

การจำแนกรูปร่างกายเพศหญิงด้วยเทคนิคฮิสโตแกรมของการไล่ระดับสีที่มุ่งเน้น

Female Shape Classification with Histogram of Oriented Gradient Technique

ชารินทร์ คันทะมูล¹ และ วุฒิพงษ์ เรือนทอง²

¹คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก

²ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก

Emails: charineek56@nu.ac.th, wutipongr@nu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาโปรแกรมสำหรับจำแนกประเภทรูปร่างกายมนุษย์เพศหญิง จากภาพถ่ายที่กำหนดให้ ซึ่งรูปร่างกายของเพศหญิงนั้น แบ่งเป็น 4 ประเภทดังนี้ ทรงกล้วย แอปเปิ้ล ลูกแพร์ และนาฬิกาทราย แนวคิดหลักของงานวิจัยคือ การใช้เทคนิคฮิสโตแกรมของการไล่ระดับสีที่มุ่งเน้น (HOG: histogram of oriented gradient) ดึงคุณสมบัติของภาพถ่ายบุคคล เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการสร้างโมเดลการเรียนรู้ของเครื่องจักร โดยเลือกเฉพาะข้อมูลจากทิศทางของการไล่ระดับสีที่เหมาะสมในการนำมาสร้างเป็นโมเดลการจำแนกงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม MATLAB เป็นเครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์ค่า HOG ของภาพถ่าย และใช้โปรแกรม Weka สำหรับการสร้างโมเดลการจำแนกด้วยอัลกอริทึม SVM/SMO และทำการทดสอบความถูกต้องของโมเดลแบบ cross-validation fold 10 และโมเดลมีความถูกต้องเท่ากับ 76.25%

ABSTRACT

This research aims to develop an application for classification of female body shapes from an input image. Normally, female body shapes can be classified into 4 types: banana, apple, pear and hourglass. The main idea of this research is to use HOG: Histogram of oriented gradient technique for images features extraction. Information from HOG is used as a training dataset for a classification model construction with Machine Learning. Since information from HOG is huge, we select only some direction of HOG which effects to

a good result. We used MATLAB as image analyzing tool for HOG extraction and WeKa with SVM/SMO for classification model construction. The correctness of model is 76.25%, cross-validation fold 10.

คำสำคัญ--HOG:ฮิสโตแกรมของการไล่ระดับสีที่มุ่งเน้น;การประมวลผลภาพ;การทำเหมืองข้อมูล

1. บทนำ

โครงสร้างรูปร่างของมนุษย์เรา นอกจากจะได้รับมรดกตกทอดมาจากคุณพ่อคุณแม่หรือบรรพบุรุษแล้ว อุปนิสัยการรับประทานอาหารและวิถีการใช้ชีวิตประจำวันก็เป็นปัจจัยที่สำคัญในการทำใหรูปร่างของเราแตกต่างกันไป การแต่งกายตามรูปร่างให้เหมาะสมกับแต่ละคนนั้นเป็นเรื่องสำคัญ ผู้หญิงส่วนใหญ่มักจะมีนิสัยที่รักสวย รักงามกันทุกคน สิ่งที่จะทำให้ผู้สวมใส่ดูดีคือการวัดขนาด ไหล่ - เอว - สะโพก เพื่อให้ทราบสรีระรูปร่างของตนเองเป็นข้อมูลในการเลือกซื้อชุดที่เหมาะสมให้แก่ผู้สวมใส่ทำให้ดูสง่างามและออกมาดูดีที่สุดในปัญหาหลักคือการไม่ทราบแม่น้รูปร่างของตนเอง รูปร่างของแต่ละคนนั้นต่างกัน โดยจะมีการแบ่งประเภทออกเป็น 4 ประเภท 1) หุ่นทรงลูกแพร์ 2) หุ่นทรงแอปเปิ้ล 3) หุ่นทรงนาฬิกาทราย และ 4) หุ่นทรงกล้วย ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการจำแนกรูปร่างกายโดยมาประยุกต์ใช้กับระบบคอมพิวเตอร์ จึงศึกษาหาความรู้ ก็ได้ทราบว่ามีการพัฒนาเกี่ยวกับเรื่องจำแนกรูปร่างตามรูปทรง 4 ประเภท โดยระบบเดิมใช้วิธีการกรอกข้อมูลวัดตามสัดส่วนแล้วจึงประมวลผลออกมา วิธีระบบเดิมนี้สามารถทำได้จริง แต่จะเกิดความยุ่งยากในการกรอกข้อมูลอาจจะทำให้ผิดพลาดได้ จึงคิดจะใช้เทคนิคใหม่เพื่อมาทดแทนระบบกรอกข้อมูลแบบเดิม โดยจะใช้เทคนิค

