

บทที่

2

การสกัดหาตำแหน่งของหลอดเลือดเพื่อสนับสนุน
การตัดสินใจในการวินิจฉัยโรคเบาหวานขึ้นจอประสาทตา
Segmentation Blood Vessel for Decision-Making to Support
the Screening of Diabetic Retinopathy

ธีราพร สอดส่องกฤษ
Teeraporn Sodsongkrit

บทที่

2

การสกัดหาตำแหน่งของหลอดเลือดเพื่อสนับสนุน
การตัดสินใจในการวินิจฉัยโรคเบาหวานขึ้นจอประสาทตาSegmentation Blood Vessel for Decision-Making to Support
the Screening of Diabetic Retinopathyธีราพร สอดส่องภุช¹
Teeraporn Sodsongkrit

บทที่ 2

บทคัดย่อ

เบาหวานขึ้นจอประสาทตา เป็นภาวะแทรกซ้อนที่จอประสาทตา และมักจะพบบ่อยกับผู้ป่วยโรคเบาหวาน ซึ่งภาวะแทรกซ้อนนี้จะแสดงผลอย่างชัดเจนโดยภาพถ่ายจอประสาทตาของผู้ป่วย อาทิ เช่น microaneurysms, cotton-wool spots, hemorrhages, exudates และ macular edema เป็นต้น โดยที่ความสว่างของสีและความคมชัดของภาพถ่ายเป็นสิ่งที่ยากและสำคัญมากที่จะใช้ในการแยกแยะความแตกต่างระหว่างโรคและเส้นเลือดออกจากพื้นหลังของภาพถ่ายได้ จึงได้มีการนำวิธีการสกัดหลอดเลือดและการหาจุดบรรจบของเส้นเลือดที่ศูนย์กลางของ optic disk มาใช้เป็นขั้นตอนพื้นฐานที่สำคัญเพื่อจะนำไปสู่การวินิจฉัยอาการของโรคได้อย่างแม่นยำมากขึ้น ในบทความนี้จึงได้นำเสนอแนวทางสำหรับสนับสนุนการตัดสินใจเพื่อใช้ในการวินิจฉัยโรคเบาหวานขึ้นจอประสาทตา บนพื้นฐานของการสกัดเส้นเลือดจากภาพถ่ายจอประสาทตามาช่วยในการตัดสินใจ รวมถึงได้มีการใช้คุณสมบัติทางกายวิภาคอื่น ๆ ในภาพถ่ายจอประสาทตามาช่วยเพื่อให้วินิจฉัยได้อย่างถูกต้องมากยิ่งขึ้น

คำสำคัญ : ภาพถ่ายจอประสาทตา การสกัดเส้นเลือด

¹นักวิชาการคอมพิวเตอร์

Abstract

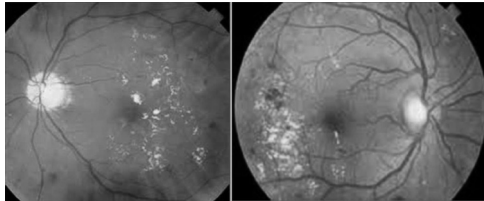
Diabetic Retinopathy (DR) is a common retinal complication associated with diabetes. This complication is seen clearly on the retinal image of the patients such as microaneurysms, cotton-wool spots, hemorrhages, exudates and macular edema, etc. The brightness of the color and the contrast of the disease in retinal images are important but very difficult to distinguish between the disease and blood vessel from the background of retinal image. The method of extraction of blood vessels and searching for the confluence of the vessels in the center of the optical disk correctly, in fact the basic steps, will lead to the diagnosis of the disease more accurately. As for this article, the researchers presented an approach of segmentation blood vessel to support decision-making for screening of diabetic Retinopathy base on segmentation blood vessels from retinal images including the use of other anatomical features in retinal image for diagnosis correctly.

Key words : Retinal image, Segmentation

1. บทนำ

หนึ่งในสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการตาบอดในผู้ป่วยโรคเบาหวาน มีคุณลักษณะสำคัญคือการได้รับบาดเจ็บของหลอดเลือดขนาดเล็กที่จอประสาทตา โดยมีการพบมากที่สุดและส่วนใหญ่จะรุนแรงอันเกิดมาจากภาวะแทรกซ้อนโรคเบาหวานขึ้นจอประสาทตา ดังนั้นในปัจจุบันนั้นการให้ความสำคัญกับการอ่านและการวิเคราะห์ภาพจึงเป็นพื้นฐานที่จำเป็นต้องใช้เป็นขั้นตอนพื้นฐานในการวินิจฉัยโรค และต้องใช้เวลาในการพัฒนาเพื่อให้อ่านข้อมูลได้อย่างถูกต้องและอย่างรวดเร็วมากขึ้น ซึ่งจำเป็นต้องใช้กระบวนการทางเทคโนโลยีมาช่วยในการวิเคราะห์ภาพพื้นฐาน โดยในขั้นตอนของการอ่านและวิเคราะห์ภาพนั้น การวิเคราะห์เพื่อสกัดหาตำแหน่งของหลอดเลือดอัตโนมัติเป็นงานที่มีความสำคัญมากในการตรวจสอบเพื่อใช้เป็นแนวทางในการวินิจฉัยโรคในขั้นตอนพื้นฐานที่สำคัญมาก ซึ่งโดยทั่วไปแล้วการวินิจฉัยในระยะแรกของโรคต่างๆ เช่น ความดันโลหิตสูง เส้นเลือดอุดตัน หรือ

เบาหวานสามารถทำได้โดยการวิเคราะห์โครงสร้างของหลอดเลือด นอกจากนี้สำหรับการตรวจสอบทางเทคนิคการแบ่งส่วนหลอดเลือดยังเป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับการวิเคราะห์ของพารามิเตอร์หลอดเลือด เช่น ความคงตัวของหลอดเลือด หรือรูปแบบของความกว้างของหลอดเลือด รวมถึงอัตราส่วนระหว่างเส้นเลือดดำและความกว้างของหลอดเลือดแดง เป็นต้น



(a)

(b)

รูปที่ 1 แสดงภาพถ่ายจอประสาทตาที่แสดงอาการของโรค

(a) Mild nonproliferative (b) moderate to severe nonproliferative

(O. Chutatape et.al.,1998)

