพิมพ์สีได้ครบทุกสีที่เกิดจากการผสมสี ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ระบบสีแบบ CMYK

2.3 การบีบอัดข้อมูลภาพ

การเก็บข้อมูลภาพในรูปแบบข้อมูลดิจิทัลต้องใช้ทรัพยากรในการจัดเก็บ ข้อมูลภาพที่ต้องการความละเอียดสูงจะต้องใช้พื้นที่หน่วยความจำจำนวนมาก การบีบอัดข้อมูลภาพเป็นวิธีการจัดเก็บข้อมูลภาพให้มีขนาดน้อยลง มีความจำเป็นต่อระบบสื่อสารและจัดเก็บข้อมูลทำให้จัดเก็บหรือรับส่งข้อมูลได้มากขึ้นโดยใช้เนื้อที่เท่าเดิม เมื่อใช้ความครบถ้วนของข้อมูลภาพเป็นเกณฑ์สามารถแบ่งการบีบอัดข้อมูลภาพออกเป็น 2 ประเภทคือ การบีบอัดแบบไม่สูญเสียข้อมูล และการบีบอัดแบบสูญเสียข้อมูล

2.3.1 การบีบอัดแบบไม่สูญเสียข้อมูล

การบีบอัดแบบไม่สูญเสียข้อมูลเป็นการบีบอัดข้อมูลที่ไม่มีการสูญเสียข้อมูล โดยภาพจะถูกบีบขนาดและขยายกลับคืนแบบพิกเซลต่อพิกเซลเหมือนกับภาพดั้งเดิม ไฟล์ภาพที่ได้จะมีความละเอียดสูง แต่จะมีขนาดใหญ่ทำให้เปลืองพื้นที่หน่วยความจำ

— การบีบอัดข้อมูลแบบ RLE (Run Length Encoding) เป็นวิธีการบีบอัดข้อมูลแบบไม่สูญเสียข้อมูลที่เหมาะกับข้อมูลที่ซ้ำกันจำนวนมากและต่อเนื่องกัน เช่น ภาพกราฟิกอย่างง่าย โดยการแทนข้อมูลที่ซ้ำกันด้วยตัวเลขบอกความถี่และตัวแทนของข้อมูลนั้น เช่น sssssbsccccyyy เมื่อผ่านกระบวนการ RLE จะได้เป็น 5sbs4c3y โดยส่วนใหญ่ข้อมูลภาพที่ติดกันจะมีการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลน้อย ดังนั้นการทำ RLE จึงสามารถลดจำนวนการประมวลผลในแต่ละขั้นตอนได้ ข้อมูลในแนวนอนจะถูกเชื่อมต่อกันทันทีเมื่อผ่านกระบวนการ RLE โดยอัลกอริทึมการทำงานจะรวมพิกเซลที่ติดกัน ถ้าพิกเซลที่อ่านได้มีความต่อเนื่องกันจะทำการบันทึกเพียงจำนวนพิกเซลที่ซ้ำกันเท่านั้น มีการนำไปใช้กับการส่งข้อมูลของเครื่องโทรสาร โดยใช้คู่กับวิธีฮัฟแมนโคดและเทคนิคอื่น เนื่องจากส่วนใหญ่เอกสารที่ส่งจะเป็นพื้นขาวและมีตัวหนังสือสีดำแทรก

— การบีบอัดข้อมูลแบบ LZW (Lempel-Ziv-Welch) การบีบอัดข้อมูลมีความยุ่งยากกว่าแบบ RLE โดยการใส่รหัสของ LZW นั้นจะขึ้นอยู่กับการค้นหาและการบันทึกแพตเทิร์นในโครงสร้างของภาพ LZW โดยจะอ่านค่าพิกเซลสำหรับภาพบิตแมปและสร้างตารางรหัสซึ่งแทนค่าแพตเทิร์นที่ซ้ำๆ กันของพิกเซล ภาพที่ถูกสแกนมาหรือภาพที่ไม่ค่อยมีแพตเทิร์นที่เหมือนกันจะไม่น่าจะได้ประโยชน์มากนักสำหรับวิธีการบีบอัดแบบนี้

