

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ ประจำปีงบประมาณ 2546
โครงการวิจัยย่อยลำดับที่ 9 เรื่อง
การสร้างจริงวงจรประมวลสัญญาณเบื้องต้นสำหรับภาพดิจิทัลด้วย VLSI
VLSI Implementation of Pre-Processor for Digital Images

ผู้รับผิดชอบโครงการ

ผศ. ดร. เกษฎา ชินรุ่งเรือง

วัตถุประสงค์ของโครงการ

- พัฒนาระเบียบวิธีและ Hardware เพื่อจัดสัญญาณรบกวนภาพ Ultrasound ที่ใช้ในทางการแพทย์
- เพื่อศึกษา การสร้างวงจรกรอง กรองปรับตัวและ อัลกอริทึม รูปแบบต่างๆ ว่ามีแบบใดบ้าง และแต่ละแบบมีคุณสมบัติแตกต่างกันอย่างไร เหมาะกับการนำไปใช้ในสถานการณ์ใด
- เพื่อให้เกิดแนวคิดใหม่ๆ ในการสร้างจริงวงจรกรองปรับตัว ป้องกันการป้อนกลับทางเสียงให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

ขอบเขตหรือเป้าหมายของโครงการ

โครงการวิจัย “การสร้างจริงวงจรประมวลสัญญาณเบื้องต้นสำหรับภาพดิจิทัลด้วย VLSI” เป็นเฟสที่ต่อจากโครงการ FPGA Implementation of LMS based Adaptive Filter โครงการนี้ มีจุดประสงค์หลัก เพื่อศึกษาหลักการ (Paradigm) สำหรับใช้ในการออกแบบวงจร VLSI สำหรับประมวลสัญญาณเบื้องต้นดิจิทัลที่มีประสิทธิภาพสูงพอสำหรับขอบเขตของงานการประยุกต์ที่กว้างพอ โดยคำนึงถึงข้อกำหนดทางฮาร์ดแวร์และกำลังงานสูญเสียเข้าไว้ในการออกแบบขั้นตอนวิธี โครงการวิจัยนี้สามารถแบ่งเนื้อหาออกเป็นหัวข้อใหญ่ 4 หัวข้อได้แก่

1. การสร้างและวิเคราะห์กำลังงานของวงจรกรองปรับตัวแบบ LMS
2. การศึกษาหาขั้นตอนวิธีการตรวจจับเส้นขอบสำหรับภาพอัลตราซาวด์ (ultrasound) ทางทางการแพทย์ที่มีประสิทธิภาพและเหมาะกับการสร้างจริงบนฮาร์ดแวร์
3. การศึกษาหาขั้นตอนวิธีกรณวิธีลดทอนสัญญาณรบกวนสำหรับภาพอัลตราซาวด์ (ultrasound) ทางทางการแพทย์ที่มีประสิทธิภาพและเหมาะกับการสร้างจริงบนฮาร์ดแวร์
4. ศึกษาการเสถียรภาพ (Image Stabilization) สำหรับการประยุกต์ในงาน Unman Arial Vehicle (UAV) ที่มีประสิทธิภาพและเหมาะกับการสร้างจริงบนฮาร์ดแวร์ โดยขั้นตอนดังกล่าวจะต้องไม่มีความซับซ้อนทางการคำนวณมากเกินไป และจะต้องสามารถประมวลผลให้ทันในเวลาจริง (real time)

ในโครงการแรก การศึกษาการออกแบบและการสูญเสียกำลังงานการสูญเสียกำลังงานในวงจร กรองปรับตัวแบบ LMS ช่วยให้เราเข้าใจการสูญเสียกำลังงานในวงจรประมวลสัญญาณที่เป็นแบบ 1 มิติ พร้อมทั้งช่วยให้เข้าใจหลักการออกแบบวงจรประมวลสัญญาณแบบ 1 มิติให้ประหยัดพลังงานได้ดียิ่งขึ้น ความรู้ดังกล่าวจะ

เป็นรากฐานสำหรับการออกแบบและศึกษาการสูญเสียกำลังในวงจรประมวลสัญญาณภาพซึ่งเป็นการประมวลสัญญาณแบบ 2 มิติ

โครงการที่ 2 , 3 และ 4 เป็นการศึกษาการประมวลสัญญาณเบื้องต้นของสัญญาณภาพ โดยงานประยุกต์ทั้งสามมีขอบเขตรอบคลุมลักษณะการประมวลสัญญาณที่กว้างพอที่จะช่วยให้ผู้ศึกษาเข้าใจลักษณะสมบัติโดยรวมของการประมวลสัญญาณภาพเบื้องต้น การศึกษาดังกล่าวจะช่วยให้เราใช้เป็นพื้นฐานสำหรับปรับปรุงการออกแบบวงจรประมวลสัญญาณภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แผนงานย่อยที่ 1

บทนำ

แผนงานวิจัยนี้ จะนำเสนอโครงสร้างของวงจรกรองแบบปรับตัวได้ที่ใช้เป็นวงจรกรองปรับตัวของวงจรป้องกันการป้อนกลับทางเสียงในเครื่องช่วยฟัง เนื่องจากในหูฟังมีพื้นที่จำกัดดังนั้นจึงต้องการวงจรที่มีขนาดเหมาะสมกับหูฟัง นอกจากนี้ยังมีปัญหาเรื่องการใช้พลังงานของหูฟัง หากหูฟังมีการสูญเสียกำลังมากจะทำให้เกิดความร้อนสูง

ดังนั้นจะเห็นว่าเงื่อนไขการออกแบบของวงจรกรองแบบปรับตัวได้บนเครื่องช่วยฟังนั้นมีเงื่อนไขที่ต้องพิจารณาสองประการคือ พื้นที่ และเรื่องของการสูญเสียกำลัง ซึ่งเงื่อนไขประการแรกจะต้องออกแบบวงจรให้ใช้พื้นที่ที่จำกัด แต่ก็ต้องสูญเสียกำลังต่ำด้วย ดังนั้นเพื่อให้สามารถประมาณได้ว่าวงจรที่เราออกแบบนั้นสูญเสียกำลังมากน้อยแค่ไหนจึงต้องมีเครื่องมือที่เหมาะสมในการประมาณการสูญเสียกำลังของวงจร

แผนงานวิจัยนี้จึงแบ่งเป็นสองส่วนคือ ส่วนของการออกแบบวงจร และส่วนของการวัดกำลังที่สูญเสียในวงจรเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวงจรที่ออกแบบ



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

วงจรกรองปรับตัวได้แบบมัลติเพล็กซ์

เนื่องจากวงจรกรองปรับตัวที่เป็นแบบ direct form แต่ละ tap ต้องใช้ตัวคูณสองตัวทำให้กินเนื้อที่ของวงจรมากและสามารถสร้างจำนวน tap ได้น้อย นอกจากนี้ยังทำให้เกิดการ switch ในวงจรคูณจำนวนมากซึ่งจะทำให้มีการสูญเสียกำลังมาก ดังนั้น วงจรกรองปรับตัวในลักษณะนี้จึงไม่น่าที่จะเหมาะกับการทำงานในเครื่องช่วยฟัง

ในที่นี้จึงได้เสนอโครงสร้างของวงจรกรองปรับตัวที่เป็นแบบมัลติเพล็กซ์ ซึ่งแต่ละ tap ใช้วงจรคูณร่วมกันเพียงตัวเดียว โดยการทำงานของวงจรกรองแต่ละรอบจะใช้วงจรมัลติเพล็กซ์เลือกการทำงานที่ tap ซึ่งจะทำให้สามารถสร้างจำนวน tap ได้มากและลดการ switch ในส่วนของวงจรคูณลง ต่อไปจะกล่าวถึงรายละเอียด และการทำงานของวงจร

1.1 รายละเอียดของวงจรกรองปรับตัว

การสร้างวงจรจะทำการสร้างลงบนชิพ FPGA ของบริษัท Xilinx รุ่น Spartan2 xc2s200-5pq208 ต่อไปนี้เนื่องจากแบบจำลองที่ได้มีขนาด 32 tap ดังนั้นในการสร้างเป็นวงจรต่อไปเพื่อให้เห็นภาพการทำงานของวงจรจึงใช้แค่ 4tap

รายละเอียดโดยทั่วไปของวงจรมีดังนี้

*จำนวน tap มี 4 tap

*คาบของสัญญาณนาฬิกา 100 ns โดยมี setup time, falling time เท่ากับ 10 ns

*Sample precision 8 bit

* Coefficient precision 8 bit

1.2 สถาปัตยกรรมทางฮาร์ดแวร์ (Architecture)

โครงสร้างหลักของวงจรประกอบด้วย ส่วนต่าง ๆ ดังนี้คือส่วนของ

-shift register ขนาด 8 bit และ 15 bit

-วงจรบวก (carry save adder, carry_propagate_adder)ขนาด 8 bit และ 15 bit

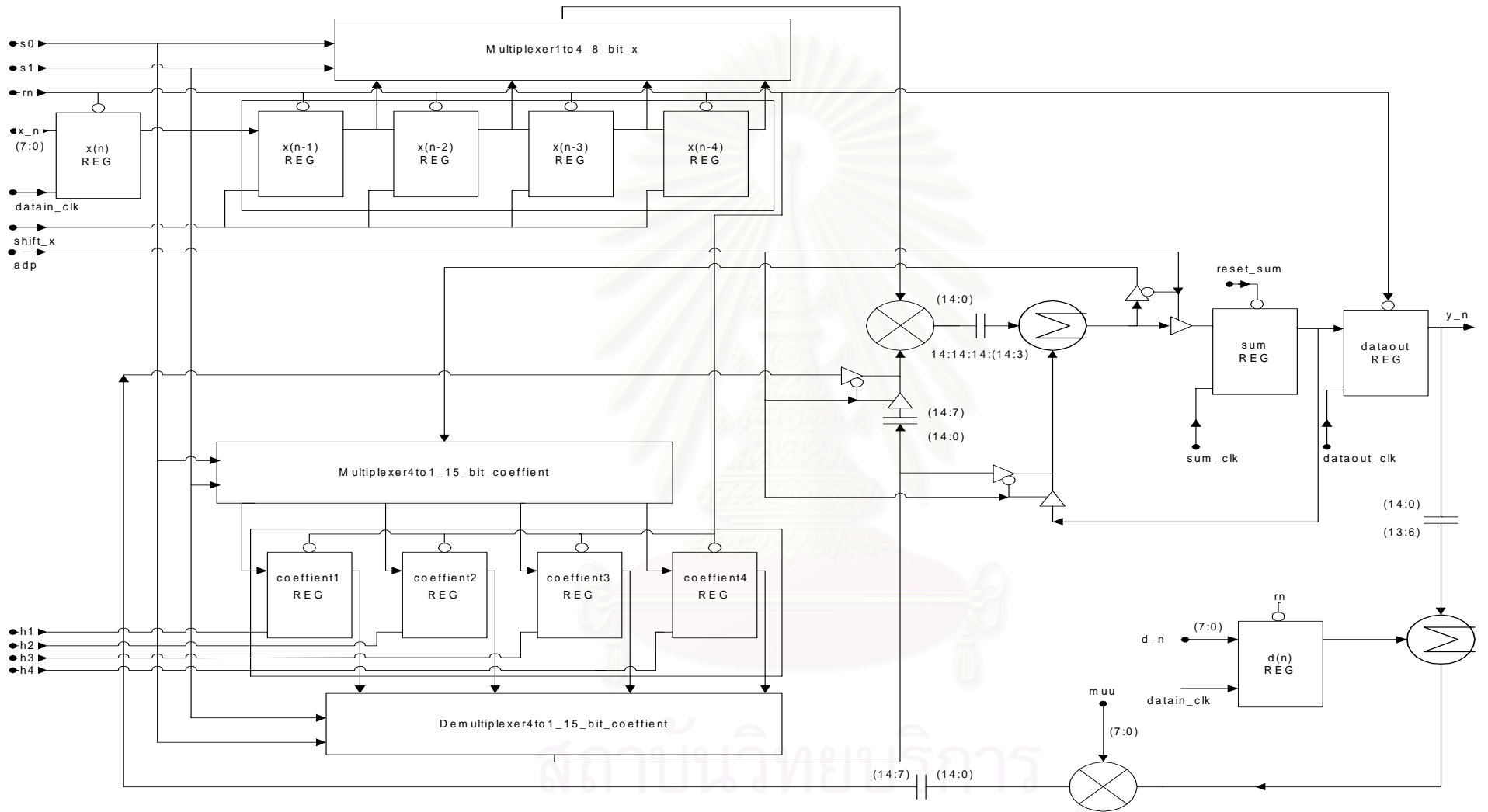
-วงจร 2's complement ขนาด 8 bit

-วงจรคูณค่าช่วงกว้าง (mult_mu))

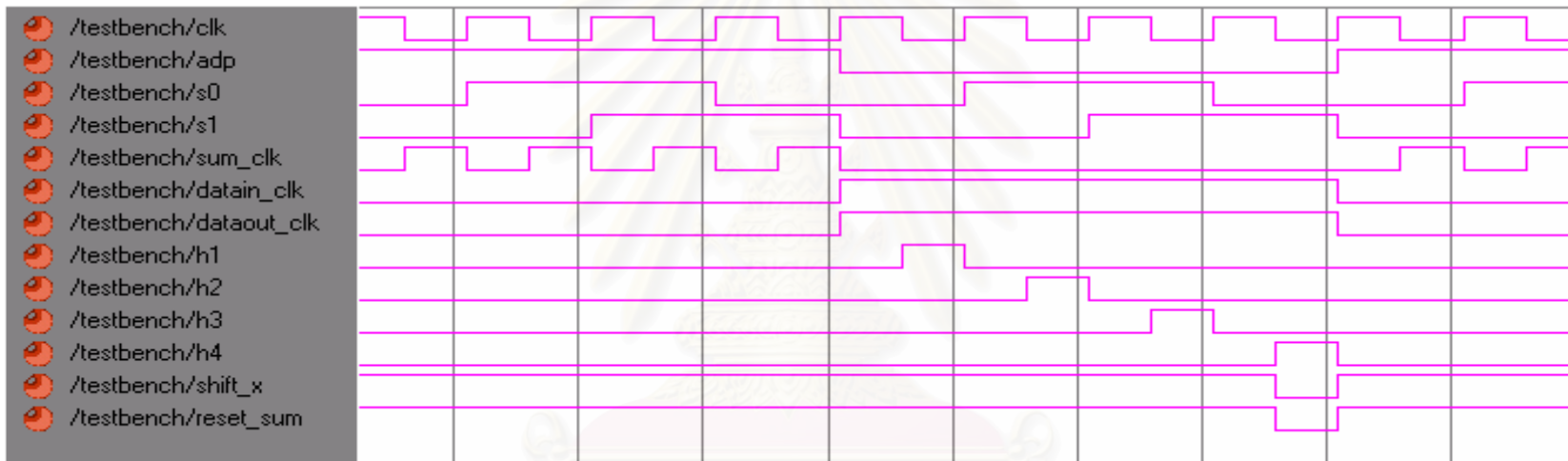
-วงจรคูณขนาด 8 bit

-tristate ขนาด 8 bit และ 15 bit

-วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา (generate_clk)



รูปที่ 1.1 สถาปัตยกรรมทางฮาร์ดแวร์ของวงจร



สถาบันวิทยบริการ
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 1.2 สัญญาณนาฬิกาที่ควบคุมการทำงานของวงจร

1.3 การทำงานของวงจรกรองปรับตัว

การทำงานของวงจรกรองปรับตัวจะแบ่งเป็นสองช่วงคือ ช่วงที่ทำหน้าที่เป็นวงจรกรองธรรมดา (Filtering) และช่วงทำการปรับปรุงค่าสัมประสิทธิ์ (Adaptation) ซึ่งมีลำดับขั้นของการทำงานดังนี้

Filtering

พิจารณา wave form ของสัญญาณที่ป้อนให้วงจรในรูปที่ 1.2 เมื่อ adp มีค่าเป็นหนึ่งวงจรจะตัดต่อเป็นการ filtering และ $reset_sum$ มีค่าเป็น 0 จะทำการ reset register ที่ใช้ในการบวกให้กลายเป็นศูนย์เพื่อเตรียมสำหรับการบวก หลังจากนั้นจะมีสัญญาณ s_0, s_1 ทำการเลือกตำแหน่งของ tap เพื่อทำการคูณข้อมูลแต่ละ tap กับ $tapweight$ โดยมี sum_clk ป้อนให้กับ sum_reg เพื่อใช้ในการเก็บค่าผลบวกแต่ละรอบ จนได้ค่า y ออกมาหลังการ shift ครั้งที่ 4

หลังจากนั้นจะมี $datainout_clk$ ที่ register ขาออกทำให้ได้ $yout$ ออกมาเท่ากับ y และ clock นี้ในขณะเดียวกันก็ใช้ในการเลื่อน d, x ค่าใหม่เข้ามาที่ register ของ $x(n), d(n)$ เข้ามาสู่วงจรซึ่งในขณะนี้จะได้ $muue$ ออกมา

ซึ่งผลที่ได้ก็คือการ filtering นั่นเอง หลังจากนั้นเมื่อ $adap$ เปลี่ยนจาก 1 เป็น 0 ก็จะตัดต่อไป

Adaptation

เมื่อตัดวงจรมาสู่การ adaptation สัญญาณ s_0, s_1 จะทำการเลือก tap เพื่อทำการคำนวณค่า coefficient ที่จะปรับในแต่ละ tap หลังจากนั้นจะมีสัญญาณ h_0 ถึง h_4 ป้อนให้กับบริจิสเตอร์ของ coefficient เพื่อทำการปรับปรุงค่า coefficient



บทที่ 2

การวัดประสิทธิภาพของวงจร

การสูญเสียกำลังเป็นเงื่อนงำที่สำคัญอย่างหนึ่งในการออกแบบวงจร ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีเครื่องมือในการวัดกำลังที่สูญเสียภายในวงจรซึ่งมีผู้เสนอขึ้นหลายวิธี แต่ในที่นี้จะใช้วงจรที่เขียนขึ้นโดยภาษา Verilog มาใช้ในการวิเคราะห์การสูญเสียกำลัง

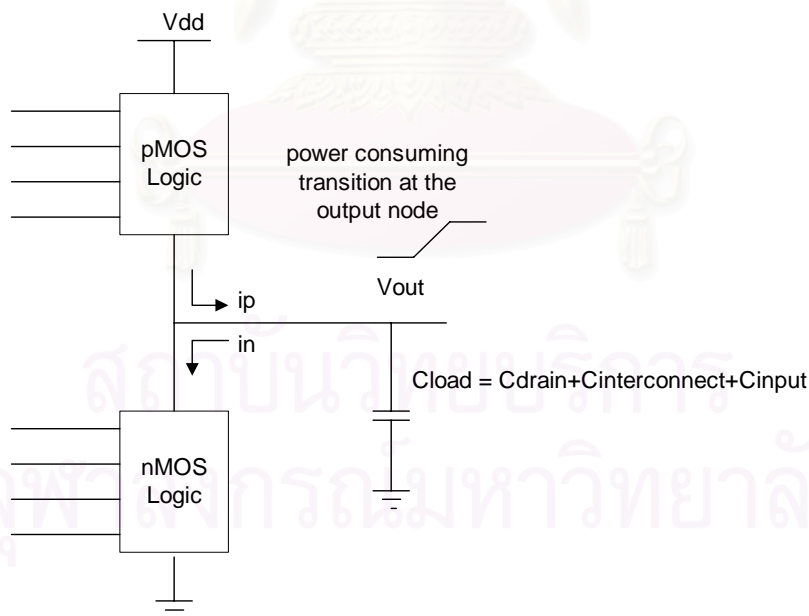
Power dissipation in CMOS

การสูญเสียกำลังในวงจร CMOS ส่วนใหญ่มาจากเหตุผล 3 ประการคือ

1. Leakage current
2. Short-circuit current
3. Switching current

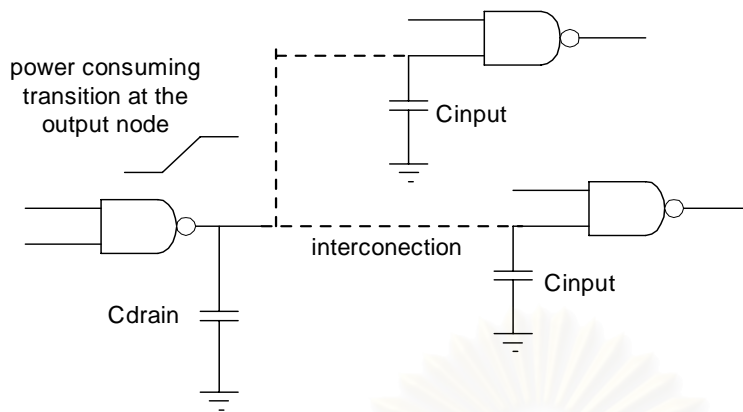
โดยการสูญเสียกำลังเนื่องมาจากเหตุผลประการสุดท้ายนี้เกี่ยวข้องกับการชาร์จตัวเก็บประจุของโหลด และกำลังที่สูญเสียในวงจรส่วนใหญ่ก็มาจากส่วนนี้ ดังนั้นจึงพิจารณาการสูญเสียกำลังเฉพาะสาเหตุส่วนนี้เท่านั้น

Switching power คือกำลังสูญเสียที่โหนดเอาต์พุตของ CMOS เกิดเมื่อมีการเปลี่ยนค่าลอจิก โดยพลังงานจะถูกดึงจากพาวเวอร์ซัพพลายในการชาร์จตัวเก็บประจุที่เอาต์พุต ในระหว่างการชาร์จนี้ ค่าศักย์ของเอาต์พุตจะเปลี่ยนจาก 0 ไปเป็น V_{dd} และครึ่งหนึ่งของพลังงานที่ดึงมาจากพาวเวอร์ซัพพลายจะสูญเสียเป็นความร้อนใน pMOS ทรานซิสเตอร์ และพลังงานส่วนที่เหลือจะไปเก็บไว้ในตัวเก็บประจุ จากนั้นเมื่อศักย์ของเอาต์พุตถูกทำให้ลดจาก V_{dd} เหลือ 0 โวลต์ กระแสจะไหลจากตัวเก็บประจุไปยังกราวด์และพลังงานส่วนที่เหลือก็จะสูญเสียเป็นความร้อนใน nMOS ทรานซิสเตอร์



