บทที่ 2
วรรณกรรมและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบต่าง ๆ, การศึกษาทฤษฎีเกม และการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง แบ่งเป็น 2 ส่วนหลัก ๆ คือ 1. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในงานวิจัย ประกอบด้วย หลักการพื้นฐานในการแก้ไขปัญหาการจราจร, แนวคิดเกี่ยวกับวิศวกรรมจราจร, ทฤษฎีการไหลของการจราจร (Traffic flow theory), แนวคิดเกี่ยวกับระบบควบคุมการจราจร, สัญญาณไฟจราจร (Traffic light), ระบบรอคอย, การจำลองจำนวนรถเข้า และรถออกแบบ การแจกแจงแบบปัวส์ซอง, แนวคิดที่เกี่ยวข้องกับการทดลองโดยใช้ระบบทฤษฎีเกม (Game theory) และการหาจุดสมดุลของระบบโดยใช้ดุลยภาพแนช (Nash Equilibrium) และการจำลองระบบ (Simulation system) และ 2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง กล่าวถึง งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาการจัดระบบการจราจรแบบทางเดียว (One way), การแก้ปัญหาการจัดระบบการจราจรแบบเครือข่าย และตัวอย่างการแก้ปัญหาการจัดระบบการจราจรโดยใช้ทฤษฎีเกม

1. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การจราจรเป็นปัญหาสำคัญในชุมชนเมืองใหญ่ตามทางแยกที่มีระบบสัญญาณไฟจราจร ทำให้เกิดปัญหาความล่าช้าในการเดินทาง, มลพิษทางอากาศ และปัญหาอื่น ๆ ตามมามากมาย งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาระบบการจราจรและทฤษฎีเกมเพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจราจร ดังนี้

1.1 หลักการพื้นฐานในการแก้ไขปัญหาการจราจร

การจราจร (Traffic) เป็นส่วนหนึ่งของระบบการขนส่ง (Transportation) ดังนั้นการจราจรจึงมีการพิจารณาอย่างเป็นระบบ การแก้ไขปัญหาการจราจรจะต้องเกี่ยวข้องกับระบบอื่น ๆ ดังนั้นในการแก้ไขปัญหาการจราจรจำเป็นต้องคำนึงถึงผลกระทบในส่วนต่าง ๆ เหล่านั้น การแก้ไขปัญหาการจราจรต้องทำเป็นระบบตามขั้นตอน และต้องใช้ความรู้และความเข้าใจในหลายสาขาวิชา เพื่อกำหนดแนวทางการแก้ปัญหาโดยการกำหนดเกณฑ์และขอบเขตในการแก้ไข หาวิธีแนวการแก้ไขปัญหา และเมื่อมีวิธีแล้วตรวจสอบว่าวิธีนั้นเป็นไปตามวัตถุประสงค์หรือเป้าหมายหรือไม่ และสามารถแก้ไขปัญหาได้ดีกว่าแบบเดิมที่ใช้อยู่หรือไม่ (Papageorgiou, M., et al., 2003)

1.2 แนวคิดเกี่ยวกับวิศวกรรมจราจร

การแก้ไขปัญหาการจราจรทางบก มีหลักการพื้นฐาน 3 ประการ ได้แก่ วิศวกรรมจราจร (Traffic Engineering) การศึกษาสาธารณะเกี่ยวกับการจราจร (Traffic Education) และการบังคับใช้กฎหมายจราจร (Traffic Enforcement) หรือที่เรียกว่าหลักการ "Three E'S" หมายถึง Engineering Education และ Enforcement หลักการนี้สามารถป้องกันและลดอุบัติเหตุในด้านการจราจร ให้บรรลุถึงวัตถุประสงค์ของการควบคุมการจราจรที่พึงประสงค์ (ปุระชัย เปี่ยมสมบูรณ์, 2526)

1. การวิศวกรรมการจราจร (Traffic Engineering) หมายถึง การแก้ไขเกี่ยวกับงานด้านช่างต่าง ๆ โดยใช้เทคโนโลยีและอุปกรณ์สมัยใหม่เข้าปรับปรุงแก้ไข อันได้แก่การออกแบบและควบคุมงานก่อสร้างถนน การติดตั้งและดูแลรักษาอุปกรณ์ เครื่องหมายการจราจรตามท้องถิ่น ปรับปรุงการใช้ถนนให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผล เพื่อลดความถี่ ความรุนแรงของอุบัติเหตุ ลดความหนาแน่นของการจราจร อำนวยความสะดวกรวดเร็วในการสัญจรบนท้องถนนตามปกติ

2. การศึกษาสาธารณะเกี่ยวกับการจราจร (Traffic Education) หมายถึง การให้ความรู้เกี่ยวกับกฎจราจร เครื่องหมายสัญญาณจราจร การใช้ถนนโดยปลอดภัยทั้งทางตรง และทางอ้อม การให้การศึกษาทางตรงได้แก่ การสอดแทรกความรู้เรื่องเกี่ยวกับการจราจร และการป้องกันไว้ในบทเรียน ในทางอ้อม ได้แก่ การกระจายความรู้และทักษะในการใช้ถนนของผู้ขับขี่ยวดยานอย่างต่อเนื่อง สม่ำเสมอ การศึกษาสาธารณะด้านการจราจร อาจสรุปได้ว่ามีจุดมุ่งหมายหลัก 2 ประการ คือ เพื่อส่งเสริมให้สาธารณะชนมีความรู้ ความเข้าใจในปัญหาจราจร รวมทั้งสนับสนุนนโยบายและโครงการรณรงค์เพื่อแก้ไขปัญหาและเพื่อพัฒนาอุปนิสัยของประชาชนเกี่ยวกับการร่วมรักษาความปลอดภัยในการใช้รถ ใช้ถนน

3. การบังคับใช้กฎหมายจราจร (Traffic Enforcement) หมายถึง ความพยายามของเจ้าหน้าที่ตำรวจ ที่จะควบคุมบุคคลทั่วไปให้ปฏิบัติตามกฎหมายจราจร หลังจากที่มาตรการเกี่ยวกับการให้การศึกษาสาธารณะ การวิศวกรรมจราจร และกิจกรรมอื่น ๆ ในทำนองเดียวกันประสบความล้มเหลวที่จะบรรลุถึงเป้าหมายของการควบคุมจราจร อย่างไรก็ดี กล่าวได้ว่า การบังคับใช้กฎหมายจัดเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาแก่บุคคล ซึ่งไม่สามารถเรียนรู้ได้โดยวิธีอื่น ด้วยเหตุนี้ การบังคับใช้กฎหมายจึงมิได้มีความหมายแคบเพียงแค่ใช้มาตรการลงโทษ เช่น การปรับ จับกุม และการดำเนินคดีอาญาเท่านั้น ยังรวมถึงการสอดส่องตรวจตราโดยสายตรวจจราจรทั้งในและนอกเครื่องแบบ การใช้มาตรการอื่นที่เหมาะสมภายในขอบเขตของกฎหมาย เพื่อให้เกิดความปลอดภัยและความสะ[redacted]ในการจราจร