การบีบอัดแบบไม่สูญเสียข้อมูลที่นิยมใช้ในกล้องดิจิตอลคือไฟล์ TIFF และไฟล์ BMP เป็นไฟล์ที่สามารถเก็บสีได้สูงสุด 16.7 ล้านสี เลือกบีบอัดได้ในแบบ RLE ใช้ได้กับรูปที่มีสีน้อย กรณีที่ภาพมีสีมากจะบีบอัดได้ไม่ดี ไฟล์ PNG เป็นไฟล์บิตแมปที่ให้สีเหมือนจริงได้สูงสุด 48 บิตต่อพิกเซล ไฟล์ PNG นับได้ว่าเป็นรูปแบบไฟล์ภาพที่ดี เหมาะสำหรับจัดเก็บไฟล์ต้นฉบับ นอกจากนั้นไฟล์ภาพ PNG ยังเล็กกว่าไฟล์แบบ LZW และ TIFF ตัวอย่างการบีบอัดภาพแบบไม่สูญเสียข้อมูลมีดังนี้

— BMP เป็นวิธีการจัดการหน่วยความจำหรือรูปแบบการจัดเก็บข้อมูลภาพดิจิตอลประเภทหนึ่งที่ไม่มีการบีบอัดใดๆ ข้อมูลภาพที่ได้มีขนาดใหญ่ มีความละเอียดของข้อมูลสูง ความลึกของสีส่วนใหญ่อยู่ที่ 24 bpp

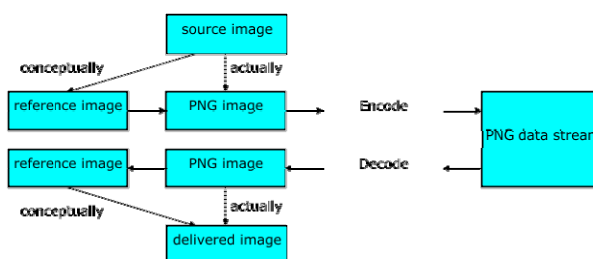
— TIFF เป็นไฟล์บิตแมปที่มีคุณภาพสูง ไฟล์ค่อนข้างใหญ่และสิ้นเปลืองพื้นที่ในการจัดเก็บมาก และมีความเป็นมาตรฐานยอมรับได้ในหลายโปรแกรมแม้เครื่องต่างระบบ โดยจะเก็บความลึกของสี RGB ได้สูงสุด 48 บิต และ CMYK 32 บิต สามารถเลือกการบีบอัดได้หลายรูปแบบ เช่น Packbits, JPEG, LZW และ RLE เป็นต้น TIFF เป็นการบีบอัดข้อมูลในลักษณะไม่สูญเสีย ทำให้คุณภาพภาพที่ได้สมบูรณ์ไม่ถูกตัดทอนออกไป ภาพที่บันทึกเป็นไฟล์ TIFF สามารถนำมาแก้ไขและปรับแต่งสีได้ภายหลัง

— RAW เป็นการจัดเก็บข้อมูลเป็นแบบไม่มีการบีบอัด และยังไม่มีการประมวลผลข้อมูลใดๆ ลักษณะไฟล์ภาพที่ได้เป็นข้อมูลดิบที่ส่งตรงมาจากตัวรับภาพ การแก้ไขค่าการบันทึกต่างๆ ในส่วนของสมดุลสีขาวหรือแม้แต่ค่าการบันทึกสามารถทำได้โดยการใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ ไฟล์ภาพประเภทนี้เหมาะสำหรับภาพที่ต้องการคุณภาพภาพสูงและต้องการแก้ไขปรับแต่งภาพ ไฟล์ภาพที่ได้จะมีขนาดใหญ่ปานกลาง คือใหญ่กว่าไฟล์ JPEG แต่เล็กกว่าไฟล์ TIFF ที่ระดับความละเอียดในการบันทึกเดียวกัน

— GIF เป็นไฟล์บิตแมปที่ใช้สีได้สูงสุด 256 สี นิยมเรียกกันโดยทั่วไปว่า Gif Animation เป็นไฟล์ภาพเคลื่อนไหวที่มีขนาดของไฟล์เล็ก ทั้งนี้เนื่องจากไฟล์ชนิดนี้ได้มีการบีบอัดข้อมูลแบบ LZW ทำให้ขนาดของไฟล์เล็กลง ส่งผลให้การส่งผ่านข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ยังสามารถ