รูปที่ 2.1 การสูญเสียกำลังในระหว่างการชาร์จและดิสชาร์จตัวเก็บประจุที่เอาต์พุต

ตัวเก็บประจุที่เอาต์พุตประกอบด้วยตัวเก็บประจุของเดรน (C_{drain}) ที่เอาต์พุต ตัวเก็บประจุของส่วนเชื่อมต่อเกต ($C_{interconnection}$) และตัวเก็บประจุของอินพุตเกตแต่ละตัวที่เอาต์พุตไปจับ (C_{input})



รูปที่ 2.2 ตัวเก็บประจุของโหลดที่เอาต์พุตโหนด

ในการหารูปแบบความสัมพันธ์ที่เหมาะสมระหว่างการทำงานของวงจรถับ การสูญเสียกำลังนั้น จะต้องตั้งสมมติฐานสองอย่างขึ้นมาก่อนคือ

- 1) ตัวเก็บประจุ (Capacitance) ของเกต CMOS มีเพียงแค่ที่โหนด เอาต์พุต เท่านั้น
- 2) กระแสไหลจาก V_{dd} ไปตัวเก็บประจุที่เอาต์พุต (การเปลี่ยนจาก 0 ไป 1) หรือจากตัวเก็บประจุที่เอาต์พุตไปยังกราวด์ (การเปลี่ยนจาก 1 เป็น 0)

ตั้งอยู่บนสมมติฐานนี้จะสามารถพิสูจน์ได้ว่ากำลังที่สูญเสียในเกต CMOS คือ

$$P = \frac{1}{2} NC(V_{DD})^2$$

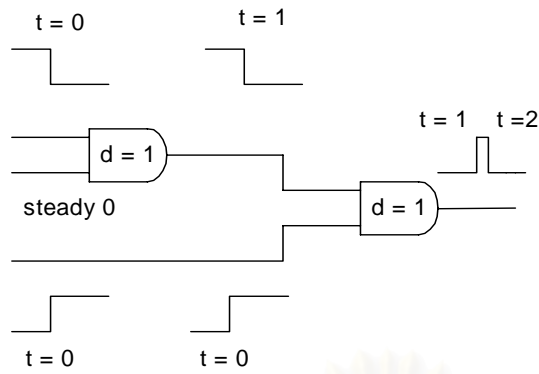
ซึ่ง C คือ โหลดของเอาต์พุต (ซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับจำนวน fanout) และ N คือจำนวนการเปลี่ยนแปลงที่เอาต์พุต (นับการเปลี่ยนจาก 0 เป็น 1 และจาก 1 เป็น 0)

โดยการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงที่แต่ละโหนดของวงจร และใช้สมการข้างบนนี้ก็สามารถประมาณการสูญเสียกำลังได้อย่างเหมาะสม

Glitches and Delays

โดยทั่วไปแต่ละโหนดภายในวงจร combinational สามารถเกิด glitches ขึ้นได้ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงที่ไม่ถูกต้องตามการทำงานจริง ๆ และการเปลี่ยนแปลงนี้ทำให้เกิดการสูญเสียกำลังเช่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลงแบบอื่นด้วย ดังนั้นจึงสมเหตุสมผลที่จะตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงในลักษณะนี้ และนำไปคำนวณการสูญเสียกำลังด้วย เนื่องจาก glitches เป็นผลมาจากดีเลย์ของแต่ละเส้นทางในวงจรที่ต่างกันเมื่อนำไปสร้างจริง ดังนั้นจึงควรใช้แบบจำลองที่รวมผลของดีเลย์เข้าไปด้วย

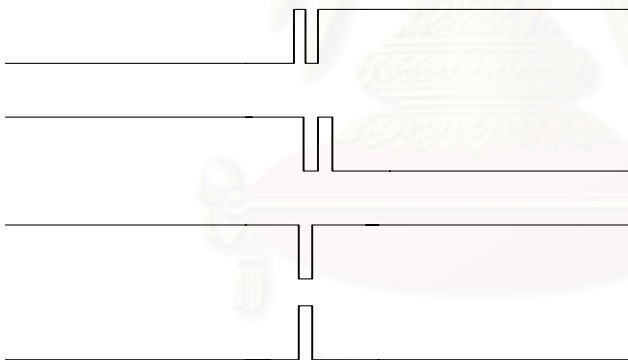
ในที่นี้จะให้ดีเลย์มีค่าหนึ่งหน่วยต่อเกตต่อ fanout (นั่นคือค่าดีเลย์ของเกตมีค่าเท่ากับจำนวน fanout) เพื่อให้แบบจำลองไม่ขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีในการสร้าง



รูปที่ 2.3 การเกิด glitches เนื่องจากผลของดีเลย์

ลักษณะของ glitches แบบต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นมี 2 ลักษณะได้แก่

1. เมื่ออินพุตเปลี่ยนทำให้เอาต์พุตเปลี่ยนจาก 0 ไปเป็น 1 หรือทำให้เอาต์พุตไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงและมีค่าเป็น 0 จะเกิด glitches 0-1-0
2. เมื่ออินพุตเปลี่ยนทำให้เอาต์พุตเปลี่ยนจาก 1 ไปเป็น 0 หรือทำให้เอาต์พุตไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงและมีค่าเป็น 1 จะเกิด glitches 1-0-1

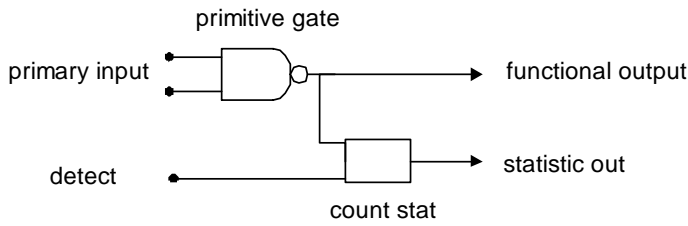


รูปที่ 2.4 ลักษณะต่าง ๆ ของการเกิด glitches

Power Models

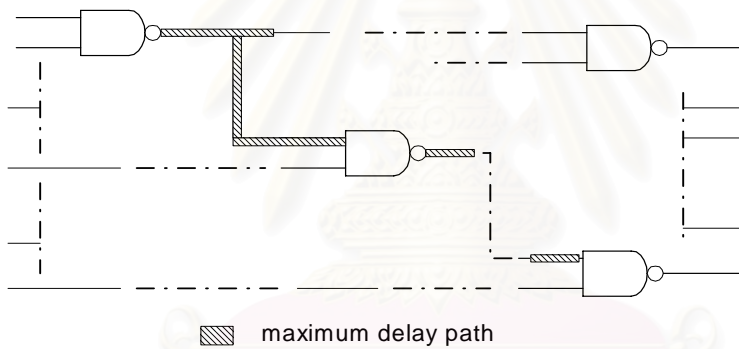
การประมาณการสูญเสียกำลังจะใช้วงจร combination ที่เขียนโดยภาษา Verilog และประกอบด้วยเกตพื้นฐานที่เขียนให้สามารถคำนวณการสูญเสียกำลังได้ โดยจะขอยกตัวอย่างการทำงานของโปรแกรมที่เขียนขึ้นจากภาษา Verilog

จากโปรแกรมจะประกอบไปด้วยสองส่วนคือ ส่วนที่ใช้เป็นเกตปรกติ และส่วนที่ใช้คำนวณการสูญเสียกำลัง ดีเลย์ของเอาต์พุตถูกกำหนดให้มีค่าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวน fanout นอกจากนี้มีการใช้ Cyclic behavior สองส่วนคือ ส่วนแรกที่มีค่าสัญญาณจากเอาต์พุตเป็น Sensitivity list ส่วนนี้ใช้ในการนับการเปลี่ยนแปลงของเอาต์พุตหลังจากที่อินพุตเปลี่ยนแปลงทั้งจาก 0 เป็น 1 หรือจาก 1 เป็น 0 จากนั้นส่วนที่สองจะนำค่านี้ไปคำนวณต่อไป



รูปที่ 2.5 ส่วนต่าง ๆ ภายใน primitive gate

การทำงานในส่วนที่สองนี้มี Sensitivity list เป็นสัญญาณ detect โดยสัญญาณ detect จะเปลี่ยนแปลงหลังจากที่อินพุตเปลี่ยนค่ามาเป็นระยะเวลาที่มากกว่าดีเลย์ที่มีค่ามากที่สุดของเส้นทางภายในวงจร หลังจาก que detect เปลี่ยนแปลงค่าแล้วจะนำค่าที่ได้จากการนับในส่วนแรกมาคำนวณว่ามี การเปลี่ยนแปลงแบบไหนเกิดขึ้นและเกิดขึ้นกี่ครั้ง หลังจากนั้นให้ค่าของการนับการเปลี่ยนแปลงจากส่วนแรกเป็นศูนย์อีกครั้งเพื่อเตรียมพร้อมสำหรับการนับในส่วนแรกครั้งต่อไป



รูปที่ 2.6 เส้นทางที่เกิด maximum delay

ส่วนของการคำนวณกำลังที่สูญเสียนั้นหาได้จากผลรวมของผลคูณระหว่างจำนวน fanout กับจำนวนการเปลี่ยนแปลงจาก 1 เป็น 0 ของเอาต์พุต และผลคูณระหว่างจำนวน fanout กับจำนวน glitches ทั้งหมดที่เกิดขึ้น

หลังจากที่มีการคำนวณทั้งค่าเอาต์พุตและค่าการสูญเสียกำลังแล้วก็จะมีการส่งผ่านค่านี้ไปให้ Primitive gate ตัวอื่น ๆ ภายในวงจรแล้วทำการรวมกับค่าการสูญเสียกำลังของ Primitive gate ตัวอื่น ๆ ทุกตัวภายในวงจรก็จะทำให้เราสามารถประมาณการสูญเสียกำลังของทั้งวงจรได้

บทที่ 3

สรุป ปัญหาอุปสรรค และข้อเสนอแนะ

สรุป

จุดประสงค์ของแผนงานนี้คือออกแบบวงจรองค์กำลังต่ำที่สามารถปรับค่าพารามิเตอร์ได้และหาวิธีการที่เหมาะสมในการวัดประสิทธิภาพของวงจร เพื่อนำมาใช้ในวงจรเครื่องช่วยฟัง

ปัญหาที่พบ

- 1) การเขียนโครงสร้างของวงจรโดยใช้เกตพื้นฐานมาต่อกัน ต้องพิจารณาจำนวน fanout ด้วยซึ่งถ้าวงจรมีขนาดใหญ่จะไม่สะดวกและเกิดความล่าช้า
- 2) ยังไม่มีการวัดการสูญเสียกำลังที่เหมาะสม สำหรับส่วนของวงจร tristate และ shift register เพราะ tristate มีโครงสร้างต่างจากเกตทั่วไป และส่วนของ register มีการ feedback
- 3) การจำลองผลการทำงานใช้เวลานานเนื่องจากสัญญาณต่าง ๆ ที่ใช้วัดและคำนวณภายในวงจรมีจำนวนมาก

ข้อเสนอแนะ

- 1) หาวิธีการที่รวดเร็วกว่าและสะดวกในการวัดจำนวน fanout ของเกตแต่ละตัวภายในวงจร เพราะเกตภายในวงจรมีจำนวนมาก
- 2) หาวิธีที่ใช้วัดการสูญเสียกำลังที่เหมาะสมของ tristate และ shift register

เอกสารอ้างอิง

1. Stephen Brown, Zvonko Vranesic . “Fundamental of Digital Logic with Verilog Design”, International Edition 2000, McGraw-Hill Higher Education, 2000.
2. Sung-Mo Kang, Yusuf Leblebici . “CMOS Digital Integrated Circuits Analysis and Design”, International Edition 2000, McGraw-Hill Higher Education, 2000.
- 3.A.Sagahyroon,J. Placer,M. Burmood,Mehran Massoumi,”A VHDL-based Simulation Methodlogy for Estimating Switching Activity in Static CMOS Circuits ”,IEEE transaction,pp 295-300,1998.

แผนงานย่อยที่ 2

บทนำ

แผนงานวิจัยนี้ กล่าวถึงการประเมินวิธีการที่ใช้ในการตรวจวัดเส้นขอบในภาพอัลตราซาวด์ ที่มีพื้นฐานการพัฒนาจรรยาบรรณการตรวจวัดเส้นขอบขึ้นจากการประมาณฟังก์ชันพหุนามกำลังสองต่ำสุด ผลลัพธ์ที่ได้ถูกนำมาทดสอบเปรียบเทียบที่กระบวนการตรวจวัดเส้นขอบที่นิยมสำหรับภาพอัลตราซาวด์ คืออาศัยวงจรถองเข้ามาช่วยลดทอนสัญญาณรบกวนในภาพก่อนผ่านวงจรถ่วงวัดเส้นขอบแบบเคนนี่ โดยวงจรถองสัญญาณรบกวนที่โครงการวิจัยนี้เลือกมาใช้ทดสอบคือ วงจรถองมัธยฐาน, วงจรถองแบบแท่ง และวงจรถองมัธยฐานแบบมีทิศทาง ข้อจำกัดของกระบวนการตรวจวัดเส้นขอบที่ต้องอาศัยวงจรถองนั้นคือ ใช้เวลาในการประมวลผลสูง วงจรตรวจวัดเส้นขอบที่จะพัฒนาขึ้นในโครงการวิจัยนี้จะประยุกต์ใช้การหาค่าเกรเดียนต์กับฟังก์ชันพหุนามที่ประมาณขึ้น เพื่อให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์ใหม่ออกมาสำหรับมาใช้ทำงานในลักษณะวงจรถองความถี่แถบผ่าน ข้อได้เปรียบของวงจรถ่วงวัดเส้นขอบที่พัฒนาขึ้นมานี้คือ สามารถตรวจวัดเส้นขอบจากภาพต้นทางที่ยังไม่ผ่านการกรองสัญญาณรบกวน และได้ผลลัพธ์ออกมาใกล้เคียงกับการใช้กระบวนการตรวจวัดเส้นขอบที่อาศัยวงจรถองก่อนตรวจวัดเส้นขอบแบบเคนนี่ นอกจากนี้การทำงานของวงจรถ่วงวัดเส้นขอบที่พัฒนาขึ้นจะเป็นลักษณะเชิงเส้นจึงส่งผลให้ใช้เวลาในการประมวลผลที่น้อยกว่ามาก วิธีการดังกล่าวจึงเหมาะที่จะใช้ในงานที่ต้องการความรวดเร็วในการประมวลผล เช่น ใช้ช่วยเหลือแพทย์ในการตรวจดูเส้นขอบของภาพอัลตราซาวด์ที่ทำงานในลักษณะตอบโต้กับผู้ใช้ การทดสอบเปรียบเทียบจะใช้ภาพทดสอบทั้งแบบมีและไม่มีสัญญาณรบกวนที่จำลองขึ้น จากนั้นจะนำไปทดสอบกับภาพอัลตราซาวด์จริง เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพเส้นขอบที่ได้และขนาดของการประมวลผล ในตอนท้ายจะทดสอบประยุกต์ใช้ค่าอนุพันธ์อันดับสองและค่าลาปลาเซียนเพื่อ ได้ค่าสัมประสิทธิ์และแง่มุมในการทำงานที่หลากหลายขึ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ความเป็นมา

เส้นขอบของภาพสามารถบ่งบอกถึงลักษณะหรือฐานของวัตถุใดๆในภาพ ด้วยเหตุนี้การตรวจจับเฉพาะเส้นขอบของวัตถุในภาพเพื่อนำมาตีความโดยระบบช่วยเหลือโดยคอมพิวเตอร์จะช่วยลดปริมาณข้อมูลของภาพจำนวนมหาศาลที่จะนำมาประมวลผล รวมถึงลดความซับซ้อนอันเกิดจากส่วนที่ไม่จำเป็นในภาพในการตีความหมายด้วย และเนื่องจากสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในภาพอัลตราซาวด์เป็นสัญญาณรบกวนแบบจุด [1] ที่เป็นสาเหตุให้วงจรตรวจจับเส้นขอบต่างๆไป ที่ทำหน้าที่เป็นวงจรกรองความถี่สูงผ่าน (highpass filter) ไม่สามารถที่จะตรวจจับเส้นขอบได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามมีงานวิจัยหลากหลายชิ้นที่เสนอวิธีในการแก้ปัญหาดังกล่าว โดยงานบางชิ้นอาจเหมาะสมกับภาพและสัญญาณรบกวนบางประเภทเท่านั้น วิธีการหนึ่งในการตรวจจับเส้นขอบกับภาพที่มีสัญญาณรบกวนคือวงจรตรวจจับเส้นขอบแบบแคเนนี [2] เนื่องจากให้คุณภาพของขอบออกมาดีพอสมควรและกระบวนการทำงานไม่ซับซ้อน แต่ถึงกระนั้นกับภาพบางประเภท วิธีการแบบแคเนนีไม่สามารถที่จะตรวจจับเส้นขอบได้ทันทีจึงต้องมีการผ่านวงจรกรองมาก่อน เช่นวงจรกรองมัธยฐาน โดยคุณสมบัติของวงจรกรองประเภทนี้คือกรองสัญญาณรบกวนออกไปโดยมีโอกาสทำลายโครงสร้างของภาพในส่วนที่จำเป็นเส้นขอบให้น้อยที่สุด งานวิจัยชิ้นหนึ่งนำวงจรกรองซาวีสกี-โกเลย์ มาพัฒนาเป็นสองมิติเพื่อใช้กับงาน Image Processing หรือเรียกเป็นวงจรกรองซาวีสกี-โกเลย์สองมิติ [3] งานวิจัยดังกล่าวมีพื้นฐานจากการนำฟังก์ชันพหุนามมาประมาณค่าที่เลือกขึ้นมาโดยใช้หลักของค่าผิดพลาดกำลังสองต่ำสุด (least mean square error) เพื่อขจัดสัญญาณรบกวนออกไปโดยที่สามารถรักษาภาพขอบได้ดี และข้อได้เปรียบของงานนี้คือมีความรวดเร็วในการประมวลผลสูงกว่าวงจรกรองมัธยฐานมากและมีความง่ายในตัวอัลกอริทึมมาก จากที่กล่าวมาจึงพอสรุปได้ว่าการตรวจจับเส้นขอบในปัจจุบันจะประกอบด้วยสองกระบวนการคือ การผ่านวงจรกรองมาก่อน (filtering) จากนั้นค่อยนำมาผ่านการตรวจจับเส้นขอบ (detected edge) ในงานวิจัยฉบับนี้จะนำวงจรกรองซาวีสกี-โกเลย์สองมิติมาพัฒนาต่อเพื่อให้สามารถตรวจจับเส้นขอบได้จากภาพต้นทางเลยโดยไม่จำเป็นต้องผ่านวงจรกรองใดๆมาก่อน เนื่องจากมันจะทำหน้าที่เป็นวงจรกรองในตัวอยู่แล้ว

วิธีพัฒนาจะอาศัยแนวคิดเดิมในการตรวจจับเส้นขอบมาประยุกต์ใช้กับวงจรกรองแบบซาวีสกี-โกเลย์สองมิติ โดยอาศัยการหาค่าเกรเดียนต์, การหาค่าอนุพันธ์อันดับสอง และการหาค่าลาปลาเซียน กับฟังก์ชันพหุนามที่ประมาณขึ้น ทำให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์ของซาวีสกี-โกเลย์ชุดใหม่ขึ้นมาเพื่อมาใช้ในการตรวจจับเส้นขอบ โดยแนวทฤษฎีของวงจรกรองซาวีสกี-โกเลย์สองมิติจะกล่าวใน Section II จากนั้นการประยุกต์รูปของสมการเพื่อให้ได้มาซึ่งสัมประสิทธิ์ชุดใหม่สำหรับการตรวจจับเส้นขอบจะกล่าวใน Section III, ส่วนใน Section IV จะแสดงการทดสอบและประเมินผลทั้งหมด และจะสรุปใน Section V

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

วงจรรองขาวีสกี-โกเลย์ถ่วงน้ำหนัก 2 มิติ

(2-D Weighted Savitzky-Golay Filters)

วงจรรองขาวีสกี-โกเลย์ 2 มิติเป็นการขยายผลจากวงจรรองขาวีสกี-โกเลย์ 1 มิติ [4] ที่มีพื้นฐานการคำนวณมาจากการประมาณค่าฟังก์ชันพหุนามกับข้อมูลชุดหนึ่งโดยใช้หลักของค่าผิดพลาดกำลังสองต่ำสุด

พิจารณาอะเรย์ 2 มิติของข้อมูล $f_{i,j}$ ซึ่ง i,j เป็น $\dots, -1, 0, 1, \dots$ และให้ $p_{i,j}$ เป็นฟังก์ชันพหุนามดีกรี K ในเทอม m และดีกรี L ในเทอม n หรือเขียนได้เป็น

$$p_{i,j}(m,n) = \sum_{k=0}^K \sum_{l=0}^L a_{k,l} m^k n^l \quad (1)$$

โดยที่ m คือค่า $-M, \dots, M$ และ n คือค่า $-N, \dots, N$ แต่ละตำแหน่ง (i,j) ค่าเอาต์พุต $g_{i,j}$ ของวงจรรองขาวีสกี-โกเลย์ 2 มิติคือกลุ่มของค่า $a_{0,0}$ ซึ่งมาจากค่าประมาณฟังก์ชันพหุนาม $p_{i,j}$ ไปที่ชุดของข้อมูล $f_{i+m,j+n}$ สำหรับ $m = -M, \dots, M$ และ $n = -N, \dots, N$ อย่างไรก็ตามประเด็นของการนำฟังก์ชันพหุนามมาประมาณค่าดังกล่าวมีเงื่อนไขที่ดังอยู่บนสมการ

$$e = \sum_{m=-M}^M \sum_{n=-N}^N w_{m,n}^2 (p_{i,j}(m,n) - f_{i+m,j+n})^2 \quad (2)$$

