

## เอกสารอ้างอิง

1. คำรณ สุนด์ิ. (2546). หลักการเพิ่มอัตรากรลู่เข้าและการวางนัยทั่วไปสำหรับโครงข่ายป้อนไปข้างหน้าชนิดเซลล์ประสาทคล้ายซิกมอยด์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
2. Bay, H., Ess, A., Tuytelaars, T., & Van Gool, L. (2008). Speeded-Up Robust Features (SURF). **Computer Vision and Image Understanding**, 110(3), 346-359.
3. Brown, M. and D. Lowe (2007). Automatic Panoramic Image Stitching using Invariant Features. **International Journal of Computer Vision**, 74(1), 59-73.
4. Chui, C. K., & Guanrong, C. (1994). Rational approximation theory and its applications in systems engineering: an overview. **Paper presented at the Decision and Control, 1994.** Proceedings of the 33<sup>rd</sup> IEEE Conference on Decision and Control; December 14-16, 1994; (pp. 1487-1492). Lake Buena Vista, FL.
5. Fei-Fei, L., Fergus, R., & Perona, P. (2007). Learning generative visual models from few training examples: An incremental Bayesian approach tested on 101 object categories. **Computer Vision and Image Understanding**, 106(1), 59-70.
6. Forssén, P., & Lowe, D. (2007). Shape Descriptors for Maximally Stable Extremal Regions. **ICCV07.** IEEE 11<sup>th</sup> International Conference on Computer Vision; October 14-20, 2007; (pp. 1-8). Brazil: Rio de Janeiro.
7. Geusebroek, J.-M., Burghouts, G. J., & Smeulders, A. W. M. (2005). The Amsterdam Library of Object Images. **International Journal of Computer Vision**, 61(1), 103-112.
8. Harris, C. and Stephens, M. (1988). A combined corner and edge detection. **In Proceedings of The Fourth Alvey Vision Conference.** (pp. 147-151). UK: Manchester.
9. Ke, G., Shouxun, L., Yongdong, Z., Sheng, T., & Huamin, R. (2008). Attention Model Based SIFT Keypoints Filtration for Image Retrieval. **Paper presented at the Computer and Information Science, 2008. ICIS 08. Seventh IEEE/ACIS International Conference on.** (pp. 191-196). United States: Portland Oregon.

10. Lazebnik, S., Schmid, C., & Ponce, J.(2004). Semi-Local Affine Parts for Object Recognition. **Proceedings of the British Machine Vision Conference**. (pp. 959-968). UK: Kingston.
11. Lindeberg, T. (1994). Scale-space theory: A basic tool for analysing structures at different scales. **Journal of Applied Statistics**, **21**(2), 224-270.
12. Lowe, D. G. (1999). Object recognition from local scale-invariant features. **International Conference on Computer Vision**. (pp. 1150-1157). Greece: Corfu.
13. Lowe, D. G. (2004). Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints. **International Journal of Computer Vision**, **60**(2), 91-110.
14. Mikolajczyk, K., & Schmid, C. (2005). A performance evaluation of local descriptors. **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, **27**(10), 1615-1630.
15. MathWorks, Inc. (2010). **atan**. Retrieved Jan 5, 2010. from <http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/techdoc/ref/atan.html>
16. Petchjaturporn, P., Sirisuk, P., Khaehintung, N., Sunat, K., Wicheanchote, P., & Kiranon, W. (2008). Low cost RISC implementation of intelligent ultra fast charger for Ni-Cd battery. **Energy Conversion and Management**, **49**(2), 185-192.
17. Smith, S. M., & Brady, J. M. (1997). SUSAN-A New Approach to Low Level Image Processing. **International Journal of Computer Vision**, **23**(1), 45-78.
18. Sunat, K., Lursinsap, C., & Chu, C.-H. H. (2006). The p-recursive piecewise polynomial sigmoid generators and first-order algorithms for multilayer tanh-like neurons. **Neural Comput. Appl.**, **16**(1), 33-47.
19. Trajkovic, M., & Hedley, M. (1998). Fast corner detection. **Image and Vision Computing**, **16**(2), 75-87.
20. Wagner, D., Reitmayr, G., Mulloni, A., Drummond, T., & Schmalstieg, D. (2008). Pose tracking from natural features on mobile phones. **Paper presented at the Mixed and Augmented Reality, 2008. ISMAR 2008**. (pp. 125-134). UK: University of Cambridge.

ภาคผนวก

**บทความที่ผ่านการนำเสนอและตีพิมพ์ในงาน**

**National Conference on Computer Information Technologies 2010 (CIT2010)**

**จัดขึ้น ณ มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตจันทบุรี จังหวัดจันทบุรี**

**วันที่ 13 – 15 มกราคม 2553**

# การหาจุดสนใจของภาพด้วย Dop-RPPRBF เพื่อหาลักษณะเด่นของภาพแบบ SIFT

## บนอุปกรณ์ที่มีความสามารถในการประมวลผลแบบจำกัด

### Keypoints detection with Dop-RPPRBF for SIFT feature descriptor on Low Complexity Processor

วิฑูลย์ คอนพรทัศน์<sup>1</sup>, ศิริภัทร เชี่ยวชาญวัฒนา<sup>2</sup> และคำรณ สุนติ<sup>3</sup>

ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

<sup>1</sup>ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

Email : witoon.d@gmail.com<sup>1</sup>, sunkra@kku.ac.th<sup>2</sup>, khamron\_sunat@yahoo.com<sup>3</sup>

#### Abstract

The Scale Invariant Feature Transform (SIFT) is a well-known image features extraction technique. Its computational requirement is very high and its limitations of applying SIFT on a low computational power device. The problem is tackled by approximating the Gaussian function by the recursive polynomial function, p-RPP. The computational operations are only the basic mathematic operations. The experimental results showed that the proposed method approximately found the same interested points as those of the SIFT but took a shorter time. The features from both techniques were used to create the panorama pictures, the ones of the proposed method showed a higher quality.

**Keyword** : features extraction, keypoints detection, SIFT, p-RPP, low computational power device.

#### บทคัดย่อ

วิธีการ Scale Invariant Feature Transform (SIFT) เป็นวิธีการหาลักษณะเด่นของภาพที่ได้รับความนิยม แต่ใช้การฟังก์ชันคำนวณที่ซับซ้อนในการหาลักษณะเด่นของภาพ ทำให้วิธีการนี้มีข้อจำกัดในการประมวลผลบนอุปกรณ์ที่มีความสามารถในการประมวลผลแบบจำกัดได้ในบทความนี้จึงเสนอวิธีการใหม่ในการหาจุดสนใจของภาพ เพื่อลดความซับซ้อนในการคำนวณในขั้นตอนของการหาจุดสนใจ โดยใช้การประมาณค่าฟังก์ชันเกาส์เซียน ด้วยตัวคูณนิพหนามเป็นช่วง ชนิด p-RPP ที่มีค่าคำนวณด้วยตัวดำเนินการทางคณิตศาสตร์แบบพื้นฐาน จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า

วิธีการที่นำเสนอ สามารถหาจุดสนใจได้ใกล้เคียงและใช้เวลา น้อยกว่าวิธีการ SIFT เดิม เมื่อทดลองนำจุดสนใจไปสร้างภาพ มุมกว้าง จุดสนใจที่ได้จากวิธีใหม่ให้ผลดีกว่าจุดสนใจจากวิธี SIFT

**คำสำคัญ** การหาจุดสนใจ, ลักษณะเด่นของภาพ, ตัวคูณนิพหนามเป็นช่วง, การประมวลผลแบบจำกัด

#### 1. บทนำ

ปัจจุบัน เทคโนโลยีในการพัฒนาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ มีความก้าวหน้ามาก สามารถตอบสนองความต้องการของ ผู้ใช้งานได้อย่างหลากหลาย ยกตัวอย่างเช่น เทคโนโลยีของ โทรศัพท์มือถือ กล้องดิจิทัล คอมพิวเตอร์แบบพกพา เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตาม การพัฒนาโปรแกรมที่ทำงานบนอุปกรณ์ ดังกล่าว ยังถูกจำกัดด้วยความสามารถของอุปกรณ์ที่มีข้อจำกัด ทางด้านพลังงาน ขนาดของหน่วยความจำ ความสามารถของ หน่วยประมวลผลที่ไม่รองรับการคำนวณแบบทศนิยม เพราะ ออกแบบโดยแนวความคิด RISC (Reduce Instruction Set Computer) ทำให้โปรแกรมที่ต้องการการคำนวณที่ซับซ้อน ไม่สามารถนำมาทำงานของอุปกรณ์เหล่านี้ได้ โดยเฉพาะ โปรแกรมที่เกี่ยวกับการรู้จำรูปแบบและการประมวลผลภาพ ที่ มักจะถูกประมวลผลบนคอมพิวเตอร์ที่มีความสามารถในการ ประมวลผลสูง และอาศัยความสามารถของอุปกรณ์



ประมวลผลภาพช่วยเพิ่มความเร็วในการทำงาน แม้ว่าโทรศัพท์มือถือหรือคอมพิวเตอร์พกพาจะมีอุปกรณ์ในการรับภาพติดตั้งไว้ด้วยแต่ความสามารถในงานด้านการรู้จำรูปแบบและการประมวลผลภาพยังมีอยู่อย่างจำกัด

