

ภาคผนวก**จ****ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์**

การประชุมวิชาการนานาชาติว่าด้วยระบบสมองกลฝังตัวและเทคโนโลยีอัจฉริยะ 2553

สาขาการประยุกต์ใช้งาน

5-7 กุมภาพันธ์ 2553

ผลกระทบของการสูญเสียแพ็คเกจข้อมูลต่อการบีบอัดภาพด้วยเทคนิค Wavelet ในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

The Effect of Packet Loss for Wavelet-Based Image Compression in Wireless Sensor Network

อรรช สุขศีล สุภชัย วรพจน์พิศุทธิ์

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

99 หมู่ 18 ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120

โทรศัพท์ 66-2-564-3001 โทรสาร 66-2-564-3010 E-mail: vsupacha@engr.tu.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาผลกระทบของการสูญเสียแพ็คเกจข้อมูลที่มีต่อการบีบอัดภาพด้วยเทคนิคเวฟเลต ภายใต้สถานการณ์การส่งข้อมูลภาพผ่านเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายแบบหลายทอด เนื่องจากเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายมีข้อจำกัดในแง่ทรัพยากรของแต่ละโหนด และมีอัตราการสูญเสียแพ็คเกจข้อมูลสูง เราได้นำเสนอแนวความคิดการลดความผูกพันของแพ็คเกจข้อมูลในงานวิจัยก่อนนี้ โดยใช้การบีบอัดข้อมูลแบบบล็อก เพื่อให้แต่ละบล็อกสามารถส่งได้ภายใน 1 แพ็คเกจเท่านั้น การศึกษาครั้งนี้ได้ใช้เทคนิค Cohen-Daubechies-Feauveau 5-tap/3-tap wavelet (CDF 5/3) ในการบีบอัดภาพ 2 กรณี คือการบีบอัดทั้งภาพกับการบีบอัดแบบบล็อกย่อยขนาด 4x4 และ 8x8 จากการจำลองสถานการณ์การรับส่งข้อมูลแบบหลายทอดภายในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายขนาด 100 โหนด พบว่าการบีบอัดแบบบล็อกย่อยสามารถทนทานต่อการสูญเสียแพ็คเกจข้อมูลได้ดีกว่าการบีบอัดทั้งภาพก่อนส่ง

คำสำคัญ: เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย การส่งข้อมูลภาพ การสื่อสารแบบหลายทอด LeGall 5/3 CDF 5/3 ระบบปฏิบัติการ TinyOS

Abstract

This paper presents a study of the influence of packet loss on the quality of image compressed by wavelet technique, under a scenario of multi-hop communication in a wireless sensor network (WSN). Since WSNs tend to have limitations on their node resource and also high packet loss rate, we have proposed in our previous work that the reduction of information correlation within packets to be transmitted. Our approach is to apply a block compression technique on a segment of image such that the compressed output can be fitted within one packet. This study has applied Cohen-Daubechies-Feauveau 5-tap/3-tap wavelet (CDF 5/3) technique for image compression in two cases: the whole image and image segments with 4x4 and 8x8 size. Based on a setting of a multi-hop WSN with 100 nodes, the simulation reveals that the compression of segmented image is more resilient to packet loss than the compression of whole image before transmission.

KEYWORD: wireless sensor network, image transmission, multi-hop, LeGall 5-tap/3-tap wavelet, Cohen-Daubechies-Feauveau 5-tap/3-tap wavelet, TinyOS

1. บทนำ

เทคโนโลยีเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายสามารถประยุกต์ใช้กับการตรวจสอบสภาพแวดล้อมทางกายภาพทั้งในด้านสิ่งแวดล้อม การทหาร การแพทย์ และการเกษตร การประยุกต์เทคโนโลยีเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายในการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ความชื้น ปริมาณแสง ปริมาณน้ำ ฯลฯ สอดคล้องกับความต้องการของการเกษตรสมัยใหม่ในด้านการควบคุมสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืช ข้อมูลภาพถ่ายแปลงเกษตรก็เป็นตัวบ่งชี้ข้อผิดพลาดที่แสดงการเจริญเติบโตของพืชได้ชัดเจน อย่างไรก็ตาม การส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายมีอัตราการสูญเสียแพ็คเกจข้อมูลสูง เนื่องจากการสื่อสารแบบ Ad-hoc ไม่ใช่อุปกรณ์ตัวกลางและตัวทวนสัญญาณไม่สามารถใช้กลไก ACK ในการตรวจสอบความสำเร็จในการส่งข้อมูล ดังนั้น การส่งข้อมูลภาพในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายย่อมมีการสูญเสียแพ็คเกจข้อมูล ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อข้อมูลภาพทั้งหมด แต่จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความผูกพันของข้อมูลภาพหลังการบีบอัด

การศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับการส่งภาพผ่านเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายที่ผ่านมาพบว่ามีการใช้เทคนิค Le Gall 5-tap/3-tap wavelet coefficients [1] หรือ CDF 5/3 ในการบีบอัดภาพทั้งภาพและกำหนดระดับความสำคัญให้กับข้อมูลส่วน LL โดยใช้กลไก ACK ในการรับประกันความถูกต้องของข้อมูล แต่การรับส่งข้อมูลแบบหลายทอดในเครือข่ายเซ็นเซอร์ขนาดใหญ่มักประสบปัญหา Hidden Node ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโทโพโลยี ทำให้ยังไม่มีโพรโตคอลที่รับประกันความครบถ้วนของการส่งข้อมูลทั้งหมด ทั้งนี้ลักษณะเด่นของการบีบอัดข้อมูลแบบ Wavelet คือรายละเอียดของภาพส่วนใหญ่จะอยู่ที่ LL ดังนั้น หากเกิดการสูญเสียแพ็คเกจข้อมูลส่วนนี้ก็จะส่งผลกระทบต่อภาพทั้งหมด

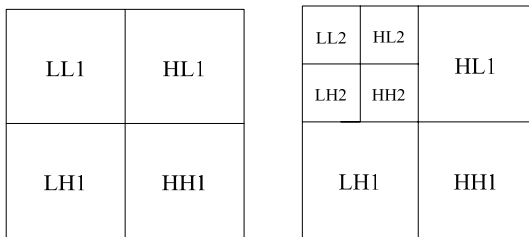
บทความฉบับนี้นำเสนอการศึกษาผลกระทบของการสูญเสียแพ็คเกจข้อมูลต่อการบีบอัดข้อมูลด้วยเทคนิค CDF 5/3 โดยวิเคราะห์การเลือกส่งข้อมูลเฉพาะส่วน เพื่อหาส่วนของข้อมูลที่ให้คุณภาพภาพที่ดีและมีขนาดของข้อมูลลดลง โดยปรับปรุงวิธีบีบอัดข้อมูลภาพด้วยการใช้

บล็อคนาเล็กที่สอดคล้องกับขนาดของแพ็คเกจ ซึ่งช่วยกระจายความเสี่ยงของการสูญเสียข้อมูลส่วนที่สำคัญ และลดความจำเป็นของการใช้กลไก ACK ในการตรวจสอบความครบถ้วนของข้อมูลส่วน LL โดยขนาดของบล็อกที่ใช้ขึ้นอยู่กับขนาดข้อมูลหลังบีบอัดต้องมีขนาดไม่เกินข้อมูลใหญ่สุดที่ส่งได้ เพื่อลดความผูกพันระหว่างแพ็คเกจข้อมูล และวิเคราะห์การบีบอัดทั้งภาพเปรียบเทียบกับการบีบอัดแบบบล็อก

2. การบีบอัดข้อมูลด้วยเทคนิค Wavelet

Discrete Wavelet Transform (DWT) เป็นการนำสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงความถี่ตามเวลา การเปลี่ยนแปลงแบบจับปล้น หรือการเปลี่ยนแปลงที่มีความถี่ต่างๆ ผสมกันอยู่แบบไม่เป็นคาบมาผ่านตัวกรองความถี่ต่ำ และตัวกรองความถี่สูง เพื่อแยกสัญญาณออกเป็น 2 ส่วน โดยการนำสัญญาณเชิงเวลาผ่านสมการการแปลงให้อยู่ในเชิงความถี่ โดยใช้เวฟเลตแม่ที่เหมาะสม การแปลงข้อมูลภาพเป็นการแปลงเวฟเลตแบบ 2-D สามารถแบ่งข้อมูลได้ในหลายระดับ ตัวอย่างการแปลง 2-D DWT ระดับเดียว สามารถแบ่งข้อมูลภาพขนาด $n \times n$ พิกเซล ได้เป็น 4 ส่วนย่อยขนาด $\frac{n}{2} \times \frac{n}{2}$ พิกเซล คือ LL1, HL1, LH1 และ HH1 ดังรูปที่ 1

