การประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งของชุดข้อมูลเส้นภูมิศาสตร์ด้วยวิธีสถิติบัฟเฟอร์โอเวอร์เลย์

นาวาอากาศโท อติชาต อึ้งโฆษาชนะวานิช

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาระบบสารสนเทศปริภูมิทางวิศวกรรม ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2549

POSITIONAL ACCURACY ASSESSMENT OF GEOGRAPHICAL LINE DATA SETS WITH BUFFER-OVERLAY-STATISTICS METHOD

Wing Commander Atichart Aungkosachanawanich

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Spatial Information System in Engineering

Department of Survey Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University

Academic Year 2006

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งของชุดข้อมูลเส้นภูมิศาสตร์ ด้วยวิธีสถิติบัฟเฟอร์โอเวอร์เลย์
โดย	นาวาอากาศโท อติชาต อึ๋งโฆษาชนะวานิช
สาขาวิชา	ระบบสารสนเทศปริภูมิทางวิศวกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนินทร์ ทินนโชติ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อิทธิ ตริสิริสัตยวงศ์)

.... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนินทร์ ทินนโชติ)

.... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ สวัสดิ์ชัย เกรียงไกรเพชร)

.... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมชนม์ สถิระพจน์)

นาวาอากาศโท อดิชาต อึ้งโฆษาชนะวานิช : การประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งของชุดข้อมูลเส้นภูมิศาสตร์ด้วยวิธีสถิติบัฟเฟอร์โอเวอร์เลย์ (POSITIONAL ACCURACY ASSESSMENT OF GEOGRAPHICAL LINE DATA SETS WITH BUFFER-OVERLAY-STATISTICS METHOD) อ.ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.ชนินทร์ ทินนโชติ, 88 หน้า.

ปัจจุบันภูมิสารสนเทศมีความสำคัญมากยิ่งขึ้นต่อการนำมาใช้งานในด้านต่างๆ ทำให้เกิดความต้องการข้อมูลจากแหล่งข้อมูลที่หลากหลาย และทำให้เกิดความต้องการที่จะทราบคุณภาพของข้อมูลโดยเฉพาะอย่างยิ่งความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งของข้อมูลเหล่านั้นอย่างละเอียดขึ้น การวัดความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งของข้อมูลที่ทำกันอยู่ในปัจจุบันนั้นเป็นการวัดเฉพาะจุดที่ระบุได้แน่นอนเท่านั้น ซึ่งค่าที่ได้อาจไม่สามารถนำเสนอคุณสมบัติด้านความถูกต้องเชิงตำแหน่งของข้อมูลได้อย่างเพียงพอ งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาวิธีการวัดความถูกต้องเชิงตำแหน่งของข้อมูลเส้นภูมิศาสตร์ที่คำนึงถึงความคลาดเคลื่อนของทุก ๆ ตำแหน่งบนเส้น โดยการศึกษาวิเคราะห์ และประเมินประสิทธิภาพของวิธีการวัดแบบสถิติบัฟเฟอร์โอเวอร์เลย์ เนื่องจากพบว่าเป็นวิธีที่สามารถประเมินค่าระยะคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของข้อมูลได้โดยใช้ฟังก์ชันพื้นฐานของโปรแกรมระบบภูมิสารสนเทศทั่วไป นอกจากนั้นยังให้ค่าความครบถ้วนของข้อมูลซึ่งสามารถนำมาใช้ปรับแก้ค่าคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งให้มีความถูกต้องมากขึ้นอีกด้วย จากการศึกษาสูตรคำนวณต่าง ๆ ที่เสนอไว้ในวิธีสถิติบัฟเฟอร์โอเวอร์เลย์ และพัฒนาโปรแกรมเครื่องมือขึ้นทดลองใช้วัดความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งของชุดข้อมูลเส้นจำลองที่มีความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งในรูปแบบลักษณะต่าง ๆ เพื่อประเมินความถูกต้องของค่าที่วัดได้เมื่อเปรียบเทียบกับค่าตามนิยามที่กำหนด ผลการศึกษาพบว่าวิธีสถิติบัฟเฟอร์โอเวอร์เลย์นั้นสามารถถูกนำมาใช้ประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งของข้อมูลเส้นได้ในทางปฏิบัติ โดยค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่ได้นับว่ามีความสอดคล้องกับค่าตามนิยามที่กำหนดโดยเฉพาะเมื่อเส้นที่วัดค่อนข้างขนานกับเส้นอ้างอิง และยังสามารถปรับแก้อิทธิพลจากความไม่ครบถ้วนของข้อมูลได้ค่อนข้างดี นอกจากนั้นผลการศึกษายังทำให้เกิดความเข้าใจว่าสูตรคำนวณค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่มีการปรับแก้ต่าง ๆ อันได้แก่ค่าปรับแก้ผลจากการที่ทิศทางของความคลาดเคลื่อนไม่ตั้งฉากกับเส้นที่วัด และค่าปรับแก้ผลจากความไม่ครบถ้วนของข้อมูลนั้น จะให้ผลที่ถูกต้องกับลักษณะข้อมูลแบบใดบ้าง โดยสรุปแล้ว วิธีสถิติบัฟเฟอร์โอเวอร์เลย์ จึงนับเป็นวิธีที่มีศักยภาพที่จะนำมาใช้ในการวัดความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งของชุดข้อมูลเส้นภูมิศาสตร์ได้เป็นอย่างดี

ภาควิชา วิศวกรรมสำรวจ ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา ระบบสารสนเทศปริภูมิทางวิศวกรรม ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2549

4670582021 : MAJOR SPATIAL INFORMATION SYSTEM IN ENGINEERING
KEY WORD : POSITIONAL ERROR MEASUREMENT / POSITIONAL ACCURACY / GIS DATA QUALITY

ATICHART AUNGKOSACHANAWANICH : POSITIONAL ACCURACY ASSESSMENT OF GEOGRAPHICAL LINE DATA SETS WITH BUFFER-OVERLAY-STATISTICS METHOD. THESIS ADVISOR : ASST.PROF.DR. CHANIN TINNACHOTE, 88 pp.

Geo-information is now playing more important role in nearly all fields of profession. Users normally use data from various sources and therefore require more detailed information on quality of that data. Comprehensive information about the positional accuracy of spatial data is especially essential to most of GIS users. Normal practice in measuring positional accuracy of a dataset is based on the well-defined points only. The value obtained does not, however, necessarily represent well enough the positional accuracy characteristics of the whole dataset. This study does, therefore, emphasize on the positional error measurement methods which take into account the complete lines. In this regard, the Buffer-Overlay-Statistics (BOS) method was chosen to be scrutinized and evaluated in order to determine its applicability and validity. The method was selected because it can assess average displacement of line features using basic functions available in most GIS packages. The method also provides information on data completeness which is then used to adjust the positional error information. This was done by studying all the formulae presented within the BOS method and developing the software tool to implement them to measure average displacements of simulated lines datasets with different line configurations. The resulted average displacements measured by BOS method were then assessed in comparison with the 'true' error defined in this study. General result reveals that the BOS method is practically capable in measuring the positional error of the whole part of geographic line. The average displacement of a line from its corresponding reference line which was attained from BOS method is found to be reasonably consistent to the value defined as being the actual error especially when the two lines are quite parallel. The method capably detects and corrects effect on positional error which created by incompleteness and miscoding of data. Studying of other formulae within BOS method has also disclosed the conditions by which, those correcting formulae can be profitably applied. In conclusion, the BOS method is proved to be very potential to be used for measuring the detailed positional error measurement.

Department ....Survey Engineering...., Student's signature ....

Field of study ...Spatial Information System in Engineering..., Advisor's signature ....,

Academic year ....2006........

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความช่วยเหลือและการสนับสนุนจากหลายฝ่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนินทร์ ทินนโชติ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้ให้คำแนะนำในการแก้ไขปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้น และตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้กับข้าพเจ้า และขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ซึ่งประกอบด้วย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อิทธิ ฤทธิ์สิริสัตยวงศ์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์สวัสดิ์ชัย เกรียงไกรเพชร และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมชนม์ สถิระพจน์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ให้คำแนะนำในการศึกษาวิจัยและตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จเรียบร้อยโดยสมบูรณ์ รวมทั้งคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่านที่ได้ให้ความรู้และคำแนะนำต่าง ๆ แก่ข้าพเจ้า

ข้าพเจ้าขอขอบคุณคุณชัยยุทธ เจริญผล ที่ช่วยเหลือข้าพเจ้าในการให้คำแนะนำการเขียนโปรแกรมต่างๆ ที่นำมาใช้ในการวิจัย รวมทั้งคำแนะนำและกำลังใจจากเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ ในภาควิชาวิศวกรรมสำรวจทุกคน

ข้าพเจ้าขอขอบคุณกองทัพอากาศที่ให้โอกาสในการศึกษา

ข้าพเจ้าขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ และ น้องๆ กองทัพอากาศ รวมทั้งกรมแผนที่ทหารที่ให้คำแนะนำและกำลังใจเสมอมา

ท้ายนี้ขอมอบความดีในวิทยานิพนธ์นี้แด่บิดา มารดา พี่น้องของข้าพเจ้า และมารดาของภรรยา พี่น้องของภรรยา ตลอดจนคณาจารย์ทุกท่าน และที่สำคัญขอขอบคุณภรรยาของข้าพเจ้า นาวาอากาศโทหญิง สัณสนีย์ เหมาคม และน้องบุ๋น ที่คอยช่วยเหลือ สนับสนุนและเป็นกำลังใจในการศึกษาครั้งนี้จนสำเร็จ พร้อมกันนี้ข้าพเจ้าหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะก่อประโยชน์ต่อสังคมสืบไป

สารบัญ

หน้า

สารบัญตาราง

หน้า

สารบัญภาพ

หน้า

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันได้มีการนำระบบภูมิสารสนเทศมาประยุกต์ใช้กับงานในหลากหลายสาขาอาชีพมากขึ้น ทำให้เกิดความต้องการข้อมูลภูมิสารสนเทศจากแหล่งข้อมูลที่มีคุณสมบัติแตกต่างกันเพื่อนำมาประมวลผล วิเคราะห์ใช้งานร่วมกัน ด้วยเหตุผลดังกล่าว ผู้ใช้งานภูมิสารสนเทศจึงต้องเพิ่มการให้ความสำคัญต่อคุณภาพของข้อมูลภูมิสารสนเทศมากขึ้น ทั้งนี้เพื่อให้สามารถตัดสินใจเลือกใช้ข้อมูลภูมิสารสนเทศในงานที่เกี่ยวข้องได้อย่างเหมาะสม คุณภาพของข้อมูลภูมิสารสนเทศนั้นขึ้นอยู่กับองค์ประกอบที่สำคัญหลายประการ ได้แก่ความครบถ้วนของข้อมูล ความสอดคล้องทางตรรกะ ความถูกต้องเชิงตำแหน่ง ความถูกต้องเชิงอรรถาธิบาย ความถูกต้องเชิงเวลา และประวัติความเป็นมาของชุดข้อมูล (ISO19113, 2002) ในบรรดาองค์ประกอบของคุณภาพข้อมูลภูมิสารสนเทศดังกล่าว ความถูกต้องเชิงตำแหน่ง (positional accuracy) นับว่าเป็นองค์ประกอบคุณภาพที่ผู้ใช้ส่วนใหญ่ให้ความสำคัญเป็นลำดับต้น ๆ ความถูกต้องเชิงตำแหน่งของชุดข้อมูลใด ๆ นั้น คือค่าที่บ่งชี้ว่าตำแหน่งของสิ่งต่าง ๆ ที่บันทึกไว้ในฐานข้อมูลนั้นแตกต่างจากตำแหน่งที่ตั้งจริงของสิ่งเหล่านั้นมากน้อยเพียงใด ซึ่งสามารถบ่งบอกได้จากค่าคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งของชุดข้อมูลนั้น ๆ และเนื่องจากข้อมูลเชิงตำแหน่งนั้นเป็นปัจจัยสำคัญในการประมวลผล และวิเคราะห์ข้อมูลภูมิสารสนเทศ ดังนั้นการทราบว่าข้อมูลมีค่าคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งอยู่มากน้อยเพียงใด จึงมีความสำคัญเป็นอย่างมากต่อการตัดสินใจประยุกต์ใช้งานข้อมูลดังกล่าว

การวัดค่าคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งของวัตถุต่าง ๆ ในชุดข้อมูล ซึ่งได้ปฏิบัติมาโดยทั่วไปนั้น เป็นการวัดความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งของตำแหน่งจุดที่ระบุจำแนกได้ชัดเจน (well-defined points) ซึ่งหมายถึงตำแหน่งจุดที่สามารถระบุได้ชัดเจนทั้งในชุดข้อมูลทดสอบและในความเป็นจริงในภูมิประเทศ (หรือในชุดข้อมูลอ้างอิงที่ใช้เป็นตัวแทนของความเป็นจริง) และใช้ค่าที่ได้เป็นตัวแทนของความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งของทั้งชุดข้อมูล วิธีดังกล่าวจะให้ค่าที่น่าเชื่อถือเมื่อมีการวัดจุดในจำนวนที่เพียงพอ และมีการกระจายตัวทั่วทั้งพื้นที่ ในกรณีการวัดค่าคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งของวัตถุที่แทนด้วยเส้นก็อาศัยการวัดจุดที่ระบุจำแนกได้ชัดเจนที่หาได้ เช่น ที่จุดปลายของเส้น หรือที่จุดตัดกันของเส้น แต่อาจไม่เหมาะสมเพียงพอ เนื่องจากตำแหน่งอื่นๆ ของเส้นนั้นอาจมีค่าคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งที่แตกต่างออกไป และมีผลต่อความถูกต้องเชิงตำแหน่งของชุดข้อมูลเส้นทั้งเส้น ดังนั้นจึงมีความต้องการในการวัดความถูกต้องเชิงตำแหน่งของข้อมูลทั้งเส้นซึ่งมีความซับซ้อนโดยเฉพาะอย่างยิ่งในการวัดเส้นที่มีรูปร่างซึ่งไม่มีแบบแผนแน่นอน

เช่น เส้นทางน้ำตามธรรมชาติ หรือเส้นชั้นความสูง วิธีของการวัดค่าคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งโดยการพิจารณาตำแหน่งอื่นๆของเส้นได้มีผู้พัฒนาขึ้นไว้หลายวิธี ได้แก่ วิธี Point-correspondence วิธีระยะเฮาส์ดอร์ฟฟ (Hausdorff distance) วิธีบัฟเฟอร์ (Buffer) และวิธีสถิติบัฟเฟอร์โอเวอร์เลย์ (Buffer-overlay-statistics) ซึ่งวิธีการวัดแต่ละวิธีต่างมีข้อดีและข้อจำกัดแตกต่างกันไป จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่าวิธีสถิติบัฟเฟอร์โอเวอร์เลย์มีข้อดีที่เป็นประโยชน์ซึ่งสามารถจะนำไปใช้ในทางปฏิบัติหลายข้อ ได้แก่ การไม่ต้องยุ่งยากในการจับคู่จุด และการที่สามารถทำได้โดยใช้ฟังก์ชั่นพื้นฐานของซอฟต์แวร์ GIS ที่มีอยู่ทั่วไป อย่างไรก็ตามยังมีรายละเอียดประเด็นปัญหาความไม่ชัดเจนบางประการเกี่ยวกับความถูกต้องและความเหมาะสมในการใช้งานของสูตรการคำนวณต่างๆบางประการของวิธีสถิติบัฟเฟอร์โอเวอร์เลย์ นอกจากนั้นยังไม่พบว่าได้มีการนำเอาวิธีดังกล่าวไปใช้งานจริงในที่อื่นใด ในเบื้องต้นจึงเกิดประเด็นเรื่องค่าคลาดเคลื่อนที่ได้จะสอดคล้องกับความเป็นจริงหรือค่าที่คนทั่วไปเข้าใจมากน้อยเพียงใด งานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อศึกษาทดสอบความถูกต้อง และการใช้งานได้จริงของวิธีการวัดความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งโดยวิธีสถิติบัฟเฟอร์โอเวอร์เลย์ดังกล่าว เพื่อนำไปสู่วิธีประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งของข้อมูลเส้นที่มีประสิทธิภาพ และเพื่อพัฒนาโปรแกรมเครื่องมือสำหรับวัดความถูกต้องเชิงตำแหน่งซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริง

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 ศึกษาแนวทางสำหรับการวัดความถูกต้องเชิงตำแหน่งของชุดข้อมูลเส้นภูมิศาสตร์ซึ่งใช้วิธีสถิติบัฟเฟอร์โอเวอร์เลย์เป็นพื้นฐาน โดยการศึกษาและปรับปรุงสูตรค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย การแกว่งตัว completeness และ miscodings

1.2.2 สร้างเครื่องมือสำหรับวัดความถูกต้องเชิงตำแหน่งตามแนวทางในข้อ 1.2.1 ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ศึกษาการวัดความถูกต้องเชิงตำแหน่งของชุดข้อมูลเส้นภูมิศาสตร์ซึ่งเป็นเวกเตอร์เท่านั้น

1.3.2 ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย

1.3.2.1 ชุดข้อมูลเส้นภูมิศาสตร์จำลองโดยสมมุติว่าเกิดจากวัตถุเดียวกันและอยู่บนพื้นที่เดียวกันซึ่งมีลักษณะต่างๆ ที่ประกอบรวมกันดังต่อไปนี้

1.3.2.1.1 ลักษณะรูปร่างพื้นฐานในแต่ละชุด ได้แก่ เส้นตรง เส้น

โค้ง และ เส้นคดโค้ง

1.3.2.1.2 ลักษณะการวางตัวของชุดข้อมูล 2 ชุดที่กระทำต่อกัน ได้แก่ ตัดกัน และไม่ตัดกัน

1.3.2.2 ชุดข้อมูลเส้นภูมิศาสตร์จริงที่เกิดจากวัตถุเดียวกันและอยู่บนพื้นที่เดียวกันในพื้นที่บางส่วนของประเทศไทย เช่น แม่น้ำ และถนน เป็นต้น โดยวัดความถูกต้องของชุดข้อมูลที่มาจากแหล่งต่างกัน เช่น ชุดข้อมูลแผนที่ภูมิประเทศดิจิตอล L7018 ที่มีมาตราส่วน 1: 50,000 เปรียบเทียบกับชุดข้อมูลแผนที่ภูมิประเทศดิจิตอลของ ESRI ซึ่งมีความถูกต้องอยู่ในเกณฑ์มาตราส่วน 1: 20,000 เป็นต้น

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้

1.4.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.4.2 ศึกษาและปรับปรุงสูตรการคำนวณ เช่น สูตรค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยซึ่งในการศึกษาและทดสอบเบื้องต้นได้ผลแตกต่างจากค่าที่ระยะห่างเฉลี่ยที่ควรจะเป็นและสูตรอื่นๆ ซึ่งยังต้องศึกษาต่อไป โดยทดสอบกับชุดข้อมูลเส้นภูมิศาสตร์จำลองตามข้อ 1.3.2.1

1.4.3 ศึกษาการใช้ซอฟท์แวร์ ArcGIS และการเขียนภาษา VBA ในตอนต้นเพื่อศึกษาและปรับปรุงตามการศึกษาในข้อ 1.4.2 และตอนท้ายใช้เพื่อสร้างเครื่องมือซึ่งสามารถง่ายต่อการใช้งาน

1.4.4 พัฒนาโปรแกรมและสร้างเครื่องมือตามแนวทางที่ได้จากข้อ 1.4.3 โดยพัฒนาโปรแกรมประยุกต์บนซอฟท์แวร์ ArcGIS ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1.4.4.1 สามารถคำนวณและแสดงค่าคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่ง

1.4.4.2 สามารถแสดงกราฟฟิกของการวัด เช่น เส้น และพื้นที่การวางซ้อน

1.4.4.3 สามารถแสดงกราฟต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อผู้ใช้ เช่น ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย การแกว่งตัว completeness และ miscodings และอื่นๆ

1.4.5 การทดสอบโปรแกรมและเครื่องมือ

1.4.5.1 ทดสอบโปรแกรมและเครื่องมือกับชุดข้อมูลเส้นภูมิศาสตร์จำลองตามข้อ 1.3.2.1 และชุดข้อมูลเส้นภูมิศาสตร์จริงตามข้อ 1.3.3.2 เพื่อตรวจสอบผลการคำนวณ การแสดงผลและข้อขัดข้องต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้น พร้อมทั้งดำเนินการแก้ไข

1.4.5.2 ทดสอบเพื่อเปรียบเทียบการวัดค่าคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งของชุดข้อมูลเส้นภูมิศาสตร์จริงตามข้อ 1.3.2.2

1.4.6 สรุปผลการวิจัย ข้อเสนอแนะ และเรียบเรียงวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้วิธีวัดความถูกต้องเชิงตำแหน่งของชุดข้อมูลเส้นภูมิศาสตร์จากการปรับปรุงหรือพัฒนาโดยใช้วิธีสถิติบัฟเฟอร์โอเวอร์เลย์เป็นพื้นฐาน

1.5.2 ได้โปรแกรมประยุกต์บนซอฟท์แวร์ ArcGIS เพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการวัดความถูกต้องเชิงตำแหน่งของชุดข้อมูลเส้นภูมิศาสตร์

บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

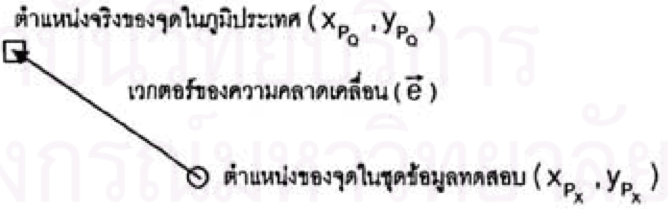
บทนี้เป็นการสรุปและประมวลความรู้ต่างๆที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย และได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ แนวคิดและทฤษฎีซึ่งเป็นส่วนหลักพื้นฐานของการประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่ง และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องซึ่งเป็นส่วนวิธีการต่างๆสำหรับการประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่ง

2.1 แนวคิดและทฤษฎี

การประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งของชุดข้อมูลภูมิศาสตร์เป็นการชี้ถึงการเปรียบเทียบทางตำแหน่งของข้อมูลกับตำแหน่งจริงหรืออ้างอิง ดังนั้น การประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งจึงมีความเกี่ยวข้องโดยตรงกับการวัดความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งของชุดข้อมูล ในงานวิจัยนี้จึงใช้ความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งเพื่อชี้ถึงความถูกต้องเชิงตำแหน่งต่อจากนี้ไป

ชุดข้อมูลต่างๆ ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์จะแสดงด้วยจุด เส้น และรูปหลายเหลี่ยมปิด เพื่อใช้เป็นตัวแทนวัตถุต่างๆ ในภูมิประเทศ การวัดความถูกต้องของวัตถุแต่ละประเภทจึงมีความแตกต่างกันบ้างตามลักษณะของข้อมูล แต่ยังคงใช้พื้นฐานจากการวัดความถูกต้องเชิงตำแหน่งของจุด ในที่นี้จึงอธิบายเริ่มจากเรขาคณิตของการวัดความถูกต้องเชิงตำแหน่งของจุด และต่อด้วยการวัดความถูกต้องเชิงตำแหน่งของเส้น แต่จะไม่กล่าวถึงการวัดความถูกต้องเชิงตำแหน่งของรูปหลายเหลี่ยมซึ่งเกินขอบเขตของการวิจัย

2.1.1 เรขาคณิตของการวัดความถูกต้องของจุด สามารถแสดงโดยการวัดระยะระหว่างตำแหน่งของจุดทดสอบกับตำแหน่งจริงของจุดเดียวกันในภูมิประเทศ ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงการวัดความถูกต้องของจุด

Error vector หรือ Deviation vector ($\vec{e}$) ก็คือ เวกเตอร์ของจุดบนเส้นอ้างอิง (P_Q) ไปยังจุดบนเส้นทดสอบ (P_x) ที่เป็นคู่จุดที่สัมพันธ์ตรงกัน และสามารถหาระยะทางระหว่างจุดได้ดังสมการที่ 2.2

$$\vec{e} = \overrightarrow{P_x - P_Q} \tag{2.1}$$

$$|e| = \sqrt{(x_{P_x} - x_{P_Q})^2 + (y_{P_x} - y_{P_Q})^2} \tag{2.2}$$

เมื่อ $\vec{e}$ คือ เวกเตอร์ของความคลาดเคลื่อน

P_Q คือ ตำแหน่งของชุดข้อมูลอ้างอิงหรือตำแหน่งจริงในภูมิประเทศ

P_x คือ ตำแหน่งของจุดในชุดข้อมูลทดสอบ

X_{P_Q}, X_{P_x} คือ พิกัดทางแกน X ของจุดบนเส้นอ้างอิงและเส้นทดสอบ ตามลำดับ

y_{P_Q}, y_{P_x} คือ พิกัดทางแกน y ของจุดบนเส้นอ้างอิงและเส้นทดสอบ ตามลำดับ

ค่าคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งของจุดก็คือ ระยะทางระหว่างจุดทั้งสองนี้เอง สำหรับการวัดจุดจำนวน N จุด (i = 1, 2, 3, ..., N) โดยวิธีการนี้สามารถหาค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยได้โดยใช้ Mean square error และ Root mean square error (RMSE) ดังแสดงในสมการที่ 2.4

$$\text{Mean error vector } (\bar{e}) = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(P_{X_i} - P_{Q_i}) \tag{2.3}$$

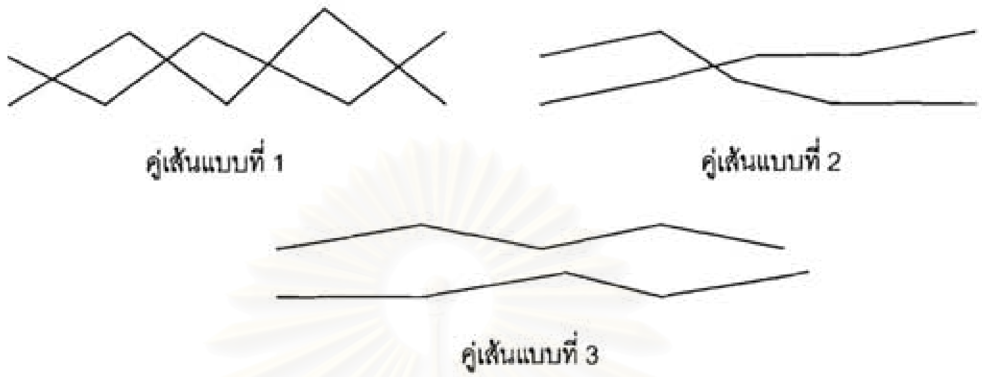
$$\text{Root mean square error} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(P_{X_i} - P_{Q_i})^2}{N}} \tag{2.4}$$

เมื่อ i คือ คู่จุดที่ 1,2,3,...N

และ N คือ จำนวนคู่จุดทั้งหมด

2.1.2 เรขาคณิตของการประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งของเส้น การประเมินความถูกต้องของเส้นมีความยุ่งยากและซับซ้อนมากกว่าวัตถุที่เป็นจุด นอกจากเส้นแต่ละเส้นเกิดจากจุดหลายจุดเชื่อมต่อกันซึ่งทำให้เกิดลักษณะรูปร่างเฉพาะของเส้นแล้ว การนำเส้นสองเส้นมา

เปรียบเทียบกันเพื่อประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่ง ยังทำให้เกิดความสัมพันธ์ระหว่างเส้นในรูปแบบต่างๆ ได้อย่างมากมายอีกด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ดังนั้น เพื่อให้เกิดความชัดเจนยิ่งขึ้นต่อการประเมินความถูกต้องของเส้น จึงได้จำแนกเรขาคณิตของการประเมินความถูกต้อง



รูปที่ 2.2 แสดงตัวอย่างของลักษณะที่แตกต่างกันของคู่เส้นแบบต่างๆ

เชิงตำแหน่งออกเป็นสององค์ประกอบของการวัด ได้แก่ องค์ประกอบแรก คือ การวัดความถูกต้องเชิงตำแหน่ง ซึ่งสามารถวัดความคลาดเคลื่อนที่จุด well-defined ของเส้น เช่น ที่ปลายของเส้น จุดตัดกันของเส้น แต่ส่วนอื่นๆ ที่เหลือของเส้นนั้นยากที่กล่าวถึงความถูกต้องเชิงตำแหน่งและหาปริมาณได้ จึงทำให้มีการพัฒนาวิธีการวัดความถูกต้องเชิงตำแหน่งแบบต่างๆ ขึ้น เพื่อให้เกิดการวัดที่ครอบคลุมตลอดทั้งเส้น เช่น วิธีระยะเฮาส์ดอร์ฟฟ (Tsoulos and Skopeliti, 2000) วิธี Point-correspondence (Kagawa, Sekimoto and Shibasaki, 1999) วิธี Sliver polygon (Liu, Wu and Mao, 2003) วิธีบัฟเฟอร์ (Buffer) (Goodchild และ Hunter, 1997) และวิธีสถิติบัฟเฟอร์โอเวอร์เลย์ (Tveite and Langass, 1999) ซึ่งรายละเอียดจะกล่าวไว้ในหัวข้อ 2.2.1 และองค์ประกอบที่สอง คือ การวัดทางรูปร่าง หรืออาจเรียกเป็น "ความตรงกันทางรูปร่าง (Shape fidelity)" (Tveite and Langass, 1999) ซึ่งมีตัวชี้วัดแบบต่างๆ เช่น แฟคเตอร์เจนเนอรัลไลเซชัน (Generalization factor, GF) (Ali and Ramirez, 2005) เวกเตอร์ความคลาดเคลื่อน (Error Vector) (Kagawa, Sekimoto and Shibasaki, 1999) ระยะเฮาส์ดอร์ฟฟ (Tsoulos and Skopeliti, 2000) และการแกว่งตัว (Oscillation)(Tveite and Langass, 1999) ซึ่งรายละเอียดจะกล่าวไว้ในหัวข้อ 2.2.2

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยเกี่ยวกับการประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งของเส้นมีหลากหลายวิธีการ แต่ละวิธีต่างก็มุ่งจะประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งด้วยลักษณะเฉพาะตัว ซึ่งพยายามวัดทั้งสององค์ประกอบของการประเมินความถูกต้อง คือ วัดความถูกต้องเชิงตำแหน่ง และการวัดทางรูปร่าง ในส่วนนี้จึงได้กล่าวถึงงานวิจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องกับทั้งสององค์ประกอบดังต่อไปนี้

2.2.1 การวัดความถูกต้องเชิงตำแหน่ง

วิธีการวัดความถูกต้องเชิงตำแหน่งของเส้นแบบต่างๆ สามารถบ่งบอกได้ด้วยความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งของข้อมูลเส้น ที่ได้จากการวัดโดยการพิจารณาตำแหน่งอื่น ๆ ของทั้งเส้น มิใช่เฉพาะจุดที่ระบุจำแนกได้ชัดเจน (well-defined point) เท่านั้น ได้มีผู้พัฒนาขึ้นไว้หลายวิธี ได้แก่

2.2.1.1 วิธีระยะเฮาส์ดอร์ฟฟ (Tsoulos and Skopeliti, 2000) เป็นการวัดความคลาดเคลื่อนด้วยการวัดระยะระหว่างเซตของจุดบนเส้น A กับเส้น B ซึ่งไม่ได้วัดเฉพาะ vertex เท่านั้น แต่ใช้การวัดทุกๆ จุดบนเส้น การคำนวณระยะมีพื้นฐานของการแปลงเส้นไปเป็นเซตจำกัดของจุด โดยสามารถอธิบายให้เข้าใจได้ง่ายขึ้นโดยใช้สมการ 2.4 ถึง 2.6 ดังต่อไปนี้

ระยะเฮาส์ดอร์ฟฟ จากเส้น A ไป B สามารถเขียนในรูปสมการที่ 2.4

$$h(A,B) = \max_{a \in A} \{ \min_{b \in B} \{ d(a,b) \} \} \tag{2.4}$$

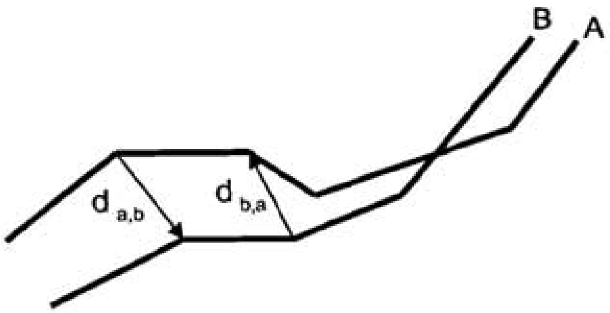
ระยะเฮาส์ดอร์ฟฟ จากเส้น B ไป A สามารถเขียนในรูปสมการที่ 2.5

$$h(B,A) = \max_{a \in A} \{ \min_{b \in B} \{ d(b,a) \} \} \tag{2.5}$$

เมื่อ a และ b เป็นจุดของชุดข้อมูลเส้น A และ B ตามลำดับ

d เป็นระยะทางระหว่างจุด (รูปที่ 2.3)

$$H(A,B) = \max \{ h(A,B), h(B,A) \} \tag{2.6}$$



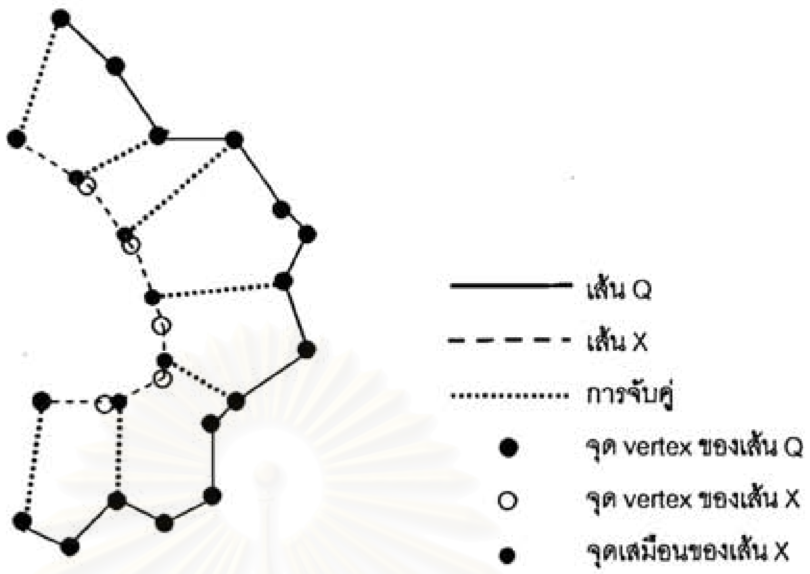
รูปที่ 2.3 แสดงการหาระยะเฮาส์ดอร์ฟฟ d(a,b) และ d(b,a)

และระยะเฮาส์ดอร์ฟฟระหว่างเส้น A และ B สามารถเขียนในรูปสมการที่ 2.6

นอกจากการใช้หลักการวัดระยะของจุดแล้ว Shulian และ Xiaoyong (2003) ได้นำเสนอวิธีการคำนวณ ระยะเฮาส์ดอร์ฟฟ โดยใช้หลักการของวิธีบัฟเฟอร์ด้วยการสร้างบัฟเฟอร์ออกจากเส้นอ้างอิงขนาดกว้าง x_1 ให้สามารถครอบคลุมเส้นทดสอบทั้งหมด และจากนั้นสร้างบัฟเฟอร์ออกจากเส้นทดสอบที่มีขนาดกว้าง x_2 ให้สามารถครอบคลุมเส้นอ้างอิงทั้งหมด และใช้ค่ามากที่สุดของ $\{x_1, x_2\}$ เป็นผลลัพธ์ของการคำนวณ ระยะเฮาส์ดอร์ฟฟ

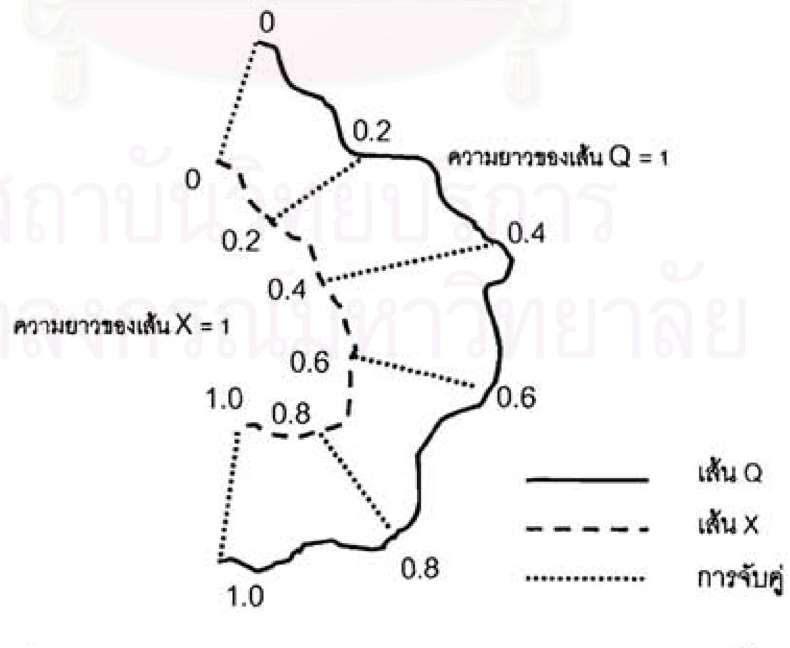
2.2.1.2 วิธี Point-correspondence (Kagawa, Sekimoto and Shibasaki, 1999) เป็นวิธีการวัดความคลาดเคลื่อนระหว่างคู่จุดบนเส้นทั้งสองเส้นซึ่งเป็นตัวแทนตำแหน่งของวัตถุเดียวกันบนพื้นโลก แต่ในความเป็นจริงมีความยุ่งยากต่อการหาคู่ของจุดที่เหลือนอกเหนือจากจุดที่ระบุจำแนกได้ชัดเจน (well defined point) เนื่องจากจำนวนจุดของเส้นสองเส้นอาจมีจำนวนไม่เท่ากัน ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากระดับเจนเนอรัลไรเซชันที่ต่างกัน ทำให้ต้องอาศัยหลักเกณฑ์ในการจับคู่จุดของจุดเหล่านี้ ซึ่งตัวอย่างหลักเกณฑ์นั้นก็มีได้หลายแบบ ได้แก่