- อย่างไรก็ตามหลักการทั้ง 3 ประการจำเป็นต้องประกอบเข้าด้วยกัน และให้ความสำคัญในลักษณะประสานกัน นอกจากนี้การสำรวจความต้องการ และความพึงพอใจของประชาชนในการจราจรมีประโยชน์อย่างมาก การควบคุมด้วยสัญญาณไฟจราจรมีลักษณะที่สำคัญ คือ การตัดขาดความต่อเนื่องของการไหลของกระแสการจราจร โดยให้การวิ่งของรถในทิศหนึ่ง หรือหลายทิศทางมีสิทธิ์ไปก่อน

1.3 ทฤษฎีการไหลของการจราจร (Traffic flow theory)

ทฤษฎีการไหลของการจราจรเป็นการศึกษาคุณสมบัติต่าง ๆ ของการไหลถึงพฤติกรรมของผู้คนที่ขับขี่บนโครงข่ายถนนของบริเวณการศึกษา โดยรถแต่ละคันจะมีพฤติกรรมของตนเองและส่งผลกระทบยังรถคันอื่นในกระแสจราจรด้วย ทำให้การขับรถของคนกลุ่มหนึ่งสามารถส่งผลกระทบต่อการเคลื่อนที่ของยวดยานทั้งหมดหรือต่อการไหลการจราจร ดังนั้นจึงมีความจำเป็นสำหรับวิศวกรขนส่งและจราจร (Papacostas and Prevedourous, 2005)

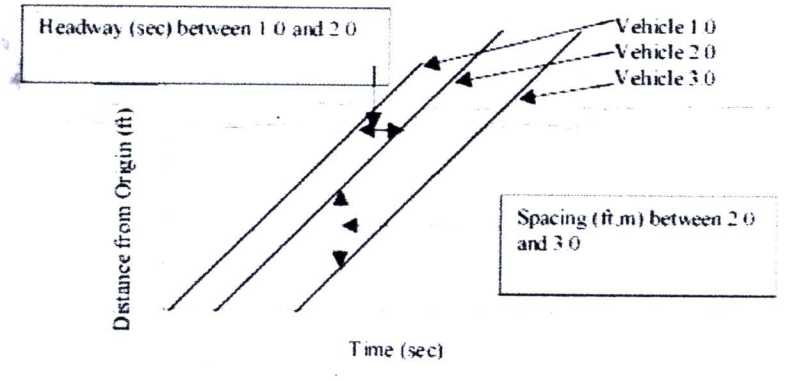
1.3.1 การไหลของการจราจร (Traffic flow) แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ

1.3.1.1 การไหลของการจราจรแบบต่อเนื่อง (Uninterrupted flow) คือ การไหลของยวดยานจะถูกกำหนดโดยปฏิสัมพันธ์ระหว่างรถและรถ รถและถนน เช่น การเคลื่อนที่ของยวดยานบนถนนทางหลวงมอเตอร์เวย์

1.3.1.2 การไหลของการจราจรแบบไม่ต่อเนื่อง (Interrupted flow) ซึ่งการไหลของการจราจรลักษณะนี้จะถูกรบกวนและกำหนดโดยสิ่งภายนอก เช่น สัญญาณไฟจราจร

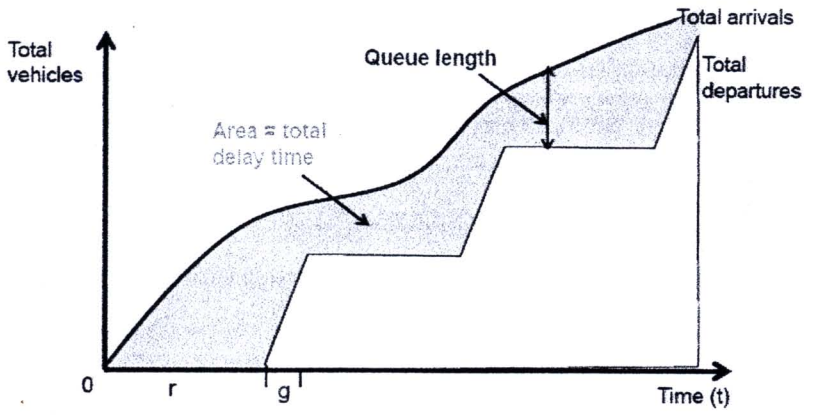
1.3.2 ไดอะแกรมของเวลาและระยะห่าง (Time-Space Diagrams)

ไดอะแกรมของเวลาและระยะห่าง มักจะถูกใช้ในการแก้ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการขนส่ง โดยส่วนใหญ่แล้วเวลาจะแสดงค่าในแนวแกน x และระยะห่างจะแสดงค่าในแนวแกน y โดยระยะห่างระหว่างยานพาหนะจะแสดงในเส้นกราฟ ซึ่งความชันแสดงถึงความเร็วของยานพาหนะนั้นๆ ถ้าเส้นกราฟทำมุมกับแนวแกน x มีค่าน้อยลงแสดงถึงยานพาหนะนั้นๆมีความหน่วงซึ่งทำให้ความเร็วลดลงในทางกลับกัน หามุมมีค่ามากขึ้นความเร็วสูงขึ้นหรือรถมีความเร่ง โดยระยะห่างในแนวนอนจะแสดงถึงเวลาห่างระหว่างรถสองคันและระยะห่างในแนวตั้งคือระยะห่างระหว่างรถสองคัน ดังแสดงในภาพที่ 1 ไดอะแกรมเวลาและระยะห่างมีความสำคัญและมีประโยชน์มากสำหรับการศึกษาลักษณะและพฤติกรรมด้านการจราจร เช่น การศึกษาด้านการเคลื่อนตัวลักษณะคลื่นของยานพาหนะ (Mannering, Kilareski and Washburn, 2005)



ภาพที่ 1 ไดอะแกรมของเวลาและระยะห่าง (Time-Space Diagram) (Mannering, Kilareski and Washburn, 2005)

ไดอะแกรมของเวลาและระยะห่างจากภาพที่ 1 จะสามารถถูกเขียนได้โดยการระบุตำแหน่งของยานพาหนะทุกคัน ในกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างที่กำหนดจุดและเวลา รถคันแรกจะถูกกำหนดให้เริ่มที่จุดเริ่มต้นของกราฟ และรถคันถัดมาจะเริ่มในจุดถัดมาตามระยะห่างและเวลาห่างจากรถคันก่อนหน้า การลดความเร็วจะทำให้ความชันของเส้นกราฟน้อยลง ในขณะที่การเพิ่มความเร็วจะทำให้ความชันเพิ่มมากขึ้น การที่เส้นกราฟของสองคันมีจุดตัดร่วมกันแสดงถึงรถทั้งสองมีอยู่ตำแหน่งเดียวกันในเวลาเดียวกัน ถ้าหากไม่มีการยอมให้เกิดการผ่านของรถจะทำให้เกิดการชนกันระหว่างรถทั้งสองคัน