ซึ่ง $w_{m,n}$ คือค่าตัวประกอบถ่วงน้ำหนัก (weighting factor) ที่จะถูกกำหนดให้มีค่ามากที่สุดที่จุดกำเนิดและมีค่าลดลงจนถึงศูนย์เมื่อออกห่างจากจุดกำเนิด

การจัดค่าสัมประสิทธิ์ $a_{k,l}$ ให้อยู่ในรูปของเวกเตอร์เราจะทำการเรียงค่าพวกมันให้เป็นลำดับเรียงกันโดยใช้ดัชนี r กำหนดเป็น $1, \dots, (K+1)(L+1)$ จากนั้นจะกำหนดฟังก์ชันของดัชนี $k(r) = \text{floor}((r-1)/(L+1))$ และ $l(r) = (r-1) \bmod (L+1)$ เรากำหนดเวกเตอร์ \vec{a} แทนค่าสัมประสิทธิ์ทั้งหมด $a_{k,l}$ ของฟังก์ชันพหุนาม $p_{i,j}$ เป็น

$$\vec{a} = (a_{k(r),l(r)} : r = 1, \dots, (K+1)(L+1))^T \quad (3)$$

ในการทำงานเดียวกันกำหนดดัชนี q มีค่าเป็น $1, \dots, (2M+1)(2N+1)$ เราจะแสดงค่าฟังก์ชันของดัชนีสำหรับระบุตำแหน่งในเมตริกซ์ได้เป็น

$$m(q) = \text{int}((q-1)/(2N+1)) - M$$

$$n(q) = (q-1) \bmod (2N+1) - N$$

และเราสามารถที่จะแสดงฟังก์ชัน $f_{i+m,j+n}$ ในรูปของเวกเตอร์ได้เป็น

$$\vec{f} = (f_{i+m(q),j+n(q)})^T \quad (4)$$

ผลเฉลยดังกล่าวหาได้จาก [5] ซึ่งจะสร้างเมตริกซ์ Z ขึ้นมาโดยมีค่าในเมตริกซ์เป็น

$$z_{qr} = m(q)^{k(r)} n(q)^{l(r)} \quad (5)$$

จะสามารถหาผลเฉลยของสมการทั่วไปของ \vec{a} เพื่อให้สอดคล้องกับเงื่อนไขของสมการ (2) คือ

$$\bar{a} = (Z^T W Z)^{-1} (Z^T W \bar{f}) \quad (6)$$

ซึ่ง W คือเมตริกซ์ทแยงมุมของค่า (q, q) ที่ถูกกำหนดโดย $w_{m(q), n(q)}$ องค์ประกอบ $a_{0,0}$ ที่กำหนดค่าเอาต์พุต $g_{i,j}$ สามารถแสดงได้เป็น

$$g_{i,j} = \sum_{q=1}^{(2M+1)(2N+1)} \alpha_q f_{i+m(q), j+n(q)} \quad (7)$$

โดยที่ α_q ถูกกำหนดได้เป็น

$$\alpha_q = \{(Z^T W Z)^{-1} (Z^T W \bar{e}_q)\}_1 \quad (8)$$

\bar{e}_q คือเวกเตอร์หนึ่งหน่วยที่มีขนาด $(2M+1)(2N+1)$ และมีค่าที่องค์ประกอบที่ q เท่ากับหนึ่ง ส่วน $\{p\}$ หมายถึงค่าขององค์ประกอบในเวกเตอร์ที่ตำแหน่ง p

กำหนดให้เมตริกซ์ S มีขนาด $(2M+1)(2N+1)$ ให้มีค่าในเมตริกซ์เป็น

$$S_{m(q), n(q)} = \alpha_q \quad (9)$$

เอาต์พุต $g_{i,j}$ ที่ได้จากสมการ (7) ที่เป็นผลการรวมเชิงเส้นของค่า $f_{i,j}$ กับชุดของค่า α สามารถมองได้เป็นการคอนโวลูชันกันของหน้าต่างเมตริกซ์ S กับ $f_{i,j}$ เพื่อให้ได้ค่า $g_{i,j}$ ออกมา

จากสมการ (8) จะแสดงถึงค่า α_q ที่มาจากค่าของเมตริกซ์ $(Z^T W Z)^{-1} (Z^T W \bar{e}_q)$ ที่ตำแหน่งเท่ากับหนึ่ง หรือแสดงถึงการได้มาซึ่งสัมประสิทธิ์ $a_{0,0}$ ในทำนองเดียวกันการได้มาของ α_q ที่สัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์ $a_{k,l}$ ใดๆ ก็จะเป็นค่าเมตริกซ์ $(Z^T W Z)^{-1} (Z^T W \bar{e}_q)$ ที่ตำแหน่ง $k(K+1)+l+1$ นั่นเอง เพราะฉะนั้นสัมประสิทธิ์ $a_{k,l}$ หนึ่งค่าก็จะให้ α_q หนึ่งชุดที่ใช้สร้างหน้าต่างเมตริกซ์ S ออกมาได้ค่าหนึ่งด้วย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

วงจรถ่วงวัดเส้นขอบ ที่พัฒนาโดยอาศัยหลักการของ วงจรถ่วงซาวีสกี-โกเลย์ต่วงน้ำหนัก 2 มิติ

ก. การคำนวณค่าเกรเดียนต์

เมื่อนิยามตำแหน่งเส้นขอบจากตำแหน่งที่มีขนาดเกรเดียนต์ของความเข้มสูงสุด เราสามารถคำนวณเส้นขอบโดยอาศัยลักษณะสมบัติของระนาบพหุนาม ที่ใช้ในวงจรถ่วงซาวีสกี-โกเลย์ 2 มิติได้ดังนี้ สำหรับระนาบพหุนาม $p_{i,j}$ ที่มีอันดับ K สำหรับค่า m และอันดับ L สำหรับค่า n ตามสมการ

$$p_{i,j}(m, n) = \sum_{k=0}^K \sum_{l=0}^L a_{k,l} m^k n^l \quad (10)$$

เมื่อ $i, j = \dots, -1, 0, 1, \dots$ เป็นลำดับของข้อมูลและ $m = -M, \dots, M$ และ $n = -N, \dots, N$ เป็นดัชนีตำแหน่งของหน้าต่างของวงจรถ่วงขนาด $(2M+1)(2N+1)$ เราสามารถประมาณค่าอนุพันธ์ของความเข้ม $f_{i,j}$ เทียบกับ i และ j โดยคำนวณจากสัมประสิทธิ์ของระนาบพหุนาม $p_{i,j}$ ณ ตำแหน่งกึ่งกลางหน้าต่างที่กำลังพิจารณา ($m=0, n=0$) ดังนี้

$$\frac{\partial}{\partial i} f_{i,j} \approx \frac{\partial}{\partial m} p_{i,j}(m, n) \Big|_{(m=0, n=0)} = a_{1,0} \quad (11.1)$$

$$\frac{\partial}{\partial j} f_{i,j} \approx \frac{\partial}{\partial n} p_{i,j}(m, n) \Big|_{(m=0, n=0)} = a_{0,1} \quad (11.2)$$

เมื่อได้ค่าอนุพันธ์ตามสมการที่ (11.1) และ (11.2) แล้วจึงนำไปคำนวณขนาด $|\nabla f_{i,j}|$ และทิศทาง ($\theta_{i,j}$) ของเกรเดียนต์ของความเข้มตามสมการ

$$|\nabla f_{i,j}| = \sqrt{\left(\frac{\partial}{\partial i} f_{i,j}\right)^2 + \left(\frac{\partial}{\partial j} f_{i,j}\right)^2} \approx \sqrt{a_{1,0}^2 + a_{0,1}^2} \quad (12.1)$$

$$\theta_{i,j} = \tan^{-1} \left(\frac{\frac{\partial}{\partial j} f_{i,j}}{\frac{\partial}{\partial i} f_{i,j}} \right) \approx \tan^{-1} \left(\frac{a_{0,1}}{a_{1,0}} \right) \quad (12.2)$$

ดังนั้นจะเห็นว่า การได้มาซึ่งขนาดเกรเดียนต์และมุมของเกรเดียนต์ที่ตำแหน่งใดๆ ในภาพนั้นจะเป็นการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ $a_{0,1}$ และ $a_{1,0}$ ขึ้นมาเท่านั้น

ข. การคำนวณค่าอนุพันธ์อันดับสองในทิศทางตั้งฉาก

การคำนวณค่าอนุพันธ์อันดับสองในทิศทางที่ตั้งฉากกับเส้นขอบ อาจทำได้โดยพิจารณาจากสมการของเทย์เลอร์ดังนี้ สำหรับจุด (m, n) ใดๆ รอบจุดกึ่งกลางหน้าต่างของวงจรถ่วง $(0, 0)$ จะได้ว่าฟังก์ชัน p ที่จุดดังกล่าวสามารถประมาณได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \tilde{p}(m, n) &\approx p(0,0) + [\Delta m \ \Delta n] \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial m} p \\ \frac{\partial}{\partial n} p \end{bmatrix} + \\ &\frac{1}{2!} [\Delta m \ \Delta n] \begin{bmatrix} \frac{\partial^2}{\partial m^2} p & \frac{\partial^2}{\partial m \partial n} p \\ \frac{\partial^2}{\partial n \partial m} p & \frac{\partial^2}{\partial n^2} p \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta m \\ \Delta n \end{bmatrix} \\ &+ O(\Delta m^3, \Delta n^3) \end{aligned} \quad (13)$$

โดย $O(\Delta m^3, \Delta n^3)$ เป็นพจน์ที่เหลือซึ่งมีค่าเข้าใกล้ Δm^3 หรือ Δn^3 ซึ่งสำหรับ Δm หรือ Δn น้อยๆ เราอาจตัดพจน์เหล่านี้ทิ้งไปโดยค่าประมาณที่ได้ไม่ผิดพลาดมากนัก

ถ้า $(0,0)$ อยู่บนเส้นขอบและ (m,n) อยู่ในทิศตั้งฉากกับเส้นขอบ ขนาดของเกรเดียนต์หรือพจน์ที่สองด้านขวามือในสมการ (13) จะเข้าใกล้ค่าสูงสุด และพจน์ที่สามจะมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ ซึ่งเราอาจใช้พจน์ที่สามแทนค่าอนุพันธ์อันดับที่สองในทิศตั้งฉากกับเส้นขอบได้ จากสมมติฐานที่ว่าจุดที่สนใจเป็นจุดบนเส้นขอบ เมื่ออนุพันธ์อันดับที่สองของความเข้มในทิศตั้งฉากกับเส้นขอบ ณ จุดนั้นมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ ดังนั้นเราสามารถตั้งเงื่อนไขว่าจุดใดเป็นขอบก็ต่อเมื่อ

$$\frac{1}{2!} [\Delta m \ \Delta n] \begin{bmatrix} \frac{\partial^2}{\partial m^2} p & \frac{\partial^2}{\partial m \partial n} p \\ \frac{\partial^2}{\partial n \partial m} p & \frac{\partial^2}{\partial n^2} p \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta m \\ \Delta n \end{bmatrix} = 0 \quad (14)$$

ค่าดังกล่าวสามารถคำนวณจากสัมประสิทธิ์ของระนาบพหุนามได้เช่นเดียวกับการคำนวณขนาดของเกรเดียนต์ตั้งนี้ สำหรับค่าคงที่ c ใดๆ ที่ไม่เป็นศูนย์ ให้ $\Delta m = c$ ดังนั้นจะได้ระยะในทิศทางของ n หรือ $\Delta n = c(\tan \theta)$ โดยค่า θ คำนวณจากสมการ (12.2) ส่วนพจน์อื่นๆคำนวณได้ดังนี้

$$\left. \frac{\partial}{\partial m \partial n} p_{i,j}(m, n) \right|_{(m=0, n=0)} = \left. \frac{\partial}{\partial n \partial m} p_{i,j}(m, n) \right|_{(m=0, n=0)} = a_{1,1} \quad (15.1)$$

$$\left. \frac{\partial^2}{\partial m^2} p_{i,j}(m, n) \right|_{(m=0, n=0)} = a_{2,0} \quad (15.2)$$

$$\left. \frac{\partial^2}{\partial n^2} p_{i,j}(m, n) \right|_{(m=0, n=0)} = a_{0,2} \quad (15.3)$$

เนื่องจาก c^2 และ $2!$ ไม่เท่ากับศูนย์ เราอาจตัดทิ้งไประหว่างคำนวณได้ ดังนั้นเงื่อนไขจากสมการ (14) จะกลายเป็น

$$T = a_{2,0} + 2a_{1,1} \tan \theta + a_{0,2} \tan^2 \theta = 0 \quad (16)$$

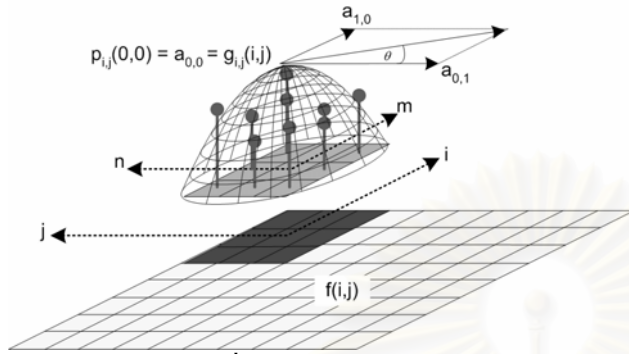
ค่าสัมประสิทธิ์ที่นำมาใช้ในขั้นตอนี้ทั้งหมดจึงประกอบด้วย $a_{0,1}$, $a_{1,0}$, $a_{2,0}$, $a_{1,1}$ และ $a_{0,2}$ ในการได้มาซึ่งค่าอนุพันธ์อันดับสองในทิศทางตั้งฉาก

ก. การคำนวณค่าลาปลาเซียน

ค่าลาปลาเซียนดังกล่าวสามารถคำนวณได้จากสัมประสิทธิ์ของระนาบพหุนามด้วยเช่นกัน ดังนี้

$$\nabla^2 f_{i,j} \approx \frac{\partial^2}{\partial m^2} p_{i,j}(m,n) \Big|_{(m=0,n=0)} + \frac{\partial^2}{\partial n^2} p_{i,j}(m,n) \Big|_{(m=0,n=0)} = 2(a_{2,0} + a_{0,2}) \tag{17}$$

ค่าสัมประสิทธิ์ที่ใช้ในการหาค่าปลาเขียนนี้จึงมีเพียง $a_{2,0}$ และ $a_{0,2}$



รูปที่ 1 การประมาณฟังก์ชันพหุนามของวงจรวงจรองชาวิสถิติ-โกเลย์สองมิติ

จากแนวคิดของวงจรวงจรองชาวิสถิติ-โกเลย์ ที่เป็นการประมาณฟังก์ชันพหุนามกับข้อมูลสุ่มจำนวนหนึ่ง ซึ่งก็คือข้อมูลซึ่งอยู่ภายใต้หน้าต่างขนาดใดๆ ที่กำหนดขึ้น จากนั้นก็นำค่า ณ ตำแหน่งตรงกลางมาเป็นค่าเอาที่พูดของวงจรวงจรองดังรูปที่ 1 จากนั้นในการตรวจจับขอบที่เสนอ ได้กล่าวถึงการหาอนุพันธ์ของฟังก์ชันพหุนามในบริเวณหนึ่งทีเลือกขึ้นมาเป็นค่าขนาดเกรเดียนต์ ซึ่งจะเห็นว่าที่ขั้นตอนนี้ข้อมูลที่สุ่มขึ้นมาหาค่าอนุพันธ์นั้นก็เปรียบเสมือนผ่านการประมาณ โดยหลักค่าผิดพลาดกำลังสองต่ำสุดแล้วในตัวของมันเอง ซึ่งค่าอนุพันธ์ที่ได้นั้นก็จะเป็นค่าประมาณเกรเดียนต์ของภาพได้เลยเช่นกัน หรือจะกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่าการใช้วิธีการตรวจจับเส้นขอบที่ได้เสนอไปนั้นอาจจะสามารถทำกับตัวภาพต้นทางได้เลยโดยไม่ต้องผ่านวงจรวงจรองใดๆมาก่อน ทำให้สามารถผลลัพธ์ของเส้นขอบในการคำนวณเพียงขั้นตอนเดียวก็ได้ซึ่งจะเป็นการประหยัดเวลาในการคำนวณรวมถึงมีความกะทัดรัดในตัวอัลกอริทึมด้วย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

ทดสอบประสิทธิภาพ

เพื่อนำวิธีการใน Section ที่ผ่านมามาประยุกต์เพื่อเป็นวิธีการสำหรับตรวจจับขอบและนำมาทดสอบใน Section นี้ จะกำหนดวิธีการดังต่อไปนี้

M1 : จะใช้ค่าเกรเดียนต์ที่หามาโดยวิธีในบทที่ 2(ก) และนำไปผ่านกระบวนการ nonmaxima suppression เพื่อให้ขอบที่ได้บางลง จากนั้นจะตั้งค่าระดับ threshold ที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ส่วนที่น่าจะเป็นขอบที่สุด

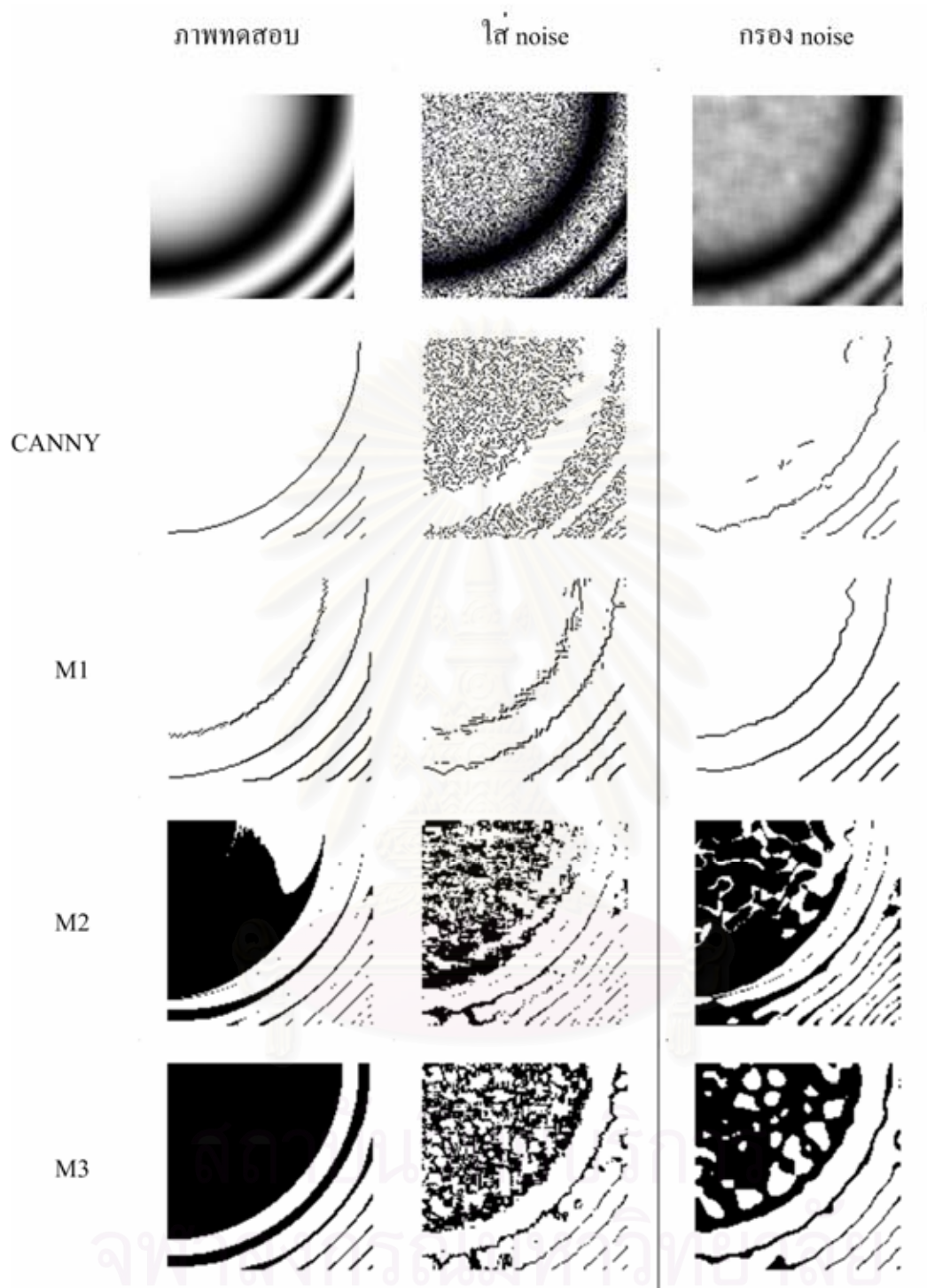
M2 : จะใช้ค่าอนุพันธ์อันดับสองที่หามาจาก บทที่ 2(ข) และตั้ง threshold ให้เข้าใกล้ศูนย์ เพื่อให้บริเวณที่มีค่าต่ำกว่า threshold คำนี้นั้นเป็นขอบ

M3 : จะใช้ค่าลาปลาเซียนที่หาได้จาก บทที่ 2(ค) และตั้งค่า threshold ในลักษณะเดียวกับวิธี M2