รองรับโหมดสีแบบต่างๆ ไม่ว่าจะเป็น Bitmap-Mode, Grayscale หรือแม้แต่ Indexed-Color Gif ได้อีกด้วย แม้ว่าไฟล์ชนิดนี้จะเป็นที่นิยมนำมาใช้งานอย่างแพร่หลายบนระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต แต่มีข้อจำกัดในเรื่องคุณภาพของสีที่ลดลง

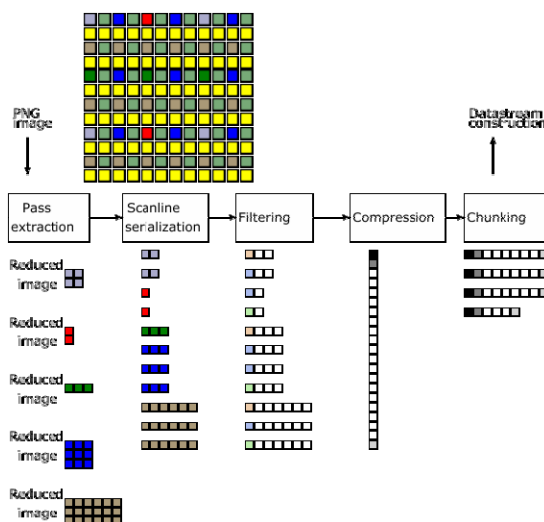
— PNG เป็นไฟล์บิตแมปที่ออกแบบแทนไฟล์ GIF แม้ว่าไฟล์ PNG จะมีคุณสมบัติที่เหนือกว่าไฟล์ GIF อยู่หลายประการก็ตาม แต่ความนิยมของผู้ใช้ยังเป็นไฟล์ GIF มากกว่า อย่างไรก็ตาม นักออกแบบเว็บไซต์สมัยใหม่กำลังให้ความสนใจและนำไฟล์ชนิดนี้มาใช้งานเป็นอย่างมาก เนื่องจากสามารถรองรับโหมดสีต่างๆ ได้หลากหลายรูปแบบ เช่น โหมดสีเทา และ RGB ชนิด Single Alpha Channel โหมดสีแบบบิตแมปชนิด Indexed-Color ที่ไม่มี Alpha Channel รวมถึงขนาดของไฟล์ที่มีขนาดเล็กใกล้เคียงกันกับไฟล์ GIF แต่ให้คุณภาพของสีที่ดีกว่า การบีบอัดภาพแบบ PNG เหมาะกับภาพที่มีจำนวนพิกเซลสีโทนเดียวกัน ซึ่งใช้มากในภาพบนเว็บ ให้ความคมชัดมากกว่าเทคนิคการบีบอัดภาพแบบ JPEG โดยใช้วิธีการจัดกลุ่มของสีพร้อมทั้งสามารถปรับค่าความโปร่งใสของแต่ละจุดได้ โดยการแปลงภาพต้นฉบับไปเป็น PNG Image สามารถทำได้ 2 วิธี คือ แปลงโดยตรงซึ่งทำให้เกิดการสูญเสียข้อมูลบางส่วน กับการแปลงเป็นภาพอ้างอิงจะไม่มี การสูญเสียข้อมูล แล้วจึงผ่านกระบวนการเข้ารหัสออกมาเป็น PNG data stream เพื่อใช้ส่งข้อมูล หลังจากนั้นเป็นการถอดรหัสข้อมูลกลับมาเป็นภาพที่ได้รับซึ่งแปลงได้ทั้งทางตรงและทางอ้อม เช่นกัน ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 กระบวนการแปลงภาพเป็นข้อมูลชนิด PNG

กระบวนการบีบอัดภาพ PNG ประกอบด้วยขั้นตอน Pass extraction เป็นการจัดกลุ่มของสีที่ซ้ำซ้อนกัน แล้วนำมาผ่านกระบวนการ Scanline sterilization แยกกลุ่มของสีออกทีละแถว แล้วนำมาผ่านตัวกรองเพื่อกรองข้อมูล หลังจากนั้นเข้าสู่กระบวนการบีบอัดข้อมูลเพื่อลดขนาดของข้อมูล ตามด้วยการเรียงข้อมูลให้อยู่ในรูปของ chunking เพื่อจัดส่งเป็น DataStream construction ซึ่งมีโครงสร้างประกอบด้วยความยาวของข้อมูลภาพที่จะส่ง chunk type บอกรหัส