จากรูปที่ 1 แสดงภาพถ่ายจอประสาทตาของผู้ป่วย ซึ่งมีระดับความรุนแรงของโรคแตกต่างกันออกไป วิธีในการหาสกัดเส้นทางของหลอดเลือดนั้น มีนักวิจัยหลายคนให้ความสนใจและได้ทำวิจัยในเรื่องนี้ โดยมีการใช้วิธีการที่แตกต่างกัน โดยในรูป (a) จะเป็นภาพที่มีโรคในระดับอ่อนคือระดับเริ่มต้น และในภาพ (b) จะมีระดับความรุนแรงของโรคเพิ่มขึ้นเรียกว่าระดับ moderate to severe nonproliferative จากภาพทั้งสองจะเห็นได้ว่าอาการจากโรคกับหลอดเลือดมีความคลุมเครือและทับซ้อนกันจนยากที่จะแยกแยะประเภทของโรคและเส้นเลือดออกจากกันได้ อย่างเช่น กรณีของเส้นเลือดขาดออกจากกันแต่มีทิศทางไปในทางเดียวกัน อาจมองได้หลายแง่มุม โดยอาจเป็นการทับของสัญญาณรบกวนโดยตัวภาพเอง หรือการทับซ้อนของ microaneurysms, cotton-wool spots, hemorrhages, exudates และ macular edema หรืออาจเป็นการขาดออกจากกันของเส้นเลือดเองก็เป็นได้ หรือแม้กระทั่งการต่อกันของเส้นเลือดอาจเกิดจากโรค ทำให้เส้นเลือดเปราะและขาด จากนั้นเส้นเลือดจะงอกตัวขึ้นมาใหม่ โดยจะมองเห็นเป็นสาขาของเส้นเลือด ดังนั้นจึงต้องทำการสกัดหาหลอดเลือดให้ได้ก่อนแล้วจะสามารถวินิจฉัยในระดับต่อไปว่าเป็นโรคหรือไม่ ซึ่งหลักการโดยทั่วไปของเทคนิคสำหรับการแบ่งส่วนหลอดเลือดสามารถแบ่งออกเป็น

สองกลุ่มหลัก คือ วิธีการ pixel-based และวิธีการ tracking ซึ่งทั้งสองวิธี มีประสิทธิภาพแตกต่างกัน อาทิ เช่น ประโยชน์จากการ tracking มักจะนำไปใช้ในกรณีที่ภาพนั้นมีโรคหรือสัญญาณรบกวน หรือไม่ก็ภาพที่ได้รับมีความคลุมเคลือมากจนไม่สามารถแยกแยะว่าส่วนใดคือเส้นเลือด ส่วนใดคือโรค เป็นต้น ซึ่งในกรณีนี้ การทำ tracking จะช่วยติดตามการเชื่อมโยงของกลุ่มเส้นเลือด ในขณะที่วิธีการประมวลผลฟิสิกเซลจะไม่นิยมนำมาใช้ในกรณีการเชื่อมโยงของเส้นเลือด เนื่องจากจำนวนของคุณลักษณะที่มีการคำนวณสำหรับทุก pixel ในภาพจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของแต่ละฟิสิกเซลและจะมีการบ่งชี้ว่าน่าจะเป็นที่ฟิสิกเซลอยู่ในหลอดเลือดได้ ซึ่งมีมากมายที่เป็น supervised (J.V.B. Soares et.al.,2006) and unsupervised (Mendonca, A. M. and Campilho, A.,2003) และเนื่องจากแต่ละฟิสิกเซลจะถูกจัดอย่างเป็นอิสระ ข้อเสียของวิธีการดังกล่าวเป็นที่ช่องว่างซึ่งสามารถปรากฏในหลอดเลือดที่แบ่งกลุ่ม ที่เกิดขึ้นในเครือข่ายของเส้นเลือดที่ไม่เกี่ยวเนื่องกัน กรณีการกำหนดตำแหน่งและทิศทางของเส้นเลือดนั้น นักวิจัยหลายคนใช้ขั้นตอนของการหาทิศทางของหลอดเลือดโดยการมองหาที่ขอบหลอดเลือดหรือกลางหรือทั้งสองอย่าง เมื่อมีขอบใหม่เกิดขึ้น การประมาณการของทิศทางเส้นเลือดจะทำการเป็นขั้นตอนใหม่จะทำในทิศทางนี้เป็นหลอดเลือดมีการเชื่อมต่อในภาพถ่ายจอประสาทตา โดยมีหลายเทคนิคที่ใช้สำหรับการระบุว่าเป็นหลอดเลือด เช่น matched filters, morphological filters, optimization of Gaussian profiles or fuzzy c-mean classifiers, Bayesian inference ในบทความได้อธิบายถึงงานวิจัยที่น่าสนใจเกี่ยวกับเรื่องนี้ ซึ่งเป็นพื้นฐานของการสกัดหาตำแหน่งของหลอดเลือดเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจในการช่วยวินิจฉัยโรคเบาหวานขึ้นตาได้

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

[1] Retinal vessel segmentation using a multi-scale medialness function (Elahe Moghimirad et.al.,2012)

การแบ่งหลอดเลือดจอประสาทตาโดยใช้ multi-scale medialness function ซึ่งเป็นการนำเสนอการแบ่งส่วนหลอดเลือดจอประสาทตาในภาพพื้นฐานโดยอัตโนมัติ ด้วยวิธีการ multi-scale เพื่อแบ่งหลอดเลือดจอประสาทตาบนพื้นฐานของถ่วงน้ำหนักสองมิติ การลดสัญญาณรบกวนและขั้นตอนการเชื่อม

