หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

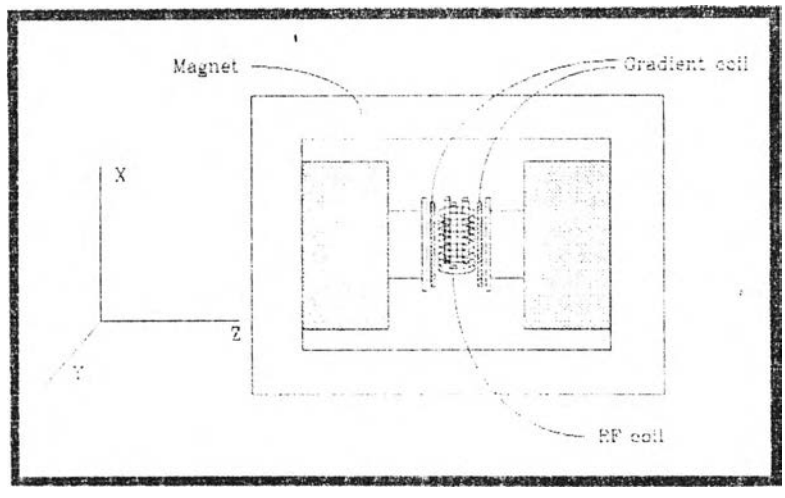
การทดลองและผลการทดลอง

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่าวิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงงานอันหนึ่ง คือการสร้างภาพด้วยวิธีเอ็นเอ็มอาร์ ดังนั้นจึงมีผู้ร่วมในการวิจัยครั้งนี้หลายท่านด้วยกัน โดยแต่ละท่านก็ได้ทำการ สร้างเครื่องมือและทำการทดลองในส่วนต่างๆ ซึ่งเมื่อนำผลงานทั้งหมดมารวมกันแล้วก็จะได้ผลงานรวมคือระบบการสร้างภาพโดยวิธีเอ็นเอ็มอาร์ และเพื่อให้เข้าใจถึงการสร้างภาพจากสัญญาณเอ็นเอ็มอาร์นี้ จำเป็นต้องกล่าวถึงกระบวนการทั้งหมด พอให้เห็นภาพรวมของการทำงานของทั้งระบบ แล้วจึงจะได้กล่าวถึง การทำงานในส่วนที่เป็นวิทยานิพนธ์นี้โดยละเอียดต่อไป

การจัดชุดทดลอง

ในการทดลองนี้จะทำการทดลองโดยใช้หลอดทดลอง 3 หลอดบรรจุน้ำเต็มนำไปวางไว้ภายในขดลวดความถี่วิทยุ ซึ่งขดลวดนี้จะวางอยู่ระหว่างขั้วแม่เหล็กไฟฟ้าที่ให้สนามแม่เหล็กความเข้มสูง และที่ระหว่างขั้วแม่เหล็กดังกล่าวจะมีขดลวดกำเนิดสนามแม่เหล็กที่มีความลาดชันติดตั้งอยู่ด้วย ดังแสดงในภาพที่ 6.1 นอกจากนี้แล้วส่วนอื่นๆของระบบก็ได้ติดตั้งดังแสดงโดยแผนภูมิในภาพที่ 5.1

ระบบที่ประกอบด้วยเครื่องมือดังได้กล่าวมานี้ จะทำงานโดยมีตัวควบคุมหลักคือคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะทำหน้าที่ควบคุมและประมวลผลสัญญาณ โดยคอมพิวเตอร์จะควบคุมให้เกิดกระบวนการดังต่อไปนี้



ภาพที่ 6.1 แสดงการจัดวางหลอดทดลองในระหว่างขดลวดสนามแม่เหล็กสลับ

ขั้นตอนการทำงานของระบบในการควบคุมของคอมพิวเตอร์

1. ตั้งเครื่องเฉลี่ยสัญญาณให้พร้อมที่จะเริ่มรับสัญญาณเข้าไปใหม่ เนื่องจากว่าภายในเครื่องเฉลี่ยสัญญาณจะมีหน่วยความจำที่จะใช้บันทึกสัญญาณที่ถูกแปลงเป็นตัวเลขไว้ และข้อมูลที่อยู่ในหน่วยความจำนี้จะถูกเฉลี่ยกับข้อมูลที่รับเข้ามาใหม่ทุกครั้ง ดังนั้นก่อนที่จะเริ่มกระบวนการใหม่จึงต้องทำการล้างหน่วยความจำเหล่านี้ให้เรียบร้อยก่อน เพื่อไม่ให้ข้อมูลเก่ามารบกวนข้อมูลใหม่