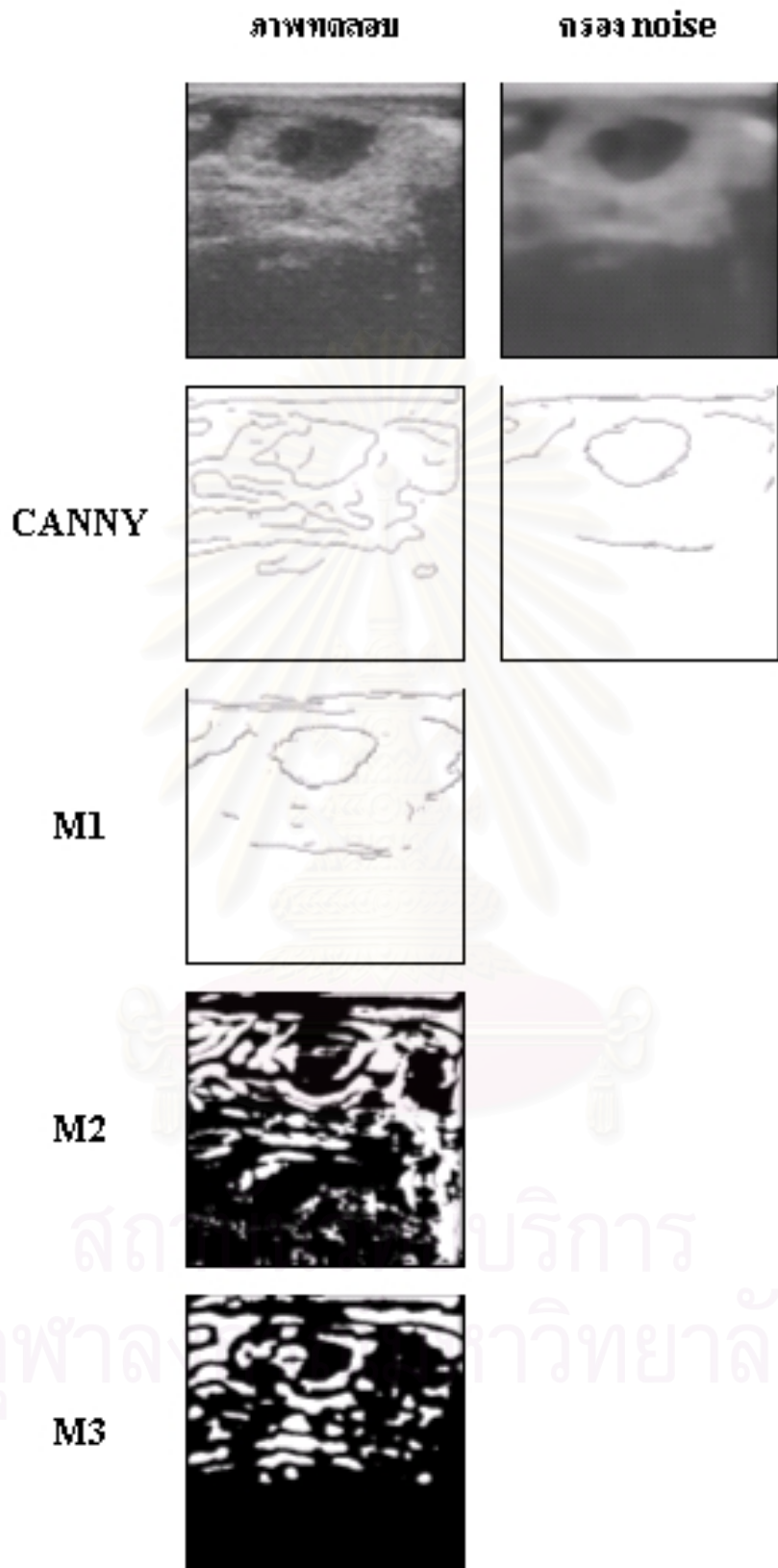
ภาพที่จะนำมาทดสอบจะเริ่มจากภาพที่สร้างขึ้นโดยฟังก์ชันไซน์แปรความถี่ทั้งแบบมีสัญญาณรบกวนและไม่มีสัญญาณรบกวน และตัวอย่างภาพ SAR ขอบที่ได้มานี้จะนำมาเปรียบเทียบกับขอบที่ตรวจจับจากวิธีแบบแคนนี่ที่ใช้กับภาพที่ผ่านและไม่ผ่านวงจรกรองมาก่อน โดยการทดสอบทั้งหมดแสดงในรูปที่ 2, 3

พารามิเตอร์ที่เกิดขึ้นในการตรวจจับแบบที่เสนอขึ้น M1, M2 และ M3 คือขนาดหน้าต่างและอันดับพหุนาม โดยค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวนี้จะส่งผลถึงความสามารถในการกรองสัญญาณรบกวนออกไปด้วย ค่าขนาดหน้าต่างจะใช้ขนาดเดียวกับหน้าต่างเกาส์เซียนของวิธีแคนนี่เพื่อให้เหมาะสมในการเปรียบเทียบ ค่าอันดับพหุนามจะใช้ค่าเป็น 2 เนื่องจากเป็นอันดับต่ำสุดที่จะสามารถคำนวณค่า ออกมาได้ ส่วนค่า threshold จะทำการปรับเพื่อให้เหมาะสมที่สุดในการแสดงขอบ ส่วนวิธีการของแคนนี่จะใช้การคำนวณจากฟังก์ชัน EDGE ของโปรแกรม MATLAB.6.1 โดยตัวโปรแกรมจะตั้งค่าขนาดและ variance ของหน้าต่างเกาส์เซียนกับ ค่า threshold โดยอัตโนมัติ

เส้นขอบที่ได้จากวิธีทั้งหมดดังรูปที่ 2,3 จะเห็นว่าเมื่อใช้วิธีของแคนนี่ตรวจจับเส้นขอบกับภาพที่ประกอบด้วยสัญญาณรบกวนและยังไม่ได้ผ่านกรอง ได้เส้นขอบออกมาค่อนข้างแย่เมื่อเทียบกับการใช้วิธี M1 โดยถ้านำภาพไปผ่านการกรองก่อนแล้วค่อยใช้วิธีแคนนี่จะให้ผลออกมาที่ใกล้เคียงกันสำหรับภาพสังเคราะห์ แต่สำหรับภาพ SAR วิธี M1 ก็ยังคงให้ผลออกมาดีกว่า ดังนั้นในแง่ของความเร็วการตรวจจับ M1 ที่ทำกับภาพต้นทางเลยจะให้ความสะดวกและผลลัพธ์ที่ดีกว่า เพราะฉะนั้นวิธีที่พัฒนาขึ้นนี้จะมีความยืดหยุ่นในการเลือกใช้งานซึ่งพิจารณาระหว่างคุณภาพกับความเร็ว ส่วน M2 และ M3 ที่ใช้ตรวจจับขอบตามการทดลองให้ผลออกมาไม่ค่อยดีเท่าที่ควรเนื่องจากจุดตัดศูนย์อาจไม่เพียงพอสำหรับการกำหนดเส้นขอบ เพราะฉะนั้นถ้าจะให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่านี้ น่าจะต้องเพิ่มเงื่อนไขขึ้นไปอีก



รูปที่ 2 ทดสอบกับภาพที่สังเคราะห์ขึ้น



รูปที่ 3 ทดสอบกับตัวอย่างภาพอัลตราซาวด์

บทที่ 4

สรุป และวิเคราะห์ผลการทดลอง

ผลลัพธ์ที่ได้ของการตรวจจับเส้นขอบแบบ M1 ให้ผลดีกว่าวิธีของแคนนี่มากไม่ว่าในแง่ของความเร็วหรือคุณภาพถ้าผ่านการกรองมาก่อน และวิธีที่พัฒนาขึ้นนี้มีความสามารถในการกรองสัญญาณรบกวนได้ทั้งแบบเกาส์เซียนหรือสัญญาณรบกวนแบบจุดต่างจากวิธีของแคนนี่ที่เหมาะสมสำหรับภาพที่ประกอบด้วยสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนเท่านั้น เป็นเพราะวิธีที่พัฒนาขึ้นอยู่บนพื้นฐานของการกรองแบบซาวิตซ์กี-โกเลย์ที่สามารถปรับพารามิเตอร์ต่างๆได้ เพื่อคุณภาพในการกรอง เช่นถ้าอันดับพหุนามเข้าใกล้อนันต์ก็เปรียบเสมือนไม่ได้ผ่านการกรองใดๆ เพราะค่าของฟังก์ชันก็คือค่าของภาพต้นทางนั่นเอง

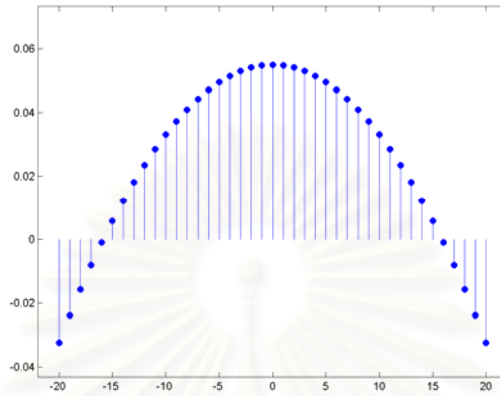
เอกสารอ้างอิง

1. Evan, A. N. and Nixon, M. S. Biased motion-adaptive temporal filtering for speckle reduction in echocardiography. IEEE Trans. on Med. Imag. Vol. 15 (February 1996) : 222-228.
2. Canny, J. A computational approach to edge detector. IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell. Vol. PAMI-8 (June 1986) : 679-697.
3. Chinrungrueng, C. and Suvichakorn, A. Fast edge-preserving noise reduction for ultrasound images. IEEE Trans Nuclear Sci. Vol. 48 (June 2001) : 849-854.
4. Savitzky, A. and Golay, M. J. E. Smoothing and differentiation of data by simplified least squares procedure. Anal. Chem. Vol. 36 (1964) : 1627-1639.
5. Chapra, S. C. Numerical Methods for Engineers. Mcgraw Hill, 1998.

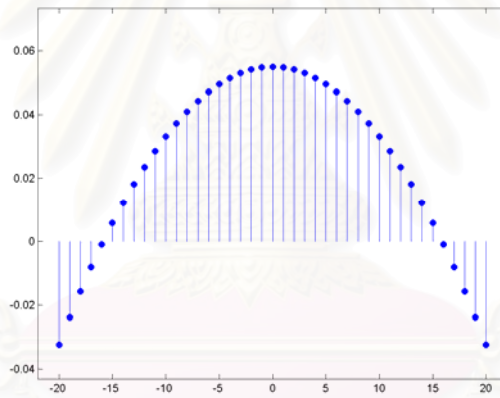
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

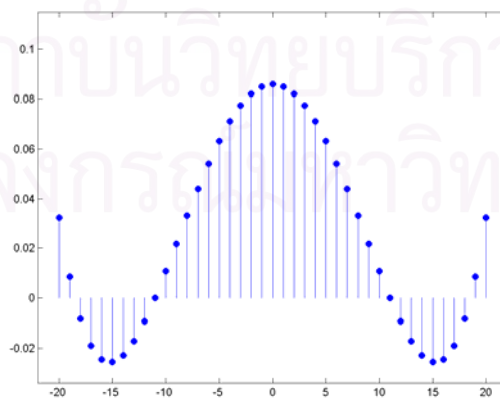
หน้าต่างและผลตอบเชิงความถี่ของวงจรแบบซาวีสกี-โกเลย์



(ก) อันดับพหุนามเท่ากับ 2

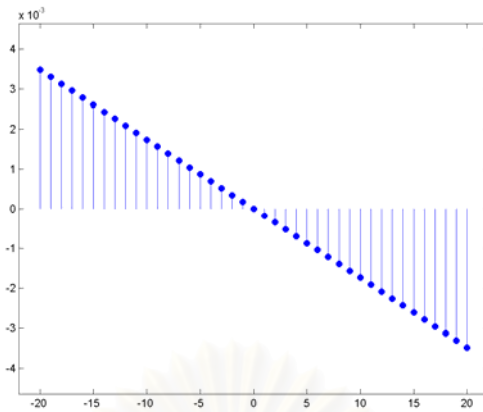


(ข) อันดับพหุนามเท่ากับ 3

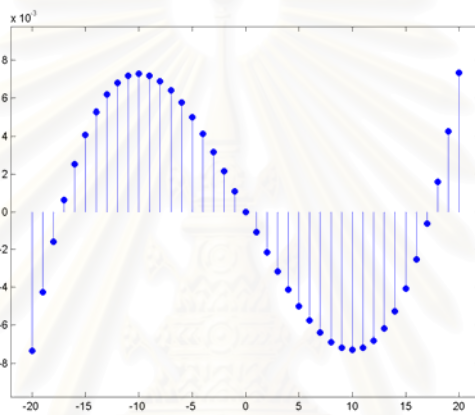


(ค) อันดับพหุนามเท่ากับ 4

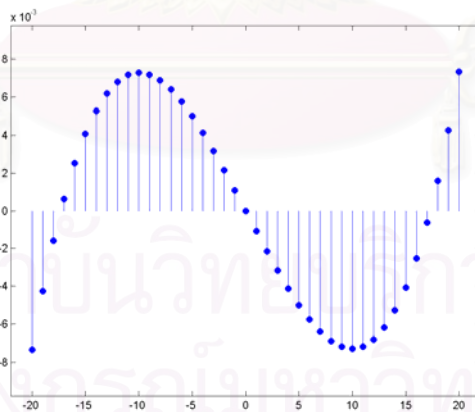
รูปที่ ก.1: หน้าต่างของวงจรแบบซาวีสกี-โกเลย์ที่สัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์ a_0



(ก) อันดับพหุนามเท่ากับ 2

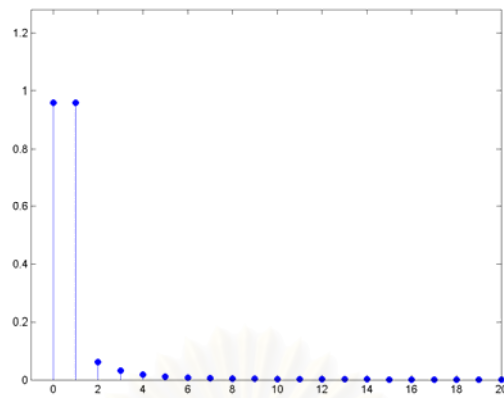


(ข) อันดับพหุนามเท่ากับ 3

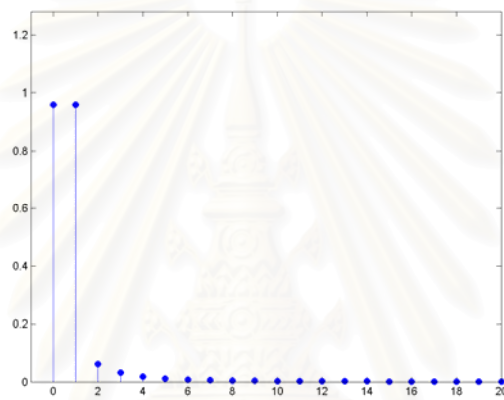


(ค) อันดับพหุนามเท่ากับ 4

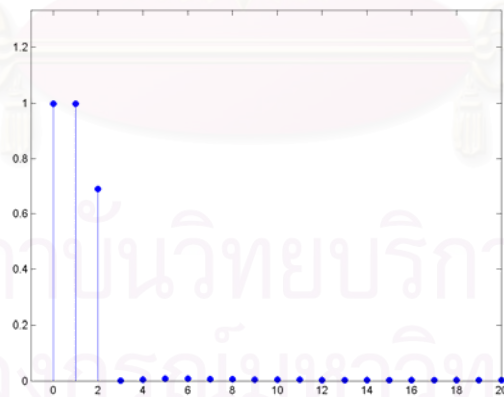
รูปที่ ก.2: หน้าต่างของวงจรมหาพีชคณิต-โกลีย์ที่สัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์ a_1



(ก) อันดับพหุนามเท่ากับ 2

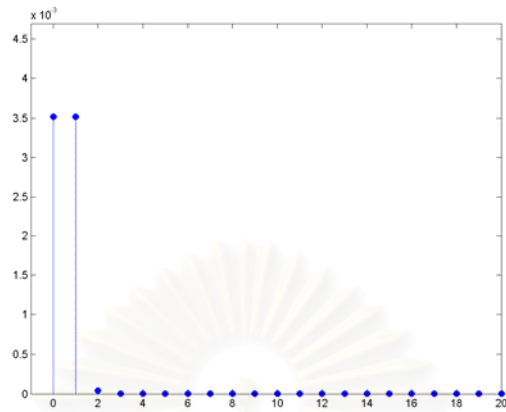


(ข) อันดับพหุนามเท่ากับ 3

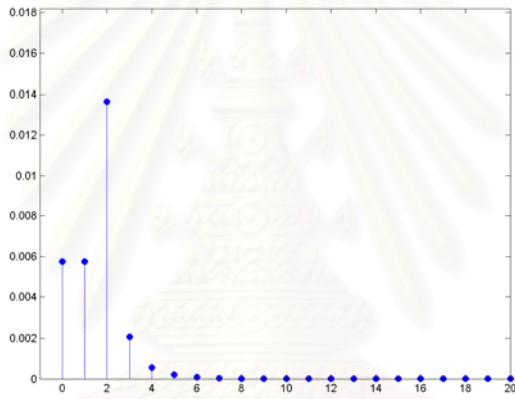


(ค) อันดับพหุนามเท่ากับ 4

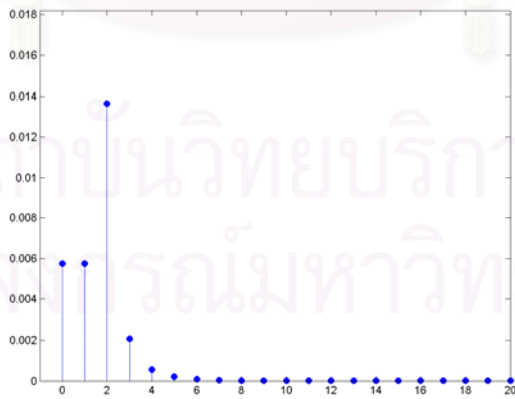
รูปที่ ก.3: ผลตอบเชิงความถี่ของหน้าต่างของวงจรแบบซาวีสกี-โกเลย์
ที่สัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์ a_0



(ก) อันดับพหุนามเท่ากับ 2

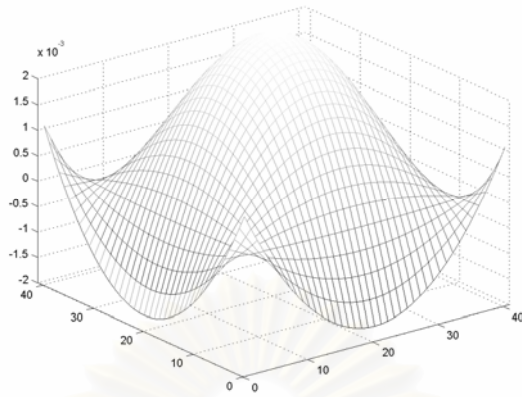


(ข) อันดับพหุนามเท่ากับ 3

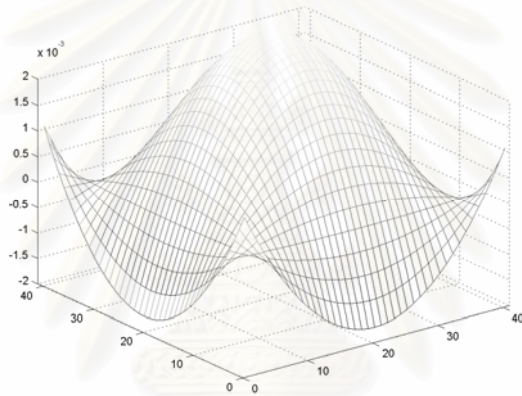


(ค) อันดับพหุนามเท่ากับ 4

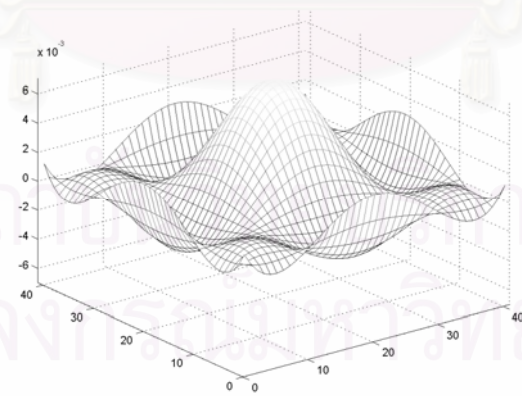
รูปที่ ก.4: ผลตอบเชิงความถี่ของหน้าตาของวงจรแบบซาวีตกี-โกเลย์
ที่สัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์ a_1



(ก) อันดับพหุนามเท่ากับ 2

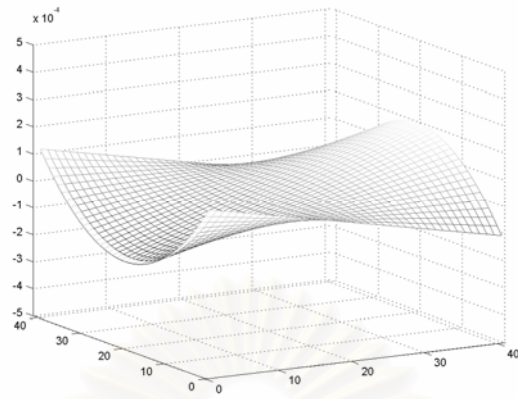


(ข) อันดับพหุนามเท่ากับ 3

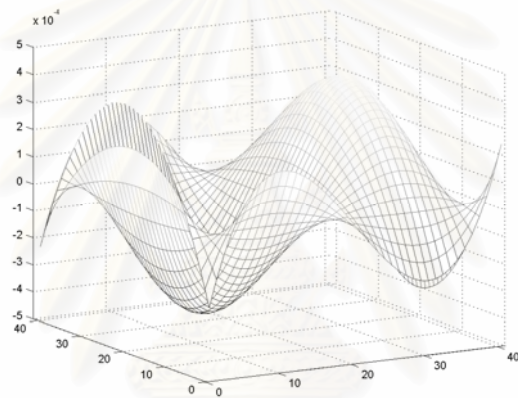


(ค) อันดับพหุนามเท่ากับ 4

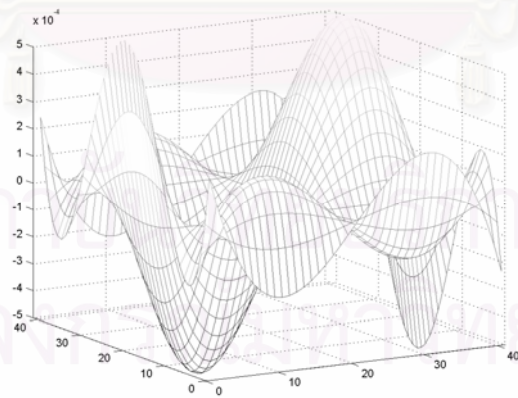
รูปที่ ก.5: หน้าต่างของวงจรมอดูเลชันแบบซาวทูล-โกล์สองมิติ
ที่สัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์ $a_{0,0}$