หลอดเลือดใหม่กรณีหลอดเลือดมีความเสียหายเพื่อให้เห็นภาพที่ชัดเจนมากขึ้น วิธีการที่เสนอมานี้จะถูกประเมินและเปรียบเทียบกับวิธีการหลากหลาย ล่าสุดที่ใช้ภาพถ่ายจากฐานข้อมูล DRIVE และ STARE รูปแบบของ 2D multi-scale function ช่วยในการตรวจสอบเส้นที่อยู่ตรงกลางของโครงสร้างหลอดเลือด ในขณะที่ฟังก์ชัน medialness สร้างผลลัพธ์ที่ยอมรับในจุดเหล่านี้ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าฟังก์ชัน medialness และ eigenvalues ของ Hessian matrix ที่มีการประกอบและการรวมกัน สามารถเพิ่มเส้นตรงกลางของโครงสร้างหลอดเลือด [22] ในส่วนผลลัพธ์ที่ได้ คณะวิจัยพบว่า FPR สำหรับวิธีการที่เสนอนี้ในระดับต่ำเมื่อมีการเปรียบเทียบกับวิธีอื่น ๆ เนื่องจากมีความสามารถในการหลีกเลี่ยงพื้นที่จุดยอดและบริเวณที่ผิดปกติได้ ซึ่งในความเป็นจริงอาจเป็นเพราะคุณสมบัติโดยธรรมชาติของการทำงาน medialness ที่จะสามารถตรวจสอบโครงสร้างสมมาตรและลดเสียงรบกวน ดังนั้นคณะนักวิจัยจึงสามารถอ้างว่าเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพที่เหนือกว่าวิธีการอื่น ๆ ที่นำมาเปรียบเทียบกันในภาพที่จอประสาทตาทางพยาธิวิทยา นอกจากนี้ประโยชน์อีกประการหนึ่งของวิธีการที่เสนอมานี้ มีการเปรียบเทียบกับวิธีการจำแนก โดยไม่จำเป็นต้องมีข้อมูลการฝึกอบรม สำหรับแบ่งกลุ่มหลอดเลือดมาก่อน ซึ่งเขาได้อธิบายไว้ในส่วนของ การตั้งค่าพารามิเตอร์ โดยที่พารามิเตอร์เริ่มต้นสามารถตั้งค่าที่มีเพียงหนึ่งภาพ ดังนั้นพารามิเตอร์จะไม่บังคับให้เปลี่ยนพารามิเตอร์เหล่านี้เมื่อมีชุดใหม่มา และจะถูกแนะนำให้รู้จักกับระบบการยกเว้นคุณสมบัติทั่วไปของชุดข้อมูลที่แตกต่างกันอย่างสมบูรณ์ด้วย คณะนักวิจัยคาดหวังว่าจะเป็นอีกวิธีที่เป็นไปได้ของการหาตำแหน่งโดยประมาณของพื้นที่ที่ผิดปกติและให้หลอดเลือดที่ถูกตัดทอนในพื้นที่นี้โดยจำกัด ซึ่งจะเกิดขึ้นในขั้นตอนการลดเสียงรบกวนและการปรับการตั้งค่าพื้นที่และพารามิเตอร์การยึดตัวของหลอดเลือดนี้ อาจนำไปสู่การป้อนข้อมูลที่เชื่อถือได้มากขึ้นและยังอาจจะสามารถเชื่อมโยงหรือเป็นพื้นฐานของงานในกลุ่มนี้ต่อไปในอนาคต

[2] A New Supervised Method for Blood Vessel Segmentation in Retinal Images by Using Gray-Level and Moment Invariants-Based Features (Diego Marín et.al., 2011)

ในบทความนี้เป็นการนำเสนอวิธีการ new supervised สำหรับการตรวจสอบหลอดเลือดในภาพถ่ายดวงตา โดยมีการนำวิธีการของ neural network เข้ามาใช้ในการคำนวณและจำแนกพิกเซลของภาพ โดยภาพที่ใช้จะเป็นภาพระดับเทา

จากฐานข้อมูลภาพถ่าย retina จากฐานข้อมูล Drive และฐานข้อมูล STARE ซึ่งเป็นฐานข้อมูลได้รับการยอมรับเป็นมาตรฐานสำหรับการประเมิน retina image ซึ่งผลการทดสอบพบว่าวิธีการที่มีการนำเสนอ ใช้สกัดหาหลอดเลือดในภาพถ่ายจอประสาทตาได้ดีกว่าวิธีการอื่นที่ผ่านมา ซึ่งวิธีการที่ใช้มีประสิทธิภาพและความทนทานต่อเงื่อนไขของภาพที่แตกต่างกันด้วย นอกจากนี้ความสามารถในการดำเนินการได้อย่างรวดเร็วของวิธีการนี้ ทำให้หลอดเลือดที่มีการแบ่งส่วนมีความเหมาะสมและสามารถนำไปใช้สำหรับการวิเคราะห์ภาพที่จอประสาทตาผ่านระบบคอมพิวเตอร์ เช่น การตรวจคัดกรองโดยอัตโนมัติสำหรับการตรวจหาโรคเบาหวานจอประสาทตา เป็นต้น

[3] Detection of New Vessels on the Optic Disc Using Retinal Photographs (Keith A. Goatman et.al., 2011)

เป็นการนำเสนอวิธีการพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจโดยอัตโนมัติสำหรับการคัดกรองที่รวดเร็วและมีประสิทธิภาพของการเป็นโรคเบาหวานขึ้นจอประสาทตา ซึ่งในบทความนี้ได้นำเสนอวิธีการคัดกรองอัตโนมัติสำหรับการตรวจสอบในระยะเริ่มแรกของโรคเบาหวานขึ้นจอประสาทตา ซึ่งเราจะรู้จักกันในระดับของ NPDR (non-proliferative diabetic retinopathy) โดยระบบที่นำเสนอเกี่ยวข้องกับการประมวลผลของภาพพื้นฐานสำหรับการสกัดของสัญญาณที่ผิดปกติ เช่น hard exudates, cotton wool spots, large plaque of hard exudates มีการจำแนกแบบใช้กฎ เพื่อนำไปใช้สำหรับการจำแนก DR ใน 2 กลุ่ม คือ ความปกติและไม่ปกติ ความผิดปกติใน NPDR คือ สามารถถูกแบ่งต่อไปได้อีก 3 ระดับ ซึ่งคือ mild (อ่อน), moderate (ปานกลาง) และ severe (รุนแรง) ซึ่งในการประเมินผลประสิทธิภาพของกรอบสนับสนุนการตัดสินใจที่นำเสนอ นั้นขั้นตอนและวิธีทั้งหมด ได้รับการทดสอบบนฐานข้อมูล STARE และผลลัพธ์ที่ได้จากการบทความนี้ แสดงให้เห็นว่าระบบที่เสนอสามารถตรวจสอบแผลที่สว่างด้วยความถูกต้องที่ 97%