(a) และการแปลงแบบ 2 ระดับ จะได้ข้อมูลอีก 4 ส่วนย่อยขนาด $\frac{n}{4} \times \frac{n}{4}$ พิกเซล คือ LL2, HL2, LH2 และ HH2 ดังรูปที่ 1 (b)



(a) ระดับเดียว

(b) ระดับ 2

รูปที่ 1 ผลลัพธ์จากการแปลง 2-D DWT

แนวคิดการบีบอัดข้อมูลภาพของเวฟเลตอาศัยหลักการที่ว่าตาของมนุษย์ไม่สามารถสังเกตเห็นภาพส่วนที่มีความถี่สูง จึงสามารถตัดข้อมูลส่วนนั้นออกไปได้โดยที่คุณภาพภาพสามารถยอมรับได้ การแปลงเวฟเลตมีคุณสมบัติในการแยกข้อมูลที่มีความถี่ต่างกันออกจากกัน จึงสามารถเลือกเก็บข้อมูลเฉพาะส่วนความถี่ต่ำที่ตาของมนุษย์มองเห็นได้

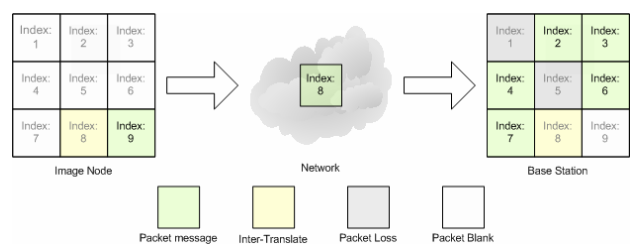
บทความนี้ใช้เทคนิค CDF 5/3 [1] ในการบีบอัดภาพ เนื่องจาก CDF 5/3 ใช้สมการการแปลงที่ตัวหารอยู่ในรูปของ 2^n ซึ่งง่ายต่อการคำนวณในหน่วยประมวลผลขนาดเล็กด้วยวิธีการเลื่อนบิต โดย $f_L(z)$ คือตัวกรองความถี่ต่ำ และ $f_H(z)$ คือ ตัวกรองความถี่สูง สามารถเขียนดังสมการที่ (1) และ (2)

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

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

เมื่อ z คือ ข้อมูลภาพที่ต้องการแปลง การแปลงข้อมูลภาพด้วย CDF 5/3 ให้นำข้อมูลภาพในแต่ละแถวมาผ่านสมการตัวกรองความถี่ต่ำ และตัวกรองความถี่สูง แล้วนำผลลัพธ์ที่ได้ในแต่ละหลักมาผ่านตัวกรองความถี่ต่ำ และตัวกรองความถี่สูงอีกครั้งตามลำดับ การแปลงเวฟเลตนี้จะแบ่งข้อมูลภาพออกเป็น 4 ส่วน คือ ข้อมูลส่วนใหญ่ของภาพ (LL), ข้อมูลในแนวแกนตั้ง (HL), ข้อมูลในแนวแกนนอน (LH) และข้อมูลในแนวทแยง (HH) เราสามารถแปลงข้อมูลในระดับที่ลึกลงไปเรื่อยๆ โดยประยุกต์เข้ากับข้อมูลส่วน LL เนื่องจากเป็นข้อมูลส่วนใหญ่ของภาพ ดังรูปที่ 1 (b)

งานวิจัยของเราได้เปลี่ยนจากการแปลงข้อมูลทั้งภาพเป็นแปลงข้อมูลที่ละบล็อกสำหรับส่งในแต่ละแพ็คเกจ ดังรูปที่ 2 เพื่อลดความผูกพันของข้อมูลระหว่างแพ็คเกจ เป็นการกระจายความเสี่ยงของการสูญเสียแพ็คเกจข้อมูลที่สำคัญ เนื่องจากการสื่อสารในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายไม่สามารถรับประกันความครบถ้วนของข้อมูลที่ส่งได้ วิธีนี้จึงเหมาะสมกับภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงน้อย เช่น ภาพสิ่งแวดล้อม หรือสถานที่ เป็นต้น โดยใช้บล็อกข้อมูลขนาด $m \times m$ พิกเซล ของภาพทั้ง R, G และ B เมื่อผ่านการแปลงเวฟเลตแล้ว เหลือข้อมูลขนาด $\frac{m}{2} \times \frac{m}{2}$ พิกเซล ของทั้ง 3 สี โดยขนาดบล็อกที่ใช้ขนาดข้อมูลหลังการแปลงต้องไม่เกินขนาดข้อมูลสูงสุดที่การ์ดสื่อสารสามารถส่งได้