การประมวลผลภาพจากภาพถ่าย Image Processing เข้ามา โดยจะวิเคราะห์จากการหาฮิสโตแกรมของการไล่ระดับสี HOG (Histogram of oriented gradients) ซึ่งเป็นเทคนิคที่นิยมใช้ในการตรวจจับวัตถุการเกิดขึ้นของการวางแนวการไล่ระดับสี ในส่วนที่ทิศทางมีการแปลของภาพ รูปร่างภายในภาพที่สามารถอธิบายได้ด้วยการกระจายของการไล่ระดับสีเข้มหรือเส้นทางขอบ ภาพจะถูกแบ่งออกเป็นทิศทางที่เกี่ยวข้องกันเล็ก ๆ เรียกว่า เซลล์และสำหรับพิกเซลในแต่ละเซลล์กราฟทิศทางการไล่ระดับสี ได้ค่าทิศทางจะรวบรวมทำการประมวลผลภาพเปรียบเทียบได้ผลลัพธ์ออกมาโดยมีการใช้เทคนิค SVM (Support Vector Machine) คืออัลกอริทึมในการคัดแยกประเภทรูปร่าง ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลและจำแนกข้อมูล อาศัยหลักการของการหาสัมประสิทธิ์ของสมการเพื่อสร้างเส้นแบ่งแยกกลุ่มข้อมูลที่ถูกป้อนเข้าสู่กระบวนการโดยเน้นไปยังเส้นแบ่งแยกและกลุ่มข้อมูลได้ดีที่สุด ซึ่งจะทำให้ระบบการประมวลผลนี้เป็นอีกหนึ่งอย่างที่จะช่วยในพัฒนาระบบทำให้เทคโนโลยีนั้นก้าวไปอีกขั้น จากข้อมูลที่กำลังมาข้างหน้า ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการพัฒนาโปรแกรมจำแนกประเภทร่างกายมนุษย์จากภาพถ่าย (Human Body Classification from Image) จำแนกประเภทร่างกายของมนุษย์ที่แตกต่างกันเพื่อแนะนำแต่งกายที่เหมาะสมกับรูปร่างแต่ละประเภท

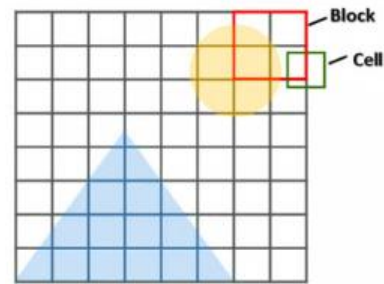
วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- เพื่อพัฒนาระบบโปรแกรมสำหรับวิเคราะห์จำแนกรูปร่างร่างกายมนุษย์จากภาพถ่าย
- เพื่อแนะนำเสื้อผ้าและเครื่องแต่งกายให้เหมาะสมกับรูปร่าง

2. ทฤษฎี หลักการ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เทคนิคฮิสโตแกรมของวางไล่ระดับสี