3. วิธีการประมวลผล

ในขั้นตอนของวิธีการในการประมวลผลภาพเพื่อทำการสกัดหาเส้นเลือดในภาพถ่ายจอประสาทตานั้น จะสามารถแบ่งขั้นตอนหลัก ๆ ออกเป็น 2 ขั้นตอนดังนี้

3.1 Preprocessing and Feature extraction

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการประมวลผลภาพขั้นต้น โดยใช้หลักการโดยทั่วไปของการประมวลผลภาพ โดยภาพนั้นจะได้รับการประมวลผลภาพและการสกัดลักษณะเด่นที่ใช้ในการระบุตำแหน่งที่ถูกต้องของเส้นเลือด ซึ่งจะนำมาซึ่งการหาคุณลักษณะที่น่าสนใจเพื่อใช้ในการแยกแยะเส้นทางของหลอดเลือดในภาพ โดยขั้นตอนหลักจะประกอบด้วย

● Average filtering

วัตถุประสงค์ของการใช้การกรองเฉลี่ยก็เพื่อที่จะใช้ในการลดการรายละเอียดในภาพเพื่อให้เหมาะสมสำหรับการรับรู้ของระบบคอมพิวเตอร์โดยอัตโนมัติ ซึ่งภาพโดยปกติอาจมีรายละเอียดมากเกินไปจนไม่สามารถแยกแยะคุณสมบัติของแต่ละวัตถุได้อย่างชัดเจนและถูกต้องได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในภาพพื้นฐานเดิม (ดูรูปที่ 1) รูปแบบความรุนแรงของโรคทำให้มีผลต่อการหาตำแหน่งและเส้นทางของหลอดเลือดเนื่องจากระหว่างวัตถุที่สว่างสดใสและหลอดเลือดมีความคล้ายกันค่อนข้างมากและเป็นงานที่ยากสำหรับการแยกหลอดเลือดออกจากพื้นหลังและมีการปรับน้ำหนักของแต่ละพิกเซล ที่จะผสมผสานวัตถุขนาดเล็กที่มีรูปแบบความเข้มต่ำลงในพื้นหลังและวัตถุที่น่าสนใจให้เด่นชัดขึ้นมา

● Green channel extraction

โดยปกติภาพ RGB สามารถแยกองค์ประกอบของภาพออกมาได้โดยเทคนิคของการแยกองค์ประกอบ แต่องค์ประกอบของภาพสีเขียวจะเป็นภาพที่มีความคมชัดมากที่สุด ซึ่งจะทำให้การปรับค่าความเข้มของภาพชัดเจน โดยจะทำให้คุณสมบัติของวัตถุสว่างสดใสมากขึ้นและแตกต่างจากพื้นหลังอย่างชัดเจน โดยเราจะสามารถแยกแยะค่าบนความเข้มออกจากภาพได้ ดังแสดงให้เห็นภาพที่แยกออกมาได้ในรูปที่ 2



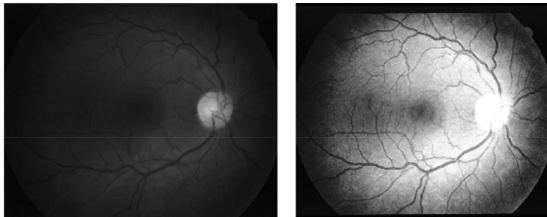
รูปที่ 2 Green channel of retinal image.
(Elahe Moghimirad et al., 2012)

● การกำหนดค่า Threshold

การกำหนดค่า threshold คือค่าเกณฑ์ที่ถูกเลือกเพื่อใช้สำหรับการแยกโรคหรือสัญญาณรบกวนออกจากเส้นเลือดและพื้นหลังได้ เนื่องจากเมื่อภาพได้ผ่านกระบวนการขั้นตอนของการหาค่า threshold แล้วนั้นภาพที่ได้รับจะเป็นภาพไบนารี ซึ่งการหาเกณฑ์ที่เหมาะสมนั้น ส่วนมากจะกระทำโดยใช้ขั้นตอนการทดลองและหาข้อผิดพลาด ในภาพหลายภาพการเลือกเกณฑ์ที่แตกต่างกันจนกว่าจะพบค่าที่ได้ผลดีและเหมาะสม โดยในงานวิจัยส่วนใหญ่ ค่า T ($t = 245$) จะเป็นค่าเกณฑ์เปลี่ยนพิกเซลสีดำหรือขาวที่เหมาะสม โดยเฉพาะอย่างยิ่งภาพไบนารีออกมามีค่าของ 1 (สีขาว) สำหรับทุกพิกเซลในภาพเข้ากับควมสว่างที่สูงกว่าระดับและ 0 (สีดำ) สำหรับพิกเซลอื่นๆ

● Morphological gradient and reconstruction

การใช้ลักษณะทางสัณฐานวิทยาพื้นฐานสำหรับการสกัดคุณสมบัติของความสนใจในรูปแบบไบนารี การไล่ระดับสีลักษณะทางสัณฐานวิทยาถูกนำไปใช้ภาพที่ได้รับจากขั้นตอนการหาค่า threshold ก่อนหน้านี้เพื่อตรวจหาตำแหน่งของโรคสัญญาณรบกวน และหลอดเลือด นอกจากนี้ในขั้นตอนนี้ จะทำการตรวจหาตำแหน่งของขอบหลอดเลือดที่แท้จริง และดำเนินการการไล่ ระดับสี ขนาด โดยที่ถ้าค่าพิกเซลที่เป็น “1” จะแสดงเป็นขอบและ “0” คือส่วนอื่นที่ไม่ใช่ขอบ



(a)

(b)

รูปที่ 3 (a) แสดงภาพ RGB ของ retinal image (b) แสดงภาพที่ผ่านกระบวนการ preprocessing (Elahe Moghimirad et.al., 2012)

