

ภาคผนวก

ง

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 32

สาขาการสื่อสาร

28-30 ตุลาคม 2552

อัลกอริทึมในการส่งภาพแบบหลายทอดในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

An Algorithm of Multi-Hop Image Transmission in Wireless Sensor Network

อรรช สุขศีล สุภชัย วรพจน์พิศุทธิ์

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า และคอมพิวเตอร์ 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

บทความนี้นำเสนอแนวความคิดใหม่ในการส่งข้อมูลภาพผ่านเครือข่ายแบบหลายทอดสำหรับอุปกรณ์ที่มีข้อจำกัดในการประมวลผลและหน่วยความจำ เป้าหมายของงานวิจัยนี้คือการนำไปประยุกต์ใช้กับเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายสำหรับตรวจสอบสภาพแวดล้อม ซึ่งข้อมูลภาพมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการประเมินสภาพการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น แต่ข้อมูลภาพมีขนาดใหญ่และอาศัยขั้นตอนการประมวลผลที่ซับซ้อน ทำให้เกิดผลกระทบต่อประสิทธิภาพและพลังงานของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย งานวิจัยนี้ได้อาศัยเทคนิคการบีบอัดภาพแบบ Block Truncation Coding (BTC) เพื่อลดปริมาณข้อมูลที่ต้องส่ง โดยไม่จำเป็นต้องใช้ทรัพยากรในการประมวลผลมาก และมีความทนทานต่อการสูญหายของข้อมูล การจำลองการส่งภาพผ่านเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายแบบหลายทอดด้วยอัตราบีบอัดข้อมูล 8 เท่าและการสูญหายของแพ็คเกจข้อมูล 16% พบว่าลักษณะสำคัญของภาพยังคงสามารถพิจารณาได้จากสายตา

คำสำคัญ: เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย การส่งข้อมูลภาพ

การส่งแบบหลายทอด ระบบปฏิบัติการ TinyOS

Abstract

This paper presents a novel approach for image transmission over a multi-hop network of resource-constrained devices. Our objective is to apply with wireless sensor networks for environmental monitoring in which image data is very useful for the evaluation of changes. This research has applied the Block Truncation Coding (BTC) method to reduce the amount of data to be transmitted, while providing low resource requirements and also robustness to packet loss. Based on 8-times compression ratio and 16% packet loss, our simulation reveals good results, which can be seen by human eye.

KEYWORD: wireless sensor network, image transmission, multi-hop

1. บทนำ

เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายในการเกษตรใช้สำหรับรวบรวมข้อมูล ตรวจสอบสถานะ รายงานการเปลี่ยนแปลง และควบคุมสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมกับพืชแต่ละชนิด ข้อมูลภาพเป็นข้อมูลหนึ่งที่

สามารถให้รายละเอียดของการเจริญเติบโต โรค และศัตรูพืชได้ชัดเจน นอกจากนี้ผู้เชี่ยวชาญยังสามารถวิเคราะห์ความต้องการและความผิดปกติได้จากภาพร่วมกับข้อมูลอื่นๆ อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย คือ มีอัตราการส่งข้อมูลต่ำ ความน่าเชื่อถือของการส่งข้อมูลขึ้นอยู่กับโปรโตคอล อุปกรณ์ส่วนใหญ่เป็นหน่วยประมวลผลขนาดเล็ก มีพื้นที่หน่วยความจำน้อย เหมาะสำหรับการส่งข้อมูลขนาดเล็ก ด้วยคาบเวลาที่ห่างกัน จึงเป็นความท้าทายในการส่งข้อมูลภาพให้มีคุณภาพ เนื่องจากข้อมูลภาพมีขนาดใหญ่และเป็นข้อมูลที่ต่อเนื่องกัน จึงต้องใช้พลังงานทั้งในการประมวลผลและการส่งข้อมูลสูง