1) แบบที่หนึ่ง คือ การสร้างจุดเสมือน (virtual point) ที่มีช่วงระยะคงที่บนเส้นทดสอบ (Kagawa, Sekimoto and Shibasaki, 1999) เพื่อใช้จับคู่ระหว่างเสมือนเหล่านี้กับจุด vertex ที่มีอยู่บนเส้นอ้างอิง (เส้นที่มีความถูกต้องสูงกว่า) เวกเตอร์ความคลาดเคลื่อน (error vector) เป็นเวกเตอร์ของคู่จุดที่มีทิศทางออกจากจุดเสมือนไปยังจุดบนเส้นอ้างอิง หลักเกณฑ์นี้มีเงื่อนไขซึ่งจะทำให้รากที่สองของผลรวม error vector มีค่าน้อยที่สุด การจับคู่จุดด้วยวิธีนี้แสดงในรูปที่ 2.4



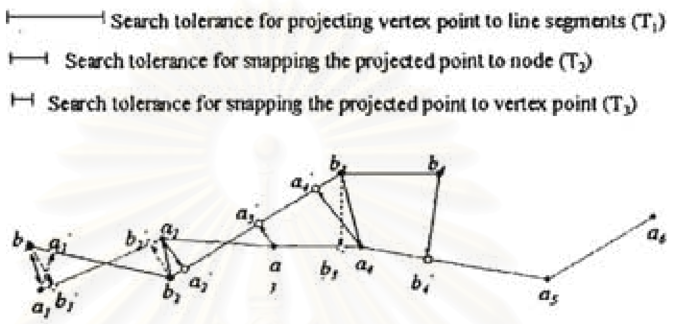
รูปที่ 2.4 แสดงการจับคู่จุดด้วยการสร้างจุด vertex เสมือนที่มีช่วงระยะคงที่

2) แบบที่สอง คือ การจับคู่จุดด้วยแฟคเตอร์การบิดเบี้ยว (Distortion factor) (Ali and Ramirez, 2005) วิธีนี้กำหนดให้ความยาวทั้งหมดของทั้งเส้นทดสอบและอ้างอิง มีค่าเป็น 1 (100 %) จากนั้นสร้างจุดบนเส้นแต่ละเส้นเพื่อใช้เป็นคู่จุดกันเรียงกันตามลำดับ ด้วยการกำหนดระยะห่างระหว่างจุดตามความเหมาะสม ยกตัวอย่างเช่น 0.2 (20 % ของความยาวทั้งหมดในแต่ละส่วนของเส้น) ทำให้เกิดจุดบนแต่ละส่วนของเส้นจำนวน 6 จุด ซึ่งมีตำแหน่งอยู่ที่ระยะ 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงการจับคู่จุดด้วยการจับคู่จุดด้วยแฟคเตอร์การบิดเบี้ยว

3) แบบที่สาม คือ การจับคู่แบบมีเงื่อนไข (Tinnachote และ Chen, 2006) เป็นการจับคู่ระหว่างจุด vertex เดิมกับจุดตำแหน่งที่ใกล้ที่สุดบนเส้นที่ใช้เปรียบเทียบ ซึ่งการ project จุดแบบมีเงื่อนไขแบบนี้เป็นวิธีที่ใช้ในการเปรียบเทียบเส้นเพื่อหาตำแหน่งเฉลี่ยของเส้น ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 2.6 และเมื่อหาคู่จุดได้แล้วค่าคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งของแต่ละคู่จุด และค่าคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งเฉลี่ยระหว่างเส้นสามารถหาได้จากสมการที่ 2.7 และ 2.8 ตามลำดับ



รูปที่ 2.6 แสดงการจับคู่จุดโดยการ project จุดบนเส้นแบบมีเงื่อนไข

(Tinnachote และ Chen, 2006)

หลังจากการใช้หลักเกณฑ์ข้างต้นหาคู่จุดระหว่างเส้นที่สัมพันธ์กันได้แล้ว ระยะระหว่างคู่จุดแต่ละคู่สามารถหาได้จากสมการที่ 2.7 และค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยคำนวณได้จากสมการที่ 2.8 ดังแสดงข้างล่างนี้

$$|e| = \sqrt{(x_{P_x} - x_{P_Q})^2 + (y_{P_x} - y_{P_Q})^2} \quad (2.7)$$

$$\text{ค่าคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งเฉลี่ย} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(|e_i|) \quad (2.8)$$

เมื่อ e คือ เวกเตอร์ของความคลาดเคลื่อน

P_Q คือ ตำแหน่งจุดบนเส้นอ้างอิง

P_X คือ ตำแหน่งจุดบนเส้นทดสอบ

X_{P_Q}, X_{P_X} คือ พิกัดทางแกน X ของจุดบนเส้นอ้างอิงและเส้นทดสอบ ตามลำดับ

y_{P_Q}, y_{P_X} คือ พิกัดทางแกน y ของจุดบนเส้นอ้างอิงและเส้นทดสอบ

ตามลำดับ

i คือ คู่จุดที่ 1,2,3,...N

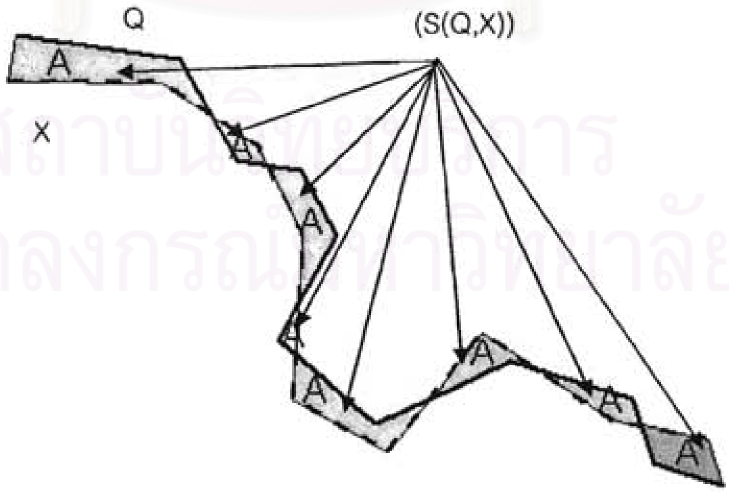
และ N คือ จำนวนคู่จุดที่สัมพันธ์ตรงกัน

ค่าคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งระหว่างเส้นสามารถหาได้จาก mean error vector ของ deviation vector ทั้งหมด ดังแสดงในสมการที่ 2.3 และ Root mean square error (RMSE) ซึ่งหาได้จากสมการที่ 2.4 ข้างต้น

เนื่องจากวิธีการนี้ใช้การวัดระยะระหว่างคู่จุด การใช้กฎเกณฑ์หรือเงื่อนไขแตกต่างกันเพื่อหาคู่ของจุด จึงทำให้ผลการจับคู่จุดไม่เหมือนกันและทำให้ค่าคลาดเคลื่อนที่ได้แตกต่างกันอีกด้วย อย่างไรก็ตามวิธีการนี้มีข้อเด่นที่สามารถประมาณความคลาดเคลื่อนเอนเอียง (bias error) ได้ เนื่องจากการทราบเวกเตอร์ความคลาดเคลื่อน (error vector) ของคู่จุดตลอดแนวเส้น ซึ่งสามารถแสดงได้ทั้งขนาดและทิศทาง

2.2.1.3 วิธี Sliver polygon (Liu, Wu and Mao, 2003) เป็นวิธีการวัดซึ่งมีมาแต่เดิมโดยมีพื้นฐานการวัด โดยการใช้พื้นที่รูปหลายเหลี่ยมซึ่งเกิดขึ้นระหว่างเส้นทั้งสองเส้นเพื่อหาความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย และต่อมา Liu, Wu and Mao (2003) ได้นำเสนออัลกอริทึม ADA (Area difference algorithm) เพื่อง่ายต่อการนำไปประยุกต์ใช้โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 หารูปหลายเหลี่ยมต่างๆ ซึ่งอยู่ระหว่างเส้น Q (เส้นทึบ) และเส้น X (เส้นประ) และจุดปลายของเส้นทั้งสองควรปิดล้อมเพื่อให้เกิดรูปหลายเหลี่ยมขึ้น โดยเรียกรูปหลายเหลี่ยมเหล่านี้ว่า Sliver polygon (S(Q,X)) ดังแสดงในรูปที่ 2.7



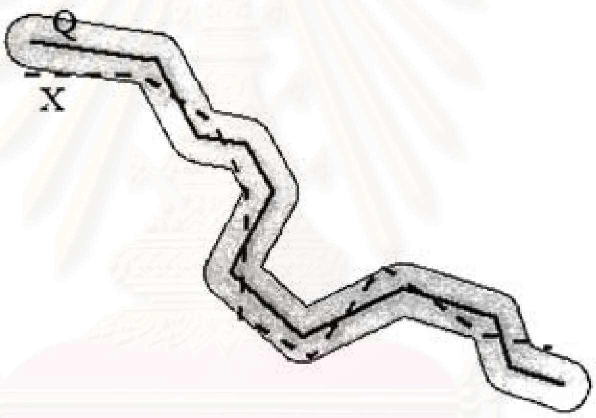
รูปที่ 2.7 แสดงพื้นที่รูปหลายเหลี่ยมระหว่างเส้น

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณผลรวมของพื้นที่รูปหลายเหลี่ยมทั้งหมด (A)

ขั้นตอนที่ 3 ระยะคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (d) หาได้จากการนำพื้นที่ทั้งหมด (A) หารด้วยความยาวของเส้นอ้างอิงหรือเส้นที่มีความถูกต้องสูงกว่า (L) หรือเขียนในรูปสมการเป็น $d = A/L$

วิธีการนี้สามารถหาค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยได้โดยง่าย เนื่องจากสามารถหาผลรวมของพื้นที่รูปหลายเหลี่ยมปิดด้วยสูตรการคำนวณที่ไม่ยุ่งยากจากจุดพิกัดของ vertex ต่างๆ ของแต่ละรูปหลายเหลี่ยมปิด แต่ก็มีความยุ่งยากบ้างจากการปิดด้านของรูปหลายเหลี่ยมที่ปลายเส้นทั้งสองด้าน เพราะด้านปิดของรูปต้องคำนึงถึงการเกิดจากคู่จุดซึ่งเป็นตัวแทนของวัตถุเดียวกัน

2.2.1.4 วิธีบัฟเฟอร์ (Goodchild และ Hunter, 1997) ใช้การสร้างรูปหลายเหลี่ยมของบัฟเฟอร์ซึ่งมีขนาดกว้าง x ออกจากเส้นอ้างอิงเพื่อให้ครอบคลุมความยาวเส้นทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 2.8 วิธีนี้ต้องการหาขนาดบัฟเฟอร์ x ที่ทำให้เปอร์เซ็นไทล์ของเส้นทดสอบ (p(x)) อยู่



รูปที่ 2.8 แสดงการวัดความถูกต้องของวิธีบัฟเฟอร์

ภายในรูปหลายเหลี่ยมของบัฟเฟอร์ที่ต้องการซึ่งอาจเป็น 90 หรือ 95 และใช้ค่าขนาดบัฟเฟอร์ x ที่ได้เป็นค่าคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่ง กระบวนการวนซ้ำของวิธีการนี้แสดงได้ดังต่อไปนี้

1. กำหนดให้ $x_o = 0$ และ $p_o = 0$ เปอร์เซ็นไทล์เป้าหมายที่ต้องการเท่ากับ y ระยะบัฟเฟอร์เริ่มต้นเป็น x_1 และกำหนดให้ $i = 1$

2. สร้างรูปหลายเหลี่ยมของบัฟเฟอร์ซึ่งมีความกว้างเท่ากับ x_i รอบเส้นอ้างอิง และคำนวณสัดส่วนของเส้นทดสอบที่อยู่ในรูปหลายเหลี่ยมของบัฟเฟอร์ต่อความยาวทั้งหมดของเส้นทดสอบ (p_i) ซึ่งหาก $| p_i - y | < 0.001$ ให้หยุดกระบวนการ

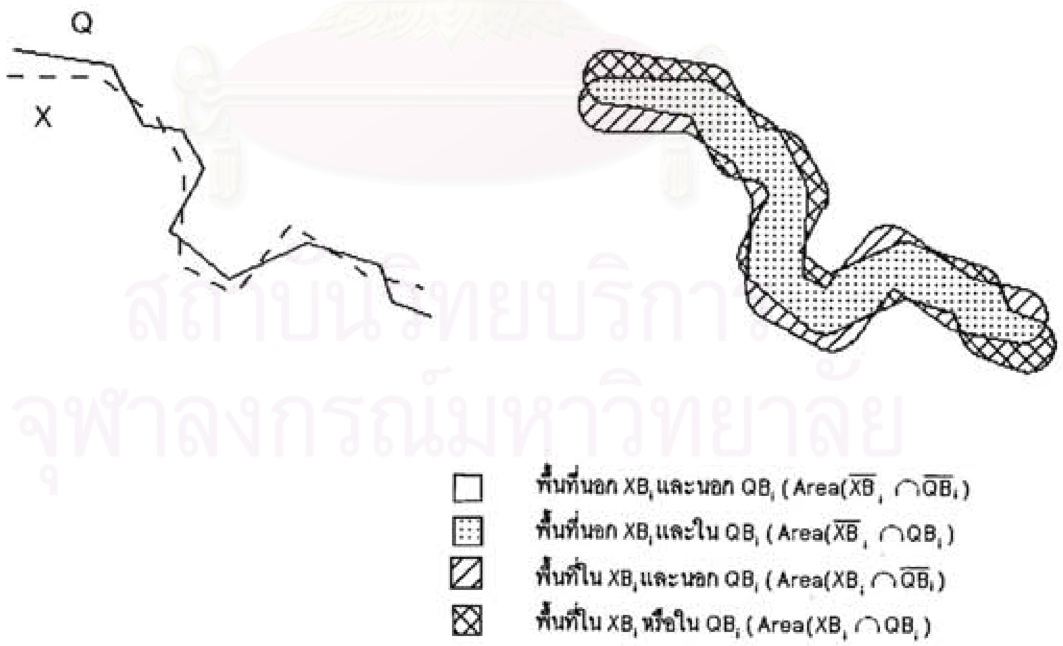
3. คำนวณค่าประมาณใหม่ของ x โดยอาศัยการประมาณเชิงเส้นกับฟังก์ชันของ p ด้วยสมการที่ 2.10

$$x_{i+1} = \frac{(y - p_{i-1})(x_i - x_{i-1})}{(p_i - p_{i-1})} + x_{i-1} \tag{2.10}$$

4. กำหนดให้ i = i+1 และกลับไปทำขั้นตอนที่ 2

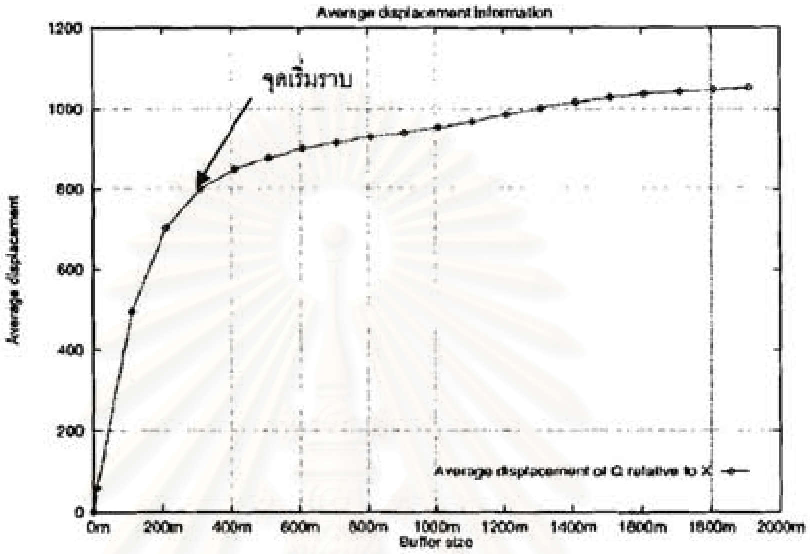
การสร้างรูปหลายเหลี่ยมของบัฟเฟอร์เพื่อให้ครอบคลุมความยาวเส้นทดสอบร้อยละ 90 หรือ 95 ซึ่งเป็นข้อมูลส่วนใหญ่ เป็นการใช้หลักการทางสถิติที่คาดว่าความผิดพลาดขนาดใหญ่มักมีอยู่น้อยหรืออาจมีอยู่เพียงร้อยละ 5 ถึง 10 ของข้อมูลที่มีการกระจายแบบโค้งปกติ จึงทำให้วิธีการนี้สามารถลดผลกระทบจากความผิดพลาดขนาดใหญ่ซึ่งเกิดกับวิธีระยะเฮาส์ดอร์ฟฟ และแสดงค่าคลาดเคลื่อนมากที่สุดของข้อมูลส่วนใหญ่ แต่เนื่องจากวิธีนี้ไม่มีพื้นฐานของการวัดระหว่างจุดจึงทำให้ยากต่อการหาค่าคลาดเคลื่อนเอนเอียง

2.2.1.5 วิธีสถิติบัฟเฟอร์โอเวอร์เลย์ (Buffer-overlay-statistics (BOS))(Tveite and Langass, 1999) เป็นการหาการกระจัดเฉลี่ย (Average displacement (DE)) หรือความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (Average error) ที่เกิดจากการวางซ้อนกันของรูปหลายเหลี่ยมของบัฟเฟอร์รอบเส้นอ้างอิงหรือเส้นที่มีความถูกต้องสูงกว่า (QB) และเส้นทดสอบ (XB) คำนวณค่าสถิติของพื้นที่รูปหลายเหลี่ยมต่างๆ ที่ได้จากการวางซ้อน ซึ่งได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.9 วิธีการนี้



รูปที่ 2.9 แสดงพื้นที่ต่างๆ ของรูปหลายเหลี่ยมซึ่งเกิดจากการวางซ้อน

เป็นการวนซ้ำ (iteration) และพล็อตกราฟระหว่างขนาดบัฟเฟอร์ กับการกระจัดเฉลี่ย (DE) ที่ได้จากการวนซ้ำในแต่ละครั้ง ลักษณะของกราฟที่ได้ควรเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนกระทั่งขนาดบัฟเฟอร์ถึงการกระจัดเฉลี่ยหรือค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (average error) ของเส้น แล้วกราฟจึงเริ่มราบ ซึ่งแสดงในรูปที่ 2.10

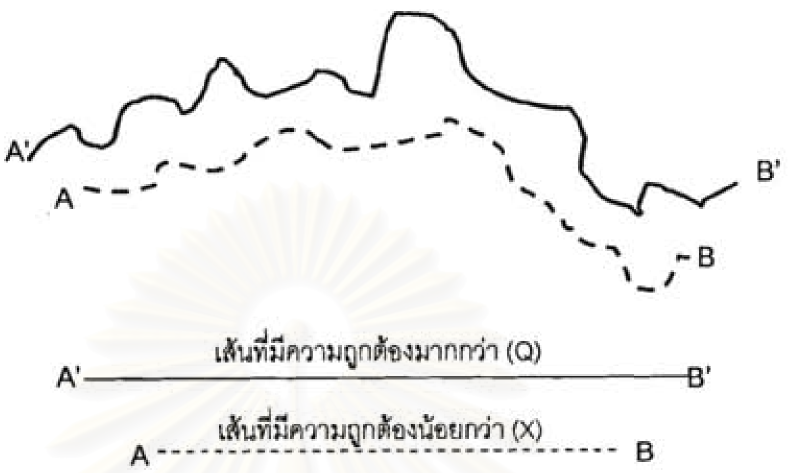


รูปที่ 2.10 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (DE) กับ ขนาดบัฟเฟอร์ (Tveite and Langass, 1999)

2.2.2 การวัดทางรูปร่าง

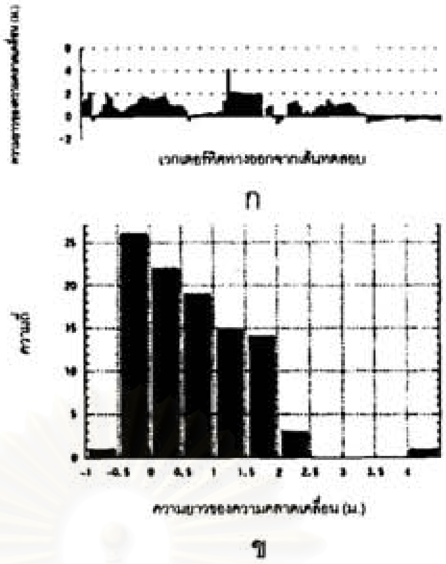
เนื่องจากความสัมพันธ์ทางรูปร่างระหว่างเส้นมีรูปแบบที่หลากหลาย ทำให้มีความยุ่งยากต่อการวัด ผู้วิจัยหลายท่านได้ความพยามสร้างตัวชี้วัดทางรูปร่าง เพื่อใช้แทนการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ด้วยสายตา โดยอาศัยลักษณะพื้นฐานของการวัดแต่ละวิธีที่แตกต่างกันไปบ้าง จึงได้ตัวชี้วัดของการวัดทางรูปร่างต่างๆ ได้แก่

2.2.2.1 แฟคเตอร์เจนเนอรัลไลเซชัน (Generalization factor (GF))(Ali and Ramirez, 2005) ใช้การเปรียบเทียบความยาวของเส้นสองเส้นเพื่อชี้วัดรูปร่าง ความยาวที่ต่างกันมากกว่าแสดงถึงการมีรูปร่างแตกต่างกันมากกว่า ซึ่งมีสาเหตุเนื่องมาจากความต่างของระดับเจนเนอรัลไลเซชันที่มากกว่า ดังแสดงในรูปที่ 2.11 แฟคเตอร์เจนเนอรัลไลเซชันสามารถแสดงความสัมพันธ์ด้วยสมการ $GF=\frac{AB}{A'B'}$ เมื่อ AB คือ ความยาวของเส้นที่ถูกต้องน้อยกว่า (X) (เส้นสั้นกว่า) A'B' คือ ความยาวของเส้นที่ถูกต้องมากกว่า (Q) (เส้นยาวกว่า)



รูปที่ 2.11 แสดงแฟคเตอร์เจนเนอรัลไลเซชัน

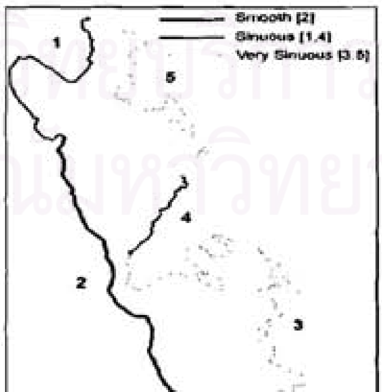
2.2.2.2 เวกเตอร์ความคลาดเคลื่อน (Error Vector) (Kagawa, Sekimoto and Shibasaki, 1999) สามารถชี้วัดทางรูปร่างด้วยกราฟเวกเตอร์ความคลาดเคลื่อน 2 แบบ คือ แบบที่ 1 กราฟขนาดหรือความยาวของเวกเตอร์ (length of error vector) เป็นการพล็อตกราฟระหว่างขนาดเวกเตอร์กับทิศทางความคลาดเคลื่อนที่มีทิศทางออกจากเส้นทดสอบตามลำดับ ซึ่งด้านบวกของแกน Y แสดงด้านซ้ายมือ และด้านลบแสดงด้านขวามือของเส้นทดสอบ ดังรูปที่ 2.12 ก และแบบที่ 2 ฮิสโตแกรมของการกระจายเวกเตอร์ความคลาดเคลื่อน เป็นการพล็อตกราฟความถี่ของเวกเตอร์ความคลาดเคลื่อน ซึ่งโดยทั่วไปข้อมูลที่ไม่มีคลาดเคลื่อนเอนเอียงอยู่ จะมีการกระจายของความคลาดเคลื่อนแบบปกติ (normal distributed) หากรูปแบบการกระจายมีลักษณะผิดไป เช่น การเบ้ซ้าย หรือเบ้ขวา ก็สามารถบ่งชี้ความคลาดเคลื่อนเอนเอียงที่มีอยู่ได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.12 ข



รูปที่ 2.12 แสดงกราฟเวกเตอร์และฮิสโตแกรมของความคลาดเคลื่อน

(Kagawa, Sekimoto and Shibasaki, 1999)

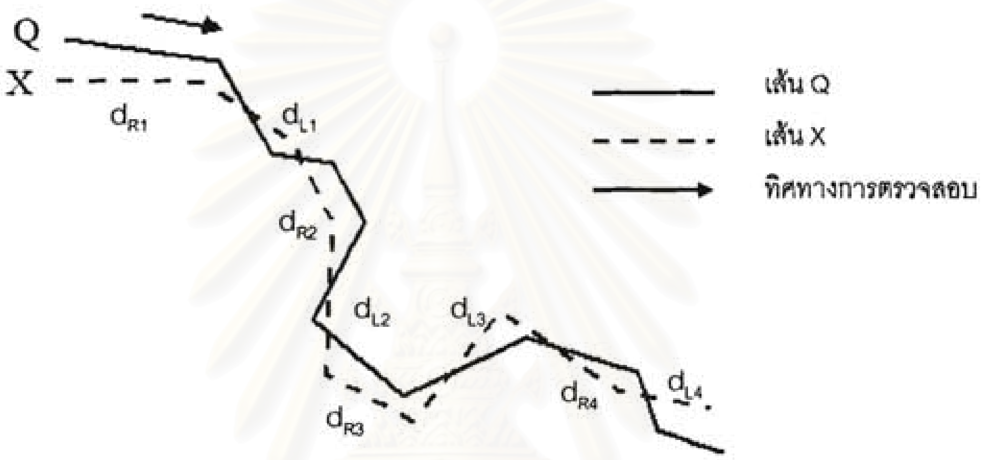
2.2.2.3 ระยะเฮาส์ดอร์ฟฟ (Tsoulos and Skopeliti, 2000) สามารถชี้วัดทางรูปร่างด้วยการจัดกลุ่มเส้นที่มีค่า ระยะเฮาส์ดอร์ฟฟ อยู่ในช่วงเกณฑ์เดียวกันเข้าไว้ด้วยกัน ซึ่งส่วนของเส้นในกลุ่มเดียวกันนี้ก็จะมีความคล้ายคลึงทางรูปร่างมากกว่า ดังแสดงในรูปที่ 2.13 การจัดกลุ่มรูปแบบของเส้นไว้ 3 กลุ่ม ได้แก่ 1) กลุ่มคดเคี้ยวมาก (Very sinuous, VSIN) ซึ่งเป็นกลุ่มที่แสดงค่าคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งมากที่สุด 2) กลุ่มคดเคี้ยว (Sinuous, SIN) ซึ่งเป็นกลุ่มที่แสดงค่าคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งพอประมาณ และ 3) กลุ่มราบเรียบ (Smooth, S) ซึ่งเป็นกลุ่มที่แสดงค่าคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งน้อย การจัดกลุ่มเหล่านี้ได้จากการศึกษาผลของการดิจิไทซ์ของชุดข้อมูลทดลองด้วยกลุ่มผู้ดิจิไทซ์จำนวนหนึ่ง และหาระยะเฮาส์ดอร์ฟฟสำหรับจัดกลุ่มจากการเปรียบเทียบระหว่างชุดข้อมูลต่างๆ ที่ได้จากการดิจิไทซ์กับชุดข้อมูลทดลองต้นฉบับ



รูปที่ 2.13 แสดงการจัดกลุ่มเส้นด้วย ระยะเฮาส์ดอร์ฟฟ

(Lysandros Tsoulos และ Andriani Skopeliti, 2000)

2.2.2.4 แฟคเตอร์ความเอนเอียง (Bias factor (BF))(Ali and Ramirez, 2005) แฟคเตอร์ความเอนเอียงเป็นการเปรียบเทียบตำแหน่งที่สัมพันธ์กันระหว่างส่วนของเส้นที่มีความถูกต้องน้อยกว่า (X) กับส่วนของเส้นที่มีความถูกต้องสูงกว่า การคำนวณแฟคเตอร์ความเอนเอียงใช้ผลรวมจำนวนและความยาวของส่วนของเส้นที่มีความถูกต้องน้อยกว่าที่อยู่ด้านขวาของเส้นที่มีความถูกต้องสูงกว่า เปรียบเทียบกับผลรวมจำนวนและความยาวของส่วนของเส้นที่มีความถูกต้องน้อยกว่าที่อยู่ด้านซ้ายของเส้นที่มีความถูกต้องสูงกว่า ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 2.14 ซึ่งแสดงส่วนของเส้นที่อยู่ด้านซ้ายและขวา



รูปที่ 2.14 แสดงการคำนวณแฟคเตอร์ความเอนเอียง

แฟคเตอร์ความเอนเอียงสามารถสรุปความสัมพันธ์ได้ดังต่อไปนี้

ถ้า $\sum d_{L_i} = 0$ และ $\sum d_{R_i} = 0$ แล้ว แสดงว่าไม่มีความเอนเอียง

ถ้า $\sum d_{L_i} = 0$ และ $\sum d_{R_i} \neq 0$ แล้ว แสดงว่ามีความเอนเอียงด้านขวา

ถ้า $\sum d_{L_i} \neq 0$ และ $\sum d_{R_i} = 0$ แล้ว แสดงว่ามีความเอนเอียงด้านซ้าย

ถ้า $\sum d_{L_i} \neq 0$ และ $\sum d_{R_i} \neq 0$ แล้ว $BF = \dfrac{\sum d_{L_i}}{\sum d_{R_i}}$

ถ้า $\sum d_{L_i} = \sum d_{R_i}$ แล้ว แสดงว่ามีความเอนเอียงด้านซ้ายเท่ากับความเอนเอียงด้านขวา

เมื่อ d_{L_i} คือ ความยาวของส่วนของเส้นที่มีความถูกต้องน้อยกว่าที่อยู่ด้านขวาของเส้นที่มีความถูกต้องสูงกว่า

และ d_{R_i} คือ ความยาวของส่วนของเส้นที่มีความถูกต้องน้อยกว่าที่อยู่ด้านซ้ายของเส้นที่มีความถูกต้องสูงกว่า

2.2.2.5 การแกว่งตัว (Oscillation,O) (Tveite and Langass, 1999) ของวิธีสถิติบัฟเฟอร์โอเวอร์เลย์ การแกว่งตัวแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ แบบที่ 1 ใช้การนับจำนวนรูปหลายเหลี่ยมของพื้นที่ซึ่งอยู่นอกบัฟเฟอร์ของเส้นอ้างอิง Q แต่อยู่ในบัฟเฟอร์ของเส้นทดสอบ X (Area $(\overline{XB}_i \cap QB_i)$ หารด้วยความยาวของเส้น X โดยค่าการแกว่งตัวต่ำๆจะแสดงถึงความเป็นไปได้ที่จะมีความคลาดเคลื่อนเอนเอียง แบบที่ 2 ใช้การนับจำนวนรูปหลายเหลี่ยมของพื้นที่ซึ่งอยู่นอกบัฟเฟอร์ของเส้นทั้งสองเส้น (Area$(\overline{XB}_i \cap \overline{QB}_i)$ หารด้วยความยาวของเส้น X โดยแสดงความคลาดเคลื่อนเอนเอียงได้จากความชันที่ลดลงอย่างรวดเร็วของกราฟระหว่างระยะบัฟเฟอร์กับค่าการแกว่งตัว รูปหลายเหลี่ยมของพื้นที่การแกว่งตัวทั้งสองแบบแสดงในรูปที่ 2.15

รูปที่ 2.15 แสดงรูปหลายเหลี่ยมของพื้นที่สำหรับคำนวณการแกว่งตัว

2.3 การวิจารณ์วิธีประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งต่างๆที่มีอยู่

จากการศึกษาวิธีการประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งแบบต่างๆ ที่มีอยู่ ผู้วิจัยจึงได้สรุปและวิจารณ์วิธีการต่างๆ ไว้เพื่อเป็นประโยชน์ในการศึกษาต่อไปดังนี้

วิธีระยะเฮาส์ดอร์ฟฟ เป็นการวัดความถูกต้องเชิงตำแหน่งจากพื้นฐานการวัดระยะระหว่างเซตกำจัดของจุดบนเส้นสองเส้น จากนั้น Niu และ Chen (2003) ได้นำเสนอวิธีระยะเฮาส์ดอร์ฟฟ ซึ่งสามารถคำนวณโดยใช้หลักการของวิธีบัฟเฟอร์ด้วยการสร้างบัฟเฟอร์ที่มีขนาดกว้าง x_1 จากเส้นอ้างอิงที่สามารถครอบคลุมเส้นทดสอบทั้งหมด และสร้างบัฟเฟอร์ที่มีขนาดกว้าง x_2 จากเส้นทดสอบที่สามารถครอบคลุมเส้นอ้างอิงทั้งหมด และค่ามากที่สุดของ $\{x_1, x_2\}$ ก็คือ ระยะ

เฮาส์ดอร์ฟฟ แต่เนื่องจากความกว้างของบัฟเฟอร์ซึ่งครอบคลุมความยาวทั้งหมดของเส้นจึงทำให้ระยะเฮาส์ดอร์ฟฟได้รับผลกระทบจากความผิดพลาดขนาดใหญ่ (large error)

วิธี Point-correspondence ใช้การวัดระยะระหว่างคู่จุดซึ่งเป็นตัวแทนวัตถุเดียวกันบนพื้นโลก คู่จุดตัวแทนเหล่านี้สามารถหาได้โดยง่าย ณ ตำแหน่งจุดที่ระบุจำแนกได้ชัดเจน แต่ในทางปฏิบัติพบว่ามีความยุ่งยากต่อการหาคู่จุดที่ตำแหน่งอื่นๆ บนเส้นซึ่งไม่ใช่จุดที่ระบุจำแนกได้ชัดเจนและการหาคู่จุดที่ตำแหน่งอื่นๆเหล่านี้ก็มีผลต่อการวัดค่าคลาดเคลื่อนอีกด้วย ซึ่งโดยทั่วไปแล้วเส้นที่นำมาเปรียบเทียบกันมักมีจำนวนจุดบนเส้นไม่เท่ากัน ทำให้เกิดหลายแนวคิดเพื่อแก้ปัญหานี้ แต่ละแนวคิดก็ใช้กฎเกณฑ์หรือเงื่อนไขแตกต่างกันเพื่อหาคู่ของจุดที่มีแนวโน้มว่าเป็นตัวแทนวัตถุเดียวกัน เช่น การจับคู่จุดของจุดเสมือนซึ่งมีช่วงระยะห่างคงที่ การจับคู่จุดด้วยการกระจายสัดส่วน และการจับคู่แบบใช้เงื่อนไขระยะใกล้ที่สุด เป็นต้น จึงทำให้ผลการจับคู่จุดไม่เหมือนกันและทำให้ค่าคลาดเคลื่อนที่ได้แตกต่างกันอีกด้วย ถึงกระนั้นก็ตามวิธีการนี้มีข้อเด่นที่สามารถประมาณ bias error ได้ เนื่องจากการทราบ error vector ของคู่จุดตลอดแนวเส้น

วิธี Sliver polygon เป็นวิธีการหาความคลาดเคลื่อนที่มีพื้นฐานการวัดมาจากรูปหลายเหลี่ยมซึ่งเกิดขึ้นระหว่างเส้นทั้งสองเส้น วิธีการนี้สามารถหาค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่ได้จากผลรวมของพื้นที่รูปหลายเหลี่ยมปิดโดยใช้สูตรการคำนวณที่ไม่ยุ่งยากจากจุดพิกัดของ vertex ต่างๆ ของแต่ละรูปหลายเหลี่ยมปิด แต่ก็มีความยุ่งยากบ้างจากการปิดด้านของรูปหลายเหลี่ยมที่ปลายเส้นทั้งสองด้าน เพราะด้านปิดของรูปต้องคำนึงถึงการเกิดจากคู่จุดซึ่งเป็นตัวแทนของวัตถุเดียวกัน

วิธีบัฟเฟอร์ ใช้การสร้างรูปหลายเหลี่ยมของบัฟเฟอร์ที่มีขนาดกว้าง x ออกจากเส้นอ้างอิงเพื่อให้ครอบคลุมความยาวเส้นทดสอบซึ่งอาจเป็นร้อยละ 90 หรือ 95 เนื่องจากการใช้หลักการทางสถิติที่คะเนได้ว่าความผิดพลาดขนาดใหญ่มักมีอยู่น้อยหรืออาจมีอยู่เพียงร้อยละ 5 ถึง 10 ของข้อมูลที่มีการกระจายแบบโค้งปกติ ดังนั้น วิธีการนี้จึงเป็นการตัดข้อมูลที่ผิดพลาดเช่นนี้ทิ้งไปด้วยสร้างรูปหลายเหลี่ยมของบัฟเฟอร์เพื่อให้ครอบคลุมความยาวเส้นทดสอบเป็นร้อยละ 90 หรือ 95 ทำให้สามารถลดผลกระทบจากความผิดพลาดขนาดใหญ่ซึ่งเกิดกับวิธีระยะเฮาส์ดอร์ฟฟ อย่างไรก็ตามค่าคลาดเคลื่อนที่ได้จากวิธีนี้บ่งชี้ถึงการเป็นตัวแทนของความคลาดเคลื่อนของข้อมูลส่วนใหญ่ แต่เนื่องจากวิธีนี้ไม่มีพื้นฐานของการวัดระหว่างจุดจึงทำให้ยากต่อการประมาณความคลาดเคลื่อนเอนเอียง (bias error)