● Tracking

ในขั้นตอนนี้จะเป็นขั้นตอนที่เรียกว่าการ Tracking ซึ่งเป็นกระบวนการทำซ้ำจากขั้นตอนนี้ โดยในขั้นตอนนี้การ Tracking จะเริ่มต้นจากจุดเริ่มต้นซึ่งผู้ใช้เลือกด้วยตนเอง โดยมีการกำหนดจุดที่ขอบหลอดเลือด และมีการตรวจพบแล้วทำซ้ำโดยใช้ค่าทางสถิติเฉพาะบริเวณที่สนใจและภาพระดับสีเทา กระบวนการนี้จะหยุดก็ต่อเมื่อเมื่อเส้นเลือดที่มีการทำซ้ำในปัจจุบันจะสิ้นสุดลงหรือมีการค้นพบสาขาของเส้นเลือด ซึ่งทุกสาขาของเส้นเลือดที่พบจะถือว่าเป็นเส้นเลือดใหม่และมีการประมวลผลโดยวิธีเดียวกันก่อนหน้านี้ มันจะถูกใช้เพื่อหาสาขาของหลอดเลือดและจุดสิ้นสุด ในการติดตามหลอดเลือด เช่น การหาเส้นเลือดที่แตกออกเป็นสองหรือหลายทิศทาง หรือการหาจุดสิ้นสุดของหลอดเลือด ในหลักตรรกะพื้นฐานที่ถูกใช้ในการตรวจสอบคุณสมบัติที่สำคัญเหล่านี้ของหลอดเลือดนั้น จะขึ้นอยู่กับการสกัด centerline ของหลอดเลือด การตอบสนองของตัวกรอง การคำนวณขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางสำหรับการแยกและการตรวจสอบสาขาหรือการหาความคมชัดที่ดีสำหรับการหาปลายทางหรือจุดสิ้นสุดของหลอดเลือดและหาความน่าจะเป็นในการหาตำแหน่งของหลอดเลือด เพื่อความชัดเจนกระบวนการ สามารถอธิบายได้ดังนี้ :

- การเริ่มต้น

โดยในทางปฏิบัติกำหนดจุดสองจุดที่ขอบเริ่มต้นโดยจะถูกเลือกให้อยู่ตรงข้ามกันของหลอดเลือดที่เราสนใจ แล้วหาจุดศูนย์กลางและทิศทางการติดตามก็จะทำการเริ่มต้นเป็นไปตามทิศทางของบริเวณที่เป็นหลอดเลือด

- การทำซ้ำ

จะมีการทำซ้ำไปเรื่อย ๆ โดยกำหนดพารามิเตอร์บริเวณหลอดเลือด รวมถึงจุดที่ขอบหลอดเลือด จุดกึ่งกลาง ทิศทางและขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ที่ควรจะเป็นจากค่าเดิมที่ได้รับในการทำซ้ำก่อนหน้านี้

- การสิ้นสุด

เมื่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดเลือดน้อยกว่าหนึ่งพิกเซล ท้ายของหลอดเลือดปัจจุบันจะถูกพบและการติดตามของหลอดเลือดจะสิ้นสุดลง

3.2 Bayesian method for vessel segmentation

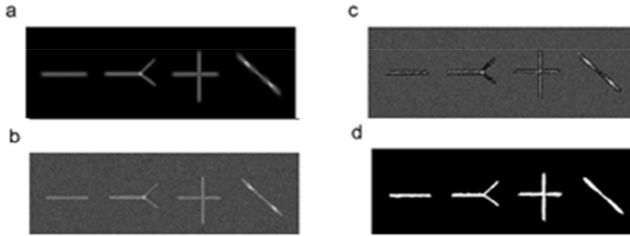
วิธีการ Bayesian method ถูกนำมาใช้สำหรับการแบ่งเส้นเลือด โดยจะทำการเปรียบเทียบความน่าจะเป็นของการกำหนดค่าที่แตกต่างกัน ซึ่งเมื่อมีการกำหนดค่ากับความน่าจะเป็นสูงสุดที่จะได้รับแล้ว จุดที่เลือกจะใช้เพื่อกำหนดเส้นขอบหลอดเลือดและจะถือว่าเป็นจุดที่ขอบหลอดเลือด

4. Experiments and discussion

ในการทดลองเพื่อวัดประสิทธิภาพของวิธีการนี้ ซอฟแวร์ที่เลือกใช้ในการดำเนินการทดลองคือ MATLAB ซึ่งเป็นภาษาที่มีประสิทธิภาพสูงสำหรับการคำนวณทางด้านเทคนิค และถูกใช้อย่างกว้างขวางในการศึกษาเกี่ยวกับการประมวลผลภาพ โดยที่ประสิทธิภาพของวิธีการจะถูกประเมินในภาพจอประสาทตาแบบจำลองและภาพจอประสาทตาจริง ซึ่งในการศึกษา คณะนักวิจัยใช้ภาพที่จำลองมาจากภาพเสมือนทิศทางของหลอดเลือด การเพิ่มเสียงรบกวนลงในแบบจำลองซึ่งแสดงถึงโครงสร้างของหลอดเลือดที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน ในกรณีภาพที่จอประสาทตาจริงถูกดาวน์โหลดจากฐานข้อมูล STAR และ DRIVE ซึ่งเป็นฐานข้อมูลสาธารณะที่มุ่งเน้นในการพัฒนาและการเปรียบเทียบของขั้นตอนวิธีการสกัดหลอดเลือดที่ถูกต้อง

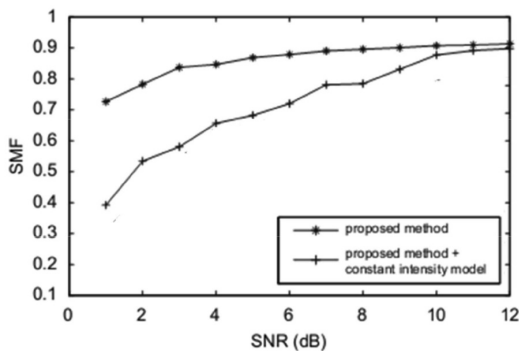
4.1 ผลการทดลองกับภาพจำลองเสมือนเส้นเลือด