ภาพที่ 2 ไดอะแกรมของเวลาและจำนวนรถติดรวมขณะเกิดสัญญาณไฟแดง (Taylor and Stazic, 2010)

ไดอะแกรมของเวลาและจำนวนรถติดรวมขณะเกิดสัญญาณไฟแดงจากภาพที่ 2 สามารถบอกได้ถึงจำนวนรถติดทั้งหมดตอนเกิดสัญญาณไฟแดง (Total arrivals), จำนวนรถที่หยุดรอในแถวสัญญาณไฟจราจร (Queue Length), จำนวนเวลาที่รอคอยสัญญาณไฟจราจรทั้งหมด (Area), จำนวนของรถที่เหลือหลังเกิดสัญญาณไฟเขียวและจำนวนรถที่วิ่งผ่านสัญญาณไฟจราจร (Total departures) จำนวนรถติดรอบแรกถูกกำหนดให้เริ่มที่จุดเริ่มต้นของกราฟ และในรอบถัดจะรวมจำนวนรถติดคงเหลือในรอบก่อนด้วย การที่ความชันของเวลาสัญญาณไฟเขียวมีความชันมากทำให้สามารถปล่อยจำนวนรถออกได้มากทำให้เหลือจำนวนรถติดน้อย เมื่อเกิดสัญญาณไฟแดงจะทำให้มีจำนวนรถติดเพิ่มมากขึ้น และถ้าไฟเขียวมีความชันน้อยทำให้จำนวนรถที่วิ่งออกไปได้น้อยซึ่งทำให้เหลือจำนวนรถติดมาก

1.4 แนวคิดเกี่ยวกับระบบควบคุมการจราจร

การควบคุมจราจรบนถนน โดยเฉพาะที่ทางแยกสามารถทำได้หลายแบบเพื่อลดจำนวนจุดปะทะระหว่างรถที่ทางแยก และเพื่อความสะดวกและปลอดภัยให้กับคนใช้ถนน การควบคุมที่สำคัญอย่างมากก็คือการควบคุมสัญญาณไฟจราจร ซึ่งการควบคุมแบบนี้เป็นที่ยอมรับกันทั่วโลกว่ามีประสิทธิภาพมากที่สุด เพราะประสิทธิภาพของสัญญาณไฟจราจรสามารถปรับเข้ากับการใช้งานในรูปแบบต่าง ๆ (พฤษภ ศรีบุรี, 2545)

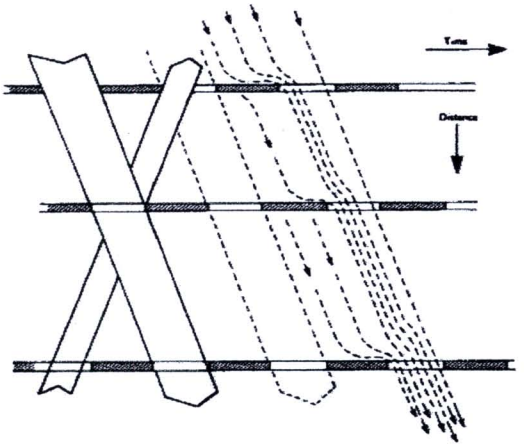
สัญญาณไฟจราจร หมายถึงเครื่องมือที่ควบคุมด้วยมือหรือทำงานอัตโนมัติเพื่อการควบคุมการไหลของกระแสการจราจร โดยการเปลี่ยนสีของหลอดไฟเพื่อให้เกิดความสะดวกในการเคลื่อนที่ยานพาหนะในกระแสจราจรสายต่าง ๆ และเพื่อควบคุมการขัดแย้งระหว่างพาหนะด้วยกัน หรือระหว่างพาหนะกับคนเดินเท้า เป็นต้น และสัญญาณไฟจราจรแบ่งเป็น 2 ประเภท ดังนี้

1.4.1 การควบคุมเวลาแบบคงที่ (Fixed-time)

จังหวะสัญญาณไฟแบบคงที่ถูกเลือกจากรูปแบบของจังหวะสัญญาณไฟจราจรที่ได้ออกแบบไว้ล่วงหน้าโดยใช้ข้อมูลที่เก็บมาก่อนในอดีต ดังนั้นหากมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณการจราจร การควบคุมแบบคงที่จะไม่สามารถปรับให้เหมาะสมกับสภาพการจราจร ข้อเสียของสัญญาณไฟแบบคงที่คือไม่สามารถปรับตัวเข้ากับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณการไหลของกระแสการจราจร เพราะฉะนั้นประสิทธิภาพของเครื่องจึงต่ำ แต่ตัวเครื่องจะมีราคาถูกและรักษาซ่อมแซมได้ง่าย นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงของปริมาณการไหลเล็กน้อยจะไม่ค่อย

กระทบกระเทือนการทำงานของสัญญาณไฟก่อให้เกิดประสิทธิภาพของสัญญาณไฟที่อาจเพิ่มขึ้นได้โดยการเพิ่มตัวควบคุมอีกตัวเพื่อปรับเวลาที่ตั้งไว้ให้เป็นหลายแบบ เช่น ตอนเช้าเวลาคนไปทำงานแบบหนึ่ง ตอนกลางวันอีกแบบหนึ่ง และตอนเย็นเวลาที่คนเลิกงานอีกแบบหนึ่ง เป็นต้น (พลเทพ เลิศวรวนิช, 2553)

การออกแบบ และกำหนดจังหวะเวลาของสัญญาณไฟจราจรแต่ละรอบของระบบเวลาแบบคงที่ เพื่อสามารถช่วยให้ช่วงเวลา (Bandwidth) สัญญาณไฟเขียวมีขนาดใหญ่ที่สุดให้รถยนต์สามารถเคลื่อนผ่านทุกทางแยกโดยไม่ต้องหยุดรถเลย ตัวอย่างโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณได้แก่ MAXBAND, PASSER และ MULTIBAND เป็นต้น ดังรูปภาพที่ 3 ดังนี้



ภาพที่ 3 แนวคิดความกว้างสูงสุด (Maximum Bandwidth Concept) (พลเทพ เลิศวรวนิช, 2553)

1.4.2 การควบคุมแบบปรับเปลี่ยนอัตโนมัติ (Adaptive Control)

ปริมาณการจราจรมักจะเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา วัน ฤดูกาล สภาพอากาศและเหตุการณ์ที่ไม่คาดคิด เช่น อุบัติเหตุ เหตุการณ์พิเศษหรือกิจกรรมการก่อสร้างทางถนนเป็นต้น ปัจจัยเหล่านี้จำเป็นต้องถูกรวบเข้าไปพิจารณาโดยระบบการควบคุมเป็นพื้นที่แบบปรับเปลี่ยนอัตโนมัติเพื่อป้องกันการเกิดจุกคอขวดและความล่าช้าในการเดินทาง ซึ่งระบบการควบคุมเหล่านี้สามารถตรวจนับปริมาณการจราจรและคำนวณค่าจังหวะสัญญาณไฟได้อย่างต่อเนื่อง

