

การหาคุณสมบัติของรูปภาพด้วยแฟร็กทัลโดเมนสำหรับระบบ CBIR

Fractal Dimension-Based Feature Extraction for CBIR System

มานิช ประชา^{1,2} และ กิตติวัฒน์ นิ่มเกิดผล^{1,3}

¹สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

39 หมู่ 1 ถ.รังสิต-นครนายก ด.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110 โทรศัพท์: 02-549-3467

²E-mail: manoch.p@en.rmutt.ac.th , ³E-mail: kittiwann.n@en.rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

ปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้วิธีการค้นหาภาพโดยใช้ข้อมูลสาระเกี่ยวกับภาพเป็นข้อมูลในการค้นหา หรือที่เรียกว่า Content-Based Image Retrieval (CBIR) กันอย่างแพร่หลายเช่น การค้นหารูปภาพทางอินเทอร์เน็ต ระบบงานอุตสาหกรรม งานทางด้านการศึกษา เป็นต้น ปัญหาสำคัญในการประยุกต์ใช้ CBIR คือการลดความแตกต่างจากผลการค้นหาจากความหมาย (Semantic Gap) ที่ใช้ระบุในการค้นหา การวิจัยนี้นำเสนอกระบวนการวิเคราะห์ความซับซ้อนของภาพ (Image Complexity) ด้วยกระบวนการแฟร็กทัล ซึ่งสามารถนำค่าดังกล่าวในการจำแนกหมวดหมู่ภาพได้ ผลจากการทดลองกับ 4 กลุ่มภาพ จำนวน 1200 ภาพ พบว่า การประยุกต์ใช้กระบวนการวิเคราะห์ความซับซ้อนของภาพด้วยแฟร็กทัลนั้นสามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นสาระในการค้นหาภาพได้

คำสำคัญ: แฟร็กทัลโดเมนชัน, บ็อกซ์เคาน์ติง, การค้นหารูปภาพ

Abstract

Content-based image retrieval (CBIR) is widely used in various today's application; including web-based image retrieval, medical, security, etc. However, most researchers aim to reduce semantic gap. In this study, we utilize fractal analysis to evaluate complexity of a picture to be used as a feature for CBIR system. The image database includes 4 set of image with total number of 1200 pictures. The results show that fractal dimension of a picture can be serve as a feature for CBIR system.

Keywords: Fractal Dimension, Box Counting, Image Retrieval

1. บทนำ

พัฒนาการของระบบค้นหาภาพด้วยระบบอัตโนมัติ (Image Searching) และ/หรือ ระบบค้นหาด้วยผู้ใช้ (Image Browsing) เพื่อให้ได้ภาพที่คล้ายคลึงกัน หรือชนิดเดียวกันบนฐานข้อมูลต่างๆ อาทิเช่น บนเครือข่ายอินเทอร์เน็ต (Internet) ฐานข้อมูลรูปภาพ/คลังภาพ (Image Database) ฯลฯ ระบบค้นหาเหล่านี้มีความต้องการผลการค้นหาที่ถูกต้อง