จากงานวิจัยของ Lowe [3, 4] พบว่า การหาลักษณะเด่นของภาพเป็นวิธีการที่สำคัญในการรู้จำรูปแบบ หรือการค้นคืนข้อมูลภาพ โดยลักษณะเด่นที่ได้นั้น จะต้องไม่ขึ้นกับขนาดหรือทิศทางของวัตถุในภาพ ลักษณะเด่นที่ได้จากวัตถุลักษณะเดียวกันจะมีลักษณะที่คล้ายกันกัน และได้เสนอวิธีการ SIFT ในการหาลักษณะเด่นของภาพแบบเฉพาะที่ และจากงานวิจัยของ Mikolajczyk [9] สนับสนุนว่า วิธีการ SIFT เป็นวิธีการหาลักษณะเด่นของภาพที่ดีที่สุด

ถึงแม้ว่าวิธีการ SIFT จะมีข้อดีในเรื่องของความน่าเชื่อถือของลักษณะเด่นที่ได้ แต่ขั้นตอนในการคำนวณหาลักษณะเด่นนั้น ใช้การคำนวณที่ซับซ้อน ใช้ฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ขั้นสูง เช่น ฟังก์ชัน  $\exp(\cdot)$  ที่มีการคำนวณทศนิยมจำนวนมาก จากงานวิจัยของคาร์ณ สุนันต์ [1, 2] ซึ่งชี้ให้เห็นว่าสามารถประมาณค่าฟังก์ชันเกาส์เซียน โดยใช้การคำนวณจากตัวก่อกำเนิดพหุนามเป็นช่วง ชนิด p-RPP และเวลาที่ใช้ในการคำนวณน้อยกว่าเมื่อเทียบกับการคำนวณด้วยฟังก์ชัน  $\exp(\cdot)$  เพราะใช้ตัวดำเนินการทางคณิตศาสตร์ที่เป็นพื้นฐาน ส่งผลให้ลดความซับซ้อนในการคำนวณ โดยเฉพาะอุปกรณ์ที่มีความสามารถในการคำนวณแบบจำกัด เช่น ในงานวิจัยของพนม เพชรจตุพร และคณะ [5] ได้นำไปใช้ในการประมาณค่า radial basis function ในโครงข่ายประสาทเทียม แบบ GRNN ของเครื่องประจุไฟแบดเทอร์อิัจฉริยะ ที่ประมวลผลบน RISC PIC16F876A

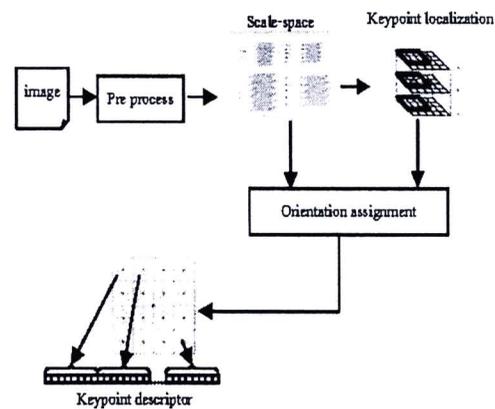
บทความนี้จึงเสนอวิธีการหาการหาจุดสนใจของภาพด้วยวิธี Difference of p-recursive piecewise polynomial radial basis function (Dop-RPPRBF) ใช้ในส่วนของการหาลักษณะเด่นของภาพแบบ SIFT แทนวิธีการ DoG เดิม เพื่อให้สามารถนำไปหาลักษณะเด่นของภาพสำหรับทำงานบนอุปกรณ์ที่มีความสามารถทางด้านคำนวณแบบจำกัดได้ โดยจะแบ่งเนื้อหาส่วนที่เหลือออกเป็นดังนี้ ส่วนที่สองจะกล่าวถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ส่วนที่สามอธิบายวิธีการของ

Dop-RPPRBF ส่วนที่สี่แสดงผลการทดลอง ส่วนที่ห้าวิเคราะห์ผล ส่วนที่หกสรุปผลและข้อเสนอแนะ

## 2. ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 Scale Invariant Feature Transform (SIFT)

วิธีการ SIFT เป็นวิธีการหาลักษณะเด่นแบบท้องถิ่นที่ไม่ขึ้นกับการเปลี่ยนขนาดและมุมมองของภาพ จากงานวิจัย [3, 4] วิธีการ SIFT จะประกอบด้วย 4 ขั้นตอนสำคัญ คือ 1) การสร้างปริภูมิค่าในมิติขนาดและระยะทาง 2) การกำหนดตำแหน่งจุดสนใจ 3) การกำหนดทิศทางของจุดสนใจ 4) การสร้างคำอธิบายลักษณะเด่นของภาพ ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขั้นตอนการหาลักษณะเด่นของภาพ ด้วย SIFT

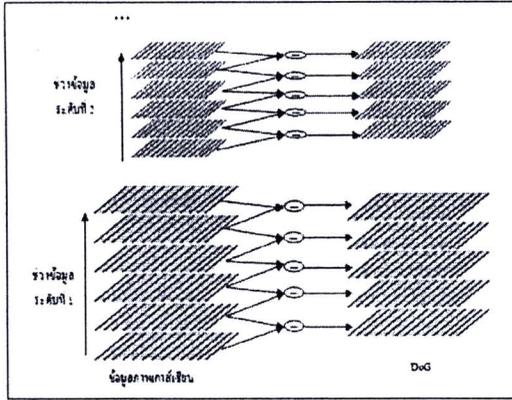
ขั้นตอนของการค้นหาจุดสนใจของภาพ สามารถนิยามได้ด้วยค่า  $L(x, y, \sigma)$  ที่เกิดจากการคอนโวลูชันภาพ  $I(x, y)$  ด้วยตัวกรองแบบเกาส์เซียนหลายระดับ

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

เมื่อ

$$G(x, y, \sigma) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-((x^2+y^2)/2\sigma^2)} \quad (2)$$

โดย  $G(x, y, \sigma)$  เป็นตัวกรองแบบเกาส์เซียน รายละเอียดการกำหนดค่า  $\sigma$  อธิบายใน [8] ข้อมูลภาพที่ผ่านการกรองแล้วจะต้องหาค่าความแตกต่างของแผ่นข้อมูลภาพระหว่างชั้นของข้อมูลที่อยู่ติดกัน ด้วยวิธีการ Difference-of-Gaussian (DoG) ดังรูปที่ 2 เช่น แผ่นข้อมูลภาพ  $L(x, y, \sigma_1)$  ที่กรองด้วยค่าตัวกรองเกาส์เซียน  $\sigma_1$  และแผ่นข้อมูลภาพ  $L(x, y, \sigma_2)$  ที่กรองด้วยค่าตัวกรองเกาส์เซียน  $\sigma_2$  จะหาค่า DoG ได้ดังสมการ



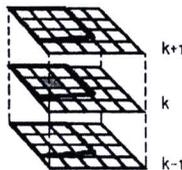
รูปที่ 2 การหาค่า DoG ของแผนภาพในแต่ละช่วงข้อมูล

$$L(x, y, \sigma_1) = (G(x, y, \sigma_1) * I(x, y))$$

$$L(x, y, \sigma_2) = (G(x, y, \sigma_2) * I(x, y)) \quad (3)$$

$$DoG = L(x, y, \sigma_2) - L(x, y, \sigma_1)$$

ขั้นตอนต่อไป คือ การหาค่าสูงสุดและต่ำสุด เพื่อเลือกเป็นจุดสนใจ จุดข้อมูลภาพจะถูกเทียบค่ากับจุดรอบข้าง 8 จุด และ 9 จุดในชั้นที่อยู่ติดกัน ตามรูปที่ 3 จุดที่พิจารณาจะเป็นจุดในชั้นที่ k จุดสนใจที่เลือกจะเลือกเฉพาะจุดที่เป็นค่าสูงสุดหรือค่าต่ำสุดในบริเวณที่พิจารณาเท่านั้น



รูปที่ 3 การพิจารณาจุดของภาพเพื่อเลือกเป็นจุดสนใจ

เมื่อได้จุดสนใจแล้ว จะทำการหาขนาด  $m(x, y)$  และทิศทาง  $\theta(x, y)$  ของจุดภาพที่ผ่านการกรองทั้งหมด เพื่อนำไปสร้างลักษณะเด่นของภาพ ดังสมการ

$$m(x, y) = \sqrt{(Lx)^2 + (Ly)^2} \quad (4)$$

$$\theta(x, y) = \arctan((Ly)/(Lx)) \quad (5)$$

โดย  $Lx$  และ  $Ly$  คือค่าเกรเดียนต์ในแนวตั้งและแนวนอน

หลังจากนั้นจะสร้างลักษณะเด่นของภาพ โดยจะสร้างพื้นที่สนใจที่มีจุดสนใจเป็นจุดศูนย์กลาง แล้วแบ่งพื้นที่สนใจเป็นพื้นที่ย่อย ขนาด  $4 \times 4$  ดังรูปที่ 4 คำนวณภาพแ่งความถี่ของทิศทางเกรเดียนต์ ตามขนาดของเกรเดียนต์ ในแต่ละพื้นที่

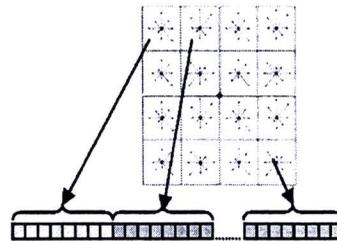
ย่อย ทิศทางของจุด จะถูกแบ่งออกเป็น 8 กลุ่ม เพื่อคำนวณค่าแ่งความถี่ของแต่ละพื้นที่ย่อย ได้ดังนี้

$$h_{r(1,m)}(k) = \sum_{x,y \in r(1,m)} M(x,y) (1 - |\Theta(x,y) - c_k| / \Delta_k) \quad (6)$$