2. เมื่อเครื่องเฉลี่ยสัญญาณพร้อมแล้วก็จะสั่งให้อุปกรณ์ควบคุมสัญญาณความถี่วิทยุส่งพัลส์ 90° เข้าไปยังตัวอย่าง พัลส์ 90° นี้จะทำหน้าที่เหนี่ยวนำให้ โมเมนต์แม่เหล็กภายในสารตัวอย่างหันไปชี้ในทิศที่ตั้งฉากและหมุนควงไปรอบๆสนามแม่เหล็กสถิต ซึ่งจะทำให้เกิดสัญญาณเอฟไอดีออกมา แต่อย่างไรก็ตามในขณะนี้ เรายังไม่สนใจมันนัก

ในการที่ต้องการสร้างภาพของความหนาแน่นของโปรตอนสิ่งในระนาบใดระนาบหนึ่งนั้น จำเป็นที่จะต้องป้อนสนามแม่เหล็กที่มีความลาดในทิศตั้งฉากกับระนาบที่ต้องการเข้าไป

เพื่อให้มีเพียงหนึ่งระนาบเท่านั้นที่มีความถี่เรโซแนนซ์สอดคล้องกับความถี่วิทยุที่ป้อนเข้าไป และระนาบนี้เองที่จะถูกเหนี่ยวนำให้เกิดเรโซแนนซ์และปลดปล่อยสัญญาณเอฟไอดีออกมา [4] แต่อย่างไรก็ดีในการทดลองที่ได้ทำไปแล้วนี้ เป็นการทดลองในลักษณะที่ไม่มีการเลือกระนาบ แต่จะเป็นการสร้างภาพฉายของความหนาแน่นของโปรตอน จากปริมาตรในสามมิติ ไประนาบในสองมิติ ซึ่งจะทำการทดลองได้สะดวกกว่า เนื่องจากสัญญาณเอฟไอดีที่ได้จะมีอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนสูงกว่าสัญญาณที่ได้จากระนาบเพียงระนาบเดียว

3. ขณะที่โมเมนต์แม่เหล็กจะอยู่ในสภาพถูกกระตุ้นเหมือนๆกันทุกๆตัว และในจังหวะนี้เองคอมพิวเตอร์จะสั่งเครื่องควบคุมสนามแม่เหล็กที่มีความลาดให้ป้อนสนามแม่เหล็กที่มีความลาดเข้าไปเพื่อให้มีความแตกต่างเกิดขึ้น ผลของสนามแม่เหล็กที่มีความลาดนี้ได้แสดงไว้แล้วในบทที่ 3 ในสมการ (3.4),(3.5),(3.6) ซึ่งจากสมการเล่านี้แสดงให้เห็นได้ว่า ถ้าความเข้มของสนามแม่เหล็กสถิตคงที่แล้ว ลักษณะของสัญญาณเอฟไอดีที่ถูกปลดปล่อยออกมาจะขึ้นอยู่กับผลคูณของ ค่าช่วงเวลาที่มีสนามแม่เหล็กที่มีความลาดอยู่ กับ ค่าความลาดของสนามแม่เหล็กนั้น (ค่า G ในสมการ 3.5) ดังนั้นถ้าหากว่าเราแปรค่าความลาดของสนามแม่เหล็กก็จะได้ผลในทำนองเดียวกับแปรค่าช่วงเวลาที่มีสนามแม่เหล็กนั้น