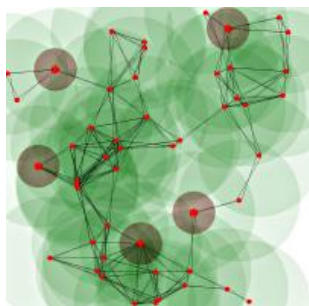


รูปที่ 2 การแยกส่งข้อมูลที่ละแพ็คเกจ

3. การสื่อสารแบบหลายทอด (Multi-Hop)

การสื่อสารแบบหลายทอดตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4 ใช้โครงสร้าง 2 แบบคือ Star และ Peer to Peer ดังรูปที่ 3 โดยในระบบปฏิบัติการ TinyOS [2] อาศัยการสื่อสารแบบ Ad-hoc ซึ่งปราศจากอุปกรณ์ตัวกลางแบ่งเป็น 3 ประเภทคือ Broadcast, Intra-Network Routing และ Tree-Based Routing โพรโตคอล Broadcast เป็นการกระจายข้อมูลไปยังโหนดทุกโหนด โพรโตคอล Intra-Network Routing

เป็นการส่งข้อมูลไปยังปลายทางที่เจาะจง และโปรโตคอล Tree-Based Routing เป็นการรวมข้อมูลทั้งหมดเข้าสู่ปลายทาง



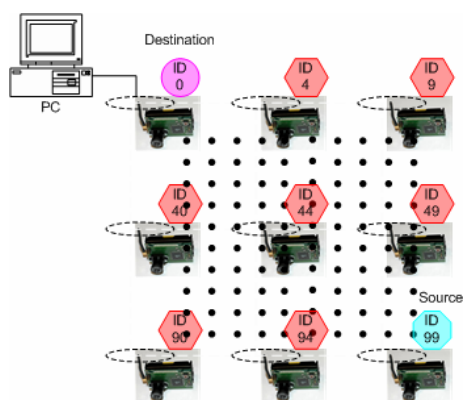
รูปที่ 3 การสื่อสารแบบหลายทอด

งานวิจัยนี้ใช้การสื่อสารแบบหลายทอด โดยใช้โปรโตคอล Collection Tree Protocol (CTP) ซึ่งมีประสิทธิภาพในการรวบรวมข้อมูล โดยเลือกเส้นทางที่ดีที่สุดสำหรับส่งข้อมูล แต่ไม่สามารถยืนยันความสำเร็จในการส่งข้อมูลได้ จากการศึกษาการส่งข้อมูลภาพแบบหลายทอดในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย [3] พบว่าการสูญหายของข้อมูลในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายเป็นในลักษณะแพ็คเกจไม่ใช่ BER จะทำให้คุณภาพภาพส่งผลกระทบต่อข้อมูลภาพที่ตามมาแบบต่อเนื่องกัน

4. การศึกษาผลกระทบต่อการบีบอัดแบบ Wavelet

งานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม TOSSIM [2] ของระบบปฏิบัติการ TinyOS ในจำลองการส่งข้อมูลภายในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายขนาดใหญ่ โดยอาศัยการสร้าง Link Layer Model ซึ่งอ้างอิงพฤติกรรมสัญญาณวิทยุจากบอร์ด Mica2 ที่ออกแบบ Physical layer และ MAC layer ตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4 โดยใช้อัตราการส่งข้อมูล 250 kbps สภาพแวดล้อมที่ใช้ในการทดลองกำหนดภายใต้เงื่อนไข ดังนี้