การควบคุมสัญญาณไฟจราจรเป็นพื้นที่แบบปรับเปลี่ยนอัตโนมัติสามารถจำแนกตามยุคได้ดังนี้ ยุคที่หนึ่งการควบคุมสัญญาณไฟจราจรใช้ข้อมูลที่ได้เก็บไว้ในอดีตในการกำหนดจังหวะสัญญาณไฟจราจรซึ่งได้คำนวณไว้ก่อนหน้านี้ ซึ่งจะเก็บไว้ในรูปแบบของแผนจังหวะสัญญาณไฟจราจรโดยอาจจะมีอยู่หลายแผนตามช่วงเวลาและวันของสัปดาห์ จะเห็นได้ว่าการควบคุมสัญญาณไฟจราจรเป็นพื้นที่ของระบบในยุคที่หนึ่งนี้ มีข้อจำกัดในแง่ความเหมาะสมของแผนเมื่อเทียบกับปริมาณการจราจรจริงเนื่องจากไม่ได้คำนวณจังหวะสัญญาณไฟจากข้อมูลจริงในขณะนั้น อีกทั้งไม่มีการตรวจนับปริมาณจราจรจากเครื่องตรวจนับ สำหรับยุคที่สองของระบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจรเป็นพื้นที่นั้นจะคำนวณจังหวะสัญญาณไฟจราจรแบบออนไลน์ โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากเครื่องตรวจนับ โดยจะทำการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของจังหวะสัญญาณไฟจราจรที่เหมาะสมกับสภาพการจราจรในขณะนั้นทุกๆห้านาที อย่างไรก็ตามเพื่อป้องกันไม่เกิดความแปรปวน (Disturbance) ของจราจร

จังหวะสัญญาณไฟจราจรใหม่ที่คำนวณได้จะถูกนำไปใช้ทุกๆสิบนาที สำหรับยุคที่สามของระบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจรเป็นพื้นที่นั้นจะคล้ายคลึงกับยุคที่สองแต่ข้อแตกต่างคือยุคที่สามจะมีการปรับเปลี่ยนจังหวะสัญญาณไฟจราจรที่ถี่กว่าและยอมให้ค่ารอบของเวลาของความแตกต่างสำหรับแต่ละทางแยก ตัวอย่างระบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบปรับเปลี่ยนอัตโนมัติ ดังนี้

1.4.2.1 MODERATO ถูกพัฒนาขึ้นในประเทศญี่ปุ่นโดยจะคำนวณจังหวะสัญญาณไฟจราจรแบบเวลาจริง (Real-time) ใช้การคำนวณของสัดส่วนของจังหวะ (Split) แทนที่จะใช้อัตราส่วนระหว่างปริมาณจราจรต่ออัตราการไหลอิ่มตัว MODERATO ใช้อัตราส่วนที่เรียกว่า Loaging Ratio โดยคำนวณถึงทั้งปริมาณจราจรและความยาวของแถวคอยของกลุ่มช่องจราจรไปพร้อมกัน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้ (พลเทพ เลิศวรวนิช, 2553)

$$\rho_i = \frac{V_i + E_i}{S_i}$$

โดยที่ ρ_i คือ loading ratio ของกลุ่มช่องจราจร "$_i$"

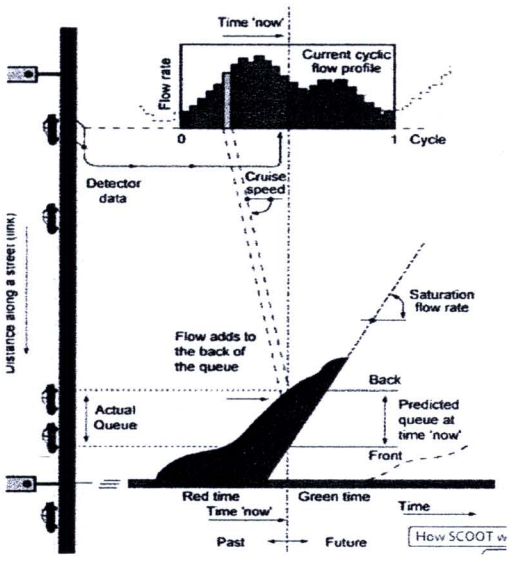
V_i คือ ปริมาณการจราจรของกลุ่มช่องจราจร "$_i$"

E_i คือ จำนวนรถที่อยู่ในแถวคอยของกลุ่มช่องจราจร "$_i$"

S_i คือ อัตราไหลอิ่มตัวของกลุ่มช่องจราจร "$_i$"

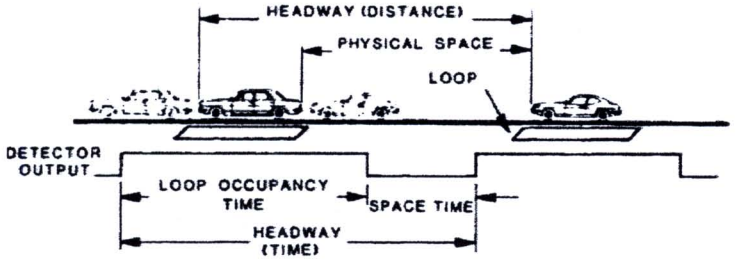
เมื่อนำเอาความยาวแถวคอยเข้ามารวมด้วยดังนั้นสามารถคำนวณได้ทั้งสภาพการจราจรแบบต่ำกว่าอิ่มตัว (Undersaturated) และสูงกว่าอิ่มตัว (Oversaturated) โดยใช้วิธีการเดิมในการคำนวณสัดส่วนของเฟส สำหรับค่ารอบเวลาจะคำนวณได้จากสูตรของ Webster และค่าเหลื่อมของเวลาจะคำนวณจากแบบจำลอง TRANSYT