ในการทดลองนี้ได้เลือกที่จะแปรค่าความลาดของสนามแม่เหล็กแทนที่จะแปรเวลา เนื่องจากการแปรค่าความลาดของสนามแม่เหล็กทำได้สะดวกมากกว่า โดยที่รูปร่างและความเข้มของสนามแม่เหล็กจะถูกควบคุมโดยคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะส่งข้อมูลเกี่ยวกับรูปร่างและความเข้มไปให้อุปกรณ์ควบคุมสนามแม่เหล็กที่มีความลาดล่วงหน้าก่อนที่จะเริ่มส่งสัญญาณพัลส์ 90^{o} ในขั้นที่ 2

4. เมื่อสิ้นสุดการป้อนสนามแม่เหล็กที่มีความลาด คอมพิวเตอร์จะสั่งอุปกรณ์ควบคุมสัญญาณความถี่วิทยุให้ส่ง พัลส์ 180^{o} เข้าไปเพื่อให้โมเมนต์แม่เหล็กซึ่งกำลังแยกวัฏภาค (dephase) อยู่ไปเปลี่ยนเป็นเริ่มรวมวัฏภาค (rephase) กลับเข้ามา ผลที่ได้ก็คือจะทำให้สัญญาณเอฟไอดี ที่กำลังลดแอมพลิจูด ลงไปกลับค่อยๆเพิ่มแอมพลิจูดขึ้น หรือเกิดสัญญาณย้อนกลับของสัญญาณดังที่ได้กล่าวถึงในบทที่ 2 นั่นเอง

5. ในขณะที่โมเมนต์แม่เหล็กกำลังรวมตัวกันเข้ามานี้เอง คอมพิวเตอร์ก็จะสั่งให้เครื่องควบคุมสนามแม่เหล็กที่มีความลาดลงสนามแม่เหล็กที่มีความลาดออกไปอีกครั้ง โดยทิศของความลาดจะตั้งฉากกับทิศของความลาดในขั้นตอนที่ 3

6. ในขณะเดียวกันนี้ สัญญาณเอฟไอดีจะกำลังเพิ่มแอมพลิจูดจนสูงสุดและสัญญาณในช่วงนี้จะถูกส่งไปยังเครื่องตรวจจับเฟสเพื่อเลื่อนสัญญาณไปในโดเมนความถี่ (Frequency domain) ให้มีความถี่ต่ำลงเพื่อง่ายกับการเปลี่ยนสัญญาณจากสัญญาณไฟฟ้ามาเป็นสัญญาณเชิงตัวเลขโดยเครื่องเฉลี่ยสัญญาณซึ่งจะรับสัญญาณที่ผ่านเครื่องตรวจจับเฟสออกมา

7. เครื่องเฉลี่ยสัญญาณจะแปลงข้อมูลจากสัญญาณไฟฟ้าไปเป็นสัญญาณเชิงตัวเลขแล้วนำไปเก็บไว้ในหน่วยความจำภายในเครื่องเฉลี่ยสัญญาณซึ่งสามารถบันทึกตัวเลขไว้ได้ 2048 จำนวนด้วยกัน โดยแบ่งออกเป็น 2 ช่องช่องละ 1024 จำนวน ซึ่งในแต่ละช่องจะรับสัญญาณจากเครื่องตรวจจับเฟสซึ่งก็มีสัญญาณขาออกสองช่องโดยใช้สัญญาณอ้างอิงที่ต่างกัน 90^0 ทำให้ได้สัญญาณที่เป็นส่วนจริงและส่วนเชิงซ้อนออกมาเก็บไว้ในแต่ละช่องข้อมูลของเครื่องเฉลี่ยสัญญาณ

8. เมื่อเครื่องเฉลี่ยสัญญาณเก็บข้อมูลไว้แล้วคอมพิวเตอร์จะสั่งให้ทำซ้ำกระบวนการเหล่านี้อีกครั้ง โดยจะเริ่มตั้งแต่ขั้นตอนที่ 2 ซึ่งในรอบใหม่นี้เมื่อสัญญาณที่ได้มาถึงเครื่องเฉลี่ยสัญญาณอีกครั้ง เครื่องเฉลี่ยสัญญาณจะนำข้อมูลที่อยู่ในหน่วยความจำมาบวกเข้ากับข้อมูลใหม่แล้วเก็บบันทึกไว้ในหน่วยความจำ ซึ่งการรวมข้อมูลเข้าด้วยกันนี้จะเป็นผลให้อัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนอย่างสุ่มสูงขึ้น