วิธีสถิติบัฟเฟอร์โอเวอร์เลย์ ใช้พื้นฐานเดียวกันกับวิธีบัฟเฟอร์ แต่สร้างรูปหลายเหลี่ยมของบัฟเฟอร์ออกจากทั้งเส้นอ้างอิงและเส้นทดสอบ และวางซ้อนกัน ทำให้เกิดพื้นที่ต่างๆ ซึ่งกล่าวมาแล้ว และหาค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยจากการพล็อตกราฟของสมการ 2.12 การเลือกสร้างรูป

หลายเหลี่ยมของบัฟเฟอร์ออกจากทั้งเส้นอ้างอิงและเส้นทดสอบ เป็นการให้น้ำหนักของความคลาดเคลื่อนจากทั้งสองเส้น ทำให้ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่ได้สมเหตุผลมากกว่าจากวิธีบัฟเฟอร์ซึ่งสร้างบัฟเฟอร์ของจากเส้นเพียงเส้นเดียว ซึ่งการสร้างบัฟเฟอร์ออกจากเส้นเพียงเส้นเดียวสามารถชี้วัดค่าคลาดเคลื่อนได้จากส่วนของเส้นอยู่ในหรือนอกบัฟเฟอร์เพียงเท่านั้น นอกจากนั้นวิธีสถิติบัฟเฟอร์โอเวอร์เลย์ยังสามารถชี้วัดลักษณะอื่นๆ จากค่าทางสถิติจากการซ้อนทับกันของพื้นที่ต่างๆ ได้อีกด้วย เช่น oscillation เพื่อใช้วัดทางรูปร่าง completeness และ miscodings เพื่อใช้กำจัดส่วนของเส้นที่ไม่ถือว่าเป็นตัวแทนของวัตถุเดียวกัน และยังมีข้อดีที่เป็นประโยชน์ซึ่งสามารถจะนำไปใช้ในทางปฏิบัติ ได้แก่ การไม่ต้องยุ่งยากในการจับคู่จุด และการใช้ ประโยชน์ GIS operation พื้นฐานที่มีอยู่ ซึ่งรายละเอียดของวิธีการวัดและตัวชี้วัดต่างๆ จะกล่าวถึงในหัวข้อที่ 4.1 ในเรื่องวิธีสถิติบัฟเฟอร์โอเวอร์เลย์

2.4 สรุปข้อดีและข้อจำกัดของวิธีการประเมินความถูกต้องแบบต่างๆ

จากการศึกษาเปรียบเทียบของวิธีการต่างๆ ทำให้ทราบถึงข้อดีและข้อจำกัดของวิธีการต่างๆ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการปรับปรุงและพัฒนาตัวชี้วัดเพื่อประเมินความถูกต้องต่อไป Kagawa, Sekimoto และ Shibasaki, 1999 ได้เปรียบเทียบวิธีการต่างๆ ในตารางที่ 2.1 ได้แก่ วิธี Point-correspondence วิธีบัฟเฟอร์ และวิธีระยะเฮาส์ดอร์ฟฟ ส่วนผู้วิจัยได้นำวิธี วิธี Sliver polygon และวิธีสถิติบัฟเฟอร์โอเวอร์เลย์มาเปรียบเทียบเพิ่มเติม ซึ่งสามารถสรุปและแสดงในตารางที่ 2.1 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.1 แสดงสรุปข้อดีและข้อจำกัดของวิธีการวัดแบบต่างๆ

วิธีการวัด	ข้อดี	ข้อจำกัด
Point-correspondence	- ทราบเวกเตอร์ความคลาดเคลื่อนละเอียดตลอดแนวเส้น ซึ่งมีทั้งขนาดและทิศทาง - สามารถหาค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยได้จากค่าเฉลี่ยของเวกเตอร์ความคลาดเคลื่อน - สามารถประมาณความคลาดเคลื่อนเอนเอียงได้จากกราฟเวกเตอร์ความคลาดเคลื่อนตลอดแนวเส้น	- ยุ่งยากต่อการจับคู่จุดที่เป็นตัวแทนวัตถุเดียวกัน - การใช้เงื่อนไขหรือกฎเกณฑ์เพื่อใช้จับคู่จุดที่ต่างกัน ทำให้ได้เวกเตอร์ความคลาดเคลื่อนแตกต่างกัน จึงทำให้คลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่ และค่าสถิติอื่นๆ แตกต่างกันไปด้วย
Point-correspondence	- สามารถทราบลักษณะการกระจายของความคลาดเคลื่อนได้ โดยทราบได้จากลักษณะกราฟฮิสโตแกรมของเวกเตอร์ความคลาดเคลื่อน (โค้งปกติ หรือโค้งเบ้) - สามารถประมาณค่าสถิติต่างๆ เช่น ค่าเฉลี่ย และค่าแปรปรวน เป็นต้น	
ระยะเฮาส์ดอร์ฟฟ	- สามารถแสดงความคลาดเคลื่อนได้ด้วยการพิจารณาองค์ประกอบของเส้นทั้งสองด้าน ซึ่งใช้การหาทั้ง h (A,B) และ h (B,A) จึงสามารถประมาณค่าคลาดเคลื่อนมากที่สุดได้	- ไม่เหมาะสำหรับข้อมูลที่มีความคลาดเคลื่อนขนาดใหญ่ที่เกิดจากความผิดพลาด (mistake) เนื่องจากผลของบัฟเฟอร์เส้นหนึ่งต้องครอบคลุมเส้นอีกเส้นหนึ่งทั้งหมด
Sliver polygon	- สามารถหาค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยได้ด้วยการคำนวณที่ไม่ยุ่งยากจากการทราบพิกัดของจุด vertex เพื่อใช้หาพื้นที่รูปหลายเหลี่ยมระหว่างเส้น	- ยุ่งยากบ้างสำหรับการหาคู่จุดเพื่อปิดรูปหลายเหลี่ยมที่ปลายทั้งสองด้านของเส้น

วิธีการวัด	ข้อดี	ข้อจำกัด
บัฟเฟอร์	- สามารถลดผลกระทบจากความคลาดเคลื่อนขนาดใหญ่ที่เกิดจากความผิดพลาดได้ เนื่องจากการใช้ขนาดบัฟเฟอร์ให้ครอบคลุมร้อยละ 90 หรือ 95 ของเส้นทดสอบ - ไม่ยุ่งยากต่อการจับคู่จุดที่เป็นตัวแทนวัตถุเดียวกัน เนื่องจากใช้การวัดด้วยบัฟเฟอร์ออกจากเส้น - สามารถนำวิธีการนี้ไปใช้สร้างเครื่องมือด้วยการประยุกต์ใช้ประโยชน์จาก GIS operation พื้นฐานที่มีอยู่	- ไม่สามารถประมาณความคลาดเคลื่อนเอนเอียงได้ เนื่องจากบัฟเฟอร์มีทิศทางออกจากทั้งสองด้านของเส้น
สถิติบัฟเฟอร์โอเวอร์เลย์	- ไม่ต้องยุ่งยากในการจับคู่จุดที่เป็นตัวแทนวัตถุ เนื่องจากใช้การวัดด้วยบัฟเฟอร์ออกจากเส้นทั้งสองเส้น - สามารถนำวิธีการนี้ไปใช้สร้างเครื่องมือด้วยการประยุกต์ใช้ประโยชน์จาก GIS operation พื้นฐานที่มีอยู่ - สามารถประมาณค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยได้ด้วยการสร้างบัฟเฟอร์ออกจากเส้นทั้งสองเส้น ซึ่งสะท้อนความสัมพันธ์ของเส้นทั้งสองเส้น หรือวัดจากทุกส่วนของเส้น	- อาจต้องวนซ้ำหลายรอบ เพื่อทำให้กราฟระหว่างขนาดบัฟเฟอร์กับ DE มีจุดเริ่มราบที่สามารถชี้ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยได้ - ยุ่งยากต่อการระบุตำแหน่งจุดเริ่มราบของกราฟ เพื่อใช้อ่านค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย
สถิติบัฟเฟอร์โอเวอร์เลย์	- สามารถประมาณความคลาดเคลื่อนเอนเอียงได้จากตัวชี้วัด Oscillation - สามารถกำจัดส่วนที่ไม่เป็นตัวแทนวัตถุเดียวกันได้ด้วย Competeness และ Miscodins	- การทดสอบเบื้องต้นสำหรับเส้นตัวอย่างบางลักษณะพบว่าทำให้ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยมากกว่าค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยตามนิยาม จึงทำให้ต้องทำการทดสอบเพื่อทราบถึงความเหมาะสมของสูตรการคำนวณต่างๆ

และ Kagawa, Sekimoto and Shibasaki (1999) ยังได้สรุปเพิ่มเติมเกี่ยวกับวิธีการประเมินความถูกต้องแบบต่างๆ ไว้อีกคือ วิธีการต่างๆสำหรับการประเมินยังมีไม่หลากหลายเพียงพอต่อการสร้างระบบการประเมินเพื่อให้ครอบคลุมความต้องการของผู้ใช้งานใน

ด้านต่างๆ ดังนั้น การหาวิธีการใหม่ๆหรือการประกอบรวมกันของวิธีการต่างๆ อาจเป็นแนวทางเพื่อแก้ไขปัญหานี้ได้ อย่างไรก็ตามวิธีการที่มีอยู่ก็ยังต้องการการตรวจสอบที่มากขึ้นเพื่อให้มั่นใจต่อการนำไปใช้งาน

วิธีการวัดความถูกต้องเชิงตำแหน่งแบบต่างๆ ที่กล่าวมาต่างก็มีข้อดีและข้อจำกัดแตกต่างกันออกไป สำหรับวิธีสถิติบัฟเฟอร์โอเวอร์เลย์มีข้อดีหลายประการ เช่น ไม่ยุ่งยากในการจับคู่จุด ใช้ประโยชน์จาก GIS operation พื้นฐาน วัดจากทุกส่วนของเส้น และยังสามารถหาค่าคลาดเคลื่อนเอนเอียงได้ แต่จากการทดลองเบื้องต้นเพื่อหาค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกับเส้นพื้นฐานแบบต่างๆ ด้วยวิธีสถิติบัฟเฟอร์โอเวอร์เลย์ พบว่าค่าที่ได้มีค่ามากกว่าค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยตามนิยาม (การนิยามค่านี้จะได้อธิบายต่อไปในหัวข้อที่ 4.2) จึงเกิดเป็นประเด็นปัญหาในเรื่องความเหมาะสมของสูตรการคำนวณต่างๆ ซึ่งต้องการทดสอบ โดยจะกล่าวถึงผลการทดสอบดังกล่าวในบทที่ 4 เรื่องการวัดค่าคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งต่อไป

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

จากการทดสอบเบื้องต้นเพื่อหาค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยด้วยวิธีสถิติบัฟเฟอร์โอเวอร์เลย์ ซึ่งพบว่าค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่ได้มีค่ามากกว่าค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยตามนิยาม ทำให้เกิดประเด็นปัญหาเกี่ยวกับเหมาะสมของสูตรการคำนวณต่างๆ ขึ้น ดังนั้น ในบทนี้จะได้กล่าวถึงเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย การพัฒนาโปรแกรม รายละเอียดของวิธีสถิติบัฟเฟอร์โอเวอร์เลย์ การหาค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยตามนิยาม การออกแบบชุดข้อมูล และการออกแบบการทดลองต่างๆ เพื่อมุ่งทดสอบให้เกิดความชัดเจนในประเด็นดังกล่าว

3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

3.1.1 ศึกษาทฤษฎี งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และวิธีการวัดแบบต่างๆ รวมทั้งวิธีสถิติบัฟเฟอร์โอเวอร์เลย์โดยละเอียด

3.1.2 นิยามของค่าคลาดเคลื่อยเฉลี่ยตามนิยาม เพื่อใช้เปรียบเทียบกับค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่ได้จากวิธีสถิติบัฟเฟอร์โอเวอร์เลย์

3.1.3 ทดลองวัดความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่ง โดยออกแบบการทดลองเพื่อมุ่งศึกษาเพิ่มเติมจากประเด็นปัญหาที่ได้จากการทดสอบเบื้องต้น ซึ่งพบว่าค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่ได้จากการทดสอบกับตัวอย่างเส้นในหลายตัวอย่างมีค่าไม่สอดคล้องกับค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยตามนิยาม ดังนั้นจึงได้ทำการทดลองเพื่อทดสอบให้เกิดความชัดเจนและปรับปรุงสูตรการคำนวณต่างๆให้เหมาะสมขึ้นอีกด้วย ซึ่งประกอบด้วยการทดลองต่างๆ ดังต่อไปนี้

3.1.3.1 การทดลองที่ 1 การทดลองเพื่อประเมินความถูกต้องของค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย โดยใช้ชุดข้อมูลเส้นจำลองพื้นฐาน 5 ชุด แต่ละชุดแบ่งออกเป็น 2 แบบย่อย คือ แบบย่อย A และ B ซึ่งมีคู่จุดระหว่างเส้นที่แตกต่างกันสำหรับทดสอบอิทธิผลของคู่จุดที่แตกต่างกันที่มีต่อผลการคำนวณค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย จากนั้นทดสอบเพื่อเปรียบเทียบค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่ได้จากสูตรการคำนวณของวิธีสถิติบัฟเฟอร์โอเวอร์เลย์กับค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยตามนิยาม และเพื่อทดสอบผลของค่าปรับแก้อันเนื่องมาจากทิศทางของความคลาดเคลื่อนที่อยู่ในสูตรการคำนวณ

3.1.3.2 การทดลองที่ 2 การทดลองเพื่อประเมินความเหมาะสมของการปรับแก้ Completeness และ Miscodings ซึ่งนำเอาเฉพาะส่วนของเส้นที่ถือว่าเป็นตัวแทนของวัตถุเดียวกันมาเปรียบเทียบกัน โดยใช้ชุดข้อมูลเส้นจำลองพื้นฐาน 4 ชุด แต่ละชุดแบ่งออกเป็น 2 แบบย่อย คือ แบบย่อย C ซึ่งมีลักษณะเฉพาะเพื่อปรับแก้ Completeness เท่านั้น และแบบย่อย

D ซึ่งมีลักษณะเฉพาะเพื่อปรับแก้ Miscodings เท่านั้น โดยชุด C ใช้สำหรับทดสอบผลเพื่อเปรียบเทียบค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่ได้จากสูตรการคำนวณที่มีการปรับแก้ Completeness กับสูตรการคำนวณที่ไม่มีการปรับแก้ Completeness และชุด D ใช้สำหรับทดสอบผลเพื่อเปรียบเทียบค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่ได้จากสูตรการคำนวณที่มีการปรับแก้ Miscodings กับสูตรการคำนวณที่ไม่มีการปรับแก้ Miscodings ผลของการทดลองนี้จะแสดงให้เห็นถึงผลการปรับแก้ Completeness และ Miscodings ที่มีต่อการหาค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย

3.1.3.3 การทดลองที่ 3 การทดลองเพื่อทดสอบการวัดรูปร่างด้วยสูตร Oscillation แบบที่ 1 และแบบที่ 2 ด้วยเส้นจำลองต่างๆ ที่มีความคลาดเคลื่อนเอนเอียงในหลายๆ ลักษณะ ผลการทดลองนี้ได้จากการสังเกตลักษณะของกราฟ Oscillation ทั้งสองแบบ ซึ่งแสดงข้อจำกัดของการชี้วัดรูปร่างด้วย Oscillation

3.1.3.4 การทดลองที่ 4 การทดลองเพื่อทดสอบความเหมาะสมของค่าปรับแก้อันเนื่องมาจากทิศทางความคลาดเคลื่อน ($\pi/2$) ที่ใช้อยู่ในสูตรคำนวณค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยด้วยคู่เส้นจำลองจากวิธีการสุ่มพิกัดตำแหน่งของคู่เส้นจริงจำลองด้วยตัวเลขสุ่มแบบทั้งแบบ Uniform และ Gaussian ซึ่งทำให้เส้นจริงจำลองที่มีลักษณะที่หลากหลาย จากนั้นใช้เส้นจริงจำลองทั้งสองแบบวิธีนำมาสร้างคู่เส้นจำลองขึ้นอีก 3 แบบ ซึ่งมีลักษณะของคู่เส้นที่แตกต่างกันแต่ยังคงความสัมพันธ์ทั้งระยะและทิศทางระหว่างคู่จุดหมือนกัน ได้แก่

ก) คู่เส้นจำลองแบบ A คือ เส้นจำลอง Q และ X ซึ่งแต่ละคู่จุดจำลองมีระยะห่างจากจุดจริงจำลองด้วยการสุ่มแบบ Gaussian และมีทิศทางด้วยการสุ่มแบบ Uniform ตามสมมุติว่ามีการกระจายของความคลาดเคลื่อนและทิศทางของเส้นต่าง ๆ อย่างสม่ำเสมอตลอดทั้งเส้น

ข) คู่เส้นจำลองแบบ B เป็นการวางตำแหน่งให้เส้น Q หรือ X ใหม่ โดยแปลงให้เส้นใดเส้นหนึ่งเป็นเส้นตรง (กรณีนี้แปลงเส้น X ให้กลายเป็นเส้นตรง) แต่ยังคงความสัมพันธ์ระหว่างคู่จุดเหมือนกับคู่เส้นจำลองแบบ A ซึ่งทำให้ได้เส้น Q' และ X' ที่มีการตัดกันของเส้นน้อยลง

ค) คู่เส้นจำลองแบบ C เป็นการวางตำแหน่งใหม่โดยไม่ให้เส้น Q กับ X ตัดกัน แต่ยังคงความสัมพันธ์ระหว่างคู่จุดเหมือนกับคู่เส้นจำลองแบบ A และ B ทำให้ได้คู่เส้นใหม่คือ เส้น Q'' และ X'' ซึ่งไม่มีการตัดกันของเส้น

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้

3.2.1 เครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับเขียนโปรแกรมและประมวลผลเพื่อวัดความถูกต้องเชิงตำแหน่งซึ่งมี CPU Intel Centrino 1.6 GHz และ Ram 512 เมกะไบต์

3.2.2 ซอฟท์แวร์ ArcGIS เวอร์ชัน 9.1, MATLAB เวอร์ชัน 6.0 และ Microsoft Xp

3.2.3 ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย

3.2.3.1 ชุดข้อมูลเส้นภูมิศาสตร์จำลองโดยสมมุติว่าเป็นตัวแทนของวัตถุเดียวกันซึ่งมีลักษณะต่างๆ ที่ประกอบรวมกันดังต่อไปนี้

3.2.3.1.1 ลักษณะรูปร่างพื้นฐานของแต่ละชุดข้อมูล ได้แก่ เส้นตรง เส้นโค้ง และ เส้นคดโค้ง

3.2.3.1.2 ลักษณะการวางตัวของชุดข้อมูลทั้งสองชุดที่กระทำต่อกันได้แก่ ตัดกัน และไม่ตัดกัน

3.2.3.2 ชุดข้อมูลเส้นภูมิศาสตร์จริงที่เกิดจากวัตถุเดียวกันและอยู่บนพื้นที่เดียวกันในพื้นที่บางส่วนของประเทศไทย ได้แก่ ชุดข้อมูลเส้นทางคมนาคม L7018 ที่มีมาตราส่วน 1: 50,000 และชุดข้อมูลเส้นทางคมนาคม ESRI ซึ่งมีความถูกต้องอยู่ในเกณฑ์มาตราส่วน 1: 20,000

3.3 การพัฒนาโปรแกรม

ผู้วิจัยได้พัฒนาโปรแกรมเครื่องมือบนซอฟต์แวร์ ArcGIS เพื่อให้สามารถดำเนินการต่างๆ ได้โดยอัตโนมัติตามขั้นตอนของวิธีสถิติบัฟเฟอร์โอเวอร์เลย์ และยังได้พัฒนาโปรแกรมบนซอฟต์แวร์ MATLAB เพื่อช่วยสร้างข้อมูลเส้นจำลองสำหรับใช้ในการทดลอง โดยมีรายละเอียดต่างๆ ข้างล่างนี้

3.3.1 โปรแกรมเครื่องมือบนซอฟต์แวร์ ArcGIS ผู้วิจัยได้สร้างเครื่องมือบน ArcMap ซึ่งเป็นส่วนประกอบหนึ่งของโปรแกรม ArcGIS เพื่อให้สามารถดำเนินการทดลองวัดค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยและค่าชี้วัดต่างๆ ได้โดยอัตโนมัติตามขั้นตอนของวิธีสถิติบัฟเฟอร์โอเวอร์เลย์ ซึ่งมีขีดความสามารถดังนี้

3.3.2.1 บันทึกไฟล์รูปร่าง (shape file) เพื่อแสดงผลและตรวจสอบความถูกต้อง

3.3.2.2 แสดงผลการคำนวณ และบันทึกผลการคำนวณและจัดเก็บข้อมูลในรูปแบบไฟล์ comma delimited (CSV)

3.3.2.3 วาดกราฟผลการคำนวณต่างๆ

3.3.2.4 หาตำแหน่งจุดเริ่มราบของกราฟเพื่อชี้ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย สำหรับงานวิจัยนี้ใช้เงื่อนไขความชันของกราฟน้อยกว่า 45° เพื่อระบุจุดเริ่มราบ

3.3.2 โปรแกรมเครื่องมือบนซอฟต์แวร์ MATLAB เพื่อใช้สร้างข้อมูลเส้นจำลองซึ่งปราศจากความลำเอียงด้วยการสุ่ม และนำข้อมูลที่ได้ใช้สำหรับการทดลองต่างๆ ซึ่งขั้นตอนในการสร้างข้อมูลจำลองนี้ดังต่อไปนี้

3.3.2.1 สร้างเส้นจริงจำลองจากการสุ่มตำแหน่งจุดพิกัดเรียงตามลำดับจำนวนหนึ่งซึ่งมีพิกัดทางแกน X ด้วยตัวเลขสุ่มแบบ Uniform และทางแกน Y ด้วยตัวเลขสุ่มแบบ Gaussian

3.3.2.2 สร้างเส้นจำลองสองเส้นโดยอ้างอิงจากตำแหน่งจุดพิกัดของเส้นจริงจำลองในข้อ 3.3.2.1 โดยจุดจำลองบนเส้นจำลองแต่ละเส้นได้จากการสุ่มตำแหน่งพิกัดเรียงตามลำดับโดยใช้ตัวเลขสุ่มแบบ Gaussian สุ่มระยะห่างจากจุดพิกัดของเส้นจริงจำลอง และใช้ตัวเลขสุ่มแบบ Uniform สุ่มทิศทางเทียบกับแกน X ซึ่งจุดบนเส้นจำลองแต่ละเส้นใช้การสุ่มแยกจากกันแต่อ้างอิงกับจุดพิกัดของเส้นจริงจำลองจุดเดียวกัน

3.3.2.3 สร้างข้อมูลเส้นจำลองในไฟล์รูปแบบ text ซึ่งสามารถนำเข้าสู่โปรแกรมเครื่องมือบนซอฟต์แวร์ ArcGIS และเพื่อใช้ทดลองวัดค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยและค่าชี้วัดต่างๆ ของวิธีสถิติบัฟเฟอร์โอเวอร์เลย์

บทที่ 4
การวัดค่าคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่ง

งานวิจัยนี้เลือกทำการศึกษาวิธีสถิติบัฟเฟอร์โอเวอร์เลย์ เนื่องจากเป็นวิธีที่มีข้อดีหลายประการ ได้แก่ การไม่ยุ่งยากในการจับคู่จุด การใช้ประโยชน์จาก GIS operation พื้นฐาน จากผลการทดสอบเบื้องต้น เพื่อหาค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยด้วยวิธีสถิติบัฟเฟอร์โอเวอร์เลย์ พบว่าค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองกับเส้นจำลองพื้นฐานหลายๆกรณียังไม่สอดคล้องกับค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยตามนิยาม ทำให้เกิดประเด็นปัญหาเรื่องความไม่เหมาะสมสูตรการคำนวณ ดังนั้นจึงได้ทำการทดสอบเพื่อให้เกิดความชัดเจนประเด็นดังกล่าว และเพื่อให้เกิดความมั่นใจในสูตรการคำนวณอื่นๆอีกสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งาน ในบทนี้จึงประกอบด้วยการทดลองและวิเคราะห์ผลต่างๆ ได้แก่ การทดลองค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย การทดลองการวัดทางรูปร่างด้วย Oscillation และการทดลองความเหมาะสมของค่าปรับแก้อันเนื่องมาจากทิศทางความคลาดเคลื่อน ($\pi/2$) แต่ก่อนอื่นขอเริ่มต้นจากการทำความเข้าใจในหลักการวัดความถูกต้องของวิธีสถิติบัฟเฟอร์โอเวอร์เลย์ และการหาค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยตามนิยามซึ่งมีรายละเอียดข้างล่างนี้

4.1 วิธีสถิติบัฟเฟอร์โอเวอร์เลย์ (Buffer-overlay-statistics (BOS))

เป็นวิธีที่ที่พัฒนาจากวิธีบัฟเฟอร์ด้วยการสร้างรูปหลายเหลี่ยมของบัฟเฟอร์ออกจากทั้งชุดข้อมูลเส้นทดสอบและเส้นอ้างอิง และเพิ่มขนาดของบัฟเฟอร์โดยใช้เกณฑ์ความถูกต้องเชิงตำแหน่งของชุดข้อมูลอ้างอิง (เช่น ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เป็นต้น) จากนั้นใช้การวิเคราะห์ทางสถิติของพื้นที่ซึ่งเกิดจากรูปหลายเหลี่ยมของบัฟเฟอร์ของชุดข้อมูลเส้นทั้งสองเส้นในแบบต่างๆ ซึ่งกระบวนการนี้สามารถกระวนซ้ำ จนกระทั่งผลลัพธ์ที่ได้คงที่ รายละเอียดของวิธีการจะได้นำเสนอข้างล่างนี้

ในวิธีที่นำเสนอข้างล่างนี้ เริ่มจากการทำบัฟเฟอร์ออกจากเส้นและหลังจากนั้นทำการวิเคราะห์การวางซ้อน เพื่อแสดงการประเมินคุณภาพของความถูกต้องทางเรขาคณิตของเส้นหนึ่งสัมพัทธ์กับอีกเส้นหนึ่ง (เส้นที่มีความถูกต้องสูงกว่า) วิธีการนี้เป็นวิธีวนซ้ำ (iteration) เนื่องจากไม่สามารถที่จะหาขนาดบัฟเฟอร์ที่เหมาะสมล่วงหน้า (ยังไม่สามารถทราบความถูกต้องเชิงตำแหน่งของเส้น) ขนาดบัฟเฟอร์แรกสามารถหาได้บนพื้นฐานของความถูกต้องเชิงพื้นที่ซึ่งทราบของเส้นอ้างอิง (ตัวอย่าง เช่น ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, S.D. ของตำแหน่งของจุดถ้าสามารถหาได้) ขนาดบัฟเฟอร์ของการวนซ้ำแต่ละครั้งควรเพิ่มด้วยระยะที่เหมาะสม การวนซ้ำ 4 ถึง 5 ครั้งน่าจะ

เพียงพอสำหรับขนาดบัฟเฟอร์แรกและระยะที่เหมาะสม (สำหรับตัวอย่างใช้การวนซ้ำ 20 ครั้ง) และกระบวนการควรสิ้นสุดเมื่อผลลัพธ์ที่ได้คงที่

- กระบวนการวนซ้ำ (The iterative process)

ก่อนเริ่มต้นกระบวนการวนซ้ำ ให้คำนวณความยาวทั้งหมดของเส้นทั้งสองแล้วจึงกำหนดจำนวนครั้งการวนซ้ำและขนาดบัฟเฟอร์ในแต่ละครั้งของการวนซ้ำ (bs_i คือขนาดของบัฟเฟอร์ครั้งที่ i โดยที่ $i \in \{1,2,3,\ldots,n\}$ จากนั้นเริ่มกระบวนการวนซ้ำที่มีขั้นตอน 3 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนแรก : การสร้างบัฟเฟอร์ของเส้น

สร้างบัฟเฟอร์ของเส้นทั้งเส้นทดสอบ (X) และเส้นอ้างอิงหรือเส้นที่มีความถูกต้องมากกว่า (Q) โดยให้มีขนาดบัฟเฟอร์เท่ากับ bs_i (ได้บัฟเฟอร์ที่มีความกว้างเท่ากับ 2 bs_i) เรียกรูปหลายเหลี่ยมที่ได้ว่า XB_i และ QB_i

ขั้นตอนที่สอง : การวางซ้อน

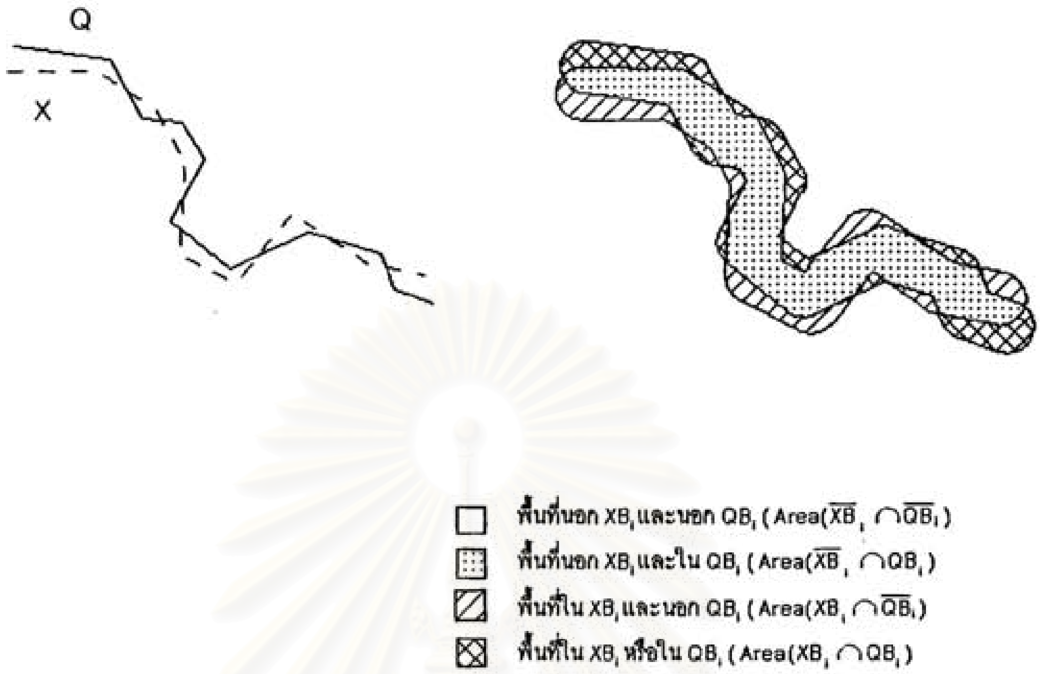
ทำการวางซ้อนกันของ XB_i และ QB_i ผลที่ได้คือชุดข้อมูลรูปหลายเหลี่ยมใหม่เป็น $XBQB_i$

ขั้นตอนที่สาม : ค่าสถิติ

คำนวณค่าสถิติ (พื้นที่ทั้งหมด, จำนวนพอลิกอน, ความยาวเส้นรอบรูปทั้งหมด, ความยาวเส้นรอบรูป/พื้นที่ สำหรับแต่ละพอลิกอน) ของ $XBQB_i$ ดังต่อไปนี้

- พื้นที่นอก XB_i และนอก QB_i ($Area(\overline{XB_i} \cap \overline{QB_i})$)
- พื้นที่นอก XB_i และใน QB_i ($Area(\overline{XB_i} \cap QB_i)$)
- พื้นที่ใน XB_i และนอก QB_i ($Area(XB_i \cap \overline{QB_i})$)
- พื้นที่ใน XB_i หรือใน QB_i ($Area(XB_i \cap QB_i)$)

พื้นที่ต่างๆ ข้างต้นสามารถแสดงได้ในรูปที่ 4.1 (รูปเดียวกับรูปที่ 2.9)



รูปที่ 4.1 แสดงพื้นที่ต่างๆ ของรูปหลายเหลี่ยมซึ่งเกิดจากการวางซ้อน

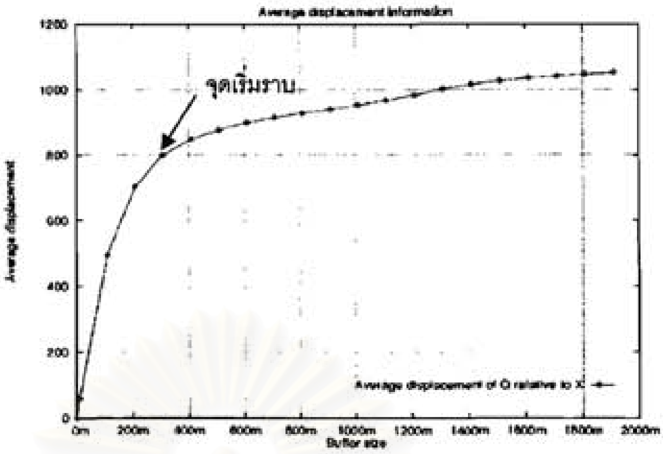
เมื่อคำนวณค่าสถิติต่างๆ ดังกล่าวแล้ว จากนั้นคำนวณค่าการชี้วัดความถูกต้องต่างๆ ตามสูตรดังต่อไปนี้

1) ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (DE) ระหว่างข้อมูลเส้น 2 ชุด สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4.1 (สมการเดียวกับสมการที่ 2.11) โดยต้องมีการวิเคราะห์หาระยะบัฟเฟอร์ที่เหมาะสมด้วย ซึ่งทำได้โดยการนำค่า DE ที่ได้จากสมการที่ 2.11 และค่าระยะขนาดบัฟเฟอร์ไปพล็อตกราฟดังตัวอย่างในรูปที่ 4.2 (รูปเดียวกับรูปที่ 2.10) ลักษณะของกราฟควรเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนกระทั่งขนาดบัฟเฟอร์ถึงค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยระหว่างเส้น กราฟก็จะเริ่มราบลง โดยค่าระยะบัฟเฟอร์ที่กราฟเริ่มราบจะเป็นค่าที่นำไปใช้ในการคำนวณหาค่า DE

$$DE_i = 2bs_i \frac{\text{Area}\,(\overline{XB}_i \cap QB_i)}{\text{Area}\,(XB_i)} \tag{4.1}$$

เมื่อ bs_i คือ ระยะบัฟเฟอร์สำหรับการวนซ้ำครั้งที่ i โดยที่ $i \in \{1, 2, 3, \ldots, n\}$

และ Area($\overline{XB}_i \cap QB_i$) คือ พื้นที่นอก XB_i และอยู่ใน QB_i (Inside QB and Outside XB) ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.2 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (DE) กับ ขนาดบัฟเฟอร์ (Havard Tveite และ Sindre Langaas, 1999)

เนื่องจากค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่หาได้จากสมการที่ 4.1 นั้นเป็นค่าระยะที่คำนวณได้จากการซ้อนทับกันของพื้นที่บัฟเฟอร์ จึงเป็นค่าระยะในทิศทางตั้งฉากกับเส้น แต่ในความเป็นจริง ค่าความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งอาจมีทิศทางต่าง ๆ ซึ่งอาจจะมิใช่เฉพาะในทิศทางตั้งฉาก จึงอาจกล่าวได้ว่าค่า DE ที่คำนวณได้เป็นระยะคลาดเคลื่อนที่ต่ำที่สุด (Minimum error) เพื่อให้ได้ค่าความคลาดเคลื่อนที่ปลอดภัยมากขึ้น Tveite และ Langass จึงได้ใส่ค่าแก้ $\pi/2$ เข้าไปในสมการที่ 3 โดยสมมุติว่ามีการกระจายของความคลาดเคลื่อนและทิศทางของเส้นต่าง ๆ อย่างสม่ำเสมอตลอดทั้งเส้น ดังนั้นค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่คำนึงถึงค่าคลาดเคลื่อนในทิศทางอื่น ๆ (DE') จึงสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4.2 (สมการเดียวกับสมการที่ 2.12)

$$DE_i' = \frac{\pi}{2}\,\frac{2bs_i\,\mathrm{Area}(\overline{XB}_i \cap QB_i)}{\mathrm{Area}(XB_i)} = \pi\, bs_i\,\frac{\mathrm{Area}(\overline{XB}_i \cap QB_i)}{\mathrm{Area}(XB_i)} \qquad (4.2)$$

จะสังเกตได้ว่าในสมการที่ 4.1 และ 4.2 นั้น มีการใช้พื้นที่ XB_i เป็นตัวหาร ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากมีความต้องการให้ค่าคลาดเคลื่อนที่คำนวณได้เป็นการประเมินแบบอนุรักษ์นิยม (conservative) คือยอมให้ได้ค่าสูงกว่าความเป็นจริงอยู่บ้าง เพราะโดยทั่วไปแล้วเส้นอ้างอิง Q ซึ่งมีความละเอียดถูกต้องสูงกว่า มักมีระดับของการเจนเนอรัลไรเซชันต่ำกว่าเส้นทดสอบ X ทำให้มีความยาวมากกว่าด้วย พื้นที่ XB_i จึงมักมีขนาดใหญ่กว่าพื้นที่ QB_i