- โครงสร้างเครือข่ายแบบตารางขนาด 100 โหนด
- โหนดในเครือข่ายไม่มีการเคลื่อนที่



รูปที่ 4 โครงสร้างของเซ็นเซอร์โหนด

จากรูปที่ 4 กำหนดหมายเลขโหนดเป็น 0-99 โดยให้หมายเลข 0 เป็นโหนดฐานหรือตัวรับข้อมูล หมายเลข 99 เป็นโหนดกล้องหรือตัวส่งข้อมูล ข้อมูลที่ส่งประกอบด้วยหมายเลขแพ็คเกจและหมายเลขเส้นทางตามด้วยข้อมูลภาพขนาดไม่เกิน 100 ไบต์ โดยให้โหนดหมายเลข 4, 9, 40, 44, 49, 90 และ 94 เป็นโหนดเซ็นเซอร์อุณหภูมิส่งข้อมูลรบกวนขนาด 2 ไบต์ต่อแพ็คเกจ ภาพที่ใช้ในการทดสอบมีจำนวน 3 รูป เป็นภาพการเจริญเติบโตของต้นข้าวในระยะต่างๆ คือ ระยะต้นกล้า ระยะออกดอก และระยะออกรวง ดังรูปที่ 5 ขนาดภาพ 320x240 พิกเซล ความละเอียด 24 bpp และมีขนาดไฟล์ ดังตาราง 1



(A)

(B)



(C)

รูปที่ 5 ภาพต้นฉบับ

ตาราง 1 ขนาดไฟล์ของภาพที่ใช้ในการทดลอง

ขนาดภาพ	ภาพ A	ภาพ B	ภาพ C
BMP (KB)	230.46	230.46	230.46

จากการศึกษาอัลกอริทึมในการส่งภาพแบบหลายทอดในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย [4] พบว่าที่ระยะ 2 เมตร ข้อมูลมีการสูญหายในระดับที่ยอมรับได้ คือ 16.56% การหาประสิทธิภาพของการส่งข้อมูลภาพนั้นอาศัยการเปรียบเทียบคุณภาพภาพโดยใช้เทคนิค Peak Signal to Noise Ratio (PSNR) ในการหาความแตกต่างระหว่างภาพต้นฉบับกับภาพที่ได้ออกมาเปรียบเทียบดังสมการ (3) และ (4)

$$MSE = \frac{1}{mn} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} \|I(i, j) - K(i, j)\|^2 \quad (3)$$

$$PSNR = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{MAX_i^2}{MSE} \right) = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{MAX_i}{\sqrt{MSE}} \right) \quad (4)$$

เมื่อ $m \times n$ คือ ขนาดภาพ $I(i,j)$ คือ ค่าพิกเซลของภาพต้นฉบับ $K(i,j)$ คือ พิกเซลที่ต้องการเปรียบเทียบ และ MAX คือค่าสูงสุดของพิกเซล โดย PSNR ทำให้เห็นความแตกต่างของค่าความผิดพลาดได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ดังนั้นคุณภาพของภาพจึงขึ้นอยู่กับภาพต้นฉบับ และความผิดพลาดในการส่งข้อมูลภายในเครือข่ายจึงส่งผลกระทบต่อภาพปลายทาง

4.1 การบีบอัดแบบบล็อกด้วยเทคนิค CDF 5/3

การประยุกต์ใช้ CDF 5/3 wavelet สำหรับบีบอัดข้อมูลภาพแบบบล็อกเพื่อส่งในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายแบบหลายทอด โดยศึกษาการเลือกส่งข้อมูลเฉพาะส่วน การทดสอบแบ่งภาพ A, B และ C ออกเป็นบล็อกขนาด 4×4 และ 8×8 พิกเซล เนื่องจากข้อมูลหลังจากบีบอัดต้องมีขนาดไม่เกิน 100 บิต ซึ่งเป็นขนาดข้อมูลใหญ่สุดที่ส่งได้ต่อ 1 แพคเกจ เพื่อลดความผูกพันของแพคเกจข้อมูล แล้วนำมาบีบอัดด้วยเทคนิค CDF 5/3 ซึ่งจะแบ่งข้อมูลออกเป็น 4 ส่วน คือ LL, HL, LH และ HH แล้วทดสอบเลือกส่งข้อมูลเฉพาะส่วน คือ LL, LL+HL, LL+LH และ LL+HL+LH ตามลำดับ เพื่อหาความเหมาะสมระหว่างขนาดข้อมูลที่ลดลงกับคุณภาพที่ดี ผลการทดสอบดังตาราง 2 เป็นตัวอย่างภาพ C ที่ใช้บล็อกขนาด 8×8 พิกเซล บีบอัดด้วยเทคนิค CDF 5/3 ที่เลือกส่งข้อมูลเฉพาะส่วนแบบต่างๆ