เมื่อ  $\Theta(x, y)$  เป็นสมาชิกของกลุ่ม k,  $c_k$  คือ ทิศทางของศูนย์กลาง,  $\Delta_k$  คือช่วงข้อมูลทิศทางของกลุ่ม และ  $(x, y)$  คือจุดร่วมของภาพในพื้นที่ย่อย เมื่อคำนวณครบทุกพื้นที่ย่อยแล้ว นำค่าแ่งความถี่ของทิศทางเกรเดียนต์มาเรียงต่อกันจะได้ลักษณะเด่นของภาพที่หาจากวิธีการ SIFT ขนาด 128 ข้อมูล

$$u = (h_{r(1,1)}, \dots, h_{r(1,m)}, \dots, h_{r(4,4)}) \quad (7)$$

หลังจากนั้นจะทำการแปลงค่าลักษณะเด่นที่ได้ให้อยู่ในรูปของค่ามาตรฐานหนึ่งหน่วย ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ลักษณะเด่นของภาพที่ได้จากวิธี SIFT

การหาลักษณะเด่นของภาพด้วยวิธี SIFT ได้รับการพัฒนาจากหลายงานวิจัย เช่น Lazebnik [10] ได้ปรับปรุงวิธีการ SIFT โดยใช้การสร้างลักษณะเด่นในพื้นที่ของวงกลม ทิศทางของจุดสนใจ จะมีทิศทางพุ่งออกจากจุดศูนย์กลาง เรียกว่า rotation-invariant generalization of SIFT (RIFT)

Bay [11] ได้พัฒนาวิธีการ SURF เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของ SIFT ให้มีความสามารถในการตอบสนองต่อขนาดและทิศทางของวัตถุที่เปลี่ยนแปลง โดยใช้วิธีการ Haar wavelet ในการค้นหาจุดสนใจ

Ke [12] ได้ปรับปรุงวิธีการ SIFT โดยลดขนาดของลักษณะเด่น จาก 128 ข้อมูล ให้เหลือ 36 ข้อมูล โดยใช้หลักการของ PCA มาช่วยในการลดมิติ เรียกว่า PCA-SIFT

Wagner [13] ได้ปรับปรุงวิธีการหาจุดสนใจของ SIFT จากวิธีการ DoG เป็น FAST corner detector และกำหนดขนาด

ของพื้นที่ย่อยของภาพแบบคงที่ 15×15 จุดภาพและขนาดของลักษณะเด่น 36 มิติ

**2.2 p-recursive piecewise polynomial radial basis function (p-RPPRBF)**

การประมวลผลของ p-RPPRBF จะใช้แกนของฟังก์ชันที่ได้จากการประมาณค่าอนุพันธ์ของฟังก์ชัน tanh-like ตามงานวิจัยของคาร์ณ สุนัตติ [1, 2] และพนม เพชรจตุพร [5] โดยพารามิเตอร์  $d$  คือ ค่าระยะห่างจากจุดศูนย์กลางข้อมูล และ  $p$  คือ จำนวนรอบในการปรับค่าผลลัพธ์ ถ้ากำหนดค่า  $p$  มีค่ามากขึ้น การประมาณค่าที่ได้จะใกล้เคียงกับอนุพันธ์ของฟังก์ชัน tanh มากยิ่งขึ้น จำลองด้วยคำสั่งโปรแกรมภาษา matlab ได้ดังนี้

```
function output= pRPPRBF(d,p)
delta = 1-(d./(2.^(p+1)));
delta(delta<0) = 0;
output = delta.*delta;
for n=1:p
    output = delta.*output.*output;
end
end
```

รูปที่ 5 คำสั่งโปรแกรม matlab สำหรับ p-RPPRBF

**3. Difference of p-recursive piecewise polynomial radial basis function (Dop-RPPRBF)**

การหาจุดสนใจด้วย Dop-RPPRBF จะหาความแตกต่างระหว่างภาพที่คอนโวลูชันด้วยตัวกรองที่ประมาณค่าฟังก์ชันแบบ p-RPPRBF การคำนวณค่า  $d$  จะใช้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมาพิจารณาด้วย โดย กำหนดค่า  $d$  จากสมการ

$$d = (x^2 + y^2) / 2\sigma^2 \tag{8}$$

เมื่อ  $(x, y)$  คือค่าจุดรวมของตัวกรองในแนวตั้งและแนวนอน และ  $\sigma$  คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยจะใช้ค่าเดียวกันกับวิธีการของ SIFT เดิม ซึ่งอธิบายใน [8] เพื่อให้ได้ค่าตัวกรองที่มีลักษณะเดียวกับ DoG

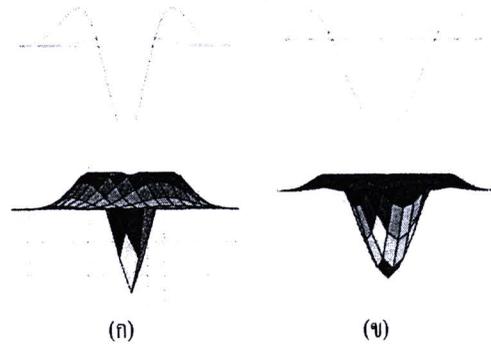
เมื่อนำข้อมูลภาพ  $I(x, y)$  มาคอนโวลูชันกับตัวกรอง  $\phi(x, y, \sigma, d)$  ที่ได้จาก p-RPPRBF ตามสมการ

$$L(x, y, \sigma) = \phi(x, y, \sigma, d) * I(x, y) \tag{9}$$

การหาความแตกต่างระหว่างชั้นของข้อมูลที่อยู่ติดกันจะคำนวณได้จากสมการ

$$\begin{aligned} L(x, y, \sigma_1) &= (\phi(x, y, \sigma_1, d_1) * I(x, y)) \\ L(x, y, \sigma_2) &= (\phi(x, y, \sigma_2, d_2) * I(x, y)) \\ \text{Dop-RPPRBF} &= L(x, y, \sigma_2) - L(x, y, \sigma_1) \end{aligned} \tag{10}$$

เมื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้ของวิธี DoG และ Dop-RPPRBF จะมีลักษณะเดียวกัน แสดงในรูปที่ 6 แถวบนจะเป็นการหาความแตกต่างใน 1 มิติ และแถวล่างเป็นแบบ 2 มิติ



รูปที่ 6 ผลลัพธ์เมื่อกรองด้วย (ก) DoG (ข) Dop-RPPRBF

จากรูปที่ 7 จะแสดงให้เห็นตำแหน่งของจุดสนใจที่ได้จากวิธี DoG (จุด \* สีเขียว) และ Dop-RPPRBF (จุด o สีน้ำเงิน) จะเห็นว่าจุดสนใจที่ได้จาก 2 วิธีจะอยู่ในบริเวณที่ใกล้เคียงกัน โดยจุดสนใจจะปรากฏตามขอบภาพ



รูปที่ 7 จุดสนใจที่ได้จากวิธี DoG และ Dop-RPPRBF

**4. ผลการทดลอง**

ในบทความนี้ จะนำเสนอผลการทดลองเปรียบเทียบผลของการหาจุดสนใจด้วย Dop-RPPRBF ที่นำเสนอ และวิธีการ DoG หาจุดสนใจของภาพจากชุดข้อมูลภาพ Feature detector evaluation sequences [6] ที่มีลักษณะที่แตกต่างกัน (blur, viewpoint, zoom and rotation, light, jpeg compression) ได้ผลการทดลองตามตาราง 1 จำนวนจุดสนใจที่ได้จากทั้งสองวิธีจะ

มีจำนวนใกล้เคียงกัน และเวลาที่ใช้ในการค้นหาจุดสนใจที่ใกล้เคียงกันด้วย เมื่อหาร้อยละความแตกต่างของจุดสนใจที่ได้จากวิธีการ Dop-RPPRBF เทียบกับวิธี DoG จะเห็นว่า มีความแตกต่างกันไม่มาก

ตาราง 1 ผลการค้นหาจุดสนใจ ด้วย DoG และ Dop-RPPRBF

ชุดข้อมูลภาพ	วิธีการ	จำนวนจุดสนใจเฉลี่ย	เวลาเฉลี่ย (วินาที)	จำนวนจุดสนใจที่ต่างกัน (%)
Blur	DoG	436	2.31	9.63
	Dop-RPPRBF	478	2.31	
Viewpoint	DoG	794	2.28	17.12
	Dop-RPPRBF	930	2.23	
Zoom+rotation	DoG	1834	1.91	-32.27
	Dop-RPPRBF	1242	1.87	
Light	DoG	993	1.92	1.61
	Dop-RPPRBF	1009	1.99	
JPEG compression	DoG	2077	1.72	-33.41
	Dop-RPPRBF	1383	1.67	