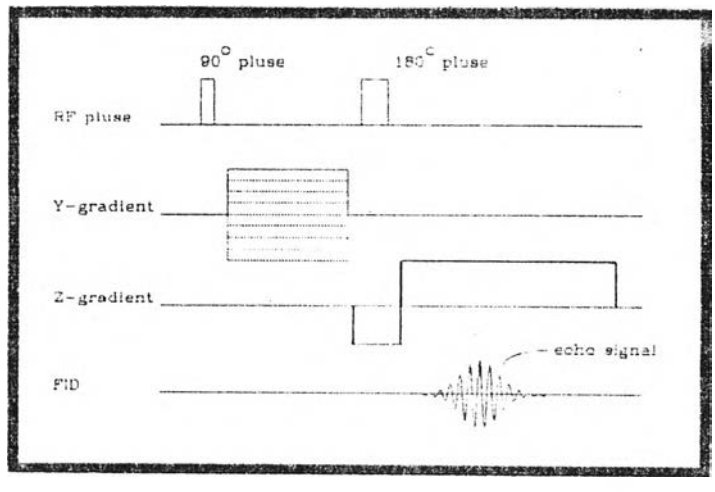
จำนวนครั้งที่ต้องการให้ทำซ้ำจะถูกกำหนดไว้ล่วงหน้าในคอมพิวเตอร์ และอัตราส่วนของสัญญาณรบกวนจะเพิ่มขึ้นตามรากที่สองของจำนวนครั้งในการนำสัญญาณมาเฉลี่ย การทำซ้ำนี้จะทำเป็นจำนวนครั้งเท่าใดขึ้นอยู่กับว่ามีสัญญาณรบกวนมากน้อยเพียงใด ซึ่งถ้ามีสัญญาณรบกวนมากก็จำเป็นที่จะต้องทำซ้ำให้มากครั้ง แต่อย่างไรก็ดีการทำซ้ำมากครั้งเกินไปก็มีผลเสียคือจะทำให้เสียเวลาไปโดยไม่จำเป็น

เมื่อทำซ้ำจนครบตามที่ได้กำหนดไว้แล้วคอมพิวเตอร์จะเรียกข้อมูลจากเครื่องเฉลี่ยสัญญาณไปเก็บไว้ในหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์อีกต่อหนึ่ง

9. เมื่อรับสัญญาณที่เฉลี่ยแล้วเข้ามาชุดหนึ่งแล้วคอมพิวเตอร์จะสั่งให้ทำซ้ำตั้งแต่ขั้นที่ 1 ถึงขั้นที่ 8 อีกครั้งโดยจะแปรค่าความลาดของสนามแม่เหล็กที่ป้อนให้ในขั้นที่ 3 ไป แล้วบันทึกสัญญาณไว้ทุกรอบ

คอมพิวเตอร์จะสั่งให้ทำซ้ำโดยแปรค่าความลาดของสนามแม่เหล็กไปนี้ตามจำนวนครั้งที่ได้กำหนดไว้ในโปรแกรม แล้วจากนั้นจึงนำข้อมูลของสัญญาณทุกชุดที่ตรวจวัดได้ บันทึกลงในแฟ้มข้อมูล (File) ในแผ่นดิสก์ตามที่กำหนดโดยผู้ใช้โปรแกรม

ลักษณะของสัญญาณที่ป้อนเข้าไปสามารถแสดงได้ดังในภาพที่ 6.2



ภาพที่ 6.2 แสดงลักษณะสนามแม่เหล็กนี้ความลาดในช่วงเวลาต่างๆ

อย่างไรก็ตามข้อมูลนี้จะไม่ได้ถูกบันทึกไว้ทั้งหมด แต่โปรแกรมจะตัดเฉพาะส่วนที่ต้องการเท่านั้นมาบันทึกไว้เพื่อเป็นการประหยัดหน่วยความจำและเนื้อที่บนแผ่นดิสก์ และนอกจากนี้ยังมีผลถึงการประมวลออกมาเป็นภาพด้วยเพราะถ้าข้อมูลมาก การประมวลผลก็จะทำได้ช้ากว่า