ของ chunk data ที่ต้องการส่ง และ CRC ตรวจสอบความถูกต้องของความยาวข้อมูลทั้งหมดที่จัดส่ง ดังรูปที่ 2.6



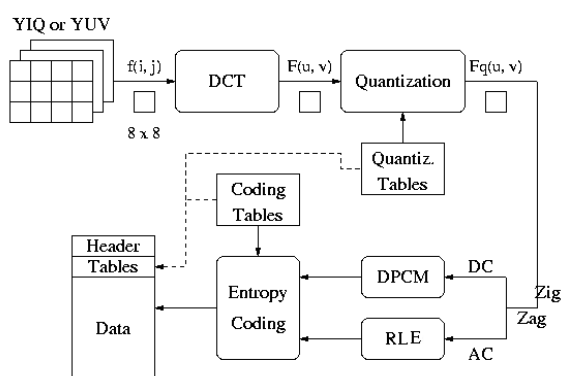
รูปที่ 2.6 ขั้นตอนการบีบอัดภาพแบบ PNG

2.3.2 การบีบอัดแบบสูญเสียข้อมูลบางส่วน

การบีบอัดแบบสูญเสียข้อมูลเป็นการบีบอัดข้อมูลภาพที่มีการตัดทอนข้อมูลภาพบางส่วนเพื่อให้ไฟล์ภาพมีขนาดเล็กลง การสูญเสียข้อมูลไม่สามารถเรียกกลับคืนมาได้ การบันทึกแบบสูญเสียข้อมูลบางส่วนที่นิยมใช้คือ JPEG เป็นไฟล์บิตแมปที่มีการบีบอัดเป็นที่ยอมรับในปัจจุบัน เก็บความลึกสีได้สูงสุด 32 บิต ไฟล์ JPEG การบีบอัดที่เหมาะสมคือ 75-80% ของคุณภาพภาพที่เหลือ หรือมีการบีบอัด 20-25% หากกำหนดค่าการบีบอัดต่ำหรือสูงเกินไป อาจส่งผลเสียต่อคุณภาพภาพได้โดยตรง สามารถมองเห็นข้อบกพร่องได้ด้วยตาเปล่า เช่น ภาพอาจไม่ชัดเจน หรือมีสีผิดเพี้ยน เป็นต้น

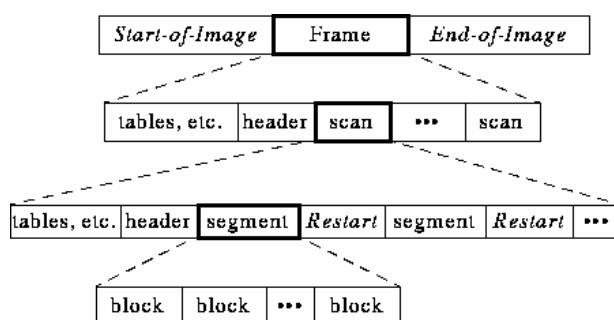
— JPEG เป็นไฟล์ที่แสดงผลแบบ Indexed-Color รองรับโหมดสีแบบ CMYK, RGB, Grayscale ได้เป็นอย่างดีแต่ไม่รองรับคุณสมบัติโปร่งแสง นิยมนำมาใช้บนไฟล์เอกสาร Html ไฟล์ JPEG เป็นที่นิยมใช้มากที่สุดในกล้องดิจิทัล เป็นการบีบอัดไฟล์แบบสูญเสียข้อมูลภาพในส่วนที่สายตามนุษย์มองไม่เห็น ทำให้คุณภาพภาพมีความสมบูรณ์ไม่แตกต่างจากไฟล์ TIFF แต่มีขนาดไฟล์ที่เล็กกว่ากันมาก ทั้งนี้คุณภาพภาพจะใกล้เคียงกับไฟล์ TIFF ได้นั้น ระดับการบีบอัดหรือการตัดทอนข้อมูลต้องไม่มากจนเกินไป สามารถเลือกระดับการบีบอัดได้เพื่อประหยัดพื้นที่จัดเก็บหรือหน่วยบันทึกข้อมูลเป็นหลักใหญ่ การบีบอัดไฟล์แบบน้อยที่สุดจะให้คุณภาพภาพที่ดี ดังนั้นหาก