และแม่นยำสูง ซึ่งยังคงเป็นปัญหาที่แก้ไขยาก อย่างไรก็ตามการมองเพียงช่วงเวลาสั้นของมนุษย์สามารถบอกถึงความเหมือนและความแตกต่างของภาพได้ เนื่องจากระบบสมองของมนุษย์มีความสามารถในการจดจำและวิเคราะห์ภาพได้ดี ในทางกลับกันการรู้จำและการค้นหาภาพโดยใช้โปรแกรมทางคอมพิวเตอร์นั้น มีความจำเป็นต้องให้ระบบเรียนรู้เกี่ยวกับข้อมูลจากรูปภาพต่าง ๆ เช่น สี (Color) เส้นขอบเส้นโค้ง (Contour) ลวดลาย (Texture) โดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์ต่างๆ เช่น สมการ Hough Line ในการหาเส้นตรง สมการ Hough Circle ในการหาวงกลม และสมการ Generalize Hough Transform ใช้ในการหารูปทรงที่ไม่ใช่รูปทรงเลขาคณิต การหาคุณสมบัติรูปทรงของภาพด้วยวิธีการสืบค้นจากรูปภาพโดยตรงแบบนี้สามารถหาได้เพียงแค่รูปภาพที่เป็นรูปทรงทางเลขาคณิต หรือภาพที่มีความซับซ้อนน้อย เท่านั้น ในขณะที่รูปภาพที่เกิดจากธรรมชาติที่มีความซับซ้อน ของภาพสูง (High Complexity) เนื่องจากโดยปกติแล้ววัตถุทางธรรมชาติเกิดจากการแบ่งตัวหรือการกระทำซ้ำโครงสร้างเดิมจนเป็นวัตถุรูปต่าง ๆ เช่น ต้นไม้ ใบเฟิร์น ก้อนเมฆ ผลึกต่าง ๆ เซลล์ต่าง ๆ เป็นต้น ซึ่งรูปภาพจากวัตถุดังกล่าวหากนำมาขยายบางส่วนจะพบว่ามีความคล้ายคลึงกับภาพส่วนวัตถุต้นฉบับ โดยคุณสมบัตินี้เรียกว่า Self-Affine ซึ่งสามารถคำนวณค่าความซับซ้อนได้ด้วยกระบวนการแฟร็กทัล

ดังนั้นภาพวัตถุทางธรรมชาติสามารถอธิบายความซับซ้อนได้ด้วยด้วยเลขาคณิตเศษส่วน (The Fractal Geometry of Nature) [1] หรือแฟร็กทัลโดเมนชัน ซึ่งข้อมูลดังกล่าวเป็นคุณสมบัติเฉพาะของภาพวัตถุนั้น ๆ

เทคนิคแฟร็กทัลโดเมนชันได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับการจำแนกรูปภาพในหลากหลายวงการ อาทิเช่น จำแนกความแตกต่างของรูปทิวทัศน์โดยหาเส้นของแสงเงาของรูปภาพ [2] หาสัญญาณจากนาโนเซนเซอร์ โดยการหาความขรุขระของภาพถ่ายจากผิวพื้นผิวของวัสดุตั้งแต่ระดับไมโครจนถึงระดับนาโน [3]- [5] วิเคราะห์ผลการกำจัดเซลล์มะเร็งจากภาพถ่ายเซลล์มะเร็ง [6] การตอบสนองของสมอง โดยทำการวัดในรูปของความต่างศักย์ไฟฟ้า [8]- [9]

จากเหตุผลดังกล่าวทำให้เทคนิคนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการจำแนกรูปภาพได้เป็นอย่างดี อย่างไรก็ตามยังไม่มีการวิจัยใด นำเทคนิคนี้มาประยุกต์ใช้กับภาพทั่วไป อาทิเช่น ภาพบุคคล (Portrait) ภาพ

สัตว์เลี้ยง (Pet) ภาพวิว (Landscape) และภาพวัตถุ เช่น รถยนต์ (Car) งานวิจัยนี้ได้นำเสนอถึงการนำเทคนิคแฟร็กทัลโดเมนชั้นประยุกต์ใช้กับการจำแนกรูปภาพทั่วไปที่มีความซับซ้อนสูง

2. หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1. เลขาคณิตเศษส่วน (Fractal Geometry)

เลขาคณิตแฟร็กทัล หรือ เลขาคณิตเศษส่วน หมายถึงวัตถุทางเลขาคณิตที่มีคุณสมบัติคล้ายตนเอง (Self Similarity) ที่เมื่อแบ่งวัตถุออกเป็นจำนวนย่อย ๆ แล้วในแต่ละส่วนประกอบจะมีความเหมือนกับวัตถุของต้นแบบ คำว่าแฟร็กทัลนี้ให้นิยามโดย เบอนัว มานด์ลโบร (Benoit Mandelbrot) ปี 1975 จากคำว่า "Fractus" ในภาษาละติน ที่แปลว่า "แตก" หรือ "ร้าว" [1] การคำนวณทางคณิตศาสตร์ด้วยแฟร็กทัลจะขึ้นอยู่กับสมการภายใต้การทำซ้ำ ซึ่งรูปแบบของการตอบสนองจะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขที่เพิ่มขึ้น โดยมีคุณสมบัติทั่วไปดังนี้