(ก) อันดับพหุนามเท่ากับ 2



(ข) อันดับพหุนามเท่ากับ 3



(ค) อันดับพหุนามเท่ากับ 4

รูปที่ ก.6: ต่างของวงจรแบบซาวีสกี-โกเลย์
ที่สัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์ $a_{0,1}$

แผนงานย่อยที่ 3

บทนำ

ภาพอัลตราซาวด์เป็นภาพที่นิยมใช้ในการวินิจฉัยทางการแพทย์โดยอาศัยคลื่นเสียงความถี่สูงในย่านความถี่ 1-5 MHz สะท้อนกับอวัยวะในร่างกายและตรวจจับออกมาเป็นภาพ แต่ภาพที่ได้นั้นจะมีสัญญาณรบกวนรวมอยู่ด้วย เป็นเหตุให้งานในการตีความหมายภาพอัลตราซาวด์โดยอาศัยคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยนั้นมีความยากลำบาก ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องจัดสัญญาณรบกวนในภาพอัลตราซาวด์ก่อนที่จะนำภาพไปผ่านกระบวนการต่อไป

สัญญาณมัลทิน (speckle noise) ในภาพอัลตราซาวด์เป็นปรากฏการณ์ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อสัญญาณอะคูสติกพัลส์ที่มีเฟสต่อเนื่องตกกระทบเนื้อเยื่ออ่อนและสะท้อนกลับเป็นสัญญาณที่เป็นเฟสไม่ต่อเนื่อง เกิดเป็นสัญญาณรบกวนที่มีแบบจำลองแบบคูณ (multiplicative process) เนื่องจากสัญญาณอะคูสติกพัลส์ที่ตกกระทบเนื้อเยื่อที่มีพื้นผิวขรุขระนั้น จะทำให้สัญญาณที่สะท้อนกลับเป็นสัญญาณที่สะท้อนมาจากหลายทิศทางและเกิดการแทรกสอดขึ้น สัญญาณที่รับได้นั้นจะมีคุณสมบัติของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (signal-to-noise-ratio : SNR) คงที่นั่นคือการแกว่งของสัญญาณรบกวนบนสัญญาณจะมีขนาดที่เป็นสัดส่วนกันทำให้สัญญาณมีลักษณะที่พุ่งขึ้นสังเกตจากภาพที่ตรวจจับได้จะมีลักษณะเป็นจุดขาวทั่วทั้งภาพ

ที่ผ่านมาได้มีการใช้วงจรกรองแบบผ่านต่ำ (Low-pass Filter) เช่น วงจรกรองเฉลี่ย (Mean Filter) วงจรกรองมัธยฐาน (Median Filter) ซึ่งไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในการลดทอนสัญญาณรบกวนในภาพอัลตราซาวด์ โดยวงจรกรองเหล่านี้จะทำให้องค์ประกอบที่สำคัญร่วงลงไป ส่วนวงจรกรองที่ได้พัฒนาสำหรับการลดทอนสัญญาณรบกวนในภาพอัลตราซาวด์ในเวลาจริง (Real-time) ประกอบไปด้วย วงจรกรองสัญญาณมัลทินแบบปรับตัวได้ (Adaptive Speckle Reduction Filters : ASR) และวงจรกรองมัธยฐานถ่วงน้ำหนักแบบปรับตัวได้ (Adaptive Weighted Median Filters : AWM) ในวงจรกรอง ASR จะอาศัยอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน และฟังก์ชันสหสัมพันธ์ (Autocorrelation) ในการกำหนดการแปรผันของลำดับขั้นเพื่อทำให้สัญญาณราบเรียบ โดยอ้างอิงค่าเบี่ยงเบนของรูปแบบสัญญาณมัลทิน (Deviation of the Speckle pattern) จากรูปแบบสัญญาณมัลทินเต็ม (Fully Formed Speckle : FFS) ซึ่งเป็นที่รู้กันว่ามีลักษณะการแจกแจงแบบเรย์ลี (Rayleigh distribution) [1] ส่วนวงจรกรอง AWM พิกเซลเอาต์พุตของแต่ละตำแหน่งหาได้จากค่ามัธยฐานของชุดข้อมูลที่ถูกล่วงน้ำหนักด้วยพื้นฐานของ SNR ในย่านของชุดข้อมูลที่ลุ่มขึ้นมา โดยเมื่อเปรียบเทียบกับวงจรกรองเฉลี่ยและวงจรกรองมัธยฐานจะเห็นได้ว่าวงจรกรอง ASR และวงจรกรอง AWM สามารถลดทอนสัญญาณรบกวนและรักษาเส้นขอบภาพได้ดีกว่า แต่อย่างไรก็ตามวงจรกรองเหล่านี้ยังถูกจำกัดความสามารถในการเพิ่มคุณภาพของภาพอัลตราซาวด์ เนื่องจากขาดการปรับทิศทางในการลดทอนสัญญาณรบกวนตามหลักการของ *Image Anisotropy* ซึ่งพิจารณาถึงโครงสร้างของภาพในแต่ละย่านของชุดข้อมูลที่เราสนใจ

ในงานวิจัยนี้ได้เล็งไปถึงปัญหาในการปรับทิศทางในการกรองของวงจรกรองให้เหมาะกับลักษณะโครงสร้างของภาพ เราจะได้อธิบายถึงระเบียบวิธีการกรองแบบใหม่ ซึ่งพัฒนาสำหรับการลดทอนสัญญาณมัลทิน และปรับปรุงคุณภาพของภาพอัลตราซาวด์ที่มีการบีบอัดแบบล็อก (Log-compressed) ในเวลาจริง สาเหตุที่มีการบีบอัดแบบล็อกเนื่องจากข้อจำกัดในด้านพิสัยพลวัต (Dynamic Range) ในการแสดงผลบนจอภาพของเครื่องอัลตราซาวด์ จึงต้องมีการบีบอัดแบบล็อกเพื่อทำให้สัญญาณที่ตรวจจับได้สามารถแสดงผลได้พอดีบนจอภาพ วงจรกรองดังกล่าวนี้ได้เข้าถึง วงจรกรองซาวิตซกี-โกเลย์แบบทิศทาง (Directional Savitzky-Golay : DSG) ซึ่งเป็นวงจรซาวิตซกี-โกเลย์ถ่วงน้ำหนักแบบสองมิติ (2-D weighted Savitzky-Golay filter) โดยการเพิ่มกลไกในการหาทิศทางในการถ่วงน้ำหนักเพื่อให้สัญญาณที่ได้ราบเรียบแบบมีทิศทางด้วยคุณสมบัติแอนไอโซทรอปิก (Anisotropic properties) ในย่านของชุดข้อมูลของภาพที่เรากำลังสนใจ

บทที่ 1

วงจรรองซาวิตซ์-โกเลย์ถ่วงน้ำหนัก 2 มิติ

เริ่มจากพิจารณาภาพขนาด $M \times N$ พิกเซล ซึ่งแสดงได้ในรูปของอาร์เรย์ของกลุ่มข้อมูล 2 มิติ $f(u, v)$, เมื่อ $u \in [1, \dots, M]$ และ $v \in [1, \dots, N]$. กำหนดให้หน้าต่างของชุดข้อมูลที่เราสนใจมีขนาด $(2L+1) \times (2L+1)$ โดยมีตำแหน่งศูนย์กลางอยู่ที่ (i, j) ดังสมการ

$$D_{i,j} = \{f(i+m, j+n) : -L+1 \leq m \leq L-1, -L+1 \leq n \leq L-1\} \quad (1)$$

ให้ $p_{i,j}$ เป็นฟังก์ชันพหุนาม 2 มิติ

$$p_{i,j}(m, n) = \sum_{s=0}^S \sum_{t=0}^T a_{i,j}(s, t) m^s n^t, \quad (2)$$

โดย m และ n เป็นเลขจำนวนเต็มคี่ที่อ้างไว้ในสมการที่ 1, S และ T เป็นออเดอร์สูงสุดของ m และ n ตามลำดับ ระเบียบวิธีของวงจรรองซาวิตซ์-โกเลย์ถ่วงน้ำหนัก 2 มิติ (2-D weighted Savitzky-Golay Filters : WSG) จะคำนวณหาค่าเอาต์พุตที่ตำแหน่ง (i, j) ด้วยการฟิตฟังก์ชันพหุนาม $p_{i,j}$ ด้วยหลักการของค่าผิดพลาดกำลังสองน้อยสุด (Least Square Error) ไปยังข้อมูล f แต่ละพิกเซลในหน้าต่าง $D_{i,j}$ และเลือกเอาต์พุตของวงจรรองจากฟังก์ชันพหุนามที่ตำแหน่ง $p_{i,j}(0,0)$ ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับ $a_{i,j}(0,0)$.

วัตถุประสงค์ในการฟิตกลุ่มข้อมูลด้วยหลักการกำลังสองน้อยสุดในวงจรรอง WSG 2 มิติ สามารถนิยามด้วย

$$\sum_{m,n \in D_{i,j}} w_{i,j}(m, n) \{f(i+m, j+n) - p_{i,j}(m, n)\}^2, \quad (3)$$

โดย $w_{i,j}$ คือฟังก์ชันถ่วงน้ำหนักแต่ละตำแหน่งในหน้าต่าง $D_{i,j}$ ในกรณีที่เราจะใช้ฟังก์ชันพหุนามฟิตชุดข้อมูลด้วยหลักการกำลังสองน้อยสุดให้มีประสิทธิภาพนั้น เราได้ขยายหลักการที่ได้พัฒนามาแล้วในระเบียบวิธีของวงจรรองซาวิตซ์-โกเลย์ 1 มิติ [4] โดยการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ในการฟิตชุดของกลุ่มข้อมูลไว้เพียงครั้งเดียว จากนั้นจึงจัดรูปสมการให้สามารถหาค่าเอาต์พุตได้ในลักษณะผลรวมเชิงเส้น (Linear Combination) จากหลักการนี้ได้นำมาขยายใช้ในวงจรรองซาวิตซ์-โกเลย์ 2 มิติ เช่นกัน [5]

ขั้นตอนในการหาค่า $p_{i,j}(0,0)$ ให้อยู่ในรูปของผลรวมเชิงเส้นนั้น เราจะเริ่มจากกำหนด $\vec{a}_{i,j}$ เป็นเวกเตอร์ที่ประกอบไปด้วยสัมประสิทธิ์ $a_{i,j}(s, t)$ ทุกตัวของฟังก์ชันพหุนาม $p_{i,j}$ ดังนิยามไว้ในสมการที่ 2 จากนั้นเราจะทำการจัดเรียงค่าสัมประสิทธิ์ $a_{i,j}(s, t)$ ให้อยู่ในรูปของเวกเตอร์โดยการเรียงลำดับออเดอร์ตามค่าดัชนี r โดย $r \in [1, \dots, (S+1)(T+1)]$ ตามฟังก์ชันดัชนี

$$s(r) = \lfloor (r-1)/(T+1) \rfloor$$

$$t(r) = (r-1) \bmod (T+1)$$

โดย $\lfloor \cdot \rfloor$ เป็นฟังก์ชัน floor และ \bmod เป็นฟังก์ชัน modulo ดังนั้นเราสามารถเขียน $\vec{a}_{i,j}$ ได้ในรูป

$$\vec{a}_{i,j} = (a(s(r), t(r)) : r = 1, \dots, (S+1)(T+1))^T. \quad (4)$$

ส่วน

$$m(q) = \lfloor (q-1)(2l-1) - l + 1 \rfloor$$

$$n(q) = (q-1) \bmod (2l-1) - l + 1$$

เป็นฟังก์ชันคั้งของข้อมูล $f(i+m, j+n)$ ในหน้าต่าง $D_{i,j}$ ซึ่งสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของเวกเตอร์ฟอร์ม

$$\vec{f}_{i,j} = (f(i+m(q), j+n(q)) : q=1, \dots, (2l-1)^2)^T. \quad (5)$$

จากนิยามของ $\vec{a}_{i,j}$ และ $\vec{f}_{i,j}$ ในข้างต้นเราสามารถสร้างเมตริกซ์ A ได้จาก

$$A_{qr} = m(q)^{s(r)} n(q)^{t(r)} \quad (6)$$

ในขั้นตอนนี้เราสามารถสร้างฟังก์ชันกำลังสองน้อยสุดที่ได้นิยามไว้ในสมการที่ 3 ขึ้นใหม่ได้ในรูป

$$\varepsilon_{i,j} = (A\vec{a}_{i,j} - \vec{f}_{i,j})^T W (A\vec{a}_{i,j} - \vec{f}_{i,j}). \quad (7)$$

โดยที่ผลเฉลยทั่วไปของ \vec{a} ที่ถูกกำหนดด้วยสมการความผิดพลาดกำลังสองน้อยสุดสามารถแก้สมการหาค่าได้คือ

$$\vec{a}_{i,j} = (A^T W A)^{-1} (A^T W \vec{f}_{i,j}). \quad (8)$$

โดยค่าสัมประสิทธิ์ ณ ตำแหน่งศูนย์กลางของฟังก์ชันพหุนาม $p_{i,j}(0,0)$ จะมีค่าเท่ากับ $a_{i,j}(0,0)$ ซึ่งก็คือค่าสัมประสิทธิ์ตัวแรกของ $\vec{a}_{i,j}$ ในสมการที่ 8 และเราสามารถสรุปให้อยู่ในรูปของผลรวมเชิงเส้นได้เป็น

$$p_{i,j}(0,0) = \sum_{q=1}^{(2l-1)^2} \alpha_q f(i+m(q), j+n(q)), \quad (9)$$

โดยที่

$$\alpha_q = \left\{ (A^T W A)^{-1} (A^T W \vec{e}_q) \right\}_1. \quad (10)$$

เครื่องหมาย \vec{e}_q คือเวกเตอร์หนึ่งหน่วยซึ่งมีค่าเท่ากับหนึ่งที่ตำแหน่ง q th ส่วน $\{ \}_1$ คือค่าตัวแรกของเวกเตอร์ในสมการที่ 10

จากสมการที่ 9 แสดงถึงค่าสัมประสิทธิ์ที่มีอยู่ของ α_q ซึ่งสามารถจะช่วยให้เราสามารถคำนวณหาค่าของการประมาณฟังก์ชันพหุนามกำลังสองน้อยสุดบนกลุ่มของข้อมูล โดยอาศัยการคำนวณหาผลรวมเชิงเส้น (linear combination) ของกลุ่มข้อมูล $f(i+m, j+n)$ กับสัมประสิทธิ์ $\alpha_1, \dots, \alpha_{2M+1}$ เท่านั้น โดยค่าสัมประสิทธิ์ α_q จะขึ้นอยู่กับการสร้างค่าเมตริกซ์ A และค่าเมตริกซ์ A ที่สร้างขึ้นนั้นจะเป็นค่าคงที่สำหรับทุกๆตำแหน่ง (i, j) จึงทำให้เราสามารถหาค่า α_q เพียงครั้งเดียวสำหรับการสร้างวงจรกรองขาวิสติ-โกเลย์นี้ ส่งผลให้กระบวนการดังกล่าวมีความรวดเร็วและมีความซับซ้อนน้อยลง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

วงจรรองซาวิตซ์กี-โกเลย์แบบทิศทาง

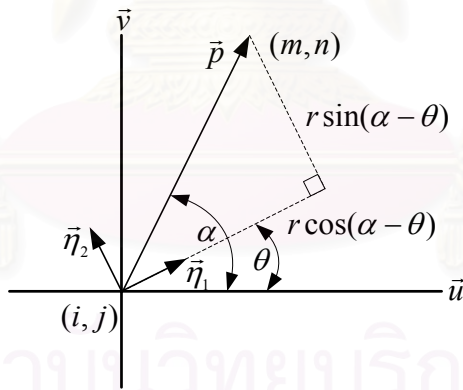
วงจรรองซาวิตซ์กี-โกเลย์แบบทิศทาง (Directional Savitzky-Golay Filters : DSG) คือวงจรรอง WSG 2 มิติ ที่ถูกปรับปรุงโดยการเพิ่มกลไกในการหาทิศทางในการถ่วงน้ำหนักด้วยหลักการกำลังสองน้อยสุดเพื่อให้สัญญาณที่ได้ราบเรียบแบบมีทิศทางตามคุณสมบัติของแอนไอโซโทรปิกในย่านของชุดข้อมูลของภาพที่เรากำลังสนใจ โดยระเบียบวิธีของวงจรรอง DSG สามารถอธิบายด้วย 2 ขั้นตอนหลักดังนี้

ในขั้นตอนแรกเราจะได้นำเสนอการคำนวณหาคุณลักษณะแบบคอนทราสต์ของภาพในย่านที่เราสนใจซึ่งสัมพันธ์กับทิศทางหลักของ curvature ที่ตำแหน่ง (i, j) ด้วย local curvatures (Eigenvalues) ของ Hessian Matrix:

$$\begin{bmatrix} f_{uu}(i, j) & f_{uv}(i, j) \\ f_{uv}(i, j) & f_{vv}(i, j) \end{bmatrix}, \quad (11)$$

โดยที่ f_{uu} เป็นอนุพันธ์ย่อยอันดับที่ 2 ของ f เทียบกับแกน u , f_{uv} เป็นอนุพันธ์ย่อยอันดับที่ 2 เทียบกับแกน u และ v และ f_{vv} เป็นอนุพันธ์ย่อยอันดับที่ 2 เทียบกับแกน v ในการคำนวณค่าอนุพันธ์เหล่านี้เราจะประยุกต์หลักการพิดพื้นผิวด้วยฟังก์ชันพหุนามกำลังสองน้อยสุดที่เราเคยได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 2-D WSG filter ต่างกันที่ในหัวข้อ 2-D WSG filter นั้นเราจะคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ $a_{i,j}(0,0)$ แต่ที่นี่เราจะคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ $a_{i,j}(2,0)$, $a_{i,j}(1,1)$, $a_{i,j}(0,2)$ มาใช้เป็นค่าในการประมาณ $f_{uu}(i, j)$, $f_{uv}(i, j)$, $f_{vv}(i, j)$ ตามลำดับโดยฟังก์ชันถ่วงน้ำหนักของทุกตัวมีค่าเท่ากับหนึ่ง

ขั้นตอนถัดไป เราจะทำการเพิ่มประสิทธิภาพของวงจรรอง WSG ให้สามารถกรองสัญญาณรบกวนในแนวทิศทางได้ด้วยการสร้างฟังก์ชันถ่วงน้ำหนัก $w_{i,j}$ ซึ่งได้นิยามไว้ในสมการที่ 3 ด้วย curvature และทิศทางของมัน ซึ่งหาได้ในขั้นตอนแรก



รูปที่ 1 การกระจายตัวของทิศทาง curvature ในระบบพิกัดหน้าต่าง $D_{i,j}$

รูปที่ 1 แสดงการกระจายตัวของ *principal curvature axes* ที่ตำแหน่งหน้าต่างข้อมูลที่จะทำการกรอง $D_{i,j}$ โดยให้ η_1 เป็นเวกเตอร์หนึ่งหน่วยในทิศทางของ *principal maximum curvature*, η_2 เป็นเวกเตอร์หนึ่งหน่วยในทิศทางของ *principal minimum curvature* และ θ เป็นมุมระหว่าง η_1 และแกน \bar{u} สำหรับที่ตำแหน่งพิกเซล (m, n) เราจะนิยามตำแหน่งของพิกเซลเหล่านี้ด้วยเวกเตอร์ \bar{p} ซึ่งเริ่มต้นจากตำแหน่งศูนย์กลางของหน้าต่าง (i, j) ซึ่งไปยังตำแหน่งของพิกเซล (m, n) โดยเวกเตอร์ \bar{p} สามารถแตกได้เป็น 2 องค์ประกอบในระบบพิกัดใหม่ในทิศทางของ η_1 และ η_2 ดังสมการ

$$\bar{p} = r^2 \cos^2(\alpha - \theta) \eta_1 + r^2 \sin^2(\alpha - \theta) \eta_2, \quad (12)$$

โดย $r^2 = (m^2 + n^2)$ และ $\alpha = \arctan(n/m)$ ในการควบคุมทิศทางในการกรองของวงจรรอง DSG เราจะให้วิธีการในการกรองในแนว $\vec{\eta}_2$ มีค่ามากกว่าในแนว $\vec{\eta}_1$ โดยการกำหนดฟังก์ชันถ่วงน้ำหนักให้เป็นไปตามสมการ

$$w_{i,j}(m,n) = \sigma_1^{r^2 \cos^2(\alpha-\theta)} \sigma_2^{r^2 \sin^2(\alpha-\theta)}, \quad (13)$$

โดยที่พารามิเตอร์ σ_1 และ σ_2 เป็นค่าคงที่มีค่าอยู่ในช่วง $0 < \sigma_1 < \sigma_2 < 1$