ในการทดลองกับภาพจำลองหลอดเลือดถูกแสดงแสดงในรูป 4 (a) โดยที่ภาพจำลองนั้นจะเป็นรูปทรงเรขาคณิตที่มีรูปแบบแตกต่างกันซึ่งมีลักษณะคล้ายหลอดเลือดในภาพที่จอประสาทตาจำนวน 4 รูปทรงด้วยกัน โดยเป็นลักษณะเสมือนหลอดเลือดที่สามารถอธิบายรูปทรงของหลอดเลือดแบบเส้นเดี่ยว แยกไปสองทาง หลอดเลือดที่มีสองสาขาตัดกันและหลอดเลือดเส้นเดี่ยวทแยงมุม ตามลำดับ ซึ่งได้มีการเพิ่มสัญญาณรบกวนเข้าไปในภาพ เสมือนกับสัญญาณรบกวนบนภาพถ่ายจอประสาทตา ซึ่งสัญญาณรบกวนที่ถูกใช้ คือสัญญาณรบกวน White Gaussian ในการเพิ่มสัญญาณรบกวนนั้นมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของการแบ่งเส้นเลือด ในกรณีที่ไม่มีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้น ลักษณะการทำงานที่ถูกใช้ในการวิจัยนั้น จะมีการแบ่งกลุ่มโดยปัจจัยการจับคู่ (SMF)



รูปที่ 4 แสดงการทดสอบในภาพจำลอง : (a) ภาพจำลองกับหลอดเลือด 4 ประเภทของส่วนงาน
b) ภาพที่มีสัญญาณกับ SNR = 5 เดซิเบล (c) จุดที่ขอบตรวจพบ (d) ผลที่ได้รับจากการสกัดสัญญาณรบกวน
(Yi Yin n, Mouloud Adel, Salah Bourennane, 2011)

จากตัวอย่าง เช่น จากวิธีการในภาพที่มีสัญญาณรบกวนกับ SNR = 5 เดซิเบล
ดังแสดงในรูป 4 (b) จุดเริ่มต้น จะเห็นว่าการนี้สามารถตรวจพบทุกกลุ่มหลอดเลือด
ทั้งหลอดเลือดที่มีโครงสร้าง ขนาด และความโค้งที่แตกต่างกัน ในการศึกษานี้มี
การรวมจุดตรวจพบขอบและกรอกข้อมูลในบริเวณเหล่านี้ได้ภายในเส้นขอบที่
จะได้รับหลอดเลือดแบ่ง รูป 4(d) ให้ผลแบ่งกลุ่มตามวิธีการที่เสนอและค่า SMF
โดยมีการทดสอบอิทธิพลของการตัดสัญญาณรบกวนกับคุณภาพพารามิเตอร์ SMF
สำหรับสัญญาณรบกวนที่แตกต่างกันได้รับ Gaussian ค่า SMF ที่คำนวณได้ถ้ามี
การสมมติรูปแบบความเข้มคงที่ (ความเข้มตัดภายในหลอดเลือดและในพื้นที่หลัง
ที่มีสองค่าที่แตกต่างกัน) แทนของรูปแบบความเข้ม Gaussian ใช้ในการศึกษานี้
ผลการศึกษามีประสิทธิภาพน้อยจะได้รับ

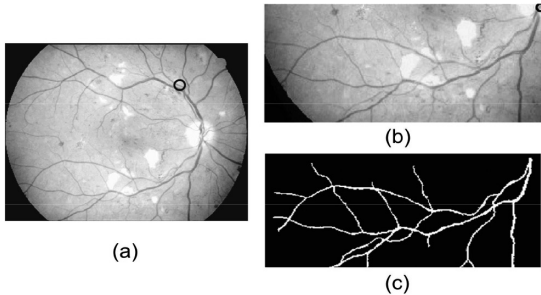


รูปที่ 5 SMF ที่ค่า SNR ที่แตกต่างกันโดยใช้วิธีการตรวจสอบหลอดเลือดที่แตกต่างกัน
(Yi Yin n, Mouloud Adel, Salah Bourennane, 2011)

จากรูปที่ 5 จะเห็นได้จากผลเส้นโค้งประสิทธิภาพของวิธีการที่เสนอให้เพิ่มขึ้นเมื่อ SNR จะสูงกว่าและค่า SMF ที่สามารถเข้าถึง 0.85 เมื่อ SNR สูงกว่า 5 เดซิเบล จากการเปรียบเทียบที่สามารถสรุปได้ว่าวิธีการที่เสนอการตรวจสอบความถูกต้องแม่นยำที่เพิ่มขึ้นและการประยุกต์ใช้ของรูปแบบความเข้มช่วยเพิ่มความแข็งแรง Gaussian กับความดังของสัญญาณรบกวน

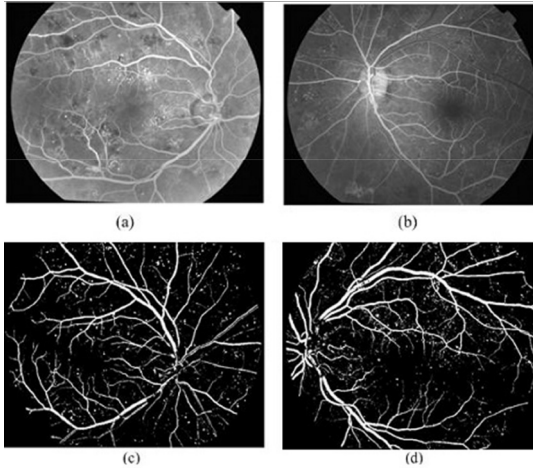
4.2 ผลการทดลองบนภาพถ่ายจอประสาทตา

ในการทดลองอีกทางหนึ่งของงานวิจัย ได้ใช้ภาพที่จอประสาทตาได้รับจากฐานข้อมูล STAR และ DRIVE เป็นฐานข้อมูลอ้างอิงหลอดเลือดจอประสาทตา ในทางปฏิบัติจะใช้ช่องสีเขียวของภาพ เพราะช่องทางนี้มีความคมชัดสูงสุดระหว่างบริเวณที่อยู่ในหลอดเลือดและพื้นหลัง ในรูปที่ 6 แสดงผลการทดสอบบางอย่างบนภาพถ่ายจอประสาทตา จะเห็นว่าโครงสร้างที่แตกต่างกันหลอดเลือดและจุดขอบหลอดเลือดมีการตรวจพบกันโดยขั้นตอนวิธีการติดตามที่นำเสนอ