เทคนิคการบีบอัดภาพที่ใช้กันมากในปัจจุบันคือ DCT (Discrete Cosine Transform) และ DWT (Discrete Wavelet Transform) งานวิจัยเกี่ยวกับการบีบอัดภาพในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายที่ผ่านมาส่วนใหญ่จึงใช้การบีบอัดภาพแบบ JPG2000 [1] โดยแบ่งข้อมูลเป็น 2 ส่วน คือ ตำแหน่งของข้อมูลกับค่าของสี หากเกิดการสูญหายในส่วนตำแหน่งแล้ว การประกอบภาพกลับคืนมาทำได้ยาก หรือไม่สามารทำได้เลย นอกจากนี้ยังมีการใช้เทคนิคการบีบอัดอย่างง่าย เช่น BD-LZW [2] แต่จะได้ดีเฉพาะภาพที่บีบอัดแบบ GIF สำหรับการปรับปรุงการประมวลผลและการบีบอัดภาพที่ซับซ้อนจะใช้อุปกรณ์ประเภท FPGA โดยทั่วไปจะใช้ภาพระดับสีเทา หากเป็นภาพสีจะต่ออุปกรณ์ประเภท DSP เพิ่มเติม งานวิจัยส่วนใหญ่ศึกษาการส่งข้อมูลในเครือข่ายขนาดเล็กเท่านั้น [3] อย่างไรก็ตามยังไม่มีอัลกอริทึมในการส่งภาพและบีบอัดภาพที่ใช้กับหน่วยประมวลผลขนาดเล็กและมีทรัพยากรจำกัด

บทความฉบับนี้นำเสนออัลกอริทึมในการบีบอัดภาพอย่างง่ายสำหรับเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายที่มีทรัพยากรจำกัด โดยใช้การบีบอัดข้อมูลแบบ BTC [4] ซึ่งเป็นวิธีที่มีใช้ในการประมวลผลภาพเคลื่อนไหว เราได้ศึกษาประสิทธิภาพของข้อมูลภาพที่ผ่านการบีบอัด โดยจำลองการส่งภาพผ่านเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายขนาดใหญ่ จากนั้นจึงทดสอบความทนทานต่อการสูญหายของข้อมูล

2. อัลกอริทึมในการบีบอัดภาพ

เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายต้องการอัลกอริทึมที่ไม่ซับซ้อน และใช้พื้นที่หน่วยความจำน้อย เทคนิค BTC (Block Truncation Coding) จึงเป็นวิธีที่เหมาะสมกับเงื่อนไขดังกล่าว เนื่องจากการบีบอัดภาพอย่างง่าย มีการสูญเสียข้อมูลบางส่วน ขั้นตอนการบีบอัดจะใช้วิธีแบ่งระดับสี

โดยพิจารณาจากค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานการคำนวณผลหาร ซึ่งใช้วิธี Shift bits เรียกว่า binary transform ใช้การดำเนินการพื้นฐาน โดย BTC เป็นเทคนิคที่ใช้กันแพร่หลายในการบีบอัดภาพเคลื่อนไหว แต่ไม่ได้รับความนิยมในการบีบอัดภาพนิ่งมากนัก เนื่องจากใช้อัตราการบีบอัดสูงมากทำให้รายละเอียดของภาพบางส่วนสูญหาย

การบีบอัดแบบ BTC เริ่มจากแบ่งข้อมูลภาพออกเป็นบล็อก ขนาด $m \times n$ พิกเซล ค่าข้อมูลแต่ละตัวเป็น $x(i, j)$ ค่าเฉลี่ยเป็น $\bar{x}$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน σ แล้วแยกข้อมูลเป็น 2 ระดับโดยใช้ค่าเฉลี่ยเป็นเกณฑ์ เมื่อผ่านการบีบอัดแล้วจะได้เป็นบล็อก $y(i, j)$ ดังสมการที่ (1)

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

การถอดรหัสข้อมูลจาก $y(i, j)$ เป็น $x(i, j)$ แสดงไว้ในสมการที่ (2)

$$x(i, j) = \begin{cases} a, & y(i, j) = 0 \\ b, & y(i, j) = 1 \end{cases} \quad (2)$$

เมื่อ a คือค่าที่น้อยกว่าหรือเท่ากับค่าเฉลี่ย และ b คือค่าที่มากกว่าค่าเฉลี่ย a และ b หาได้จากสมการที่ (3) และ (4)

$$a = \bar{x} - \sigma \sqrt{\frac{p}{q}} \quad (3)$$

$$b = \bar{x} + \sigma \sqrt{\frac{q}{p}} \quad (4)$$

เมื่อ p คือจำนวนพิกเซลที่ถูกแทนค่าด้วย 0 และ q คือจำนวนพิกเซลที่ถูกแทนค่าด้วย 1

นอกจากนี้ ยังมีการปรับปรุง BTC เป็น AMBTC [5] โดยใช้วิธี Absolute Moment ในการหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานดังสมการที่ (5) และถอดรหัสดังสมการที่ (6) และ (7)