HOG (Histograms of Oriented Gradients) [4] คุณลักษณะที่ใช้ในคอมพิวเตอร์เพื่อการประมวลผลภาพที่นิยมใช้ในการตรวจจับวัตถุการดึงลักษณะเด่นของภาพ แบบค่าความถี่ของทิศทางตามค่าเกรเดียนต์ เป็นวิธีการดึงลักษณะรูปร่างภายในภาพโดยใช้การกระจายตัวของความเข้ม เกรเดียนต์ หรือทิศทางของเส้นขอบโดยใช้วิธีการแบ่งภาพออกเป็นเซลล์ (Cell) เล็กๆ ในแต่ละเซลล์นั้นจะประกอบด้วยทิศทางค่า เกรเดียนต์ ซึ่งถูกเก็บไว้ในรูปแบบของฮิสโตแกรมที่อธิบายคุณลักษณะวัตถุที่อยู่ในเซลล์ แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1. การแบ่งภาพเป็น เซลล์และบล็อก

2.2 ซัพพอร์ทเวกเตอร์แมชชีน

SVM [5] เป็นอัลกอริทึมที่สามารถนำมาช่วยแก้ปัญหาการจำแนกข้อมูล ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลและจำแนกข้อมูล โดยอาศัยหลักการของการหาสัมประสิทธิ์ของสมการเพื่อสร้างเส้นแบ่งแยกกลุ่มข้อมูลที่ถูกป้อนเข้าสู่กระบวนการสอนให้ระบบเรียนรู้ โดยเน้นไปยังเส้นแบ่งแยกและกลุ่มข้อมูลได้ดีที่สุด จุดมุ่งหมายของตัวแบบ SVM คือการประโยชน์สูงสุดจาก ระนาบหลายมิติที่แบ่งแยกกลุ่มของเวกเตอร์ในกรณีนี้ด้วยหนึ่งกลุ่มของตัวแปรเป้าหมายที่อยู่ข้างหนึ่งของระนาบ และกรณีของกลุ่มอื่นที่อยู่ทางระนาบต่างกัน ซึ่งเวกเตอร์ที่อยู่ข้างระนาบหลายมิติทั้งหมดเรียกว่า ซัพพอร์ทเวกเตอร์

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การพัฒนาหุ่นท่าแบบตัดสำหรับสตรีรูปร่างสมบูรณ์ [6] การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ คือ ศึกษาขนาดสัดส่วนและลักษณะโครงสร้างรูปร่างของสตรีรูปร่างสมบูรณ์กำหนดขนาดตัวมาตรฐานของสตรีรูปร่างสมบูรณ์ และทำหุ่นแบบตัดสำหรับสตรีรูปร่างสมบูรณ์ กลุ่มตัวอย่างคือ นักทำแบบตัดเสื้อผ้าสตรี และนักศึกษาสาขาวิชาสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่มหรือสาขาอื่นๆที่เกี่ยวข้องรวมทั้งสิ้น 50 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วยแบบสอบถามประเมินความพึงพอใจหุ่นท่าแบบตัดสำหรับสตรีรูปร่างสมบูรณ์สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล คือ ค่าเฉลี่ย ค่าร้อยละ และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการวิจัยพบว่า ตั้งแต่ปี 2524-2551 ขนาดสัดส่วนและลักษณะโครงสร้างรูปร่างของสตรีรูปร่างสมบูรณ์นี้เป็นขนาดเริ่มต้น คือ ขนาด 38 รูปร่างสมบูรณ์สามารถแบ่งได้หลากหลายตามชื่อเรียก โดยสามารถนำมาจัดหมวดหมู่ของชื่อเรียกที่มีลักษณะเหมือนกัน ได้ 4 ลักษณะ ดังนี้