1.4.2.2 SCOOT (Split, Cycle and Offset Optimization Technique) ถูกพัฒนาขึ้นโดยประเทศอังกฤษ โดยเป็นระบบศูนย์รวมเพื่อคำนวณจังหวะสัญญาณไฟจราจรแบบออนไลน์ ซึ่งจะค่อยๆเพิ่มหรือลดค่าพารามิเตอร์เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันการคำนวณจะทำการหาค่าสัดส่วนของเฟส ค่าเหลื่อมเวลาและค่ารอบของเวลา ระบบจะพยากรณ์ลักษณะการเข้ามาของจราจรโดยพิจารณาข้อมูลที่เก็บจากเครื่องตรวจนับปริมาณจราจรที่ติดตั้งไว้ก่อนเข้าทางแยก ลักษณะการเข้ามาของจราจรจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับลักษณะการออกซึ่งผลต่างคือความล่าช้าในการเดินทางและความยาวแถวคอยรูปแบบดังกล่าวนี้จะคำนวณทุกรอบของจังหวะสัญญาณไฟจราจรสำหรับการคำนวณค่าสัดส่วนของเฟสนั้น SCOOT จะทดลองเปรียบค่าขึ้นหรือลงเพียงเล็กน้อยของทุกกลุ่มช่องจราจรแล้วหาว่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงทำให้ความล่าช้าในการเดินทางของทั้งระบบดีขึ้น ในการคำนวณหาค่าเหลื่อมเวลาใช้การหมุนรอบโครงร่าง (Cycle profile) และเทคนิคการปีนเขา (Hill – climbing technique) เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในการทำให้เกิดความก้าวหน้า (Progression) ของการไหลของจราจรบนถนนสายหลักที่ต้องการประสานเชื่อมโยงทางแยก สำหรับค่ารอบของเวลาระบบจะปรับขึ้นถ้าทางแยกมีปริมาณจราจรมากกว่าความจุและปรับลดลงถ้ามีปริมาณจราจรต่ำกว่าความจุ (McDonald and Hounsell, 1991 and Hunt et al., 1982) ดังภาพที่ 4 ดังนี้



ภาพที่ 4 แนวคิดระบบ SCOOT (SCOOT System Concept) (พลเทพ เลิศวรวนิช, 2553)

1.4.2.3 SCATS (Sydney Coordinated Adaptive Traffic System) ถูกพัฒนาขึ้นในประเทศออสเตรเลีย โดยมีการทำงานเป็น 3 ระดับ ได้แก่ 1.คอมพิวเตอร์ส่วนกลาง (Central Computer) 2. คอมพิวเตอร์ส่วนพื้นที่ (Regional Computer) และ 3.คอมพิวเตอร์ส่วนท้องถิ่น (Local Computer) ในการควบคุมโครงข่ายจราจร ระบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบนี้ใช้หลักการของระดับความอิ่มตัว (Degree of saturation) ในการคำนวณหาค่ารอบเวลาของเวลาและสัดส่วนของเฟสโดยจะทำการวัดระดับความอิ่มตัวของแต่ละกลุ่มช่องจราจร จากนั้นจะพยายามทำให้ระดับความอิ่มตัวของแต่ละกลุ่มช่องจราจรมีค่าเท่ากัน สำหรับค่าเหลื่อมเวลาจะพิจารณาจากข้อมูลในอดีตที่คำนวณไว้ก่อนหน้านี้ และทำการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ทุกรอบของจังหวะสัญญาณไฟจราจร (Lowrie, 1990) ดังภาพที่ 5 ดังนี้



ภาพที่ 5 การประมาณระดับความอิ่มตัวของระบบ SCATS (SCATS Degree of Saturation Estimation) (พลเทพ เลิศวรวนิช, 2553)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

ระบบการควบคุมแบบปรับเปลี่ยนอัตโนมัติเหล่านี้ มีความสามารถในการควบคุมสัญญาณไฟจราจรได้ดีกว่าการควบคุมเวลาแบบคงที่ อย่างไรก็ตามระบบเหล่านี้มีค่าใช้จ่ายสูงและไม่สามารถนำมาพัฒนาได้เพราะเป็นลิขสิทธิ์ของประเทศนั้น ๆ

1.5 สัญญาณไฟจราจร (Traffic light)

ในขณะที่สัญญาณไฟทำงานจะมีไฟแสดงสัญญาณหลายแบบตามลำดับดังนี้ คือสัญญาณไฟแดง (Red), สัญญาณไฟแดงกับไฟเหลือง (Red + Amber), สัญญาณไฟเขียว (Green) และสัญญาณไฟเหลือง (Amber or Yellow) ความหมายของสัญญาณไฟแดงคือ ให้รถที่วิ่งเข้าสัญญาณไฟหยุด ส่วนสัญญาณไฟแดงกับไฟเหลืองใช้เพื่อให้รถเตรียมตัวเร่งเครื่อง จะได้ออกรถโดยไม่เสียเวลาการรอไฟเขียวรอบต่อไป สำหรับสัญญาณไฟเหลืองอย่างเดียวเพื่อเป็นการกันเวลาไว้ส่วนหนึ่งให้รถที่ผ่านไฟเขียวแล้วสามารถวิ่งผ่านทางแยกได้ โดยไม่เกิดการปะทะกับรถอีกเลนหนึ่ง และมีไว้เพื่อให้สำหรับหยุดก่อนที่จะเข้าไปในทางแยก เป็นต้น

ซึ่งสัญญาณไฟจราจรที่ใช้ทั่วไปมี 3 สี คือ

1. สีแดง หมายถึง การบังคับให้ยวดยานหยุดทุกคัน
2. สีเหลือง หมายถึง การตักเตือนให้ผู้ขับขี่ชะลอความเร็ว เพื่อเพิ่มความระมัดระวังมากขึ้น และเตรียมพร้อมที่จะหยุดเมื่อมีสัญญาณไฟแดง
3. สีเขียว หมายถึง การอนุญาตให้ยวดยานวิ่งผ่านได้

ในการทดลองนี้กำหนดให้ ลักษณะการเคลื่อนที่ของจำนวนรถตามระบบสัญญาณไฟจราจร โดยกำหนดให้การควบคุมสัญญาณไฟจราจรมีสัญญาณไฟ 2 สีด้วยกัน คือสัญญาณไฟเขียวให้รถสามารถวิ่งผ่านได้ และสัญญาณไฟแดงให้หยุดรถรอสัญญาณไฟเขียว กำหนดให้จำนวนรถที่วิ่งเข้าและวิ่งออกจากสัญญาณไฟจราจรมีลักษณะการเคลื่อนที่ของรถตามระบบสัญญาณไฟจราจรโดยให้มีการเข้าและออกของรถเป็นแบบแถวคอยแบบเข้าก่อนออกก่อน (FIFO queue) (พลเทพ เลิศวรวนิช, 2553)

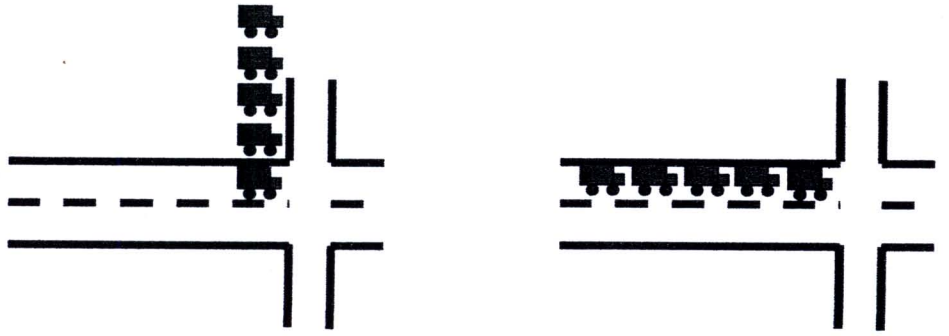
1.6 ระบบรอคอย

ในการวิเคราะห์โครงข่ายจราจร วิศวกรจราจรและนักวิจัยได้พัฒนาแบบจำลองจราจรมากมาย โดยสามารถแบ่งวิธีการวิเคราะห์ออกเป็นสองลักษณะคือ แบบจำลองแถวคอยแบบแนวตั้ง (Vertical Queuing) และแบบจำลองแถวคอยแบบแนวนอน (Horizontal Queuing) ซึ่งข้อแตกต่างของวิธีทั้งสองคือ

