

การหาคุณลักษณะพิเศษเฉพาะพื้นที่สำหรับการจัดหมวดหมู่รูปภาพลามกอนาจาร

Local Descriptors Approach for Pornographic Image Classification

โอฬาริก สุรินตะ¹

Olarik Surinta¹

Received: 7 October 2017 ; Accepted: 7 November 2017

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้ได้นำเสนอวิธีการหาคุณลักษณะพิเศษเฉพาะพื้นที่เพื่อใช้สำหรับการจัดหมวดหมู่รูปภาพลามกอนาจาร โดยคุณลักษณะพิเศษเฉพาะพื้นที่ใช้เพื่อคำนวณหาข้อมูลที่เป็นเอกลักษณ์ ประกอบด้วย วิธี Scale-Invariant Feature Transform (SIFT) และ Histogram of Oriented Gradients (HOG) โดยข้อมูลเอกลักษณ์ที่ผ่านการคำนวณจะถูกส่งไปยังขั้นตอนวิธีการคำนวณเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด K ตำแหน่ง (KNN) และวิธีซัพพอร์ทเวกเตอร์แมชชีน (SVM) เพื่อใช้สำหรับจัดหมวดหมู่รูปภาพลามกอนาจาร ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ข้อมูลชุด TI-UNRAM เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีทั้งหมด จากการทดลองพบว่า วิธี HOG และวิธี SIFT เมื่อใช้งานร่วมกับวิธี SVM ให้ผลการทดลองที่ดีที่สุด เมื่อนำไปเทียบกับวิธี KNN และวิธีการประมวลผลภาพ ดังนั้น วิธีการหาคุณลักษณะพิเศษเฉพาะพื้นที่เมื่อนำมาใช้งานร่วมกับวิธี SVM สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดหมวดหมู่รูปภาพลามกอนาจาร

คำสำคัญ: รูปภาพลามกอนาจาร การจัดหมวดหมู่รูปภาพ ขั้นตอนวิธีการคำนวณเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด k ตำแหน่ง ซัพพอร์ทเวกเตอร์แมชชีน คุณลักษณะพิเศษเฉพาะพื้นที่

Abstract

In this paper, we propose a local descriptors approach to classify pornographic images. Two local descriptors including the scale-invariant feature transform (SIFT) and the histogram of oriented gradients (HOG) are computed feature vectors from pornographic images. The extracted features are supplied to the K-Nearest Neighbor Algorithm and Support Vector Machine for pornographic image classification. We have evaluated all different methods on the TI-UNRAM dataset. The results show that the HOG and the SIFT combined with the SVM significantly outperform the other methods, including KNN algorithm and image processing technique. Thus, the local descriptors approach can be combined with the SVM for pornographic image classification in order to obtain the effective classification performance.

Keywords: Ponographic Image, Image Classification, k-Nearest Neighbors Algorithm, Support Vector Machine, Local Descriptor

บทนำ

การพัฒนาทางด้านสื่อดิจิทัล (Digital Media) ที่เป็นไปอย่างรวดเร็วทำให้เกิดข้อมูลประเภทข้อความ (Textual Information) และข้อมูลที่เป็นเสียง ภาพ และวิดีโอ (Non-Textual Information) จำนวนมาก ซึ่งข้อมูลอาจถูกเผยแพร่ผ่านทางอินเทอร์เน็ตโดยอาจไม่ผ่านการคัดกรอง เป็นผลทำให้เกิดการ

เผยแพร่ข้อมูลอันเป็นเท็จ หรือการเผยแพร่สื่อลามกอนาจาร เป็นต้น ซึ่งหากเป็นข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบของ Non-Textual Information อาจยากต่อการคัดกรอง อาจก่อให้เกิดปัญหาทางสังคมตามมา โดยเฉพาะต่อเยาวชนไทย¹

หลายประเทศให้ความสำคัญต่อการป้องกันการกระทำที่ผิดกฎหมาย เช่น ประเทศไทยได้ให้กระทรวงดิจิทัลเพื่อ

¹ กลุ่มระบบอิสระอัจฉริยะ (IAS) ห้องปฏิบัติการมัลติเอเจนต์, ระบบอัจฉริยะและการจำลองสถานการณ์ (MISL), คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อ.กันทรวิชัย จ.มหาสารคาม 44150

¹ Intelligent Autonomous Systems (IAS) group, Multi-agent Intelligent Simulation Laboratory (MISL),

Faculty of Informatics, Mahasarakham University, Khamriang, Kantarawichai, Maha Sarakham 44150, Thailand. E-mail: olarik.s@msu.ac.th

เศรษฐกิจและสังคมทำหน้าที่คัดกรองและป้องกันเว็บไซต์ที่เผยแพร่สื่อดิจิทัลที่มีปัญหา เช่นเว็บไซต์ลามกอนาจาร เว็บไซต์ที่ขายของผิดกฎหมาย และเว็บไซต์ที่มีเรื่องของการพนันเข้ามาเกี่ยวข้อง เป็นต้น ซึ่งเป็นการป้องกันเพื่อไม่ให้เยาวชนสามารถเข้าถึงข้อมูลที่ผิดกฎหมาย ซึ่งทางกระทรวงฯ ได้จัดทำระบบเพื่อป้องกันการเข้าถึงเว็บไซต์ที่มีปัญหา แต่ทั้งนี้ยังเกิดช่องโหว่ให้แฮกเกอร์สามารถเจาะเข้าระบบ หรือแก้ไขทำให้สามารถเข้าถึงเว็บไซต์ที่มีปัญหาเหล่านั้น นักวิจัยได้ค้นคว้าวิธีการป้องกันการเข้าถึงเว็บไซต์ที่ผิดกฎหมาย ประกอบด้วย การตรวจสอบเนื้อหาลามกอนาจารที่อยู่ในรูปแบบของข้อความ^{2,3} และการตรวจสอบเนื้อหาลามกอนาจารที่อยู่ในรูปแบบของรูปภาพหรือวิดีโอ^{4,5}

การตรวจสอบเนื้อหาที่ปรากฏอยู่ในเว็บไซต์เป็นการตรวจสอบข้อมูลประเภทข้อความเป็นหลัก เช่น วิธีการคัดกรองเว็บไซต์อนาจารที่นำเสนอในงานวิจัย⁶ ได้นำเนื้อหาที่เป็นข้อความ (Content-Based) ที่ปรากฏอยู่ในเว็บไซต์มาใช้เป็นข้อมูลเพื่อช่วยในการจัดหมวดหมู่ (Classification) ของเว็บไซต์ โดยใช้วิธีการเรียนรู้ของเครื่องจักร (Machine Learning) ประกอบด้วย วิธี Support Vector Machine (SVM) และวิธี Naive Bayes เข้ามาช่วยในการจัดหมวดหมู่ของเว็บไซต์ โดยเว็บไซต์ที่นำมาใช้ในการทดสอบประกอบด้วยเว็บไซต์ที่แสดงเนื้อหาภาษาไทย และเว็บไซต์ต่างประเทศที่แสดงเนื้อหาภาษาอังกฤษ จากการทดลองพบว่า ข้อมูลที่มีเนื้อหาภาษาไทยมีอัตราการรู้จำมากกว่า 95% และข้อมูลที่เป็นภาษาอังกฤษมีอัตราการรู้จำมากกว่า 98%