10. เมื่อบันทึกข้อมูลทั้งหมดไว้แล้ว ก็จะใช้โปรแกรมสำหรับวิเคราะห์และสร้างภาพ

ขึ้นมาใช้เพื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลและสร้างภาพขึ้นมาแสดงให้ดูได้ทางจอภาพของคอมพิวเตอร์ ซึ่งการวิเคราะห์และสร้างภาพนี้เองที่เป็นงานส่วนของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

<u>การวิเคราะห์ข้อมูลและการสร้างภาพ</u>

ในการวิเคราะห์ข้อมูลซึ่งเป็นงานในส่วนของวิทยานิพนธ์นี้ ได้นำคอมพิวเตอร์และโปรแกรมที่เขียนขึ้นเองมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งการที่ได้ทำการพัฒนาโปรแกรมขึ้นเองยังทำให้ได้ความเข้าใจในทฤษฎีและวิธีการสร้างภาพโดยวิธีเอ็นเอ็มอาร์มากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะเทคนิคในด้านการแสดงภาพในรูปแบบต่างๆ ซึ่งได้ศึกษาค้นวิธีการขึ้นมาเองทั้งสิ้น และในบทนี้จะได้กล่าวถึงการใช้ โปรแกรมในการวิเคราะห์ข้อมูล และวิธีการในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ใช้ในโปรแกรม ส่วนวิธีการใช้งานโปรแกรมโดยทั่วไปอย่างละเอียดนั้น จะได้กล่าวไว้ในส่วนที่เป็นภาคผนวก

การวิเคราะห์ข้อมูลนั้น ตามปรกติแล้วอาจมีวิธีการย่อยๆที่อาจแตกต่างกันไปได้บ้าง แต่อย่างไรก็ดี กระบวนการที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลในการทดลองนี้นั้น สามารถเขียนเป็นลำดับขั้นได้ดังต่อไปนี้ คือ

1. นำข้อมูลขึ้นมาจากแฟ้มข้อมูลที่บันทึกไว้ มาเก็บไว้ในเมทริกซ์ในหน่วยความจำ

2. นำเมทริกซ์นี้มาทำการแปลงแบบฟูเรียร์ในสองมิติ โดยใช้เทคนิควิธีการแปลงแบบฟูเรียร์อย่างเร็วเข้ามาช่วย ดังวิธีการที่ได้บรรยายไว้ในบทที่ 4 แล้ว ผลที่ได้จากการแปลงจะถูกนำไปบันทึกอยู่บนเมทริกซ์เดิม ซึ่งผลการแปลงนี้เองที่แสดงแทนความหนาแน่นของโปรตอนที่ตำแหน่งที่แสดงแทนโดยสมาชิกของเมทริกซ์นั้น

3. จากผลการแปลงที่ได้ สามารถนำไปสร้างเป็นภาพ แต่เนื่องจากข้อมูลนี้เป็นสมาชิกของเมทริกซ์ซึ่งเป็นจำนวนเชิงซ้อน การนำข้อมูลมาเขียนเป็นภาพจึงต้องนำค่าสัมบูรณ์ของสมาชิกของเมทริกซ์มาใช้แสดงแทนความหนาแน่นที่แต่ละจุด ซึ่งการใช้เฉพาะค่าสัมบูรณ์นี้โปรแกรมจะจัดการได้โดยเองโดยผู้ใช้ไม่ต้องจัดการแต่อย่างใด

4. ในการณีที่เมื่อนำข้อมูลมาแสดงเป็นภาพแล้วปรากฏว่าข้อมูลที่ได้อยู่ในลักษณะที่มีสัญญาณรบกวนในรูปแบบต่างๆ ในโปรแกรมที่สร้างขึ้นนี้ มีส่วนที่จะทำการลดความผิดพลาดนี้ลงได้ คือส่วนที่เป็น Make up ซึ่งมีความสามารถในการแก้ไขปรับแต่งข้อมูลได้ใน 2 รูปแบบด้วยกันคือ