จะเห็นได้ว่าฟังก์ชันถ่วงน้ำหนัก $w_{i,j}$ ที่ได้นิยามไว้ในสมการที่ 3 นั้นขึ้นอยู่กับค่า θ โดยมีค่าต่อเนื่องตั้งแต่ 0 จนถึง π ซึ่งจะทำให้ฟังก์ชันถ่วงน้ำหนักของเราให้ผลลัพธ์ชุดของค่าสัมประสิทธิ์วงจรรอง WSG ที่แตกต่างกันอยู่มากมาย เพื่อหลีกเลี่ยงการเตรียมการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์อันมหาศาลนี้ เราจะทำการแบ่งระดับช่วงของมุม θ ออกเป็น K ระดับที่แตกต่างกัน $\{\hat{\theta}_0, \dots, \hat{\theta}_k, \dots, \hat{\theta}_K\}$ โดย K เป็นตัวเลขจำนวนจำกัดค่าหนึ่ง โดยค่า θ ที่เราได้มาจะถูกควอนไทซ์ไปยังมุมอ้างอิง $\hat{\theta}$ ทั้ง K ระดับ ซึ่งจะทำให้การคำนวณของเรามีความซับซ้อนน้อยลง



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

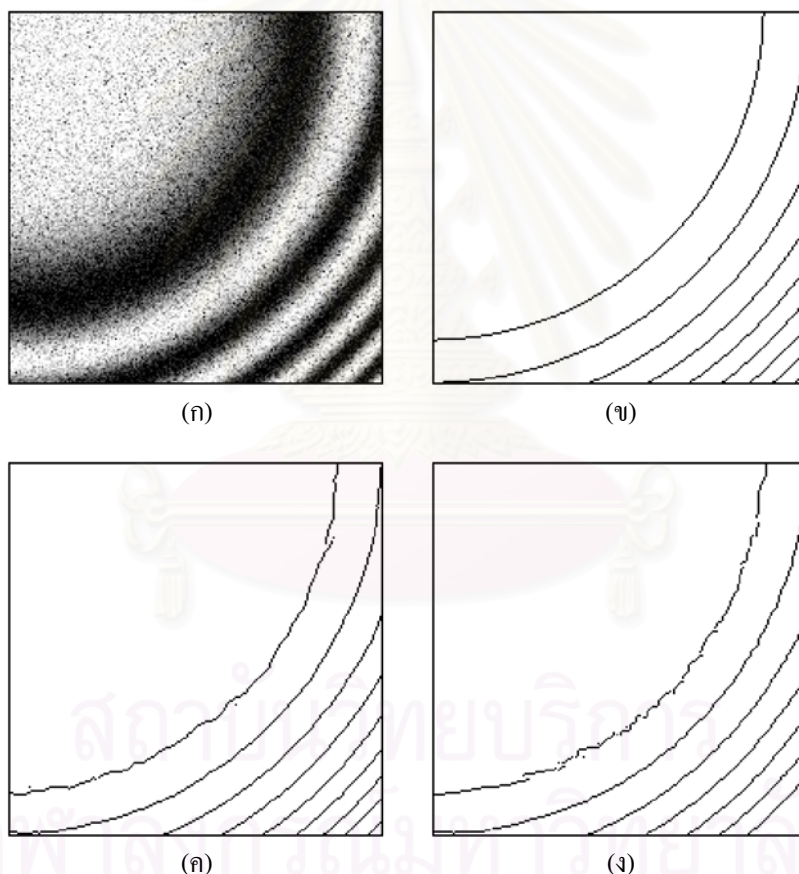
บทที่ 3
การประเมินสมรรถนะ

ในหัวข้อนี้ เราจะทำการประเมินสมรรถนะของวงจรกรอง DSG ในการลดทอนสัญญาณมลทินและการเพิ่มพูนคุณภาพของภาพสังเคราะห์ที่มีการบีบอัดแบบบล็อกและภาพอัลตราซาวด์ของต่อมไทรอยด์

ในการทดสอบเริ่มแรก เราจะทำการเปรียบเทียบสมรรถนะของวงจรกรอง DSG และวงจรกรอง WSG บนภาพที่มีการบีบอัดแบบบล็อกจากฟังก์ชัน

$$\tilde{f}(i, j) = \exp\{\cos(0.5 \times 10^{-8}(i^4 + 2i^2j^2 + j^4))\}, \quad (14)$$

โดย i และ j มีค่าอยู่ในช่วง $1, \dots, 200$ และในการจำลองสัญญาณมลทิน เราจะทำการคูณแต่ละ $\tilde{f}(i, j)$ ด้วยสัญญาณสุ่มที่มีการแจกแจงแบบเรย์ลีโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับหนึ่งดังแสดงในรูปที่ 2 (ก)



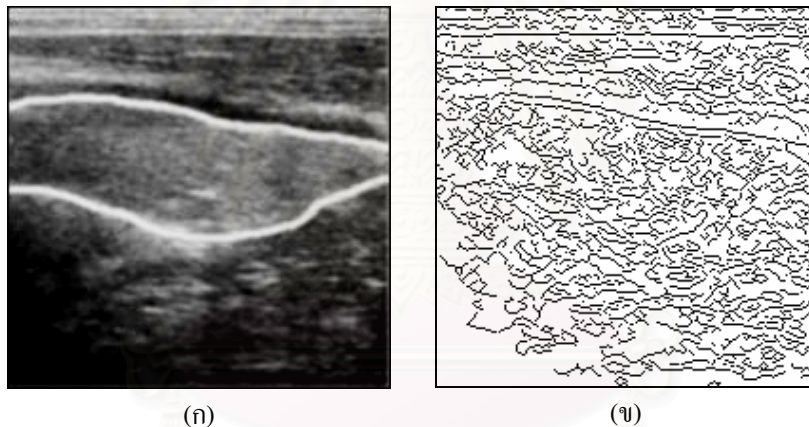
รูปที่ 2 (ก) ภาพที่ผ่านการบีบอัดแบบบล็อกจากฟังก์ชัน \tilde{f} และถูกรบกวนด้วยสัญญาณรบกวนแบบเรย์ลี (ข) เส้นขอบภาพจริงของภาพทดสอบ (ก) โดยสมมุติว่าสัญญาณมลทินถูกกระจัดออกหมด (ค) ขอบภาพที่ได้หลังจากผ่านวงจรกรอง DSG ขนาดหน้าต่าง 29×29 พิกเซล

(ง) ขอบภาพที่ได้หลังจากผ่านวงจรกรอง WSG ขนาดหน้าต่าง 29×29 พิกเซล

ในการทดลองนี้เราได้ทำการทดสอบขนาดหน้าต่างของวงจรกรอง DSG และวงจรกรอง WSG ตั้งแต่ $5 \times 5, 7 \times 7, \dots, 49 \times 49, 51 \times 51$ พิกเซลเพื่อนำมาใช้ในการกรองสัญญาณรบกวนในภาพทดสอบ โดยเราได้กำหนดคอแอร์

ของฟังก์ชันพหุนาม $p_{i,j}$ ในวงจรรอง DSG และ WSG ให้มีค่าเท่ากับสองทั้ง m และ n ส่วนพารามิเตอร์ σ_1 และ σ_2 ในวงจรรอง DSG นั้นกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0.9 และ 0.95 ตามลำดับ เมื่อนำผลลัพธ์ของภาพทดสอบหลังผ่านการกรองจากวงจรรองทั้งสองซึ่งมีขนาดหน้าต่างเท่ากับ 29×29 พิกเซลมาตรวจจับขอบภาพด้วยวงจรถววจจับขอบภาพของแคนนี่มาเปรียบเทียบกันจะได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 2 (ก) และ 2 (ง) สังเกตได้ว่าเส้นขอบภาพที่ได้หลังการผ่านวงจรรอง DSG มานั้นมีลักษณะเข้าใกล้เส้นขอบภาพจริง ดังแสดงในรูปที่ 2 (ข) มากกว่าเส้นขอบภาพที่ได้หลังการผ่านวงจรรอง WSG ดังแสดงในรูปที่ 2 (ค) สังเกตได้จากเส้นขอบภาพด้านมุมขวาล่างของภาพทดสอบเมื่อผ่านวงจรรอง WSG จะขาดหายไปเนื่องจากสัญญาณภาพช่วงนั้นได้ถูกทำให้เรียบออกไป

ในขั้นตอนถัดไปเราจะทำการเปรียบเทียบสมรรถนะของวงจรรอง DSG กับวงจรรองแบบเวลาจริงที่ใช้กันโดยทั่วไปคือ วงจรรองสัญญาณมลทินแบบปรับตัวได้ (Adaptive Speckle Reduction Filters : ASR) [1] และวงจรรองมีพื้นฐานถ่วงน้ำหนักแบบปรับตัวได้ (Adaptive Weighted Median Filters : AWM) [2] บนภาพอัลตราซาวด์ของต่อมไทรอยด์ขนาด 512×512 พิกเซล ดังแสดงในรูปที่ 3 (ก) โดยภาพที่จะนำมาทดสอบนี้เมื่อนำมาตรวจจับเส้นขอบภาพด้วยวงจรถววจจับขอบภาพของแคนนี่โดยไม่ผ่านการกรองด้วยวงจรรองใดๆ จะเห็นได้ว่ามีเส้นขอบภาพของสัญญาณรบกวนรวมอยู่ด้วยอย่างมากและไม่สามารถแยกแยะองค์ประกอบใดๆ ในภาพได้เลยดังแสดงในรูปที่ 3 (ข)



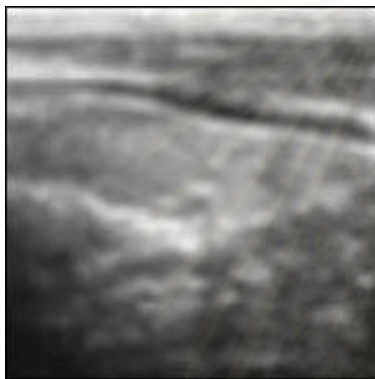
รูปที่ 3 (ก) ภาพอัลตราซาวด์ของต่อมไทรอยด์ที่ผ่านการจับเส้นขอบภาพขนาด 512×512 พิกเซล
(ข) เส้นขอบภาพของภาพ (ก) ขณะยังไม่ผ่านการกรองด้วยวงจรรองใดๆ

เช่นเดียวกับการทดลองแรก เราจะกำหนดคอคอร์ของฟังก์ชันพหุนาม $p_{i,j}$ ในวงจรรอง DSG ให้มีค่าเท่ากับสองทั้ง m และ n ส่วนพารามิเตอร์ σ_1 และ σ_2 กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0.9 และ 0.95 ตามลำดับโดยเปรียบเทียบกับวงจรรอง ASR และวงจรรอง AWM ที่มีขนาดหน้าต่างในการกรองตั้งแต่ 5×5 , 7×7 , ..., 49×49 , 51×51 พิกเซล และนำมาตรวจจับเส้นขอบภาพด้วยวงจรถววจจับขอบภาพของแคนนี่

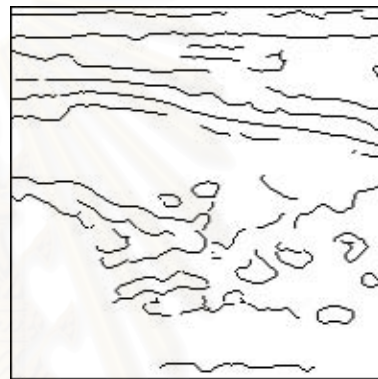
จากผลการจำลองที่ได้โดยใช้วงจรรอง DSG ในการลดทอนสัญญาณรบกวนในภาพอัลตราซาวด์โดยใช้ขนาดหน้าต่างในการกรองในช่วง 11×11 พิกเซลจนถึง 17×17 พิกเซลนั้นเส้นขอบภาพที่ได้จะมีลักษณะที่ดีและคล้ายๆกันสามารถลดทอนสัญญาณรบกวน โดยสามารถแยกแยะองค์ประกอบของภาพได้ชัดเจน ดังตัวอย่างในภาพที่ 4 (ข) แสดงผลลัพธ์ของภาพอัลตรา

ชวามันของต่อมไทรอยด์โดยการกรองด้วยวงจกรอง DSG ด้วยขนาดหน้าต่าง 15×15 พิกเซล จะเห็นได้ว่ามีเส้นขอบของสัญญาณรบกวนลดลงและยังรักษาเส้นขอบภาพจริงในรูปที่ 3 (ก) ซึ่งจัดไว้ผู้เชี่ยวชาญทางด้านภาพอัลตราซาวด์

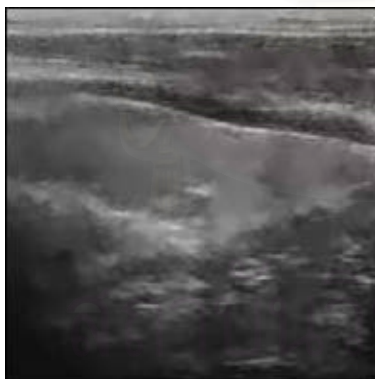
เมื่อทดสอบสมรรถนะของภาพที่ผ่านการกรองด้วยวงจกรอง ASR และวงจกรอง AWM พบว่าสามารถลดทอนสัญญาณรบกวนได้ดีในช่วงขนาดหน้าต่างเดียวกัน โดยเราได้เลือกใช้ขนาดหน้าต่างของวงจกรอง ASR และวงจกรอง AWM เท่ากับ 15×15 พิกเซล จะเห็นได้ว่ายังคงเส้นขอบของสัญญาณรบกวนอยู่มากโดยขนาดหน้าต่างที่ใหญ่จะทำให้ภาพเกิดการพัวและทำให้เส้นขอบภาพไม่ต่อเนื่องดังแสดงในรูปที่ 4 (ค), 4 (ง), 4 (จ), และ 4 (ฉ) เมื่อเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพของวงจกรอง DSG แล้วจะเห็นได้ว่าวงจกรองที่ได้พัฒนาขึ้นนี้สามารถลดทอนสัญญาณรบกวนและยังรักษาเส้นขอบภาพในภาพอัลตราซาวด์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ



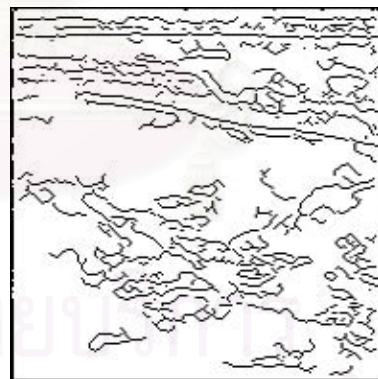
(ก)



(ข)

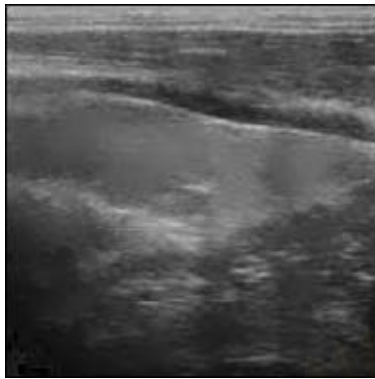


(ค)

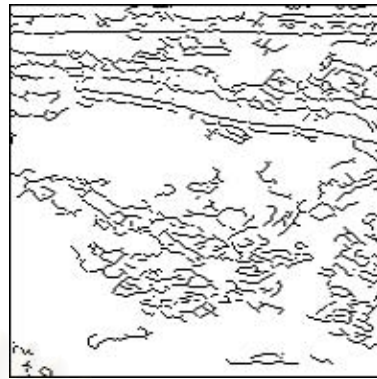


(ง)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก)



(ข)

รูปที่ 4

- (ค) ภาพอัลตราซาวน์ของต่อมไทรอยด์ที่ผ่านการกรองด้วยวงจกรอง DSG ขนาดหน้าต่าง 15x15
- (ข) เส้นขอบภาพของภาพ (ก) ด้วยวงจรถววจับขอบภาพของแคนนี่
- (ค) ภาพอัลตราซาวน์ของต่อมไทรอยด์ที่ผ่านการกรองด้วยวงจกรอง ASR ขนาดหน้าต่าง 15x15
- (ง) เส้นขอบภาพของภาพ (ค) ด้วยวงจรถววจับขอบภาพของแคนนี่
- (จ) ภาพอัลตราซาวน์ของต่อมไทรอยด์ที่ผ่านการกรองด้วยวงจกรอง AWM ขนาดหน้าต่าง 15x15
- (ฉ) เส้นขอบภาพของภาพ (จ) ด้วยวงจรถววจับขอบภาพของแคนนี่

บทสรุป

จากการประเมินสมรรถนะในบทที่ 3 แสดงให้เห็นว่าวงจกรอง DSG ที่ได้พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพทั้งในด้านการลดทอนสัญญาณรบกวนและเพิ่มคุณภาพของภาพอัลตราซาวน์มากกว่าวงจกรอง ASR และวงจกรอง AWM โดยประสิทธิภาพที่ดีกว่านี้ เป็นประสิทธิภาพในการลดทอนสัญญาณรบกวนและทำให้ภาพเรียบขึ้นในแต่ละทิศทางของเส้นขอบภาพแบบแอนไอโซโทรปิกด้วยการประมาณด้วยฟิตฟังก์ชันพหุนามกำลังสองน้อยสุด ส่วนวงจกรองอื่นๆที่นำมาเปรียบเทียบจะใช้วิธีการประมาณค่าความเข้มของภาพในหน้าต่างที่สนใจด้วยค่าคงที่ ยิ่งไปกว่านั้นในวงจกรอง SG-median hybrid นั้นแสดงให้เห็นว่าการปรับขนาดหน้าต่างในการกรองนั้นไม่ส่งผลกระทบต่อความสามารถในการลดทอนสัญญาณรบกวนเท่าใดนักเมื่อเทียบกับวงจกรองแบบอื่นๆ วงจกรองแบบใหม่นี้จึงเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการปรับปรุงสัญญาณภาพอัลตราซาวน์และตรวจจับเส้นขอบภาพแบบอัตโนมัติในเวลาจริง

เอกสารอ้างอิง

- [1] J.C. Bamber and C. Daft, "Adaptive filtering for reduction of speckle in ultrasound pulse-echo images," *Ultrasonics*, pp. 41–44, Jan 1986.
- [2] T. Loupas, W.N. McDicken, and P.L. Allen, "An adaptive weighted median filter for speckle suppression in medical ultrasound images," *IEEE Trans. Circuit and Systems*, vol. 36, no. 1, pp. 129–135, Jan 1989.
- [3] K.Z. Abd-Elmoniem, A.M. Youssef, and Y.M. Kadah, "Real-time speckle reduction and coherence enhancement in ultrasound imaging via nonlinear anisotropic diffusion," *IEEE Trans. Biomedical Engineering*, vol. 49, no. 9, pp. 997–1014, 2002.
- [4] A. Savitzky and M.J.E. Golay, "Smoothing and differentiation of data by simplified least squares procedure," *Analytical Chemistry*, vol. 36, pp. 1627–1639, 1964.
- [5] C. Chinrungrueng and A. Suvichakorn, "Fast edge preserving noise reduction for ultrasound images," *IEEE Trans. Nuclear Science*, vol. 48, no. 3, pp. 849–854, 2001.