ผู้ใช้เลือกใช้ไม่เหมาะสมแม้ว่าจะประหยัดพื้นที่ไปได้แต่ก็จะได้ภาพที่มีคุณภาพไม่ดีนัก JPEG ใช้วิธีการแบ่งข้อมูลออกเป็นบล็อกย่อยๆ โดยขนาดบล็อกมาตรฐานจะเป็น 8×8 พิกเซล ซึ่งต้องใช้หน่วยความจำขนาด 64 บิตในการเก็บข้อมูล แต่เมื่อผ่านกระบวนการบีบอัดภาพแบบ JPEG แล้วสามารถลดข้อมูลลงเหลือเพียง 24 บิตเท่านั้น การบีบอัดของ JPEG นั้นจะใช้เทคนิคที่เรียกว่า DCT ซึ่งเป็นการแปลงค่าความสว่างของภาพให้อยู่ในเชิงความถี่ ทำให้สามารถเลือกแทนค่าของสัมประสิทธิ์หรือในที่นี้คือแอมพลิจูดของค่าความถี่ต่างๆ ได้โดยอาศัยตัวแปรที่มีนัยสำคัญที่ต่างกัน ได้ การที่สามารถลดนัยสำคัญของค่าตัวเลขลงไปได้ทำให้สามารถลดขนาดของหน่วยความจำหรือขนาดไฟล์ที่ใช้เก็บตามไปได้ ขั้นตอนการบีบอัดข้อมูลแบบ JPEG ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ขั้นตอนการบีบอัดภาพแบบ JPEG

เมื่อผ่านกระบวนการทั้งหมด จะได้ข้อมูลที่มีโครงสร้างดังนี้ Start-of-Image, เฟรม และ End-of-Image โดยเฟรมคือข้อมูลภาพทั้งหมดประกอบด้วย Quantization Tables, Frame header และ Scan ซึ่งประกอบด้วย Huffman Tables, Scan header, Restart และ Segment ที่บรรจุข้อมูลภาพที่เป็นบล็อกขนาด 8×8 พิกเซล ตามลำดับ ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 โครงสร้างของข้อมูลชนิด JPEG

2.4 BTC (Block Truncation Coding)

BTC [15] เป็นการบีบอัดภาพแบบสูญเสียข้อมูลบางส่วนสำหรับภาพสีเทา โดยการแบ่งภาพต้นฉบับออกเป็นบล็อกๆ และใช้วิธีควอนไทซ์ในการลดจำนวนระดับสีภายในบล็อก โดยใช้ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ซึ่งง่ายแก่การประมวลผลนิยมนำมาใช้ในฮาร์ดแวร์ประเภท DXTC (DirectX Texture Compression) นอกจากนี้ยังนำไปใช้ในการบีบอัดภาพสีและได้รับความนิยมนำมาใช้เรียกว่า Colour Cell Compression และสามารถบีบอัดไฟล์วิดีโอ มีการปรับปรุงเป็น AMBTC (Absolute Moment Block Truncation Coding) ซึ่งใช้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และ First Absolute Moment กับค่าเฉลี่ย ซึ่งมีการคำนวณที่ไม่ยุ่งยาก BTC เมื่อใช้บล็อกขนาด 4x4 พิกเซล สามารถลดขนาดการส่งหรือเก็บข้อมูลได้ 25% หากต้องการบีบอัดมากกว่านี้ ทำได้โดยการเพิ่มขนาดของบล็อกแต่จะทำให้คุณภาพภาพลดลงเช่นกัน

การบีบอัดแบบ BTC เริ่มจากแบ่งข้อมูลภาพออกเป็นบล็อกขนาด $m \times n$ พิกเซล ค่าข้อมูลแต่ละตัวเป็น $x(i,j)$ ค่าเฉลี่ยเป็น $\bar{X}$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน σ แล้วควอนไทซ์ข้อมูลเป็น 2 ระดับโดยใช้ค่าเฉลี่ยเป็นเกณฑ์ เมื่อผ่านการบีบอัดแล้วจะได้เป็นบล็อก $y(i,j)$ ดังสมการที่ (2.1)

$$y(i, j) = \begin{cases} 1, & x(i, j) > \bar{X} \\ 0, & x(i, j) \leq \bar{X} \end{cases} \quad (2.1)$$