2) การแกว่งตัว (Oscillation (O_i)) เป็นตัวชี้วัดทางรูปร่างซึ่งสามารถแสดงถึงความคล้ายคลึงกันของเส้นสองเส้น โดยปกติแล้วรูปลักษณะของเส้นที่ของเส้น X และเส้น Q ที่สัมพันธ์

กันควรเป็นปรากฏการณ์การแกว่งตัวแบบสุ่ม (randomly oscillating phenomena) แต่ในความเป็นจริง อาจมีความเอนเอียง (Bias) แฝงอยู่ในชุดข้อมูลได้ ความเอนเอียงนี้สามารถเกิดขึ้นได้ในขั้นตอนต่างๆ ของกระบวนการผลิตข้อมูล วิธี BOS มีตัวชี้วัดการแกว่งตัว 2 แบบ เพื่อชี้วัดความคล้ายคลึงกันทางรูปร่าง ซึ่งตัวชี้วัดการแกว่งตัวแบบที่ 1 (O') สามารถแสดงได้ด้วยสมการที่ 4.3

$$O_i^{'} = \frac{\#A(\overline{XB_i} \cap QB_i)}{\text{Length}(X)} \qquad (4.3)$$

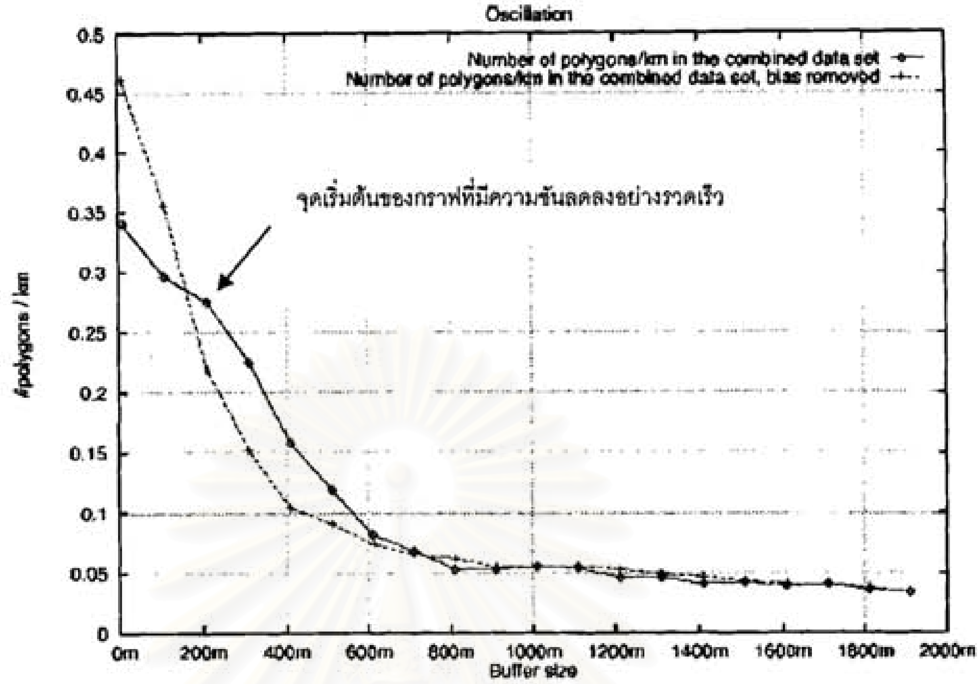
เมื่อ $\#A(\ldots)$ คือ การนับจำนวนพื้นที่หรือรูปหลายเหลี่ยม

Length(...) คือ ความยาวของเส้น (ในสมการนี้คือความยาวของเส้น X)

ตัวชี้วัดการแกว่งตัวแบบที่ 1 นี้สามารถชี้วัดความเอนเอียงได้ด้วยการมีค่าการแกว่งตัวต่ำๆ ส่วนตัวชี้วัดการแกว่งตัวแบบที่ 2 แสดงด้วยสมการที่ 4.4 พฤติกรรมของการแกว่งตัวแบบนี้ สามารถแสดงให้เห็นได้ด้วยการพล็อตกราฟระหว่างระยะบัฟเฟอร์กับ $O_i^{''}$

$$O_i^{''} = \frac{\#A(\overline{XB_i} \cap \overline{QB_i})}{\text{Length}(X)} \qquad (4.4)$$

กราฟของข้อมูลเส้นซึ่งมีความเอนเอียง (เส้นทึบ) จะมีการลดลงอย่างรวดเร็ว ณ ระยะบัฟเฟอร์ที่มีขนาดเป็นครึ่งหนึ่งของค่าความเอนเอียง แต่สำหรับกราฟของข้อมูล (เส้นประ) ที่ปราศจากความเอนเอียงจะมีการลดลงอย่างสม่ำเสมอดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แสดงกราฟ Oscillation ซึ่งความชันของกราฟบ่งบอก spatial bias ของชุดข้อมูล (Havard Tveite และ Sindre Langaas, 1999)

3) Completeness และ miscodings เป็นแฟคเตอร์สำหรับตรวจสอบการเป็นตัวแทนของวัตถุเดียวกัน และนำไปประยุกต์ใช้วิธีการนี้กับชุดข้อมูลเส้นในระดับต่างๆ ซึ่งเส้นทั้งหมดควรอยู่ในชุดข้อมูลทั้งสองชุด (เกณฑ์ความครบถ้วน) แต่ในความเป็นจริงกรณีนี้แทบจะไม่เกิดขึ้นเลย เนื่องจากชุดข้อมูลที่มีมาตราส่วนต่างกันปกติไม่ได้อยู่ในระดับการเจนเนอรัลไลเซชันเดียวกัน จึงทำให้เส้นที่ปรากฏอยู่ในชุดข้อมูลชุดใดชุดหนึ่งจะนำไปสู่ข้อผิดพลาดในการคำนวณได้

Completeness และ miscodings จึงได้เสนอขึ้นเพื่อใช้ตรวจสอบและกำจัดส่วนของเส้นที่ไม่ถือว่าเป็นตัวแทนของวัตถุเดียวกันออกไป ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนแรก : การสร้างบัฟเฟอร์

สร้างบัฟเฟอร์ออกจากเส้น X และ Q โดยมีขนาดบัฟเฟอร์ (bs) ซึ่งควรมีค่ามากกว่าค่าการวัดความถูกต้องทางเรขาคณิตที่พบในชุดข้อมูล X อย่างมีนัยสำคัญ

การเลือกขนาดบัฟเฟอร์ที่มากกว่าค่าการวัดทางสถิติของความถูกต้องเชิงพื้นที่ (สามารถแสดงเป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ซึ่งเป็นรูปแบบของค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก (weighted mean value) ของค่าคลาดเคลื่อน) การเลือกระยะบัฟเฟอร์เป็นสองเท่าของ SD สำหรับเส้นทั้งสองเส้นนั้นสามารถละเลยความผิดพลาดทั้งหมดภายใน 4SD ของเส้นอ้างอิงได้

ขั้นตอนที่สอง : วางซ้อน

วางซ้อนเส้นและพอลิกอน : วางซ้อน X ด้วย QB และวางซ้อน XB ด้วย Q ได้ผลเป็นชุดข้อมูลผสมใหม่เป็น XQB และ XBQ ตามลำดับ

ขั้นตอนที่สาม : ค่าสถิติ

ค่าสถิติใช้หา completeness และ miscodings ตามสูตรที่นำเสนอข้างล่างนี้

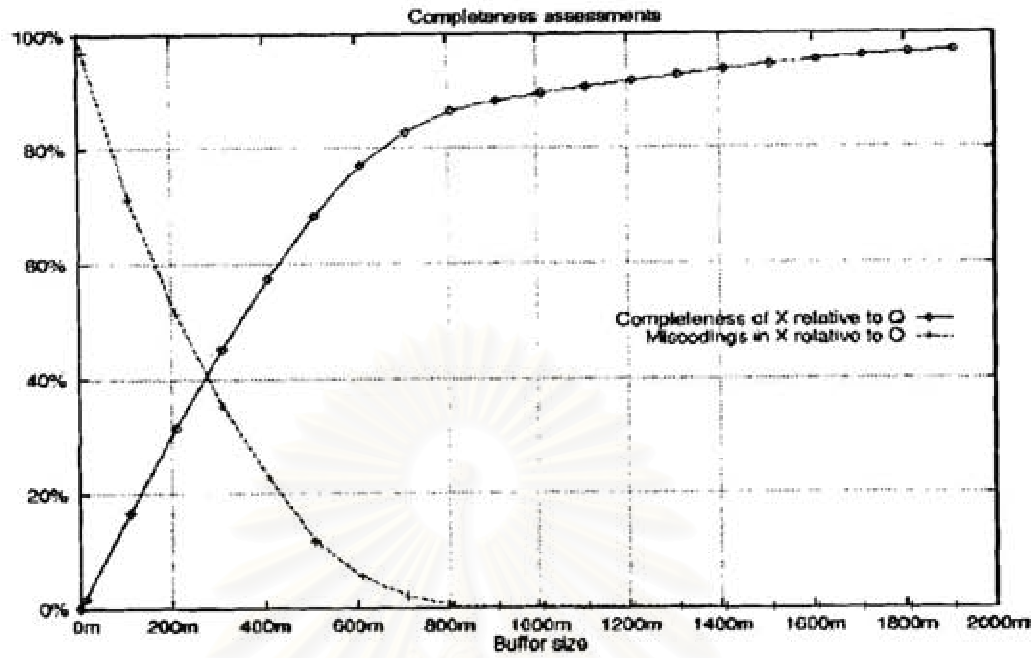
Completeness ใช้ XBQ เพื่อหาผลรวมของความยาวของเส้น Q ที่อยู่ภายใน XB และเปรียบเทียบกับความยาวทั้งหมดของเส้นใน Q แสดงดังสมการที่ 4.5

$$\text{Completeness (X)} = \frac{\text{Length (Q inside XB)}}{\text{Length (Q)}} \tag{4.5}$$

Miscodings ใช้ XQB เพื่อหาผลรวมของความยาวของเส้น X ที่อยู่ภายนอก QB และเปรียบเทียบกับความยาวทั้งหมดของเส้น X การวัดนี้จึงเป็นการวัดจำนวนของ miscoding ในเส้น X เพื่อเปรียบเทียบกับเส้น Q แสดงดังสมการที่ 4.6

$$\text{Miscodings (X)} = \frac{\text{Length (X outside QB)}}{\text{Length (X)}} \tag{4.6}$$

การนำเสนอทางกราฟฟิกของผลลัพธ์ของ completeness และ miscodings คำนวณจากสมการที่ 4.3 และ 4.4 สำหรับจำนวนของขนาดบัฟเฟอร์ที่แสดงในรูปที่ 4.4 กราฟของ completeness คาดได้ว่าแสดงการเพิ่มขึ้นคงที่จนกระทั่งขนาดบัฟเฟอร์เข้าใกล้ average displacement ของชุดข้อมูลเส้น จากตรงนั้นกราฟควรราบลง ในทางตรงกันข้ามกราฟของ miscoding คาดได้ว่าแสดงการลดลงคงที่จนกระทั่งขนาดบัฟเฟอร์เข้าใกล้ average displacement



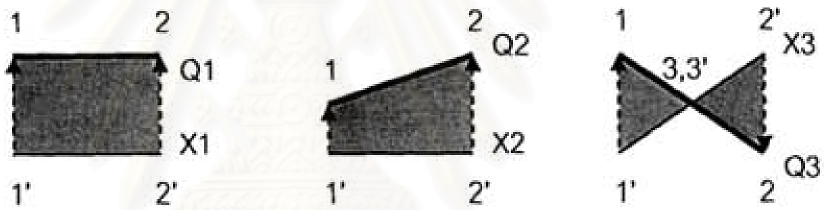
รูปที่ 4.4 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง completeness และ miscoding กับ ขนาดบัฟเฟอร์ (Havard Tveite และ Sindre Langaas, 1999)

4) การประเมินความถูกต้อง (Accuracy assessment) ก่อนการประเมินความถูกต้องควรแน่ใจในความครบถ้วนของข้อมูลเสียก่อน ส่วนของเส้น X ที่อยู่นอกบัฟเฟอร์ Q และส่วนของเส้น Q ที่นอกบัฟเฟอร์ X ควรกำจัดออกไปจากชุดข้อมูลเส้น เนื่องจากส่วนของเส้นหนึ่งอยู่ห่างจากอีกเส้นหนึ่งเป็นระยะทางมากพอที่ไม่ถือว่าเป็นตัวแทนของวัตถุเดียวกัน ดังนั้นเส้นผลลัพธ์ทั้งสองที่เหลืออยู่จึงเหมาะสมที่จะใช้เพื่อประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่ง Tveite และ Langass จึงใช้ completeness และ miscodings ปรับสูตรการคำนวณเสียใหม่ เพื่อให้ง่ายต่อการนำไปใช้ประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งให้สอดคล้องกับความเป็นจริง ดังแสดงในสมการที่ 4.7

$$DE''_i = \pi bs_i \frac{\mathrm{Area}(\overline{XB}_i \cap QB_i) - \mathrm{Area}(QB_i)\,(1-\mathrm{Completeness}(X))}{\mathrm{Area}(XB_i)\,(1-\mathrm{Miscoding}(X))} \qquad (4.7)$$

4.2 การหาค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยตามนิยาม

ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยตามนิยามของเส้นสำหรับงานวิจัยนี้มุ่งใช้เป็นค่าเปรียบเทียบกับค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่คำนวณได้จากวิธีสถิติบัฟเฟอร์โอเวอร์เลย์ แต่การนิยามค่านี้มีความยุ่งยากต่อความเข้าใจตรงกัน เนื่องจากการหาค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่ปฏิบัติกันมาคำนวณจากจุดที่ระบุจำแนกได้ชัดเจน แต่การหาค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของเส้นมีส่วนของเส้นและจุดอื่นๆ เข้ามาเกี่ยวข้องนอกเหนือจากจุดที่ระบุจำแนกได้ชัดเจน นอกจากนั้นการหาค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของเส้นมีความยุ่งยากและซับซ้อนยิ่งขึ้น เนื่องจากรูปร่างของเส้นสองเส้นที่กระทำต่อกันมีอยู่หลายลักษณะดังแสดงตัวอย่างดังรูปที่ 4.5 ดังนั้นค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยตามนิยามในงานวิจัยนี้นิยามด้วยการคำนวณค่าเฉลี่ยจากระยะทางระหว่างคู่จุดต่างๆ ที่เป็นตัวแทนวัตถุเดียวกัน (คู่จุด 1-1' และคู่จุด 2-2') แต่ก็มีรายละเอียดของการคำนวณเพิ่มขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงทิศทางความคลาดเคลื่อนร่วมด้วย ซึ่งสามารถอธิบายการหาค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยจากตัวอย่างต่างๆ ดังนี้



ก ข ค

รูปที่ 4.5 แสดงลักษณะของเส้นแบบต่างๆ

ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของเส้นในรูปที่ 4.5 ก และ 4.5 ข คือ ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยระหว่างคู่จุด 1-1' และคู่จุด 2-2' ในขณะที่ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของเส้นในรูปที่ 4.5 ค คือค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยระหว่างคู่จุด 1-1', 3-3' (มีค่าเท่ากับศูนย์) และ 2-2' และซึ่งสาเหตุที่ต้องพิจารณาจุดตัด 3-3' มาใช้ในการคำนวณด้วยนั้นก็เพราะมีการเปลี่ยนแปลงทิศทางของเวกเตอร์ความคลาดเคลื่อน (สังเกตจากทิศทางของเวกเตอร์ของคู่จุด 2-2' ของคู่เส้น Q1-X1 (ในรูปที่ 4.5 ก) กับคู่เส้น Q3-X3 (ในรูปที่ 4.5 ค) มีทิศทางกลับกัน) หากไม่นิยามค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเช่นนี้จะพบว่าค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่ได้จากคู่เส้น Q1-X1 มีค่าเท่ากับคู่เส้น Q3-X3 เมื่อพิจารณาเฉพาะระยะทางแต่ไม่คิดทิศทางของเวกเตอร์คู่จุด ทั้งที่เวกเตอร์ของคู่จุด 2-2' ของคู่เส้น Q1-X1 กับคู่เส้น Q3-X3 มีทิศทางตรงกันข้าม ซึ่งสังเกตได้จากการเกิดพื้นที่ระหว่างเส้น (พื้นที่แรเงา) ไม่เท่ากัน จึงนำค่าศูนย์ของจุดตัด (จุด 3-3') มาร่วมคำนวณค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยตามนิยามด้วย อย่างไรก็ตามชุดข้อมูลเส้นโดยทั่วไปมักมีการผสมกันของลักษณะเส้นแบบต่างๆ แต่การหาค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย

ตามนิยามยังคงใช้หลักการเดียวกันนี้ ดังแสดงตัวอย่างดังรูปที่ 4.6 ตัวอย่างการคำนวณค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของเส้นในรูปที่ 4.6 ก คือผลบวกของระยะทางระหว่างคู่จุด 1-1' , 2-2' , 3-3' , 4-4' และ 5-5' หารด้วย 5 (จำนวน 5 คู่จุด) แต่สำหรับการคำนวณค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของเส้นในรูปที่ 4.6 ข คือผลบวกของระยะทางระหว่างคู่จุด 1-1' , 2-2' (มีค่าเป็นศูนย์) , 3-3' , 4-4' และ 5-5' หารด้วย 5 (จำนวน 5 คู่จุด ซึ่งรวมจุดตัด 2-2' ด้วย)

ก ข

รูปที่ 4.6 แสดงเส้นที่มีลักษณะผสมกัน

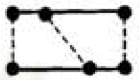
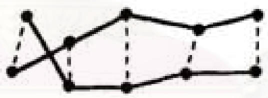
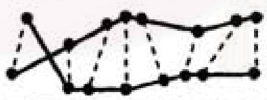
4.3 การทดลองที่ 1 : การทดลองเพื่อประเมินความถูกต้องของค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย

การทดสอบเพื่อเปรียบเทียบค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่ได้จากวิธีนี้กับค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยตามนิยาม ทำด้วยการนำเส้นจำลองพื้นฐานแบบต่างๆ มาทำการทดลอง 3 ขั้นตอน ได้แก่

1) หาค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย DE และ DE'
2) หาค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยตามนิยาม
3) วิเคราะห์ผลของการทดสอบหาค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย DE และ DE'

การตรวจสอบผลความถูกต้องของการหาความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยด้วยสถิติบัฟเฟอร์โอเวอร์เลย์ ทำด้วยการนำค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยตามนิยาม อย่างไรก็ตามการหาค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยตามนิยามในหัวข้อ 4.2 มีความเกี่ยวข้องกับคู่จุดบนเส้นที่เป็นตัวแทนของวัตถุเดียวกัน ดังนั้นหากเส้นมีคู่จุดที่มีตำแหน่งแตกต่างจากเดิม ก็ย่อมทำให้ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยตามนิยามแตกต่างจากเดิมไปด้วย ซึ่งคู่จุดเหล่านี้เป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งที่สามารถอธิบายสาเหตุของการทดลองต่างๆ ของงานวิจัยนี้ จึงขอกล่าวถึงเป็นอันดับแรกเพื่อง่ายต่อความเข้าใจในเรื่องอื่นๆ ต่อไป โดยผลกระทบของคู่จุดที่แตกต่างกันต่อค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยตามนิยามได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยตามนิยามของชุดข้อมูลที่มีตำแหน่งคู่จุดแตกต่างไปจากเดิม

ชุดข้อมูล	ลักษณะของเส้น	ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยตามนิยาม
1a		400
1b		416.12
2a		300
2b		356.28
3a		266.67
3b		296.42
4a		289.61
4b		312.91
5a		241.34
5b		275.08

จะเห็นว่าลักษณะของชุดข้อมูล 1a กับ 1b , 2a กับ 2b, 3a กับ 3b, 4a กับ 4b และ 5a กับ 5b เหมือนกันเพียงแต่ชุดข้อมูล 1b, 2b, 3b, 4b และ 5b มีจำนวนคู่จุดเพิ่มขึ้นและคู่จุดเหล่านี้มีทิศทางแตกต่างจากทิศทางของคู่จุดเดิม จึงทำให้ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยตามนิยามของเส้นตัวอย่างแบบ a และ b มีค่าไม่เท่ากัน

การคำนวณค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยด้วยวิธีสถิติบัฟเฟอร์โอเวอร์เลย์ ก็ได้คำนึงถึงผลกระทบจากตำแหน่งของคู่จุดที่แตกต่างกันเหล่านี้ ซึ่งจะทำให้ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเปลี่ยนแปลงไป โดยการใส่ค่าปรับแก้อันเนื่องมาจากทิศทางความคลาดเคลื่อนเข้าไปในสมการ DE (สมการที่ 4.1) โดยสมมุติว่ามีการกระจายของความคลาดเคลื่อนและทิศทางของเส้นต่าง ๆ อย่างสม่ำเสมอตลอดทั้งเส้น ดังนั้นค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่คำนึงถึงค่าคลาดเคลื่อนในทิศทางอื่นๆ จึงสามารถคำนวณ

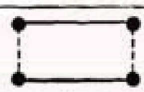
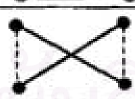
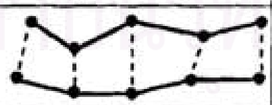
ได้จากสมการ DE' (สมการที่ 4.2) แต่จากทดสอบเบื้องต้นพบว่าค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย DE' มีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยห่างเฉลี่ยตามนิยามอยู่หลายกรณี จึงทำให้ต้องทำการทดสอบถึงความเหมาะสมของการใช้ค่าปรับแก้อันเนื่องมาจากทิศทางความคลาดเคลื่อนในหัวข้อถัดไป

4.3.1 การหาค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย DE

การหาค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย DE ระหว่างข้อมูลเส้น 2 ชุด ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4.1 และนำค่า DE ที่ได้กับระยะขนาดบัฟเฟอร์ในแต่ละรอบของการวนซ้ำไปพล็อตกราฟ ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.10 ลักษณะของกราฟควรเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนกระทั่งขนาดบัฟเฟอร์ถึงค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยระหว่างเส้น กราฟก็จะเริ่มราบลง โดยค่าระยะบัฟเฟอร์ที่กราฟเริ่มราบจะเป็นค่าที่นำไปใช้ในการคำนวณหาค่า DE

ผลการทดลองกับเส้นพื้นฐานแบบต่างๆ เพื่อหาค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย DE และค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยตามนิยาม ดังแสดงในตารางที่ 4.2 ข้างล่างนี้

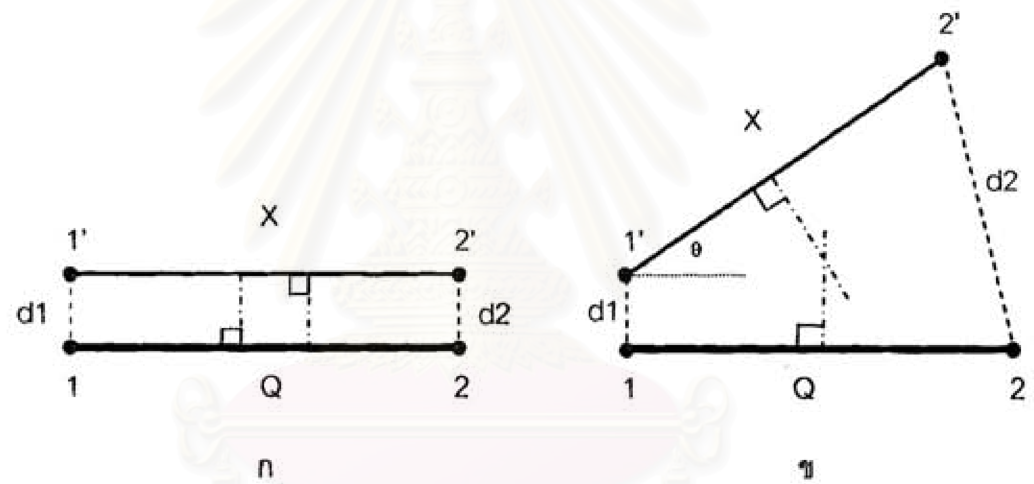
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของชุดข้อมูลแบบ a

ชุดข้อมูล	ลักษณะของเส้น	ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยตามนิยาม (d)	ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยDE	ร้อยละผลต่างระหว่าง DE กับ d
1a		400	400	0.00
2a		300	314.70	4.90
3a		266.67	252.74	5.22
4a		289.61	263.75	8.93
5a		241.34	243.04	0.70

ผลการทดสอบกับชุดข้อมูล 1a พบว่าค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย DE มีค่าเท่ากับค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยตามนิยาม และผลการทดสอบกับชุดข้อมูล 2a 3a และ 4a ยังพบว่าค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย DE เริ่มมีผลต่างจากค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยตามนิยาม เนื่องจากค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยตามนิยามของชุดข้อมูล 1a คำนวณได้จากคู่จุดที่อยู่ทิศทางตั้งฉาก ส่วนชุดข้อมูล 2a 3a

และ 4a คำนวณได้จากคู่จุดที่ไม่อยู่ทิศทางตั้งฉากมากนักทำให้มีค่าต่างเกิดขึ้น ส่วนชุดข้อมูล 5a พบว่าค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย DE มีค่าใกล้เคียงกับค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยตามนิยาม เนื่องจากการใช้จุดตัด (ค่าเป็นศูนย์) ร่วมคำนวณซึ่งทำให้ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยตามนิยามมีค่าลดลงและใกล้เคียงกับ DE ดังนั้นจึงเป็นประเด็นปัญหาเรื่องผลการตัดกันของเส้นจะทำการทดลองในเรื่องความเหมาะสมของค่าปรับแก้อันเนื่องมาจากทิศทางความคลาดเคลื่อนต่อไป ส่วนประเด็นปัญหาเรื่องความถูกต้องของผลการคำนวณค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยด้วยวิธีสถิติบัฟเฟอร์โอเวอร์เลย์จะได้ทำการทดลองเพิ่มเติมในเกิดความชัดเจนยิ่งขึ้นโดยมีรายละเอียดข้างล่างนี้

การทดลองความถูกต้องของผลการวัดค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยด้วยวิธีสถิติบัฟเฟอร์โอเวอร์เลย์ใช้ชุดข้อมูลที่ 6 ซึ่งมีค่ามุม (θ) ต่างๆ ดังในรูปที่ 4.7 ข และผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.3



รูปที่ 4.7 แสดงตัวอย่างชุดข้อมูลซึ่งกระทำมุมต่อกัน

ตารางที่ 4.3 แสดงร้อยละผลต่างของค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่ได้จากวิธีสถิติบัฟเฟอร์โอเวอร์เลย์กับค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยตามนิยาม

ชุดข้อมูล	มุม (องศา)	d1 (ม.)	d2 (ม.)	ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยตามนิยาม (d) (ม.)	DE (ม.)	ร้อยละผลต่างระหว่าง DE กับ d * (ม.)
ชุดข้อมูลที่ 6	0	400	400	400	400.36	0.09
	10	400	538.88	469.44	466.12	0.71
	20	400	675.08	537.54	524.50	2.43
	30	400	807.15	603.57	577.74	4.28
	40	400	939.19	666.60	625.97	6.10
	50	400	1452.38	726.19	669.78	7.77
	60	400	1163.73	781.86	678.12	13.27
	70	400	1266.34	833.17	716.04	14.06
	80	400	1359.41	879.71	719.20	18.25
	90	400	1442.22	921.11	720.39	21.79

* ร้อยละผลต่างระหว่าง DE กับ d ซึ่งคำนวณจาก (|DE- d| * 100) /d

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.3 พบว่าร้อยละผลต่างระหว่างค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่ได้จากวิธีสถิติบัฟเฟอร์โอเวอร์เลย์กับค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยตามนิยามมีมากขึ้น เมื่อค่ามุม θ มีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากการวัดของวิธีสถิติบัฟเฟอร์โอเวอร์เลย์เป็นการวัดที่เกิดจากบัฟเฟอร์ที่มีทิศทางตั้งฉากตลอดแนวเส้น Q หรือ X (สัญลักษณ์ -·-·-·) ส่วนค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยตามนิยามคำนวณจากระยะของคู่จุดซึ่งเป็นตัวแทนวัตถุเดียวกัน เช่น 1-1' และ 2-2' ในรูปที่ 4.7 ก และ ข (สัญลักษณ์ ----) แต่มุมของการวัดที่คู่จุดนี้ก็ไม่ได้อยู่ในแนวตั้งฉากกับแนวเส้นเสมอไปเหมือนกับทิศทางของบัฟเฟอร์เมื่อมีค่ามุม θ ไม่เท่ากับศูนย์ ดังเช่น ตัวอย่างเส้นในรูปที่ 4.7 ข มีมุม 2 ที่มีด้านประกอบเป็น 1-2 และ 2-2' , มุม 1' ที่มีด้านประกอบเป็น 1-1' และ1'-2' และ มุม 2' ที่มีด้านประกอบเป็น 1'-2' และ 2'-2

การวัดค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยด้วยวิธีสถิติบัฟเฟอร์โอเวอร์เลย์เป็นการวัดซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของการวัดด้วยบัฟเฟอร์ ซึ่งมีทิศทางตั้งฉากตลอดแนวเส้น โดยเสมือนกับการวัดระยะในทิศทางตั้งฉากจากจุดต่างๆ ที่ประกอบเป็นเส้น ๆหนึ่งได้ไปยังคู่จุดใดๆ บนเส้นอีกเส้นหนึ่งโดยไม่คำนึงถึงการเป็นคู่จุดที่มีอยู่จริงแต่ใช้เกณฑ์ระยะทางสั้นที่สุดหรือทิศทางตั้งฉากกับแนวเส้นสำหรับจับคู่จุดที่ไม่มีอยู่จริงระหว่างเส้น ซึ่งสอดคล้องกับที่ Matos j., และ Goncalves A., (1998) กล่าวไว้ว่าเป็นการวัดระยะทางระหว่างจุดใดๆ ตามแนวเส้นๆหนึ่งไปยังจุดใดๆ ที่ใกล้ที่สุดตามแนวเส้นอ้างอิง ด้วยเหตุนี้เกณฑ์ระยะทางที่สั้นที่สุดจึงเป็นความสัมพันธ์ระหว่างจุดที่ไม่มีการจับคู่

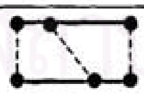
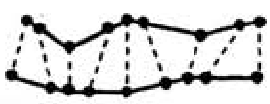
(non-matching point) ดังนั้นค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยด้วยวิธีสถิติบัฟเฟอร์โอเวอร์เลย์จึงมีค่าต่างเกิดขึ้นเมื่อเปรียบเทียบผลกับค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยตามนิยามซึ่งวัดระยะคู่จุดที่มีทิศทางไม่ตั้งฉากเสมอไป

4.3.2 การหาค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย DE'

เนื่องจากค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย DE ที่หาได้จากสมการที่ 4.2 นั้น เป็นค่าระยะที่คำนวณได้จากการซ้อนทับกันของพื้นที่บัฟเฟอร์ จึงเป็นค่าระยะในทิศทางตั้งฉากกับเส้น แต่ในความเป็นจริง ค่าความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งอาจมีทิศทางต่าง ๆ ซึ่งอาจจะมิใช่เฉพาะในทิศทางตั้งฉาก จึงอาจกล่าวได้ว่าค่า DE ที่คำนวณได้เป็นระยะคลาดเคลื่อนที่ต่ำที่สุด (Minimum error) เพื่อให้ได้ค่าความคลาดเคลื่อนที่ปลอดภัยมากขึ้น Tveite และ Langass จึงได้ใส่ค่าแก้อันเนื่องมาจากทิศทางความคลาดเคลื่อน ($\pi/2$) เข้าไปในสมการที่ 4.2 โดยสมมุติว่ามีการกระจายของความคลาดเคลื่อนและทิศทางต่างๆ อย่างสม่ำเสมอตลอดทั้งเส้น ดังนั้นค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่คำนึงถึงค่าคลาดเคลื่อนในทิศทางอื่น ๆ (DE') จึงสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4.2

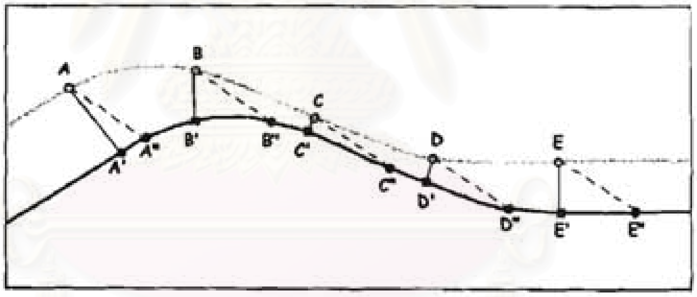
ผลการทดลองกับเส้นพื้นฐานแบบต่างๆ เพื่อเปรียบเทียบค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย DE' และค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยตามนิยามแสดงในตารางที่ 4.4 ข้างล่างนี้

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของชุดข้อมูลแบบ b

ชุดข้อมูล	ลักษณะของเส้น	ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยตามนิยาม (d)	ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยDE	ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย DE'	ร้อยละผลต่างระหว่าง DE กับ d	ร้อยละผลต่างระหว่าง DE' กับ d
1b		416.12	400	628.32	3.87	50.99
2b		356.28	314.70	494.32	11.67	38.74
3b		296.42	252.74	397.01	14.74	33.93
4b		312.91	263.75	414.08	15.71	32.33
5b		275.08	243.04	381.58	11.65	38.72

ผลการทดสอบกับชุดข้อมูล 1b, 2b 3b 4b และ 5b พบว่าค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย DE' มีแนวโน้มเข้าใกล้ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยตามนิยามยิ่งขึ้น เนื่องจากชุดข้อมูล1b, 2b 3b 4b และ 5b มีคู่จุดที่มีทิศทางต่างๆ ซึ่งไม่ใช่ทิศทางตั้งฉาก ทำให้ระยะห่างของคู่จุดเหล่านี้มีระยะเพิ่มขึ้น และส่งผลให้ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยตามนิยามได้มีค่าสูงขึ้น จึงเข้าใกล้ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย DE' มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการปรับด้วยค่าปรับแก้อันเนื่องมาจากทิศทางความคลาดเคลื่อน ($\pi/2$) ที่เกิดขึ้นจากสมมุติฐานว่าความคลาดเคลื่อนของคู่จุดมีทิศทางไม่แน่นอน และเพื่อไม่ให้ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่ได้ต่ำเกินจริง

ผลการหาค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย DE' ของชุดข้อมูล 1b, 2b 3b 4b และ 5b ซึ่งมีคู่จุดที่มีทิศทางต่างๆ สอดคล้องการศึกษาของ Van Niel T., และ McViar T. (2002) ซึ่งกล่าวถึงการหาความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งแบบสัมบูรณ์ (absolute positional error) ซึ่งเป็นการวัดระยะของคู่จุดที่มีทิศทางอื่นๆ นอกเหนือจากทิศทางตั้งฉาก และค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย DE ก็สอดคล้องกับการหาความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งแบบฟังก์ชันนอล (functional positional error) ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของการวัดด้วยบัฟเฟอร์ซึ่งเป็นลักษณะการวัดในทิศทางตั้งฉาก แสดงในรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 แสดงความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งแบบตั้งฉากและแบบสัมบูรณ์

(Van Niel, T., และ McViar, T., 2002)

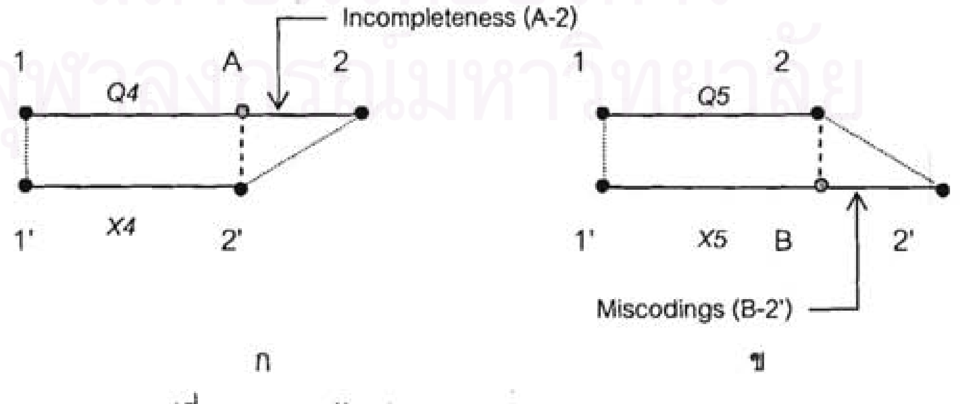
รูปที่ 4.8 แสดงความแตกต่างของการวัดแบบฟังก์ชันนอลกับแบบสัมบูรณ์ระหว่างเส้นสองเส้น โดยเส้นสีเทาเป็นเส้นอ้างอิงและเส้นสีดำเป็นเส้นทดสอบ เส้นประที่เชื่อมระหว่างวงกลมสีจางและวงกลมสีดำแสดงความคลาดเคลื่อนแบบสัมบูรณ์ (ยกตัวอย่าง เช่น เส้นระหว่าง A และ A" แทนด้วย $\overline{AA''}$) ขณะที่เส้นเต็มบางที่เชื่อมระหว่างวงกลมสีจางและสีเหลี่ยมสีเทาแสดงความคลาดเคลื่อนแบบฟังก์ชันนอล (ยกตัวอย่าง เช่น เส้นระหว่าง A และ A' แทนด้วย $\overline{AA'}$) ในแต่ละจุดจะเห็นว่าความคลาดเคลื่อนแบบฟังก์ชันนอล จะมีค่าเท่ากับหรือน้อยกว่าแบบสัมบูรณ์เสมอ และในหลายๆ จุดตัวอย่างก็น้อยกว่ามาก (ยกตัวอย่าง เช่น $\overline{CC'} \ll \overline{CC''}$ และ $\overline{DD'} \ll \overline{DD''}$) ดังนั้นค่าต่างของการวัดแบบฟังก์ชันนอลกับแบบสัมบูรณ์นี้ จึงเป็นสาเหตุของการใช้