4.1 กรณีที่ภาพที่ได้มีค่าที่จุดกึ่งกลางภาพสูงมากผิดปรกติ แสดงว่ามีสัญญาณกระแสตรงปะปนเข้ามาด้วยจากการทดลอง ซึ่งอาจเป็นเพราะเครื่องมือบางชิ้นได้รับการปรับแต่งไว้ไม่แม่นยำดีพอ ในการณีนี้ จะต้องใช้หัวข้อที่ชื่อ Reduce DC กับข้อมูลที่ได้จากการทดลองก่อนที่จะนำมาทำการแปลง เพื่อลดค่าสัญญาณกระแสตรงที่ปะปนมากับสัญญาณที่ได้จากการทดลอง

เมื่อเลือกหัวข้อนี้ โปรแกรมจะนำข้อมูลมาพิจารณาครั้งละหนึ่งแถว จากนั้นนำข้อมูลทั้งแถวมาหาค่าเฉลี่ย แล้วนำค่าเฉลี่ยนี้ไปลบออกจากข้อมูลทั้งแถวนั้น โดยวิธีนี้จะทำให้ส่วนที่เป็นสัญญาณกระแสตรงที่หลุดลอดเข้ามาได้ถูกกำจัดออกไป ส่วนเหตุที่ไม่นำสัญญาณมาเฉลี่ยแล้วลบออกทั้งเมตริกซ์ก็เนื่องจากว่าในการทดลองนั้น ข้อมูลจะถูกบันทึกเข้ามาทีละแถว ดังนั้นการนำสัญญาณมาลดสัญญาณกระแสตรงนั้นจะต้องทำในแต่ละแถวอย่างเป็นอิสระกัน

4.2 ในการณีที่พบว่าสัญญาณที่ได้จากการทดลองมีสัญญาณรบกวนสูง ซึ่งอาจเป็นเนื่องจากการลดสัญญาณด้วยเครื่องเฉลี่ยสัญญาณน้อยครั้งเกินไป ในการณีนี้ จะต้องใช้หัวข้อที่ชื่อ Smooth กับข้อมูลที่ได้จากการทดลองก่อนที่จะนำมาทำการแปลง เพื่อลดสัญญาณรบกวนที่ปนเข้ามา

ในหัวข้อนี้ โปรแกรมจะนำสมาชิกของเมตริกซ์มาเฉลี่ยกับสมาชิกที่อยู่ใกล้เคียง แล้วนำผลที่ได้ไปแทนที่สมาชิกตัวนั้น ข้อมูลที่ได้จากวิธีการนี้จะมีสัญญาณรบกวนลดลง และการทำนี้ยังไม่เป็นที่พอใจก็อาจจะทำซ้ำอีกจนจะเป็นพอใจ แต่อย่างไรก็ดี วิธีการนี้แท้จริงแล้วมีการแลกได้กับการลดสัญญาณความถี่ต่ำด้วย สิ่งจะเป็นผลกับภาพที่ได้ด้วย คือจะทำให้ขอบริเวณของภาพมัวลงไป ดังนั้น การใช้งานตัวนี้จึงควรใช้งานแต่เท่าที่จำเป็นเท่านั้น

นอกจากการลดสัญญาณรบกวนแล้ว วิธีการนี้ยังสามารถนำไปใช้ในการปรับปรุงรูปภาพที่ได้ต้องการมาได้อีกด้วย กล่าวคือในการที่รูปภาพที่ได้มีลักษณะไม่ราบเรียบและมีความต้องการที่จะตกแต่งภาพให้ดูดีขึ้นกว่าเดิม ก็สามารถใช้การทำงานของหัวข้อนี้กับภาพได้ด้วย ซึ่งผลที่ได้จะเป็นการทำให้ส่วนที่ไม่ราบเรียบในภาพมีลักษณะมนมากขึ้น