การถอดรหัสข้อมูลจาก $y(i,j)$ เป็น $x(i,j)$ แสดงไว้ในสมการที่ (2.2)

$$x(i, j) = \begin{cases} a, & y(i, j) = 0 \\ b, & y(i, j) = 1 \end{cases} \quad (2.2)$$

เมื่อ a คือค่าที่น้อยกว่าหรือเท่ากับค่าเฉลี่ย และ b คือค่าที่มากกว่าค่าเฉลี่ย โดย a และ b หาได้จากสมการที่ (2.3) และ (2.4)

$$a = \bar{X} - \sigma \sqrt{\frac{p}{q}} \quad (2.3)$$

$$b = \bar{X} + \sigma \sqrt{\frac{q}{p}} \quad (2.4)$$

เมื่อ p คือจำนวนพิกเซลที่ถูกแทนค่าด้วย 0 และ q คือจำนวนพิกเซลที่ถูกแทนค่าด้วย 1

นอกจากนี้ ยังมีการปรับปรุง BTC เป็น AMBTC [16] โดยใช้วิธี Absolute Moment ในการหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานดังสมการที่ (2.5) และถอดรหัสดังสมการที่ (2.6) และ (2.7)

$$\sigma = \frac{1}{m \times n} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n |x(i, j) - \bar{X}| \quad (2.5)$$

$$a = \bar{X} - \frac{\sigma}{2} \cdot \frac{m \times n}{p} \quad (2.6)$$

$$b = \bar{X} + \frac{\sigma}{2} \cdot \frac{m \times n}{q} \quad (2.7)$$

ตัวอย่างเช่น การเข้ารหัส ข้อมูลภาพบล็อกขนาด 4x4 พิกเซล

245	239	249	239
245	245	239	235
245	245	245	245
245	235	235	239

บล็อกข้อมูลภาพขนาดเล็กโดยทั่วไปจะมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งเป็นลักษณะของการบีบอัดภาพแบบสูญเสียข้อมูลบางส่วนซึ่งเหมาะกับข้อมูลภาพมาก คำนวณค่าเฉลี่ยเท่ากับ 241.875 และเมื่อคำนวณส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอย่างง่ายเท่ากับ 4.5 เมื่อนำมาแปลงเป็นเลขฐานสองและเก็บข้อมูลแบบบิตจะได้

1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	1
1	0	0	0

เมื่อเข้าสู่กระบวนการถอดรหัสหาค่า a และ b จากค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จะได้ 236.773 และ 245.844 ตามลำดับ ซึ่งในการแทนค่าข้อมูลภาพกลับจะต้องเป็นเลขจำนวนเต็ม จึงใช้วิธีปัดเศษลงเพื่อลดความผิดพลาดที่เกิดจากการหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอย่างง่าย เป็น 236 และ 245 ตามลำดับ จะได้ผลลัพธ์ ดังนี้

245	236	245	236
245	245	236	236
245	245	245	245
245	236	236	236

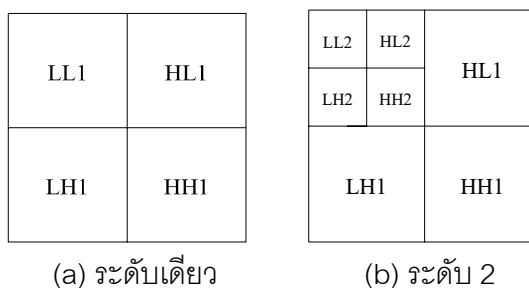
เมื่อพิจารณาผลต่างระหว่างบล็อกต้นฉบับกับบล็อกข้อมูลที่ถอดรหัสแล้ว จะได้เป็น

0	3	4	3
0	0	3	1
0	0	0	0
0	1	1	3

เมื่อนำมาคำนวณค่า MSE เท่ากับ 3.4375 และค่า PSNR เท่ากับ 427.683 ซึ่งอยู่ในช่วงที่ดีมาก

2.5 การแปลงเวฟเลต (Wavelet Transform)