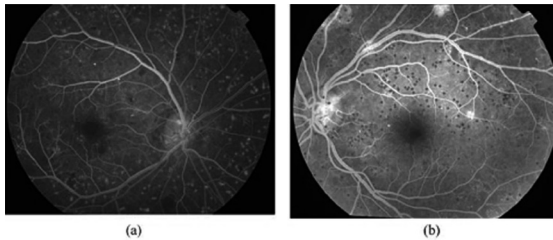
รูปที่ 6 บริเวณการแบ่งหลอดเลือด : (a) ภาพบริเวณจอตา
(b) คือผลที่ได้รับจากการสกัดทิศทางของหลอดเลือด
(Yi Yin n , Mouloud Adel, Salah Bourennane, 2011)

จุดที่ขอบของภาพจะให้ข้อมูลของจุดกึ่งกลางหลอดเลือด ความกว้างของบริเวณที่สนใจและทิศทาง ซึ่งเมื่อทดสอบกับภาพที่จอประสาทตาที่ได้เลือกไว้ จะระบุใช้จุดที่ขอบของแต่ละกลุ่มจะใช้สำหรับการเริ่มต้นเพราะความยาวของแต่ละส่วนงานได้รับการแก้ไขโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบกระบวนการติดตามและจะหยุดการทำงานเมื่อมีการตรวจพบจุดที่ขอบส่วนเกินของหลอดเลือด ภาพที่แสดงในรูปที่ 10 (a) เป็นภาพย่อยที่สกัดจากรูปที่ 9 และจุดเริ่มต้นคือการทำเครื่องหมายโดยวงกลมสีดำ



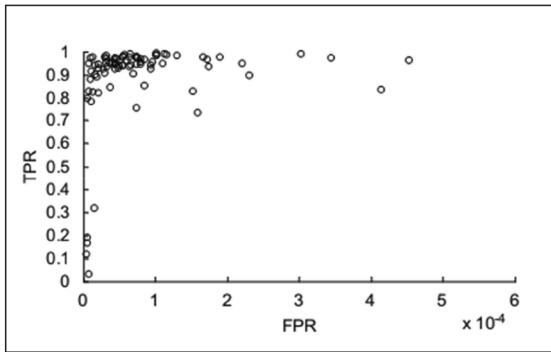
รูปที่ 7 (a) และ (b) คือภาพที่ผ่านการประมวลผลเพื่อทำการสกัดหาทิศทางของหลอดเลือด (c) และ (d) คือภาพที่แสดงการสกัดหาหลอดเลือดในกรณีของภาพจอประสาทตาที่มีโรค (Elahe Moghimirad et.al.,2012)

จากรูปที่ 7 ในภาพ (a) และ (b) แสดงให้เห็นถึงภาพที่ผ่านการประมวลผลเพื่อทำการสกัดหาทิศทางของหลอดเลือดโดยผ่านกระบวนการที่ได้อธิบายไว้ข้างต้นในหัวข้อที่ 3 และจากนั้นก็ทำการสกัดหาตำแหน่งและทิศทางที่ถูกต้องของหลอดเลือดในกรณีของภาพที่มีโรคในผู้ป่วย โดยจะเห็นว่าเราสามารถแยกแยะได้อย่างชัดเจนระหว่างพื้นหลัง หลอดเลือด โรค หรือสัญญาณรบกวน



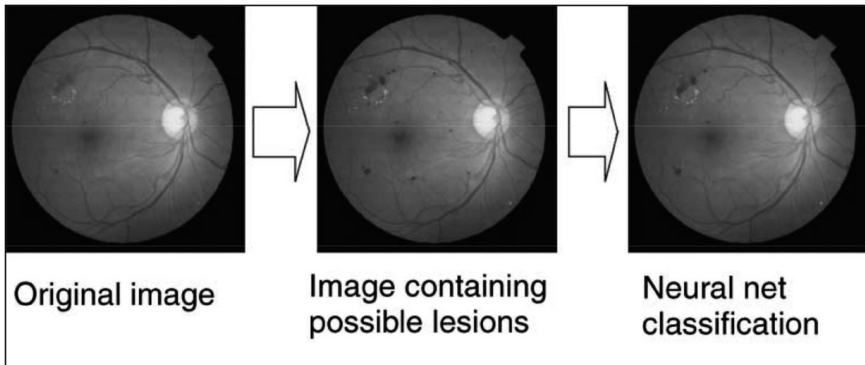
รูปที่ 8 (a) และ (b) คือภาพที่แสดงอาการของโรค(microaneurysms) ที่ผ่านการประมวลผลแล้ว (Kahai, P. et.al.,2004)

จากรูปที่ 8 คือผลลัพธ์ที่ได้จากการสกัดหาหลอดเลือด โดยการแยกพื้นหลังหลอดเลือด โรค และสัญญาณรบกวนออกจากกัน จากภาพจะเห็นจุดสีแดง ซึ่งแสดงไว้เป็นการกำหนดตำแหน่งของโรค (microaneurysms) และแสดงให้เห็นอย่างชัดเจน ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการวินิจฉัยโรคเบื้องต้นโดยอัตโนมัติได้ นอกจากนี้วิธีการที่นำเสนอ ได้ตรวจพบโครงสร้างหลอดเลือดที่แตกต่างกัน และมีความถูกต้องสูงในการตรวจสอบหลอดเลือด และเพื่อวัตถุประสงค์ในการประเมินผล จะใช้การดำเนินการวิเคราะห์โดย ROC (Receiver Operating Characteristic) เพื่อประเมินความถูกต้องของการสกัดหาหลอดเลือด ดังในรูปที่ 9



รูปที่ 9 ภาพ ROC of ผลการทดลองบนฐานข้อมูลด้วยวิธีที่นำเสนอ
(Yi Yin n , Mouloud Adel, Salah Bourennane, 2011)