1. โครงสร้างรูปร่างทรงตรง (Banana) คือลักษณะรูปร่างตรง ออก เอว และสะโพกเท่ากัน

2. โครงสร้างรูปร่างทรงแอปเปิ้ล (Apple) คือลักษณะไหล่ตั้งใหญ่กว้างและสะโพกแบนบาง

3. โครงสร้างรูปร่างทรงลูกแพร์ (Pear) คือสะโพกมีขนาดใหญ่กว่าหน้าอกและมีรอบเอว

4. โครงสร้างรูปร่างทรงนาฬิกาทราย (Hourglass) คือความกว้างของไหล่เท่ากับสะโพก เอวเล็ก

การรู้จักท่ามือภาษามือไทยโดยใช้ค่าความถี่ของทิศทางตามค่าเกรเดียนท์ [7] ร่วมกับการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก และซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Thai Hand Shape Recognition Using HOG - PCA and SVM) มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอขั้นตอนวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพการรู้จำท่ามือภาษามือไทย โดยใช้ค่าความถี่ของทิศทางตามค่าเกรเดียนท์ (Histograms of Oriented Gradients Algorithm: HOG) ในการสกัดคุณลักษณะของรูปภาพท่ามือในภาษามือไทย จากนั้นใช้ การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal component analysis: PCA) ทำการแปลงโครงสร้างเมตริกซ์ คำนวณหาไอเกนเวกเตอร์ ที่สอดคล้องกันกับค่าไอเกน เลือกเอาเฉพาะส่วนที่เป็นนัยสำคัญเพื่อลดขนาดมิติของข้อมูล เพื่อนำไปประมวลผลการรู้จำด้วยวิธีการ ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine:SVM) แบบเรเดียลเบสิสฟังก์ชันเคอร์เนล (Radial BasisFunction : RBF) โดยทดลองกับชุดข้อมูลรูปถ่ายท่ามือภาษามือไทยที่จัดทำขึ้นจำนวน 710 ภาพ ซึ่งประกอบด้วยท่ามือจากผู้แสดงจำนวน 5 คน คนละ 142 ท่า ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการรู้จำได้โดยมีค่าความถูกต้องในการรู้จำสูงสุดร้อยละ 96

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาค้นคว้าแนวทางทฤษฎี เอกสารต่าง ๆ ของงานที่เกี่ยวข้อง

2. รวบรวมข้อมูลรูปภาพกลุ่มตัวอย่าง

3. วิเคราะห์ออกแบบระบบงานของโปรแกรม

4. ออกแบบหน้าโปรแกรมจำแนกด้วยโปรแกรม Matlab

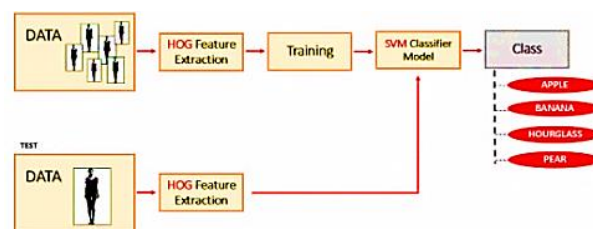
5. ทดสอบระบบและแก้ไขข้อบกพร่องของโปรแกรมการจำแนกประเภทร่างกาย

6. ประเมินผลการทำงานของโปรแกรมโดยนำไปทดสอบการใช้งาน

7. จัดทำเอกสารคู่มือการใช้งานโปรแกรมและสรุปผลการดำเนินงาน

4. ผลการดำเนินงาน

4.1. ผลการวิเคราะห์และออกแบบระบบโปรแกรม



รูปที่ 2. ภาพรวมของระบบการทำงาน

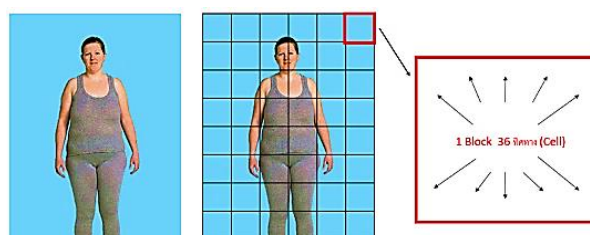
ภาพแนวคิดโดยรวมของกระบวนการทั้งหมดแสดงดังรูปที่ 2

โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. รวบรวมข้อมูลประเภทร่างกายกลุ่มตัวอย่าง 4 ประเภท ประเภทละ 20 รูป รวมข้อมูลรูปภาพตัวอย่างทั้งหมด 80 รูป โดยข้อมูลรูปทรงร่างกายจะต้องเป็นไปตามข้อจำกัด ดังนี้

- รูปนิ่ง
- รูปร่างกายหน้าตรงและชุดสวมใส่รัดรูป
- รูปที่มีสีพื้นหลังสีขาว

2. นำข้อมูลกลุ่มตัวอย่างมาใช้งานบนโปรแกรม MATLAB เพื่อหา Feature โดยเลือกใช้เทคนิค HOG เข้ามาสนับสนุนในการดึง Feature ของรูปภาพร่างกายออกมา ตามหลักการการทำงานของเทคนิคฮิสโตแกรมของการวางไล่ระดับสี ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3. หลักการทำงานของเทคนิค HOG

จำนวน Block ของแต่ละรูปจะมีจำนวนบล็อกไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับขนาดของรูปและการกำหนด cellSize ในคำสั่ง โดยจะคำนวณได้จาก

ความกว้างของรูป x ความสูงของรูป

cellSize

- เทคนิค HOG ประมวลผลภาพในการตรวจจับวัตถุการดึงลักษณะเด่นของภาพ แบบค่าความถี่ของทิศทางทั้งหมด 36 ทิศทาง ในแต่ละ 1 Block นั้นจะมีทิศทาง 36 ทิศทาง กระจายภายใน Block

- โดยที่เทคนิค HOG จะมีฟังก์ชันที่ชื่อว่า vl_hog เป็นฟังก์ชันสนับสนุนในการทำงานของเทคนิค HOG ทั้งนี้จึงต้องทำการโหลดฟังก์ชัน vl_hog เพื่อทำงานคู่กับการเขียนคำสั่ง HOG บนโปรแกรม MATLAB

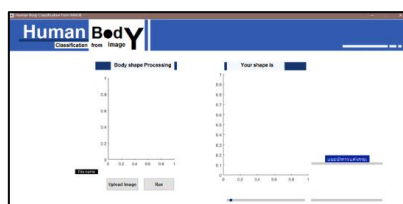
3. จะได้ค่าที่หาโดยเทคนิค HOG ของรูปภาพออกมาในรูปแบบไฟล์ Excel แล้วกำหนด Class และกำหนดตำแหน่ง (Block) ให้กับข้อมูลที่ได้

4. นำข้อมูลไฟล์ Excel ไปใช้งานบนโปรแกรม WEKA เพื่อ Classifier Model ออกมาให้ได้แต่ละ Class โดยเลือกใช้อัลกอริทึม SVM สนับสนุนเพื่อให้ได้ค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องมากที่สุด

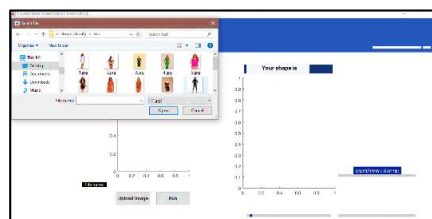
จากการ Classifier โดยเลือกใช้อัลกอริทึม SMO/SVM นั้นสรุปได้ว่าค่าเปอร์เซ็นต์จำแนกประเภทร่างกายได้อย่างถูกต้องที่มีค่าสูงสุดคือ ทิศทางที่ 10,11,19,36 ผู้วิจัยจึงทำการทดสอบหาค่าเปอร์เซ็นต์ทั้ง 4 ทิศทางที่มีค่าสูงสุด โดยนำค่าที่ได้จากการหา HOG บนโปรแกรม MATLAB นั้นมาต่อกัน แล้วทำการ Classifier โดยเลือกใช้อัลกอริทึม SMO/SVM ค่าเปอร์เซ็นต์จำแนกประเภทร่างกายอย่างถูกต้องในทิศทางที่ 10,11,19,36 ผลลัพธ์ค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องที่ได้คือ 76.25%