การตรวจสอบเนื้อหาของเว็บไซต์โดยการให้คะแนน (Rating)⁷ และวิเคราะห์โครงสร้างของเว็บไซต์โดยให้ความสำคัญกับแท็ก (Tag) ของโปรแกรมภาษา HTML เช่น Tag ในส่วนของ Title, Body และ Link โดยนำข้อมูลที่อยู่ใน HTML Tags มาวิเคราะห์โดยใช้โครงข่ายที่มีความหมาย (Semantic Network) มาเพื่อช่วยในการวิเคราะห์ ดังนั้น คำที่มีความหมายที่ไปในทิศทางเดียวกัน เช่น คำศัพท์ «ศึกษา» จะถูกนำมา สร้างเป็น Semantic Network ซึ่งโครงข่ายสามารถเชื่อมโยงคำศัพท์ที่อยู่ภายใต้โครงข่ายเดียวกันเข้าด้วยกัน เช่น เรียน ดิว ค้นคว้า สืบหา และเล่าเรียน เป็นต้น เมื่อนำข้อมูล HTML Tags ไปวิเคราะห์ ระบบจะกำหนด Rating ให้กับเว็บไซต์ ผลการวิจัยได้กำหนด Rating ของเว็บไซต์ออกเป็น 3 ประเภท ประกอบด้วย เว็บไซต์อนาจาร เว็บไซต์ที่ไม่อนาจาร และเว็บไซต์ที่มีคำอนาจารแต่ไม่ใช่เว็บอนาจาร โดยมีผลการวัดประสิทธิภาพโดยรวม (F-Measure) ร้อยละ 97

บางเว็บไซต์อาจเป็นเว็บไซต์ที่ไม่ได้นั้นเนื้อหาที่เป็นข้อความ แต่อาจเน้นที่นำเสนอแต่เพียงรูปภาพ เท่านั้น ดังนั้น

ในงานวิจัยฉบับนี้ จึงมุ่งเน้นที่จะใช้วิธีการประมวลผล (Image Processing) ภาพร่วมกับวิธีการเรียนรู้ของเครื่องจักร เพื่อช่วยในการตรวจสอบรูปภาพที่เป็นรูปลามกอนาจาร

การตรวจหารูปภาพลามกอนาจารด้วยวิธีการประมวลผลภาพ

การตรวจหาภาพลามกอนาจารด้วยวิธีการ Image Processing สามารถทำได้โดยการหาพื้นที่ที่ให้ความสนใจ (Region of Interest: ROI) ที่เป็นสีผิวของมนุษย์ (Skin Region)⁸ โดยใช้ค่าสีที่แตกต่างกันออกไปเช่น RGB, YcbCr และ HSV⁹ เป็นต้น เมื่อกำหนดหาพื้นที่ ROI ที่ต้องการ จากนั้นนำพื้นที่ ROI ไปคำนวณเพื่อหาอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ทั้งหมดของพื้นที่ ROI และพื้นที่เฉพาะในส่วนที่เป็นพื้นผิวที่อยู่ภายในพื้นที่ ROI ที่นำมาพิจารณา หากอัตราส่วนที่คำนวณได้มากกว่าค่าที่ต้องการ (ROI Acceptable Rate) ภาพนั้นจะถูกกำหนดให้เป็นภาพลามกอนาจาร (Pornographic Image)

งานวิจัยของ Marcial-Basilio et al.¹⁰ นำเสนอวิธีการตรวจจับ (Detect) ภาพลามกอนาจาร โดยการแปลงค่าสีจาก RGB ให้เป็นค่าสี YCbCr หรือ HSV เพื่อค้นหา Skin Region เมื่อค้นพบจึงนำพื้นที่นั้นไปคำนวณหาปริมาณของพิกเซลที่ปรากฏ โดยคำนวณจากจำนวนของพิกเซลที่เป็นสีผิวและจำนวนพิกเซลทั้งหมดของรูปภาพ หากผลลัพธ์ที่ได้มากกว่าค่าที่กำหนดไว้ ภาพนั้นจะถูกกำหนดให้เป็นภาพลามกอนาจาร จากการทดสอบพบว่าค่าสี YCbCr ให้ผลลัพธ์ดีกว่าค่าสี HSV เพียงเล็กน้อย โดยค่าสี YCbCr และ HSV มีอัตราการรู้จำอยู่ที่ 68.87% และ 68.25% ตามลำดับ

Rattanee & Chiracharit¹¹ นำเสนอวิธีการตรวจหาภาพเปลือยโดยไม่ใช้วิธีการรู้จำ (Recognition) ซึ่งเริ่มจากการค้นหาใบหน้าของมนุษย์ (Face Detection) โดยใช้วิธีการของ Viola & Jones¹² จากนั้นจึงหาพื้นที่ ROI ซึ่งเป็นพื้นที่ที่เป็นส่วนของร่างกาย (Body) ขั้นตอนนี้เรียกว่า การค้นหาพื้นที่ที่เป็นสีผิวของมนุษย์ (Skin Detection) โดยสังเกตจากสีผิวของมนุษย์ (Human Skin) เป็นหลัก ดังนั้น ภาพที่ใช้จึงถูกเปลี่ยนค่าสีจาก RGB ให้เป็นค่าสี HSV ที่ประกอบไปด้วยค่าความเข้ม/จางของสี (Hue) ค่าความอิ่มตัวของสี (Saturation) และค่าความสว่าง (Brightness)

เมื่อเปลี่ยนค่าสีให้อยู่ในค่าสีแบบ HSV ทำให้สามารถกำหนดค่าสีที่เหมาะสมกับสีผิวของมนุษย์ จากนั้นนำพื้นที่ ROI ไปผ่านกระบวนการ Morphological ด้วยวิธีการ Dilation และ Erosion เพื่อระบุขอบเขตของพื้นที่ ROI ให้ชัดเจน จากนั้นจึงนำพื้นที่ ROI ไปสร้างเป็นฮิสโตแกรม (Histogram) เพื่อตรวจสอบความหนาแน่นของค่าสี (สีค่าถูกกำหนดให้เป็นบริเวณ

ที่ไม่เป็นสีผิวของมนุษย์) หากพื้นที่ ROI ที่นำมาพิจารณานั้น มีค่าความหนาแน่นของค่าสีต่ำมาก แสดงว่าภาพนั้นไม่ได้เป็น ภาพลามก รูปภาพที่ใช้ในการทดลองอยู่ในรูปแบบของ JPG และ PNG โดยรูปภาพจะถูกปรับเปลี่ยนให้มีขนาด 200x200 พิกเซล ข้อมูลที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย 40 รูปภาพ ซึ่งเป็นรูปภาพลามกอนาจาร 30 รูปภาพ และรูปลามกอนาจาร 10 รูปภาพ จากการทดลอง ปรากฏว่ามีอัตราความถูกต้อง 96.22% ทั้งนี้ ในการทดสอบจะต้องปรากฏใบหน้าอยู่ใน รูปภาพเท่านั้น