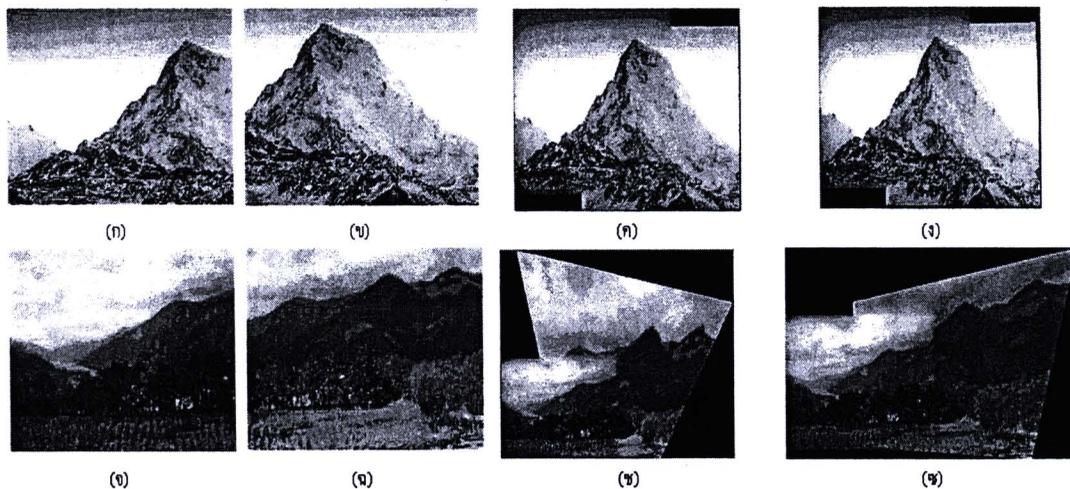
เมื่อเปรียบเทียบจำนวนจุดสนใจของภาพที่ได้จากวิธีที่นำเสนอและวิธีของ SIFT เดิมแล้ว จึงได้ทดสอบตำแหน่งของจุดสนใจที่ได้ว่าสามารถใช้เป็นตัวแทนของภาพได้หรือไม่ ด้วยการทดลองใช้จุดสนใจที่ได้มาใช้ในการสร้างภาพมุมกว้าง (panorama) ดังรูปที่ 8 เมื่อนำภาพ (ก) และ (ข) มาทำการเชื่อมต่อกัน ด้วยจุดสนใจที่ได้จากวิธี DoG (ค) และ Dop-RPPRBF (ง) จะได้ภาพมุมกว้างที่เหมือนกัน ตรวจสอบได้จากการวางซ้อนทับกันพอดีของภาพจากทั้งสองวิธี แต่เมื่อนำภาพ (จ) และ (ฉ) มาทำการเชื่อมต่อกัน ผลที่ได้จากการใช้จุดสนใจ

ของวิธี DoG (ข) จะมีความผิดพลาดเกิดขึ้น แต่เมื่อใช้จุดสนใจจากวิธี Dop-RPPRBF (ข) จะได้ภาพที่เชื่อมต่อกันดีกว่า สังเกตได้จากลักษณะของแนวต้นไม้ที่เชื่อมต่อได้ดี เมื่อขยายภาพจะเห็นแนวของเส้นสายไฟฟ้าที่เชื่อมต่อได้เป็นแนวเดียวกัน แม้จะมีความผิดพลาดเกิดขึ้นในบางจุด ตามแนวของสันเขา

5. วิเคราะห์ผล

การศึกษาเพื่อพัฒนาวิธีการหาจุดสนใจ โดยใช้วิธีการ Dop-RPPRBF พบว่าจำนวนจุดสนใจเฉลี่ยและเวลาที่ใช้ในการคำนวณที่ได้จากวิธีการ Dop-RPPRBF จะมีจำนวนและตำแหน่งใกล้เคียงกับวิธี DoG แต่วิธีการ DoG จะใช้การคำนวณด้วย  $\exp(.)$  ซึ่งซับซ้อนกว่าการประมาณค่าด้วย p-RPP จากการศึกษาเพิ่มเติม จาก [7] จะพบว่า สามารถปรับปรุงการประมาณค่าฟังก์ชัน  $\exp(.)$  ด้วย Logistic Squashing Function จะทำให้มีความเร็วในการคำนวณมากกว่าการคำนวณด้วยคำสั่ง  $\exp(.)$  ปกติ มากถึง 38 เท่า ดังนั้น หากทำการปรับคำสั่งโปรแกรมของวิธีที่นำเสนอตามงานวิจัยดังกล่าว จะทำให้เวลาที่ใช้ในการทำงานลดลง และมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนระหว่างวิธี DoG และวิธี Dop-RPPRBF

การประยุกต์การหาจุดสนใจด้วยวิธี Dop-RPPRBF จะสามารถนำไปใช้งานกับอุปกรณ์ที่มีความสามารถในการคำนวณอย่างจำกัด เช่น การค้นคืนข้อมูลภาพจากภาพถ่ายในโทรศัพท์มือถือ หรือการสร้างภาพมุมกว้างบนกล้องดิจิทัล เป็นต้น



รูปที่ 8 การสร้างภาพมุมกว้างจากจุดสนใจที่หาจาก DoG และ Dop-RPPRBF

## 6. สรุปผล

การหาจุดสนใจด้วย Dop-RPPRBF จะได้ตำแหน่งจุดสนใจที่ใกล้เคียงกับวิธี DoG รวมทั้งเวลาที่ใช้ในการคำนวณไม่แตกต่างกันมากนัก แต่วิธีการที่เสนอมีการคำนวณที่ซับซ้อนน้อยกว่า ทำให้สามารถนำไปใช้กับอุปกรณ์ที่มีความสามารถในการประมวลผลแบบจำกัดได้ เมื่อนำจุดสนใจมาทดลองใช้ในการสร้างภาพมุมกว้าง วิธีการที่นำเสนอสามารถสร้างภาพมุมกว้างได้เช่นเดียวกับวิธีการของ DoG และภาพบางลักษณะ วิธีการที่นำเสนอจะเชื่อมต่อกภาพได้ดีกว่า อาจมาจากจุดสนใจที่ได้มีลักษณะที่ดีกว่า ซึ่งจะใช้เป็นปัญหาในการศึกษาต่อไป

## 7. เอกสารอ้างอิง

- [1] คำรณ สุนิติ. "หลักการเพิ่มอัตราการสุ่มเข้าและการวางนัยทั่วไปสำหรับโครงข่ายป้อนไปข้างหน้าชนิดเซลล์ประสาทคล้ายจิกมอยด์". วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรคุณวุฒิบัณฑิต. สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์; จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2546.
- [2] Khamron Sunat, Chidchanok Lursinsap and Chee-Hung Henry Chu. "The p-recursive piecewise polynomial sigmoid generators and first-order algorithms for multilayer tanh-like neurons". *Neural Computing & Applications*, 2007; 16(1).
- [3] Lowe D.G. "Object recognition from local scale-invariant features". In: *International Conference on Computer Vision*; p.1150-1157, 1999.
- [4] Lowe D.G. "Distinctive image features from scale-invariant keypoints". *International Journal of Computer Vision*, 60(2): 91-110, 2004.
- [5] Panom Petchjatuporn, Phaophak Sirisuk, Noppadol Khaehintung, Khamron Sunat, Phinyo Wichan chote, Wiwat Kiranon. "Low cost RISC implementation of intelligent ultra fast charger for ni-cd battery". *Energy conversion and management*. 2008; 49(2) P. 185-192.
- [6] "Feature detector evaluation sequences". Retrieve September 1, 2009 from <http://lear.inrialpes.fr/people/mikolajczyk/Database/index.html>.
- [7] J. J. Milner, A. J. Grandison. "A fast, streaming simd extensions 2, logistic squashing function". *Neural Computation*. 20(12) : p. 2967-2972, 2008.
- [8] Sebastian Nowozin. "Object Classification using Local Image Features". Retrieve September 1, 2009 from <http://www.kyb.mpg.de/publication.html?publ=4064>
- [9] K. Mikolajczyk and C. Schmid. "A performance evaluation of local descriptors". In *Proceedings of Computer Vision and Pattern Recognition*, June 2003.
- [10] Lazebnik, S., Schmid, C., and Ponce, J. 2004. "Semi-Local Affine Parts for Object Recognition", *Proceedings of the British Machine Vision Conference*.
- [11] Bay, H., Tuytelaars, T., Gool, L.V. 2006. "SURF: Speeded Up Robust Features", *Proceedings of the ninth European Conference on Computer Vision*.
- [12] Ke, Y., and Sukthankar, R., 2004. "PCA-SIFT: A More Distinctive Representation for Local Image Descriptors". *Computer Vision and Pattern Recognition*.
- [13] D. Wagner, G. Reitmayr, A. Mulloni, T. Drummond, and D. Schmalstieg, 2008. Pose "tracking from natural features on mobile phones". *Proceedings of the International Symposium on Mixed and Augmented Reality*.

บทความที่ผ่านการนำเสนอและตีพิมพ์ในงาน  
The 11<sup>th</sup> Graduate Research Conference  
จัดขึ้น ณ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น  
วันที่ 12 กุมภาพันธ์ 2553

การหาจุดสนใจของภาพ ด้วย Dop-RPPRBF บนพื้นฐานวิธีการ SIFT

Dop-RPPRBF : Keypoints detection base on SIFT

วิฑูลย์ ดอนพรทัน (Witoon Donpondtun)\* สิริภักดิ์ เชื้อชาญวัฒนา (Sirapat Chiewchanwattana)\*\*

คำรณ สุณัฒิ (Khamron Sunat)\*\*\*

**บทคัดย่อ**

งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการใหม่ในการหาจุดสนใจของภาพ ด้วยวิธี Dop-RPPRBF บนพื้นฐานการหาลักษณะเด่นของภาพแบบ SIFT เพื่อลดความซับซ้อนในการคำนวณ การหาจุดสนใจด้วยวิธี Dop-RPPRBF จะใช้การประมาณค่าฟังก์ชันเกาส์เซียน ด้วยตัวก่อกำเนิดพหุนามเป็นช่วง ชนิด p-RPP ที่มีกระบวนการคำนวณด้วยตัวกระทำทางคณิตศาสตร์พื้นฐาน ซึ่งค่าที่ได้จะมีความใกล้เคียงกับฟังก์ชันเกาส์เซียน และถ้าหากปรับค่าของ p-RPP ด้วยการยกกำลังสอง จะมีค่าใกล้เคียงกับฟังก์ชันเกาส์เซียนมากขึ้น แต่จำนวนรอบในการคำนวณจะเพิ่มมากขึ้นด้วย เมื่อนำไปทดลองในการหาความคล้ายคลึงของภาพเปรียบเทียบกับวิธีการมาตรฐาน SIFT พบว่าผลการทดลองมีความถูกต้องใกล้เคียงกัน แต่วิธีการที่นำเสนอใช้การคำนวณที่มีความซับซ้อนน้อยกว่าวิธีการมาตรฐาน SIFT ทำให้สามารถนำวิธีการหาลักษณะเด่นแบบ SIFT ไปใช้กับคอมพิวเตอร์ที่มีความสามารถในการประมวลผลแบบจำกัดได้

**ABSTRACT**

This research presents a new method for the image's key points detecting using the Difference of p-recursive piecewise polynomial radial basis function (Dop-RPPRBF) embedded in the Scale Invariant Feature Transform (SIFT) method. The objective is to reduce the computation time. The Dop-RPPRBF estimates the Gaussian function by the p-recursive piecewise polynomial (p-RPP) generator. The operations are only the basic mathematical operators. The shapes produced from the p-RPPs are similar to those of the Gaussian function. Once the p-RPPs are squared, each function needs one more multiplication, but their shapes are close to those of the Gaussian. When the proposed method and the standard SIFT are compared by measuring the similarity of the images, the experimental results show that their accuracies are comparable. However the new method uses less complex calculation than the standards SIFT. Hence, it could be used on a processing limit computer.