ค่าปรับแก้อันเนื่องมาจากทิศทางความคลาดเคลื่อน ($\pi/2$) ของสมการที่ 4.2 เพื่อชดเชยค่าต่างนี้ในกรณีที่คู่จุดมีทิศทางต่างๆ ซึ่งไม่ใช่ทิศตั้งฉาก

แม้ว่าค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย DE' มีแนวโน้มใกล้เคียงกับค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยตามนิยามยิ่งขึ้นก็ตาม แต่ความแตกต่างกันของค่าทั้งสองในบางตัวอย่างยังคงมีอยู่มาก จึงทำให้เกิดประเด็นปัญหาเรื่องความเหมาะสมของการใช้ค่าปรับแก้อันเนื่องมาจากทิศทางความคลาดเคลื่อนเพื่อชดเชยความคลาดเคลื่อนและทิศทางต่างๆของคู่จุดที่มีอยู่ระหว่างเส้น ประเด็นปัญหานี้จึงนำไปสู่การทดสอบความเหมาะสมของค่าปรับแก้อันเนื่องมาจากทิศทางความคลาดเคลื่อนในหัวข้อถัดไป

4.4 การทดลองที่ 2 : การทดลองเพื่อประเมินความเหมาะสมของการปรับแก้ Completeness และ Miscodings

การวัดความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งของข้อมูลเส้นใด ๆ เป็นการเปรียบเทียบตำแหน่งของเส้นนั้น ๆ เทียบกับตำแหน่งของเส้นที่ถือว่าถูกต้อง โดยถือว่าเส้นทั้งสองเป็นตัวแทนของวัตถุภูมิศาสตร์เดียวกันในความเป็นจริง ดังนั้นหากเส้นที่นำมาเปรียบเทียบตำแหน่งกันนั้น มิได้เป็นตัวแทนของสิ่งเดียวกัน หรือเป็นตัวแทนของสิ่งที่ไม่เท่ากันในความเป็นจริง ย่อมส่งผลเสมือนกับว่ามีค่าคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งมากขึ้น รูปที่ 4.9 แสดงตัวอย่างของกรณีดังกล่าว (ในที่นี้ให้ Q เป็นเส้นอ้างอิงหรือเส้นที่มีความถูกต้องสูงกว่า และ X เป็นเส้นที่มีความถูกต้องน้อยกว่า) ในรูป 4.9 ก เราต้องการวัดค่าคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งของเส้น X4 โดยเปรียบเทียบกับเส้น Q4 ซึ่งควรจะต้องเป็นตัวแทนของวัตถุภูมิศาสตร์เดียวกัน อย่างไรก็ตาม จากรูปจะเห็นได้ว่าเส้น Q4 มีความยาวมากกว่าเส้น X4 พอสมควร กรณีเช่นนี้ทำให้เกิดทางเลือกของสมมติฐาน 2 ทางด้วยกันคือ



รูปที่ 4.9 แสดงตัวอย่าง completeness และ miscodings

สมมติฐานที่ 1 : เส้น X4 และ Q4 เป็นตัวแทนของวัตถุภูมิศาสตร์เดียวกันอย่างสมบูรณ์ ความยาวที่ต่างกันเป็นผลจากความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งเท่านั้น ซึ่งค่าคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งของเส้น X4 วัดได้จากค่าเฉลี่ยระยะ 1-1' และ 2-2'

สมมติฐานที่ 2 : ความยาวที่ต่างกันอาจเกิดจากเหตุผลอื่นอันมิใช่ความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่ง ส่วนของเส้น Q4 ช่วงจากจุด A ถึงจุด 2 เป็นส่วนที่เป็นตัวแทนของวัตถุภูมิศาสตร์ที่มิได้นำเสนอในเส้น X4 หรือกล่าวได้ว่าเส้น X4 มีความไม่ครบถ้วน (Incompleteness) ของข้อมูล ดังนั้นค่าคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งของเส้น X4 ก็ควรจะเป็นการวัดเส้น X4 เทียบกับส่วน 1-A ของเส้น Q4 นั่นคือค่าเฉลี่ยของระยะ 1-1' และ A-2' ซึ่งเป็นค่าความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งที่ได้ปรับแก้ผลกระทบจากความไม่ครบถ้วนของข้อมูลแล้ว

ในรูปที่ 4.9 ข เป็นกรณีที่ข้อมูลเส้นภูมิศาสตร์ที่ต้องการวัดความคลาดเคลื่อน (X5) ยาวกว่าเส้นอ้างอิง (Q5) เช่นเดียวกับกรณีก่อนหน้านี้ หากเราพิจารณาว่าส่วนของเส้น X5 ที่ยาวมากกว่าเมื่อเทียบกับเส้น Q5 นั้น แทนวัตถุภูมิศาสตร์ที่มิได้นำเสนอโดยเส้น Q5 แล้ว (เรียกกรณีนี้ว่าข้อมูลเส้น X มี miscoding) การวัดความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งของเส้น X5 ก็ควรจะเป็นการวัดค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยระหว่างส่วน 1'-B ของเส้น X5 เทียบเส้น Q5 ซึ่งจะได้ค่าคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งที่ปราศจากอิทธิพลของ Miscodings นั่นเอง

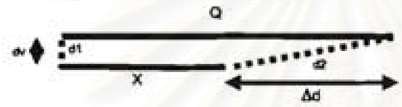
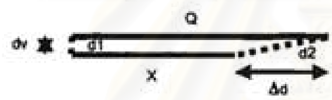
การประยุกต์ใช้วิธีการนี้กับชุดข้อมูลเส้นในระดับต่างๆ เส้นทั้งหมดควรอยู่ในชุดข้อมูลทั้งสองชุด (เกณฑ์ความครบถ้วน) แต่ในความเป็นจริงกรณีเช่นนี้แทบจะไม่เกิดขึ้นเลย เนื่องจากชุดข้อมูลที่มีมาตราส่วนต่างกันปกติไม่ได้อยู่ในระดับการเจนเนอรัลไลเซชันเดียวกัน ทำให้เส้นที่ปรากฏอยู่ในชุดข้อมูลเพียงชุดใดชุดหนึ่งจะนำไปสู่ข้อผิดพลาดในการคำนวณได้

Tveite และ Langass จึงได้เสนอ Completeness (สมการที่ 4.5) และ miscodings (สมการที่ 4.6) และได้นำ Completeness และ miscodings เพื่อใช้ปรับสูตรการหาค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย DE' (สูตรสมการที่ 4.2) ให้สอดคล้องกับความเป็นจริงยิ่งขึ้น และได้สมการใหม่สำหรับประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งของชุดข้อมูล ซึ่งก็คือ สูตรการหาค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย DE" (สมการที่ 4.7) ซึ่งผลการทดสอบการหาค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย DE" จะได้แสดงไว้ในหัวข้อย่อยต่อจากนี้

4.4.1 การทดลองเพื่อประเมินความเหมาะสมของการปรับแก้ Completeness

ผลการทดลองหาค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยตามนิยาม แสดงไว้ในตารางที่ 4.5 ส่วนผลการทดลองหาค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย DE' และ DE" ของเส้นที่พิจารณา completeness แสดงไว้ในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.5 แสดงการคำนวณค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยตามนิยาม กรณีมีปัญหา completeness

ชุดข้อมูล	ลักษณะของชุดข้อมูล	การคำนวณค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยตามนิยาม
7C		LQ = 1200 เมตร LX = 800 เมตร ΔL= 400 เมตร dv = 200 เมตร d1 = 200 เมตร d2 = 447.21 เมตร d = (200+447.21)/2 = 323.61 เมตร
8C		LQ = 1600 เมตร LX = 800 เมตร ΔL= 800 เมตร dv = 200 เมตร d1 = 200 เมตร d2 = 824.62 เมตร d = (200+824.62)/2 = 512.31 เมตร
9C		LQ = 7500 เมตร LX = 5000 เมตร ΔL= 2500 เมตร dv = 20 เมตร d1 = 20 เมตร d2 = 2500.08 เมตร d = (20+2500.08)/2 = 1260.04 เมตร
10C		LQ = 10000 เมตร LX = 5000 เมตร ΔL= 5000 เมตร dv = 20 เมตร d1 = 20 เมตร d2 = 5000.04 เมตร d = (20+5000.04)/2 = 2510.02 เมตร

เมื่อ LQ = ความยาวของเส้น Q

LX = ความยาวของเส้น X

ΔL = ความแตกต่างของความยาวเส้น *X* กับ *Q* หรือความยาวของเส้นที่ไม่เป็นตัวแทนของวัตถุเดียวกัน (Incompleteness)

dv = ระยะห่างที่วัดตั้งฉาก

d1,d2 = ระยะทางระหว่างคู่จุดที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

d = ค่าเคลื่อนเฉลี่ยตามนิยาม ซึ่งคำนวณมาจาก (d1+d2)/2

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยระหว่างเส้น กรณีมีปัญหา completeness

ชุดข้อมูล	ลักษณะของเส้นและบัฟเฟอร์	d (ม.)	dv (ม.)	ΔL (ม.)	DE', DE'/(π /2) (ม.)	DE'", DE"/(π /2) (ม.)	ร้อยละผลต่างระหว่าง DE'/(π /2) กับ d	ร้อยละผลต่างระหว่าง DE"/(π /2) กับ dv
7C		221.64	200.00	400	445.65, 283.85	297.21, 189.31	12.28	5.35
8C		512.31	200.00	800	577.02, 367.53	288.62, 183.83	28.26	8.08
9C		1260.04	20.00	2500	2099.49, 1337.25	31.99, 19.99	6.13	0.01
10C		2510.02	20.00	5000	4328.96, 2757.30	31.38 , 19.98	9.85	0.06

จากการทดลองหาค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยจากสมการ DE'/(π/2) ของชุดข้อมูล 7C และ 8C พบว่าร้อยละผลต่างระหว่างค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกับค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยตามนิยาม คือ 12.28% และ 28.26% ส่วนชุดข้อมูล 9C และ 10C พบว่าร้อยละผลต่างระหว่างค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกับค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยตามนิยาม คือ 6.13% และ 9.85% โดยจะเห็นได้ว่าร้อยละผลต่างนี้จะเพิ่มขึ้นเมื่อความแตกต่างของความยาวเส้น (ΔL) มากขึ้น นอกจานั้นยังพบว่าค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของชุดข้อมูล 9C และ 10C มีร้อยละผลต่างน้อยกว่าชุดข้อมูล 7C และ 8C เนื่องจากการเพิ่มขนาดบัฟเฟอร์ของชุดข้อมูล 9C และ 10C ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1 เมตร มีค่าน้อยกว่าของชุดข้อมูล 7C และ 8C ซึ่งมีค่าเท่ากับ 20 เมตร จึงทำให้ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของชุดข้อมูล 9C และ 10C มีระดับความถูกต้องมากกว่าชุดข้อมูล 7C และ 8C

จากการทดลองหาค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของชุดข้อมูล 7C 8C 9C และ 10C ด้วยสมการที่ DE" ซึ่งด้วย π/2 พบว่าร้อยละผลต่างระหว่างค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกับระยะตั้งฉากระหว่างเส้นทั้งสอง (dv) มีค่าใกล้เคียงกันดังนี้ คือ 5.35% 8.08% 0.01% และ 0.06% ตามลำดับ เนื่องจากพจน์ปรับแก้ completeness สามารถกำจัดส่วนของเส้นที่ไม่ได้ถือว่าเส้นเดียวกันได้ออกไปได้ค่อนข้างดี นอกจากนั้นยังพบว่าค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของชุดข้อมูล 9C และ 10C มี

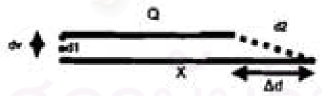
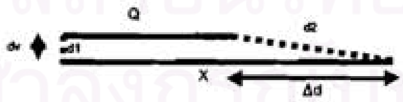
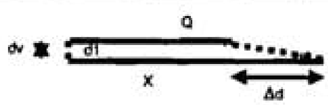
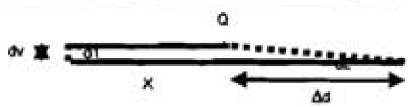
ร้อยละผลต่างน้อยกว่าชุดข้อมูล 7C และ 8C เนื่องจากสาเหตุของการเพิ่มขนาดบัฟเฟอร์ของชุดข้อมูล 9C และ 10C มีค่าน้อยกว่าของชุดข้อมูล 7C และ 8C ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ดังนั้นการกำหนดขนาดบัฟเฟอร์ที่เพิ่มขึ้นในแต่ละรอบของการวนซ้ำมีผลต่อระดับความถูกต้องของผลการคำนวณ

ชุดข้อมูล 7C 8C 9C และ 10C สามารถหาค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยได้จากทั้งสมการ DE'/(π/2) และ DE"/(π/2) โดยที่การหาความคลาดเคลื่อนจากสมการ DE'/(π/2) เป็นกรณีที่พิจารณาว่าเส้น Q และ X เป็นตัวแทนของวัตถุภูมิศาสตร์เดียวกันอย่างสมบูรณ์ ส่วนการหาความคลาดเคลื่อนจากสมการ DE"/(π/2) เป็นกรณีที่พิจารณาว่าความยาวที่ต่างกัน (ΔL) เกิดจากปัญหาด้าน completeness ที่มิใช่เกิดจากความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่ง แต่อย่างไรก็ตามการกำหนดค่าระยะๆ หนึ่งเพื่อพิจารณาการเป็นตัวแทนวัตถุเป็นส่วนสำคัญที่จะทำให้การหาค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่ได้สอดคล้องกับความเป็นจริง

4.4.2 การทดลองเพื่อประเมินความเหมาะสมของการปรับแก้ Miscodings

ผลการทดลองหาค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยตามนิยาม แสดงไว้ในตารางที่ 4.7 ส่วนผลการทดลองหาค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย DE' และ DE" ของเส้นที่พิจารณา miscodings แสดงไว้ในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.7 แสดงการคำนวณค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยตามนิยาม กรณีมีปัญหา miscodings

ชุดข้อมูล	ลักษณะของชุดข้อมูล	การคำนวณค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยตามนิยาม
7D		LQ = 800 เมตร LX = 1200 เมตร ΔL= 400 เมตร dv = 200 เมตร d1 = 200 เมตร d2 = 447.21 เมตร d = (200+447.21)/2 = 323.61 เมตร
8D		LQ = 800 เมตร LX = 1600 เมตร ΔL= 800 เมตร dv = 200 เมตร d1 = 200 เมตร d2 = 824.62 เมตร d = (200+824.62)/2 = 512.31 เมตร
9D		LQ = 5000 เมตร LX = 7500 เมตร ΔL= 2500 เมตร dv = 20 เมตร d1 = 20 เมตร d2 = 2500.08 เมตร d = (20+2500.08)/2 = 1260.04 เมตร
10D		LQ = 5000 เมตร LX = 10000 เมตร ΔL= 5000 เมตร dv = 20 เมตร d1 = 20 เมตร d2 = 5000.04 เมตร d = (20+5000.04)/2 = 2510.02 เมตร

ตารางที่ 4.8 แสดงค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของเส้น กรณีมีปัญหา miscodings

ชุดข้อมูล	ลักษณะของเส้นและบัฟเฟอร์	d (ม.)	dv (ม.)	ΔL (ม.)	DE', DE'/π/2 (ม.)	DE''', DE''/π/2 (ม.)	ร้อยละผลต่างระหว่าง DE'/(π/2) กับ d	ร้อยละผลต่างระหว่าง DE''/(π/2) กับ dv
7D		221.64	200.00	400	221.64, 141.17	332.33, 211.68	56.38	5.88
8D		512.31	200.00	800	171.18, 109.03	342.23, 217.98	78.72	8.99
9D		1260.04	20.00	2500	20.98, 13.36	31.46, 20.04	98.94	0.19
10D		2510.02	20.00	5000	15.75 , 10.03	31.48, 20.05	99.60	0.25

ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยจากสมการที่ DE' และ DE'/(π/2) ของชุดข้อมูล 7D 8D 9D และ 10D มีค่าต่างไปจากค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยตามนิยามค่อนข้างมาก และมีแนวโน้มว่าจะมีค่าต่างมากยิ่งขึ้นเมื่อเส้น X มีความยาวมากขึ้น โดยที่ร้อยละผลต่างระหว่างค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย DE'/(π/2) กับค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยตามนิยาม คือ 56.38% 78.72 98.94 และ 99.60 ตามลำดับ ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นถึงประเด็นปัญหาของการเลือกใช้พื้นที่ XB_i เป็นส่วนหาร เนื่องจากพื้นที่ XB_i มีค่ามากกว่าพื้นที่ QB_i

ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยจากสมการ DE'' ของเส้นตัวอย่างที่ 7D 8D 9D และ 10D มีค่าใกล้เคียงกับระยะตั้งฉากซึ่งในกรณีนี้คือระยะคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่ควรจะเป็น โดยมีร้อยละผลต่างระหว่างค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกับระยะตั้งฉากระหว่างเส้นทั้งสอง (dv) ดังนี้คือ 5.88% 8.99% 0.19% และ 0.25% ตามลำดับ เนื่องจากพจน์ปรับแก้ miscodings สามารถกำจัดอิทธิพลของส่วนของเส้นที่ไม่นับได้ว่าเส้นเดียวกันได้ออกไปได้เช่นค่อนข้างดีเช่นเดียวกับกรณี completeness นอกจากนั้นยังพบว่าค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของชุดข้อมูล 9D และ 10D มีร้อยละผลต่างน้อยกว่าชุดข้อมูล 4D และ 5D เนื่องจากสาเหตุของการเพิ่มขนาดบัฟเฟอร์ดังที่ได้อธิบายมาก่อนแล้ว

4.5 การทดลองที่ 3 : การทดสอบเพื่อวัดรูปร่างด้วย Oscillation

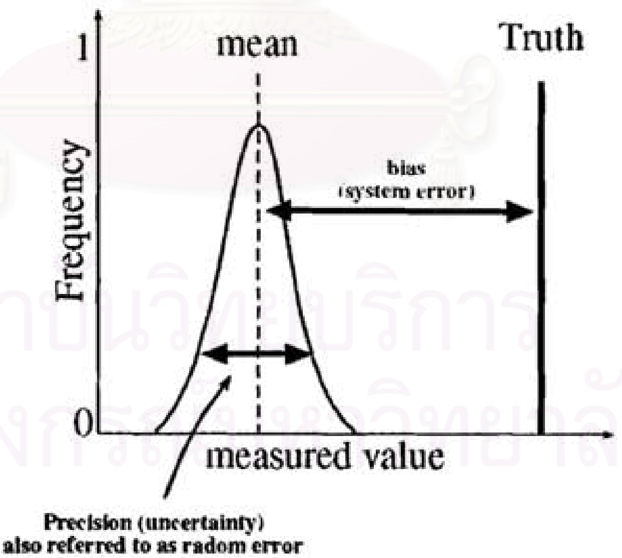
การวัดทางรูปร่างเป็นการชี้ให้เห็นถึงความคล้ายคลึงกันของเส้นสองเส้น ได้ผู้วิจัยหลายท่านพยายามสร้างตัวชี้วัดนี้ขึ้น เพื่อแทนการเปรียบเทียบความตรงกันทางรูปร่างด้วยสายตา โดยสร้างตัวชี้วัดด้วยเกณฑ์แบบต่างๆ ที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 2.1.2 ซึ่งรวมถึงตัวชี้วัดของวิธี BOS คือ Oscillation ซึ่ง Tveite และ Langass ได้แสดงให้เห็นถึงการชี้วัดค่าคลาดเคลื่อนเอนเอียง (Bias error) ที่สามารถบ่งบอกถึงความสัมพันธ์ทางรูปร่างของเส้นได้อีกอย่างหนึ่ง

ค่าคลาดเคลื่อน (e) เป็นความแตกต่างระหว่างค่าสังเกต ($\hat{x}$) กับค่าจริง (τ) ยกตัวอย่างเช่น $e = \hat{x} - \tau$ โดยทั่วไปแล้วความคลาดเคลื่อนมีสององค์ประกอบ ได้แก่ ค่าคลาดเคลื่อนเอนเอียง (Δ) และค่าคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม (random error, δ) ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ ได้ดังสมการที่ 4.8 โดยค่าคลาดเคลื่อนเอนเอียง (Δ) คือ ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ย

$$\hat{x} = \tau + e = \underbrace{\tau + \overbrace{\Delta + \delta}^{e}}_{}\ \ldots$$

$$\hat{x} = \tau + e = \underbrace{\tau + \overset{e}{\overbrace{\Delta}}}_{\mu} \overbrace{+\ \delta}^{} = \mu + \delta \qquad (4.8)$$

(μ) กับค่าจริง (τ) ยกตัวอย่างเช่น $\Delta = \mu - \tau$ ดังรูปที่ 4.10 และค่าคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม (δ) คือ ความแตกต่างระหว่างค่าสังเกต ($\hat{x}$) กับค่าเฉลี่ย (μ) ยกตัวอย่างเช่น $\delta = \hat{x} - \mu$



รูปที่ 4.10 แสดงกราฟความคลาดเคลื่อนเอนเอียงมีระบบ

แต่การชี้วัดค่าคลาดเคลื่อนเอนเอียงในชุดข้อมูลเส้น ต้องการรายละเอียดมากขึ้น เพื่อสามารถบ่งชี้ถึงความตรงกันทางรูปร่างได้อีกด้วย ยกตัวอย่างเส้นในรูปที่ 4.11 ก และเส้นในรูปที่ 4.11 ข แสดงเส้นสองเส้นที่มีค่าคลาดเคลื่อนเอนเอียงเฉลี่ย (Δ) เท่ากัน แต่ลักษณะของเส้นตัวอย่าง A (เส้นทึบในรูปที่ 4.11 ก) กับเส้นตัวอย่าง B (เส้นทึบในรูปที่ 4.11 ข) มีความแตกต่างกัน

รูปที่ 4.11 แสดงเส้นตัวอย่าง A และ B

แสดงให้ว่ารูปร่างระหว่างเส้นตัวอย่างกับเส้นอ้างอิง (เส้นประ) มีความแตกต่างกัน ดังนั้นตัวชี้วัดที่ดีกว่านอกจากสามารถแสดงค่าความคลาดเคลื่อนเอนเอียงได้แล้ว ยังควรจะสามารถจำแนกความแตกต่างกันของรูปร่างระหว่างเส้นได้ด้วย

การชี้วัดค่าคลาดเคลื่อนเอนเอียงด้วย Oscillation มีอยู่ 2 แบบ คือ Oscillation แบบที่ 1 (O') เป็นการนับจำนวนรูปหลายเหลี่ยมที่อยู่นอกบัฟเฟอร์เส้นทดสอบ (XB) แต่อยู่ในบัฟเฟอร์เส้นอ้างอิง (QB) ของการเพิ่มขนาดบัฟเฟอร์ในแต่ละครั้ง แล้วหารด้วยความยาวทั้งหมดของเส้นทดสอบ (สมการที่ 4.3) แบบที่ 2 คือ Oscillation แบบที่ 2 (O") เป็นการนับจำนวนรูปหลายเหลี่ยมที่อยู่ทั้งนอกบัฟเฟอร์เส้นทดสอบ (XB) และเส้นอ้างอิง (QB) หรือรูปหลายเหลี่ยมที่อยู่ระหว่างเส้นของการเพิ่มขนาดบัฟเฟอร์ในแต่ละครั้ง แล้วหารด้วยความยาวทั้งหมดของเส้นทดสอบ (สมการที่ 4.4) จากนั้นพล็อตกราฟระหว่างขนาดบัฟเฟอร์กับจำนวนรูปหลายเหลี่ยมหารด้วยความยาวทั้งหมดของเส้นทดสอบที่ได้จากแต่ละแบบ การชี้วัดค่าคลาดเคลื่อนเอนเอียง O' จะสังเกตได้จากการมีค่าการแกว่งตัวต่ำ และ O"จะสังเกตได้จากลักษณะของกราฟที่มีความชันลดลงอย่างรวดเร็ว โดยที่ค่าคลาดเคลื่อนเอนเอียงครึ่งหนึ่งโดยประมาณมีค่าเท่ากับขนาดบัฟเฟอร์ ณ ตำแหน่งเริ่มต้นของกราฟที่มีความชันลดลงอย่างรวดเร็วในรูปที่ 4.3 โดยมีรายละเอียดของการลักษณะการชี้วัดข้างล่างนี้

การชี้วัดค่าคลาดเคลื่อนเอนเอียง O' สามารถชี้วัดความคลาดเคลื่อนเอนเอียงของเส้นได้จากค่าการแกว่งตัวซึ่งมีค่าต่ำๆนั้น เนื่องจากข้อมูลเส้นที่มีความคลาดเคลื่อนเอนเอียงจะมีจำนวนรูปหลายเหลี่ยมนอกบัฟเฟอร์เส้นทดสอบ (XB) แต่อยู่ในบัฟเฟอร์เส้นอ้างอิง (QB) มีจำนวนน้อยกว่าข้อมูลเส้นที่มีเฉพาะความคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม จึงทำให้มีค่าการแกว่างตัวต่ำกว่า

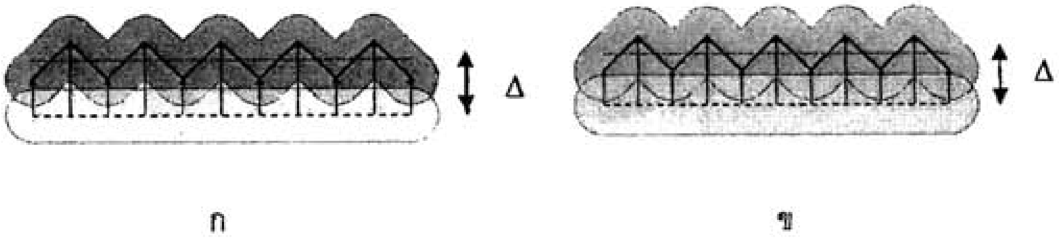
ยกตัวอย่างเช่น การเกิดความคลาดเคลื่อนเอนเอียงแบบการเลื่อน (shift) ไปในทิศทางใดทิศทางหนึ่งของเส้นทางน้ำ ซึ่งผิดจากลักษณะของเส้นทั่วไปที่มีความคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม จึงทำให้มีค่าการแกว่งตัวต่ำลง รูปที่ 4.12 ก อย่างไรก็ตามการมีค่าการแกว่งตัวสูงก็ไม่อาจแสดงถึงการปราศจากความคลาดเคลื่อนเอนเอียงได้เสมอไป ยกตัวอย่างเช่น รูปที่ 4.12 ข ซึ่งมีการแกว่งตัวสูงเนื่องจากมีรูปหลายเหลี่ยมจำนวนมาก (รูปในตัวอย่างมีรูปหลายเหลี่ยมจำนวน 13 รูป) โดยอาจคล้ายเป็นลักษณะของความคลาดเคลื่อนมีระบบหรือความคลาดเคลื่อนเอนเอียง แต่ในความเป็นจริงแล้วมีสาเหตุมาจากการเลื่อนตามทิศทางลูกศรในรูปที่ 4.12 ข

ก ข

รูปที่ 4.12 แสดงลักษณะเส้นที่มีการแกว่งตัวเนื่องจากการเลื่อน

การจะระบุถึงค่าการแกว่งต่ำๆ เพื่อใช้ชี้วัดความเอนเอียงของข้อมูลนั้นอาจไม่ชัดเจนเพียงพอ เนื่องจากลักษณะของเส้นในแต่ละประเภทมีความแตกต่างกัน ดังนั้น การกำหนดค่าการแกว่งตัวมาตรฐานสำหรับเส้นลักษณะต่างๆ อาจเป็นอีกแนวทางหนึ่งเพื่อใช้เป็นเกณฑ์ตัดสินว่ามีความเอนเอียงเกิดขึ้นได้ดียิ่งขึ้น รูปร่างของเส้นทั่วไปมีลักษณะเฉพาะตัวที่แตกต่างกัน เช่น ถนนซึ่งมักไม่แกว่งตัวหรือแกว่งตัวต่ำ แม่น้ำและชายหาดซึ่งมักมีการแกว่งตัวสูงกว่าถนน จึงทำให้การชี้บอกด้วยเกณฑ์การแกว่งตัวต้องพิจารณาในแต่ละลักษณะแยกกัน เพื่อกำหนดค่าการแกว่งตัวมาตรฐานในแต่ละลักษณะว่าควรมีค่าเท่าใดจึงจะถือได้ว่ามีความคลาดเคลื่อนเอนเอียง การกำหนดค่าการแกว่งตัวมาตรฐานนี้สามารถหาได้จากการทดสอบเส้นจำนวนมากเพียงพอในแต่ละลักษณะที่ได้กำจัดความคลาดเคลื่อนเอนเอียงให้หมดไปก่อน

การชี้วัดค่าคลาดเคลื่อนเอนเอียงด้วย O" สามารถบ่งชี้ถึงลักษณะทางรูปร่างที่แตกต่างกันได้ ยกตัวอย่างเช่น คู่เส้นตัวอย่าง C เมื่อทำบัฟเฟอร์ขนาด d_1 จะเกิดรูปหลายเหลี่ยมระหว่างเส้น จำนวน 6 รูป (รูปที่ 4.13 ก) และเมื่อเพิ่มระยะบัฟเฟอร์เป็น d_2 จะเห็นว่ารูปหลายเหลี่ยมทั้ง 6 รูปดังกล่าวหายไปทั้งหมด (รูปที่ 4.13 ข) เช่นเดียวกันกับการเปรียบเทียบเส้นทั่วไป



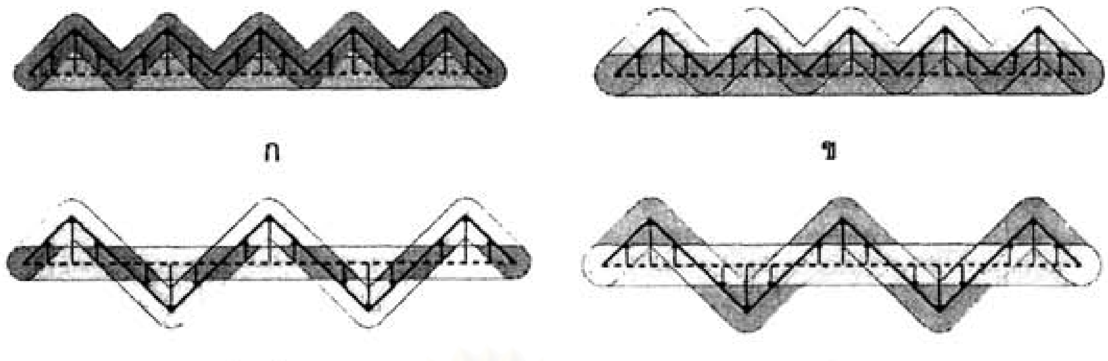
รูปที่ 4.13 แสดงบัฟเฟอร์ของคู่เส้นตัวอย่าง A เมื่อเพิ่มขนาดบัฟเฟอร์จาก d_1 (ก) เป็น d_2(ข)

หากมีความสัมพันธ์ระหว่างเส้นอย่างมีระบบ ก็จะทำให้รูปหลายเหลี่ยมจำนวนมากหายไปอย่างชัดเจนในลักษณะเดียวกัน ซึ่งสังเกตได้จากความชันที่ลดลงอย่างรวดเร็วของกราฟระหว่างขนาดบัฟเฟอร์กับจำนวนรูปหลายเหลี่ยมที่หายไปต่อความยาวทั้งหมดของเส้นทดสอบ ซึ่งเป็นลักษณะเด่นให้สามารถตรวจสอบความคลาดเคลื่อนเอนเอียงที่มีอยู่ รูปหลายเหลี่ยมจำนวนมากที่หายไปนี้แสดงฐานนิยม (mode) หรือแสดงความถี่สูงสุดของค่าคลาดเคลื่อนเอนเอียงย่อย (แสดงด้วยเส้นที่มีลูกศรด้านเดียวในเส้นตัวอย่างในรูปที่ 4.13) ซึ่งเกิดจากลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างเส้นที่มีรูปแบบเหมือนกันหรือคล้ายคลึงกันอย่างมีระบบ

ลักษณะของกราฟ O" ก่อนหน้าที่จะมีความชันลดลงอย่างรวดเร็วนั้น มักจะเกิดช่วงกราฟที่มีความชันน้อยหรือค่อนข้างคงที่อยู่ช่วงหนึ่ง เนื่องจากการคงอยู่ของจำนวนรูปหลายเหลี่ยมจำนวนมากระหว่างเส้นจริงหรือเส้นอ้างอิงกับเส้นทดสอบ ซึ่งได้รับอิทธิพลมาจากค่าคลาดเคลื่อนเอนเอียงย่อยอย่างมีระบบซึ่งเกิดจากลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างเส้นที่มีรูปแบบเฉพาะตัว แต่เมื่อระยะบัฟเฟอร์เพิ่มขึ้นจนกระถึงช่วงระยะบัฟเฟอร์หนึ่งก็จะทำให้จำนวนรูปหลายเหลี่ยมจำนวนมากนี้หายไป กราฟ oscillation จึงมีความชันลดลงอย่างรวดเร็ว ณ ระยะบัฟเฟอร์ที่มีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของค่าคลาดเคลื่อนเอนเอียงโดยประมาณ

แต่การทดสอบวัดการแกว่งตัว O" ได้พบข้อจำกัดอยู่ 3 ประการ ได้แก่

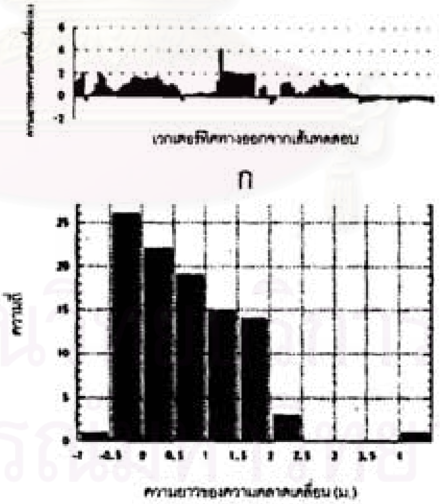
1) ทิศทางของค่าคลาดเคลื่อนเอนเอียง เนื่องจากบัฟเฟอร์ของวิธีการนี้เป็นบัฟเฟอร์ที่ออกจากทั้งด้านซ้ายและด้านขวาของเส้น ทำให้ไม่สามารถชี้วัดถึงความแตกต่างด้านทิศทางได้ ยกตัวอย่างเช่น คู่เส้นตัวอย่าง D ในรูปที่ 4.14 ก และ ข และคู่เส้นตัวอย่าง F ในรูปที่ 4.14 ค และ ง ซึ่งแสดงการเพิ่มขนาดของแต่ละคู่จากขนาดบัฟเฟอร์ d_1 เป็น d_2 เท่ากัน จะเห็นว่าจำนวนรูปหลายเหลี่ยมหายไปเป็นจำนวนเท่ากัน แต่ในความเป็นจริงแล้วเส้นทั้งสองมีความคลาดเคลื่อนเอนเอียงที่ต่างกัน แม้ว่ามีขนาดค่าคลาดเคลื่อนเอนเอียงย่อยเท่ากันก็ตามแต่ก็มีทิศทางต่างกัน



ก ข ค ง

รูปที่ 4.14 แสดงบัฟเฟอร์ของเส้นตัวอย่าง D เมื่อเพิ่มขนาดบัฟเฟอร์จาก d_1 (ก) เป็น d_2(ข) และเส้นตัวอย่าง F เมื่อเพิ่มขนาดบัฟเฟอร์จาก d_1 (ค) เป็น d_2 (ง)

ดังนั้น การนำตัวชี้วัดการแกว่งตัว O' ไปประยุกต์ใช้งานจึงควรคำนึงถึงข้อจำกัดทางด้านทิศทางนี้ด้วย ข้อจำกัดนี้ทำให้การชี้วัดค่าคลาดเคลื่อนเอนเอียงเป็นแบบ "การวัดค่าคลาดเคลื่อนเอนเอียงแบบไม่คิดทิศทาง" ซึ่งทำให้ไม่สามารถทราบถึงลักษณะความเบ้ของค่าคลาดเคลื่อนเอนเอียงที่มีอยู่ในชุดข้อมูลได้ หากนำไปเปรียบเทียบกับวิธี Point-correspondence ซึ่งมีพื้นฐานมาจากการวัดระยะของคู่จุดตลอดแนวเส้น วิธี Point-correspondence สามารถชี้วัดค่าคลาดเคลื่อนเอนเอียงและความเบ้ได้ชัดเจนกว่า โดยแสดงได้จากทั้งกราฟค่าคลาดเคลื่อน ในรูปที่ 4.15 ก (รูปเดียวกับ 2.12 ก) และกราฟฮิตโตแกรมของค่าคลาดเคลื่อน ในรูปที่ 4.16 ข (รูปเดียวกับ 2.12 ข)



ก ข

รูปที่ 4.15 แสดงกราฟค่าคลาดเคลื่อนเอนเอียง (ก) และฮิสโตแกรมค่าคลาดเคลื่อนเอนเอียง (ข)

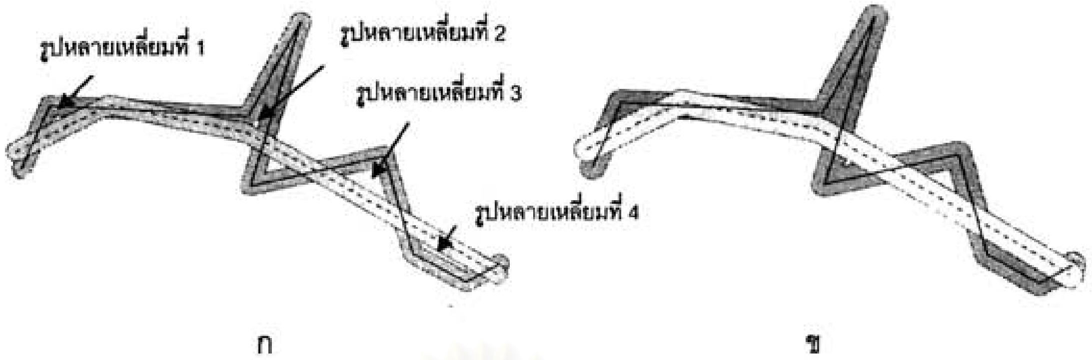
อย่างไรก็ตามวิธี Point-correspondence ก็มีปัญหาความยุ่งยากในการจับคู่จุดที่ถือว่าเป็นตัวแทนวัตถุเดียวกันและยังพบปัญหาสำคัญอีกอย่างหนึ่งก็คือ การนำเข้าข้อมูลเส้นด้วยการดิจิไตซ์ไม่สามารถคงทิศทางของการนำเข้าตลอดแนวเส้น โดยบางส่วนของเส้นนำเข้าจากซ้ายไป

ขวาและบางส่วนจากขวามาซ้าย ซึ่งทำให้ทิศทางของค่าคลาดเคลื่อนที่ได้จากการไม่คงทิศทางนี้กลับทิศทางจากความเป็นจริง จึงมีความยุ่งยากเพิ่มขึ้นต่อการแก้ไขทิศทางของการนำเข้าให้มีทิศทางเดียวกันตลอดแนวเส้น

2) การให้ผลการชี้วัดที่ไม่เท่ากัน เกิดจากรูปหลายเหลี่ยมหายไปจำนวนไม่เท่ากัน ทั้งที่ความคลาดเคลื่อนเอนเอียงครอบคลุมเส้นทดสอบเป็นระยะทางเท่ากัน (D) เช่น เส้นตัวอย่าง D ในรูปที่ 4.16 ก และ ข และเส้นตัวอย่าง G ในรูปที่ 4.16 ก และ ข ซึ่งแสดงการเพิ่มขนาดของแต่ละคู่จากขนาดบัฟเฟอร์ d_1 เป็น d_2 เช่นเดียวกัน มีรูปหลายเหลี่ยมหายไปจำนวนไม่เท่ากัน คือ 5 รูป และ 1 รูป ตามลำดับ ข้อจำกัดนี้ทำให้เกิดความผิดพลาดขึ้นสำหรับกรณีที่คู่เส้นมีลักษณะเช่นเส้นตัวอย่าง H และ G อยู่ร่วมกัน

รูปที่ 4.16 แสดงบัฟเฟอร์ของเส้นตัวอย่าง H เมื่อเพิ่มขนาดบัฟเฟอร์จาก d_1 (ก) เป็น d_2(ข)

3) การกระทำต่อกันของบัฟเฟอร์เส้นเดียวกัน เนื่องจากการมีรูปหลายเหลี่ยมหายไปอีกเป็นจำนวนหนึ่ง ซึ่งไม่ได้เกิดจากความคลาดเคลื่อนเอนเอียงระหว่างเส้น แต่เกิดจากการกระทำต่อกันของบัฟเฟอร์เส้นเดียวกัน ยกตัวอย่างเช่น รูปหลายเหลี่ยมที่ 2 ซึ่งเกิดจากการกระทำของบัฟเฟอร์เส้นเดียวกันได้หายไปพร้อมกับ รูปหลายเหลี่ยมที่ 1 และ 3 ซึ่งเกิดจากความคลาดเคลื่อนเอนเอียง เมื่อเพิ่มขนาดบัฟเฟอร์จาก d_1 เป็น d_2 ในรูปที่ 4.17 ก และ ข ตามลำดับ หากชุดข้อมูลใดๆ มีหายไปของรูปหลายเหลี่ยมดังกล่าวเช่นนี้ร่วมกัน ก็อาจทำให้เกิดความผิดพลาดในการชี้วัดความคลาดเคลื่อนเอนเอียงขึ้นได้ และส่งผลถึงการวัดความถูกต้องเชิงตำแหน่งอีกด้วย แต่อย่างไรก็ตามการหายไปร่วมกันของรูปหลายเหลี่ยมลักษณะเช่นนี้พบอยู่จำนวนไม่มากนัก โดยเกิดขึ้นเฉพาะส่วนของเส้นที่มีความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มจำนวนหนึ่ง ซึ่งมีขนาดเท่ากับส่วนของเส้นที่มีความคลาดเคลื่อนขนาดใหญ่



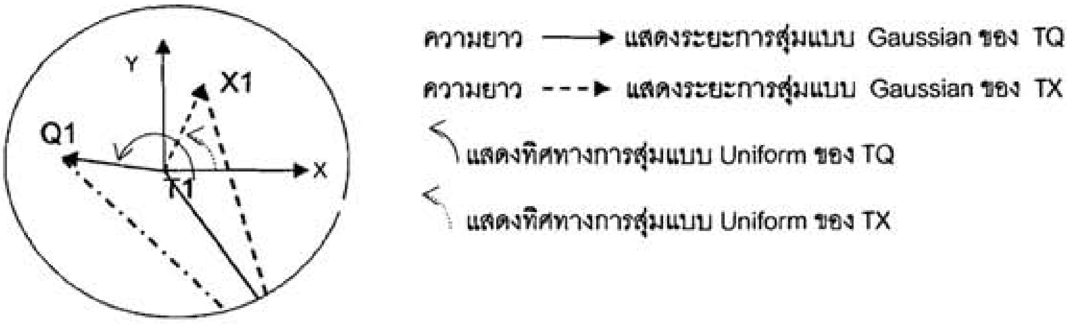
รูปที่ 4.17 แสดงบัฟเฟอร์ของเส้นตัวอย่างซึ่งเกิดจากการกระทำของบัฟเฟอร์เดียวกัน

4.6 การทดสอบความเหมาะสมของค่าปรับแก้อันเนื่องมาจากทิศทางความคลาดเคลื่อน

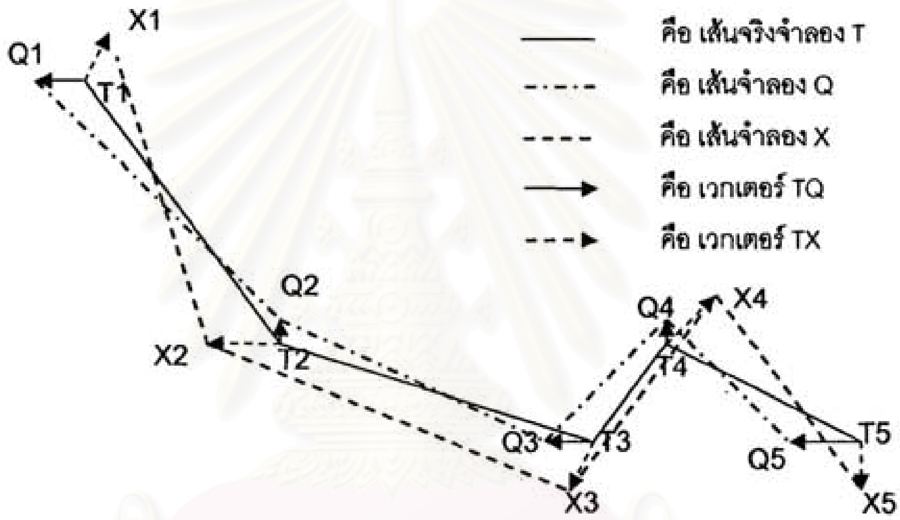
จากผลการทดสอบเบื้องต้นพบว่า ค่าปรับแก้อันเนื่องมาจากทิศทางความคลาดเคลื่อน ($\pi/2$) ทำให้ค่า DE' และ DE" ที่ได้จากสมการที่ 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ มีค่ามากเกินไปสำหรับคู่เส้นในบางกรณี ทำให้เกิดข้อสงสัยถึงความเหมาะสมของการปรับแก้ด้วยค่านี้ ดังนั้นจึงสร้างคู่เส้นจำลองซึ่งมีคู่จุดต่างๆ (คู่จุดเหล่านี้ถือว่าเป็นตัวแทนวัตถุเดียวกัน) ที่มีระยะและทิศทางจากการสุ่มโดยปราศจากความลำเอียงในการสร้างเพื่อต้องการทราบค่าปรับแก้ที่สอดคล้องกับความเป็นจริง

ผู้วิจัยได้เริ่มสร้างเส้นจริงจำลองขึ้นก่อน จากนั้นสร้างคู่เส้นจำลองขึ้น 3 แบบ คือ A B และ C ซึ่งมุ่งสร้างคู่เส้นที่มีลักษณะต่างกันแต่ยังคงความสัมพันธ์ของคู่จุดแต่ละคู่เมื่อเทียบกันระหว่างแบบมีทั้งระยะและทิศทางเหมือนกันทุกประการ

เส้นจริงจำลองขึ้นสร้างจากวิธีใช้การสุ่มพิกัดตำแหน่งของจุดจริงจำลองบนเส้นเรียงตามลำดับ ซึ่งจุดพิกัดทางแกน X สุ่มจากตัวเลขสุ่มแบบทั้งแบบ Uniform และ Gaussian และจุดพิกัดทางแกน Y สุ่มจากตัวเลขสุ่มแบบ Gaussian เนื่องจากต้องการสร้างเส้นจริงจำลองที่มีลักษณะที่หลากหลายและปราศจากความลำเอียงในการสร้าง จากนั้นสร้างคู่เส้นจำลองแบบ A เป็นเส้น Q และ เส้น X เพื่อใช้วัดความถูกต้องระหว่างกัน โดยเส้นจำลองแต่ละเส้นสร้างขึ้นจากการสุ่มตำแหน่งของจุดจำลองเรียงตามลำดับแยกชุดกัน ซึ่งแต่ละจุดของจุดจำลองมีระยะห่างจากจุดจริงจำลองด้วยการสุ่มแบบ Gaussian และมีทิศทางด้วยการสุ่มแบบ Uniform และเรียกเวกเตอร์จากเส้นจริงจำลอง T ไปยังเส้นจำลอง Q และ X ที่เกิดจากการสุ่มระยะและทิศทางนี้ว่า เวกเตอร์ TQ และ เวกเตอร์ TX ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.18 โดยจุดจำลองมีตำแหน่งอ้างอิงจากจุดจริงจำลองเรียงตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.19

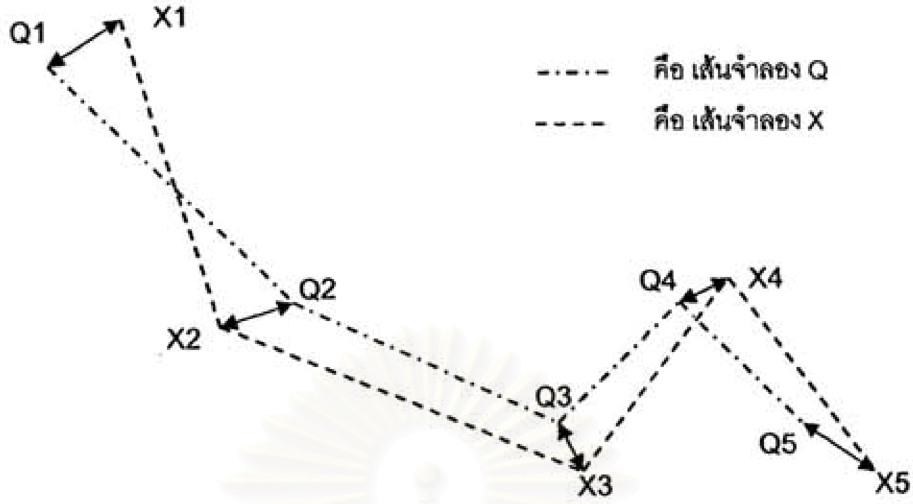


รูปที่ 4.18 แสดงระยะและทิศทางจากการสุ่ม



รูปที่ 4.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเส้นจริงจำลองกับคู่เส้นจำลองแบบ A

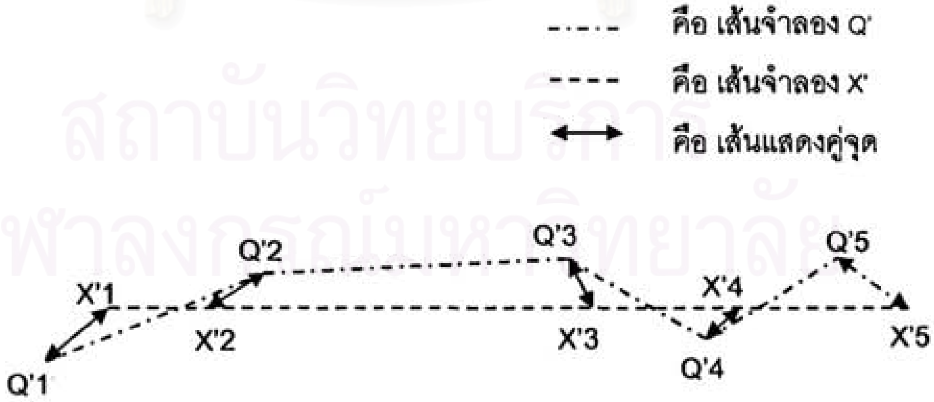
(ยกตัวอย่างเช่น จุดจำลองที่ Q1,Q2,Q3,...,Qn ของเส้น Q_i และ จุดจำลองที่ X1,X2,X3,...,Xn ของ X_i ตามลำดับ มีตำแหน่งอ้างอิงมากจากจุดจริงจำลองที่ T1,T2,T3...,Tn ตามลำดับ เมื่อ n คือ จำนวนจุดจริงจำลองทั้งหมด) ทำให้เกิดคู่จุดที่สัมพันธ์กันหรือถือได้ว่าเป็นตัวแทนวัตถุเดียวกัน เช่น จุดจำลองที่ 1 ของเส้น Q และ X คือ Q1 และ X1 เป็นคู่จุดกัน และจุดจำลองที่ 2,3,4,...,n ของเส้น Q และ X คือ Q1 และ X1, Q2 และ X2 , Q3 และ X3 ,..., Qn และ Xn เป็นคู่จุดกันตามลำดับ ซึ่งคู่จุดเหล่านี้มีระยะและทิศทางต่างๆ แสดงด้วยเวกเตอร์ TQ และ TX ตามสมมติฐานของการกระจายของความคลาดเคลื่อนและทิศทาง โดยแสดงคู่เส้นจำลองแบบที่ 1 ในรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 แสดงตัวอย่างของคู่เส้นจำลองแบบ A

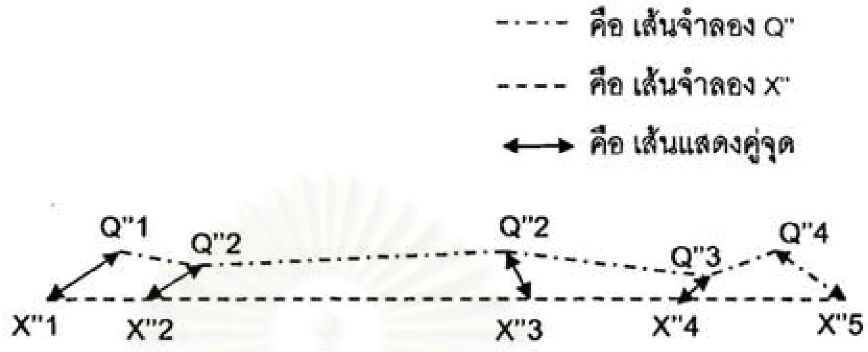
จากนั้นปรับเปลี่ยนลักษณะของเส้นจำลอง Q และ X ใหม่ แต่ยังคงความสัมพันธ์ของคู่จุด หรือคงทั้งระยะและทิศทางของคู่จุดไว้เช่นเดิมเสมอ ทำให้มีคู่เส้นตัวอย่างมีลักษณะที่หลากหลายมากขึ้นเพื่อใช้ทดสอบความเหมาะสมของการปรับแก้ $\pi/2$ โดยได้สร้างเส้นจำลองใหม่เพิ่มขึ้นอีก 2 แบบ คือ

คู่เส้นจำลองแบบ B เป็นการวางตำแหน่งให้เส้น Q หรือ X ใหม่ โดยแปลงให้เส้นใดเส้นหนึ่งเป็นเส้นตรง กรณีนี้แปลงเส้น X ให้กลายเป็นเส้นตรง ทำให้ได้เส้น Q' และ X' มีการตัดกันของเส้นน้อยลง ดังแสดงในรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 แสดงตัวอย่างของคู่เส้นจำลองแบบ B

คู่เส้นจำลองแบบ C เป็นการวางตำแหน่งใหม่โดยไม่ให้เส้น Q หรือ X เกิดการตัดกัน ทำให้ได้คู่เส้นใหม่ คือ เส้น Q'' และ X'' ดังแสดงในรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.22 แสดงตัวอย่างของคู่เส้นจำลองแบบ C

ส่วนเหตุผลของการเลือกใช้แบบการสุ่มต่างๆเพื่อจำลองเส้นขึ้น สามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

1) การสุ่มระยะห่างระหว่างจุดจำลอง (บนเส้น X) กับจุดอ้างอิง (บนเส้น Q) ใช้การสุ่มด้วยตัวเลขสุ่มแบบ Gaussian เนื่องจากตัวเลขสุ่มแบบ Gaussian ทำให้กราฟค่าคลาดเคลื่อน (ระยะห่างระหว่างจุดจำลองกับจุดอ้างอิง) ทั้งหมด มีลักษณะของการแจกแจงแบบปกติ (normal distributed) หรือระฆังคว่ำ (bell curve) เช่นเดียวกับลักษณะที่เกิดขึ้นกับข้อมูลจริงที่ได้กำจัดความผิดพลาดขนาดใหญ่ (gross errors) และความคลาดเคลื่อนมีระบบออกจากปริมาณการวัดให้เหลือเพียงแต่ความคลาดเคลื่อนสุ่มเท่านั้น องค์ประกอบทางสถิติที่เกี่ยวข้องกับการแจกแจงปกติเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญ คือ ค่าเฉลี่ย (mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) โดยพารามิเตอร์ทั้งสองจะใช้ตัวแปรอิสระเพื่อสร้างจุดจำลองของเส้นแต่ละเส้น

2) การสุ่มทิศทางใช้ตัวเลขสุ่มแบบ Uniform เนื่องจากตัวเลขสุ่มแบบ Uniform เป็นการสุ่มที่ทำให้ตัวเลขต่างๆ มีโอกาสเกิดขึ้นเท่าๆกัน จึงทำให้ทิศทางของจุดจำลองมีโอกาสเกิดขึ้นในทิศทางต่างๆ โดยไม่มีความเอนเอียง เพื่อจำลองทิศทางตามสมมติฐานของการกระจายทิศทางของจุดต่างๆ สำหรับใช้เป็นคู่จุด

การทดลองนี้ได้นำคู่เส้นจำลองทั้ง 3 แบบ เพื่อหาค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยด้วยวิธี BOS ค่าปรับแก้จากการทดสอบ และผลต่างระหว่างค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่ได้กับค่าตามนิยาม ซึ่งแสดงผลการทดสอบในตารางที่ 4.9 และตารางที่ 4.10 ข้างล่างนี้

ตารางที่ 4.9 แสดงผลการทดสอบหาค่าปรับแก้อันเนื่องมาจาก
ทิศทางความคลาดเคลื่อนของเส้นจำลอง

ชุดข้อมูล	จำนวนคู่จุด, จำนวน segment	RMSE, S.D. ของ Q	RMSE, S.D. ของ X	จำนวนจุดตัด	ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยตามนิยาม (d)	DE , DE'	ค่าปรับแก้จากการทดสอบ (F)**	ร้อยละผลต่างระหว่าง F กับ π /2
1-A*	200,199	201.68,19.59	100.37,9.34	176	112.57	90.31,141.79	1.25	20.61
1-B	200,199			114	127.06	95.23,149.51	1.33	15.02
1-C	200,199			0	211.15	134.49,211.15	1.57	0.00
2-A	500,499	506.35,102.78	120.53,83.44	492	260.08	214.16,336.23	1.21	22.65
2-B	500,499			256	335.19	240.83,378.10	1.39	11.35
2-C	500,499			0	508.64	323.96,508.62	1.57	0.00

* 1-A คือ คู่เส้นตัวอย่างที่ 1 - คู่เส้นจำลองแบบที่ A

** ค่าปรับแก้จากการทดสอบ (F) = ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยตามนิยาม / DE

DE คือ สูตรการคำนวณค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย<u>ที่ไม่มี</u>ค่าปรับแก้อันเนื่องมาจากทิศทางความคลาดเคลื่อน($\pi/2$)

DE' คือ สูตรการคำนวณค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย<u>ที่มี</u>ค่าปรับแก้อันเนื่องมาจากทิศทางความคลาดเคลื่อน ($\pi/2$)

ผลทดสอบพบว่าคู่เส้นแบบ C ของชุดข้อมูล 1-C และ 2-C ให้ค่าปรับแก้จากการทดสอบใกล้เคียงกับ $\pi/2$ มากที่สุด คือ 5.73% และ 0% ตามลำดับ และคู่เส้นแบบที่ B และ A ให้ค่าปรับแก้จากการทดสอบต่างจาก $\pi/2$ มากขึ้นตามลำดับ ในกรณีตัวอย่างคู่เส้นแบบ C นั้นพบว่าค่าปรับแก้ทิศทางความคลาดเคลื่อนของสมการ DE' (สมการที่ 4.2) สามารถปรับแก้ทิศทางของความคลาดเคลื่อนได้ดีและทำให้ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยระหว่างเส้นใกล้เคียงกับค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยตามนิยาม (ค่าปรับแก้ทิศทางความคลาดเคลื่อนมีค่าใกล้เคียงกับค่าปรับแก้จากการทดสอบ) เนื่องจากไม่มีผลกระทบจากการตัดกันของเส้น แต่ในกรณีตัวอย่างคู่เส้นแบบ B หรือแบบ A ที่มีการตัดกันเส้นนั้นพบว่าร้อยละผลต่างระหว่าง F กับ $\pi/2$ มีค่ามากขึ้นตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าปรับแก้ทิศทางความคลาดเคลื่อนสามารถปรับแก้เพื่อให้ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยระหว่างเส้นสอดคล้องกับค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยตามนิยามได้ลดน้อยลง เนื่องจากมีผลจากการตัดกันของเส้น

เข้ามาเกี่ยวข้องซึ่งทำให้การคำนวณค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยตามนิยามได้นำค่าศูนย์ ณ จุดตัดกันของเส้นมาร่วมคำนวณด้วย จึงทำให้ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยตามนิยามมีค่าน้อยลง และการคำนวณค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของวิธี BOS ก็ได้มาจากปริมาณพื้นที่การวางซ้อนของบัฟเฟอร์ซึ่งการได้รับผลกระทบจากการตัดกันของเส้นเช่นเดียวกัน จึงทำให้ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย DE' มีค่าน้อยลงเช่นเดียวกันด้วย (ทั้งค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยตามนิยามและค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย DE' จะมีค่าน้อยลงเมื่อจำนวนจุดตัดเพิ่มขึ้น)

ดังนั้น การใช้ค่าปรับแก้ทิศทางความคลาดเคลื่อน ($\pi/2$) จึงอาจยังไม่เหมาะสมกับปรับแก้สูตรการคำนวณเพื่อใช้หาค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยระหว่างเส้นที่ครอบคลุมเส้นที่มีอยู่หลากหลายลักษณะ ดังเช่น ชุดข้อมูลจำลองแบบต่างๆ ที่พบว่าร้อยละผลต่างระหว่างค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย DE' กับค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยตามนิยาม (ในตารางที่ 4.10) มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อจำนวนจุดตัดมีมากขึ้น ส่วนร้อยละผลต่างระหว่างค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย DE กับค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยตามนิยามกลับมีค่าลดลง เมื่อจำนวนจุดตัดมีมากขึ้น

ตารางที่ 4.10 แสดงร้อยละผลต่างระหว่างค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่ได้กับค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยตามนิยามของเส้นจำลอง

ชุดข้อมูล	จำนวนคู่จุด , จำนวน segment	จำนวนจุดตัด	ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยตามนิยาม (d)	DE , DE'	ร้อยละผลต่างระหว่าง DE กับ d	ร้อยละผลต่างระหว่าง DE' กับ d
1-A	200,199	176	112.57	90.31,141.79	19.77	25.96
1-B	200,199	114	127.06	95.23,149.51	25.05	17.67
1-C	200,199	0	211.15	134.49,211.15	36.31	0.00
2-A	500,499	492	260.08	214.16,336.23	17.66	29.28
2-B	500,499	256	335.19	240.83,378.10	28.15	12.80
2-C	500,499	0	508.64	323.96,508.62	36.31	0.00

โดยทั่วไปแล้วกรณีชุดข้อมูลจำลองแบบ C ที่ไม่มีการตัดกันของเส้นแทบจะไม่เกิดขึ้นจริงได้เลย ส่วนชุดข้อมูลที่มีการตัดกันอยู่จำนวนหนึ่งมักพบอยู่เสมอ ซึ่งเป็นประเด็นที่ค่าปรับแก้ทิศทางความคลาดเคลื่อน ($\pi/2$) ทำให้ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย DE' มีค่าสูงเกินจริงไป แต่การไม่ใช้

ค่าปรับทิศทางความคลาดเคลื่อน ($\pi/2$) ในสูตรสมการ DE ก็ยังทำให้ร้อยละค่าต่างระหว่างค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย DE กับค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยตามนิยามอยู่มากพอควร

ดังนั้น ค่าปรับแก้ทิศทางความคลาดเคลื่อนที่เหมาะสมกว่าอาจได้มาจากการทดสอบจำนวนมากเพียงพอกับคู่เส้นทั่วๆ ไปในแต่ละประเภทที่มีลักษณะเฉพาะตัวที่แตกต่างกัน เช่น เส้นคมนาคม เส้นทางน้ำ หรือเส้นชายฝั่งทะเล เป็นต้น เพื่อหาค่าปรับแก้อันเนื่องมาจากทิศทางความคลาดเคลื่อนที่เหมาะกับเส้นในแต่ละประเภทดังกล่าว

บทที่ 5
การทดสอบกับข้อมูลเส้นภูมิศาสตร์จริง

ในบทนี้เป็นการทดสอบวิธีสถิติบัฟเฟอร์โอเวอร์เลย์กับข้อมูลเส้นภูมิศาสตร์จริง เพื่อให้เกิดความมั่นใจต่อการนำวิธีการนี้ไปใช้ประยุกต์ใช้งาน ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

5.1 ข้อมูลที่ใช้ทดสอบ

ข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบเป็นข้อมูลเส้นทางคมนาคมที่อยู่ในบริเวณ จ. กาญจนบุรี ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

5.1.1 ชุดข้อมูลดิจิตอล L7018

ข้อมูลนี้ผลิตโดยกรมแผนที่ทหาร กองบัญชาการทหารสูงสุด มีมาตราส่วน 1: 50,000 datum : WGS84 การฉาย (projection) : UTM และจำนวน arc segment เท่ากับ 2090 ส่วน ในการทดสอบบทนี้ใช้เป็นเส้นอ้างอิง (Q) แสดงในรูปที่ 5.1

รูปที่ 5.1 แสดงข้อมูล L7018

5.1.2 ชุดข้อมูลดิจิตอล ESRI

ข้อมูลนี้ผลิตโดยบริษัท ESRI มีความถูกต้องอยู่ในเกณฑ์มาตราส่วน 1: 20,000 datum : Indian 1975 (ได้รับการแปลงมาก่อนแล้ว) การฉาย : UTM และจำนวน arc segment เท่ากับ 637 ส่วน ในการทดสอบบทนี้ใช้เป็นเส้นทดสอบ (X) แสดงในรูปที่ 5.2

รูปที่ 5.2 แสดงข้อมูล ESRI

5.1.2 ชุดข้อมูลดิจิตอล ESRI ที่ได้รับการแปลง datum

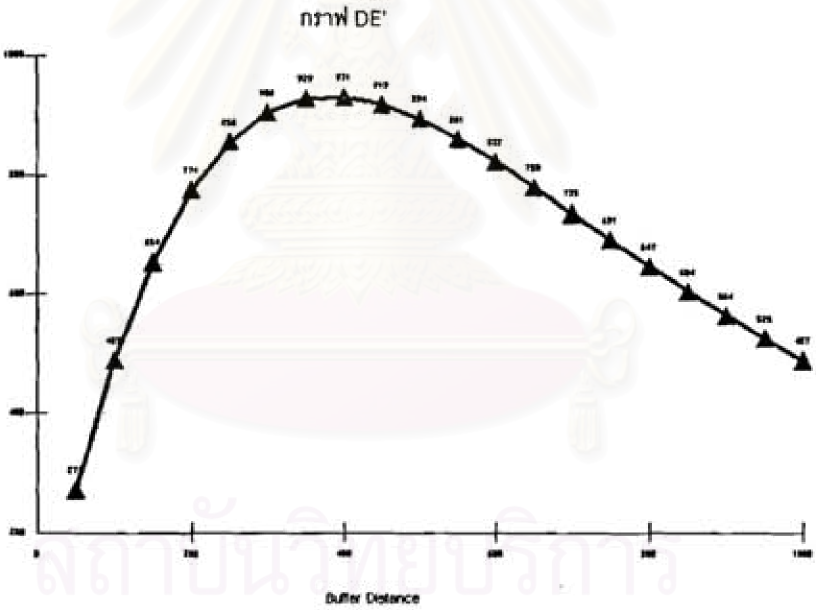
ชุดข้อมูลนี้เป็นชุดข้อมูลเดียวกันกับชุดข้อมูล ESRI เดิม แต่ได้รับการแปลง datum จาก Indian 1975 เป็น WGS84 ในการทดสอบบทนี้ใช้เป็นเส้นอ้างอิง (X')

5.2 การหาค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย

5.2.1 การหาค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยด้วยสมการ DE' และ DE แบบไม่แก้ไขข้อมูล

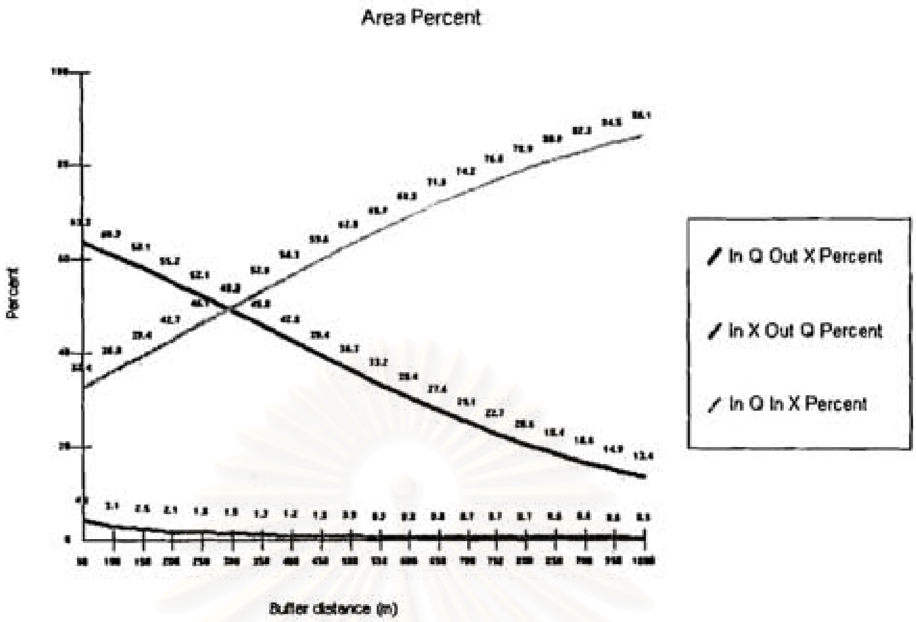
การทดสอบนี้ใช้สมการ DE' และ DE ในการหาค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยระหว่างเส้น Q กับ X' ซึ่งไม่ได้พิจารณาถึงผลกระทบด้าน completeness และ miscodings โดยใช้ชุดข้อมูลที่ไม่ได้แก้ไขข้อมูลแต่อย่างใด การทดสอบใช้การวนซ้ำ 20 ครั้ง ขนาดบัฟเฟอร์เริ่มต้น 50 เมตร แต่ละครั้งของการวนซ้ำเพิ่มขนาดบัฟเฟอร์ 50 เมตร

ผลของการทดสอบด้วยสมการ DE' และ DE (แสดงในรูปที่ 5.3 เฉพาะกราฟ DE' เท่านั้น แต่ไม่ได้แสดงกราฟ DE เนื่องจากค่า DE ใช้ผลคำนวณร่วมกับ DE' แต่ปรับค่า DE ลดลง $\pi/2$ เท่า เนื่องด้วยสมการ DE ไม่มีพจน์ปรับแก้ทิศทางความคลาดเคลื่อน $\pi/2$) สามารถหาค่าคลาดเคลื่อนได้เท่ากับ 931.41 เมตร และ 593.25 เมตร ตามลำดับ แต่ค่าคลาดเคลื่อนที่ได้จากจุดที่ระบุจำแนกได้ชัดเจนมีค่าเพียง 6.36 เมตรเท่านั้น ซึ่งค่าที่ได้มีความแตกต่างกันมาก สาเหตุเนื่องมาจากข้อมูลมีรายละเอียดแตกต่างกันมาก โดยสังเกตได้จากเส้น Q มีรายละเอียดของข้อมูล คือ ถนนย่อยๆ มากกว่าเส้น X อยู่มากมาย ซึ่งเห็นได้ชัดเจนว่าไม่ถือว่าเป็นตัวแทนวัตถุเดียวกัน โดยที่ข้อมูล Q มีความยาวมากกว่าข้อมูล X เท่ากับ 2.72 เท่า และเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ค่าคลาดเคลื่อนด้วยสมการ DE' และ DE มีค่ามากกว่าค่าคลาดเคลื่อนตามนิยามเป็นอย่างมาก ดังนั้น การค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยระหว่างเส้นที่มีรายละเอียดของข้อมูลแตกต่างกันมากๆ เช่นนี้ จึงไม่เหมาะสมที่จะใช้กับการหาค่าคลาดเคลื่อนด้วยสมการ DE' และ DE



รูปที่ 5.3 แสดงกราฟ DE' ในการหาค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยระหว่างเส้น Q กับ X'

จากรูปกราฟสังเกตเห็นว่าเส้นกราฟ DE' ไม่ได้ราบต่อเนื่องไป แต่กลับลดลงอย่างต่อเนื่องหลังจากเกิดจุดเริ่มราบแล้ว ซึ่งไม่เป็นดังเช่นที่ Havard Tveite และ Sindre Langaas ได้นำเสนอไว้ เนื่องจากข้อมูล Q กับ X มีรายละเอียดแตกต่างกันมาก หรือมีระดับเจนเนอรัลไรเซชันต่างกันมาก จึงทำให้บัฟเฟอร์ที่อยู่นอก X และใน Q มีจำนวนน้อยมากผิดปกติ ซึ่งสามารถแสดงให้เห็นด้วยกราฟร้อยละของพื้นที่ต่างๆ ที่เกิดจากบัฟเฟอร์ของข้อมูล Q กับ X' ในรูปที่ 5.4

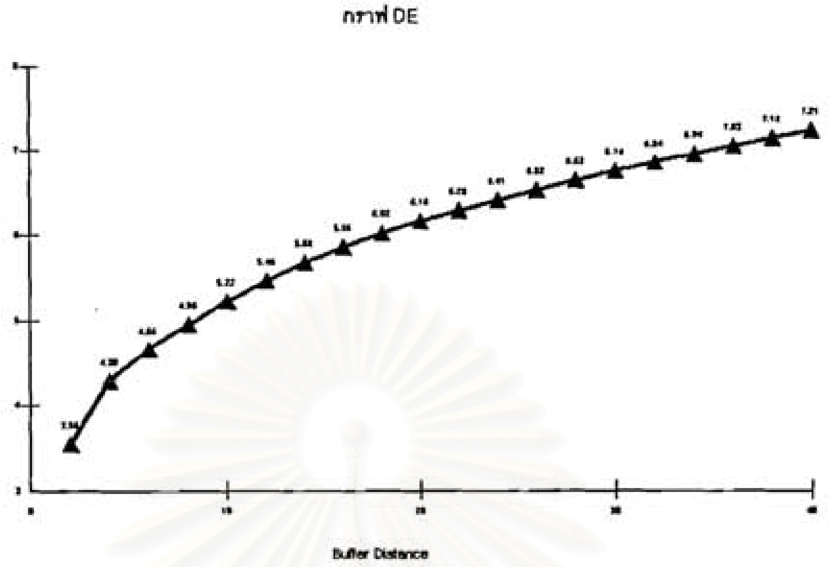


รูปที่ 5.4 แสดงกราฟร้อยละของพื้นที่ต่างๆ ที่เกิดจากบัฟเฟอร์ของข้อมูล Q กับ X'

5.2.2 การหาค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยด้วยสมการ DE' และ DE แบบแก้ไขข้อมูล