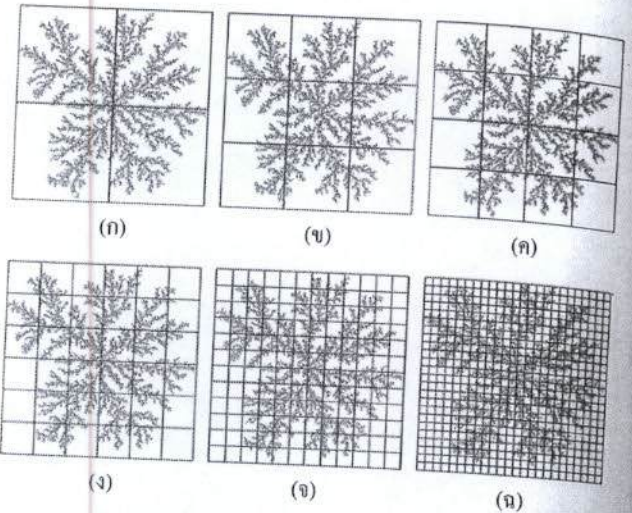
1. ไม่ว่าจะนำวัตถุมาขยายด้วยอัตราขยายเท่าไร ภาพที่ปรากฏจะมีรายละเอียดเหมือนกับภาพต้นวัตถุที่อัตราขยายต่าง ๆ
2. ความไม่สม่ำเสมอของแฟร็กทัลสามารถอธิบายแนวโน้มด้วยภาษาคณิตศาสตร์ ในรูปสมการเรขาคณิตได้
3. มีคุณสมบัติความคล้ายตนเอง
4. มิติแบบไม่เป็นจำนวนเต็ม (Hausdorff Dimension) มากกว่า n มิติ (Topological Dimension = n)

เนื่องจากการเกิดของแฟร็กทัลนั้นเป็นการเกิดที่มีความคล้ายคลึงกันในทุกๆ จุดที่พิจารณา ดังนั้นอาจจะกล่าวได้ว่าแฟร็กทัลเป็นรูปแบบที่ไม่มีที่สิ้นสุด หรือเป็น อนันต์ ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการเกิดภาพในธรรมชาติ อาทิเช่น ก้อนเมฆ ภูเขา ต้นไม้ ทะเลสาบ เกิดลักษณะ ฯลฯ อย่างไรก็ตามไม่ใช่วัตถุทุกอย่างจะเป็นแฟร็กทัล ยกตัวอย่างเช่น เส้นตรงจริง (เส้นตรงเรขาคณิตของยูคลิด, Euclidean Line) ซึ่งเป็นเส้นที่เกิดจากการลากเชื่อมจุดสองจุด มีรูปแบบอย่างง่ายแต่ไม่ได้มีคุณสมบัติเป็น แฟร็กทัล แต่สามารถอธิบายรูปแบบการเกิดด้วยรูปแบบของยูคลิด (Euclidean Terms)

2.2. บ็อกซ์เคาน์ติง (Box Counting)

หลักการของบ็อกซ์เคาน์ติงนี้ริเริ่มโดย มินนรอฟกี เบาลิกาน (Minkowski Bouligand) ในปี ค.ศ. 1991 ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้ในการวัดหาแฟร็กทัลโดเมนชั้น

ภาพหนึ่งๆ นั้นจะประกอบไปด้วยสามมิติ คือ (x, y, z) โดยมีมิติ (x, y) แทนจุดภาพในแนวแกนอน (x) และแนวแกนตั้ง (y) และมีมิติ (z) แทนสีที่อยู่ในภาพ วิธีการบ็อกซ์เคาน์ติงจะทำการแบ่งรูปภาพออกเป็นส่วนๆ แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 หลักการแบ่งรูปภาพออกเป็นส่วนๆ ด้วยวิธีการบ็อกซ์เคาน์ติง