**คำสำคัญ :** จุดสนใจของภาพ การหาลักษณะเด่นของภาพ ตัวก่อกำเนิดพหุนามเป็นช่วง

**Key Words :** keypoints detection, SIFT, Dop-RPPRBF

\*นักศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

\*\*ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

\*\*\*อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

## บทนำ

ในงานด้านการรู้จำรูปแบบ การค้นคืนภาพและการประมวลผลภาพ ขั้นตอนที่สำคัญขั้นตอนหนึ่งคือการหาลักษณะเด่นของภาพ โดยลักษณะเด่นนี้จะนำไปใช้ในการแสดงความเป็นเอกลักษณ์ของภาพ ลักษณะเด่นของภาพแต่ละภาพ จะมีลักษณะที่คล้ายกัน การเปรียบเทียบความคล้ายคลึงกันของภาพ จะอาศัยคุณสมบัติของจุดร่วม (corresponding points) ที่เกิดจากการมองภาพวัตถุชิ้นเดียวกัน จากมุมมองที่ต่างกัน แต่จะมีบางส่วนที่เป็นจุดร่วมของภาพ จุดร่วมนั้นจะใช้เป็นจุดอ้างอิงในการเปรียบเทียบความคล้ายคลึงของภาพ ในการค้นหาจุดร่วมจะใช้การเปรียบเทียบจุดทุกจุดของภาพทั้งหมดที่ต้องการหาความคล้ายคลึงตามแนวเส้นอ้างอิง จะทำให้ได้จุดร่วมที่มีในภาพที่ต้องการเปรียบเทียบ แต่วิธีการดังกล่าวจะต้องใช้การคำนวณเปรียบเทียบจำนวนมาก จึงมีผู้คิดค้นวิธีการหาจุดสนใจ (keypoints) ของภาพแต่ละภาพ แล้วนำจุดสนใจมาสร้างลักษณะเด่น นำมาเปรียบเทียบกันแทนซึ่งใช้การเปรียบเทียบที่น้อยกว่า

การหาจุดสนใจสามารถทำได้หลายวิธี ยกตัวอย่างวิธีการ Corner Detection เช่น Harris corner detection (Harris, 1988), SUSAN corner detection (Stephen, 1997), FAST feature detection (Miroslav, 1998) หรือ วิธีการ Blob Detection เช่น LoG, DoG (Lindeberg, 1994), MSER (Forssen, 2007) เป็นต้น การหาลักษณะเด่นของภาพเป็นวิธีการที่สำคัญในการรู้จำรูปแบบ ลักษณะเด่นที่ดีนั้น จะต้องไม่ขึ้นกับขนาดของวัตถุหรือทิศทางของวัตถุในภาพ ลักษณะเด่นที่ได้จากวัตถุลักษณะเดียวกันจะมีลักษณะเดียวกัน วิธีการ SIFT (Lowe, 1999) เป็นวิธีการหาลักษณะเด่นของภาพวิธีหนึ่งที่ได้รับการนิยมนิย โดยเฉพาะการทำงานเกี่ยวกับการค้นคืนภาพ หรือการสร้างภาพมุมกว้าง (panorama) จุดเด่นของวิธีการ SIFT คือ สามารถทำงานกับภาพของวัตถุที่มีขนาดหรือมุมมองแตกต่างกันได้ ทำให้มีความยืดหยุ่นในการใช้

งาน มีความทนทานต่อการปรับเปลี่ยนข้อมูลภาพ การคำนวณหาจุดสนใจจะใช้ผลต่างของการกรองภาพด้วยตัวกรองเกาส์เขียนหลายระดับ หาจุดสนใจของภาพแล้วนำจุดสนใจมาสร้างเป็นลักษณะเด่น

การหาลักษณะเด่นของภาพด้วยวิธี SIFT ได้รับการพัฒนาจากหลายงานวิจัย เช่น Lazebnik (2004) ได้ปรับปรุงวิธีการ SIFT โดยใช้การสร้างลักษณะเด่นในพื้นที่ของวงกลมหรือ rotation-invariant generalization of SIFT (RIIFT) และ Ke (2004) ได้แก้ปัญหาเรื่องจำนวนมิติข้อมูลของ SIFT ที่มีจำนวนมาก จาก 128 ข้อมูล ให้เหลือ 36 ข้อมูล โดยใช้หลักการของ PCA มาช่วยในการลดมิติ เรียกว่า PCA-SIFT ต่อมา Bay (2006) ได้พัฒนาวิธีการ SURF เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของ SIFT ให้มีความสามารถในการตอบสนองต่อขนาดและทิศทางของวัตถุที่เปลี่ยนแปลง โดยใช้วิธีการ Haar wavelet ในการค้นหาจุดสนใจ และ Wagner (2008) ได้ปรับปรุงวิธีการหาจุดสนใจของ SIFT จากวิธีการ DoG เป็น FAST corner detector

การคำนวณตัวกรองแบบเกาส์เขียน สมการที่ใช้จะอาศัยผลการคำนวณจากฟังก์ชัน  $\exp()$  มีการคำนวณทศนิยมจำนวนมาก และใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อน ซึ่งเหมาะสำหรับหน่วยประมวลผลกลางที่มีความสามารถในการคำนวณสูง หรือใช้ความสามารถของหน่วยแสดงผลมา (GPU) ช่วยในการคำนวณด้วย ทำให้ไม่สามารถนำวิธีการหาจุดสนใจแบบ SIFT ไปใช้งานบนเครื่องคอมพิวเตอร์ที่หน่วยประมวลผลกลางมีความสามารถในการคำนวณแบบจำกัดได้ เพราะคอมพิวเตอร์ประเภทนี้จะมีข้อจำกัดทางด้านพลังงาน ขนาดของหน่วยความจำและความสามารถในการประมวลผล หน่วยประมวลผล จะถูกออกแบบโดยยึดหลักแนวความคิด RISC (Reduce Instruction Set Computer) ทำให้ความซับซ้อนของการคำนวณลดลง

จากการศึกษาของคำธม (2547) และ Sunat (2006) พบว่า การคำนวณค่าของฟังก์ชันเกาส์เขียนสามารถประมาณค่าได้จากตัวก่อกำเนิดพหุนามเป็นช่วง ชนิด p-RPP และเวลาที่ใช้ในการทำงานน้อยกว่า

เมื่อเทียบกับฟังก์ชันพื้นฐาน  $\exp()$  และข้อดีของ p-RPP คือ ใช้ตัวดำเนินการทางคณิตศาสตร์พื้นฐาน ไม่ใช้ฟังก์ชันที่ซับซ้อนในการคำนวณ ทำให้สามารถนำวิธีการนี้ไปใช้กับอุปกรณ์ที่มีความสามารถในการประมวลผลแบบจำกัดได้ เช่น การนำไปใช้ในการประมาณค่า radial basis function ในระบบประสาทเทียม แบบ GRNN ของเครื่องประจุไฟแบตเตอรี่อัจฉริยะ (Petchjaturorn, 2008) เป็นต้น การประมาณค่าฟังก์ชันเกาส์เซียน ด้วย p-RPP เมื่อนำมาใช้งานกับการหาลักษณะเด่นของภาพแบบ SIFT จะทำให้การคำนวณลดความซับซ้อน และสามารถจะพัฒนาให้ไปใช้งานบนคอมพิวเตอร์ที่มีความสามารถในการคำนวณแบบจำกัดได้

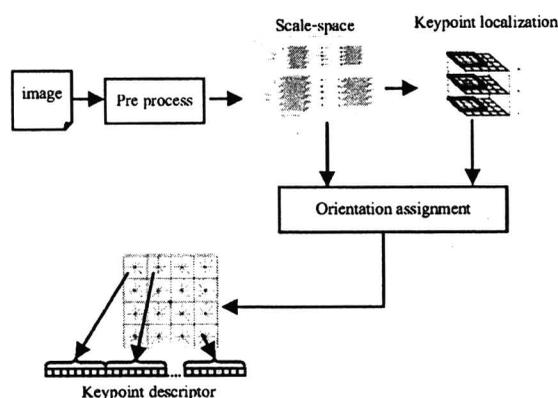
บทความนี้จะเสนอวิธีการหาจุดสนใจด้วยวิธี Difference of p-recursive piecewise polynomial radial basis function (Dop-RPPRBF) ที่เป็นส่วนหนึ่งของการหาลักษณะเด่นของภาพแบบ SIFT โดยการใช้การประมาณค่าฟังก์ชันเกาส์เซียน ด้วยตัวก่อกำเนิดพหุนามเป็นช่วง ชนิด p-RPP ในการหาจุดสนใจ โดยจะศึกษาปัจจัยที่สำคัญในการประมาณค่าและคุณสมบัติของจุดสนใจที่ได้จากวิธีการที่เสนอ โดยจะแบ่งเนื้อหาส่วนที่เหลือออกเป็นดังนี้ ส่วนที่สองจะกล่าวถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ส่วนที่สามผลการวิจัยและการอภิปรายผล ส่วนที่สี่สรุปผลการวิจัย ส่วนที่ห้าข้อเสนอแนะ

### ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### Scale Invariant Feature Transform (SIFT)

วิธีการ SIFT เป็นวิธีการหาลักษณะเด่นแบบท้องถิ่นที่ไม่ขึ้นกับการเปลี่ยนแปลงขนาดและมุมมองของภาพ จากงานวิจัยของ Lowe (1999, 2004) วิธีการ SIFT จะประกอบด้วย 4 ขั้นตอนสำคัญ คือ 1) การสร้างปริภูมิค่าในมิติขนาดและระยะทาง 2) การกำหนดตำแหน่งจุดสนใจ 3) การกำหนดทิศทางของจุดสนใจ 4) การสร้างคำอธิบายลักษณะเด่นของภาพ ดังภาพที่ 1

ขั้นตอนของการค้นหาจุดสนใจของภาพ สามารถนิยามได้ด้วยค่า



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการหาลักษณะเด่นของภาพด้วย SIFT

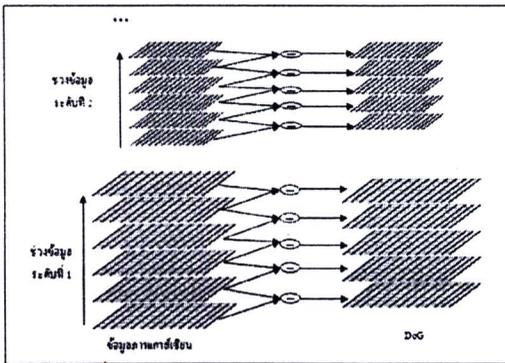
$L(x, y, \sigma)$  ที่ได้เกิดจากการสังวัตนาการ(convolution) ภาพ  $I(x, y)$  ด้วยตัวกรองแบบเกาส์เซียนหลายระดับ

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

เมื่อ

$$G(x, y, \sigma) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-((x^2+y^2)/2\sigma^2)} \quad (2)$$

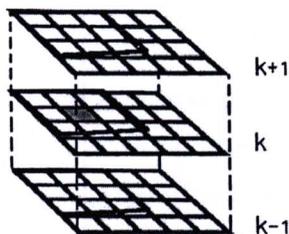
โดย  $G(x, y, \sigma)$  เป็นตัวกรองแบบเกาส์เซียนโดยค่าการกำหนดตัวแปร  $\sigma$  สามารถศึกษาเพิ่มเติมใน Sebastian (2006) ข้อมูลภาพที่ผ่านการสังวัตนาการแล้ว จะต้องหาค่าความแตกต่างของแผ่นข้อมูลภาพระหว่างชั้นของข้อมูลที่อยู่ติดกัน ด้วยวิธีการ Difference-of-Gaussian (DoG) ดังภาพที่ 2 เช่น แผ่นข้อมูลภาพ  $L(x, y, \sigma_1)$  ที่สังวัตนาการด้วยค่าตัวกรองเกาส์เซียน  $\sigma_1$  และแผ่นข้อมูลภาพ  $L(x, y, \sigma_2)$  ที่สังวัตนาการด้วยค่าตัวกรองเกาส์เซียน  $\sigma_2$  จะหาค่า DoG ตามสมการ 3



ภาพที่ 2 การหาค่า DoG ของแต่ละช่วงข้อมูล

$$\begin{aligned} L(x, y, \sigma_1) &= (G(x, y, \sigma_1) * I(x, y)) \\ L(x, y, \sigma_2) &= (G(x, y, \sigma_2) * I(x, y)) \\ DoG &= L(x, y, \sigma_2) - L(x, y, \sigma_1) \end{aligned} \quad (3)$$

ขั้นตอนต่อไป คือ การหาค่าสูงสุดและต่ำสุด เพื่อเลือกเป็นจุดสนใจ จุดข้อมูลภาพจะถูกเทียบค่ากับจุดข้างเคียงในแผ่นข้อมูลเดียวกัน 8 จุดและเทียบกับจุดข้อมูลภาพในชั้นที่อยู่ติดกัน 9 จุด ตามภาพที่ 3 จุดที่พิจารณาจะเป็นจุดในชั้นที่ k จุดสนใจที่เลือกจะเลือกเฉพาะจุดที่เป็นค่าสูงสุดหรือค่าต่ำสุดในบริเวณที่พิจารณาเท่านั้น



ภาพที่ 3 การพิจารณาจุดของภาพ เพื่อเลือกเป็นจุดสนใจ

เมื่อได้จุดสนใจแล้ว จะทำการหาขนาด  $m(x, y)$  และทิศทาง  $\theta(x, y)$  ของจุดภาพที่ผ่านการกรองทั้งหมด เพื่อนำไปสร้างลักษณะเด่นของภาพ ดังสมการ

$$m(x, y) = \sqrt{(Lx)^2 + (Ly)^2} \quad (4)$$

$$\theta(x, y) = \arctan((Ly)/(Lx)) \quad (5)$$

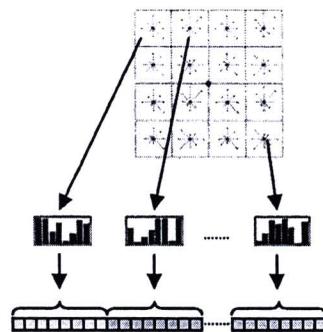
โดย  $Lx$  และ  $Ly$  คือค่าเกรเดียนท์ในแนวตั้งและแนวนอน

หลังจากนั้นจะสร้างลักษณะเด่นของภาพ โดยจะสร้างพื้นที่สนใจที่มีจุดสนใจเป็นจุดศูนย์กลาง แล้วแบ่งพื้นที่สนใจเป็นพื้นที่ย่อย ขนาด  $4 \times 4$  ดังภาพที่ 4 คำนวณภาพแท่งความถี่ของทิศทางเกรเดียนต์ ตามขนาดของเกรเดียนต์ ในแต่ละพื้นที่ย่อย ทิศทางของจุดจะถูกแบ่งออกเป็น 8 กลุ่ม เพื่อคำนวณค่าแท่งความถี่ของแต่ละพื้นที่ย่อย ได้ดังนี้

$$h_{r(l,m)}(k) = \sum_{x,y \in r(l,m)} M(x,y) (1 - |\Theta(x,y) - c_k| / \Delta_k) \quad (6)$$

เมื่อ  $\Theta(x, y)$  เป็นสมาชิกของกลุ่ม  $k$ ,  $c_k$  คือ ทิศทางของศูนย์กลาง,  $\Delta_k$  คือช่วงข้อมูลทิศทางของกลุ่ม และ  $(x, y)$  คือจุดร่วมของภาพในพื้นที่ย่อย เมื่อคำนวณครบทุกพื้นที่ย่อย แล้วนำค่าแท่งความถี่ของทิศทางมาเรียงต่อกันจะได้ลักษณะเด่นของภาพที่หาจากวิธีการ SIFT ขนาด 128 ข้อมูล

$$u = (h_{r(1,1)}, \dots, h_{r(l,m)}, \dots, h_{r(4,4)}) \quad (7)$$



ภาพที่ 4 ลักษณะเด่นของภาพที่ได้จากวิธี SIFT

หลังจากนั้นจะทำการแปลงค่าลักษณะเด่นที่ได้ให้อยู่ในรูปของค่ามาตรฐานหนึ่งหน่วย ดังภาพที่ 4

**p-recursive piecewise polynomial radial basis function (p-RPPRBF)**

การประมวลผลของ p-RPPRBF จะใช้แกนของฟังก์ชันที่ได้จากการประมาณค่าอนุพันธ์ของฟังก์ชัน tanh-like รายละเอียดตามงานวิจัยของคำารณ (2547) และ Petchjaturporn (2008) โดยพารามิเตอร์  $d$  คือค่าระยะห่างจากจุดศูนย์กลางข้อมูล และ  $p$  คือ จำนวนรอบในการปรับค่าผลลัพธ์ ถ้ากำหนดค่า  $p$  มีค่ามากขึ้น การประมาณค่าที่ได้จะใกล้เคียงกับอนุพันธ์ของฟังก์ชัน tanh มากยิ่งขึ้น การคำนวณด้วยการประมาณค่า p-RPPs จะใช้การคำนวณด้วยตัวดำเนินการทางคณิตศาสตร์พื้นฐาน สามารถจำลองด้วยคำสั่งโปรแกรมภาษา matlab ได้ดังนี้

```
function output=pRPPRBF(d,p)
delta = 1-(d./(2.^(p+1)));
delta(delta<0) = 0;
output = delta.*delta;
for n=1:p
    output = delta.*output.*output;
end
end
```