1.6.1 แบบจำลองแถวคอยแนวตั้ง (Vertical Queuing) มีสมมุติฐานว่ารถยนต์ไม่มีขนาดหรือเป็นจุดนั่นเอง ดังนั้นจึงไม่ได้พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล ความเร็ว และความหนาแน่นของการจราจร รถยนต์ทุกคันบนถนนจะวิ่งด้วยความเร็วเท่ากัน ความติดขัดของการจราจรก็ไม่ต้องคำนึงถึง ดังนั้นแบบจำลองนี้จึงไม่สามารถจำลองเหตุการณ์ การล้นข้ามทางแยกได้อย่างถูกต้องในกรณีที่จราจรมีระดับความอิ่มตัวสูงกว่าความจุ ตัวอย่างวิธีคำนวณที่ใช้หลักการนี้ได้แก่ TRANSYT และ STORE-AND-FORWARD MODEL ดังภาพที่ 6

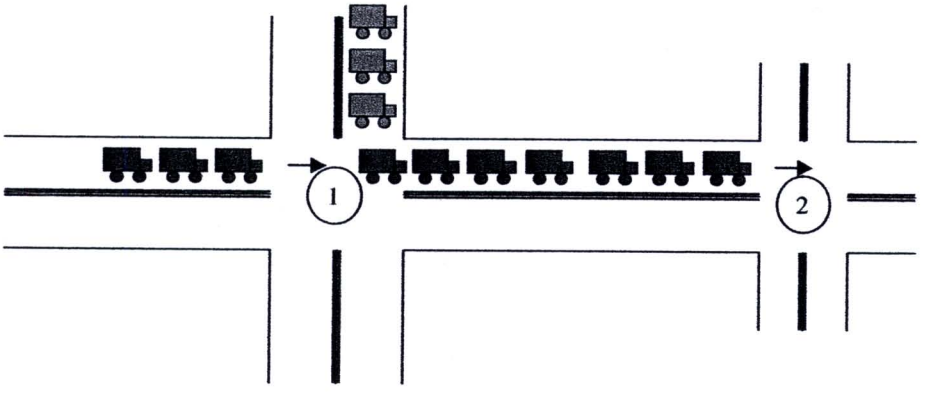
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ 7 ก.ย. 2555
เลขทะเบียน 249312
เลขเรียกหนังสือ

1.6.2 แบบจำลองแถวคอยแนวนอน (Horizontal Queuing) พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล, ความเร็ว และความหนาแน่นของการจราจร จึงสามารถจำลองคลื่นกระแทก (Shock wave) และการเคลื่อนตัวของจราจรได้อย่างเหมาะสม ดังนั้นจึงสามารถจำลองเหตุการณ์การล้นข้ามแยกได้ ซึ่งวิธีการทั้งหลายที่พัฒนาขึ้นจากหลักการนี้จะพยายามหาคำตอบทฤษฎีคลื่นกลศาสตร์การเคลื่อนที่ (Kinematics Wave Theory) โดยตัวอย่างวิธีการคำนวณที่ใช้หลักการนี้ได้แก่การส่งผ่านเซลล์ (Cell Transmission) และเซลลูลาร์ออโตเมตา (Cellular Automata) ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 แบบจำลองแถวแนวตั้งและแนวนอน (Vertical and Horizontal Queue Modeling) (พลเทพ เลิศวรวนิช, 2553)

การล้นข้ามทางแยกคือ เหตุการณ์ที่รถยนต์จากทางแยกถัดไปล้นข้ามมายังทางแยกที่กำลังพิจารณาอยู่ ซึ่งก่อให้เกิดการขัดขวางทางแยก โดยปกติการล้นข้ามแยกจะเกิดขึ้นเมื่อปริมาณจราจรสูงกว่าความจุของทางแยก หรือเกิดจากจังหวะสัญญาณไฟจราจรไม่เหมาะสม ในภาพที่ 7 จราจรที่มุ่งสู่ทิศทางใต้ของทางแยกที่ 1 จะถูกกีดขวางโดยจราจรที่ล้นข้ามมาจากทางแยกที่ 2



ภาพที่ 7 การล้นข้ามทางแยกของยานพาหนะ (Spillover of Downstream Vehicles) (พลเทพ เลิศวรวนิช, 2553)

1.7 การจำลองจำนวนรถเข้า และรถออกแบบการแจกแจงแบบปัวส์ซอง

การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบปัวซองคือ การแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวแปรชนิดไม่ต่อเนื่อง การแจกแจงปัวซอง มาจากผลการทดลองเชิงสุ่มที่เกิดขึ้นช่วงระยะเวลาช่วงหนึ่ง หรือขอบเขตใดขอบเขตหนึ่งของช่วงเวลาที่กำหนด (ณัฐพล เกิดพุฒและคณะ, 2542)

คุณสมบัติของการแจกแจงแบบปัวส์ซอง มีดังนี้

1.7.1 โอกาสในการเกิดเหตุการณ์ (ค่าจำนวนรถผ่านจุดหนึ่ง) ในช่วงหนึ่ง ขึ้นอยู่กับค่าของช่วงเวลา

1.7.2 การเกิดของเหตุการณ์หนึ่ง (ค่าจำนวนรถผ่านจุดหนึ่ง) ไม่มีผลต่อการเกิดเหตุการณ์อื่น ๆ

1.7.3 โอกาสที่เกิดหลายเหตุการณ์ (จำนวนเกินรถหนึ่งคันผ่านจุดหนึ่ง) ในช่วงเวลาสั้นมาก ถือว่ามีค่าเท่ากับศูนย์

การแจกแจงนี้เขียนได้ด้วยสัญลักษณ์ $p(x,\lambda)$ แสดงว่าการแจกแจงขึ้นอยู่กับ λ โดยที่ λ คือค่าเฉลี่ยของความสำเร็จที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาหนึ่ง หรือสถานการณ์หนึ่ง ความน่าจะเป็นที่จะพบความสำเร็จ x ครั้งในช่วงเวลาหนึ่งหรือสถานการณ์หนึ่ง การแจกแจงแบบปัวส์ซองมีสูตร ดังนี้

$$p(x,\lambda) = \frac{e^{-\lambda}\lambda^{x}}{x!}$$

เมื่อ x คือ 0,1,2,...