4.2 การพัฒนาโปรแกรม

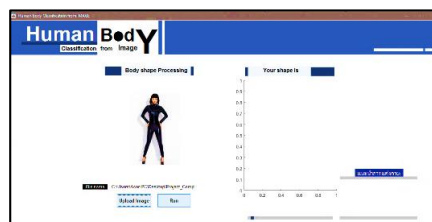
จากการพัฒนาโปรแกรมจำแนกประเภทรูปร่างร่างกายมนุษย์ โดยใช้ภาพถ่าย สามารถแสดงรายละเอียดระบบโปรแกรมออกเป็น 4 ส่วน ดังแสดงในภาพดังนี้



รูปที่ 4. หน้าจอหลักโปรแกรมจำแนกประเภทรูปร่าง



รูปที่ 5. หน้าจอเลือกไฟล์รูปภาพร่างกายที่จะประมวลผล



รูปที่ 6. หน้าจอไฟล์รูปภาพร่างกายที่จะประมวลผล



รูปที่ 7. หน้าจอผลลัพธ์รูปทรงที่ได้

4.3 ผลการศึกษา

ผลการศึกษาพบว่าอัลกอริทึม SVM/SMO ที่สร้างขึ้นด้วยโปรแกรม WEKA มีประสิทธิภาพมากเพียงพอต่อการนำมาใช้งานในเบื้องต้น เนื่องจากมีค่าความคลาดเคลื่อนที่ค่อนข้างน้อยสำหรับการเปรียบเทียบประสิทธิภาพความแม่นยำของโมเดล จะกระทำการทดสอบแบบ CROSS-VALIDATION FOLD 10 ตามลำดับ เพื่อเปรียบเทียบค่าที่ได้จากโมเดลต่างๆ แล้วพิจารณาว่าจะใช้โมเดลใดในการประยุกต์ใช้จริงบนโปรแกรม ผลลัพธ์ที่ได้พบว่า โมเดลมีค่าความถูกต้อง 76.25% เป็นโมเดลที่มีประสิทธิภาพสูงสุด จึงได้นำเอาโมเดล มาใช้ประกอบการประมวลผลภาพถ่ายได้ผลลัพธ์บนโปรแกรมต่อไป

5. สรุป

ในการใช้โปรแกรม ไม่ควรนำรูปภาพชนิดอื่นมาทำการทดลองเพราะจะทำให้โปรแกรมเกิดการรวนได้ รูปภาพที่จะนำมาประมวลผลจะต้องรูปภาพรูปทรงร่างกายมนุษย์จะต้องเป็นรูปภาพที่ตามข้อจำกัดของข้อมูลรูปภาพที่ได้กำหนดไว้

- เป็นรูปภาพถ่ายภาพนิ่ง

- เป็นรูปภาพพื้นหลังสีเดียว

- เป็นรูปภาพรูปร่างหน้าตรงและชุดสวมใส่รัดรูป

ในการวิจัยหัวข้อที่เกี่ยวข้องกับ Data mining การทำเหมืองข้อมูลผู้วิจัยควรเข้ารับการอบรมการใช้งานโปรแกรม WEKA หรือโปรแกรมอื่นๆ ที่ใช้ในการทำเหมืองข้อมูลมาก่อน โดยจะต้องมีความรู้เกี่ยวกับอัลกอริทึมต่างๆ มากพอ ตลอดจนเข้าใจวิธีการนำเอาโมเดลที่ได้มานั้นไปใช้ประยุกต์ในลำดับต่อไป สำหรับในส่วนของการสร้างโมเดลเพื่อใช้งานนั้น ผู้วิจัยควรศึกษาและทำความเข้าใจในเรื่องของการ รวบรวมข้อมูลว่าข้อมูลลักษณะใดที่ควรนำมาใช้ในการทำเหมืองข้อมูลบ้าง โดยอาจศึกษาจาก งานวิจัยอื่นๆ เพื่อให้โมเดลที่สร้างขึ้นนั้นมีประสิทธิภาพสูงสุด