การนำข้อมูลมาแสดงเป็นภาพ

การนำข้อมูลที่ผ่านการแปลงแบบฟูเรียร์แล้วไปแสดงเป็นภาพนั้น มีวิธีการที่ใช้อยู่หลายวิธีด้วยกัน ซึ่งในแต่ละวิธีก็ให้ความหมาย ความเข้าใจได้ง่าย และความสวยงามแตกต่างกันไป ในโปรแกรมที่เขียนขึ้นนี้ ได้แสดงวิธีการที่สามารถใช้ได้อยู่ในหัวข้อเรื่อง Display และวิธีอื่นที่เป็นวิธีการที่คิดค้นและสร้างขึ้นมาเอง ซึ่งมีวิธีที่อาจกล่าวได้ว่าเป็นวิธีการหลักอยู่ 2 วิธีด้วยกันคือ

1. วิธีการที่ใช้สีแสดงแทนค่าสัมบูรณ์ของสมาชิกของเมทริกซ์ว่ามีค่าอยู่ในช่วงใด วิธีการนี้จะใช้อยู่ในหัวข้อย่อย Color block ซึ่งจะใช้วิธีแบ่งระดับความสูงออกเป็นหลายระดับตามต้องการ ตามจำนวนสีที่ระบบคอมพิวเตอร์สามารถแสดงได้ แล้วกำหนดสีหนึ่งให้แก่แต่ละระดับ ซึ่งเมื่อนำข้อมูลมาเขียนลงบนจอภาพแล้วจะพิจารณาว่าค่าของสมาชิกที่จะนำมาเขียนนั้นอยู่ในช่วงระดับใด และตรงกับสีใด ก็ให้นำสีนั้นมาเขียนแทนเป็นรูปสี่เหลี่ยมลงไปตรงตำแหน่งที่ใช้แสดงแทนสมาชิกนั้นๆ เมื่อทำดังนี้ไปจนครบทุกสมาชิกของเมทริกซ์ ก็จะได้ภาพที่แสดงแทนข้อมูลโดยมีสีต่างๆ

2. วิธีการที่ใช้ความหนาแน่นของจุดแสดงแทนค่าสัมบูรณ์ของสมาชิกของเมทริกซ์ วิธีการนี้ใช้อยู่ในหัวข้อย่อย Random dot ซึ่งจะใช้วิธีเขียนจุดเล็กๆลงบนจอภาพอย่างสุ่มภายในตำแหน่งที่ใช้แสดงแทนสมาชิกของเมทริกซ์ โดยที่ความหนาแน่นของจุดจะสัมพันธ์กับค่าสัมบูรณ์ของสมาชิกของเมทริกซ์นั้นๆ นั่นคือมีความหนาของจุดมากก็จะหมายความว่าค่าสัมบูรณ์ของสมาชิกของเมทริกซ์ที่ตำแหน่งนั้นมีค่ามาก และในทางตรงกันข้ามก็เช่นกัน โดยวิธีการนี้เมื่อนำไปวาดครบจำนวนสมาชิก ก็จะได้ภาพที่แสดงแทนความหนาแน่นของจุดออกมา

3. วิธีการที่ใช้ขนาดของจุดแสดงแทนค่าสัมบูรณ์ของสมาชิกของเมทริกซ์ วิธีการนี้ใช้อยู่ในตัวช่วยย่อย Gray block ซึ่งจะใช้วิธีเขียนจุดสี่เหลี่ยมขนาดต่างๆ ลงบนจอภาพที่ตำแหน่งที่ใช้แสดงแทนสมาชิกของเมทริกซ์ โดยที่ขนาดของจุดจะสัมพันธ์กันกับค่าสัมบูรณ์ของสมาชิกของเมทริกซ์นั้นๆ คือถ้าจุดมีขนาดใหญ่มากก็จะหมายความว่าค่าสัมบูรณ์ของสมาชิกของเมทริกซ์ที่ตำแหน่งนั้นมีค่าสูง และในทำนองกลับกันก็เช่นกัน โดยวิธีการนี้ เมื่อทำไปจนครบจำนวนสมาชิก ก็จะได้ภาพที่แสดงแทนโดยขนาดของจุดออกมา