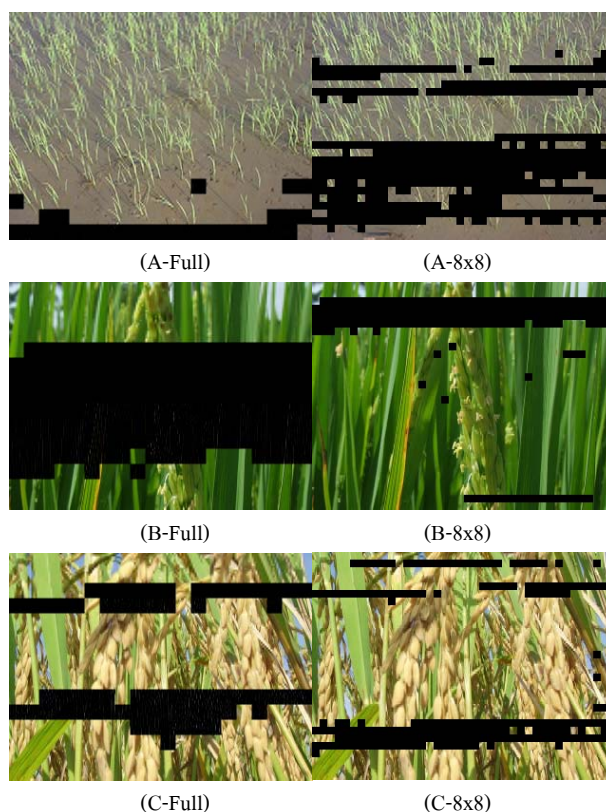
ตาราง 2 ขนาดและคุณภาพภาพจากการเลือกส่งเฉพาะส่วนแบบต่างๆ

CDF 5/3	ขนาดข้อมูล (KB)		PSNR (dB)	
ข้อมูลที่ส่ง	8x8	4x4	8x8	4x4
LL	58.2	58.2	32.77	32.40
LL+HL	116.4	116.4	38.68	37.89
LL+LH	116.4	116.4	33.25	32.82
LL+HL+LH	174.6	175.2	41.74	40.64

จากตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่าคุณภาพของข้อมูลภาพที่ได้ คือ $LL+HL+LH > LL+HL > LL+LH > LL$ ตามลำดับ เนื่องจากการใช้ข้อมูลทั้ง 3 ส่วนย่อมให้คุณภาพภาพดีที่สุด และภาพทางการเกษตรโดยทั่วไปรายละเอียดจะอยู่ในแนวแกนตั้งมากกว่าแนวแกนนอน จึงทำให้ข้อมูลส่วน LL+HL มีคุณภาพภาพดีกว่า LL+LH ซึ่งมีขนาดไฟล์เท่ากัน เมื่อเปรียบเทียบขนาดบล็อกข้อมูล จะพบว่าบล็อกขนาด 8×8 พิกเซล ให้คุณภาพภาพดีกว่า 4×4 พิกเซล ดังนั้น ส่วนของข้อมูลสำหรับส่งที่เหมาะสม คือ LL+HL เพราะให้ค่าคุณภาพภาพดี และมีขนาดภาพเล็กโดยใช้บล็อกขนาด 8×8 พิกเซล

4.2 ผลกระทบการสูญเสียแพคเกจข้อมูลต่อคุณภาพภาพ

การศึกษาผลกระทบการสูญเสียข้อมูลในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายของการบีบอัดภาพด้วยเทคนิค CDF 5/3 การทดสอบส่งภาพ A, B และ C ที่บีบอัดแบบทั้งภาพเปรียบเทียบกับการแยกบีบอัดด้วยบล็อกขนาด 8×8 พิกเซล เลือกส่งเฉพาะส่วน LL+HL แล้วส่งข้อมูลที่ระยะห่างระหว่างโหนด 2 เมตร ได้ผลดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 การสูญเสียแพคเกจข้อมูลภาพที่บีบอัดด้วยเทคนิค CDF 5/3

ตาราง 3 คุณภาพภาพของการสูญเสียแพคเกจข้อมูลที่ระยะห่าง 2 เมตร

PSNR(dB)	ภาพ A	ภาพ B	ภาพ C	เฉลี่ย
Full	32.20	27.19	30.10	29.83
8x8	28.07	32.45	31.95	30.82