ที่ความยาว L_b โดยค่าของแฟร็กทัล D_b ที่เกิดขึ้นสามารถอธิบายได้โดย

$$D_b = \lim_{L_b \rightarrow 0} \frac{\log N_b(L_b)}{\log L_b} \quad (1)$$

เมื่อ N_b คือจำนวนของบ็อกซ์ (Boxes) ที่ต้องการเพื่อให้ครอบคลุมรูปทรงของวัตถุ

3. วิธีการศึกษา

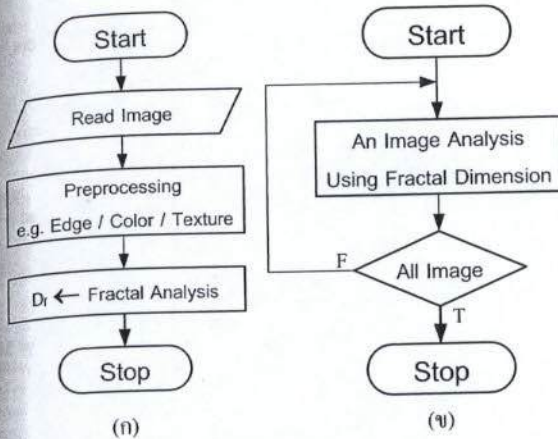
สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ระยะ คือ การเก็บข้อมูลภาพหนึ่งของทั้ง 4 กลุ่ม การสร้างฐานข้อมูลเก็บคุณสมบัติ (Feature) ที่คำนวณได้จากภาพ การค้นหาภาพจากคลังภาพและการหาภาพคล้ายกับภาพต้นแบบจากคุณสมบัติของภาพ

3.1. การเก็บข้อมูลภาพหนึ่ง

ถ่ายภาพหนึ่งขนาด SVGA (1248x768) ในกลุ่มของข้อมูลภาพทั้งหมด 4 กลุ่ม คือ ภาพบุคคล (Portrait) ภาพสัตว์เลี้ยง (Pet) ภาพวิว (Landscape) และภาพวัตถุ เช่น รถยนต์ (Car) จำนวน 300 ภาพต่อ 1 กลุ่ม รวม 1200 ภาพ

3.2. การสร้างฐานข้อมูลคุณสมบัติ (Feature) จากภาพ

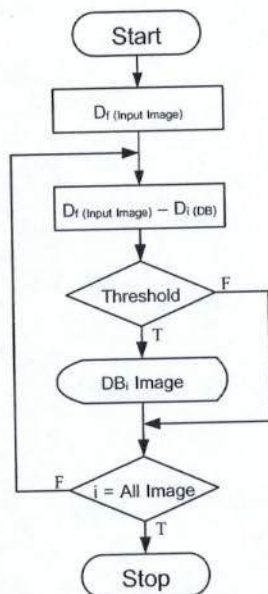
การสร้างฐานข้อมูลคุณสมบัติของภาพ รูปที่ 2 แสดงถึงขั้นตอนการหาคุณสมบัติของภาพด้วยกระบวนการ (Nonlinear Analysis) เพื่อหาค่าความซับซ้อน (Complexity) ด้วยกระบวนการแฟร็กทัล (Fractal Analysis Method) สำหรับนำไปสร้างฐานข้อมูลภาพ โดยการนำภาพในฐานข้อมูลมาผ่านกระบวนการคำนวณหาความซับซ้อนของภาพ ด้วยกระบวนการ Fractal Analysis เพื่อหาค่าแฟร็กทัลโดเมนชั้น (D_b)



รูปที่ 2 หลักการหาค่าแฟร็กทัลไดเมนชัน (ก) ภาพ (ข) คลังภาพ

3.3. การค้นหาภาพจากคลังภาพ

ในการค้นหาภาพจากคลังฐานข้อมูลนั้น ระบบจะหาค่าแฟร็กทัลของภาพดังกล่าว D_f (Input Image) แล้วนำค่าที่ได้ไปลบกับค่าแฟร็กทัลของภาพในคลังภาพ คือ D_i (DB) นำผลที่ได้ไปทำการเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน กรณีที่ผลการประมวลผลที่ได้อยู่ในเกณฑ์ค่าความแม่นยำ (ในงานวิจัยนี้ใช้ค่าแม่นยำ 1×10^{-4}) ระบบก็จะแสดงภาพดังกล่าว ภาพทุกภาพในคลังภาพจะถูกทำการประมวลผลภาพด้วยหลักการแสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 หลักการในการค้นหาภาพจากคลังภาพ