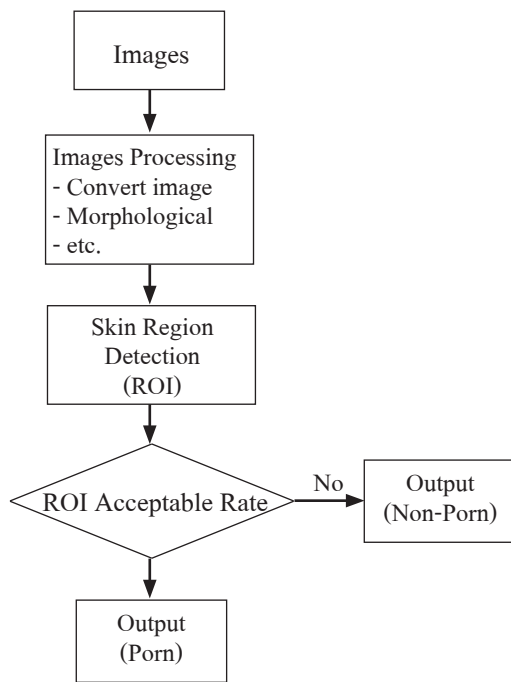


Figure 1 The illustration of the pornographic image classification in image processing scheme

ขั้นตอนโดยสังเขปของการตรวจสอบภาพลามกอนาจารด้วยวิธี Image Processing แสดงดัง Figure 1 การจัดหมวดหมู่รูปภาพลามกอนาจารด้วยวิธีการประมวลผลภาพและการเรียนรู้ของเครื่องจักร

การจัดหมวดหมู่รูปภาพลามกอนาจารด้วยวิธีการประมวลผลภาพร่วมกับการเรียนรู้ของเครื่องจักร

สามารถทำได้หลายวิธี เช่น กรณีภาพที่นำมาวิเคราะห์ไม่ได้มีเพียงภาพบุคคลเพียงอย่างเดียว อาจประกอบไปด้วยทิวทัศน์ หรือองค์ประกอบอื่น ๆ ดังนั้น วิธีนี้จึงต้องหาพื้นที่ ROI ที่ใช้เป็นตัวแทนของมนุษย์โดยพิจารณาจากสีผิวเป็นหลัก และหากเป็นกรณีที่ภาพนั้นเป็นภาพบุคคลเพียงอย่างเดียว วิธีนี้จึงไม่จำเป็นต้องหาพื้นที่ ROI แต่สามารถนำภาพทั้งภาพเป็นตัวแทนของพื้นที่ ROI

เมื่อได้พื้นที่ ROI จากนั้นจึงคำนวณหาคุณลักษณะพิเศษ (Feature Extraction) ด้วยวิธีการที่แตกต่างกันออกไป เช่น วิธี PCA¹³, Bag of Visual Words (BOW)¹⁴, Gray Level Co-Matrix (GLCM)⁸ และ Local Descriptor (เช่น Scale-Invariant Feature Transform: SIFT และ Speeded UP Robust Features: SURF)¹⁵ เป็นต้น เพื่อคำนวณหาข้อมูลที่เป็นเอกลักษณ์ (Feature Vector) โดยข้อมูลนั้นจะถูกนำไปประมวลผลด้วยวิธี Machine Learning เช่น KNN¹⁶, Multi-layer Perceptron (MLP) และ SVM^{17,18} เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อสร้างแบบจำลอง (Model) สำหรับใช้ในการพยากรณ์ (Predict) หรือจัดหมวดหมู่รูปภาพที่เป็นภาพลามกอนาจาร ภาพรวมของวิธีการประมวลผลภาพร่วมกับการเรียนรู้ของเครื่องจักร แสดงดัง Figure 2

งานวิจัยของ Karavarsamis et al.¹⁹ ได้นำเสนอการรู้จำรูปภาพลามกอนาจาร ซึ่งเริ่มต้นด้วยการหาพื้นที่ผิวมนุษย์ซึ่งเรียกว่าพื้นที่ ROI จากนั้นจึงนำพื้นที่ ROI ไปจัดหมวดหมู่ด้วยวิธี Random Forest Classification ผลลัพธ์จากการจัดหมวดหมู่ถูกแบ่งออกเป็นสองกลุ่ม ประกอบด้วย กลุ่มลามก (Porn) และกลุ่มไม่ลามก (Benign) งานวิจัยนี้แบ่งการทดลองออกเป็น 3 การทดลอง คือ 1) กลุ่ม Porn และ กลุ่ม Benign 2) กลุ่ม Porn-Scene และกลุ่ม Bikini และ 3) กลุ่ม Skin และกลุ่ม Non-Skin โดยใช้ Correct Classification Rate (CCR) ในการวัดความถูกต้อง ซึ่งมีผลลัพธ์ที่สูงกว่า 87% เมื่อเทียบกับวิธี POESIA ซึ่งเป็น Open-Source Project ให้ผลลัพธ์ 82.4%

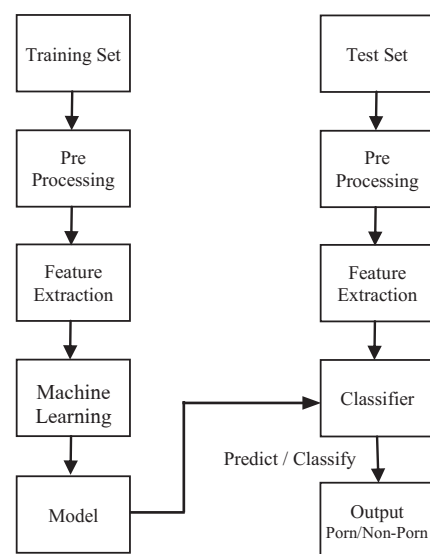


Figure 2 The combination of image processing and machine learning technique in the pornographic image classification

Wijaya et al.¹³ นำเสนอวิธีการหาความน่าจะเป็นของสีผิวมนุษย์ (Skin Probability) โดยใช้วิธีการ Histogram Equalization บนค่าสีแบบ YCbCr เพื่อใช้สำหรับตรวจหาพื้นที่ ROI ที่เป็นสีผิวมนุษย์ จากนั้นนำพื้นที่ ROI ที่เป็นสีผิวมนุษย์ไปผ่านกระบวนการ Principal Component Analysis (PCA) เพื่อสร้างคุณลักษณะพิเศษสำหรับนำไปใช้ในการรู้จำ โดยใช้วิธี KNN ในการจัดหมวดหมู่ของรูปภาพลามกอนาจาร มีความถูกต้อง 90.13%