$p(x,\lambda)$ = ความน่าจะเป็นที่รถ x คันจะผ่านจุดหนึ่งในช่วงเวลาที่กำหนด t วินาที

λ = ค่าเฉลี่ยของจำนวนรถที่วิ่งผ่านในช่วงเวลา t นาที

e = 2.71828...

ในงานวิจัยนี้กำหนดให้จำนวนรถที่วิ่งเข้า และวิ่งออกจากสัญญาณไฟจราจรมีการแจกแจงแบบปัวส์ซอง

1.8 แนวคิดที่เกี่ยวข้องกับการทดลองโดยใช้ระบบทฤษฎีเกม (Game theory) และการหาจุดสมดุลของระบบโดยใช้ดุลยภาพแนช (Nash Equilibrium)

1.8.1 หลักการของทฤษฎีเกม

หลักการของทฤษฎีเกมเป็นกระบวนการที่มาช่วยวิเคราะห์ เรียบเรียง และทำให้การตัดสินใจดีขึ้น และแม่นยำ กระบวนการตัดสินใจเป็นการใช้หลักการทางคณิตศาสตร์และการคำนวณเพื่อหาทางเลือกที่เหมาะสมในการแสดงพฤติกรรม หรือนำมาอธิบายพฤติกรรมของมนุษย์ ซึ่งมนุษย์คือผู้ที่อยู่ในเกมและจะตัดสินใจเล่นเกมนั้นๆ โดยจุดประสงค์ของทฤษฎีเกมเพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และอธิบายพฤติกรรมในสถานการณ์ที่ต้องมีการวางแผนตัดสินใจ (หรือที่เรานิยามเรียกว่าเกม) ผู้เล่นแต่ละคนประสบความสำเร็จหรือได้ประโยชน์จากการตัดสินใจเลือกแผนการเล่นของตัวเองโดยแผนการเล่นนั้นจะมีผลมาจากการตัดสินใจเลือกแผนของผู้เล่นคนอื่น ๆ ด้วย

เกม (Games) คือ สถานการณ์ที่มีการแข่งขันหรือการขัดแย้งระหว่างฝ่ายตั้งแต่ 2 ฝ่ายขึ้นไป และสามารถแบ่งเกมเป็น 2 ประเภท คือ

1.8.1.1 เกมที่มีผลรวมเป็นศูนย์ (Zero-sum games) เป็นเกมที่ผลรวมของผลได้ของผู้ชนะมีค่าเท่ากับผลรวมความเสียหายที่ผู้แพ้ได้รับ หรือผู้ชนะได้รับผลตอบแทนทั้งหมดเรียกว่า "The winner take all" ซึ่งผู้เสียจะสูญเสียไปทั้งหมด เช่นหมากรุก หมากล้อม เป็นต้น

1.8.1.2 เกมที่มีผลรวมไม่เป็นศูนย์ (Nonzero-sum games) เป็นเกมที่มีกลยุทธ์ที่ผลได้ของผู้ชนะมีค่าไม่เท่ากับความเสียหายที่ผู้แพ้ได้รับ ในเกมชนิดนี้ผู้แข่งขันทุกคนอาจเป็นผู้ชนะ (win-win) หรือในทำนองกลับกันก็อาจจะเป็นผู้แพ้ (loss-loss) ทั้งหมดก็ได้ เช่นการต่อรองผลประโยชน์ การประมูล เป็นต้น (Bierman, and Fernandez, 1998)

เกมประกอบด้วย 1. ผู้เล่น (Player) 2. กติกา (Rule) 3. กลยุทธ์ (Strategy) คือ เซตของกระทำที่ผู้เล่นแต่ละคนสามารถกระทำได้สำหรับเกมนั้นๆ 4. ผลลัพธ์ (Outcome) หรือ (Payoff) คือ เงินหรือผลประโยชน์/ผลเสียที่ผู้เล่นแต่ละคนได้รับจากผลลัพธ์ต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้น

โดยเกมการควบคุมสัญญาณไฟจราจรนี้ประกอบด้วย

1. ผู้เล่น (Player) คือ ถนนหรือเส้นทางการเกิดสัญญาณไฟจราจร
2. กติกา (Rule) คือ เวลาสัญญาณไฟเขียว (t_g) รวมกับเวลาสัญญาณไฟแดง (t_r) เท่ากับ 1 รอบสัญญาณเวลาไฟจราจร และเมื่อเกิดไฟแดงให้หยุดรถ และเมื่อเกิดไฟเขียวให้รถสามารถวิ่งผ่านได้
3. กลยุทธ์ (Strategy) คือ การเลือกเวลาสัญญาณไฟเขียว และเวลาสัญญาณไฟแดงที่ทำให้จำนวนรถติดเหลือน้อยที่สุด
4. ผลลัพธ์ (Outcome) คือ จำนวนรถที่เหลือในระหว่างการเกิดสัญญาณไฟจราจรแต่ละเส้นทาง

1.8.2 การหาดุลยภาพของแนช

ดุลยภาพของแนช (Rosen, 1965) เป็นแนวคิดการหาคำตอบของเกมซึ่ง ณ จุดนี้ผู้เล่นทุกคนจะเลือกกลยุทธ์ที่ดีที่สุดเมื่อกำหนดกลยุทธ์ของคู่แข่งมาให้และจะไม่มีผู้เล่นคนใดเปลี่ยนกลยุทธ์ของตนเองเพื่อให้ผลตอบแทนดีขึ้นโดยที่ผู้เล่นคนอื่นไม่เปลี่ยนกลยุทธ์ตาม

ในการแก้ปัญหาด้วยการหาดุลยภาพของแนช โดยใช้ทฤษฎีเกมมีหลายแบบด้วยกัน ในส่วนนี้ทำการแนะนำวิธีการ (Algorithms) ต่าง ๆ ที่นำมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาและได้แนะนำเอกสารอ้างอิงสำหรับวิธีคิดแต่ละแบบด้วย ดังนี้

การหาดุลยภาพของแนชมีการคิดค้น ขั้นตอนและกระบวนการมาเป็นเวลานาน เริ่มต้นตั้งแต่ปี ค.ศ. 1964 แบ่งเป็น 2 แบบคือ 1. เกมสำหรับผู้เล่น 2 คน และ 2. เกมสำหรับผู้เล่น n คน (มากกว่าสองคนขึ้นไป)

การหาดุลยภาพของแนชในเกมสำหรับผู้เล่น 2 คน มีดังต่อไปนี้

1. วิธีการของเลมค์ฮาวสัน (Lemke – Howson algorithm) (Lemke and Howson, 1964) ทำการแปลงเกมสำหรับ 2 ผู้เล่นให้เป็นปัญหาสมการเชิงเส้นแบบเติมเต็ม (Linear complimentarily problem หรือ LCP) ก่อนจะทำ

การแก้ปัญหา และยังมีการนำมาใช้อย่างต่อเนื่องเพราะเป็นระบบ และวิธีการที่ง่าย รวดเร็ว และมีประสิทธิภาพพอสมควร