จากรูปที่ 9 เป็นการแสดงให้เห็นว่า ถ้าพิกเซลในเส้นเลือดที่ตรวจพบเป็นของเส้นเลือดจริงจะเรียกว่าพิกเซลบวกจริง มิฉะนั้นจะถือเป็นพิกเซลบวกเท็จถ้าไม่ได้อยู่ในเส้นเลือดจริง อัตราบวกจริง (TPR) จะกำหนดเป็นอัตราส่วนระหว่างจำนวนพิกเซลในเชิงบวกที่เป็นจริงและจำนวนรวมของพิกเซลในเส้นเลือดที่แท้จริง อัตราบวกเท็จ (FPR) เป็นอัตราส่วนระหว่างจำนวนพิกเซลบวกเท็จและจำนวนรวมของพิกเซลในพื้นที่จริง ซึ่งได้ทดสอบวิธีการที่นำเสนอใน 90 ส่วนหลอดเลือดในสี่ภาพที่จอบประสาทตาในฐานข้อมูลและคำนวณ TPR ที่สอดคล้องกันและค่า FPR ซึ่งผลที่ได้รับสามารถนำมาเป็นฐานเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับใช้วินิจฉัยโรคได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 ผลลัพธ์จากระบบสนับสนุนการตัดสินใจโดยใช้วิธีการสกัดหลอดเลือด
บนภาพถ่ายจอประสาทตาเป็นพื้นฐาน
(Usher, D et.al.,2003)

5. สรุป

ในบทความนี้ได้มีการนำเสนอแนวทางการสกัดหาตำแหน่งของหลอดเลือดเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจในการวินิจฉัยโรคเบาหวานขึ้นจอประสาทตา ซึ่งมีกระบวนการหลักคือการประมวลผลภาพเบื้องต้นและการหาคุณลักษณะเด่นของภาพ และทำการสกัดหาตำแหน่งและทิศทางของหลอดเลือดได้อย่างถูกต้อง ถึงแม้ว่าภาพนั้นจะมีการบดบังจากโรคหรือสัญญาณรบกวน การกำหนดแนวคิดในการกำหนดค่าที่อยู่บนพื้นฐานของภาพ รวมถึงชนิดที่แตกต่างของการกำหนดการรวมค่าการกระจายความเข้มและโครงสร้างทางเรขาคณิตของเส้นเลือดในบริเวณหลอดเลือดของจุดที่ขอบที่ถูกตรวจพบโดยวิธี Bayesian ซึ่งโครงสร้างหลอดเลือดในจอประสาทตาจะมีคุณสมบัติที่สำคัญและเป็นพื้นฐานสำหรับสนับสนุนการตัดสินใจเพื่อนำมาช่วยในการวินิจฉัยโรคเกี่ยวกับจอประสาทตาได้ ซึ่งการประเมินผลได้มีการดำเนินการในหลอดเลือดทั้งการแบบจำลองและภาพที่จอประสาทตาจริงแบบจำลองได้นำรูปทรงเรขาคณิตที่แตกต่างกันรวมถึงระดับของสัญญาณรบกวนที่จะถูกใช้สำหรับภาพจำลองคอมพิวเตอร์ ในขณะที่ภาพจอประสาทตาจริงจากฐานข้อมูล STAR และ DRIVE ซึ่งเป็นฐานข้อมูลที่เผยแพร่สาธารณะเพื่อใช้ในการศึกษาเกี่ยวกับภาพจอประสาทตา และใช้ SMF เป็นการวัดประสิทธิภาพของการประเมินผล ซึ่งผลที่ได้รับพบว่าการตรวจพบหลอดเลือดได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ทั้งในภาพที่จอประสาทตาจำลองและจอประสาทตาจริง ซึ่งในอนาคตอาจจะมีการพิจารณาการใช้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าทางสถิติของสีเทาในบริเวณที่สนใจ เพื่อนำมาใช้ในการปรับปรุงประสิทธิภาพแทนการพิจารณาจากสมมติฐานของสีเทาในระดับรายละเอียดทั้งหมด ซึ่งผลที่ได้รับแสดงให้เห็นถึงประโยชน์จากการสกัดหาตำแหน่งของหลอดเลือดเพื่อนำมาใช้ในการสนับสนุนการตัดสินใจเพื่อช่วยการวินิจฉัยโรคเบาหวานขึ้นจอประสาทตาได้อย่างถูกต้องและแม่นยำมากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- Elahe Moghimirad, Seyed Hamid Rezatofghi, Hamid Soltanian-Zadeh . 2012. **“Retinal vessel segmentation using a multi-scale medialness function.”** Computers in Biology and Medicine.
- Diego Marín, Arturo Aquino, Manuel Emilio Gegúndez-Arias, and José Manuel Bravo. 2011. **“A New Supervised Method for Blood Vessel Segmentation in Retinal Images by Using Gray-Level and Moment Invariants-Based Features.”** IEEE TRANSACTIONS ON MEDICAL IMAGING.
- Keith A. Goatman, Alan D. Fleming, Sam Philip, Graeme J. Williams, John A. Olson, and Peter F. Sharp. 2011. **“Detection of New Vessels on the Optic Disc Using Retinal Photographs.”** IEEE TRANSACTIONS ON MEDICAL IMAGING.
- Mendonca, A. M., and Campilho, A. 2006. **“Segmentation of retinal blood vessels by combining the detection of centerlines and morphological reconstruction.”** IEEE Trans. Med. Imag. 25 (9) 1200– 1213.
- Usher, D., Dumskyj, M., Himaga, M., Williamson, T. H., Nussey, S., and Boyce, J. 2003. **“Automated detection of diabetic retinopathy in digital retinal images: a tool for diabetic retinopathy screening.”** Diabet. Med.

- Yi Yin n, Mouloud Adel, Salah Bourennane. 2011. **“Retinal vessel segmentation using a probabilistic tracking Method.”** Pattern Recognition.
- O. Chutatape, L. Zheng, S. Krishnan. 1998. **“Retinal blood vessel detection and tracking by matched gaussian and Kalman filters.”** Proceedings of the 20th Annual International Conference of the IEEE EMBS.
- J.V.B. Soares, J.J.G. Leandro, R.M.C. Jnior, H.F. Jelinek, M.J. Cree. 2006. **“Retinal vessel segmentation using the 2-d Gabor wavelet and supervised classification.”** IEEE Transactions on Medical Imaging 25.