งานวิจัยฉบับนี้ นำเสนอวิธีการจัดหมวดหมู่รูปภาพลามกอนาจารโดยใช้วิธีการหาคุณลักษณะพิเศษเฉพาะพื้นที่ (Local Descriptor) เนื่องจากอัลกอริทึมของวิธี Local Descriptor นั้นถูกออกแบบมาเพื่อให้คำนวณหาทิศทาง (Orientation) ของ Gradient ที่เกิดขึ้นภายในรูปภาพ โดยใช้วิธีการเช่น Gaussian Filter หรือ Convolution Kernel ในการคำนวณหาขอบภาพ จากนั้นภาพจะถูกแบ่งออกเป็น ส่วน (Block) ตามต้องการเพื่อนำไปหาค่า Orientation ต่อไป จากนั้นนำคุณลักษณะพิเศษและป้ายกำกับ (Label) ทั้งหมดจากข้อมูลชุดเรียนรู้ไปคำนวณด้วยวิธี Support Vector Machine (SVM)²⁰ และวิธี K-Nearest neighbor (KNN)²¹ เพื่อสร้าง Model สำหรับนำไปใช้ในการจัดหมวดหมู่ของรูปภาพ

นอกจากนี้วิธี Local Descriptor ประกอบด้วยวิธี Scale-Invariant Features Transform (SIFT)²² และวิธี Histogram of Oriented Gradients (HOG)²³ ซึ่งเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพ ถูกใช้เพื่อสร้างคุณลักษณะพิเศษของรูปภาพ และนำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้วยวิธี SVM โดยใช้ Kernel แบบ Radial Basis Function (RBF) และวิธี KNN โดยใช้การวัดระยะห่างแบบยูคลิด (Euclidean Distance)²⁴ ซึ่งใช้ชุดข้อมูล TI-UNRAM¹³ ในการทดสอบประสิทธิภาพ

วิธีการหาคุณลักษณะพิเศษเฉพาะพื้นที่

คุณลักษณะพิเศษเฉพาะพื้นที่ที่ใช้ในงานวิจัยฉบับนี้ประกอบด้วย

Scale-Invariant Features Transform

วิธี Scale-Invariant Features Transform (SIFT) ถูกนำเสนอโดย Lowe²² ซึ่งวิธีการของ SIFT นั้นจะคำนวณหาจุดสำคัญ (Keypoint) จากรูปภาพทั้งภาพ จากนั้นจึงนำจุด Keypoint แต่ละจุดมาคำนวณหาคุณลักษณะพิเศษ โดยคุณลักษณะพิเศษที่ได้จากวิธี SIFT จะมีทั้งสิ้น 128 จำนวน ซึ่งคำนวณได้จากการนำพื้นที่บริเวณรอบ ๆ จุด Keypoint มาแบ่งออกเป็น 4x4 พื้นที่ (Block) เท่า ๆ กัน และจึงนำแต่ละ Block ไปคำนวณหาค่า Gradient Magnitude และค่า Gradient

Orientation จากนั้นค่า Gradient Orientation จะถูกจัดเก็บลงใน Orientation Bin ที่กำหนดให้มีขนาดเท่ากับ 8 ช่อง (Bin) คุณลักษณะพิเศษที่คำนวณได้จาก Keypoint จำนวน 1 จุด จะมี (4x4x8) 128 จำนวน ดังนั้น หากรูปภาพหนึ่งรูปมีจำนวน Keypoint ทั้งหมด 4 จุด คุณลักษณะพิเศษที่ได้จากการคำนวณ จะมีทั้งสิ้น 512 จำนวน

ทั้งนี้ เนื่องจากการคำนวณหาจุด Keypoint ในแต่ละรูปภาพนั้นอาจปรากฏจำนวนของ Keypoint ไม่เท่ากัน งานวิจัยฉบับนี้จึงได้แบ่งรูปภาพออกเป็นพื้นที่ย่อย (Sub-region) ซึ่งเรียกว่า Block ที่มีขนาด ($n \times n$) และนำแต่ละ Block ไปคำนวณเพื่อหาค่าคุณลักษณะพิเศษ ในการคำนวณรูปภาพ จะถูกนำมา Convolution โดยใช้ Gaussian Kernel ในการคำนวณ ดังสมการต่อไปนี้

$$L(x, y, \sigma) = G(x, y, \sigma) \times I(x, y) \quad (1)$$

โดย $I(x, y)$ คือ ค่าความสว่าง (Intensity) ของแต่ละพิกเซล ณ ตำแหน่ง x, y ของรูปภาพ

$G(x, y, \sigma)$ คือ Gaussian kernel โดย

กำหนดให้ σ เป็นขนาดความ

กว้างของ Gaussian Kernel

คำนวณค่า G_x และ G_y ดังสมการต่อไปนี้

$$G_x = L(x + 1, y, \sigma) - f(x - 1, y, \sigma) \quad (2)$$

$$G_y = L(x, y + 1, \sigma) - f(x, y - 1, \sigma) \quad (3)$$

คำนวณค่า Gradient Magnitude $M(x, y)$

$$M(x, y) = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (4)$$

คำนวณค่า Gradient Orientation $\theta(x, y)$

$$\theta(x, y) = \tan^{-1} \frac{G_x}{G_y} \quad (5)$$

จากนั้นจึงสร้าง Histogram โดยคำนวณจากความถี่ของค่า Gradient Orientation β

Histogram of Oriented Gradients

Dalal & Triggs²³ ได้นำเสนอวิธีการการหาคุณลักษณะพิเศษที่ชื่อ Histogram of Oriented Gradients (HOG) เพื่อนำไปใช้ในการตรวจจับภาพบุคคล (Human Detection) โดย HOG เป็นวิธีการในการคำนวณหาคุณลักษณะพิเศษจาก

รูปภาพ จากนั้นคุณลักษณะพิเศษจะถูกส่งไปคำนวณด้วยวิธี SVM แบบLiner Kernel ในการสร้าง Model และถูกนำไปใช้สำหรับการจัดหมวดหมู่ของบุคคล (Person / Non-person Classification) การคำนวณด้วยวิธี HOG นั้น รูปภาพจะถูกแบ่งออกเป็น Block ขนาด $n \times n$ จากนั้นคำนวณเพื่อหาค่า Gradient ในแนวนอน G_x และแนวตั้ง G_y โดยคำนวณในทุกตำแหน่ง (x, y) ของรูปภาพ การแปลงภาพให้เป็นรูปภาพแบบ Gradient (Image Gradient) สามารถใช้วิธี เช่น Sobel และ Prewitt ในการคำนวณ ดังสมการที่ 6-7

$$G_x = f(x + 1, y) - f(x - 1, y) \tag{6}$$

$$G_y = f(x, y + 1) - f(x, y - 1) \tag{7}$$

โดย $f(x, y)$ คือค่าความสว่าง (Intensity) ณ ตำแหน่ง (x, y) จากนั้นคำนวณเพื่อหาค่า Gradient Magnitude และ Orientation (ดังสมการที่ 4 และ 5) จากนั้นจึงสร้าง Histogram โดยคำนวณจากค่าของค่า Gradient Orientation ที่ปรากฏในแต่ละ Block โดยค่า Gradient Orientation จะถูกจัดเก็บลงไป Orientation bin $^\beta$ ตามขนาดที่ได้กำหนดไว้ คุณลักษณะพิเศษที่ได้จะถูกนำไป Normalized โดยใช้วิธีการ L2 Block Normalization²⁵ ดังสมการที่ 8

$$V'_k = \frac{V_k}{\sqrt{\|V_k\|^2 + \epsilon}} \tag{8}$$

โดย V_k คือ Histogram ที่ได้จาก Block ทั้งหมด ϵ คือ ค่าที่ใกล้จำนวน 0 V'_k คือ ค่าคุณลักษณะพิเศษของ HOG ที่ผ่านการ Normalized