$$\sigma = \frac{1}{m \times n} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n |x(i, j) - \bar{x}| \quad (5)$$

$$a = \bar{x} - \frac{\sigma}{2} \cdot \frac{m \times n}{p} \quad (6)$$

$$b = \bar{x} + \frac{\sigma}{2} \cdot \frac{m \times n}{q} \quad (7)$$

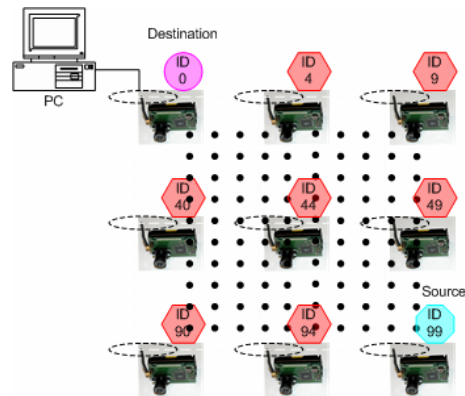
งานวิจัยนี้ใช้การบีบอัดภาพแบบ AMBTC โดยใช้บล็อกขนาด 8×8 แพลกเกตข้อมูลประกอบด้วย หมายเลขปลายทาง ตำแหน่งของบล็อก ข้อมูลภาพที่ถูกบีบอัดแล้ว ค่าเฉลี่ย และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ขนาด

ไม่เกิน 100 ไบท์ ทอยส่งข้อมูลที่ละบล็อกจนครบทั้งภาพ และเดิบล็อกที่ขาดหายไปจากการส่งข้อมูลภาพในรอบถัดไป

3. การศึกษาความคงทนต่อการสูญเสียข้อมูล

งานวิจัยนี้ใช้การสื่อสารแบบหลายทอด Collection Tree Protocol (CTP) ซึ่งมีประสิทธิภาพในการรวบรวมข้อมูลโดยเลือกเส้นทางที่ดีที่สุดสำหรับส่งข้อมูล แต่ไม่สามารถยืนยันความสำเร็จในการส่งข้อมูลได้ การทดสอบใช้โปรแกรม TOSSIM [6] ของระบบปฏิบัติการ TinyOS ซึ่งจำลองการส่งข้อมูลภายในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย โดยใช้ Link Layer Model อ้างอิงพฤติกรรมของสัญญาณคลื่นวิทยุจากบอร์ด Mica2 ใช้อัตราการส่งข้อมูล 250 kbps ในการทดลองกำหนดสภาพแวดล้อมภายใต้เงื่อนไข ดังนี้

- สร้างโหนดจำนวน 100 โหนด
- ใช้โครงสร้างแบบตารางขนาด 10×10 โหนด
- โหนดเซ็นเซอร์ไม่มีการเคลื่อนที่ และมีการจัดวางดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 โครงสร้างของเซ็นเซอร์โหนด

เราได้กำหนดหมายเลขโหนดเป็น 0-99 โดยให้หมายเลข 0 เป็นโหนดฐานหรือตัวรับข้อมูล หมายเลข 99 เป็นโหนดกล้องหรือตัวส่งข้อมูลภาพขนาดไม่เกิน 100 ไบท์ต่อแฟกเกต โดยให้หมายเลข 4, 9, 40, 44, 49, 90 และ 94 เป็นโหนดเซ็นเซอร์อุณหภูมิหรือตัวส่งข้อมูลรบกวนขนาด 2 ไบท์ต่อแฟกเกต ภาพที่ใช้จำนวน 3 รูป เป็นภาพการเจริญเติบโตของต้นข้าวในระยะต่างๆ คือ ระยะต้นกล้า ระยะออกดอก และระยะออกรวง ขนาด 320×240 ความละเอียด 24 bpp และมีขนาดไฟล์ ดังตาราง 1

ตาราง 1 ขนาดไฟล์ของภาพที่ใช้ในการทดลอง

การบีบอัด	ภาพ A	ภาพ B	ภาพ C
BMP (KB)	230.46	230.46	230.46
JPG (KB)	118.30	94.28	121.82
BTC (KB)	36.00	36.00	36.00

