

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและเหตุจูงใจในการทำวิจัย

เครือข่ายอินเทอร์เน็ตประกอบไปด้วยเครือข่ายหลายๆเครือข่ายที่กระจายอยู่ทั่วโลกมารวมตัวกัน โดยใช้โปรโตคอลที่ซีพี/ไอพี (TCP/IP) เป็นแกนหลักในการส่งข้อมูลระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งผู้ที่ส่งข้อมูลและผู้รับข้อมูลอาจอยู่คนละมุมโลก อินเทอร์เน็ตทำให้ผู้คนทั่วโลกสามารถติดต่อสื่อสารกันได้ ประโยชน์อีกด้านที่สำคัญคืออินเทอร์เน็ตเปรียบเสมือนห้องสมุดที่ใหญ่ที่สุดของโลก ที่ให้บริการสืบค้นข้อมูลหลายหลายประเภท และไม่ว่าเราจะอยู่ที่ไหนของโลกใบนี้ เพียงแค่เราเชื่อมต่อเข้ากับเครือข่ายอินเทอร์เน็ต เราก็สามารถเข้าถึงแหล่งของข้อมูลนั้นได้ ซึ่งเป็นวิธีที่สะดวกและรวดเร็วกว่าวิธีเก่ามาก รวมถึงการให้บริการการสื่อสารแบบออนไลน์ต่างๆ เช่น การสนทนาแบบออนไลน์ การใช้โทรศัพท์ผ่านไอพี หรือการส่งจดหมายอิเล็กทรอนิกส์ ดังนั้นจากประโยชน์อันมหาศาลของเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ทำให้การเจริญเติบโตของเครือข่ายนี้เป็นไปอย่างทวีคูณ

ผู้ที่ให้บริการเชื่อมต่อเข้าสู่เครือข่ายอินเทอร์เน็ตหรือเป็นประตูทางเข้าสู่โลกไซเบอร์คือไอเอสพี (ISP: Internet Services Provider) [1] หรือผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ต โดยที่หน้าที่รับผิดชอบหลักของไอเอสพี ก็คือการให้บริการการส่งผ่านข้อมูลของกลุ่มลูกค้าของตนเองไปยังเป้าหมายที่ถูกคำต้องการ ซึ่งข้อมูลจะต้องเดินทางผ่านไอเอสพีรายอื่นๆ เพื่อที่จะเดินทางนำข้อมูลไปสู่ปลายทาง ที่เป็นเป้าหมายของแต่ละข้อมูลนั้นๆ ต่อไป

ไอเอสพีในปัจจุบันมีเครื่องมือและอัลกอริทึมที่ใช้ในการแก้ปัญหาการวิเคราะห์การเลือกเส้นทางที่เหมาะสมกับทรัพยากรในระบบของตนน้อยมาก ส่วนใหญ่จะมีเพียงเครื่องมือในการวัดปริมาณข้อมูลที่ส่งผ่านในท่อส่งข้อมูล เช่น เอ็มอาร์ทีจี (MRTG) ส่วนเครื่องมือที่ใช้ในเรื่องการกำหนดนโยบายการเลือกเส้นทางระหว่างไอเอสพี ส่วนมากจะเป็นการตั้งค่าด้วยตนเองของผู้บริหารระบบ โดยอาศัยจากประสบการณ์หรือวิธีการแก้ไขปัญหาลเฉพาะหน้าไปตามเหตุการณ์ต่างๆ การเปลี่ยนแปลงนโยบายแต่ละครั้งก็มักจะเกิดจากเรื่องการเพิ่มการเชื่อมต่อระหว่างไอเอสพีหรือการเพิ่มท่อส่งข้อมูล และจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงอีกเลยจนกว่าจะมีปัญหาหรือมีการเปลี่ยนแปลงอีกครั้ง ซึ่งการตั้งค่าแต่ละครั้งอาจทำให้เกิดความผิดพลาด และไม่มีการวิเคราะห์หาค่าที่เหมาะสมในการกระจายปริมาณข้อมูลที่รับมาให้ส่งยังท่อส่งข้อมูลขาออกแต่ละท่อได้อย่างมีประสิทธิภาพและไม่เกินปริมาณที่ท่อส่งข้อมูลขาออกจะรับได้ รวมถึงการขาดแคลนเครื่องมือที่ใช้ในการวัดผลในการตั้งค่าแบบแต่ละครั้งจะได้ผลลัพธ์ที่ให้ความเหมาะสมในการใช้ทรัพยากรของเครือข่ายหรือไม่