วิธีการที่ใช้ในการจัดหมวดหมู่ของรูปภาพลามกอนาจาร

การจัดหมวดหมู่ของรูปภาพที่ใช้ในงานวิจัยฉบับนี้มีทั้งสิ้น 2 วิธี ประกอบด้วย

K-Nearest Neighbors Algorithm

วิธี K-Nearest neighbors (KNN) หรือวิธีสำหรับการค้นหาสมาชิกที่ใกล้ที่สุด^{13,21} เป็นเทคนิคหนึ่งของ Machine Learning ที่ไม่ต้องสร้าง Model เพื่อนำมาใช้สำหรับจัดหมวดหมู่ข้อมูล แต่ข้อมูลทั้งหมดจะถูกนำมาคำนวณหาค่าระยะทาง (Distance Value) เพื่อเปรียบเทียบระยะทางระหว่างข้อมูลที่ต้องการนำมาจัดหมวดหมู่ y และข้อมูลทั้งหมด x_i ดังนั้นข้อมูลที่มี Distance Value ที่น้อยที่สุดจำนวน k ข้อมูล จึงถูก

นำมาพิจารณา และในข้อมูลทั้งสิ้นจำนวน k ข้อมูลนั้น หากมีสมาชิกของกลุ่ม C_i โดดมากที่สุด ข้อมูลที่ต้องการนำมาจัดหมวดหมู่ y จะถูกกำหนดให้อยู่ในกลุ่มนั้น

หากกำหนดให้ $k = 3$ ดังนั้น Distance Value ที่น้อยที่สุดทั้งสิ้น 3 ค่าจะถูกนำมาพิจารณา หากข้อมูลที่มี Distance Value ทั้งสิ้น 3 จำนวนอยู่ในกลุ่ม ดังต่อไปนี้ $d = \{C_1, C_1, C_3\}$ ดังนั้น ข้อมูลที่ต้องการนำมาจัดหมวดหมู่จะถูกกำหนดให้เป็น C_1 เนื่องจากมีจำนวนที่ปรากฏมากที่สุด

การคำนวณ Distance Value ด้วยการหาระยะห่างแบบยูคลิด (Euclidean Distance) สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 9

$$d(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - y_i)^2} \tag{9}$$

โดยที่ N คือ จำนวนของคุณลักษณะพิเศษ (Dimensions) ของข้อมูล x, y คือ ข้อมูลที่อยู่ใน Training Set และ y คือ ข้อมูลที่ต้องการนำมาจัดหมวดหมู่ จากนั้นนำ Distance Value $d(x, y)$ ที่ได้ทั้งหมดไปเพื่อ Majority Vote ดังนั้นกลุ่ม C_k ของข้อมูลที่ปรากฏบ่อยที่สุดจะถูกกำหนดให้เป็นผลลัพธ์ของ KNN ดังสมการที่ 10

$$y(d_i) = \operatorname{argmax}_k \sum_{x_j \in KNN} S(d_i, x_j) y(x_j, c_k) \tag{10}$$

โดยที่ d_i คือ ข้อมูลที่ต้องการนำมาจัดหมวดหมู่ x_j คือ ข้อมูลที่อยู่ใน Training set ลำดับที่ j $S(d_i, x_j)$ คือ ฟังก์ชันที่ใช้หาค่าความใกล้เคียง (Similarity Function) ระหว่าง d_i และ x_j

Support Vector Machine

Vapnik²⁰ ได้คิดค้นวิธี Support Vector Machine (SVM) ในปี ค.ศ. 1998 ซึ่งเป็นวิธีการจัดหมวดหมู่ที่มีประสิทธิภาพและมีความถูกต้องแม่นยำ นักวิจัยจึงนำไปช่วยแก้ไขปัญหาทางด้าน Classification ได้แก่ Dalal & Triggs²³ ได้นำ linear SVM ไปใช้เพื่อตรวจหาบุคคล (Human Detection) จากวิดีโอ และงานวิจัยของ Kermorvant & Louradour ได้นำไปใช้เพื่อจัดหมวดหมู่ของข้อความในจดหมาย (Text Classification)²⁶ เป็นต้น

อัลกอริทึมของ SVM ทำหน้าที่ในการหาเส้นแบ่ง (Hyperplane) ที่เหมาะสมที่สุด (Optimal) ที่มีระยะห่าง (Margin) ระหว่างข้อมูล (Training Points) กับ Hyperplane มากที่สุด

โดยที่ Training Points ที่เข้าใกล้เส้น Hyperplane จะถูกเรียกว่า Support Vectors แรกเริ่ม SVM ถูกออกแบบมาเพื่อใช้จัดหมวดหมู่ข้อมูลเฉพาะที่เป็น 2 กลุ่ม (two-class Classification) โดยใช้สมการเส้นตรง (Linear Model) ในการแบ่งกลุ่มข้อมูล โดยฟังก์ชันที่ใช้สำหรับตัดสินใจในการแบ่งข้อมูลคุณลักษณะพิเศษ (Feature Vector) x คือ

$$f(x) = \text{sign}(w^T x + b) \tag{11}$$

โดย w คือ ค่าเฉลี่ยน้ำหนัก (Weight Vector)
 b คือ ค่าไบแอส (Bias)

ในการคำนวณค่าพารามิเตอร์ w และ b นั้น SVM จะคำนวณเพื่อหาค่า Cost Function ที่มีค่าน้อยที่สุด ดังสมการต่อไปนี่

$$J(w, \xi) = \frac{1}{2} w^T w + C \sum_{i=1}^n \xi_i \tag{12}$$

ซึ่งอยู่ภายใต้ข้อจำกัด

$$w^T x_i + b \geq 1 - \xi_i \text{ ในกรณี } y_i = +1$$

และ

$$w^T x_i + b \leq 1 + \xi_i \text{ ในกรณี } y_i = -1$$

โดย C คือ ค่าคงที่ที่ใช้สำหรับกำหนดค่าความผิดพลาดในการแบ่งกลุ่มข้อมูล

ξ คือ Slack Variable ที่ใช้วัดค่าความผิดพลาดที่คลาดเคลื่อนไปจากตำแหน่งที่เหมาะสม²⁷

ในการกำหนดระยะห่างระหว่างเส้น Hyperplane สามารถกำหนดได้โดย $w^T x + b = 0$ ซึ่งจะทำหน้าที่แบ่งกลุ่มข้อมูลที่มีระยะห่างระหว่างเส้น Hyperplane มากที่สุด โดยกำหนดกลุ่ม Positive ได้จาก $w^T x + b = +1$ และกลุ่ม Negative จาก $w^T x + b = -1$ และใช้สมการเส้นตรง (Linear Kernel Function) เพื่อคำนวณแบ่งกลุ่มของข้อมูล