DWT (Discrete Wavelet Transform) เป็นการนำสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงความถี่ไปตามเวลา เปลี่ยนแปลงแบบซับซ้อน หรือสัญญาณที่มีความถี่ต่างๆ ผสมกันอยู่ไม่เป็นคาบ มาผ่านตัวกรองความถี่ต่ำ และตัวกรองความถี่สูง เพื่อแยกสัญญาณออกเป็นส่วนความถี่ต่ำ และส่วนความถี่สูง โดยการนำสัญญาณในโดเมนเวลามาผ่านสมการการแปลงให้อยู่ในโดเมนความถี่ โดยใช้เวฟเลตแม่ที่เหมาะสม การแปลงเวฟเลตแบ่งเป็น 2 แบบตามลักษณะของข้อมูล คือ 1-D และ 2-D การแปลงข้อมูลภาพจะใช้การแปลงเวฟเลตแบบ 2-D ซึ่งสามารถแบ่งข้อมูลได้ในหลายระดับ ตัวอย่างการแปลง 2-D DWT ระดับเดียว สามารถแบ่งข้อมูลภาพได้เป็น 4 ส่วน คือ LL1, HL1, LH1 และ HH1 ดังรูปที่ 2.9 (a) หรือการแปลงแบบ 2 ระดับในรูปที่ 2.9 (b)



รูปที่ 2.9 ผลลัพธ์จากการแปลง 2-D DWT

แนวความคิดการบีบอัดข้อมูลภาพของเวฟเลตอาศัยหลักการที่ว่า ตาของมนุษย์ไม่สามารถสังเกตเห็นภาพส่วนที่มีความถี่สูง จึงสามารถตัดข้อมูลส่วนนั้นออกไปได้ โดยที่คุณภาพภาพยังสามารถยอมรับได้ การแปลงเวฟเลตมีคุณสมบัติในการแปลงข้อมูล เป็นการแยกข้อมูลที่มีความถี่เดียวกันให้อยู่ในระดับเดียวกัน จึงสามารถเลือกเก็บข้อมูลเฉพาะส่วนที่ตาของมนุษย์มองเห็น

วิทยานิพนธ์นี้ใช้ CDF 5/3 [1] เป็นเทคนิคที่เหมาะสมสำหรับการบีบอัดภาพ เนื่องจาก CDF 5/3 ใช้สมการการแปลงที่ตัวหารอยู่ในรูปของ 2^n ซึ่งง่ายต่อการคำนวณในหน่วยประมวลผลขนาดเล็ก โดย $f_L(z)$ คือตัวกรองความถี่ต่ำ และ $f_H(z)$ คือ ตัวกรองความถี่สูง สามารถเขียนดังสมการที่ (2.8) และ (2.9)

$$f_L(z) = -\frac{1}{8}\left(z^2 + \frac{1}{z^2}\right) + \frac{1}{4}\left(z + \frac{1}{z}\right) + \frac{3}{4} \quad (2.8)$$

$$f_H(z) = -\frac{1}{2}\left(z + \frac{1}{z}\right) + 1 \quad (2.9)$$

เมื่อ z คือ ข้อมูลภาพที่ต้องการแปลง การแปลงข้อมูลภาพด้วย CDF 5/3 ให้นำข้อมูลภาพในแต่ละแถวมาผ่านสมการตัวกรองความถี่ต่ำ และตัวกรองความถี่สูง แล้วนำผลลัพธ์ที่ได้ในแต่ละหลักมาผ่านตัวกรองความถี่ต่ำ และตัวกรองความถี่สูงอีกครั้ง การแปลงเวฟเลตนี้จะแบ่งข้อมูลภาพออกเป็น 4 ส่วน คือ ข้อมูลส่วนใหญ่ของภาพ (LL), ข้อมูลในแนวแกนตั้ง (HL), ข้อมูลในแนวแกนนอน (LH) และข้อมูลในแนวทแยง (HH) เราสามารถแปลงข้อมูลในระดับที่ลึกลงไปเรื่อยๆ โดยประยุกต์เข้ากับข้อมูลในส่วน LL ของแต่ละระดับ เนื่องจากเป็นข้อมูลส่วนใหญ่ของภาพ ดังรูปที่ 2.9 (b)