จากการทดสอบในหัวข้อ 5.2 ซึ่งใช้สมการที่ DE' และ DE เพื่อหาค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของข้อมูลที่มีปัญหาของปัจจัยด้าน completeness และ miscodings ซึ่งทำให้ค่าที่ได้ไม่สอดคล้องกับความเป็นจริง การทดสอบในหัวข้อนี้จึงมุ่งตัดปัญหานี้ก่อนการนำมาหาค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย ด้วยการแก้ไขข้อมูล Q กับ X' ให้เหลือแต่ข้อมูลที่ถือว่าเป็นวัตถุเดียวกันเท่านั้น

ผลของการทดสอบหาค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกับข้อมูล Q กับ X' ที่แก้ไขข้อมูลได้ผลลัพธ์ คือ ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย DE' มีค่าเท่ากับ 4.30 เมตร (กราฟในรูปที่ 5.5) และ DE มีค่าเท่ากับ 2.74 เมตร ส่วนค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่ได้จากจุดที่ระบุจำแนกได้ชัดเจนมีค่าเท่ากับ 6.36 เมตร ซึ่งแสดงให้เห็นถึงประเด็น 2 ประการ คือ ประเด็นที่ 1 : การหาค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยด้วยสมการ DE' และ DE เหมาะกับข้อมูลที่มีแต่เฉพาะตัวแทนที่เป็นวัตถุสิ่งเดียวกัน เนื่องจากไม่ได้นำส่วนข้อมูลที่ไม่ถือว่าเป็นวัตถุมาร่วมคำนวณ ซึ่งเป็นปัจจัยที่ทำให้ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่ได้ใกล้เคียงกับค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่ได้จากจุดที่ระบุจำแนกได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ประเด็นที่ 2 : ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย DE' และ DE มีค่าน้อยกว่าค่าเฉลี่ยที่ได้จากจุดที่ระบุจำแนกได้ชัดเจน เนื่องจากค่าเฉลี่ยที่ได้จากจุดที่ระบุจำแนกได้ชัดเจนยังไม่รวมค่าศูนย์ ณ จุดตัดกันของเส้น ซึ่งทำให้ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยตามจริงมีค่าลดลง และอาจมีค่าใกล้เคียงกับ DE ก็เป็นได้ ผลที่แสดงออกมาเช่นนี้เป็นการเน้นให้เห็นว่าจุดอื่นๆ นอกเหนือจากจุดที่ระบุจำแนกได้ชัดเจนก็มีผลต่อการวัดความถูกต้องเชิงตำแหน่งตามที่ได้ตั้งสมมติฐานไว้



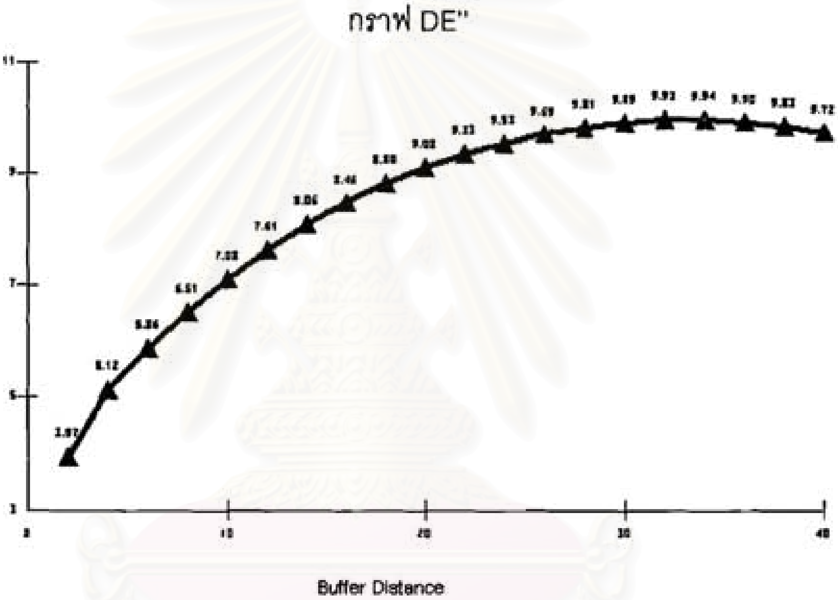
รูปที่ 5.5 แสดงกราฟ DE' ในการหาค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของเส้น Q กับ X' แบบแก้ไขข้อมูล

5.2.3 การหาค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยด้วยสมการ DE"

จากการทดสอบในหัวข้อ 5.2 แสดงให้เห็นถึงความไม่เหมาะสมต่อการหาค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยด้วย DE และ DE' สำหรับข้อมูลที่มีรายละเอียดหรือมีระดับเจนเนอรัลไรเซชันแตกต่างกันมาก เนื่องจากทำให้ค่าที่ได้ต่างจากค่าคลาดเคลื่อนที่ได้จากจุดที่ระบุจำแนกได้ชัดเจนอยู่มาก รายละเอียดที่แตกต่างกันนี้ควรได้รับการพิจารณาก่อนว่าเป็นวัตถุเดียวกันหรือไม่ ซึ่งการคำนึงถึงปัจจัยด้าน completeness และ miscodings นี้เป็นประโยชน์ต่อการหาค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยด้วยสมการ DE" เพื่อต้องการกำจัดส่วนของเส้นที่ไม่ได้ถือว่าเป็นวัตถุเดียวกันออกไปและทำให้ผลการคำนวณสอดคล้องกับความเป็นจริงมากขึ้น การทดสอบนี้ทำการทดสอบหาค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยระหว่างข้อมูล Q กับ X' ที่ไม่ได้แก้ไข โดยการสร้างบัฟเฟอร์ขนาด 15 เมตร (ขนาดประมาณ 2 เท่าของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน) เพื่อตรวจสอบ completeness และ miscodings และกำจัดส่วนที่ไม่ถือว่าเป็นวัตถุเดียวกันออกไป หลังจากนั้นดำเนินการวนซ้ำ 20 ครั้ง ด้วยขนาดบัฟเฟอร์เริ่มต้น 2 เมตร และเพิ่มขนาดบัฟเฟอร์ 2 เมตร ในแต่ละครั้งของการวนซ้ำ

ผลการการทดสอบสามารถหาค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย DE" เท่ากับ 9.94 เมตร (แสดงกราฟในรูปที่ 5.6) และหาค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย DE" กรณีไม่ใช้ค่าปรับแก้อันเนื่องมาจากทิศทางความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 6.33 เมตร ซึ่งมีค่าทั้งสองมีใกล้เคียงกับค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่ได้จากจุดระบุจำแนกได้ชัดเจนคือ 6.36 เมตร เนื่องจากพจน์ปรับแก้ completeness และ miscodings ที่มีอยู่

ในสมการ DE" (สมการที่ 3.2) สามารถกำจัดส่วนที่ไม่ถือว่าเป็นวัตถุเดียวกันออกไปได้ เพื่อเปรียบเทียบเฉพาะส่วนที่เป็นถือว่าเป็นวัตถุเดียวกัน จึงทำให้ค่าคลาดเคลื่อน DE" ใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยที่ได้จากจุดระบุจำแนกได้ชัดเจน และสิ่งสำคัญอีกสิ่งหนึ่งก็คือ การเลือกขนาดบัฟเฟอร์ที่เหมาะสมเพื่อใช้ตรวจสอบ completeness และ miscodings ดังนั้น ผลของการหาค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย DE" เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการหาค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสำหรับข้อมูลที่มีรายละเอียดหรือมีระดับเจนเนอรัลไรเซชันแตกต่างกัน โดยไม่ต้องเสียเวลาในการแก้ไขข้อมูลให้เหลือเฉพาะข้อมูลที่เป็นตัวแทนสิ่งเดียวกันเพื่อใช้เปรียบเทียบกัน



รูปที่ 5.6 แสดงกราฟ DE'' ในการหาค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยระหว่างเส้น Q กับ X'

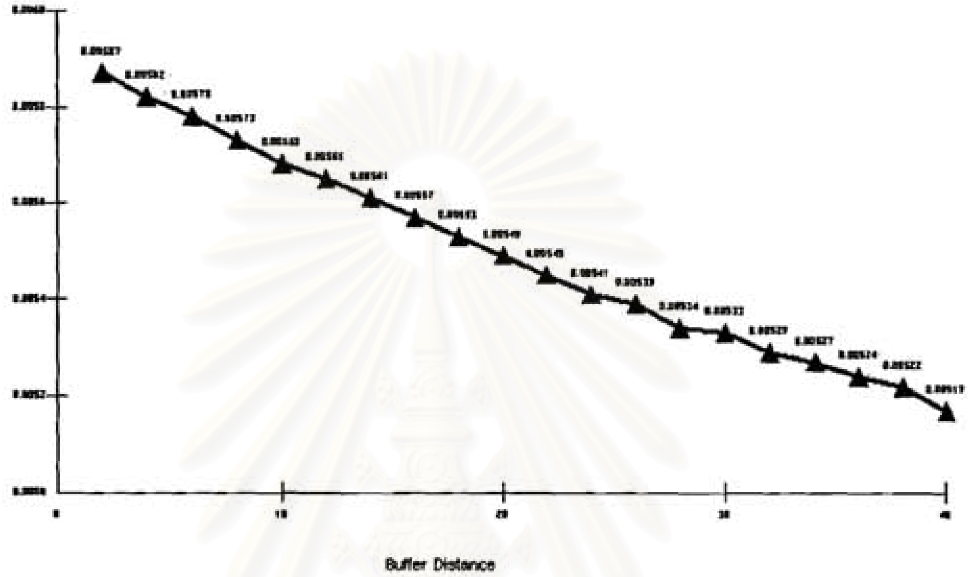
5.3 การวัดทางรูปร่าง

การทดสอบนี้เป็นการวัดทางรูปร่าง ด้วยการชี้วัดความคลาดเคลื่อนเอนเอียง (Bias error) สองแบบ คือ Oscillation แบบที่ 1 (O') (สมการที่ 3.1) และ Oscillation แบบที่ 2 (O") (สมการที่ 3.2) ซึ่งมีผลการทดสอบดังต่อไปนี้

5.3.1 การทดสอบความตรงกันทางรูปร่างด้วย O' แบ่งเป็น กรณีที่ 1 การทดสอบระหว่างข้อมูล Q กับ X' และกรณีที่ 2 การทดสอบระหว่างข้อมูล Q กับ X จากการทดสอบกับข้อมูลทั้งกรณีที่ 1 และ กรณีที่ 2 ยังไม่สามารถชี้วัดความคลาดเคลื่อนเอนเอียงได้ชัดเจน เนื่องจากไม่สามารถระบุลักษณะของกราฟที่เด่นชัด ลักษณะของกราฟทั้งสองกรณีมีความชันที่ค่อยๆ ลดลง

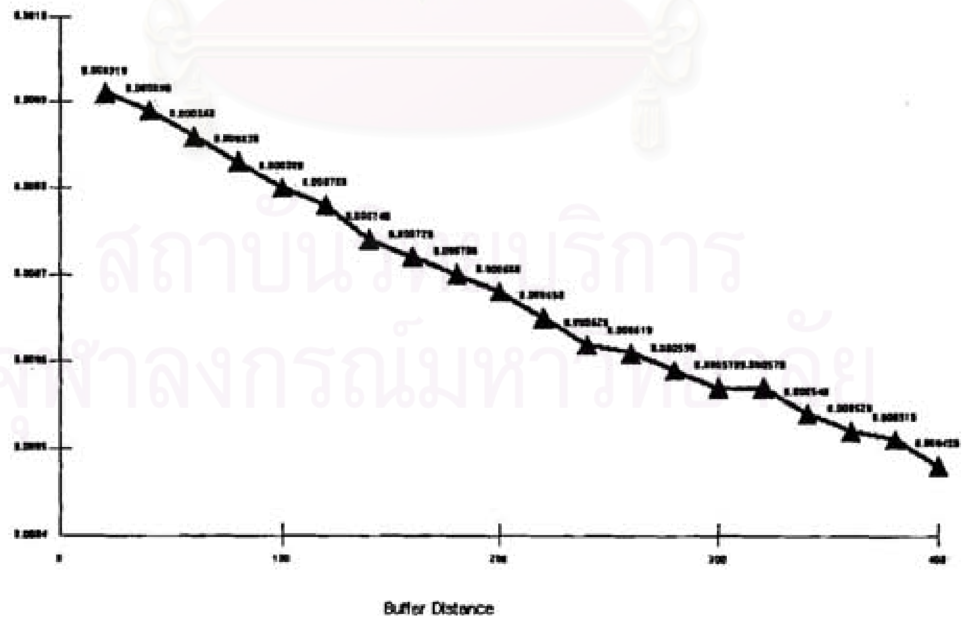
เช่นเดียวกัน ซึ่งแสดงในรูปที่ 5.7 และรูปที่ 5.8 โดยไม่สามารถบ่งชี้ถึงความคลาดเคลื่อนเอนเอียงได้ เพราะมีการลดจำนวนลงจากการหายไปของจำนวนรูปหลายเหลี่ยมเมื่อเพิ่มขนาดบัฟเฟอร์ขึ้น ซึ่งยังไม่เพียงพอต่อการชี้วัดความคลาดเคลื่อนเอนเอียงที่ดี

กราฟจำนวน polygon ของ X Buffer ที่อยู่นอก Q Buffer ต่อความยาวของ X



รูปที่ 5.7 แสดงกราฟ Oscillation แบบที่ 1 ระหว่างข้อมูล Q กับ X'

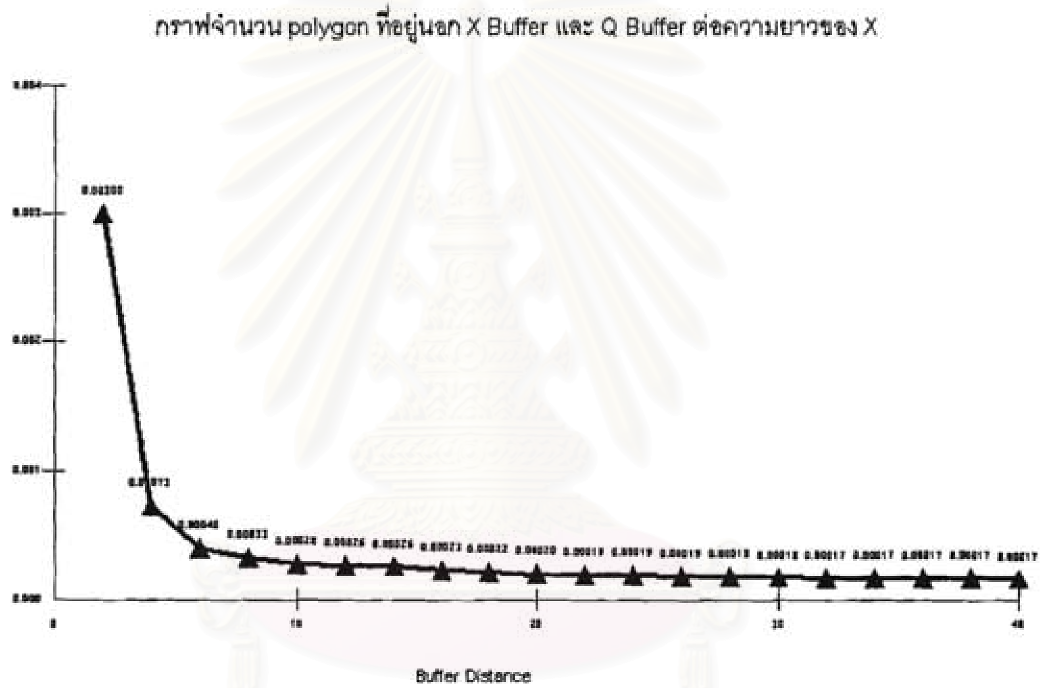
กราฟจำนวน polygon ของ Q Buffer ที่อยู่นอก X Buffer ต่อความยาวของ X



รูปที่ 5.8 แสดงกราฟ Oscillation แบบที่ 1 ระหว่างข้อมูล Q กับ X

5.3.2 การทดสอบความตรงกันทางรูปร่างด้วย O" ก็แบ่งเป็น 2 กรณีเช่นเดียวกัน คือ กรณีที่ 1 : การทดสอบระหว่างข้อมูล Q กับ X' และกรณีที่ 2 : การทดสอบระหว่างข้อมูล Q กับ X

จากการทดสอบกรณีที่ 1 พบว่ากราฟ O" ในรูปที่ 5.9 ชี้วัดว่าไม่มีความคลาดเคลื่อนเอนเอียงอยู่ เนื่องจากความคลาดเคลื่อนที่มีอยู่มีขนาดและทิศทางต่างๆ กระจายอยู่ทั่วทั้งพื้นที่ที่ทดสอบ ทำให้ความคลาดเคลื่อนหักล้างกันเอง จนความคลาดเคลื่อนไม่เอนเอียงไปในทิศทางใดทิศหนึ่งอย่างชัดเจน จึงทำให้กราฟ O" แสดงให้เห็นว่าไม่มีความคลาดเคลื่อนเอนเอียงระหว่างข้อมูล Q กับ X' หรือมีแต่เพียงความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มเท่านั้น

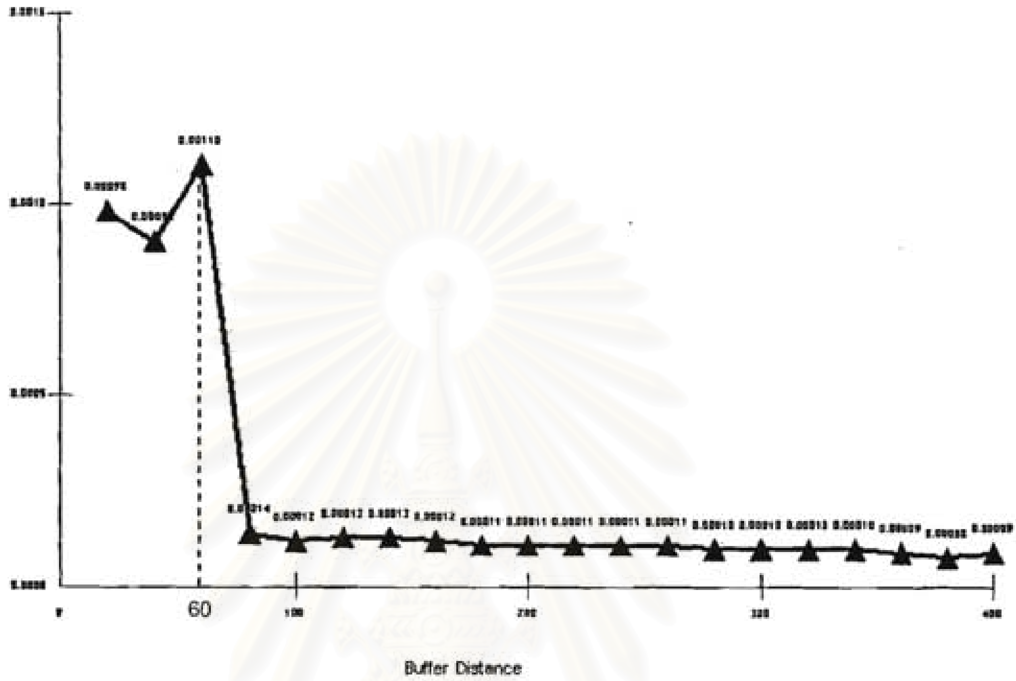


รูปที่ 5.9 แสดงกราฟ Oscillation แบบที่ 2 ระหว่างข้อมูล Q กับ X'

แต่จากทดสอบกรณีที่ 2 พบว่ากราฟ O" สามารถบ่งชี้ความคลาดเคลื่อนเอนเอียงได้จากตำแหน่งของกราฟที่ทำให้ความชันลดลงอย่างรวดเร็วได้ ซึ่งแสดงในรูปที่ 5.10 โดยค่าคลาดเคลื่อนเอนเอียงมีขนาดประมาณ 2 เท่าของขนาดบัฟเฟอร์ ณ ตำแหน่งที่มีกราฟมีความชันลดลงอย่างรวดเร็ว (60 เมตร) คือ ประมาณ 120 เมตร สาเหตุที่กราฟ O" สามารถชี้วัดความคลาดเคลื่อนเอนเอียงได้ เนื่องจากความสัมพันธ์ของข้อมูลทั้งสองมีความคลาดเคลื่อนอย่างมีระบบที่ชัดเจน และความคลาดเคลื่อนเอนเอียงมีระบบนี้ก็มีค่ามากกว่าความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มอย่างเด่นชัด ซึ่งจากการทดสอบที่ 5.2.3 ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยด้วยสมการ DE" ที่ไม่ใช้ค่าปรับแก้อันเนื่องมากจาก

ทิศทางความคลาดเคลื่อนมีค่าเพียง 6.33 เมตร แต่ค่าคลาดเคลื่อนเอนเอียงมีค่าสูงถึง 120 เมตร จึงทำให้กราฟ O" แสดงให้เห็นถึงความคลาดเคลื่อนเอนเอียงที่มีอยู่ได้ดี

กราฟจำนวน polygon ที่อยู่นอก X Buffer และ Q Buffer ต่อความยาวของ X



รูปที่ 5.10 แสดงกราฟ Oscillation แบบที่ 2 ระหว่างข้อมูล Q กับ X

บทที่ 6
เครื่องมือสำหรับประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่ง

เครื่องมือสำหรับประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งนี้พัฒนาขึ้นด้วยซอฟท์แวร์ ArcGIS การเลือกใช้ซอฟท์แวร์ดังกล่าวมีเหตุผล 3 ประการ คือ ประการแรก ArcGIS เป็นซอฟท์แวร์หนึ่งที่มีชื่อเสียงทั่วโลก และมีส่วนแบ่งการตลาดมากที่สุดในประเทศไทย ทำให้ซอฟท์แวร์นี้มีใช้อย่างแพร่หลาย จึงเหมาะที่จะนำมาพัฒนาสร้างเครื่องมือเพื่อให้ผู้ใช้ซอฟท์แวร์ ArcGIS ที่มีอยู่จำนวนมากสามารถนำไปประยุกต์ใช้งาน ประการที่สอง เป็นซอฟท์แวร์ที่สนับสนุนการพัฒนาโปรแกรมด้วยมาโคร (Macro) ประการที่สาม มีการเขียนโปรแกรมคำสั่ง Visual Basic Application (VBA Script) สำหรับใช้งานหลายๆ อย่าง ซึ่งได้รับการพัฒนามาจากผู้ใช้ทั่วโลก และส่วนหนึ่งสามารถนำมาใช้ได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย

เครื่องมือโปรแกรมวิธีสถิติบัฟเฟอร์โอเวอร์เลย์พัฒนาด้วยการเขียนคำสั่ง VBA ซึ่งสามารถดำเนินการบน ArcGIS เวอร์ชัน 9.1 คำสั่ง VBA ในโปรแกรมเครื่องมือมีทั้งพัฒนาขึ้นเองและหามาจากอินเตอร์เน็ต เครื่องมือโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นได้จัดเก็บอยู่ในรูปไฟล์เอกสาร ArcMap (*.mxd) ซึ่งผู้ใช้สามารถนำไปใช้งานได้ง่าย

เครื่องมือโปรแกรมนี้มีส่วนประกอบ 4 ส่วน ได้แก่ 1) เมนูหลัก (main menu) 2) ส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ (User interface) 3) ส่วนการคำนวณ และ 4) ส่วนการแสดงผล ซึ่งมีรายละเอียดการทำงานดังต่อไปนี้

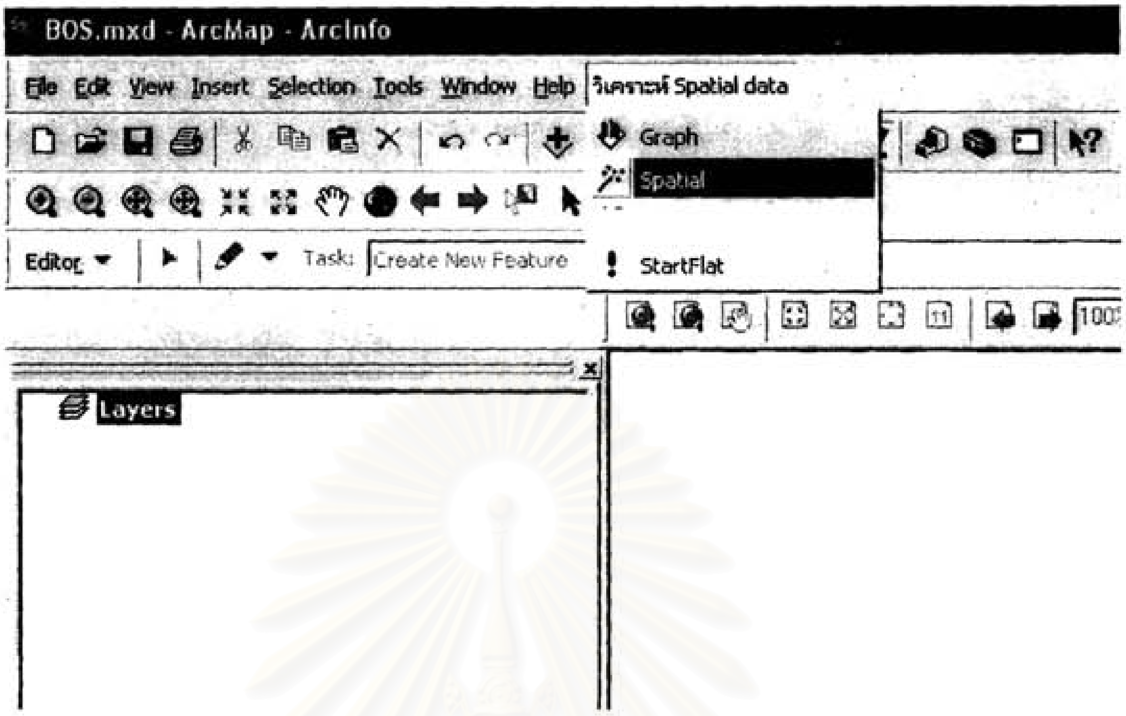
6.1 เมนูหลัก

เมนูหลักเป็นส่วนให้ผู้ใช้เลือกคำนวณตามรายการของเมนูย่อย ซึ่งมีรูปแบบให้เลือกใช้จากการคลิกเมนูวิเคราะห์ Spatial data ในรูปที่ 6.1 และมีลำดับของการใช้งานดังต่อไปนี้

6.1.1 Spatial เป็นเมนูย่อยสำหรับเข้าสู่การคำนวณต่างๆ ด้วยวิธี BOS

6.1.2 Graph เป็นเมนูย่อยสำหรับเข้าสู่การแสดงผลรูปกราฟต่างๆ ได้แก่ ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย DE' และ DE" และ การแกว่งตัว O' และ O"

6.1.3 Startflat เป็นเมนูย่อยสำหรับเข้าสู่แสดงผลจุดเริ่มราบเป็นตัวเลข (เชิงปริมาณ) การเข้ารายการเมนูย่อย Graph และ Startflat สามารถสลับลำดับก่อนหลังกันได้



รูปที่ 6.1 แสดงเมนูหลัก

6.2 ส่วนต่อประสานกับผู้ใช้

ส่วนต่อประสานกับผู้ใช้เป็นส่วนที่ให้ผู้ใช้ป้อนข้อมูลนำเข้าต่างๆ เพื่อใช้ในการคำนวณต่อไป เมื่อคลิกเมนูย่อย Spatial ส่วนต่อประสานกับผู้ใช้แสดงในรูปที่ 6.2 และต้องการข้อมูลนำเข้าต่างๆ ได้แก่

6.2.1 ชั้นข้อมูล 2 ชุดสำหรับประเมินความถูกต้อง ได้แก่ ชุดข้อมูลเส้น Q และ X ซึ่งต้องนำเข้ามาก่อนเริ่มคำนวณด้วยเครื่องมือโปรแกรมวิธี BOS

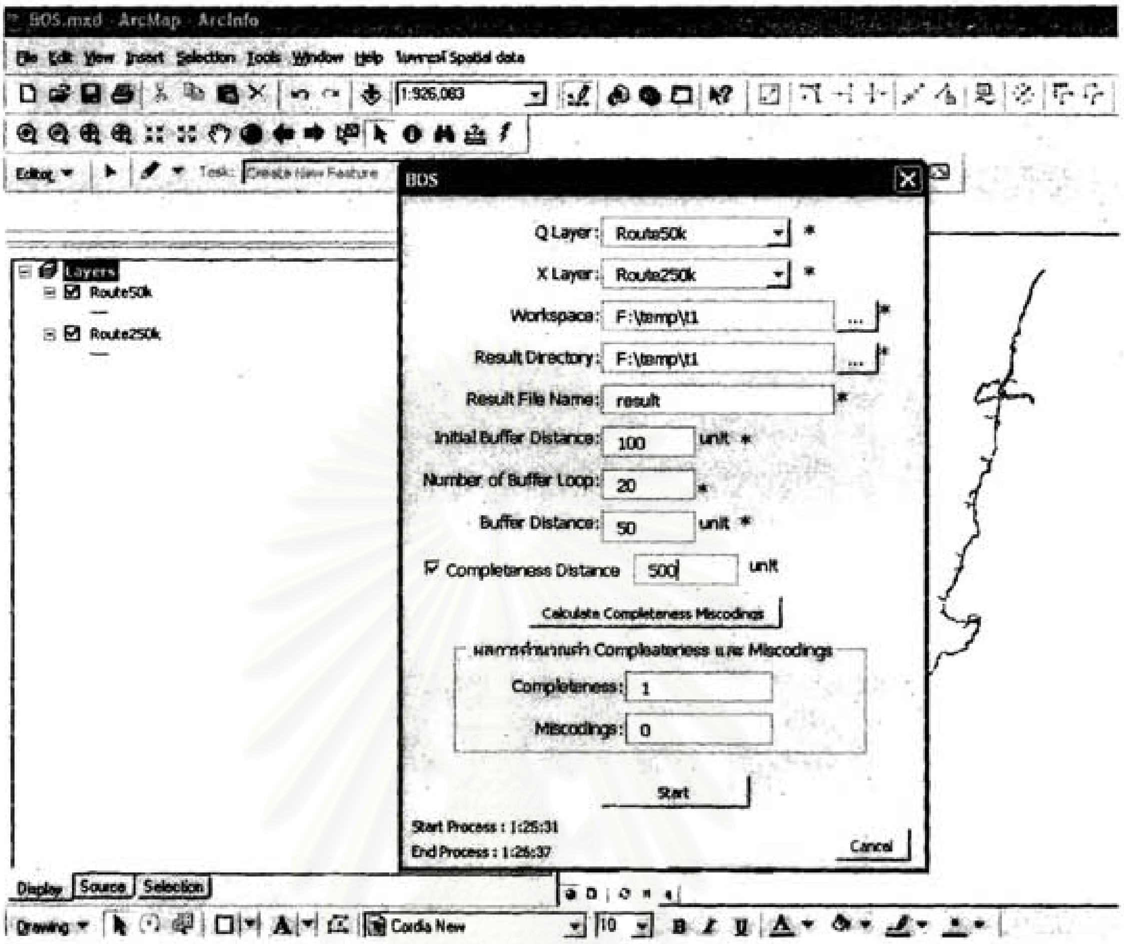
6.2.2 โฟลเดอร์ (Folder) ที่ใช้จัดเก็บไฟล์รูปร่าง (Shape file)

6.2.3 โฟลเดอร์ที่ใช้จัดเก็บไฟล์ผลลัพธ์การคำนวณ

6.2.4 ชื่อไฟล์ผลลัพธ์การคำนวณ

6.2.5 ขนาดบัฟเฟอร์ในการคำนวณ ได้แก่ ขนาดบัฟเฟอร์เริ่มต้น จำนวนรอบของการวนซ้ำ และขนาดบัฟเฟอร์ที่เพิ่มขึ้นในแต่ละรอบของการวนซ้ำ

6.2.6 ขนาดบัฟเฟอร์ที่ใช้ตรวจสอบความครบถ้วนของข้อมูล ซึ่งจะป้อนค่าได้ต้องทำเครื่องหมายที่ check block เสียก่อน



รูปที่ 6.2 แสดงส่วนต่อประสานกับผู้ใช้

6.3 ส่วนการคำนวณ

ส่วนการคำนวณประกอบด้วยชุดคำสั่งต่างๆ เพื่อคำนวณค่าผลลัพธ์ต่างๆ ตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

6.3.1 การคำนวณความยาวของชุดข้อมูลเส้นทั้งสองเส้น เพื่อบันทึกและจัดเก็บไว้ใช้ร่วมสูตรการคำนวณต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง

6.3.2 การคำนวณค่า completeness และ miscodings เพื่อใช้ตรวจสอบการเป็นตัวแทนและไม่เป็นตัวแทนวัตถุภูมิศาสตร์เดียวกัน โดยสร้างรูปหลายเหลี่ยมของบัฟเฟอร์ที่มีขนาดบัฟเฟอร์ที่ใช้ตรวจสอบ completeness และ miscodings ออกจากชุดข้อมูลเส้นทั้งสองเส้น จากนั้นคริปท์ (Cript) เส้น Q ด้วยรูปหลายเหลี่ยมของบัฟเฟอร์ของเส้น X สำหรับหาความยาวเส้นที่อยู่ภายในรูปหลายเหลี่ยมของบัฟเฟอร์ของเส้น X เพื่อใช้คำนวณค่า completeness และคริปท์ (Cript) เส้น X ด้วยรูปหลายเหลี่ยมของบัฟเฟอร์ของเส้น Q สำหรับหาความยาวเส้นที่อยู่ภายนอกรูปหลายเหลี่ยม

เหลี่ยมของบัฟเฟอร์ของเส้น Q เพื่อใช้คำนวณค่า miscodings การคำนวณนี้จะทำงานได้ก็ต่อเมื่อกดปุ่มคำสั่ง Calculate Completeness Miscodings ในส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ก่อน แต่การคำนวณนี้จะไม่ทำงานหากผู้ใช้ไม่ได้ป้อนค่าขนาดบัฟเฟอร์ที่ใช้ตรวจสอบความครบถ้วนของข้อมูลก่อน และใช้ค่าโดยปริยาย (default) คือ completeness เท่ากับ 1 และ miscodings เท่ากับ 0 แทน

6.3.3 สร้างรูปหลายเหลี่ยมของบัฟเฟอร์ออกจากชุดข้อมูลเส้นทั้งสองตามขนาดบัฟเฟอร์ที่ผู้ใช้กำหนดไว้ จากนั้นบันทึกและจัดเก็บในรูปไฟล์รูปร่าง พร้อมคำนวณพื้นที่รูปหลายเหลี่ยมของบัฟเฟอร์ทั้งสองรูป

6.3.4 ยูเนียน (union) รูปหลายเหลี่ยมของบัฟเฟอร์ทั้งสองรูปจากข้อ 6.3.3 ซึ่งได้รูปหลายเหลี่ยมของพื้นที่ต่างๆ ได้แก่

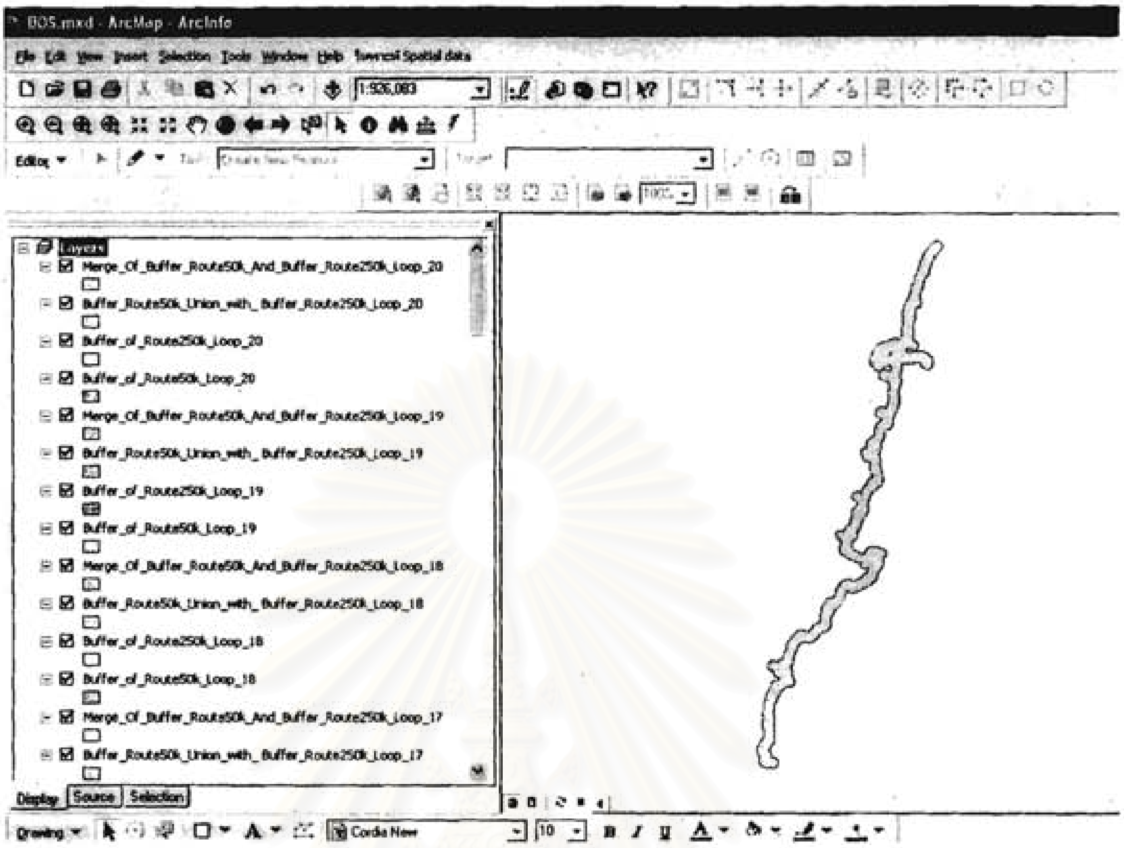
- พื้นที่นอก XB_i และนอก QB_i (Area($\overline{XB_i} \cap \overline{QB_i}$))
- พื้นที่นอก XB_i และใน QB_i (Area($\overline{XB_i} \cap QB_i$))
- พื้นที่ใน XB_i และนอก QB_i (Area($XB_i \cap \overline{QB_i}$))
- พื้นที่ใน XB_i หรือใน QB_i (Area($XB_i \cap QB_i$))

พร้อมทั้งให้ลักษณะประจำตัว (attribute) ของรูปหลายเหลี่ยมของพื้นที่ต่างๆ ดังกล่าว เพื่อให้สามารถแยกจำแนกพื้นที่ต่างๆ ได้ จากนั้นบันทึกและจัดเก็บในรูปไฟล์รูปร่าง

จากนั้นคำนวณพื้นที่ใน XB_i หรือใน QB_i และใช้เพื่อตรวจสอบว่ามีพื้นที่ดังกล่าวเกิดขึ้นหรือไม่สำหรับลดขั้นตอนการรวม (merge) รูปหลายเหลี่ยมของบัฟเฟอร์ในข้อ 6.3.5 อีกด้วย ดังที่จะกล่าวต่อไป

6.3.5 รวม (merge) รูปหลายเหลี่ยมของบัฟเฟอร์ทั้งสองรูปจากข้อ 6.3.3 ให้เป็นรูปหลายเหลี่ยมของบัฟเฟอร์เดียวกัน จากนั้นบันทึกและจัดเก็บในรูปไฟล์รูปร่าง

ไฟล์รูปร่างที่บันทึกและจัดเก็บไว้ในขั้นตอนที่ 6.3.2 ถึง 6.3.5 จะแสดงให้เห็นในหน้าต่างแสดงผล พร้อมกับแสดงชื่อชั้นข้อมูลในหน้าต่างรายการชั้นข้อมูลด้วย ดังแสดงในรูปที่ 6.3



รูปที่ 6.3 แสดงการแสดงผลชั้นข้อมูลต่างๆ

6.3.6 การคำนวณตามสูตรคำนวณต่างๆ ของวิธี BOS ดังต่อไปนี้

- คำนวณค่าการแกว่งตัว O" ด้วยการนับจำนวนรูปหลายเหลี่ยมของบัฟเฟอร์ที่อยู่ทั้งนอก XB_i และนอก QB_i ($Area(\overline{XB}_i \cap \overline{QB}_i)$) และหารด้วยความยาวของชุดข้อมูล X

- คำนวณค่าการแกว่งตัว O' ด้วยการนับจำนวนรูปหลายเหลี่ยมของบัฟเฟอร์ที่อยู่ทั้งนอก XB_i และใน QB_i ($Area(\overline{XB}_i \cap QB_i)$) และหารด้วยความยาวของชุดข้อมูล X

- คำนวณพื้นที่นอก XB_i และใน QB_i ($Area(\overline{XB}_i \cap QB_i)$) และพื้นที่ใน XB_i และนอก QB_i ($Area(XB_i \cap \overline{QB}_i)$)

- คำนวณค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย DE' ตามสูตรสมการที่ 3.2

- คำนวณค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย DE" ตามสูตรสมการที่ 3.3

6.3.7 คำนวณหาจุดเริ่มราบทั้ง DE' และ DE" และบันทึกลงในไฟล์ผลลัพธ์

โปรแกรมจะวนซ้ำการคำนวณข้อ 3 ถึง ข้อ 7 ตามจำนวนรอบของการวนซ้ำที่ผู้ใช้กำหนดไว้ในส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ และผลการคำนวณในขั้นตอนต่างๆ บันทึกและจัดเก็บข้อมูลในรูปแบบไฟล์ comma delimited (CSV (*.csv)) ตามชื่อไฟล์ผลลัพธ์และอยู่ที่ในโฟล์เดอร์ที่ผู้ใช้กำหนดไว้ หลังจากนั้นนำเข้าไฟล์ผลลัพธ์เพื่อเตรียมพร้อมสำหรับการแสดงผล ไฟล์ผลลัพธ์แสดงในรูป 6.4

Attributes of result.csv

Buffer_Distance	Q_Line_Length	X_Line_Length	Q_Buffer_Area	X_E
100	196559.54819	169394.51926	38928639.98855	
150	196559.54819	169394.51926	58025002.31825	
200	196559.54819	169394.51926	76753715.17187	
250	196559.54819	169394.51926	95177576.74593	
300	196559.54819	169394.51926	113350722.2161	
350	196559.54819	169394.51926	131215427.92881	
400	196559.54819	169394.51926	148783671.54013	
450	196559.54819	169394.51926	166132781.42496	
500	196559.54819	169394.51926	183257488.15279	
550	196559.54819	169394.51926	200220600.23999	
600	196559.54819	169394.51926	217079186.24573	
650	196559.54819	169394.51926	233829358.77929	
700	196559.54819	169394.51926	250478057.90253	
750	196559.54819	169394.51926	267049765.41397	
800	196559.54819	169394.51926	283553549.89481	
850	196559.54819	169394.51926	299906457.14586	
900	196559.54819	169394.51926	316377409.33968	
950	196559.54819	169394.51926	332635486.81236	
1000	196559.54819	169394.51926	348786399.36013	
1050	196559.54819	169394.51926	364854710.06849	

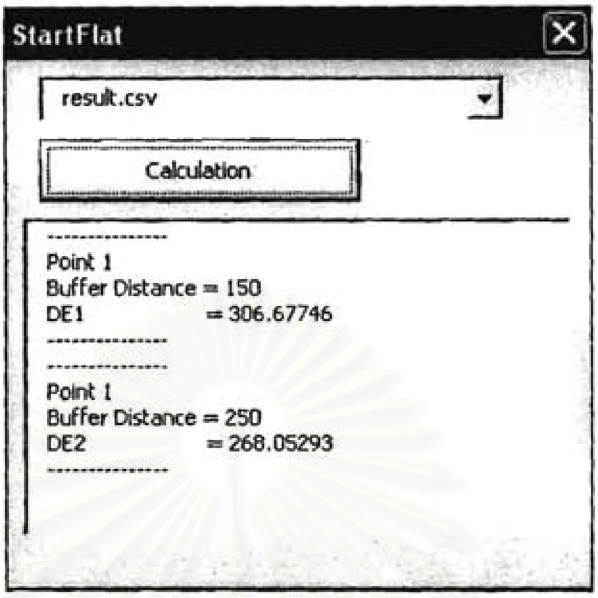
Record 1 Show: All Selected Records (0 out of 20 Selected.) Options

รูปที่ 6.4 แสดงไฟล์ผลลัพธ์

6.4 ส่วนการแสดงผล

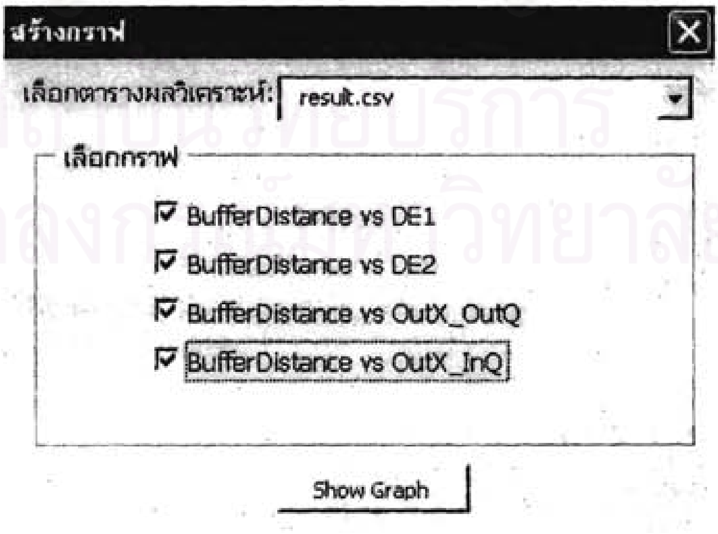
ส่วนการแสดงผลแบ่งออกเป็น การแสดงผลทางตัวเลข และการแสดงผลด้วยกราฟต่างๆ ดังต่อไปนี้

6.4.1 การแสดงผลทางตัวเลข จะสามารถแสดงผลได้ก็ต่อเมื่อคลิกที่เมนู StartFlat ในรูป 6.1 หลังจากนั้นโปรแกรมจะแสดงส่วนต่อประสานกับผู้ใช้สำหรับเลือกไฟล์ข้อมูลที่บันทึกและจัดเก็บไว้ (result.csv) และส่วนต่อประสานกับผู้ใช้มีแบบในรูปที่ 6.5 เมื่อกดปุ่ม Calculattion แล้วโปรแกรมจะแสดงผลค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย DE' ซึ่งก็คือค่า DE' ณ จุดเริ่มราบ แสดงในรูปที่ 6.5 (ใช้ DE1 แทน) และแสดงค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย DE" ซึ่งก็คือค่า DE" ณ จุดเริ่มราบ แสดงในรูปที่ 6.5 (ใช้ DE2 แทน)



รูปที่ 6.5 แสดงส่วนต่อประสานกับผู้ใช้สำหรับแสดงผลจุดเริ่มราบ

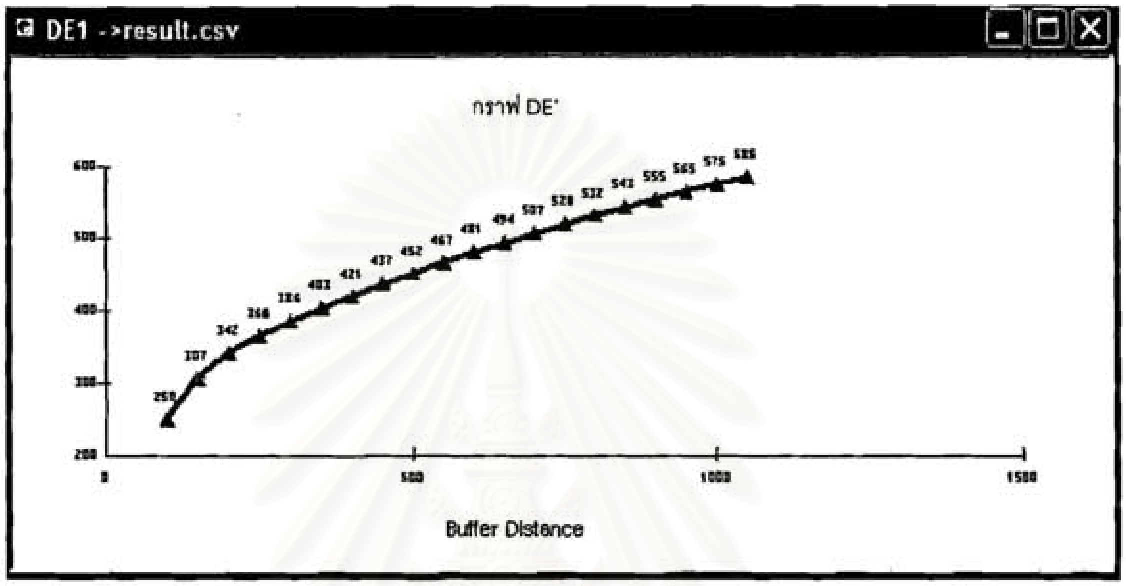
6.4.2 การแสดงผลด้วยกราฟ จะสามารถแสดงผลได้ก็ต่อเมื่อคลิกที่เมนู StartFlat ในรูป 6.1 หลังจากนั้นโปรแกรมจะแสดงส่วนต่อประสานกับผู้ใช้สำหรับเลือกไฟล์ข้อมูลที่บันทึกและจัดเก็บไว้ (result.csv) และส่วนต่อประสานกับผู้ใช้มีแบบในรูปที่ 6.6 เมื่อเลือกเช็คบล็อกตามความต้องการแล้ว หลังจากนั้นให้กดปุ่ม Show Graph โปรแกรมจะเรียกข้อมูลต่างๆ จากไฟล์



รูปที่ 6.6 แสดงส่วนต่อประสานกับผู้ใช้สำหรับแสดงกราฟต่างๆ

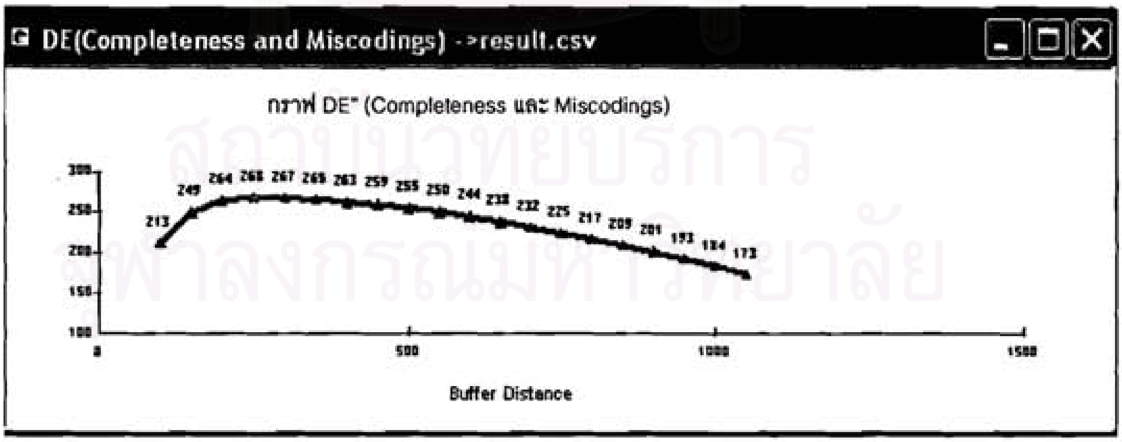
ผลลัพธ์ที่เตรียมไว้ และแสดงรูปกราฟต่างๆ ได้แก่

6.4.2.1 กราฟค่าคลาดเคลื่อน DE' พร้อมทำเครื่องหมายบวก (+) ณ ตำแหน่งจุดเริ่มราบ ในรูปที่ 6.7



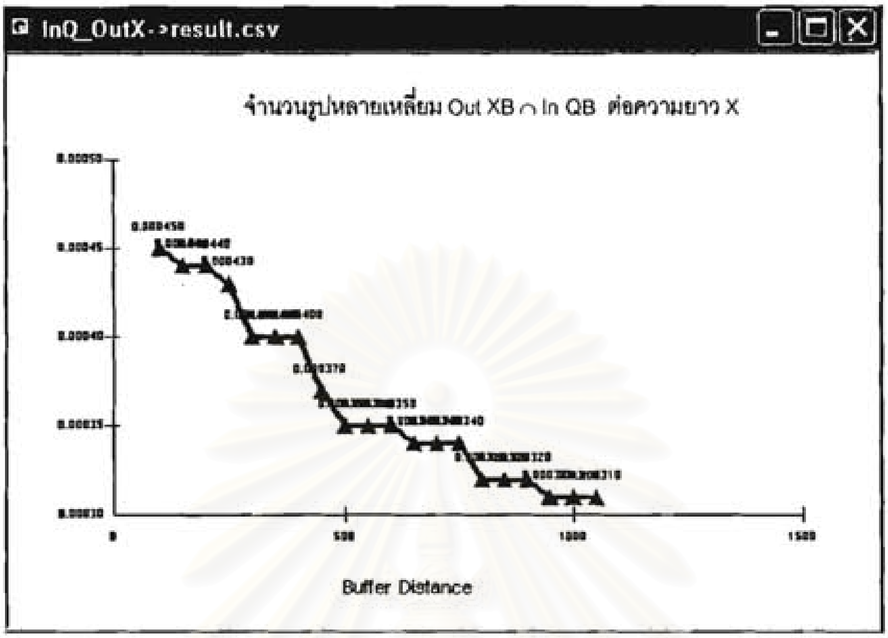
รูปที่ 6.7 แสดงกราฟค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย DE'

6.4.2.2 กราฟค่าคลาดเคลื่อน DE" พร้อมทำเครื่องหมายบวก (+) ณ ตำแหน่งจุดเริ่มราบ มีลักษณะดังในรูปที่ 6.8



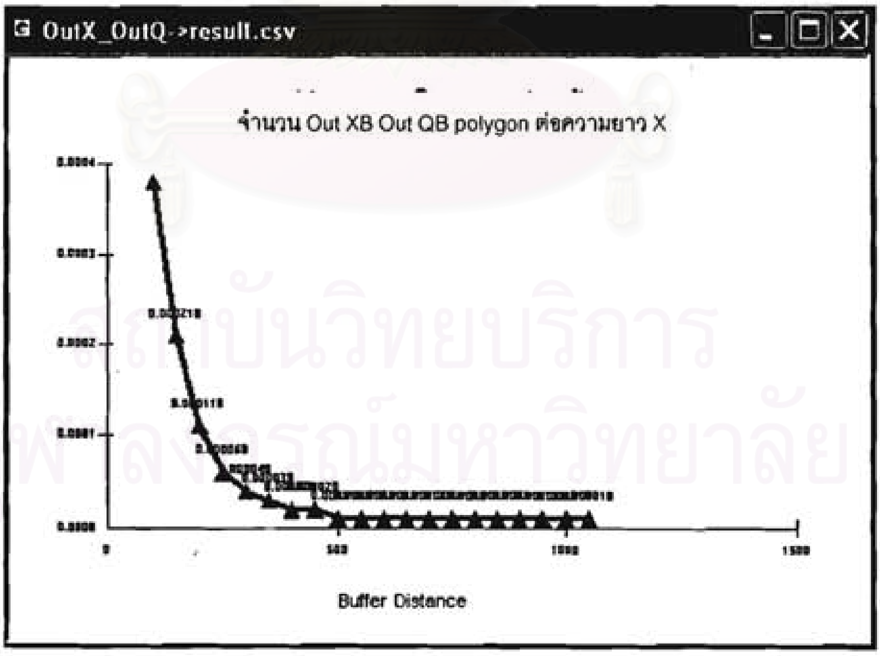
รูปที่ 6.8 แสดงกราฟค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย DE"

6.4.2.3 กราฟการแกว่งตัว O' มีลักษณะดังในรูปที่ 6.9



รูปที่ 6.9 แสดงกราฟการแกว่งตัว O'

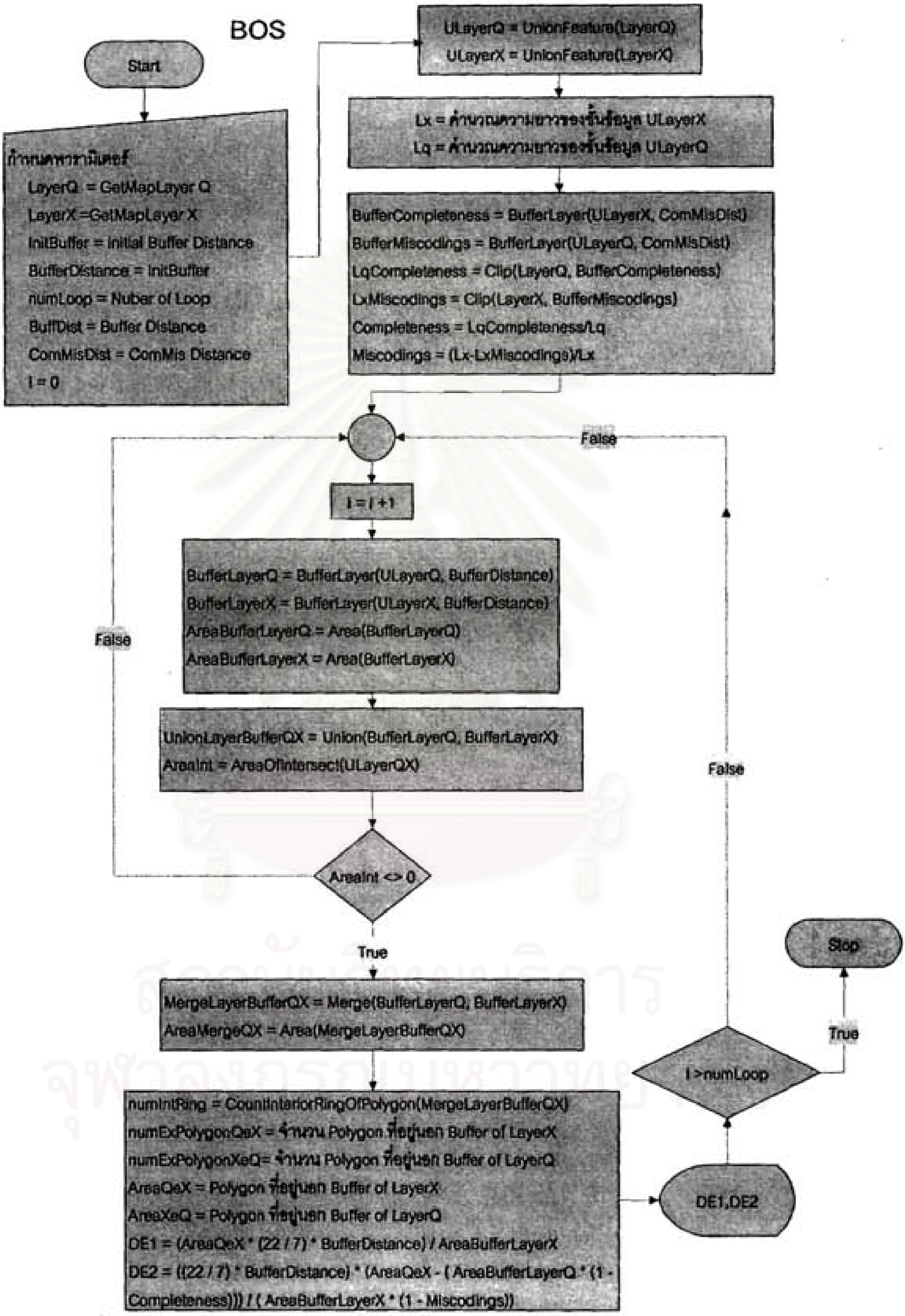
6.4.2.4 แสดงกราฟการแกว่งตัว O" มีลักษณะดังในรูปที่ 6.10



รูปที่ 6.10 แสดงกราฟการแกว่งตัว O"

เครื่องมือโปรแกรมวิธีสถิติบัฟเฟอร์โอเวอร์เลย์ที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นสามารถสรุปเป็นแผนภูมิการไหล (Flow chart) ของการทำงานในรูปที่ 6.11

แผนภูมิการไหลของการทำงานเครื่องมือโปรแกรมวิธี BOS



รูปที่ 6.11 แสดงแผนภูมิการไหลของการทำงานเครื่องมือโปรแกรมวิธี BOS

บทที่ 7
สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

ความรู้เกี่ยวกับคุณภาพของข้อมูลภูมิสารสนเทศ โดยเฉพาะระดับความถูกต้องเชิงตำแหน่งเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างยิ่งต่อการตัดสินใจเลือกใช้งานชุดข้อมูลภูมิสารสนเทศต่าง ๆ ที่มีอยู่อย่างเหมาะสม วิธีการวัดความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งของข้อมูลแผนที่ที่ใช้กันอยู่โดยทั่วไปซึ่งอาศัยการวัดความคลาดเคลื่อนของเฉพาะจุดที่ระบุจำแนกได้ชัดเจนนั้นมีข้อจำกัดและอาจให้ความรู้ที่ไม่เพียงพอ โดยเฉพาะสำหรับชุดข้อมูลเส้น ทำให้เกิดความต้องการแบบจำลองและวิธีการวัดความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งที่ให้ค่าที่ละเอียดและน่าเชื่อถือมากขึ้น ที่ผ่านมาได้มีการพัฒนาวิธีการวัดความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งของข้อมูลเส้นภูมิศาสตร์ในลักษณะที่คำนึงถึงทุก ๆ ส่วนของเส้นไว้หลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีต่างมีข้อดีและข้อจำกัด ทั้งในแง่ของความยากง่ายของวิธีการนำไปปฏิบัติจริง และเงื่อนไขข้อจำกัดของผลลัพธ์ที่ได้ ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาวิเคราะห์แบบจำลอง วิธีการและสูตรคำนวณทางคณิตศาสตร์ของวิธี "สถิติบัฟเฟอร์โอเวอร์เลย์" ซึ่งเป็นหนึ่งในวิธีการประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งของชุดข้อมูลเส้นภูมิศาสตร์แบบวัดทุกส่วนของเส้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพิสูจน์ถึงความเป็นไปได้ในการนำไปใช้งานจริง รวมทั้งเพื่อให้เกิดความเข้าใจ และประเมินความถูกต้องเหมาะสมของค่าผลลัพธ์ต่าง ๆ ที่ได้จากวิธีการดังกล่าว อันจะนำไปสู่การปรับปรุงพัฒนาตัวชี้วัดและวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการวัดค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งที่ละเอียดถูกต้องยิ่งขึ้นต่อไป ซึ่งสามารถสรุปผลการวิจัยและอภิปรายถึงข้อเสนอแนะได้ดังนี้

7.1 สรุปผลการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการศึกษา วิเคราะห์และทดสอบวิธีการประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งของชุดข้อมูลเส้นภูมิศาสตร์ด้วยวิธีสถิติบัฟเฟอร์โอเวอร์เลย์ ด้วยเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นด้วยโปรแกรม ArcGIS เวอร์ชัน 9.1 โดยการทดสอบกับทั้งชุดข้อมูลเส้นจำลองและชุดข้อมูลเส้นภูมิศาสตร์จริง ซึ่งสามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

7.1.1 จากการทดสอบพบว่าวิธีสถิติบัฟเฟอร์โอเวอร์เลย์สามารถถูกนำมาใช้ประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งของข้อมูลเส้นได้ในทางปฏิบัติ โดยวัดได้ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (Average Distance) และค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่ได้ถือได้ว่าสอดคล้องกับค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยตามนิยามที่กำหนด โดยค่าที่วัดได้จะมีความสอดคล้องมากที่สุดในกรณีที่เส้นที่วัดอยู่ในแนวค่อนข้างขนานกับเส้นอ้างอิง แต่ความสอดคล้องจะลดลงเมื่อข้อมูลเส้นที่วัดและเส้นอ้างอิงสอบเข้าหากันมากขึ้น

ทั้งนี้เป็นผลจากการที่ระยะคลาดเคลื่อนตามนิยามซึ่งวัดจากคู่จุดนั้นไม่อยู่ในแนวตั้งฉากกับเส้นที่วัดนั่นเอง

7.1.2 ในสูตรคำนวณค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของวิธีสถิติบัฟเฟอร์โอเวอร์เลย์นั้น มีค่าปรับแก้อันเนื่องมาจากทิศทางความคลาดเคลื่อน ($\pi/2$) สำหรับชดเชยระยะคลาดเคลื่อนของคู่จุดที่ไม่ได้อยู่ในแนวตั้งฉาก ซึ่งจากการทดลองจำลองชุดข้อมูลคู่จุดขึ้นแบบสุ่มทิศทาง พบว่าค่าปรับแก้ $\pi/2$ นี้ใช้ได้ดีกับกรณีที่ไม่มีการตัดกันระหว่างเส้นที่วัดกับเส้นอ้างอิง แต่หากชุดข้อมูลที่มีการตัดกันของเส้นมากขึ้น ค่าปรับแก้ที่ต้องการจะลดลงน้อยกว่าค่า $\pi/2$ ที่เสนอไว้ในสูตร โดยร้อยละผลต่างระหว่างค่าปรับแก้จากการทดสอบกับค่าปรับแก้ $\pi/2$ ของข้อมูลชุดหนึ่งซึ่งมีจำนวน 200 เซกเมนต์ (segment) ที่มีจุดตัด 0 ครั้ง 114 ครั้ง และ 176 ครั้ง ตามลำดับ คือ 0% 15.02% และ 20.61%

7.1.3 จากการทดสอบหาค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกับชุดข้อมูลที่ขนานกันแต่มีความยาวต่างกันเพิ่มขึ้นด้วยสูตรการคำนวณที่มีพจน์ปรับแก้ความครบถ้วน (completeness และ miscodings) พบว่าร้อยละผลต่างระหว่างค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกับระยะตั้งฉากระหว่างเส้นทั้งสองสำหรับกรณีพิจารณาเฉพาะ completeness มีค่าใกล้เคียงกันดังนี้ คือ 5.35% และ 8.08% กับ 0.01% และ 0.06% ตามลำดับ ส่วนกรณีพิจารณาเฉพาะ miscodings มีร้อยละผลต่างระหว่างค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกับระยะตั้งฉากระหว่างเส้นทั้งสองดังนี้ คือ 5.88% และ 8.99% กับ 0.19% และ 0.25% ตามลำดับ

7.1.4 จากการทดลองหาค่าคลาดเคลื่อนเอนเอียง พบว่าการชี้วัดสามารถใช้ได้ดีกับชุดข้อมูลที่มีผลต่างระหว่างค่าคลาดเคลื่อนแบบสุ่มกับค่าคลาดเคลื่อนเอนเอียงอย่างมาก นอกจากนั้น ยังพบข้อจำกัดของการวัดค่าคลาดเคลื่อนเอนเอียง คือ การไม่ได้คำนึงถึงทิศทางของความคลาดเคลื่อน การให้ผลการชี้วัดที่ไม่เท่ากัน และการกระทำของบัฟเฟอร์ของเส้นเดียวกัน

7.2 ข้อเสนอแนะ

7.2.1 ผลการทดลองหาค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยในงานวิจัยนี้ ได้มาจากการทดลองกับชุดข้อมูลที่ไม่ซับซ้อนเป็นส่วนใหญ่ทั้งนี้เพื่อพิสูจน์ความเป็นไปได้ของการปฏิบัติจริง และการประเมินความถูกต้องของค่าผลลัพธ์ที่ได้เป็นสำคัญ ในการศึกษาวิจัยครั้งต่อไปอาจเพิ่มการศึกษาทดลองกับชุดข้อมูลที่มีความซับซ้อนยิ่งขึ้น ทั้งนี้เพื่อตรวจสอบว่ามีปัจจัยอื่น ๆ ที่อาจมีผลต่อความถูกต้องของวิธีการดังกล่าว

7.2.2 การหาค่าคลาดเคลื่อนเอนเอียงซึ่งมีพื้นฐานการวัดจากการสร้างบัฟเฟอร์ออกจากทั้งสองด้านของเส้น ทำให้มีข้อจำกัดของการวัดความคลาดเคลื่อนแบบไม่คำนึงถึงทิศทางขึ้น ในการศึกษาวิจัยครั้งต่อไปอาจเพิ่มเติมการวัดด้วยการสร้างบัฟเฟอร์ออกทั้งสองเส้นทีละด้าน ซึ่งอาจลดหรือกำจัดประเด็นปัญหาดังกล่าว

7.2.3 ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของวิธีการนี้ได้มาจากตำแหน่งจุดเริ่มราบของกราฟระหว่างค่าคลาดเคลื่อนกับขนาดบัฟเฟอร์ ทำให้เกิดความยุ่งยากต่อการระบุจุดเริ่มราบนี้เนื่องจากรูปกราฟมีอยู่หลายหลากลักษณะ การระบุจุดเริ่มราบในงานวิจัยนี้ใช้เงื่อนไขความชันน้อยว่า 45° ซึ่งเหมาะสมกับลักษณะรูปกราฟจำนวนหนึ่งเท่านั้น ในการศึกษาวิจัยครั้งต่อไปอาจสร้างเงื่อนไขที่สามารถจะระบุจุดเริ่มราบที่ครอบคลุมรูปกราฟลักษณะต่างๆ มากยิ่งขึ้น

7.2.4 ในงานวิจัยนี้ได้สร้างเครื่องมือสำหรับประเมินความถูกต้องขึ้น โปรแกรมเครื่องมือให้ผู้ใช้กำหนดค่าตัวแปรพื้นฐานที่สำคัญเอง คือ ขนาดบัฟเฟอร์เริ่มต้น ขนาดบัฟเฟอร์ที่เพิ่มขึ้นแต่ละครั้งของการวนซ้ำ และจำนวนครั้งของการวนซ้ำ หลังจากนั้น จึงเริ่มดำเนินการตามลำดับขั้นตอนของวิธีการนี้โดยอัตโนมัติจนกระทั่งแสดงผล แต่จากการทดสอบกับหลายชุดข้อมูลตัวอย่างพบว่าต้องทำการประเมินหลายครั้งกว่าจะได้ผลการชี้วัดค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยได้ เนื่องจากการกำหนดค่าตัวแปรพื้นฐานที่ไม่เหมาะสมในแต่ละครั้ง ทำให้ไม่พบจุดเริ่มราบของกราฟที่ชี้วัดค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยและจุดความชันลดลงอย่างรวดเร็วที่ชี้วัดค่าคลาดเคลื่อนเอนเอียง นอกจากนั้นเครื่องมือสำหรับประเมินความถูกต้องนี้ใช้เงื่อนไขความชันน้อยว่า 45° สำหรับการหาจุดเริ่มราบได้โดยอัตโนมัติ ซึ่งยังไม่สามารถครอบคลุมลักษณะรูปกราฟได้ทั้งหมด และยังไม่สามารถหาค่าคลาดเคลื่อนเอนเอียงได้ ซึ่งยังต้องให้ผู้ใช้ตรวจสอบผลจากกราฟเอง ในการศึกษาวิจัยครั้งต่อไปอาจเพิ่มขีดความสามารถของเครื่องมือให้สามารถหาค่าตัวแปรพื้นฐานที่เหมาะสมได้โดยผู้ใช้ไม่ต้องกำหนดค่าตัวแปรพื้นฐานหลังการกำหนดค่าครั้งแรกแล้ว ใช้เงื่อนไขการหาจุดเริ่มราบที่เหมาะสมกว่า และแสดงผลค่าคลาดเคลื่อนเอนเอียงได้อัตโนมัติ

รายการอ้างอิง

Ali, T. and Ramirez, R. 2005. Development of quality metrics for linear features. Surveying and Land Information Science 65(2) : 105 -110

Goodchild, M. F. and Hunter, G. J. 1997. A simple positional accuracy measure for linear features. International Journal of Geograghical Information Science 11 : 299-306.

ISO. 2002 ISO19113 : 2002 Geographic Information : Quality Principles

Kagawa, Y., Sekimoto, Y. and Shibasaki, R. 1999. Comparative study of accuracy evaluation of line data [Online]. Asian Association On Remote Sensing (distributor) Available from: http://www.gisdevelopment.net/aars/acrs/1999/ps4/ps41087.shtml [2004, January 12]

Liu, Y., Wu, L. and Mao, T. 2003. A direct error measure method for linear features occurred in digitalization processes in GIS. Proceedings of The 2nd International Symposium on Spatial Data Quality'03 : 139 -145

Motos, J. and Goncalves, A. 1998. Measurement and analysis of positional error. Proceedings of Spatial Data Handling : 151-160

Niu, S. and Chen, X. 2003. Measuring distance between spatial objects in 2D GIS. Proceedings of the 2nd International Symposium on Spatial Data Quality'03 : 120-127.

Tinnachote, C. and Chen, X.Y. 2003. Implementation of positional error model using an object-oriented approach. Proceedings of the 2nd International Symposium on Spatial Data Quality'03 : 483 - 491.

Tsoulos, L. and Skopeliti, A. 2000. Assessment of data acquisition error for linear features. Proceedings of The XIXth ISPRS Congress XXXIII Part B : 1087-1091.

Tveite, H. and Langass, S. 1995. Accuracy assessments of geographical line data sets : the case of the digital chart of the world. Proceedings of The 5th Scandinavian Research Conference on Geographic Information Systems : 145 -154.

Tveite, H. and Langass, S. 1999. An accuracy assessment method of geographical line data sets based on buffering. International Journal of Geograghical Information Science 13 : 27-47.

Van niel, T.G. and Mcvicar, T.R. 2002. Experimental evaluation of positional accuracy estimates from a linear network using point- and line-based testing methods. International Journal of Geographical Information Science 16(5) : 455-473

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ: นาวาอากาศโท อติชาต อึ๋งโฆษาชนะวานิช

วันเดือนปีเกิด: 18 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2512

คุณวุฒิทางการศึกษา:

พ.ศ. 2535 วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา โรงเรียนนายเรืออากาศ

ประสบการณ์การทำงาน:

พ.ศ. 2536 - ปัจจุบัน อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา กองวิชาวิศวกรรมศาสตร์ กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศ

ผลงานทางวิชาการ

บทความตีพิมพ์

นาวาอากาศตรี อติชาต อึ๋งโฆษาชนะวานิช และ ชนินทร์ ทินนโชติ. 2548. การประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งของชุดข้อมูลเส้นภูมิศาสตร์ด้วยวิธีสถิติบัฟเฟอร์โอเวอร์เลย์. <u>การประชุมวิชาการการแผนที่และภูมิสารสนเทศแห่งชาติ ประจำปี 2548</u>. ณ โรงแรมแอมบาสซาเดอร์ซิตี้ กรุงเทพฯ 14 -18 พฤศจิกายน 2548

การบรรยาย

นาวาอากาศตรี อติชาต อึ๋งโฆษาชนะวานิช และ ชนินทร์ ทินนโชติ. 2548. การประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งของชุดข้อมูลเส้นภูมิศาสตร์ด้วยวิธีสถิติบัฟเฟอร์โอเวอร์เลย์. <u>การประชุมวิชาการการแผนที่และภูมิสารสนเทศแห่งชาติ ประจำปี 2548</u>. ณ โรงแรมแอมบาสซาเดอร์ซิตี้ กรุงเทพฯ 14 -18 พฤศจิกายน 2548