3.4. การหาภาพคล้ายกับภาพต้นแบบ

การหาภาพคล้ายในงานวิจัยนี้ จะใกล้เคียงกับหลักการของการค้นหาภาพในข้อ 3.3 จะต่างกันที่การปรับตั้งค่าความแม่นยำในการประมวลผลภาพ เพื่อนำค่าที่ใกล้เคียงมาเป็นกลุ่มของภาพคล้าย ในงานวิจัยนี้ใช้ค่าแม่นยำ 1×10^{-2}

4. ผลการทดลองและวิเคราะห์

ผลการประมวลผลจากคลังภาพจำนวน 1200 ภาพ ค่าของแฟร็กทัลไดเมนชัน ที่ได้จากการประมวลผลจะมีค่าความถูกต้องทศนิยมตำแหน่งที่ 4 (1×10^{-4})

4.1. ผลจากการค้นหาภาพจากคลังภาพ

ผลการประมวลผลจากคลังภาพที่ค่าความแม่นยำ 1×10^{-4} รูปที่ 4 (ก) เป็นภาพต้นแบบที่ต้องการค้นหา รูปที่ 4 (ข) แสดงภาพที่ถูกต้องจะพบว่าเกิดการซ้ำของค่าของแฟร็กทัลไดเมนชัน D_f ที่ได้ในรูปที่ 4 (ค) ซึ่งทำให้ได้ภาพที่นอกเหนือจากภาพที่ต้องการค้นหา ในการประมวลผลภาพเกิดการซ้ำค่าแฟร็กทัลไดเมนชันคิดเป็น 5% จากปริมาณภาพทั้งหมด

$D_{f(UP)} = 1.7446$	$D_{i(DB)} = 1.7446$	$D_{i(DB)} = 1.7446$
(ก)	(ข)	(ค)

รูปที่ 4 ผลของการสืบค้นภาพจากคลังภาพ (ก) ภาพต้นแบบ

(ข) และ (ค) ภาพที่ได้จากการสืบค้น

ค่าของแฟร็กทัลไดเมนชันที่ซ้ำกันเนื่องจากภาพมีความซับซ้อนใกล้เคียงกัน

4.2. ผลจากการหาภาพคล้ายกับภาพต้นแบบ

ผลของค่าแฟร็กทัลไดเมนชันในแต่ละภาพ นำมาหาภาพคล้ายค่าความแม่นยำ 1×10^{-2}

$D_{f(UP)} = 1.8681$	$D_{i(DB)} = 1.8677$	$D_{i(DB)} = 1.8676$	$D_{i(DB)} = 1.8670$
(ก)	(ข)	(ค)	(ง)
$D_{i(DB)} = 1.8688$	$D_{i(DB)} = 1.8700$	$D_{i(DB)} = 1.8707$	$D_{i(DB)} = 1.8707$
(จ)	(ฉ)	(ช)	(ซ)

รูปที่ 5 ผลจากการหาภาพคล้ายกับภาพต้นแบบ (ก) ภาพต้นแบบ

(ข) - (ซ) ภาพที่ได้จากการสืบค้น

จากคลังภาพของข้อมูล 300 ภาพที่แตกต่างกันในแต่ละกลุ่มในการหาภาพคล้ายจากภาพต้นแบบของแต่ละกลุ่มนั้น ยังได้ผลที่มีข้อผิดพลาดอยู่สูง เพราะค่าแฟร็กทัลไดเมนชันอย่างเดียวไม่สามารถช่วยให้หาภาพคล้ายกับภาพต้นฉบับได้

5. สรุป

การค้นหาลักษณะภาพโดยใช้ค่าแฟร็กทัลไดเมนชันเป็นข้อมูลหลัก สามารถค้นหาภาพได้ตรงกับภาพต้นฉบับ แต่ยังมีข้อผิดพลาดในส่วนของการที่ซ้ำกันในบางรูป อันเนื่องมาจาก กระบวนการ Preprocess ที่ทำการหาเค้าโครงภาพ ซึ่งทำให้การค้นหาลักษณะผิดพลาดจากภาพที่ได้มากกว่าหนึ่งภาพ ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดย เพิ่มการวิเคราะห์ข้อมูลภาพพื้นฐานเพิ่มเติมจากการใช้เพียงขอบภาพ เช่น โทนสีของรูป ค่าจำแนกประเภทของรูป เป็นข้อมูลประกอบ ซึ่งจะทำให้ลด Semantic Gap ได้มากขึ้น