แผนงานย่อยที่ 4

1. ศึกษาวิธีการสร้างเสถียรภาพของการแสดงภาพดังต่อไปนี้

การถ่ายภาพจาก Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) สัญญาณภาพที่ได้อาจมีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้น และเกิดการสั่นของภาพ ซึ่งทำให้คุณภาพของการแสดงสัญญาณภาพลดลง จึงต้องการที่จะแก้ปัญหา เพื่อปรับปรุงการแสดงสัญญาณภาพที่ได้ให้มีคุณภาพดีขึ้น

ปัญหาสัญญาณภาพที่ได้มีการสั่นของภาพ จึงนำระบบการปรับปรุงเสถียรภาพของการแสดงภาพมาใช้ ดังนั้นจึงมีการพัฒนาระบบการปรับปรุงเสถียรภาพของการแสดงภาพ ในระบบการปรับปรุงเสถียรภาพของการแสดงภาพอาจประกอบด้วยสองระบบ คือระบบทางกล และระบบดิจิทัล

การส่งสัญญาณภาพผ่านทางอากาศ อาจเกิดสัญญาณรบกวนต่อสัญญาณภาพ ซึ่งในที่นี้ นำสัญญาณภาพที่เพิ่มสัญญาณรบกวน โดยใช้สัญญาณเกาส์แทนสัญญาณรบกวน เพราะสัญญาณเกาส์ประกอบด้วยสัญญาณที่ทุกย่านความถี่ทำให้สัญญาณรบกวนที่เพิ่มเข้าสามารถสมมติแทนความถี่ช่วงต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นได้ และสมมติให้สัญญาณรบกวนไม่มีความสัมพันธ์กับสัญญาณภาพ

เมื่อเกิดสัญญาณรบกวนต่อสัญญาณภาพ จะทำให้สูญเสียคุณภาพของสัญญาณภาพ จึงต้องปรับปรุงคุณภาพโดยการลดสัญญาณรบกวน โดยใช้วงจรกรองสัญญาณ ในการลดสัญญาณรบกวนใช้เพื่อคืนคุณภาพของสัญญาณภาพ

ระบบการปรับปรุงเสถียรภาพของการแสดงภาพ

ระบบการปรับปรุงเสถียรภาพของการแสดงภาพทางกล ประกอบด้วยไจโรที่ใช้ในการตรวจจับความเร็วเชิงมุมของกล้องวิดีโอ และจิมเบลใช้ในการชดเชยการเคลื่อนที่ โดยมีอัลกอริทึมเซอร์โวใช้ในการปรับค่าอัตราขยายตัวควบคุมความเร็วเชิงมุม และตัวควบคุมมุมสัมพัทธ์

ระบบการปรับปรุงเสถียรภาพของการแสดงภาพดิจิทัล ประกอบด้วยระบบการประมาณการเคลื่อนที่ และระบบตรวจสอบความถูกต้องของการเคลื่อนที่

1.1 ระบบการปรับปรุงเสถียรภาพของการแสดงภาพดิจิทัล

1.1.1 ระบบการประมาณการเคลื่อนที่

ระบบการประมาณการเคลื่อนที่เป็นส่วนที่สำคัญมากในระบบการปรับปรุงเสถียรภาพของการแสดงภาพดิจิทัล

1.1.2 วิธีการเข้าสู่บล็อกเหมาะสมแบบคั่นเต็มที

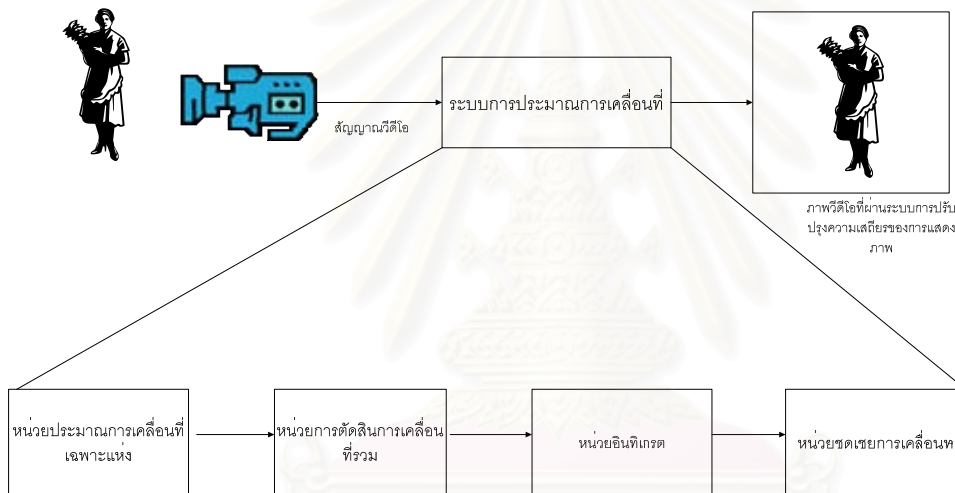
โดยวิธีการเข้าสู่บล็อกเหมาะสมแบบคั่นเต็มที จะทำการแบ่งรูปเป็นบล็อกขนาดเท่าๆกัน แล้วสมมติว่าแต่ละบล็อกมีเวกเตอร์การเคลื่อนที่ร่วมกัน กำหนดค่าระยะการคั่นหาและทำการคั่นหาในระยะการคั่น โดยเปรียบเทียบเฟรมภาพปัจจุบันกับเฟรมภาพอ้างอิง แล้วเลือกบล็อกที่เหมาะสมโดยใช้เงื่อนไขค่าความแตกต่างสัมบูรณ์เฉลี่ย และค่าผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย แต่วิธีการเข้าสู่บล็อกเหมาะสมแบบคั่นเต็มทีนั้น แม้จะมีความผิดพลาดต่ำสุด แต่ต้องใช้การคำนวณมากส่งผลให้เกิดการประวิงเวลา และยังต้องใช้อุปกรณ์ที่มีความซับซ้อนสูงจึงไม่เหมาะที่จะนำไปใช้กับกล้องวิดีโอที่มีขนาดเล็ก

1.1.3 วิธีการเข้าสู่จุดแทน

วิธีการเข้าสู่จุดแทนจะแบ่งเฟรมภาพออกเป็นส่วนการหาค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ที่สี่ส่วน กำหนดจุดแทนในแต่ละส่วนการหาค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ ใช้จุดแทนนี้ในการหาค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ของแต่ละส่วนโดยใช้การหาค่าสหสัมพันธ์ เลือกตำแหน่งที่มีค่าสหสัมพันธ์ตามที่กำหนดเป็นตำแหน่งของเวกเตอร์การเคลื่อนที่ ค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่รวมจะได้จากการหาผลรวมของเวกเตอร์การเคลื่อนที่ของแต่ละส่วน แต่วิธีการนี้ มีปัญหาที่ระบบมีความไวต่อเงื่อนไขความผิดปกติ เช่น มีวัตถุเคลื่อนที่ผ่าน และการส่ายกล้องแนวราบ

1.1.4 วิธีเข้าสู่แบบจับขอบ

วิธีเข้าสู่แบบจับขอบจะทำการตัดขอบภาพได้ภาพไบนารี นำภาพไบนารีของเฟรมปัจจุบันและเฟรมอ้างอิงมาแบ่งเป็นบล็อก ทำการสหสัมพันธ์เคลื่อนที่บล็อก เลือกตำแหน่งที่มีค่าสหสัมพันธ์เหมาะสมเป็นตำแหน่งเวกเตอร์การเคลื่อนที่ แต่วิธีเข้าสู่แบบจับขอบมีจุดด้อยที่ต้องใช้การคำนวณมากในการจับขอบภาพ



รูปที่ 1 โครงสร้างพื้นฐานของระบบการปรับปรุงเสถียรภาพของการแสดงภาพ

1.1.5 ระบบการประมวลผลการเคลื่อนที่ที่ใช้ภาพระนาบচিতร์หัสเกรย์

รูปที่ 1 แสดงส่วนประกอบของระบบระบบการประมวลผลการเคลื่อนที่ จากรูปหน่วยการประมวลผลการเคลื่อนที่เฉพาะแห่งสร้างเวกเตอร์การเคลื่อนที่เฉพาะแห่งขึ้นจากภาพย่อยในตำแหน่งที่ต่างกันของเฟรม ส่วนหน่วยตัดสินใจการเคลื่อนที่รวมจะหาค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่รวม กระบวนการนี้ต้องใช้โดยเวกเตอร์การเคลื่อนที่เฉพาะแห่งและเวกเตอร์การเคลื่อนที่รวมก่อนหน้า โดยหน่วยอินทิเกรตใช้เวกเตอร์การเคลื่อนที่รวมที่เก็บไว้ในอดีตในการตัดสินใจการเคลื่อนที่ของเฟรมซึ่งเกิดจากการสั่นของกล้อง หรือการส่ายกล้องแนวราบ โดยผลอ่านบล็อกที่เหมาะสมของรูปที่สั้นในเฟรมก่อนหน้า จะนำมาใช้แล้วแสดงภาพ

หน่วยการประมวลผลการเคลื่อนที่เฉพาะแห่งเป็นส่วนที่สำคัญในระบบการปรับปรุงเสถียรภาพของการแสดงภาพเพราะเวกเตอร์การเคลื่อนที่เฉพาะแห่งใช้ในการหาเวกเตอร์การเคลื่อนที่รวม ก่อนที่จะอธิบายวิธีหน่วยการประมวลผลการเคลื่อนที่เฉพาะแห่ง เราจะแนะนำ บิตระนาบและการแยกย่อยระนาบচিতร์หัสเกรย์ของภาพมาตราส่วนสีเทา

A. บิตระนาบและการแยกย่อยระนาบบิตรหัสเกรย์ของภาพมาตราส่วนสีเทา

แสดงระดับสีเทาของจุดภาพที่ตำแหน่ง (x,y) ในลำดับเฟรมภาพที่ t -th โดยใช้ระดับสีเทา 2^k ดังนี้

$$f^t(x,y) = a_{K-1}2^{K-1} + a_{K-2}2^{K-2} + \dots + a_12^1 + a_02^0 \quad (1)$$

a_k เท่ากับ 0 หรือ 1 ที่ $0 \leq k \leq K-1$

$b_k^t(x,y)$ เป็นภาพระนาบบิตลำดับที่ k -th ในระนาบประกอบด้วยบิตลำดับที่ k -th (a_k) ในกรณีของภาพ 8 บิต คือ ภาพประกอบด้วยบิตระนาบ 8 ระนาบ $b_0^t(x,y) \sim b_7^t(x,y)$ ตั้งแต่ระนาบ 0 ถึงระนาบ 7 โดย $b_0^t(x,y)$ คือ บิตที่น้อยสำคัญน้อยที่สุด (ลำดับต่ำสุด) ส่วน $b_7^t(x,y)$ คือ บิตที่น้อยสำคัญมากที่สุด (ลำดับสูงสุด)



(a)

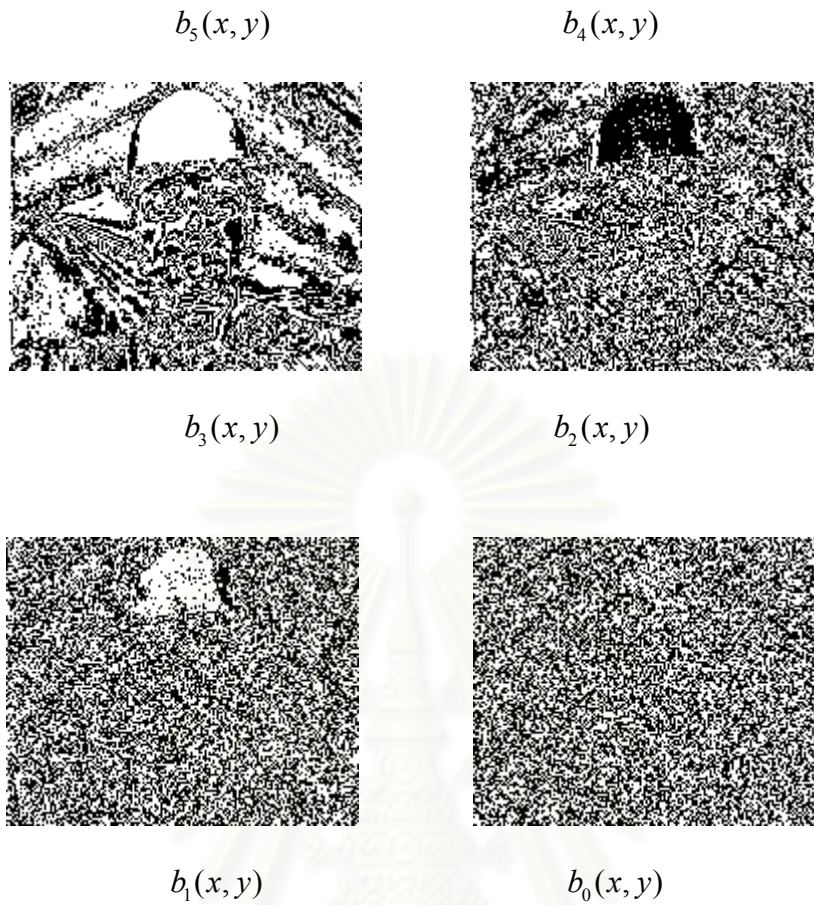


$b_7(x,y)$

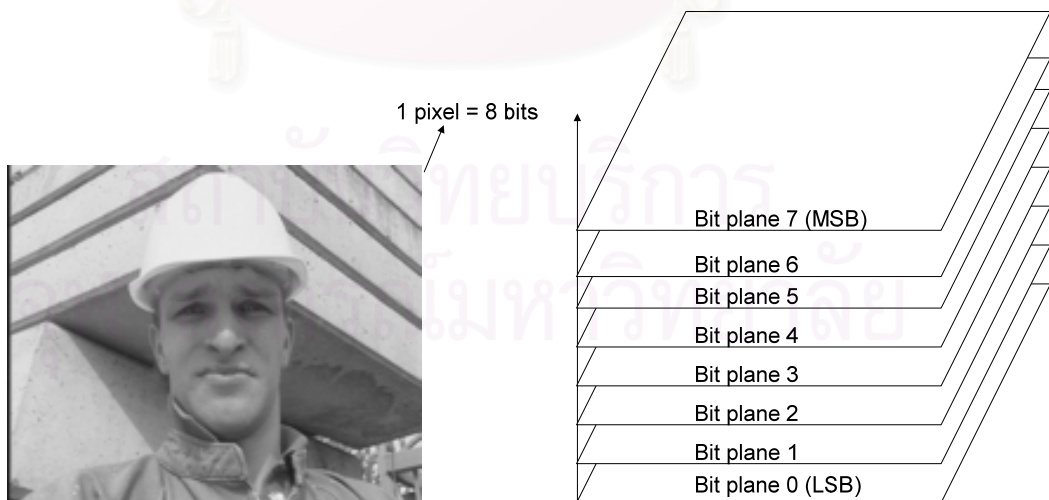


$b_6(x,y)$





รูปที่ 2 การแยกย่อยระนาบบิตรหัสเกรย์ของภาพมาตราส่วนสีเทา
 (a) รูปต้นแบบ (b) ภาพระนาบบิตรหัสเกรย์ที่ 8 ระดับ



รูปที่ 3 แสดงลักษณะระนาบบิตที่ประกอบใน 1 จุดภาพ

$f^t(x,y)$ คือ เฟรมภาพลำดับที่ t -th แสดงโดย รหัสเกรย์ K -bit แทนด้วย $g_{K-1} \dots g_2 g_1 g_0$ จำนวนจาก

$$\begin{aligned} g_{K-1} &= a_{K-1} \\ g_k &= a_k \oplus a_{k+1} \quad 0 \leq k \leq K-1 \end{aligned} \quad (2)$$

ที่ \oplus คือ Exclusive OR operation และ a_k คือบิตที่ k -th ของ 2 จุดแทน ซึ่งคำนวณจาก (1)

รหัสเกรย์มีคุณสมบัติเฉพาะคือ คำรหัสที่ต่อเนื่องกันจะแตกต่างกันในตำแหน่งหนึ่งบิต ด้วยเหตุนี้ การเปลี่ยนแปลงในระดับสีเทาจะมีผลน้อยมากที่ระนาบ K -bit เช่น ระดับสีเทา 127 และ 128 นั้นชิดกัน รหัสเกรย์ที่ 127 และ 128 คือ 11000000 และ 01000000 เห็นได้ว่าระนาบบิตตำแหน่งที่ 7 นั้นเหมือนกัน รูปที่ 2 แสดงการแยกย่อยระนาบบิตรหัสเกรย์ของภาพมาตราส่วนสีเทา เมื่อ $g_k^t(x,y)$ คือ ภาพระนาบบิตรหัสเกรย์ลำดับที่ k -th

B. การประมาณการเคลื่อนที่โดยใช้วิธีการเข้ารหัสเกรย์

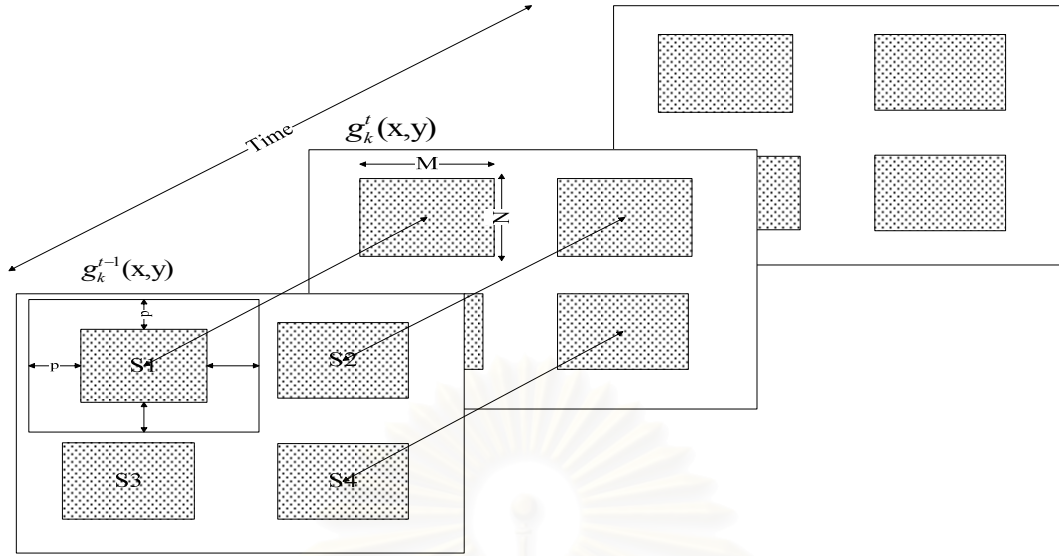
ในรูปที่ 4 แสดงการแบ่งรูปย่อย (S_1, S_2, S_3, S_4) ในระนาบบิตรหัสเกรย์เพื่อใช้หาเวกเตอร์การเคลื่อนที่เฉพาะแห่ง ซึ่งค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ของแต่ละภาพย่อยหาโดยใช้วิธีเข้ารหัสเกรย์ คือ มีเฟรมภาพปัจจุบันและเฟรมภาพอ้างอิง นำเฟรมภาพทั้งสองมาผ่านการเข้ารหัสเกรย์ แล้วแบ่งออกเป็นรูปย่อย นำรูปย่อยของทั้งสองเฟรมภาพผ่านวิธีการเข้ารหัสแล้วเลือกรูปย่อยที่มีความใกล้เคียงกันมากที่สุด ก็ได้ค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ซึ่งใช้แทนเวกเตอร์การเคลื่อนที่ของทั้งรูปย่อย และระยะของเวกเตอร์การเคลื่อนที่ก็จะขึ้นอยู่กับขนาดหน้าต่างค้นหา

ให้ขนาดของแต่ละรูปย่อยเท่ากับ $M \times N$ และขนาดของหน้าต่างค้นหาเท่ากับ $(M + 2p) \times (N + 2p)$ หากค่าสหสัมพันธ์โดย

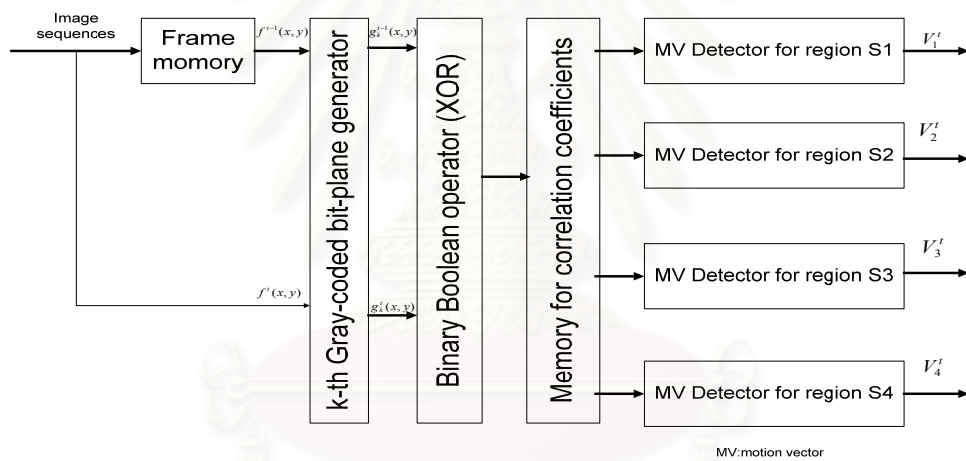
$$C_j(m,n) = \frac{1}{mn} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} g_k^{t-1}(x,y) \oplus g_k^{t-1}(x+m,y+n), \quad -p \leq m,n \leq p \quad (3)$$

เมื่อ $g_k^t(x,y)$ และ $g_k^{t-1}(x,y)$ แทนระนาบบิตรหัสเกรย์ที่ลำดับปัจจุบันและที่ลำดับที่ k -th และ p คือการกระจัดสูงสุดของหน้าต่างค้นหา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4 แสดงการแบ่งรูปย่อย (S_1, S_2, S_3, S_4) ในระนาบบิตรหัสเกรย์



รูปที่ 5 แสดงระบบการประมาณการเคลื่อนที่โดยวิธี การเข้าคู่ระนาบบิตรหัสเกรย์

ที่แต่ละระยะค้นหา (m,n) จะทำการคำนวณค่าสหสัมพันธ์ $C_j(m,n)$ ระหว่างภาพย่อยของเฟรมปัจจุบัน และเฟรมอ้างอิงแล้วเลือกค่า $C_j(m,n)$ ที่ดีที่สุดของแต่ละภาพย่อยเพื่อนำไปใช้เป็นเวกเตอร์การเคลื่อนที่ V_j จากรูปย่อยลำดับที่ j -th

$$V_j = \arg \min \{C_j(m,n), -p \leq m, n \leq p\} \quad (4)$$

เทคนิคการประมาณการเคลื่อนที่วิธีนี้ สามารถใช้แทนวิธีการคำนวณเชิงเลขคณิตของอัลกอริทึมการเข้าคู่ที่ใช้เงื่อนไขค่าเฉลี่ยผลต่างสัมบูรณ์ และค่าผิดพลาดเฉลี่ยกำลังสอง ด้วยการใช้ Boolean exclusive OR operation ที่สามารถลดการคำนวณที่

ซับซ้อนลงได้ รูปที่ 5 แสดงระบบการประมาณการเคลื่อนที่โดยวิธี การเข้าสู่ระนาบบิตรหัสเกรย์ โดยใช้ระนาบบิตเดียวในการประมาณการเคลื่อนที่ ซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญมากในการเลือกระนาบบิตรหัสเกรย์เพื่อนำไปใช้ต่อไป

1.2 ระบบการชดเชยการเคลื่อนที่

เมื่อได้ค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ ที่นำค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ที่ได้ มาชดเชยการเคลื่อนที่โดยนำค่ามารวมกับสัญญาณภาพก่อนที่จะแสดงภาพก็จะได้ภาพที่นิ่งขึ้น

การชดเชยการเคลื่อนที่

เมื่อหาค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่แล้ว ก็ทำการชดเชยการเคลื่อนที่



รูปที่ 6 เฟรมรูปแสดงค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่รวม

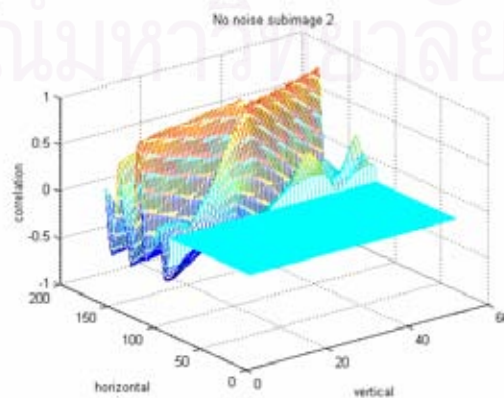
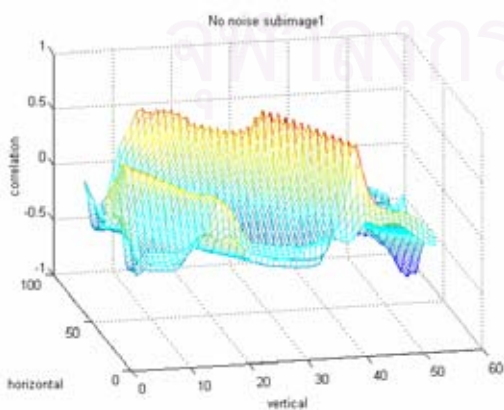