การหาประสิทธิภาพของอัลกอริทึมนี้ อาศัยการเปรียบเทียบคุณภาพภาพโดยใช้เทคนิค Peak Signal to Noise Ratio (PSNR) ในการหาความแตกต่างระหว่างภาพต้นฉบับกับภาพที่ต้องการเปรียบเทียบดังสมการ (8) และ (9)

$$MSE = \frac{1}{m \times n} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} \|I(i, j) - K(i, j)\|^2 \quad (8)$$

$$PSNR = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{MAX_I^2}{MSE} \right) = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{MAX_I}{\sqrt{MSE}} \right) \quad (9)$$

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

3.1 การสูญเสียข้อมูลจากการส่งข้อมูลหลายทอด

การทดสอบการสูญหายของแพ็คเกจข้อมูลทีละช่วงระหว่างโหนด 1-4 เมตร มีโครงสร้างดังรูปที่ 1 โหนดต้องทยอยส่งข้อมูลภาพชนิด BMP โหนดเซ็นเซอร์อุณหภูมิส่งข้อมูลอุณหภูมิไปยังโหนดฐานทุก 1 วินาทีจนครบทั้งภาพ เพื่อหาระยะห่างระหว่างโหนดที่เหมาะสม ได้ผลดังตาราง 2 พบว่าที่ระยะห่าง 1 เมตร ข้อมูลมีการสูญหายน้อยมาก ที่ระยะห่าง 3 และ 4 เมตร มีการสูญหายของข้อมูลเป็นจำนวนมาก ที่ระยะ 2 เมตร มีข้อมูลสูญหายในระดับที่ยอมรับได้ คือ 16.56%

ตาราง 2 เปอร์เซ็นต์การสูญหายของข้อมูลทีละระยะห่างต่างๆ

ระยะห่าง	1 m	2 m	3 m	4 m
การสูญหาย (%)	0.52	16.56	99.69	99.99

3.2 ความทนต่อการสูญเสียข้อมูล

การหาประสิทธิภาพของอัลกอริทึมแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของโหนดต้นทางเป็นการทดสอบหาคุณภาพของวิธีการบีบอัดแบบ BMP, JPG และ BTC โดยพิจารณาจากค่า PSNR เปรียบเทียบคุณภาพภาพที่ผ่านการบีบอัดแล้วกับภาพต้นฉบับ ผลจากการบีบอัดภาพ A, B และ C แบบ BTC ได้ดังรูปที่ 2



A-BTC

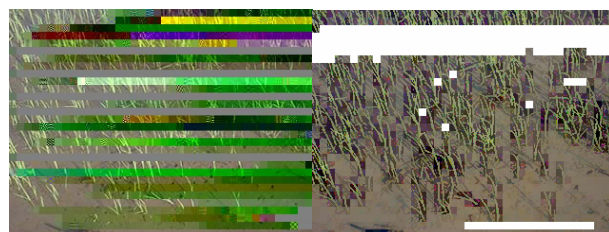
B-BTC



C-BTC

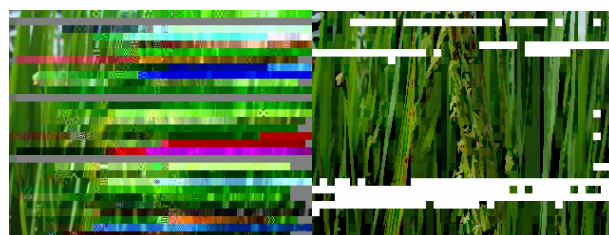
รูปที่ 2 ภาพ A, B และ C ที่ผ่านการบีบอัดแบบ BTC

ส่วนของโหนดปลายทาง การทดสอบหาประสิทธิภาพของการทนต่อการสูญเสียข้อมูลในการบีบอัดแบบ BMP, JPG และ BTC อาศัยการเปรียบเทียบคุณภาพของภาพที่ได้รับจากโหนดฐานซึ่งมีการสูญหายของแพ็คเกจข้อมูลบางส่วนกับภาพต้นฉบับที่ผ่านบีบอัดแล้ว โดยกำหนดสภาพแวดล้อมดังรูปที่ 1 ทดสอบทีละระยะห่างระหว่างโหนด 2 เมตร ทยอยส่งข้อมูลภาพ A, B และ C ซึ่งบีบอัดด้วยวิธี BMP, JPG และ BTC เข้าสู่เครือข่ายที่ละภาพ เมื่อส่งข้อมูลจนครบทั้งภาพจึงนำข้อมูลที่ได้จากโหนดฐานมาถอดรหัสแล้วเรียงกลับเป็นภาพเดิมตามตำแหน่งของภาพต้นฉบับที่ระบุมากับแพ็คเกจ เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างภาพปลายทางกับภาพต้นทางที่ผ่านการบีบอัดแบบเดียวกัน ผลของการส่งข้อมูลภาพเป็นดังรูปที่ 3 โดยภาพ A-JPG หมายถึง ภาพ A ที่มีการบีบอัดข้อมูลแบบ JPG, A-BTC หมายถึง ภาพ A ที่มีการบีบอัดข้อมูลแบบ BTC



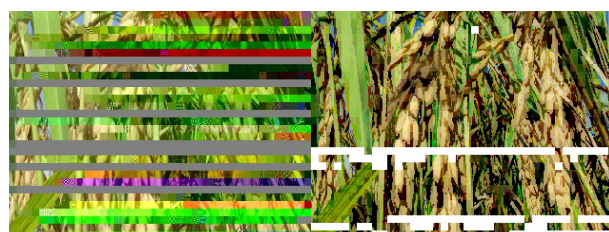
A-JPG

A-BTC



B-JPG

B-BTC



C-JPG

C-BTC

รูปที่ 3 การสูญหายของข้อมูลภาพ A, B และ C ที่ระยะ 2 เมตร โดยใช้การบีบอัดแบบ JPG และ BTC ตามลำดับ

จากรูปที่ 3 จะเห็นได้ว่า ภาพชนิด JPG จะได้รับผลกระทบจากการสูญหายของแพ็คเกจข้อมูลมากที่สุด เนื่องจากข้อมูลมีความผูกพันกันสูง ทำให้ภาพที่ได้แสดงสีผิดไปจากความเป็นจริงมาก ส่วน BTC เกิดผลกระทบเฉพาะจุด เนื่องจากข้อมูลถูกแยกออกจากกันอย่างเด็ดขาดเป็นบล็อกๆ ไม่มีความผูกพันระหว่างบล็อก หากเกิดการสูญหายของแพ็คเกจข้อมูลจึงไม่ส่งผลกระทบต่อแพ็คเกจข้อมูลภาพที่ตามมา

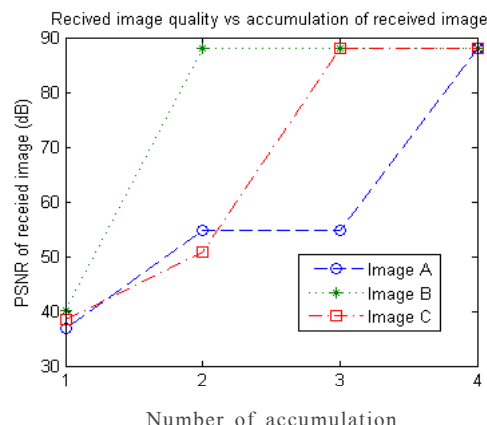
ตาราง 3 ค่า PSNR จากการบีบอัดแบบต่างๆ ของโหนดต้นทาง และโหนดปลายทางที่ระยะ 2 เมตร

PSNR	การทดสอบ	ภาพ A	ภาพ B	ภาพ C
BMP	โหนดต้นทาง	88.13	88.13	88.13
	โหนดปลายทาง	32.38	32.89	32.39
JPG	โหนดต้นทาง	50.88	54.60	53.64
	โหนดปลายทาง	27.08	28.91	26.92
BTC	โหนดต้นทาง	25.93	25.90	24.80
	โหนดปลายทาง	32.20	33.76	35.46

จากตารางที่ 3 โหนดต้นทางเป็นการเปรียบเทียบคุณภาพภาพจากการบีบอัดแบบต่างๆ พบว่าค่า PSNR ของภาพต้นฉบับแบบ BMP มีค่ามากที่สุด ส่วนแบบ BTC มีค่าน้อยที่สุด โหนดปลายทางเป็นการเปรียบเทียบคุณภาพภาพที่เกิดการสูญหายของข้อมูล กับภาพต้นฉบับที่บีบอัดแล้ว พบว่าค่า PSNR ของภาพที่บีบอัดแบบ BTC มีค่าสูงมากกว่า BMP 2 ใน 3 ภาพ แต่ BTC จะได้เปรียบกว่า ในด้านขนาดของข้อมูลและจำนวนครั้งในการส่ง เนื่องจากข้อมูลมีขนาดเล็กกว่าถึง 8 เท่า