ภาพที่ 5 คำสั่งโปรแกรม matlab สำหรับ p-RPPRBF

**Difference of p-recursive piecewise polynomial radial basis function (Dop-RPPRBF)**

การหาจุดสนใจด้วย Dop-RPPRBF จะหาความแตกต่างระหว่างภาพที่คอนไวลูชันด้วยตัวกรองที่ประมาณค่าฟังก์ชันแบบ p-RPPRBF การคำนวณหา  $d$  จะใช้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมาพิจารณาร่วมด้วย โดย กำหนดค่า  $d$  จากสมการ

$$d = (x^2 + y^2) / 2\sigma^2 \quad (8)$$

เมื่อ  $(x, y)$  คือ ค่าจุดรวมของตัวกรองในแนวตั้งและแนวนอน และ  $\sigma$  คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยจะใช้ค่าเดียวกันกับวิธีการของ SIFT เดิม เพื่อให้ได้ค่าตัวกรองที่มีลักษณะเดียวกับ DoG

เมื่อนำข้อมูลภาพ  $I(x, y)$  มาคอนไวลูชันกับตัวกรอง  $\phi(x, y, \sigma, d)$  ที่ได้จาก p-RPPRBF ตามสมการ

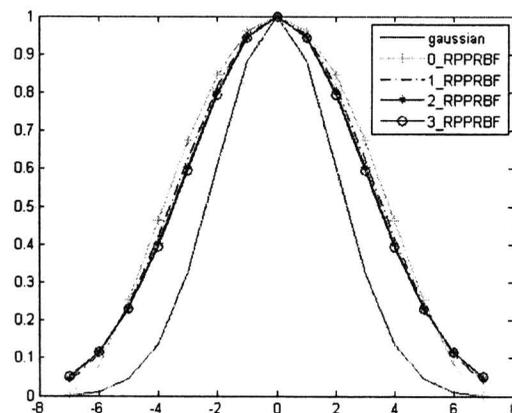
$$L(x, y, \sigma) = \phi(x, y, \sigma, d) * I(x, y) \quad (9)$$

การหาความแตกต่างระหว่างชั้นของข้อมูลที่อยู่ติดกันจะคำนวณได้จากสมการ

$$\begin{aligned} L(x, y, \sigma_1) &= (\phi(x, y, \sigma_1, d_1) * I(x, y)) \\ L(x, y, \sigma_2) &= (\phi(x, y, \sigma_2, d_2) * I(x, y)) \\ \text{Dop-RPPRBF} &= L(x, y, \sigma_2) - L(x, y, \sigma_1) \end{aligned} \quad (10)$$

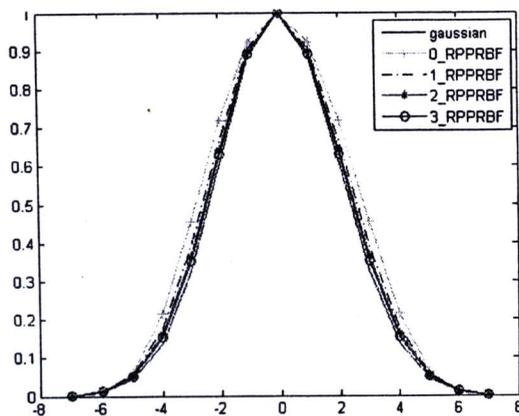
**ผลการวิจัยและการอภิปรายผล**

การคำนวณค่าของฟังก์ชัน p-RPP เพื่อให้ได้ลักษณะตัวกรองที่เหมาะสม และลดความซับซ้อนในการคำนวณ เมื่อทดลองเปรียบเทียบลักษณะของค่าที่ได้จากฟังก์ชันเกาส์เซียนและฟังก์ชัน p-RPP ที่กำหนดค่า  $p$  มีค่าเท่ากับ 0, 1, 2 และ 3 จะพบว่าค่าที่ได้จะไม่เท่ากัน แต่รูปร่างของฟังก์ชันที่ได้จะมีลักษณะเหมือนกัน ซึ่งในงานทางด้านประมวลผลภาพลักษณะของตัวกรองที่มีรูปร่างเดียวกันจะให้ผลการคำนวณที่คล้ายกัน ลักษณะของกราฟ จะได้ตามภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ค่าจากฟังก์ชันเกาส์เซียนและ p-RPP

จากการคำนวณค่าด้วยฟังก์ชัน p-RPP พื้นฐาน เมื่อต้องการให้ค่าที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับฟังก์ชันเกาส์เซียนมากขึ้น จะทำได้โดยการปรับค่าฟังก์ชัน p-RPP ด้วยสมการกำลังสอง จะได้ผลการทดลอง ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ผลการปรับค่าฟังก์ชัน p-RPP ยกกำลังสอง

จะเห็นว่า เมื่อค่า  $p$  เพิ่มมากขึ้น ค่าที่ได้จะมีความใกล้เคียงกับฟังก์ชันเกาส์เซียนมากขึ้น จากผลการทดลองการประมาณค่าด้วยฟังก์ชัน p-RPP ทั้งสองรูปแบบที่กล่าวมาข้างต้น จะเกิดแนวทางการศึกษาที่น่าสนใจ 2 แนวทางคือ การหาประมาณค่าฟังก์ชันด้วย p-RPP ตามวิธีการเดิม ที่ให้รูปร่างคล้ายกับฟังก์ชันเกาส์เซียน ซึ่งใช้จำนวนรอบการคำนวณน้อยกว่าการประมาณค่าด้วย p-RPP ยกกำลังสอง ที่ให้ค่าใกล้เคียงกับฟังก์ชันเกาส์เซียนมากกว่า แต่มีจำนวนรอบการคำนวณที่เพิ่มมากขึ้น

ทดสอบหาจุดสนใจของภาพด้วยวิธี Dop-RPPRF ที่นำเสนอ โดยใช้การประมาณค่า p-RPP ทั้งสองวิธีที่กล่าวแล้วข้างต้น เทียบกับวิธีการ DoG ที่ใช้ค่าจากฟังก์ชันเกาส์เซียนในการคำนวณค่า จะพบว่าจุดสนใจ

(ก)



(ข)



ภาพที่ 8 การเปรียบเทียบตำแหน่งจุดสนใจ

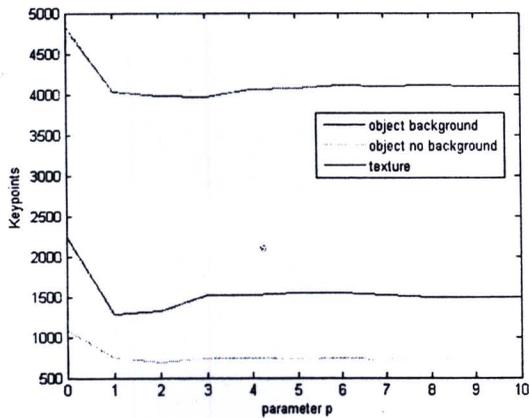
(ก) DoG เทียบกับ Dop-RPP

(ข) DoG เทียบกับ Dop-RPP ( $p\text{-RPP}^2$ )

ที่ได้จากวิธี Dop-RPPRF และ DoG จะพบว่า มีตำแหน่งใกล้เคียงกัน ดังภาพที่ 8 สังเกตตำแหน่งของจุดสนใจที่ได้จากวิธี DoG (จุด \* สีเขียว) และ Dop-RPPRF (จุด o สีน้ำเงิน) จะเห็นว่าจุดสนใจที่ได้จาก 2 วิธีจะอยู่ในบริเวณที่ใกล้เคียงกัน โดยจุดสนใจจะปรากฏตามขอบภาพ และจุดสนใจที่ได้จากวิธี Dop-RPPRF ที่ปรับค่าด้วย p-RPP ยกกำลังสอง จะมีจำนวนจุดสนใจมากกว่าวิธี Dop-RPPRF ที่ไม่ได้ปรับค่า p-RPP

การกำหนดค่าพารามิเตอร์  $p$  ที่เหมาะสมนั้น จะทำให้ได้ค่าตัวกรองที่ประมาณค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากตัวกรองเกาส์เซียน แต่หากกำหนดค่า  $p$  เพิ่มขึ้น การคำนวณจะมีจำนวนรอบเพิ่มมากขึ้นด้วย ผลการทดสอบจะได้ ดังภาพที่ 9 จะพบว่า เมื่อกำหนดค่า  $p$

ให้มีค่าตั้งแต่ 0 - 10 ทดลองกับภาพ 3 ลักษณะ คือ ภาพวัตถุที่มีพื้นหลัง ภาพวัตถุที่ไม่มีพื้นหลัง และภาพ ลวดลายจำนวนจุดสนใจที่ได้ เมื่อพิจารณาตามค่า p จะมีลักษณะคล้ายกัน จำนวนจุดสนใจที่ได้ เมื่อ ค่า p=0 จะมีค่ามากที่สุด และจะมีจำนวนลดลง ในช่วง p = 1-3 หลังจากนั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยจนเกือบคงที่ ทำให้การเลือกค่า p ควรเลือกค่า p ที่มีค่าน้อย เพื่อลด จำนวนรอบในการคำนวณ



ภาพที่ 9 จำนวนจุดสนใจเมื่อกำหนดค่า p แตกต่างกัน

ในงานวิจัยนี้ จะใช้การหาจุดรวมของภาพที่มี มุมมองที่ต่างกัน เพื่อทดสอบจุดสนใจที่ได้จากวิธีที่ นำเสนอกับวิธีการ DoG ตามวิธีการมาตรฐานของ SIFT ชุดข้อมูลภาพที่นำมาใช้ในการทดลอง จะเป็น ภาพถ่ายที่มีมุมมองของภาพที่ต่างกัน ดังภาพที่ 10 เลือกโดยการสุ่มภาพมา 12 คู่ การทดสอบจะใช้ โปรแกรม matlab ในการทำงาน โดยการหาจุดสนใจ ของภาพแต่ละคู่และนำมาวัดความคล้ายคลึงของภาพ โดยใช้ลักษณะเด่นที่หาได้ การวัดความคล้ายคลึงจะ ใช้วิธีการ k-nearest neighbor ผลการทดลอง แสดงได้ ตามตารางที่ 1