จากรูปที่ 6 จะเห็นได้ว่าภาพที่ได้จากการบีบอัดด้วยเทคนิค CDF 5/3 ข้อมูลส่วน LL จะมีความสำคัญมากที่สุด เนื่องจากเป็นข้อมูลส่วนใหญ่ของภาพ และส่วน HL เป็นส่วนเสริมรายละเอียดของส่วน LL ให้ชัดเจนขึ้น หากเกิดการสูญหายของข้อมูลส่วน LL จะส่งผลกระทบต่อแบนด์ย่อย (Sub-band) ทั้งหมด ในการส่งเฉพาะส่วน LL+HL ความน่าจะเป็นของแพคเกจที่สูญเสียในส่วน LL เป็น 50% หากเกิดการสูญเสียแพคเกจข้อมูลในส่วน LL น้อยกว่าส่วน HL จะส่งผลกระทบต่อภาพน้อยกว่า

การบีบอัดแบบบล็อก ดังรูปที่ 6 ภาพ A แต่หากเกิดการสูญเสียแพ็คเกจข้อมูลในส่วน LL มากกว่าส่วน HL จะส่งผลกระทบต่อภาพรุนแรงกว่าการบีบอัดแบบบล็อก ดังรูปที่ 6 ภาพ B ในกรณีที่มีการสูญเสียแพ็คเกจข้อมูลแบบเฉลี่ย คุณภาพภาพที่ได้จะขึ้นอยู่กับตำแหน่งของแพ็คเกจที่สูญหาย ดังรูปที่ 6 ภาพ C จากตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่าการบีบอัดด้วยเทคนิค CDF 5/3 แบบทั้งภาพแพ็คเกจข้อมูลในส่วน LL จะส่งผลกระทบต่อแบนด์วิดท์มากกว่าส่วน HL แต่การบีบอัดแบบบล็อกไม่ส่งผลกระทบต่อข้อมูลภาพที่เหลือ

บทสรุป

บทความนี้นำเสนอการปรับปรุงเทคนิคการบีบอัดภาพด้วย CDF 5/3 สำหรับเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายแบบหลายทอด โดยใช้การบีบอัดข้อมูลแบบบล็อก เพื่อลดความสัมพันธ์ระหว่างแพ็คเกจข้อมูล การปรับปรุงนี้ช่วยลดความจำเป็นในการใช้ ACK ในโพรโทคอลเพื่อยืนยันความครบถ้วนของข้อมูลส่วน LL ผลการจำลองการส่งข้อมูลภาพผ่านเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายขนาดใหญ่โดยใช้การบีบอัดแบบทั้งภาพเทียบกับการบีบอัดแบบบล็อก ทำให้ข้อมูลแต่ละแพ็คเกจมีความสำคัญเท่ากัน การสูญเสียข้อมูลภาพจึงเป็นไปตามการสูญหายของแพ็คเกจนั้น ไม่ส่งผลกระทบต่อแบนด์วิดท์

เอกสารอ้างอิง

- [1.] Lecuire, V., C. Duran-Faundez, and N. Krommenacker, *Energy-efficient transmission of wavelet-based images in wireless sensor networks*. J. Image Video Process., 2007. **2007**(1): p. 15-15.
- [2.] Changsu, S., J. Jung-Eun, and K. Young-Bae. *New RF Models of the TinyOS Simulator for IEEE 802.15.4 Standard*. in *Wireless Communications and Networking Conference, 2007.WCNC 2007. IEEE*. 2007.
- [3.] อรรถ สุขศิลป์ สุภชัย วรพจน์พิสุทธิ, การศึกษาการส่งข้อมูลภาพแบบหลายทอดในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย. the 2009 International Conference on Embedded Systems and Intelligent Technology, 2552.
- [4.] อรรถ สุขศิลป์ สุภชัย วรพจน์พิสุทธิ, แนวทางในการส่งภาพแบบหลายทอดในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย. the 32nd Electrical Engineering Conference, 2552.



นางสาวอรรถ สุขศิลป์ จบการศึกษาระดับ
วศ.บ. (ไฟฟ้า) จากมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ปัจจุบันศึกษาระดับปริญญาโท สาขา
วิศวกรรมไฟฟ้า ม.ธรรมศาสตร์ มีความสนใจงาน
ทางด้านเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย



ผศ.ดร. สุภชัย วรพจน์พิสุทธิ จบการศึกษาระดับ
วศ.บ. (ไฟฟ้า) และ วศ.ม. (ระบบควบคุม) จาก
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และ D.Eng (Control
Engineering) จาก Tokyo Institute of
Technology ประเทศญี่ปุ่น งานวิจัยที่สนใจคือ
เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย ระบบสมองกลฝังตัว

และระบบพลวัตแบบผสมผสาน