รูปที่ 7 ภาพที่ผ่านการชดเชยการเคลื่อนที่แล้ว

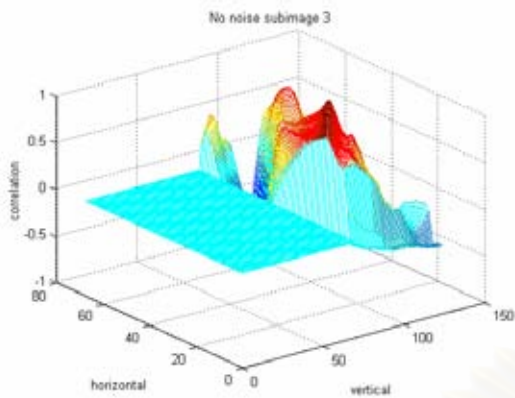
การชดเชยการเคลื่อนที่ คือชดเชยให้ภาพมีความใกล้เคียงกับภาพอ้างอิงมากที่สุด ก็คือการปรับการแสดงผลภาพให้นิ่งอยู่ที่ตำแหน่งเดิม ซึ่งนำค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่รวมสัมบูรณ์มาพิจารณา เวกเตอร์การเคลื่อนที่รวมสัมบูรณ์ คือค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่รวมสะสมในแต่ละเฟรม

2.เขียนโปรแกรมทดสอบ

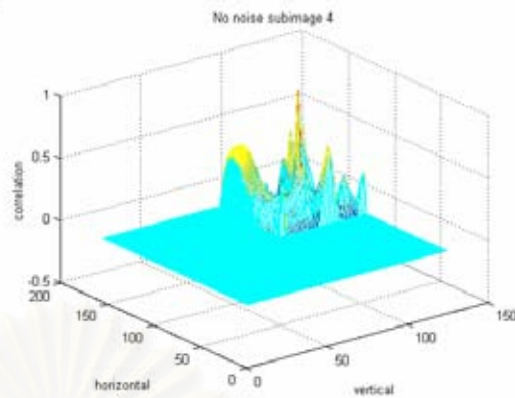
นำสัญญาณภาพมาเพิ่มค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ แล้วหาความสัมพันธ์ระหว่างเฟรมโดยวิธีสหสัมพันธ์ โดยใช้วิธีการแบ่งเฟรมภาพเป็น 4 ส่วน ได้ค่าสหสัมพันธ์ดังรูป



(S1)



(S2)



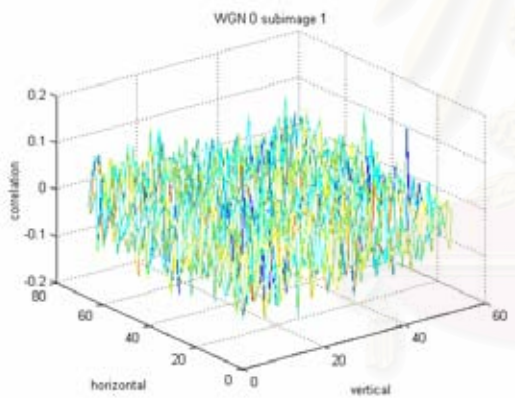
(S3)

(S4)

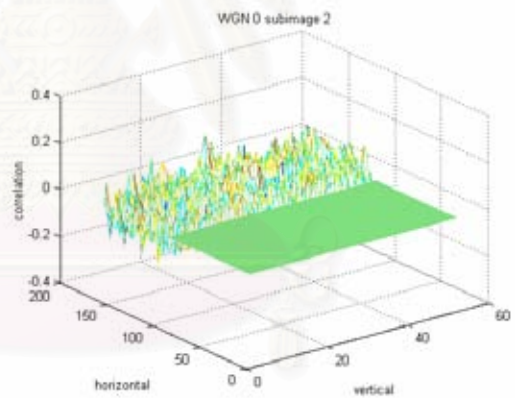
รูปที่ 8 ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างเฟรมภาพที่ไม่มีสัญญาณรบกวนของรูปย่อย (S_1, S_2, S_3, S_4)

เมื่อได้ค่าสหสัมพันธ์ ก็ได้ค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่เพื่อใช้ชดเชยการเคลื่อนที่ ทำให้สัญญาณภาพนิ่งลงได้ ทำการเพิ่มค่าสัญญาณรบกวนขนาดต่างๆ ให้กับสัญญาณภาพตามสมมติฐานที่สัญญาณภาพอาจถูกรบกวน แล้วหาค่าสหสัมพันธ์

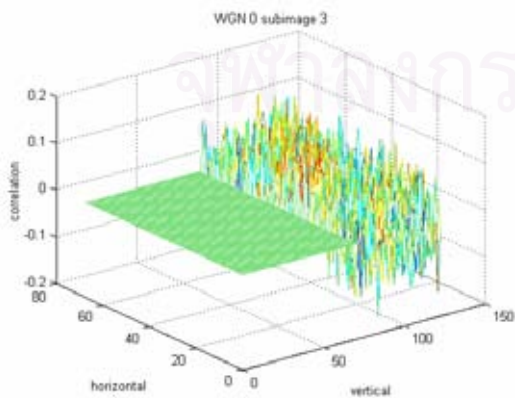
(S1)



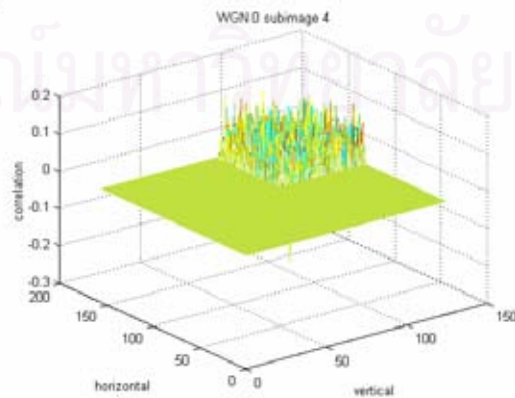
(S2)



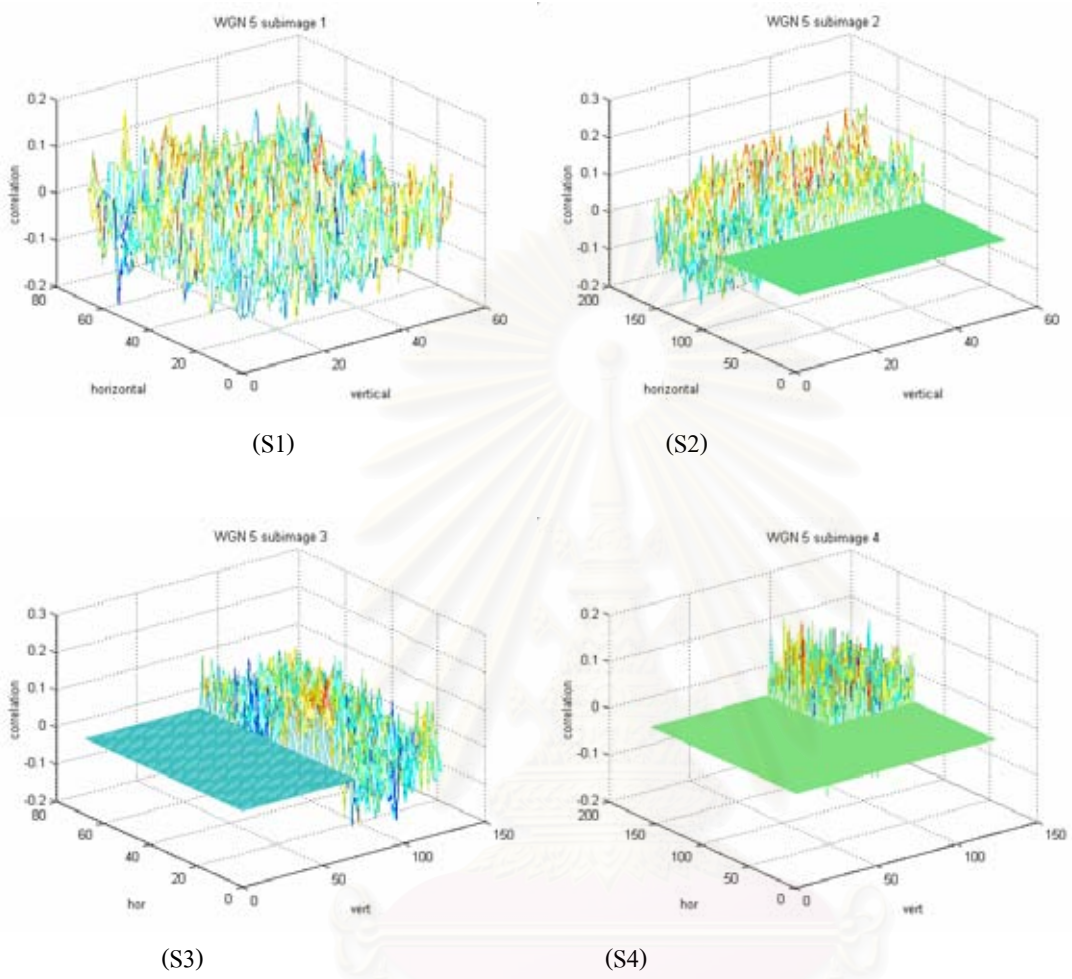
(S3)



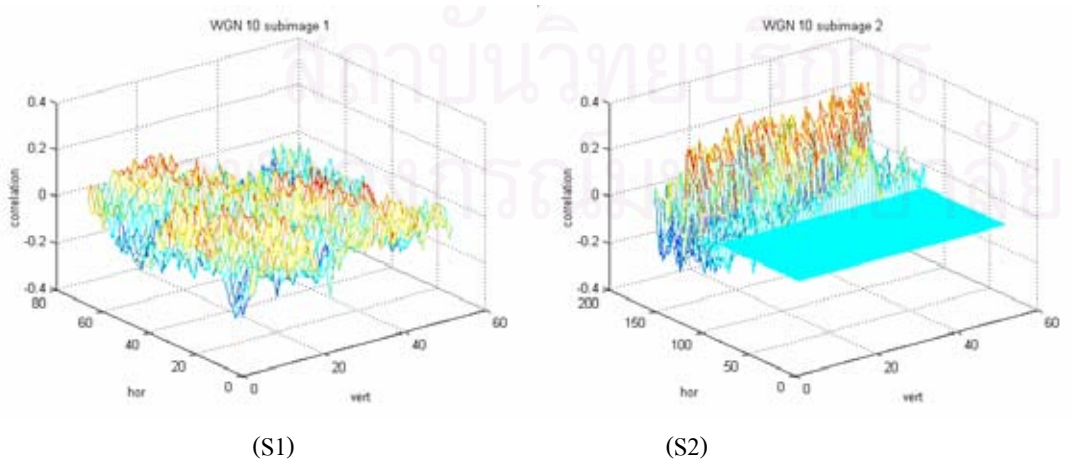
(S4)

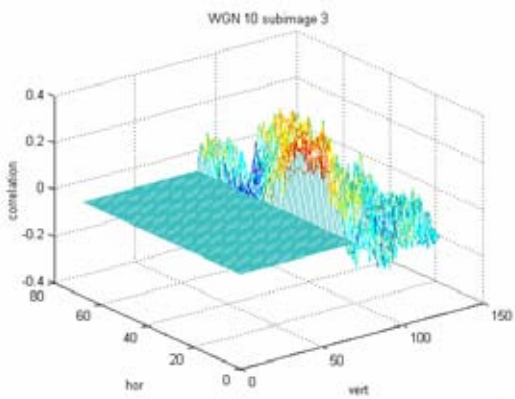


รูปที่ 9 ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างเฟรมภาพที่มีสัญญาณรบกวนขนาด 0 dBW ของรูปย่อย (S₁, S₂, S₃, S₄)

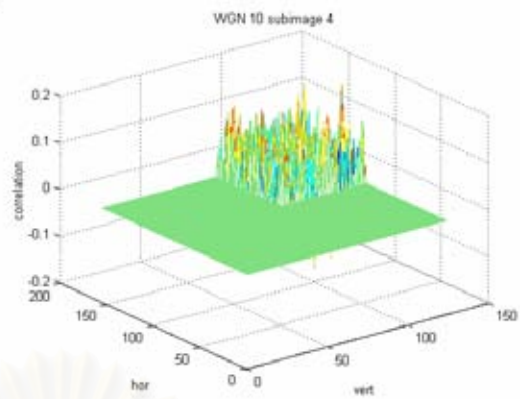


รูปที่ 10 ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างเฟรมภาพที่มีสัญญาณรบกวนขนาด 5 dBW ของรูปย่อย (S₁, S₂, S₃, S₄)



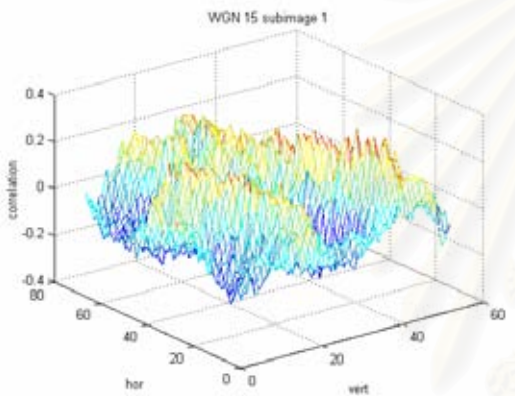


(S3)

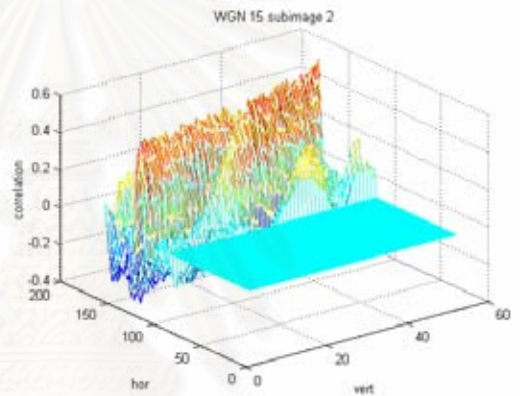


(S4)

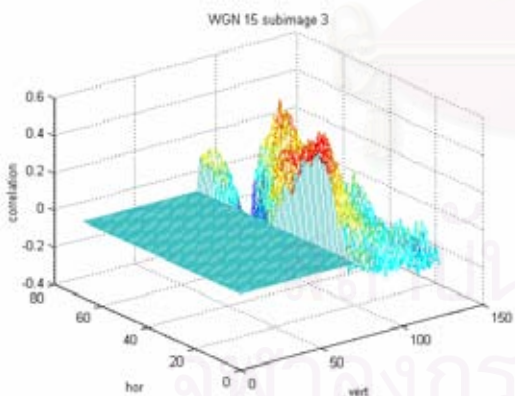
รูปที่ 11 ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างเฟรมภาพที่มีสัญญาณรบกวนขนาด 10 dBW ของรูปย่อย (S₁, S₂, S₃, S₄)



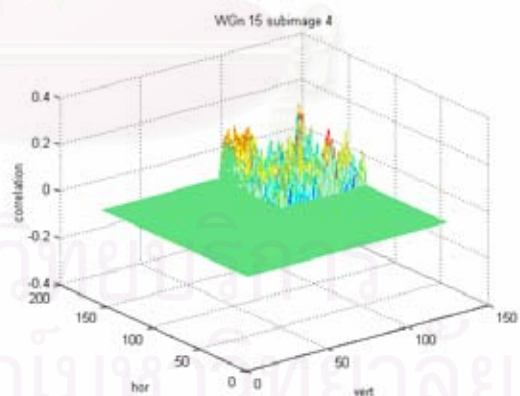
(S1)



(S2)

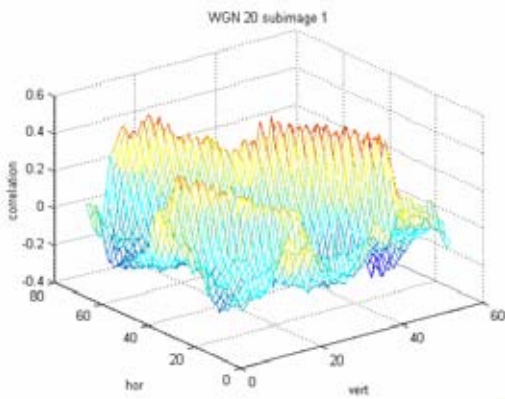


(S3)

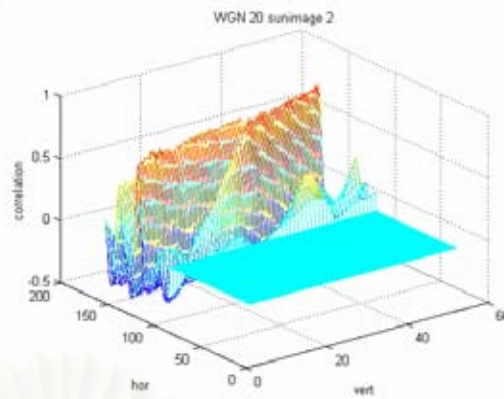


(S4)

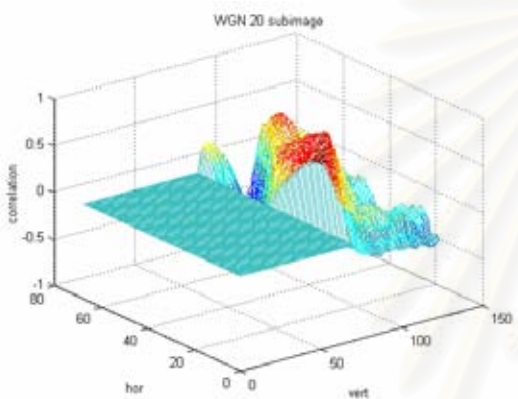
รูปที่ 12 ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างเฟรมภาพที่มีสัญญาณรบกวนขนาด 15 dBW ของรูปย่อย (S₁, S₂, S₃, S₄)



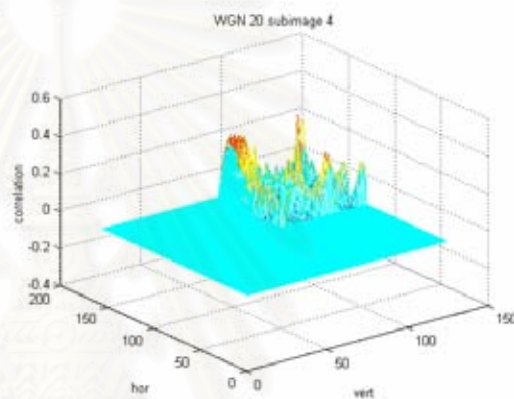
(S1)



(S2)



(S3)



(S4)

รูปที่ 13 ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างเฟรมภาพที่มีสัญญาณรบกวนขนาด 20 dBW ของรูปย่อย (S₁, S₂, S₃, S₄)

การหาค่าสหสัมพันธ์ เพื่อนำมาหาค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่ที่มีความถูกต้องควรจะมีค่าที่เด่นชัดขึ้นมาเพียงค่าเดียว แต่จากการตั้งตัวอย่างสัญญาณที่มีปัญหาจะเห็นได้ว่าค่าสหสัมพันธ์ที่ได้จากสัญญาณที่มีสัญญาณรบกวน จะไม่สามารถแสดงค่าสูงสุดได้อย่างเด่นชัด ส่งผลต่อการตัดสินใจค่าสหสัมพันธ์ซึ่งจะเกิดความผิดพลาดได้ส่วนหนึ่งจึงต้องทำการกรองสัญญาณรบกวนจากสัญญาณภาพ เพื่อให้สามารถนำสัญญาณภาพไปทำการหาค่าเวกเตอร์การเคลื่อนที่เพื่อลดการสั่นของภาพต่อไป โดยมีค่าความผิดพลาดต่ำ

ส่วนงานที่จะดำเนินการต่อไป

1. ศึกษาและเขียนโปรแกรมการลดสัญญาณรบกวนของสัญญาณภาพ
2. พัฒนาการหาเวกเตอร์การเคลื่อนที่ให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] K. Uomori, A. Morimura, H. Ishii, T. Sakaguchi, and Y. Kitamura, "Automatic image stabilizing system by full-digital signal processing," *IEEE Trans. Consumer Elec.*, vol. 36, no. 3, pp. 510-519, Aug. 1990.
- [2] J. K. Paik, Y. C. Park, and D. W. Kim, "An adaptive motion decision system for digital image stabilizer based on edge pattern matching," *IEEE Trans. Consumer Elec.*, vol. 38, no. 3, pp. 607-615, Aug. 1992
- [3] T. Kinugasa, N. Yamamoto, H. Komatsu, S. Takase, and T. Imaide, "Electronic image stabilizer for video camera use," *IEEE Trans. Consumer Elec.*, vol. 36, no. 3, pp. 520-525, Aug. 1990
- [4] S.-J. Ko, S.-H. Lee, and K.-H. Lee, "Digital image stabilizing algorithms based on bit-plane matching," *IEEE Trans. On Consumer Electronics*, vol. 44, no. 3, pp. 617-622, Aug. 1998.
- [5] S.-J. Ko, S.-H. Lee, S.-W Jeon, and E.-S. Kang, "Fast digital image stabilizer based on gray-code bit-plane matching," *IEEE Trans. On Consumer Electronics*, vol. 45, no. 3, pp. 598-603, Aug. 1999.
- [6] Oshima et al., "VHS Camcorder with electronic image stabilizer," *IEEE Trans. On c.e.*, vol. CE-35, Nov. 1989.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย