

การพัฒนาโปรแกรมประยุกต์สำหรับการตรวจสอบแบบปรนัยโดยวิธีการประมวลผลภาพ

Application development for multiple-choice test check by image processing

ชัยนันท์ สมพงษ์^{1,*}, สอาด ม่วงจันทร์², ชัยแดน มิ่งเมือง¹, อมรภัทร์ อูปแก้ว³

Chaiyanan Sompong^{1,*}, Sa-at Muangchan², Chaidan Mingmuang¹, Amornpatr Oopkeaw³

¹สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร สกลนคร 47000 ประเทศไทย

¹Department of Computer, Faculty of Science and Technology, Sakon Nakhon Rajabhat University, Sakon Nakhon, 47000 Thailand

²สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร สกลนคร 47000 ประเทศไทย

²Department of Mathematics and Statistics, Faculty of Science and Technology, Sakon Nakhon Rajabhat University, Sakon Nakhon, 47000 Thailand

³สาขาเทคโนโลยีดิจิทัล คณะบริหารธุรกิจ วิทยาลัยสันตพล อุตรธานี 41000 ประเทศไทย

³Department of Digital Technology, Faculty of Faculty of Business Administration, Santapol College, Udonthani, 41000 Thailand

*Corresponding Author: Chaiyanan@snru.ac.th

Received: 24 July 2017; Revised: 15 November 2017; Accepted: 16 November 2017; Available online: 1 December 2017

บทคัดย่อ

เครื่องตรวจข้อสอบแบบปรนัย (Optical Mark Recognition: OMR) ถูกใช้กันอย่างกว้างขวางในสถาบันการศึกษาทุกระดับ เนื่องจากมีความน่าเชื่อถือและความรวดเร็วต่อการตรวจคำตอบและการประมวลผลคะแนน อย่างไรก็ตามเครื่องตรวจข้อสอบยังคงมีราคาค่อนข้างสูง สถาบันการศึกษาที่มีงบประมาณจำกัดไม่สามารถจัดหามาใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างคุ้มค่า นอกจากนี้เครื่องตรวจข้อสอบจำเป็นต้องใช้กระดาษคำตอบเฉพาะจึงเป็นการยากที่สถาบันการศึกษาต่างๆ จะต้องเปลี่ยนกระดาษคำตอบ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาโปรแกรมประยุกต์การตรวจข้อสอบแบบปรนัยด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ โดยมีขั้นตอนดังนี้ 1) การค้นหาเครื่องหมายกากบาท และ 2) การตรวจคำตอบ สำหรับการค้นหาเครื่องหมายกากบาท สำหรับการวัดประสิทธิภาพ กระดาษคำตอบแบบปรนัยของมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนครแบบ 120 ข้อ 5 ตัวเลือกถูกใช้ในการทดลองนี้ โดยกระดาษคำตอบจะถูกทำเครื่องหมายกากบาทจากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 65 คน แบ่งเป็น กระดาษคำตอบที่ทำโดยอาสาสมัครจำนวน 40 คน และกระดาษคำตอบที่ทำโดยผู้เรียนวิชาคอมพิวเตอร์และสารสนเทศชั้นพื้นฐานจำนวน 25 คน ผลการทดสอบประสิทธิภาพการค้นหาเครื่องหมายกากบาทจำนวน 9,600 ข้อ พบว่าให้ค่าความแม่นยำที่ 97% และการตรวจคำตอบให้ผลลัพธ์ 100%

คำสำคัญ: กระดาษคำตอบแบบปรนัย; ฟูเรียร์คอนโวลูชัน; ซัพพอร์ตเว็คเตอร์แมชชีน

©2017 Sakon Nakhon Rajabhat University reserved

Abstract

A multiple-choice examination checking (Optical Mark Recognition: OMR) machine is widely used in academy for evaluation the effectiveness of study because it has a robustness and fast for answer checking and score processing. However, this machine is quite expensive and not available for low budget academies. Moreover, the answer sheet for OMR machine is a specific. It is difficult to change an academy's answer sheet. This paper aims to develop an application for a multiple-choice answer sheet checking. The proposed method consists of two frameworks; 1) cross marker detection and 2) answer checking. For evaluation, Sakonnakorn Rajabhat University multiple-choice answer sheet (120 items and 5 choices) is implemented throughout in this experiment. The answer sheets are marked by 65 students; 40 volunteers and 25 students in class of computer and fundamental information technology. The effectiveness of cross marker detection (9,600 markers) provides 97% accuracy. For answer checking provides 100% accuracy.

Keywords: Multiple-choices answer sheet; Fourier Convolution; Support Vector Machine

1. บทนำ

เครื่องตรวจคำตอบแบบปรนัย (Optical Mark Recognition: OMR) โดยทั่วไปมีหลักการทำงานโดยการฉายลงบนกระดาษคำตอบ จากนั้นเซนเซอร์รับแสงจะตรวจจับการซึมซับของแสง โดยที่บริเวณที่ทำเครื่องหมายด้วยดินสอมีสารตะกั่วอ่อนซึ่งจะเกิดการสะท้อนแสง และทำการบันทึกตำแหน่งของเครื่องหมายไว้ [1, 2] จากนั้นจะเทียบคำตอบที่ฝนไว้ว่าตรงกับคีย์คำตอบที่ตั้งค่าว่าเป็นคำตอบที่ถูกต้องหรือไม่ เครื่อง OMR มีใช้กันในสถาบันการศึกษานานาชาติใหญ่ที่มีการสอบลักษณะนี้ในจำนวนมาก เช่น การสอบคัดเลือกเข้าศึกษาต่อ หรือ การสอบในรายวิชาที่มีผู้เรียนจำนวนมาก [3] อย่างไรก็ตามเครื่อง OMR ต้องใช้ต้นทุนสูงทำให้สถาบันการศึกษานานาชาติเล็กไม่สามารถลงทุนได้ [4] ด้วยเหตุผลความไม่คุ้มค่าต่อการใช้งาน นอกจากนี้หลายสถาบันการศึกษามีการใช้กระดาษคำตอบแบบกากบาทหลากหลายรูปแบบ จึงเป็นการสิ้นเปลืองในการเปลี่ยนรูปแบบของการดาษคำตอบ ดังนั้นการพัฒนาขั้นตอนวิธีสำหรับตรวจคำตอบแบบปรนัยเป็นสิ่งที่ทำนายต่อการคงรูปแบบการสอบทั้งในเรื่องกระดาษคำตอบ และวิธีการทำเครื่องหมายลงบนกระดาษคำตอบ เพื่อให้ผู้ใช้ไม่ต้องปรับเปลี่ยนพฤติกรรมในการทำข้อสอบ ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาโปรแกรมประยุกต์สำหรับการตรวจข้อสอบแบบปรนัย ด้วยวิธีการประมวลผลภาพ

การตรวจข้อสอบแบบปรนัยคือการค้นหาเครื่องหมายบนกระดาษคำตอบและนำไปเทียบตำแหน่งพิกัดกับคำตอบที่ถูกต้อง [1, 2, 4, 5] การค้นหาเครื่องหมายบนกระดาษคำตอบจึงเป็นประเด็นสำคัญที่จะให้ได้รับความแม่นยำในการตรวจคำตอบ พุดพิงศ์ [4] ได้นำเสนอการค้นหาเครื่องหมายแบบฝนจุดกลมด้วยเทคนิคบล็อกคัลเลอร์ริงและทฤษฎีเบย์เซียน (Block Coloring and Bayesian Theorem) โดยที่บล็อกคัลเลอร์ริงเป็นการระบุตำแหน่งพิกัด และทฤษฎีเบย์เซียนเป็นการตัดสินใจในการระบุระดับความสว่างของเครื่องหมายและคำนวณค่าขีดแบ่งระดับสีของตัวเลือกคำตอบ สำหรับเครื่องหมายแบบกากบาท พุทธินันท์ และ นุชนาฏ [5] นำเสนอวิธีการค้นหาเครื่องหมายกากบาทด้วยการศึกษาคุณลักษณะของกากบาท และใช้เทคนิคเพอร์สเป็คทีฟทรานส์ฟอร์ม (Perspective Transform) ในการแก้ปัญหาการเอียงผิดรูปของกากบาท อย่างไรก็ตามโปรแกรมตรวจข้อสอบส่วนใหญ่จะใช้กับกระดาษคำตอบแบบฝนที่มีต้นทุนสูง [3, 4] นอกจากนี้ปัญหาค่าความเอียงของกระดาษคำตอบ [5] และความหลากหลายของการทำเครื่องหมายกากบาท ทำให้ผลการตรวจยังมีข้อผิดพลาด การพัฒนาขั้นตอนวิธีการตรวจกระดาษคำตอบแบบปรนัยจึงยังคงมีความท้าทายในการเพิ่มความถูกต้องเพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานในสภาพแวดล้อมของการทำข้อสอบจริง

งานวิจัยนี้เสนอโปรแกรมประยุกต์สำหรับการตรวจข้อสอบแบบปรนัยที่ใช้เครื่องหมายกากบาท โดยแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ 1) การค้นหาเครื่องหมายกากบาทบนกระดาษคำตอบ และ 2) การตรวจคำตอบ สำหรับการค้นหาเครื่องหมายกากบาท ขั้นแรกจะทำการ

ค้นหาบริเวณที่คาดว่าจะจะเป็นเครื่องหมายกากบาทด้วยฟูเรียร์คอนโวลูชัน (Fourier Convolution) [6] จากนั้นใช้ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine) [7 – 11] สำหรับตรวจสอบความเป็นเครื่องหมายกากบาท ในส่วนของการตรวจคำตอบจะใช้การระบุตำแหน่งพิกัดในแต่ละข้อ และตัวเลือก สำหรับการวัดประสิทธิภาพ การดำเนินการทดลองได้นำกระดาษคำตอบแบบปรนัยของมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนครแบบ 120 ข้อ 5 ตัวเลือกมาใช้ในการทดสอบนี้ โดยแบ่งกลุ่มทดสอบเป็น 2 กลุ่มคือ อาสาสมัครจำนวน 40 คน และผู้เรียนวิชาคอมพิวเตอร์และสารสนเทศชั้นพื้นฐานจำนวน 25 คน โดยวัดค่าความแม่นยำ (Accuracy) ด้วยคอนฟิวชันเมตริกซ์ (Confusion Matrix)

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ฟูเรียร์คอนโวลูชัน (Fourier Convolution)

การแปลงฟูเรียร์ (Fourier Transformation) [6] สำหรับภาพดิจิทัลเป็นวิธีการแปลงสัญญาณภาพไปอยู่อีกโดเมนหนึ่ง ซึ่งมีบทบาทสำคัญกับการนำไปใช้ในงานการวิเคราะห์ภาพ (Analysis) การปรับปรุงภาพ (Enhancement) การสร้างภาพใหม่ (Restoration) และการบีบอัดภาพ (Compression) โดยการแปลงฟูเรียร์นิยามใน (1)

$$F(u,v) = \frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x,y) e^{-j2\pi(\frac{ux}{M} + \frac{vy}{N})} \quad (1)$$

โดยที่ภาพขนาด $M \times N$ จุดภาพ แทนด้วยฟังก์ชัน $f(x,y)$ (x และ y คือตำแหน่งของจุดภาพในหลักและแถวตามลำดับ) ซึ่ง $u=0,1,2,...,M-1$ และ $v=0,1,2,...,N-1$ สำหรับการแปลงฟูเรียร์แบบผกผันนิยามใน (2) โดยที่ $x=0,1,2,...,M-1$ และ $v=0,1,2,...,N-1$

$$f(x,y) = \sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{N-1} F(u,v) e^{j2\pi(\frac{ux}{M} + \frac{vy}{N})} \quad (2)$$

การคอนโวลูชัน (Convolution) ซึ่งเป็นกระบวนการของการกรองภาพ (image filtering) กำหนดให้ภาพ A และ B มีขนาด $M \times N$ แทนด้วยฟังก์ชัน $f(x,y)$ และ $h(x,y)$ ตามลำดับ การคอนโวลูชันจะนิยามด้วย $f(x,y) * h(x,y)$ ดังสมการที่ (3)

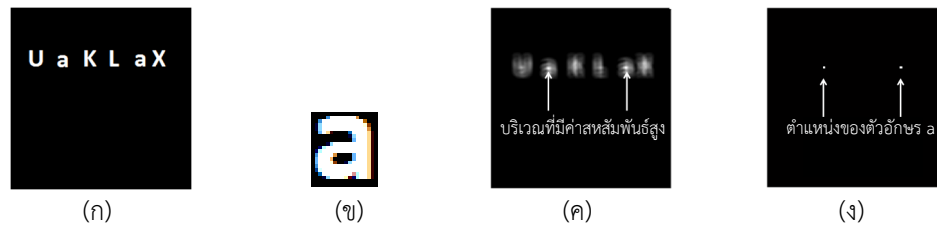
$$f(x,y) * h(x,y) = \frac{1}{MN} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} f(m,n) h(x-m,y-n) \quad (3)$$

การประยุกต์ใช้การแปลงฟูเรียร์ในงานวิจัยนี้จะใช้การคอนโวลูชันระหว่างภาพต้นฉบับกับแผ่นภาพ (Template) เพื่อหาค่าความสัมพันธ์ด้วยค่าสหสัมพันธ์ (Correlation) วิธีการนี้เรียกว่าฟูเรียร์คอนโวลูชัน (Fourier Covolution) กำหนดให้กำหนดให้ภาพ A เป็นภาพต้นฉบับ และ B เป็นแผ่นภาพ ซึ่งมีขนาด $M \times N$ แทนด้วยฟังก์ชัน $f(x,y)$ และ $h(x,y)$ ตามลำดับ ฟูเรียร์คอนโวลูชันนิยามโดยสมการที่ (4)

$$real [C(x,y)] = iFFT(FFT(f(x,y)) * FFT(h(x,y))) \quad (4)$$

โดยที่ FFT และ $iFFT$ เป็นการแปลงฟูเรียร์ และการแปลงฟูเรียร์แบบผกผันตามลำดับ เนื่องจากผลของการแปลงฟูเรียร์จะมีค่าเป็นจำนวนเชิงซ้อน (Complex Number) ดังนั้นค่าสหสัมพันธ์คือค่าแอมพลิจูด (Magnitude) ซึ่งเป็นจำนวนจริง

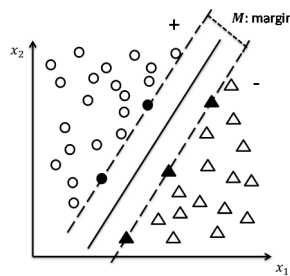
การระบุตำแหน่งตัวอักษรด้วยฟูเรียร์คอนโวลูชัน โดยที่ภาพที่ 1(ก) เป็นภาพต้นฉบับ และ ภาพที่ 1(ข) เป็นแผ่นภาพของตัวอักษร a ภาพที่ 1(ค) คือผลลัพธ์ของฟูเรียร์คอนโวลูชัน จะเห็นได้ว่าตำแหน่งที่เป็นตัวอักษร a จะมีค่าสหสัมพันธ์สูงสุด โดยมีค่าเท่ากับ 154 ซึ่งในภาพที่ 1(ง) ใช้ค่าขีดจำกัดเท่ากับ 140 แบ่งส่วนภาพที่ 1(ค) จะทำให้สามารถค้นหาตำแหน่งของตัวอักษร a ได้ ซึ่งฟูเรียร์คอนโวลูชันจะเป็นวิธีการพื้นฐานที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้ ดังตัวอย่างในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ตัวอย่างการค้นหาคำด้วยฟูเรียร์คอนโวลูชัน (ก) ภาพต้นฉบับ (ข) ภาพต้นฉบับ (ข) ภาพของตัวอักษร a (ค) ผลลัพธ์ของฟูเรียร์คอนโวลูชัน (ง) ตำแหน่งของตัวอักษร a

ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine)

ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine: SVM) เป็นตัวจำแนกเชิงเส้น (Linear Classifier) แบบ 2 คลาส ซึ่งเป็นที่ยอมรับถึงประสิทธิภาพของการจำแนกที่เหนือกว่าวิธีการจำแนกอื่นๆ [7 – 11] ข้อได้เปรียบของ SVM คือมีประสิทธิภาพในการจำแนกข้อมูลที่มีมิติจำนวนมากได้ นอกจากนี้การใช้ฟังก์ชันเคอร์เนล (Kernel Function) เพื่อแปลงข้อมูลไปยังมิติที่สูงขึ้นในปริภูมิคุณลักษณะ (Feature Space) สามารถจำแนกข้อมูลที่มีความคลุมเครือได้อย่างมีประสิทธิภาพ หลักการของ SVM คือการหาเส้นตรงที่มีมาร์จินที่โตที่สุด (Maximum Margin) ที่สามารถแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 คลาส ดังตัวอย่างในภาพที่ 2 เป็นข้อมูลขนาด 2 มิติ โดนถูกจำแนกออกเป็น 2 คลาส ได้แก่ + (○) และคลาส - (△) โดยเส้นตรงที่ใช้แบ่งข้อมูลมีมาร์จินเท่ากับ $M=2w$ ซึ่ง w เป็นความกว้างระหว่างเส้นตรงกับซัพพอร์ตเวกเตอร์ (Support vector) ของข้อมูลทั้ง 2 คลาส (● และ ▲)

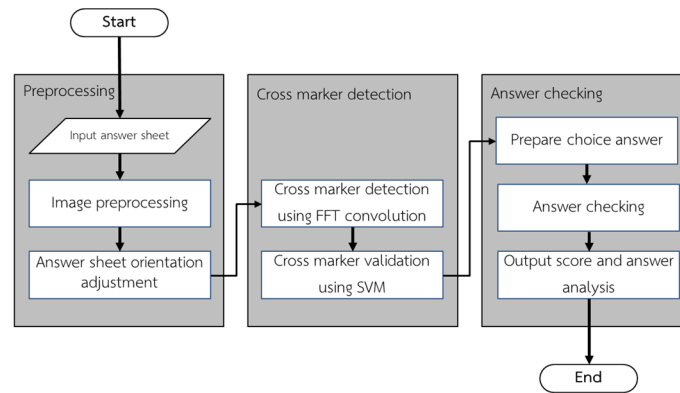


ภาพที่ 2 แสดงตัวอย่างของตัวแบบจำแนก SVM บนข้อมูลขนาด 2 มิติ

งานวิจัยส่วนใหญ่ในตัวจำแนก SVM มาใช้เพื่อรู้จำวัตถุที่สนใจในภาพดิจิทัล เช่น การรู้จำตัวอักษร (Character Recognition) [7 – 9] และ การรู้จำลายมือ (Handwritten Recognition) [10, 11] เป็นต้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งตัวอักษรที่มีลักษณะความคล้ายกัน โดย SVM ให้ผลที่ถูกต้องกว่าวิธีการเปรียบเทียบอื่นๆ

3. วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีวิจัยประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลักคือ 1) การนำเข้าข้อมูลและการประมวลผล 2) การค้นหาเครื่องหมายภาพด้วยการใช้ฟูเรียร์คอนโวลูชัน และซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน และ 3) การตรวจคำตอบ โดยแสดงให้เห็นดังภาพที่ 3



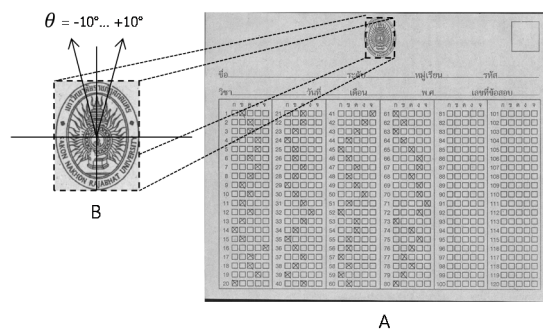
ภาพที่ 3 ภาพรวมของการดำเนินงาน

การนำเข้าข้อมูลและการประมวลผล (Image Preprocessing)

การนำเข้าข้อมูล (Image Input) คือการนำกระดาษคำตอบเข้าสู่การสแกนด้วยเครื่องสแกนแบบต่อเนื่องโดยใช้การป้อนกระดาษครั้งละ 10 ชุด โดยที่ขนาดของภาพอาจเปลี่ยนไปตามลักษณะการป้อนกระดาษ ซึ่งมีขนาดต่างกันไม่มาก

การประมวลผลภาพก่อนการทำงาน (Preprocessing) ขั้นตอนนี้เป็นปรับปรุงภาพกระดาษคำตอบเพื่อลดสัญญาณรบกวนในขั้นตอนการนำเข้าข้อมูลภาพ ซึ่งเกิดจากคุณภาพของกระดาษ อันดับแรกจะทำการกรองสัญญาณภาพ (Image Filtering) เพื่อลดสัญญาณรบกวนชนิด Pepper Noise ที่เกิดจากคุณภาพของกระดาษ ต่อมาการปรับตำแหน่งและความเอียงของกระดาษคำตอบ ในการนี้จะนำตราสัญลักษณ์ของมหาวิทยาลัยในกระดาษคำตอบ (ภาพที่ 4) ปรับตำแหน่งและความเอียงโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Coefficient Correlation) เป็นตัววัดในแต่ละมุมของการเอียง θ ครั้งละ 1° โดยเริ่มที่ $\theta = -10^\circ$ ถึง $+10^\circ$ เลือก θ ที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงสุดดังสมการที่ 5 ขั้นตอนสุดท้ายจะทำการแปลงภาพเป็นภาพแบบไบนารี (Binary Image) โดยค่าขีดจำกัด (Threshold) สำหรับการแปลงเมื่อทำการทดลองกับภาพที่ใช้ในการทดสอบพบว่ามีค่าเท่ากับ 178 ซึ่งจะทำให้ได้ผลทดลองที่ดีที่สุด

$$\theta = \arg \max_{\theta} [\text{correlation}(A, B)_{\theta}] \quad (5)$$



ภาพที่ 4 การปรับความเอียงของกระดาษคำตอบ

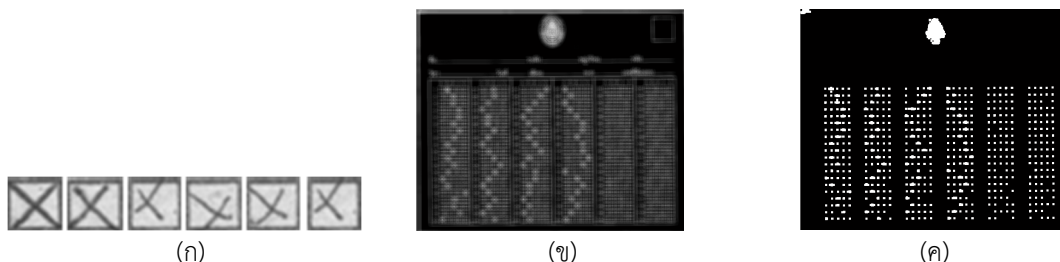
ตารางที่ 1 ขั้นตอนวิธีการค้นหาเครื่องหมายกากบาท

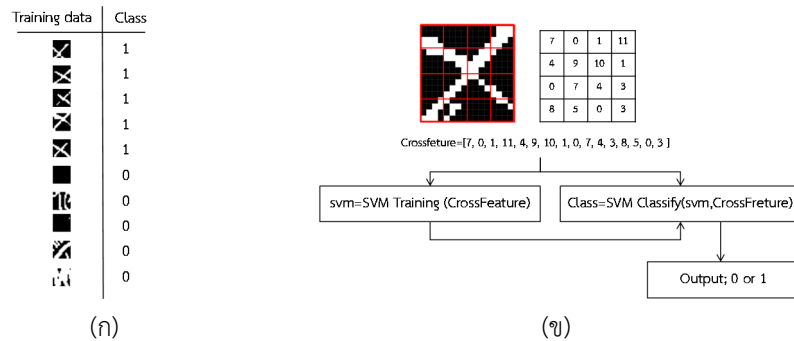
Algorithm 1: Cross marker candidate detection
Input: Answer sheet (A), cross template (B).
Output: Cross symbol point (C).
Method: 1: Read image (A);
 2: Let R be the FFTC results;
 3: Let $r = 0$ be initial result;
 4: **for** each $b_p, b_i \in B$ **do**
 5: $r = iFFT[FFT(A) \cdot FFT(b_i)]$;
 6: $R = r + r_i$;
 7: **end**
 8: **if** $R > th$ then, convert R to binary using threshold (th);
 9: $R = 1$;
 10: **else**
 11: $R = 0$;
 12: **end**
 13: Morphology dilation processing with R ;
 14: Find centroid of cross symbol candidate, C ;

การค้นหาเครื่องหมายกากบาท (Cross Marker Detection)

การค้นหาเครื่องหมายกากบาทแบบหยาบ เป็นขั้นตอนที่ให้ตำแหน่งของบริเวณที่คาดว่าจะเป็นกากบาท (Cross Marker Candidate) โดยใช้วิธีการฟูเรียร์คอนโวลูชัน (FFTC) ด้วยสมการที่ (4) ขั้นตอนของการทำงานแสดงในตารางที่ 1 โดยที่ B คือ เทมเพลตกากบาท (Cross Template) ที่ใช้สำหรับ FFTC กำหนดโดยผู้วิจัยด้วยการตัดภาพช่องตัวเลือกที่มีเครื่องหมายกากบาทขนาด 22×22 จุดภาพ ตัวอย่างดังภาพที่ 5(ก) A หมายถึงภาพกระดาษคำตอบ FFTC (บรรทัดที่ 4 – 7) จะประมวลผลกับทุก Cross Template และนำผลที่ได้มารวมกันแสดงดังภาพ 5 (ข) จากนั้นนำแปลงเป็นภาพไบนารีด้วยค่าขีดจำกัดจะได้บริเวณที่คาดว่าจะเป็เครื่องหมายกากบาท ดังภาพที่ 5(ค) เก็บข้อมูลค่าจุดศูนย์กลางของ (C) บริเวณดังกล่าวเพื่อใช้ในการคำนวณต่อไป

การตรวจสอบความเป็นกากบาท (Cross Validation) ด้วยเทคนิค SVM แบบ 2 คลาส ก่อนอื่นสร้างชุดข้อมูล ฝึก (Training Dataset) จากข้อสอบ 25 ชุด ที่ต่างลายมือและเลือกตัวอย่างข้อมูลชุดละ 10 ตัวอย่าง (คลาสละ 5 ภาพ) ขนาด 16×16 จุดภาพ (ภาพที่ 6(ก)) จากนั้นสกัดลักษณะเด่นของภาพ (Feature) ด้วยการใช้ผลรวมความหนาแน่น (Density) จุดภาพของภาพไบนารีขนาด 4×4 จุดภาพ จะได้ข้อมูลภาพขนาด 16 มิติ (ภาพที่ 6(ข)) ลำดับถัดมานำข้อมูลภาพของชุดฝึกเข้าสู่กระบวนการเรียนรู้โดย SVM เพื่อสร้างตัวแบบจำแนกขั้นถัดมาเป็นการสร้างชุดข้อมูลทดสอบ (Testing Dataset) โดยนำภาพที่คาดว่าจะเป็เครื่องหมายกากบาทไปสกัดลักษณะเด่นเช่นเดียวกับข้อมูลฝึก ขั้นสุดท้ายนำข้อมูลลักษณะเด่น เข้าสู่กระบวนการจำแนกด้วย SVM แบบ 2 คลาส

ภาพที่ 5 การทำ FFTC (ก) ตัวอย่างของ Cross Template (ข) ผลของการทำ FFTC และ (ค) ภาพไบนารีด้วยค่าขีดจำกัด (th)



ภาพที่ 6 การยืนยันเครื่องหมายกากบาท (ก) ตัวอย่างของชุดข้อมูลฝึก (Training Data) (ข) การสกัดลักษณะเด่นของเครื่องหมายกากบาท (Cross Feature)

การตรวจคำตอบ

การตรวจคำตอบแบ่งออกเป็นขั้นตอนหลักๆ คือ 1) การตรวจสอบหมายเลขข้อของคำตอบ 2) การตรวจสอบความผิดพลาดในกรณีที่มีการกากบาทเกินหนึ่งตัวเลือกในหนึ่งข้อ 3) การตรวจคำตอบและการรวมคะแนน การตรวจคำตอบจะนำตำแหน่งบนแกน x และ y ของกากบาทเทียบกับตำแหน่งที่ถูกต้องด้วยระยะทางที่สั้นที่สุดโดยวิธียูคลิดีเนียน (Euclidian Distance) ซึ่งจะต้องทำการตรึงพิกัดกระดาษคำตอบด้วยตราสัญลักษณ์ของมหาวิทยาลัยเพื่อลดความคลาดเคลื่อนของการดาษคำตอบ โดยขั้นตอนการตรวจสอบหมายเลขข้อของคำตอบแสดงในตารางที่ 2 (Algorithm 2) โดยที่ $C_i = (x, y)_i ; i = 1..120$ คือพิกัดของกากบาทจากการค้นหาเครื่องหมายกากบาท $S = [i \ j]$ คือผลเฉลยข้อสอบ $i = 1..120$ คือหมายเลขข้อ และ $j = \{1, 2, 3, 4, 5\}$ คือตัวเลือก (ก, ข, ค, ง และ จ), M_k คือแผนที่พิกัดของกระดาษคำตอบสำหรับใช้ตรวจสอบหมายเลขข้อและตัวเลือกมีรูปแบบดังนี้ $[x_{ij} \ y_{ij} \ i \ j]_{k=1..600}$ โดยที่ x_{ij} และ y_{ij} คือพิกัดบนแกน x และ y ของข้อที่ $i = 1..120$ และตัวเลือกที่ $j = \{1, 2, 3, 4, 5\}$

การวัดประสิทธิภาพ

ชุดกระดาษคำตอบที่ใช้ในการทดสอบแบ่งเป็นสองชุดคือ กระดาษคำตอบที่ทำเครื่องหมายโดยอาสาสมัคร (Answer Sheet 1) เป็นนักศึกษาจากสาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศจำนวน 40 คน คณะหญิง-ชาย แบ่งการทดลองออกเป็นสามชุดได้แก่ 40 ข้อ 80 ข้อ และ 120 ข้อ โดยมีการควบคุมการทำเครื่องหมายสองประการ ได้แก่ 1) กากบาทมากกว่าสองตัวเลือกในหนึ่งข้อ และ 2) มีการลบและการขีดฆ่า และกระดาษคำตอบที่ทำเครื่องหมายโดยนักศึกษาที่เรียนวิชาคอมพิวเตอร์สารสนเทศชั้นพื้นฐานปีการศึกษา 2/2553 จำนวน 25 คน (Answer Sheet 2) ซึ่งในกระดาษคำตอบชุดนี้เป็นการทำข้อสอบจริง ไม่มีการควบคุมการทำเครื่องหมายใดๆ ในการนี้เครื่องมือในการวัดประสิทธิภาพจะใช้การวัดค่าความแม่นยำด้วยคอนฟิวชันเมตริกซ์คำนวณได้ตามตารางที่ 3 โดยใช้ค่าความแม่นยำ (Accuracy) ตามสมการที่ (6) – (8) โดยที่ TP คือจำนวนกากบาทที่ค้นหาได้ถูกต้อง TN คือจำนวนวัตถุที่ไม่ใช่กากบาทที่ค้นหาได้ถูกต้อง FP คือจำนวนกากบาทที่ค้นหาได้แต่ไม่ใช่กากบาท และ FN คือจำนวนของกากบาทที่ค้นหาไม่ได้

ตารางที่ 2 ขั้นตอนวิธีการตรวจคำตอบ

Algorithm 2: Check answer	
Input: Coordinate of cross symbol $C_i = (x,y)_i$.	
Output: Score R .	
Method: 1: Create correct answer $S_i = [i \ j]$;	
2: Create coordinate answer mapping $M_k = [x_{i,j} \ y_{i,j} \ i \ j]_{k=1...600}$	
3: Let $A = []$;	
4: for each C_i do	
5: $k = \arg \min_k [Euc(C_i, M_k)]$;	
6: $A_i = M_k$;	
7: end	
8: Let $R = 0$;	
9: for each A_i do	
10: if $A_i(4) == S_i(4)$	
11: $R = R+1$;	
12: end	
13: end	

ตารางที่ 3 คอนฟิวชันเมตริกซ์ (Confusion Matrix)

		Predicted class	
		Yes	No
Actual class	Yes	TP	FN
	No	FP	TN

$$Accuracy = \frac{TP+TN}{TP+FN+FP+TN} \quad (6)$$

$$Precision = \frac{TP}{TP+FP} \quad (7)$$

$$Recall = \frac{TP}{TP+FN} \quad (8)$$

4. ผลการทดลอง

การค้นหาเครื่องหมายกากบาท

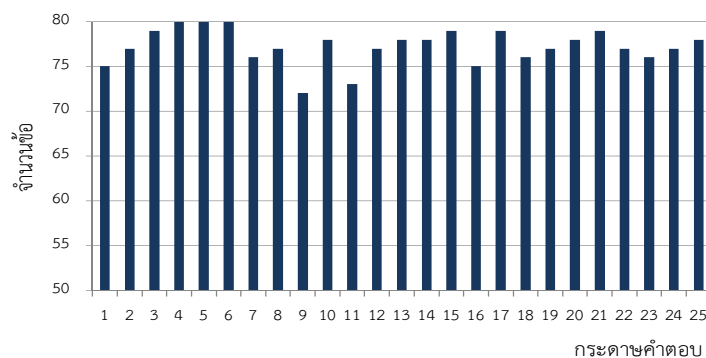
การทดลองบนชุดกระดาศคำตอบ Answer Sheet 1 จำนวน 9,600 ข้อ พบว่าสามารถค้นหาเครื่องหมายกากบาทถูกต้อง (TP) จำนวน 9,211 ข้อ จำนวนของกากบาทที่ไม่สามารถค้นหาได้ (FN) จำนวน 185 ข้อ ค้นหาวัตถุที่ไม่ใช่กากบาท (เครื่องหมายอื่นๆ เช่น รอยลบ รอยขีดฆ่า เป็นต้น) (TN) จำนวน 10 ข้อ และจำนวนกากบาทที่ค้นหาได้แต่ไม่ใช่กากบาท (FP) 115 ข้อ ในส่วนของ Answer Sheet 2 จำนวน 2,000 ข้อ ได้ผลการค้นหาดังนี้ TP=1,931, FN=70, TN=0 และ FP=9

การประเมินประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีที่นำเสนอ ผลการทดสอบให้ค่าความแม่นยำ (Accuracy) ของขั้นตอนวิธีอยู่ที่ 97% โดยขั้นตอนวิธีการค้นหาเครื่องหมายกากบาทมีความสามารถในการค้นหากากบาทเจอ (Precision) ถึง 99% ในส่วนของอัตราความถูกต้องของขั้นตอนวิธีมีความสามารถค้นหาถูกต้อง (Recall) 98% ซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพความทนทานต่อความแปรปรวนต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากการทำข้อสอบโดยกลุ่มผู้ใช้จำนวน 65 คน เช่น รูปทรง และขนาดของกากบาท รอยขีดฆ่า และรอยลบจากน้ำยาลบคำผิด เป็นต้น เวลาในการประมวลผลโดย MATLAB R2014, Intel Core2Duo E8400 3.00 GHz, RAM 4 MB ใช้เวลาประมาณ 9 วินาที ต่อชุด ขึ้นอยู่กับขนาดของกระดาศคำตอบที่สแกน ประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีแสดงไว้ในตารางที่ 4

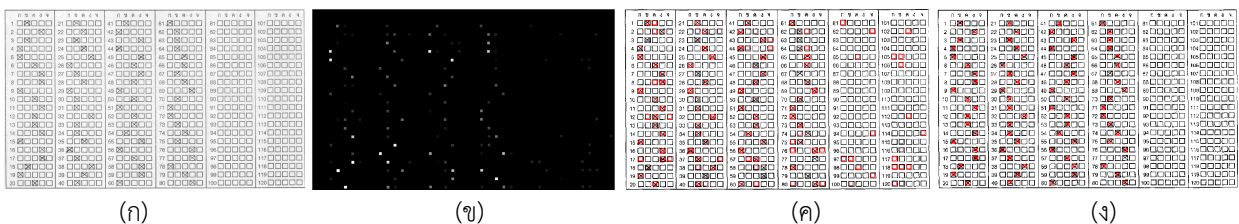
ตารางที่ 4 ผลการทดลองการค้นหาเครื่องหมายกากบาท

	Answer Sheet 1			Answer Sheet 2	รวม
	40 ข้อ	80 ข้อ	120 ข้อ	80 ข้อ	
Accuracy	0.9795	0.9722	0.9621	0.9603	0.9686
Precision	0.9857	0.9880	0.9879	0.9944	0.9891
Recall	0.9935	0.9837	0.9735	0.9654	0.9791
Computation time (s)	11.54 ± 1.67	8.69 ± 1.90	9.46 ± 1.21	7.74 ± 1.34	9.35 ± 1.68

ภาพที่ 7 แสดงผลลัพธ์ของการค้นหาเครื่องหมายกากบาทบน Answer Sheet 2 โดยแสดงจำนวนข้อที่ค้นหาเครื่องหมายกากบาทเจอในแต่ละชุดกระดาษคำตอบ จากภาพข้อสอบจะเห็นได้ว่าชุดที่ 4, 5 และ 6 ให้ผลการค้นหาถูกต้องทั้งหมด ในขณะที่ข้อสอบชุดที่ 1, 9, 11 และ 16 จะเห็นได้ว่ามีความผิดพลาดในการค้นหากากบาทที่ต่ำกว่า 75 ข้อ (จาก 80 ข้อ) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นผลมาจากการทำเครื่องหมายกากบาทที่ผิดรูปทรงไปจากปกติ และการทำเครื่องหมายที่ไม่ชัดเจนจนทำให้เกิด FN และรอยขีดฆ่าจากผู้ทำข้อสอบทำให้เกิด FP ภาพที่ 8 แสดงตัวอย่างของการค้นหาเครื่องหมายกากบาท โดยจะทำการแก้ไข (ภาพที่ 8(ก)) ก่อน จากนั้นใช้ FFTC ค้นหากากบาทแบบหยาบ (ภาพที่ 8(ข-ค)) สุดท้ายจะทำการจำแนกข้อมูลด้วย SVM สำหรับการยืนยันเครื่องหมายกากบาท (ภาพที่ 8(ง) แสดงโดยกรอบสี่เหลี่ยมสีแดง)



ภาพที่ 7 ผลการค้นหาเครื่องหมายกากบาทบนชุดข้อสอบ Answer Sheet 2

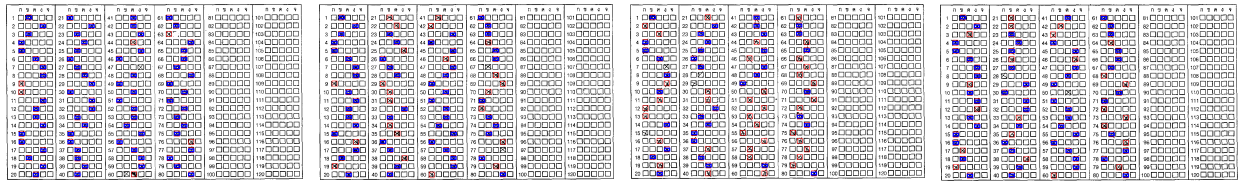


ภาพที่ 8 ตัวอย่างของการค้นหาเครื่องหมายกากบาท (ก) ภาพต้นฉบับที่มีแก๊เอียงแล้ว (ข) ภาพผลลัพธ์ของการทำ FFTC (ค) เครื่องหมายที่คาดว่าจะเป็นกากบาท (ง) ผลลัพธ์การค้นหาเครื่องหมายกากบาท

การตรวจคำตอบ

การตรวจคำตอบใช้วิธีการเทียบตำแหน่งพิกัดระหว่างข้อที่ถูกต้องกับคำตอบจากกระดาษคำตอบผลลัพธ์ที่ได้พบว่าความถูกต้อง 100% โดยวัดจากเครื่องหมายกากบาทที่ค้นหาได้ ในการนี้ความถูกต้องในการตรวจคำตอบที่มีประสิทธิภาพถึง 100% เกิดมาจากการแก้ความเอียงของกระดาษคำตอบ ทำให้ตำแหน่งของเครื่องหมายกากบาทมีความคลาดเคลื่อนไปจากตำแหน่งของคำตอบที่ถูกต้องน้อยมาก

ดังตัวอย่างในภาพที่ 9 แสดงผลการตรวจข้อสอบจากชุดข้อสอบ Answer Sheet 2 จำนวน 4 ตัวอย่าง ในกรอบสี่เหลี่ยมสีแดงคือ เครื่องหมายกากบาทที่ค้นหาได้ และคำตอบที่ตอบถูกแสดงในกรอบสี่เหลี่ยมสีน้ำเงิน



ภาพที่ 9 ตัวอย่างผลการตรวจคำตอบในชุดข้อสอบ Answer Sheet 2

5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้แนะนำเสนอโปรแกรมประยุกต์สำหรับการตรวจข้อสอบแบบปรนัยด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ โดยมีการทำงานสองส่วนหลักคือ 1) การค้นหาเครื่องหมายกากบาท และ 2) การตรวจคำตอบ ผลการทดลองได้ดำเนินการบนชุดข้อสอบ 2 ชุด ได้แก่ชุดข้อสอบจากอาสาสมัคร และนักศึกษาที่เรียนวิชาคอมพิวเตอร์สารสนเทศชั้นพื้นฐานปีการศึกษา 2/2553 ประสิทธิภาพของวิธีการที่นำเสนอให้ผลความแม่นยำของการค้นหาเครื่องหมายกากบาท ที่ 97% และ ให้ผลความแม่นยำในการตรวจคำตอบที่ 100% โดยใช้เวลาในการประมวลผลต่อข้อสอบ 1 ชุด ประมาณ 9 วินาที (MATLAB R2014, Intel Core2Duo E8400 3.00 GHz, RAM 4 GB)

จากการศึกษาการทดลองพบว่าพฤติกรรมของการทำเครื่องหมายกากบาทของแต่ละคนมีความแปรปรวนค่อนข้างสูง ทั้งขนาด รูปร่าง ความเอียง และน้ำหนักของการเขียนทำให้เกิดความผิดพลาดของการค้นหา จากการตรวจสอบพบว่าการสกัดคุณลักษณะของเครื่องหมายกากบาทเพื่อนำไปฝึกสอนให้กับตัวแบบ SVM เป็นวิธีที่จะเพิ่มความถูกต้องของการค้นหา ซึ่งสามารถนำไปปรับปรุงประสิทธิภาพในการค้นหาต่อไป

การพัฒนาเทคนิคสำหรับการตรวจข้อสอบแบบปรนัยที่นำเสนอให้ผลลัพธ์ที่มีความแม่นยำสูง มีประสิทธิภาพในการค้นหาเครื่องหมายกากบาทและการตรวจคำตอบที่มีความผิดพลาดในด้านความเอียงของที่เกิดจากสแกน และความแปรปรวนต่อลักษณะของกากบาท ในการนำวิธีการที่นำเสนอสามารถที่จะนำไปพัฒนาต่อยอดเพื่อใช้งานจริง สามารถปรับให้เข้ากับรูปแบบของกระดาษคำตอบของแต่ละสถาบันการศึกษาได้ ซึ่งผู้วิจัยจะดำเนินการพัฒนาโปรแกรมสำหรับการประมวลผล และการจัดเก็บคะแนนสอบต่อไปในอนาคต

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากกองทุนสนับสนุนงานวิจัยสำหรับบุคลากร มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร งบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2554 และขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนครที่สนับสนุนสถานที่และเครื่องมือสำหรับทำวิจัย

7. References

- [1] S. Gaikwad, Image Processing Based OMR Sheet Scanning, IJARECE. 4 (2015) 519 – 522.
- [2] E. Gershikov, S. Kosolapov, On Image Based Fast Feedback Systems for Academic Evaluation, IJSPS. 3 (2015) 19 – 24.
- [3] R. Vorravate-precha, The Marketing Strategy to Increase Sales Volume of Exam Scan of Siamjundee Part Ltd. Khon Kaen province, Master of Business Administration, Khon Kaen University, Khon Kaen, 2013.
- [4] P. Pengsiri, Multiple Choice Answer Sheet Marking Using Block Coloring and Bayesian Theorem, M.Sc. (Computer Science), Chiang Mai University, Chiang Mai, 2009.

- [5] P. Putgrajang, N. Sattayakawee, Objective Test Grading System on Android Operating System, B.Eng. (Computer Engineering), Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom, 2012.
- [6] R. Gonzalez, R. Woods, Digital Image Processing, 3rd Edition, Prentice Hall, New Jersey, 2009.
- [7] P. Pimonrat, Character Recognition Using Correlation Coefficient and Support Vector Machine, M.Eng. (Computer and Electronics), Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathum Thani, 2011.
- [8] P. Phuangsuwan, T. Boriboon, Hand Written Thai Characters Recognition for Mobile Phone, Proceedings of 10th NCCIT, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, 8 – 9 May 2014, 491 – 496.
- [9] P.W. Frey, D.J. Slate, Letter Recognition Using Holland-style Adaptive Classifiers, ML. 6 (1991) 161 – 182.
- [10] H. Suwanwivat, V. Nguyen, M. Blumenstein, U. Pal, Off-line handwritten Thai name recognition for student identification in an automated assessment system, The International Joint Conference on Neural Networks 2014, Beijing, 6 – 11 July 2014, 2347 – 2353.
- [11] M. Jangid, R. Dhir, R. Rani, K. Singh, SVM classifier for recognition of handwritten devanagari numeral, The International Conference on Image Information Processing 2011, Jaypee University of Information Technology, 3 – 5 Nov 2011, 1 – 5.