นอกจากนั้นยังสามารถใช้ Kernel ตัวอื่น ในการคำนวณเพื่อหาเส้นแบ่งกลุ่มข้อมูลที่มีลักษณะเป็น Non-linear ได้แก่ Radial Basis Function (rbf) โดยคำนวณจากสมการที่ 13

$$K(x_i, x_j) = \exp(-\gamma \|x_i - x_j\|^2) \tag{13}$$

โดย γ คือ พารามิเตอร์ของ RBF kernel

ดังนั้น หาก γ มีค่ามากอาจส่งผลให้มีจำนวนของ Support Vectors จำนวนมากขึ้นตามไปด้วย และส่งผลให้ข้อมูลเกิดการ Overfitting ซึ่งหมายความว่าอัลกอริทึมจะสร้าง Model ที่พยายามแยกข้อมูลชุดทดสอบให้มีความถูกต้องมากที่สุด แต่เมื่อนำไปใช้งานจริงกลับได้ค่าความถูกต้องต่ำ ทำให้การจัดกลุ่มทำได้ไม่ถูกต้อง

ชุดข้อมูลรูปภาพลามกอนาจาร

ในการทดลองได้ใช้ชุดข้อมูล TI-UNRAM¹³ ซึ่งประกอบด้วย 2 กลุ่มข้อมูล คือกลุ่มรูปภาพทั่วไปที่ไม่ลามกอนาจาร (Negative) และกลุ่มรูปภาพลามกอนาจาร (Positive) โดยข้อมูลกลุ่ม Negative ประกอบด้วยรูปภาพจำนวน 715 รูปภาพ และกลุ่ม Positive มีจำนวน 685 รูปภาพ รวมทั้งสิ้น 1,400 รูปภาพ ซึ่งขนาดของรูปภาพที่จัดเก็บอยู่ในชุดข้อมูลนั้นมีขนาด (Resolution) ที่แตกต่างกัน แสดงดัง Figure 3

จากการตรวจสอบรูปภาพจากชุดข้อมูล TI-UNRAM พบว่างานวิจัย¹³ อาจมีมุมมองในการจัดหมวดหมู่ของภาพลามกอนาจารที่มีความแตกต่างกัน จึงทำให้รูปภาพบางรูปที่ไม่เป็นรูปลามกอนาจารถูกจัดให้อยู่ในหมวด Negative แสดงดัง Figure 4 และในหมวด Positive ยังมีรูปภาพที่ไม่ได้เป็นรูปภาพบุคคล (Figure 5) อีกด้วย ทั้งนี้ งานวิจัยฉบับนี้ไม่ได้ปรับเปลี่ยนหมวดหมู่ของรูปภาพในชุดข้อมูล TI-UNRAM แต่อย่างใด

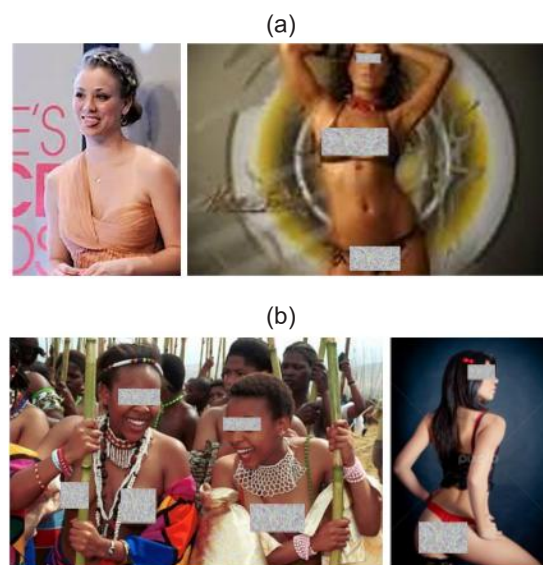


Figure 3 Sample images of (a) the positive images and (b) the negative images from the TI-UNRAM dataset.



Figure 4 Sample of positive images are found in the negative category.



Figure 5 The positive examples of non-human image from the TI-UNRAM dataset.

จากงานวิจัย¹¹ เริ่มต้นด้วยการค้นหาใบหน้าปรากฏอยู่ในรูปภาพ ทั้งนี้ รูปภาพที่ปรากฏในชุดข้อมูล TI-UNRAM บางส่วน (แสดงดัง Figure 5) ไม่ได้เป็นภาพบุคคล ดังนั้น การทดลองในส่วนของการประมวลผลภาพจึงไม่ได้รวมวิธีการค้นหาใบหน้าเข้าไปด้วย

วิธีการประเมินผลทดลอง

ในงานวิจัยฉบับนี้ การตรวจหารูปภาพลามกอนาจาร ด้วยวิธีการ Image Processing ใช้สมการในการจัดหมวดหมู่ของรูปภาพ (Image Classification) ที่นำเสนอโดย Marcial-Basilio et al.¹⁰ คำนวณจากสมการที่ 14

$$SKC = \frac{\Sigma(ROI)}{\Sigma(P(x,y))} \tag{14}$$

โดย ROI คือ พื้นที่ของรูปภาพที่คิดว่าเป็นสีผิวของมนุษย์ P(x,y) คือ พิกเซลทั้งหมดของรูปภาพที่ทำการจัดหมวดหมู่

จากสมการที่ 9 หากค่า SKC มีค่ามาก หมายถึงมีจำนวนของพื้นที่สีผิวของมนุษย์เป็นจำนวนมาก และหาก SKC มีค่าเท่ากับ 0 แสดงว่าในภาพนั้นไม่มีภาพพื้นที่ที่เป็นสีผิวของมนุษย์เลย โดยต้องใช้ค่าเทรตโซลด์ T เป็นตัวกำหนดค่าความลามกอนาจาร โดยค่า T ถูกกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0.5 ดังนั้น หากค่า SKC ≥ T แสดงว่าภาพนั้นเป็นภาพลามกอนาจาร และ SKC < T แสดงว่าภาพนั้นเป็นภาพที่ไม่ลามกอนาจาร

ดังนั้น หากใช้สมการที่ 9 ในการคำนวณรูปภาพที่นำมาคำนวณจะต้องเป็นรูปที่มีเพียงบุคคลปรากฏอยู่ในภาพเท่านั้น หากในรูปภาพประกอบไปด้วยทิวทัศน์ หรือองค์ประกอบอื่น ถึงแม้ว่าในรูปภาพนั้นจะมีบุคคลที่อยู่ในลักษณะเปลือยก็ตาม จะส่งผลให้ค่า SKC ที่ได้จากการคำนวณมีค่าต่ำ ทำให้ผลลัพธ์ที่ได้ผิดพลาด