ภาพที่ 10 ชุดข้อมูลภาพที่ใช้ในการทดสอบ

ตารางที่ 1 การวัดความคล้ายคลึงของภาพ

ภาพที่	ร้อยละความถูกต้องเทียบกับจำนวนจุดที่จับคู่กัน		
	DoG	Dop-RPPRBF	Dop-RPPRBF (p-RPP <sup>2</sup> )
1	100	100	100
2	100	100	100
3	100	97.67	100
4	99.60	100	99.25
5	100	98.91	100
6	100	100	100
7	100	100	100
8	86.20	95	96.55
9	88.46	94.73	100
10	92.30	85.71	73.68
11	90	90.90	100
12	97.84	94.62	100
เฉลี่ย	96.20	96.46	97.45

จากข้อมูลในตารางที่ 1 จะเห็นว่าจุดสนใจที่ได้จาก วิธีการ Dop-RPPRBF และ DoG มีร้อยละความ ถูกต้องในการวัดความคล้ายคลึงของภาพใกล้เคียงกัน เมื่อเปรียบเทียบเฉพาะวิธีการ Dop-RPPRBF และ วิธีการ Dop-RPPRBF ที่ปรับค่า p-RPP จะพบว่า วิธีการ ที่ปรับค่า p-RPP จะมีร้อยละความถูกต้องที่สูง กว่า ตัวอย่างลักษณะของจุดสนใจที่จับคู่ผิดพลาดของ

# The 11<sup>th</sup> Khon Kaen University 2010 Graduate Research Conference

การประชุมทางวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 11

PMO4- 8

แต่ละวิธี จะแสดงคังภาพที่ 9 เส้นสีแดง คือการเชื่อมจุดสนใจที่มีการวัดความคล้ายคลึงที่ผิดพลาด



(ก) DoG



(ข) Dop-RPPRBF



(ค) Dop-RPPRBF (p-RPP<sup>2</sup>)

ภาพที่ 11 ตัวอย่างการวัดความคล้ายคลึงของภาพ

เมื่อทำการทดลองเวลาในการประมวลผลโดยใช้ภาพขนาดแตกต่างกัน ได้ผลการทดลองตามตารางที่ 2 จะพบว่าเวลาที่ใช้ในการคำนวณหาจุดสนใจของภาพ

ตารางที่ 2 เวลาที่ใช้ในการค้นหาจุดสนใจของภาพ

ขนาดภาพ	เวลาในการค้นหาจุดสนใจของภาพ (วินาที)		
	DoG	Dop-RPPRBF	Dop-RPPRBF (p-RPP <sup>2</sup> )
192 × 256	0.02	0.01	0.01
384 × 512	0.08	0.08	0.09
768 × 1024	0.43	0.39	0.39
1536 × 2048	1.61	1.52	1.49
เฉลี่ย	0.54	0.50	0.50

ด้วยวิธี DoG มีเวลาใกล้เคียงกับเวลาที่ใช้ในการคำนวณด้วย Dop-RPPRBF และ Dop-RPPRBF ที่ปรับค่าด้วยการยกกำลังสอง ถึงแม้ว่าเวลาที่ใช้จะไม่มีแตกต่างกันมาก เพราะการคำนวณด้วย DoG ใช้  $\exp()$  ที่มีการแปลงเป็นรหัสคำสั่งภาษาเครื่องแล้ว จึงมีความเร็วในการคำนวณมากกว่า p-RPP ที่ต้องทำการแปลคำสั่งก่อน จากการศึกษาของ Milner (2008) พบว่า สามารถปรับปรุงการประมวลผลค่าการส่งค่าน้ำหนักในโครงข่ายประสาทเทียม ด้วย Logistic Squashing Function ที่มีการใช้งานฟังก์ชัน  $\exp()$  วิธีการดังกล่าวทำให้มีความเร็วในการคำนวณมากกว่าการคำนวณด้วยคำสั่ง  $\exp()$  ปกติ มากถึง 38 เท่า ดังนั้นถ้าปรับปรุงวิธีการประมวลผลค่า p-RPP ตามวิธีดังกล่าว จะทำให้การคำนวณค่าฟังก์ชันใช้เวลาน้อยลงจนแตกต่างกันอย่างชัดเจน

## สรุปผลการวิจัย

การหาจุดสนใจด้วย Dop-RPPRBF จะได้ตำแหน่งจุดสนใจที่ใกล้เคียงกับวิธี DoG แต่การคำนวณตามวิธีการ Dop-RPPRBF ที่นำเสนอได้นำเสนอได้ใช้การประมวลผลฟังก์ชันเกาส์เขียนด้วยตัวก่อกำเนิดพูนามเป็นช่วง ชนิด p-RPP ซึ่งมีการคำนวณที่ซับซ้อนน้อยกว่าการใช้ฟังก์ชัน  $\exp()$  ค่าข้อมูลที่ได้จากการคำนวณจะมีลักษณะคล้ายกับฟังก์ชันเกาส์เขียน และสามารถปรับให้มีความใกล้เคียงมากยิ่งขึ้นด้วยการใช้ค่า p-RPP ยกกำลังสอง เมื่อนำจุดสนใจที่ได้จากแต่ละวิธีมาวัดความคล้ายคลึงของจุดสนใจ พบว่าวิธีการที่นำเสนอให้ค่าร้อยละความถูกต้องในการวัดความคล้ายคลึงได้ดีกว่าวิธีการ SIFT เดิม และสามารถเพิ่มความถูกต้องมากขึ้นด้วยการปรับค่า p-RPP แต่จะเป็นการเพิ่มจำนวนการคำนวณมากขึ้นด้วย อีกทั้งเวลาที่ใช้ในการคำนวณน้อยกว่าวิธีการของ SIFT เดิมอีกด้วย

# The 11<sup>th</sup> Khon Kaen University 2010 Graduate Research Conference

การประชุมทางวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 11

PMO4- 9

## เอกสารอ้างอิง

- คำรณ สุนิติ. 2547. หลักการเพิ่มอัตราการรู้เข้าและการวางนัยทั่วไปสำหรับโครงข่ายป้อนไปข้างหน้าชนิดเซลล์ประสาทคล้ายซิกมอยด์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต. สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- Sunat K., C. Lursinsap, et al. 2006. The p-recursive piecewise polynomial sigmoid generators and first-order algorithms for multilayer tanh-like neurons. *Neural Computing & Applications*. 16(1): 33-47.
- Lowe D.G. 1999. Object recognition from local scale-invariant features. In: *International Conference on Computer Vision*; p.1150-1157.
- Lowe D.G. 2004. Distinctive image features from scale-invariant keypoints. *International Journal of Computer Vision*. 60(2): 91-110.
- Petchjaturorn, P., P. Sirisuk, et al. 2008. Low cost RISC implementation of intelligent ultra fast charger for ni-cd battery. *Energy conversion and management*. 49(2):185-192.
- Harris C. and Stephen M. 1988. A combined corner and edge detection. In *The Fourth Alvey Vision Conference*, p. 147-151.
- Stephen M. Smith and J. Michael Brady. 1997. Susan - a new approach to low level image processing. *International Journal of Computer Vision*. 23(1): 45 - 78.
- Sebastian Nowozin. 2006. Object Classification using Local Image Features. Retrieve September 1, 2009 from <http://www.kyb.mpg.de/publication.html?publ=4064>
- Trajkovic, M. and M. Hedley. 1998. Fast corner detection. *Image and Vision Computing*. 16(2):75-84.
- Lindeberg, T. 1994. Scale-space theory: A basic tool for analysing structures at different scales. *Journal of Applied Statistics*, 21(2):224-270.
- Forssten, P.-E. Lowe, D.G. 2007. Shape Descriptors for Maximally Stable Extremal Regions. In: *International Conference on Computer Vision*; p.1-8.
- J. J. Milner, A. J. Grandison. 2008. A fast, streaming simd extensions 2, logistic squashing function. *Neural Computation*. 20(12) : p .2967-2972.
- Lazebnik, S., Schmid, C., and Ponce, J. 2004. Semi-Local Affine Parts for Object Recognition, *Proceedings of the British Machine Vision Conference*.
- Bay, H., Tuytelaars, T., Gool, L.V. 2006. SURF: Speeded Up Robust Features, *Proceedings of the ninth European Conference on Computer Vision*.
- Ke, Y., and Sukthankar, R., 2004. PCA-SIFT: A More Distinctive Representation for Local Image Descriptors. *Computer Vision and Pattern Recognition*.
- D. Wagner, G. Reitmayr, A. Mulloni, T. Drummond, and D. Schmalstieg, 2008. Pose tracking from natural features on mobile phones. *Proceedings of the International Symposium on Mixed and Augmented Reality*.



## ประวัติผู้เขียน

นายวิฑูลย์ คอนพรทัณฑ์ เกิดเมื่อวันที่ 6 กันยายน พุทธศักราช 2524 ณ อำเภอเฝ้าไร่ จังหวัดหนองคาย จบการศึกษาระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม เมื่อปีการศึกษา 2546 จบการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพครู สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม เมื่อปีการศึกษา 2547 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ในปีการศึกษา 2551 ปัจจุบันทำงานในตำแหน่งครู โรงเรียนเมืองชัยวิทยาคม อ.เมืองชัย จังหวัดกาฬสินธุ์