3.3 การเพิ่มความคงทน

การปรับปรุงภาพด้วยการทดแทนข้อมูลที่ขาดหายไป ด้วยข้อมูลในครั้งก่อนหน้า แล้วสะสมจนข้อมูลครบทั้งภาพ ทดสอบรวบรวมข้อมูลภาพ A, B และ C ซึ่งบีบอัดแบบ BTC ที่ระยะ 2 เมตร ส่ง 4 ครั้ง ได้ผลดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ผลของคุณภาพ (PSNR) จากการส่งข้อมูลซ้ำ

จากรูปที่ 4 เมื่อสะสมข้อมูลใหม่เข้ากับข้อมูลเดิมจำนวน 4 ภาพ ทำให้ภาพมีความสมบูรณ์ซึ่งพิจารณาได้จากค่า PSNR มีค่าสูงที่สุด โดยภาพ A ถูกเติมจนเต็มเมื่อรวมข้อมูลครบ 4 ภาพ ภาพ B ภาพสมบูรณ์เมื่อรวมข้อมูลเพียง 2 ภาพ ส่วนภาพ C มีข้อมูลครบเมื่อรวมข้อมูลถึง 3 ภาพ ดังนั้น การปรับปรุงภาพด้วยการแทนที่ส่วนที่ขาดหายไปด้วยข้อมูลภาพก่อนหน้าช่วยเพิ่มความคงทนต่อการสูญหายของข้อมูลใน WSN

บทสรุป

บทความนี้ได้นำเสนออัลกอริทึมในการบีบอัดและส่งข้อมูลภาพในเครือข่าย เซ็นเซอร์ไร้สาย โดยอาศัยแนวคิดของการลดความสัมพันธ์ระหว่างบล็อกข้อมูลควบคู่กับเทคนิคบีบอัดแบบ BTC อัลกอริทึมนี้มีความเหมาะสมสำหรับการประมวลผลบนโหนดของเครือข่ายเซ็นเซอร์ ไร้สาย เนื่องจากไม่ซับซ้อน ใช้หน่วยความจำน้อยในระหว่างการประมวลผล รวมทั้งยังเหมาะสมกับการส่งข้อมูลด้วยแพ็คเกจที่มีขนาดเล็ก ผลการจำลองสถานการณ์ส่งข้อมูลภาพแบบหลายทอดผ่านเครือข่ายขนาดใหญ่ที่มีอัตรา การสูญหายของแพ็คเกจข้อมูลถึง 16% แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของอัลกอริทึม ซึ่งยังคงได้ภาพที่สามารถเข้าใจง่ายด้วยสายตาของมนุษย์

เอกสารอ้างอิง

- [1] W. Wei, P. Dongming, W. Honggang, H. Sharif, and C. Hsiao-Hwa, "Optimal Image Component Transmissions in Multirate Wireless Sensor Networks," in *Global Telecommunications Conference, 2007. GLOBECOM '07. IEEE*, 2007, pp. 976-980.
- [2] Z. Jinlan, Z. Qingguo, B. Shuwei, C. Li, H. Bin, and L. Lian, "BD-LZW picture compression algorithm for WSN system," in *Pervasive Computing and Applications, 2008. ICPCA*

2008. *Third International Conference on*, 2008, pp. 146-150.
- [3] K. Johannes, W. Tim, V. Philip, U. Michael, and C. Peter, "Demonstration of image compression in a low-bandwidth wireless camera network," in *Proceedings of the 6th international conference on Information processing in sensor networks* Cambridge, Massachusetts, USA: ACM, 2007.
- [4] P. Franti, O. Nevalainen, and T. Kaukoranta, "Compression of Digital Images by Block Truncation Coding: A Survey," *The Computer Journal*, vol. 37, pp. 308-332, April 1, 1994 1994.
- [5] A. K. Al-Asmari, S. Dave, and S. C. Kwatra, "Low complexity video compression algorithm using AMBTC," in *Military Communications Conference Proceedings, 1999. MILCOM 1999. IEEE*, 1999, pp. 1241-1245 vol.2.
- [6] S. Changsu, 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, pp. 2236-2240.