4. วิธีการที่ใช้เส้นระดับความสูง (contour) แสดงแทนค่าโดยประมาณของค่าสัมบูรณ์ที่ตำแหน่งต่างๆ วิธีการนี้จะใช้อยู่ในตัวช่วยย่อย Line contour ซึ่งจะเริ่มต้นที่การกำหนดระดับความสูงที่จะใช้เป็นระดับที่จะลากเส้นระดับความสูงก่อน โดยที่แต่ละเส้นจะมีระยะความสูงห่างจากเส้นอื่นๆ เท่ากัน จากนั้นก็จะมาพิจารณาบริเวณที่อยู่ระหว่างสมาชิกของเมทริกซ์สี่ตัวที่อยู่ติดกัน (ซึ่งบริเวณดังกล่าวนี้จะเป็นรูปสี่เหลี่ยมจตุรัส) ว่ามีเส้นระดับความสูงเส้นใดลากผ่านหรือไม่ ถ้ามีก็จะเขียนเส้นนั้นลงบนจอภาพจนครบทุกเส้น โดยวิธีการนี้เมื่อดำเนินการจนครบทุกชุดของสมาชิกของเมทริกซ์แล้วก็จะได้รูปภาพที่แสดงเส้นระดับความสูงของเมทริกซ์ทั้งหมด

วิธีการที่จะใช้พิจารณาว่าภายในสี่เหลี่ยมใดมีเส้นระดับความสูงใดตัดผ่านหรือไม่ ทำได้โดยดูจากค่าของสมาชิกของเมทริกซ์ที่อยู่ที่มุมของสี่เหลี่ยมนั้นว่าตัวที่มีค่าสูงสุดมีค่าเป็นเท่าไร และตัวที่มีค่าต่ำสุดนั้นมีค่าเป็นเท่าไร เมื่อตรวจแล้วก็นำไปพิจารณาว่ามีระดับของเส้นระดับความสูงใดอยู่ระหว่างค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดนี้หรือไม่ ถ้ามีจึงลากเส้นนั้นๆ

5. วิธีการที่ใช้สีแสดงแทนค่าโดยประมาณของค่าสัมบูรณ์ของสมาชิกของเมทริกซ์ วิธีการนี้จะใช้อยู่ในตัวช่วยย่อย cOlor contour ซึ่งจะใช้วิธีแบ่งระดับความสูงออกเป็นหลายระดับเท่าๆกัน ตามจำนวนสีที่ระบบคอมพิวเตอร์สามารถแสดงได้ แล้วกำหนดสีหนึ่งให้แก่แต่ละระดับ จากนั้นก็จะพิจารณาบริเวณที่อยู่ระหว่างสมาชิกของเมทริกซ์สี่ตัวที่อยู่ติดกัน (ซึ่งบริเวณดังกล่าวนี้จะเป็นรูปสี่เหลี่ยมจตุรัส) ว่าค่าที่ได้โดยการประมาณ (interpolate) ที่แต่ละจุดภายในสี่เหลี่ยมนี้มีค่าอยู่ในช่วงระดับใด และตรงกับสีใด ก็ให้เขียนจุดด้วยสีนั้นลงไปบนจอภาพ

ตรงตามแหน่งที่ใช้แสดงแทนโดยจุดนั้น เมื่อทำดังนี้ไปจนครบทุกสมาชิกของเมทริกซ์ ก็จะได้ภาพที่แสดงแทนข้อมูลโดยใช้สีต่างๆ

วิธีการนี้จะให้ภาพที่มีลักษณะคล้ายกันกับวิธีแสดงภาพโดยใช้เส้นระดับความสูง แต่จะให้ความหมายได้ดีกว่า เนื่องจากว่าสีแต่ละสีจะแสดงถึงช่วงความสูงของข้อมูลระดับหนึ่ง ดังนั้น ในการตีความหมายโดยใช้สายตามองภาพจึงทำได้ง่ายกว่าวิธีอื่นๆมาก

ภาพที่แสดงโดยวิธีต่างๆเหล่านี้ได้แสดงไว้ในภาคผนวกแล้ว