งานวิจัยฉบับนี้ ใช้วิธี k-fold cross validation เพื่อประเมินผลการทดลอง โดยกำหนดให้ k มีค่าเท่ากับ 2 ซึ่งหมายถึงการสุ่มข้อมูลออกเป็น 2 ส่วนเท่ากัน¹³ ดังนั้น ข้อมูลจำนวน 700 รูปภาพ จากข้อมูลทั้งหมด 1,400 รูปภาพจึงถูกแบ่งเป็นข้อมูลชุดเรียนรู้เพื่อนำมา สร้าง Model และข้อมูลที่เหลืออีก 700 รูปภาพจึงถูกแบ่งเป็นข้อมูลชุดทดสอบเพื่อใช้ในการพยากรณ์ (Predict) ผลลัพธ์ที่ได้คือค่าความถูกต้อง (Accuracy)

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

งานวิจัยฉบับนี้ ได้ใช้ชุดข้อมูล TI-UNRAM เพื่อทำการทดลองจัดหมวดหมู่รูปภาพ โดยข้อมูลจะจัดเก็บเป็นรูปภาพลามกอนาจารที่มีขนาดของพิกเซลไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงต้องปรับเปลี่ยนขนาดของรูปภาพให้มีขนาด 90x90 พิกเซล

สำหรับการทดลองด้วยวิธีการประมวลผลภาพ รูปภาพทั้งหมดจะถูกแปลงจากค่าสี RGB ให้เป็น HSV ซึ่งค่าสี HSV จะถูกนำไปคำนวณหาพื้นที่ ROI ที่คาดว่าจะมีสีผิวของมนุษย์ โดยต้องกำหนดช่วงของสีที่ต้องการ โดยการกำหนดค่าต่ำสุดของค่าสี HSV เป็น [10, 100, 100] และค่าสูงสุด [22, 255, 255] ดังนั้น ค่าสี HSV ที่ไม่ได้อยู่ในช่วงที่กำหนดจะถูกเปลี่ยนให้เป็นสีดำ และค่าสีที่อยู่ในช่วงจะถูกเปลี่ยนให้เป็นสีขาว

สำหรับการคำนวณหาคุณลักษณะพิเศษด้วยวิธี HOG จำนวนของเซลล์ในแต่ละบล็อก (Cell per Block) ถูกกำหนดให้มีขนาด 2x2 เซลล์ โดยในแต่ละเซลล์มีจำนวนพิกเซล (Pixels per Cell) 30x30 พิกเซล และจำนวนที่ใช้เก็บค่า Orientation Bin กำหนดให้เป็น 18 bin และพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับวิธี SIFT ประกอบด้วยขนาดของบล็อก หรือเรียกว่า Patch กำหนดให้มีขนาด 15x15 การเคลื่อนที่ของบล็อก (Grid Spacing) ครั้งละ 5 พิกเซล

สำหรับการทดลองด้วยวิธีการเรียนรู้ของเครื่องจักรแบ่งออกเป็น 2 วิธี คือวิธี KNN ทำการทดสอบโดยกำหนดค่า K ให้มีค่าตั้งแต่ K = 1,3,4,5,9 และวิธี SVM โดยใช้ RBF Kernel โดยใช้วิธีการ Cross Validation เพื่อปรับแต่งค่า C และ γ

สรุปผลการทดลอง

ในการทดลองการจัดหมวดหมู่รูปภาพลามกอนาจาร ประกอบด้วย 5 การทดลอง คือ 1) วิธี Image Processing (IMGP) และ SKC 2) วิธี HOG และ KNN 3) วิธี SIFT และ KNN 4) วิธี HOG และ SVM และ 5) วิธี SIFT และ SVM โดยความถูกต้องของการจัดหมวดหมู่รูปภาพลามกอนาจารแสดงดัง Table 1

Table 1 Average pornographic image classification results on TI-UNTAM dataset.

| Method | Classification Parameters | Accuracy (%) |
|----------|--|--------------|
| IMGP+SKC | T = 0.5 | 64.0 ± 0.007 |
| HOG+KNN | K = 7 | 70.0 ± 0.014 |
| SIFT+KNN | K = 7 | 66.4 ± 0.028 |
| HOG+SVM | C = 2 ⁰ , gamma = 2 ⁻⁵ | 78.0 ± 0.014 |
| SIFT+SVM | C = 2 ² , gamma = 2 ⁻⁵ | 78.0 ± 0.007 |

เริ่มต้นการทดลองด้วยวิธี IMGP+SKC โดยกำหนดให้มีค่า $T = 0.5$ ปรากฏว่ามีความถูกต้องในการจัดหมวดหมู่ต่ำที่สุดที่ 64% ทั้งนี้เนื่องจากรูปภาพที่อยู่ในชุดข้อมูล TI-UNTAM ประกอบไปด้วยรูปภาพที่มีหลากหลายลักษณะ เช่น รูปภาพไข่ และรูปภาพดอกกุหลาบสีเหลือง เป็นต้น ดังนั้น เมื่อนำมาทดลองปรากฏว่ามีผลลัพธ์เป็น Negative จึงเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้วิธี IMGP+SKC มีอัตราความถูกต้องต่ำที่สุด

ต่อจากนั้น ทดลองด้วยวิธี KNN ซึ่งกำหนดให้พารามิเตอร์ $k = 7$ โดยคำนวณหาคุณลักษณะพิเศษเฉพาะพื้นที่ด้วยวิธี HOG และวิธี SIFT จากการทดลองปรากฏว่า KNN+HOG มีอัตราการจัดหมวดหมู่สูงกว่าวิธี KNN+SIFT โดยมีความถูกต้องที่ 70% และ 66.4% ตามลำดับ

การทดลองสุดท้าย ทดสอบด้วยวิธี SVM ร่วมกับวิธี HOG และวิธี SIFT ปรากฏว่าทั้งวิธี HOG+SVM และ SIFT+SVM มีอัตราการจัดหมวดหมู่ของรูปภาพลามกอนาจารเท่ากันที่ 78% ซึ่งมากกว่าวิธี HOG+KNN อยู่ที่ 8 เปอร์เซ็นต์

ทั้งนี้ เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่าง SIFT+SVM และการทดลองในงานวิจัย ของ wijaya et al.¹³ ปรากฏว่าผลการทดลองในงานวิจัย¹³ ให้ผลการทดลองที่สูงกว่าประมาณ 12.13% ผู้วิจัยจึงได้นำเสนอวิธี Bag of Visual Words (BOW) เพื่อช่วยในการเรียนรู้ข้อมูลที่มีอยู่จำนวนมากจัด

สรุปและอภิปรายผล

งานวิจัยฉบับนี้ได้นำเสนอวิธีการทางด้านการประมวลผลภาพและการเรียนรู้ของเครื่องจักรเพื่อใช้ในการจัดหมวดหมู่ของรูปภาพลามกอนาจาร โดยใช้ชุดข้อมูล TI-UNTAM ที่มีรูปภาพทั้งสิ้นจำนวน 1,400 รูปภาพ โดยข้อมูลถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนด้วยวิธีการ Cross Validation ดังนั้นข้อมูลในชุดเรียนรู้จึงมีเพียง 700 รูปภาพเท่านั้น ส่งผลต่อการคำนวณด้วยวิธี SVM เนื่องจากวิธีนี้จำเป็นต้องใช้ข้อมูลจำนวนมากในการสร้าง Model