โมเดลสามารถพัฒนาให้มีค่าประสิทธิภาพที่สูงได้มากกว่านี้และระบบโปรแกรมสามารถนำไปพัฒนาให้อยู่ในรูปแบบของ Web Site ต่อไป

ส่วนที่ผู้วิจัยควรให้ความสำคัญวางแผนเรื่องระยะเวลาที่ในการดำเนินงานมากที่สุดคือ ช่วงของการรวบรวมข้อมูลและช่วงของการประยุกต์ใช้โมเดลที่ได้ลงในโปรแกรม เนื่องจากเป็นส่วนที่ต้องใช้เวลาในการ ดำเนินการค่อนข้างมากและอาจล่าช้ากว่าที่กำหนดในเบื้องต้น

การศึกษาครั้งนี้เป็นการจัดประเภทของรูปทรงร่างกายมนุษย์จากภาพถ่าย จำนวน 4 ประเภทรูปทรงร่างกาย ซึ่งโปรแกรมนี้ก็สามารถจัดประเภทของรูปภาพชนิดอื่นๆ ได้ สามารถนำไปปรับเปลี่ยนและประยุกต์ใช้กับรูปแบบการประมวลผลภาพชนิดอื่นๆ ต่อไปได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] เอกสิทธิ์ พชรวงศ์ศักดิ์,(2557),Data Mining Trend, สืบค้นเมื่อ 4 ตุลาคม 2559, จาก <http://dataminingtrend.com/2014/introduction-to-data-mining-techniques/>
- [2] จริญญา,(2552),Image processing เทคโนโลยีการประมวลผลภาพ,สืบค้นเมื่อ 3 เมษายน 2559, จาก: <http://jaratcyberu.blogspot.com/2009/10/image-processing.html>
- [3] ประวัฒน์,การใช้งานโปรแกรม MATLAB เบื้องต้น,สืบค้นเมื่อ 1 สิงหาคม 2559,จาก:

http://pirun.ku.ac.th/~faasppwv/496/PDF/MATLAB_Tutorial_496.pdf

- [4] การรู้จำท่ามือภาษาไทยโดยใช้ค่าความถี่ของทิศทางตามค่าเกรเดียนท์,สืบค้นเมื่อ 28 กันยายน 2559, จาก: http://202.44.34.144/nccitedoc/admin/nccit_files/NCCIT-20140511155724.pdf
- [5] การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักซ์ฟัฟฟอร์ดเวกเตอร์แมชชีน, สืบค้นเมื่อ 28 กันยายน 2559, จาก http://202.44.34.144/nccitedoc/admin/nccit_files/NCCIT-20140511155724.pdf
- [6] จรัสศรี สมจริง,(2555),การพัฒนาหุ่นทำแบบตัดสำหรับสตรีรูปร่างสมบูรณ์,สืบค้นเมื่อ 8 เมษายน 2559, จาก: <http://journal.rmutp.ac.th/wp-content/uploads/2014/08/Special-Science-18.pdf>
- [7] อนุสรณ์ อุ่นท้าว,(2557),การรู้จำท่ามือภาษาไทยโดยใช้ค่าความถี่ของทิศทางตามค่าเกรเดียนท์ร่วมกับการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก และซฟัฟฟอร์ดเวกเตอร์แมชชีน, สืบค้นเมื่อ 28 กันยายน 2559, จาก: http://202.44.34.144/nccitedoc/admin/nccit_files/NCCIT-20140511155724.pdf