อัลกอริทึมที่ได้จากการวิจัยในครั้งนี้ จะเป็นเครื่องมือที่ช่วยให้การตั้งค่านโยบายการเลือกเส้นทางของบีจีพี ซึ่งช่วยผู้บริหารระบบของไอเอสพีสามารถกำหนดเส้นทางที่เหมาะสมของการส่งข้อมูลไปยังท่อนส่งข้อมูลขาออกของบอเดอร์เราเตอร์ (Border Router) ของไอเอสพี ทำให้การส่งผ่านข้อมูลจากท่อนส่งข้อมูลขาเข้าหรืออินเกรสลิงก์ (Ingress Link) มายังเครือข่ายของไอเอสพี และถูกส่งไปยังท่อนส่งข้อมูลทางออกหรืออีเกรสลิงก์ (Egress Link) ซึ่งเป็นจุดหมายปลายทางของแต่ละข้อมูลนั้นๆ โดยการกำหนดเส้นทางภายในไอเอสพีของข้อมูลเหล่านั้นให้เดินทางผ่านไปยังท่อนส่งข้อมูลขาออกแต่ละท่อนอย่างเหมาะสม ซึ่งช่วยเพิ่มคุณภาพการบริการของไอเอสพี ทั้งในเรื่องของการเพิ่มความรวดเร็วและความน่าเชื่อถือในเรื่องการส่งข้อมูลให้แก่ระบบ อีกทั้งยังทำให้มีการใช้งานทรัพยากรของระบบให้มีประสิทธิภาพสูงสุดอีกด้วย

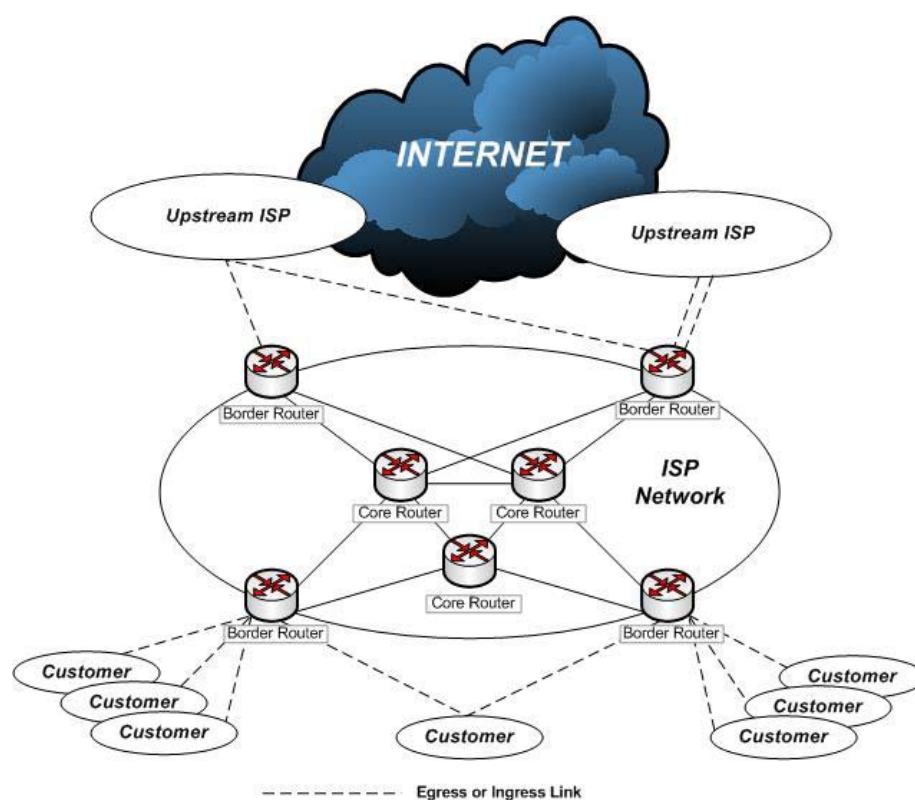
## 1.2 ปัญหาที่ศึกษาและวิจัย

โครงสร้างของเครือข่ายอินเทอร์เน็ตประกอบไปด้วยเครือข่ายของไอเอสพีจำนวนมากเชื่อมต่อกันผ่านอุปกรณ์เราเตอร์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์เครือข่ายที่ทำหน้าที่สำคัญในการส่งผ่านข้อมูลในรูปแบบแพ็คเกจไอพีไปยังจุดหมายปลายทาง แต่ก่อนที่จะทำตามขั้นตอนนี้ได้ เราเตอร์ต้องมีตารางเส้นทางของแต่ละปลายทางที่ต้องการจะไปก่อนที่จะทำการส่งข้อมูล ดังนั้นหน้าที่หลักอีกด้านหนึ่งของเราเตอร์คือการแลกเปลี่ยนข้อมูลเส้นทางเหล่านั้น เพื่อสร้างตารางเส้นทางทั้งของภายในเครือข่ายเองและรวมถึงระหว่างเครือข่ายหรือระหว่างไอเอสพีก่อนที่จะทำการส่งข้อมูล

สำหรับโปรโตคอลที่ไอเอสพีใช้ในการเลือกเส้นทางแบ่งออกเป็นสองชนิดคือ โปรโตคอลเกตเวย์ภายนอก (exterior gateway protocol) และ โปรโตคอลเกตเวย์ภายใน (interior gateway protocol) โปรโตคอลเกตเวย์ภายนอกมีหน้าที่แลกเปลี่ยนข้อมูลเส้นทางระหว่างไอเอสพี โปรโตคอลที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบันคือ บีจีพี-4 (BGP-4) [2] [3] ทำหน้าที่ในการกำหนดเส้นทางสำหรับท่อนส่งข้อมูลขาเข้าและท่อนส่งข้อมูลขาออกระหว่างไอเอสพี ส่วน โปรโตคอลเกตเวย์ภายในเป็นโปรโตคอลที่ออกแบบมาใช้งานภายในเครือข่าย โปรโตคอลที่นิยมใช้กันมากสำหรับไอเอสพีคือ ไอเอสพีเอฟ (OSPF: Open Shortest Path First) และ ไอเอสไอเอส (IS-IS: Intermediate System to Intermediate System) ใช้สำหรับการเลือกเส้นทางภายในเครือข่ายของไอเอสพี

เราเตอร์ที่ทำการเชื่อมต่อกันระหว่างไอเอสพีกับลูกค้า รวมถึงระหว่างไอเอสพีด้วยกันเอง มีชื่อเรียกตามหน้าที่การทำงานของมันว่า “บอเดอร์เราเตอร์” แต่ละตัวก็จะมีท่อนส่งข้อมูลอย่างน้อยสอง สำหรับเชื่อมไปยังเครือข่ายภายนอกและเครือข่ายภายใน เพื่อที่ใช้ส่งและรับข้อมูลระหว่างเครือข่าย ลิงก์ที่ใช้ในการเชื่อมต่ออาจเป็นได้ทั้ง เอทีเอ็ม เฟรมรีเลย์ หรือ วงจรเช่า ซึ่งอาจมีขนาดความจุหรือแบนวิธที่แตกต่างกัน ซึ่งจุดนี้เองเป็นตัวบ่งบอกความสามารถในการส่งข้อมูลเข้าและออกของแต่ละไอเอสพีและเป็นจุดคอขวดหลักในการส่งข้อมูลระหว่างไอเอสพี ซึ่งวิธีแก้ปัญหาเมื่อปริมาณแบนวิธที่ไม่เพียงพอ ก็จะใช้วิธีการแก้ปัญหาแบบง่ายๆ ก็คือการเพิ่มปริมาณ

แบนวิidthหรือการเพิ่มขนาดท่อส่งข้อมูลระหว่างกัน อีกทางเลือกหนึ่งคือการแก้ปัญหาอีกวิธีหนึ่งคือการเพิ่มจำนวนท่อส่งข้อมูลหลายๆ ท่อไปยังไอเอสพีรายอื่นๆ ซึ่งจะมีประโยชน์มากกว่าการเพิ่มขนาดของท่อส่งข้อมูลหลักเพียงท่อเดียว โดยประโยชน์ที่ได้เพิ่มขึ้นมาอาจจะมีได้หลายวัตถุประสงค์ ยกตัวอย่างเช่น การสำรองท่อส่งข้อมูล ในกรณีท่อส่งข้อมูลหลักขาด หรือการแยกท่อส่งข้อมูลตามชนิดของข้อมูล เพื่อที่จะทำการกระจายปริมาณข้อมูลไปตามท่อส่งข้อมูลและยังสามารถจัดลำดับความสำคัญของท่อส่งข้อมูลกับชนิดของข้อมูลได้อีกด้วย ทำให้ส่งข้อมูลโดยเฉลี่ยได้ในปริมาณที่เพิ่มขึ้นอีกด้วย ด้วยเหตุผลเหล่านี้เองไอเอสพีจึงนิยมเชื่อมต่อไปยังหลายๆ ไอเอสพีและภายในการเชื่อมต่อระหว่างไอเอสพียังสามารถมีท่อส่งข้อมูลระหว่างกันได้มากกว่าหนึ่งท่อส่งข้อมูลอีกด้วย



รูปที่ 1.1 สถาปัตยกรรมของเครือข่ายไอเอสพี

จากรูปที่ 1.1 เครือข่ายไอเอสพีให้บริการกับกลุ่มลูกค้าในการเชื่อมต่อไปยังเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยการเชื่อมต่อไปยังอินเทอร์เน็ตของไอเอสพีนั้น ไอเอสพีได้มีการเชื่อมต่อกับไอเอสพีรายอื่นๆ หรือเรียกว่าอัปสตรีมไอเอสพี (Upstream ISP) ภายในเครือข่ายของไอเอสพีประกอบไปด้วยบอเดอร์เราเตอร์และคอร์เราเตอร์ โดยที่คอร์เราเตอร์จะทำหน้าที่ส่งข้อมูลภายในเครือข่ายของไอเอสพีโดยรับข้อมูลมาจากบอเดอร์เราเตอร์ที่ทำหน้าที่เป็นทางเข้าของข้อมูลและส่งไปยังบอเดอร์เราเตอร์ที่ทำหน้าที่เป็นทางออกของข้อมูล ส่วนบอเดอร์เราเตอร์จะทำหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างเครือข่ายภายในกับเครือข่ายภายนอก โดยท่อส่งข้อมูลของบอเดอร์เราเตอร์ทำ

หน้าที่ทั้งส่งและรับข้อมูลระหว่างเครือข่าย เราจะเรียกว่าเป็นอินเทอร์ลิงก์หรือท่อส่งข้อมูลขาเข้าก็ต่อเมื่อ ท่อส่งข้อมูลนั้นทำหน้าที่รับข้อมูลจากเครือข่ายภายนอก และเรียกว่าอีเทอร์ลิงก์หรือท่อส่งข้อมูลขาออก เมื่อกำลังส่งข้อมูลกับไปยังเครือข่ายภายนอก ซึ่งอาจจะพูดได้อีกในหนึ่งว่าเป็นการประเภทของท่อส่งข้อมูลตามลักษณะทิศทางการไหลของข้อมูล

ไอเอสพีสามารถเชื่อมต่อไปยังหลายๆ ไอเอสพีและมีท่อส่งข้อมูลได้หลายท่อระหว่างไอเอสพี ทำให้ไอเอสพีมีทางเลือกที่จะส่งข้อมูลได้มากขึ้น เส้นทางแต่ละเส้นทางที่ใช้ส่งก็จะมีค่าต้นทุนในการส่งต่างกัน เช่น การส่งข้อมูลไปยังท่อส่งข้อมูลหนึ่ง อาจผ่านไอเอสพีอื่นๆ เพียงสามไอเอสพี แต่ถ้าส่งไปยังอีกท่ออื่นที่เชื่อมกับไอเอสพีรายอื่น ต้องเดินทางไกลกว่าถึงห้าไอเอสพี รวมถึงการใช้ทรัพยากรภายในไอเอสพีเอง เช่น เรื่องซีพียู โหลดของบอเดอร์เราเตอร์ โหลดของท่อส่งข้อมูล หรือระยะทางระหว่างบอเดอร์เราเตอร์ภายในไอเอสพี ซึ่งจะเป็นการสะท้อนให้เห็นถึงการจัดสรรทรัพยากรภายในระบบของไอเอสพีเอง เพราะฉะนั้นหน้าที่หลักของผู้บริหารระบบของไอเอสพี คือการกระจายการส่งข้อมูลของลูกค้าไปยังจุดหมายปลายทางแต่ละแห่ง โดยเลือกใช้เส้นทางที่เหมาะสมเพื่อที่จะใช้ประโยชน์จากทรัพยากรของตนเองได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด โปรโตคอลบีจีพีจึงเป็นเครื่องมือหลักที่ผู้บริหารระบบใช้ในการจัดสรรทรัพยากรเครือข่าย ดังนั้นการตั้งค่านโยบายการเลือกเส้นทางของบีจีพี จึงเป็นเครื่องมือสำคัญในการที่จะทำให้บรรลุวัตถุประสงค์นี้

จุดเริ่มต้นของการทำวิจัยภายในวิทยานิพนธ์นี้คือปัญหาการเลือกเส้นทางของบีจีพีเราเตอร์ที่ทำหน้าที่เป็นบอเดอร์เราเตอร์ของไอเอสพีได้รับการประกาศข้อมูลเส้นทาง ทั้งที่มาจากบอเดอร์เราเตอร์ตัวอื่นๆ ของไอเอสพีเอง และจากบอเดอร์เราเตอร์ของไอเอสพีรายอื่นที่มีการเชื่อมต่อกันโดยตรงระหว่างกัน ข้อมูลที่บีจีพีเราเตอร์ได้รับมาจะถูกนำมาเข้าสู่กระบวนการเลือกเส้นทาง จากนั้นนโยบายที่ตั้งค่าไว้โดยผู้บริหารระบบ ข้อมูลเส้นทางที่รับมาหนึ่งเส้นทาง อาจจะมีเส้นทางไปยังจุดหมายปลายทางหลายเส้นทาง ทำให้เราสามารถเลือกส่งข้อมูลไปยังท่อส่งข้อมูลขาออกได้หลายเส้นทางพร้อมกัน ปัญหาแรกในงานวิจัยนี้คือ นโยบายการเลือกเส้นทางของเราเตอร์บีจีพีภายในไอเอสพีจะเลือกเส้นทางเพียงเส้นเดียวในการส่งข้อมูลไปยังท่อส่งข้อมูลขาออกสำหรับการเดินทางไปเครือข่ายปลายทางหนึ่ง เป็นการจับคู่แบบ หนึ่งต่อหนึ่ง ของท่อส่งข้อมูลขาออกกับหมายเลขเครือข่ายปลายทาง โดยจะเรียกปัญหานี้ว่า “เอสอีเอส” (SES: Single Egress link Selection) สำหรับปัญหาที่สอง นโยบายการเลือกเส้นทางของเราเตอร์บีจีพีภายในไอเอสพีเป็นอิสระต่อกัน โดยที่บอเดอร์เราเตอร์แต่ละตัวสามารถมีนโยบายการเลือกเส้นทางของตนเองและสามารถเลือกท่อส่งข้อมูลขาออกที่ต่างกันได้ ความสัมพันธ์เป็นแบบหนึ่งต่อกลุ่ม คือหนึ่งเครือข่ายปลายทางสามารถส่งไปยังท่อส่งข้อมูลขาออกได้หลายท่อ ปัญหานี้เรียกว่าเอ็มอีเอส (MES: Multiple Egress link Selection)

ดังนั้นการออกแบบนโยบายการเลือกเส้นทางของบอเดอร์เราเตอร์ที่ผิดสำหรับเส้นทาง การส่งผ่านข้อมูลภายในของไอเอสพี จะส่งผลให้เกิดปัญหามากมายตามมา เช่น อาจก่อให้เกิด

ปัญหาท่ส่งข้อมูลของบอเคอร์เราเตอร์บางตัวเต็ม ในขณะที่ตัวอื่นๆ ยังมีท่ส่งข้อมูลว่าง ทำให้ข้อมูลของลูกค้าสูญหาย ซึ่งเป็นความรับผิดชอบของไอเอสพีนั้นส่งผลต่อความน่าเชื่อถือของเครือข่ายของตนเอง ในทางกลับกันท่ส่งข้อมูลที่ไม่ได้ถูกเลือกใช้ส่งข้อมูลหรือการใช้ท่ส่งข้อมูลไม่เต็มประสิทธิภาพ ทำให้เกิดการเสียโอกาสในการส่งข้อมูล ซึ่งจุดเชื่อมต่อระหว่างแต่ละไอเอสพีมักจะเกิดปัญหาเหล่านี้ หรืออีกนัยหนึ่งอาจจะเรียกได้ว่าเป็นปัญหาคอขวดของระบบอินเทอร์เน็ต

สำหรับวัตถุประสงค์ของงานวิจัยคือ จากการที่บอเคอร์เราเตอร์ ต้องมีการคำนึงถึงเรื่องของการที่จะเลือกเส้นทางอย่างไร เพื่อที่จะทำให้สามารถส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายได้ทั้งหมด ยังต้องมีการคำนึงถึงว่า ทำอย่างไรให้ข้อมูลที่เดินทางผ่านเครือข่ายนั้น เดินทางอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุดอีกด้วย

### 1.3 อัลกอริทึมที่มีอยู่เดิม

เริ่มต้นจากผลงานเรื่อง "Optimal Configuration for BGP Route Selection" ของ Bressoud. และ Rastogi [4] ได้เสนอปัญหาการตั้งค่านโยบายการเลือกเส้นทางของบีจีพี และพิสูจน์ว่าปัญหานี้มีลักษณะเป็นปัญหา NP-Hard จากนั้นได้เสนอวิธีการแก้ปัญหานี้โดยใช้วิธีโปรแกรมเชิงเส้น (linear Programming) [5] และวิธีฮิวริสติกในการแยกคำตอบที่ได้จากโปรแกรมเชิงเส้น จากนั้น Tat Wing และ Kwan L. [6] ได้เสนอผลงานเรื่อง "Time-Efficient Algorithms for BGP Route Configuration" โดยนำเสนอเทคนิค Most popular prefix first ซึ่งเป็นการแก้จุดบกพร่องของ [4] ในเรื่องการไม่พบคำตอบกรณีที่มีปริมาณแบนวิดท์ของท่ส่งข้อมูลมีน้อย ผลงานของทั้ง [4] และ [6] ให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกัน ต่างกันตรงที่ [6] สามารถหาคำตอบได้มากกว่า ผลลัพธ์ที่ได้ก็มีค่าใกล้เคียงกัน และใช้เวลาในการทำงานที่ดีกว่าอีกด้วย

### 1.4 หลักการใหม่ที่น่าสนใจ

ในวิทยานิพนธ์ได้เสนอวิธีการแก้ปัญหาค่าเลือกเส้นทางของบีจีพี ซึ่งได้รับการพิสูจน์แล้วว่าเป็นปัญหา NP-hard โดยการวิจัยเริ่มต้นจากการนำอัลกอริทึมจินตคณิตแบบพื้นฐานเข้ามาแก้ปัญหา ทั้งปัญหาเอสไอเอสและ เอ็มไอเอส จากนั้นจึงเริ่มปรับปรุงการทำงานของ อัลกอริทึมจินตคณิต โดยการนำวิธีฮิวริสติกเข้ามาช่วย ทำให้ผลลัพธ์ที่ได้มาดีขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับอัลกอริทึมใหม่ที่ได้พัฒนาขึ้นมากับอัลกอริทึมเดิมที่มีอยู่แล้ว พบว่าอัลกอริทึมใหม่สามารถหาคำตอบได้ดีกว่า [4] และ [6] อีกทั้งยังให้ค่าผลลัพธ์ของคำตอบที่ดีกว่าเดิมอีกด้วย

## 1.5 รายละเอียดในวิทยานิพนธ์

ในวิทยานิพนธ์ประกอบด้วย 7 บทด้วยกัน กล่าวคือ

บทที่ 1 กล่าวถึงเหตุจูงใจในการทำวิจัย วัตถุประสงค์ของการทำวิจัย ขอบเขตการทำวิจัย พร้อมทั้งที่มาของปัญหาและลักษณะของปัญหาที่พบแต่ละปัญหา รวมถึงวิธีการแก้ปัญหาที่มีอยู่ในปัจจุบัน นอกจากนี้ยังเสนอวิธีในการแก้ปัญหาแบบใหม่เพื่อที่จะนำมาเปรียบเทียบกับวิธีการแก้ปัญหาที่มีอยู่ก่อนแล้ว

บทที่ 2 กล่าวถึงความรู้เบื้องต้นของโปรโตคอลเลือกเส้นทางบีจีพี รวมทั้งลักษณะเฉพาะของเส้นทาง ที่นำมาใช้เป็นข้อมูลในการตัดสินใจเลือกเส้นทาง ลำดับขั้นตอนการตัดสินใจเพื่อที่เส้นทางที่ดีที่สุด

บทที่ 3 กล่าวถึงความรู้เบื้องต้นของจินตริกและฮิวริสติกอัลกอริทึม รวมถึงการนำจินตริกมาประยุกต์ใช้กับปัญหาต่างๆ

บทที่ 4 กล่าวถึงการประยุกต์ใช้งานจินตริกอัลกอริทึมกับปัญหาการเลือกเส้นทางของโปรโตคอลเลือกเส้นทางบีจีพีในแต่ละปัญหา

บทที่ 5 กล่าวถึงการปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของจินตริกอัลกอริทึม โดยนำวิธีฮิวริสติกเข้ามาเพิ่มประสิทธิภาพของอัลกอริทึม

บทที่ 6 กล่าวถึงวิธีการทดลองการทำงานของแต่ละอัลกอริทึม รวมถึงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแต่ละอัลกอริทึมที่นำมาใช้ในการแก้ปัญหาแต่ละปัญหา

บทที่ 7 ในบทนี้จะทำการสรุปผลและวิจารณ์การทดลองกับปัญหาแต่ละปัญหาที่เกิดขึ้น รวมถึงข้อเสนอแนะและปัญหาที่เกิดขึ้นในการทดลอง