งานวิจัยได้เปรียบเทียบวิธีการหาคุณลักษณะพิเศษด้วยวิธี HOG และวิธี SIFT เพื่อนำมาใช้ร่วมกับวิธี KNN โดยคำนวณค่าระยะห่างด้วยวิธี Euclidean และ วิธี SVM โดยใช้ RBF Kernel จากการทดสอบปรากฏว่าวิธี HOG+SVM และ SIFT+SVM มีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่นที่ทดสอบ

ในอนาคต ผู้วิจัยได้วางแผนในการใช้วิธีการหาคุณลักษณะพิเศษด้วยวิธีที่อื่นที่แตกต่างกันไป เช่น SURF, DAISY และ ORB เป็นต้น อีกทั้งยังสามารถใช้วิธีการ Bag of Visual Words (BOW) เข้ามาช่วยในการเรียนรู้ข้อมูลที่มีจำนวนเพียง 700 รูปภาพ อาจส่งผลให้มีอัตราความถูกต้องเพิ่มขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้ได้รับการสนับสนุนการวิจัย ประจำปีงบประมาณ 2559 จากคณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

เอกสารอ้างอิง

1. วีรพงษ์ พวงเล็ก. สื่อลามกบนอินเทอร์เน็ต: อันตรายที่พึงระวังและแนวทางแก้ปัญหาต่อเยาวชนไทย. *Exec J.* 2011;223–33.
2. Gao Z, Lu G, Dong H, Wang S, Wang H, Wei X. Applying a novel combined classifier for hypertext classification in pornographic web filtering. In: *International Conference on Internet Computing in Science and Engineering (ICICSE)*. 2008. p. 513–7.
3. Dinh T-A, Ngo T-B, Vu D-L. A Model for Automatically Detecting and Blocking Pornographic Websites. In: *IEEE International Conference on Knowledge and Systems Engineering (KSE)*. 2015. p. 244–9.
4. Wang C, Zhang J, Zhuo L, Liu X. Incremental Learning for Compressed Pornographic Image Recognition.

- In: IEEE International Conference on Multimedia Big Data (BigMM). 2015. p. 176–9.
5. Zhou K, Zhuo L, Geng Z, Zhang J, Li XG. Convolutional Neural Networks Based Pornographic Image Classification. In: IEEE Second International Conference on Multimedia Big Data (BigMM). 2016. p. 206–9.
 6. Polpinij J, Chotthanom A, Sibunruang C, Chamchong R, Puangpronpitag S. Content-Based Text Classifiers for Pornographic Web Filtering. In: IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC). 2006. p. 1481–5.
 7. Khumma K, Namahoot CS. A Rating Algorithm for the Analysis of Pornographic Websites. *The Journal of KMUTNB*. 2013;23(2):353–62.
 8. Zhu H, Zhou S, Wang J, Yin Z. An algorithm of pornographic image detection. In: the 4th International Conference on Image and Graphics (ICIG). 2007. p. 801–4.
 9. Tello Flores PI, Colmenares Guillén LE, Niño Prieto OA. Approach of RSOR Algorithm Using HSV Color Model for Nude Detection in Digital Images. *Comput Inf Sci*. 2011;4(4):29–45.
 10. Marcial-Basilio JA, Aguilar-Torres G, Sánchez-Pérez G, Toscano-Medina LK, Pérez-Meana HM. Detection of Pornographic Digital Images. *Int J Comput*. 2011;5(2):298–305.
 11. Rattanee S, Chiracharit W. Nudity Detection Based on Face Color and Body Morphology. In: International Workshop on Advanced Image Technology (IWAIT). 2016. p. 1–4.
 12. Viola P, Jones MJ. Robust Real-Time Face Detection. *Int J Comput Vis*. 2004;57(2):137–54.
 13. Wijaya IGPS, Widiartha I, Arjarwani SE. Pornographic Image Recognition Based on Skin Probability and Eigenporn of Skin ROIs Images. *TELKOMNIKA (Telecommunication Comput Electron Control)*. 2015;13(3):985.
 14. Lv L, Zhao C, Lv H, Shang J, Yang Y, Wang J. Pornographic images detection using high-level semantic features. In: 7th International Conference on Natural Computation (ICNC). 2011. p. 1015–8.
 15. Lopes APB, De Avila SEF, Peixoto ANA, Oliveira RS, De A. Araújo A. A bag-of-features approach based on Hue-SIFT descriptor for nude detection. In: 17th European Signal Processing Conference (EUSIPCO). 2009. p. 1552–6.
 16. Liu B, Su J, Lu Z, Zhen L. Pornographic images detection based on CBIR and skin analysis. In: the 4th International Conference on Semantics, Knowledge, and Grid (SKG). 2008. p. 487–8.
 17. Dong K, Guo L, Fu Q. An Adult Image Detection Algorithm Based on Bag-of-Visual-Words and Text Information. In: 10th International Conference on Natural Computation (ICNC). 2014. p. 556–60.
 18. Caetano C, Avila S, Guimarães S, Araújo AD a. Representing Local Binary Descriptors with Bossa-Nova for Visual Recognition. In: The 29th Annual ACM Symposium on Applied Computing (SAC). 2014. p. 49–54.
 19. Karavarsamis S, Ntarmos N, Blekas K, Pitas I. Detecting pornographic images by localizing skin ROIs. *Int J Digit Crime Forensics*. 2013;5(1):39–53.
 20. Vapnik VN. *Statistical Learning Theory*. Wiley; 1998. I-XXIV, 1-736.
 21. Sharma PK. Multiple Classifiers for Unconstrained Offline Handwritten Numeral Recognition. In: International Conference on Computational Intelligence and Multimedia Applications, (ICCIMA). 2007. p. 344–8.
 22. Lowe DG. Distinctive image features from scale-invariant keypoints. *Int J Comput Vis*. 2004;60(2):91–110.
 23. Dalal N, Triggs B. Histograms of oriented gradients for human detection. In: Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), IEEE Computer Society Conference on. 2005. p. 886–93.
 24. Kumar M, Jindal MK, Sarma RK. k-Nearest Neighbor Based Offline Handwritten Gurmukhi Character Recognition. In: International Conference on Image Information Processing (ICIIP). 2011. p. 1–4.
 25. Lee SE, Min K, Suh T. Accelerating Histograms of Oriented Gradients descriptor extraction for pedestrian recognition. *Comput Electr Eng*. 2013 May;39

(4):1043–8.

26. Kermorvant C, Louradour J. Handwritten Mail Classification Experiments with the Rimes Database. In: International Conference on Frontiers in Handwriting Recognition (ICFHR). 2010. p. 241–6.
27. ภรณ์ยา อัมฤครัตน์ และพยุ่ง มีสัจ. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดมิติข้อมูลและจำแนกข้อมูลโดยวิธีการทางเครือข่ายประสาทเทียม. ในการประชุมทางวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 11. 2553. หน้า 58–65.