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Mandelbrot, B. B. The fractal geometry of nature. San Francisco: W. H. Freeman, 1983.
- [2] Hagerhall, C. M., et al., "Fractal Dimension of Landscape Silhouette Outlines as A Predictor of Landscape Preference" Journal of Environmental Psychology, Vol 24, 2004. pp. 247-255.
- [3] Klonowski, W., et al., "A New Simple Fractal Method for Nanomaterials Science and Nanosensors" Materials Science-Poland, Vol 23, No. 3, 2005. pp. 607-612.
- [4] Klonowski, W., et al., "SEM Image Analysis for Roughness Assessment of Implant Materials" Computer Recognition Systems Advances in Soft Computing, Vol 30, 2005. pp. 553-560.
- [5] Kalviainen, T., et al., "Fractal Dimension Analysis and Statistical Processing of Paper Surface Images Towards Surface Roughness Measurement" SCIA, LNCS 3540, 2005. pp. 1218-1227.
- [6] Sullivan, R., et al., "Fractal Dimension of Breast Cancer Cell Migration in a Wound Healing Assay" International Journal of Biological and Life Sciences, Vol 6, No. 3, 2010. pp. 170-174.
- [7] Peitgen, H. O., Jürgens, H., and Saupe, D. "Length, area and dimension: measuring complexity and scaling properties" In New frontiers of science, 183-228. Oxford, New York: Springer-Verlag, 1992.
- [8] Nimkerdphol, K., et al., "3D Locomotion and Fractal Analysis of Goldfish for Acute Toxicity Bioassay", Int. J. Biomed. Sci., vol.2, no.3, 2007. pp.180-185 (Online journal)
- [9] Nimkerdphol, K., et al., "Effect of sodium hypochlorite on zebrafish swimming behavior estimated by fractal dimension", J. Biosci. Bioeng., Vol.105, no.5, 2008. pp. 486-492
- [10] Grassberger, P. "Generalized dimensions of strange attractors." Phys. Lett. A 97, no. 227, 1983.
- [11] Higuchi, T. "Approach to an irregular time series on the basis of the fractal theory." Physica D, Vol. 31, 1988. pp. 277-283
- [12] Noguchi, M. and Nakagawa, M. "Bioassay technology based on Chaos and Fractals theory." 2004. 41-46.
- [13] André R. B., et al., "Medical Image Retrieval Based on Complexity Analysis" Machine Vision and Applications, Vol 21, 2010. pp. 217-227.
- [16] Klonowski, W., "Chaotic Dynamics Applied to Signal Complexity in Phase Space and in Time Domain" Chaos, Solitons and Fractals, 14, 2002. pp.1379-1387.
- [17] Khoa, T. Q. D. and Nakagawa M., "Recognizing brain activities by functional near-infrared spectroscopy signal analysis" Nonlinear Biomedical Physics, 2:3, 2008. (Online journal)



มานิช ประชา จบการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมไฟฟ้า แขนงวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ในปีพ.ศ. 2539 จากสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ปัจจุบันศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรม อิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ธัญบุรี งานวิจัยที่สนใจคือการประมวลผลภาพสัญญาณ



กิตติวัฒน์ นิมิตถผล จบการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมไฟฟ้า แขนงวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ในปีพ.ศ. 2539 จากสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ระดับปริญญาโท วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ในปีพ.ศ. 2543 จาก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ระดับปริญญาเอก D.Eng (Integrated Bioscience and Technology) ในปีพ.ศ. 2551 จาก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีนากาโอกะ ประเทศญี่ปุ่น งานวิจัยที่สนใจคือ ระบบฝังตัว การประมวลผลภาพสัญญาณ และการวิเคราะห์สัญญาณด้วย กระบวนการแฟร็กทัล