2. การค้นหาวิธีการอย่างง่าย (Simple Search Methods) (Porter, Nudelman, and Shoham, 2005) เป็นแนวความคิดในการใช้การค้นหาแบบเฮอร์ริสติค (Heuristic search) หรือการเลือกสุ่มหาค่าคำตอบที่เป็นไปได้จากคำตอบทั้งหมดเพื่อลดความซับซ้อนและเพิ่มประสิทธิภาพในการค้นหาดุลยภาพของแนชโดยกระบวนการการค้นหาวิธีอย่างง่ายมีการกำหนดพื้นที่ในการค้นหา (Space of supports) คำตอบในแต่ละผู้เล่นซึ่งพื้นที่ในการค้นหาคือกลยุทธ์ที่ผู้เล่นแต่ละคนทำการเลือกคำตอบ และทำการตัดกลยุทธ์ที่ไม่สามารถเป็นดุลยภาพของแนชได้

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองระบบสัญญาณไฟจราจรบนสี่แยกถนนวิ่งทางเดียวซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้กระบวนการค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีการอย่างง่ายสำหรับผู้เล่น 2 คน

การหาดุลยภาพของแนชในเกมสำหรับผู้เล่น n คน มีดังต่อไปนี้

1. วิธีการแบ่งย่อยอย่างง่าย (Simplicial Subdivision) (van der Laan et al., 1987)

2. วิธีโกวินดันวิลสัน (Govindan-Wilson) (Govindan and Wilson, 2003)

3. และการเพิ่มประสิทธิภาพของวิธีโกวินดันวิลสัน (Govindan-Wilson) โดยวิธีของบลัมและคณะ (Blum et al., 2003)

ซึ่งทั้ง 3 กระบวนการนี้ใช้ความรู้เชิงลึกมากในการแก้ปัญหาของโครงสร้างทางคณิตศาสตร์และต้องมีความเข้าใจในปัญหาอย่างลึกซึ้ง การหาดุลยภาพของแนชในเกมสำหรับผู้เล่น n คน ทั้ง 3 วิธีนี้จึงมีความซับซ้อนอย่างมาก

4. การค้นหาวิธีการอย่างง่าย (Porter, Nudelman, and Shoham, 2005) เช่น เดียวกับการหาดุลยภาพของแนชในเกมสำหรับผู้เล่น 2 คน ซึ่งใช้แนวความคิดของเฮอร์ริสติค หรือการสุ่มหาค่าคำตอบที่เป็นไปได้จากคำตอบทั้งหมดเพื่อลดความซับซ้อนและเพิ่มประสิทธิภาพในการค้นหาดุลยภาพของแนช โดยเลือกคำตอบจากกลยุทธ์ที่เป็นไปได้ของแต่ละผู้เล่นและทำการตัดกลยุทธ์ที่ไม่สามารถเป็นดุลยภาพของแนชได้

1.9 การจำลองระบบ (Simulation system)

การจำลอง (Simulation) แบบปัญหาเป็นวิธีการหนึ่งที่มีประสิทธิภาพอย่างมากที่นำมาช่วยสำหรับการทำการศึกษาและวิเคราะห์หาผลลัพธ์ เพื่อนำไปใช้ในการแก้ปัญหาในด้านต่างๆ ซึ่งมีระบบหรือขั้นตอนการทำงานที่มีความยุ่งยากซับซ้อน การจำลองแบบปัญหาจึงกลายเป็นวิธีการอย่างหนึ่งที่มีความสำคัญ และมีความเหมาะสมที่สุดที่จะนำมาใช้งาน เพื่อช่วยในด้านการวิเคราะห์ การออกแบบ การวางแผน การควบคุมงาน และอื่นๆ อีกมากมาย สำหรับระบบงานต่างๆ (มานพ วราภักดี, 2550)

กระบวนการของการจำลองแบบปัญหาออกเป็น 2 ส่วนใหญ่คือ การสร้างแบบจำลอง และการนำเอาแบบจำลองนั้นไปใช้งานเชิงวิเคราะห์ (Experimental) ซึ่งจะต้องรวมเอาสองส่วนนี้เข้าด้วยกัน ดังนั้นกลไกของวิธีการของการจำลองแบบปัญหาขึ้นอยู่กับแบบจำลองและการใช้แบบจำลอง แบบจำลองที่ใช้ในการจำลองแบบปัญหาอาจจะเป็นระบบงานหรือเป็นแนวความคิดลักษณะใดลักษณะหนึ่ง ซึ่งไม่จำเป็นต้องเหมือนกับระบบงานจริง แต่จะต้องสามารถช่วยให้เข้าใจในระบบงานจริงเพื่อประโยชน์ในการอธิบายพฤติกรรมและเพื่อปรับปรุงการ

ทำงานของระบบงานจริง ฉะนั้นการจำลองแบบปัญหาจะเน้นถึงการสร้างแบบจำลองและการทดลองเพื่อการศึกษาปัญหาต่างๆ ที่ต้องการเรียนรู้และแสดงผลลัพธ์ออกมาเป็นค่าทางสถิติซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้

ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้ทำการทำวิจัยระบบสัญญาณไฟจราจร ซึ่งเป็นการแก้ปัญหาระบบสัญญาณไฟการจราจรจากการทำแบบจำลองด้วยการหาจุลสมดุลโดยใช้ดุลยภาพของแนชเข้ามาช่วยในการแก้ปัญหาในแต่ละสัญญาณไฟจราจร และใช้คอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการตัดสินใจควบคุมสัญญาณไฟจราจรจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการควบคุมการจราจรบริเวณนั้นได้

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการจัดระบบสัญญาณไฟจราจรตามสี่แยก และสามแยก ต่าง ๆ ในตัวเมืองจากการศึกษาและการทดลองที่ผ่านมา พบว่ามีการแก้ปัญหาหลายวิธีด้วยกันเพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาให้เป็นระบบ, ระเบียบมากขึ้น และโดยทั่วไปการจัดระบบสัญญาณไฟจราจรในเมืองไทยเป็นแบบเวลาคงที่

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงการแก้ปัญหาถึงการจัดระบบการจราจรในแบบต่าง ๆ แบ่งได้ดังนี้

2.1 การแก้ปัญหาการจัดระบบการจราจรแบบทางเดียว เช่น การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการควบคุมทางแยกสัญญาณไฟ (ณพงศ์ ธณาธรรมธร, ไตรรัตน์ รัตนวิจิตรและอรรถชัย มาวิชัย, 2542) การประยุกต์ใช้โปรแกรม PARAMICS ในการจัดการระบบการจราจร บริเวณศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ หาวิทยาลัยขอนแก่น (ธีรชัย คมปรัชญา, เนรมิต เหลาภา, เปรมศักดิ์ ชัชวาล, พงศธร สีหามาตรย์ และ วัฒนา ขันตี, 2544)

2.2 การแก้ปัญหาการจัดระบบการจราจรแบบเครือข่าย เช่น Uran Traffic Control: A Streaming Multimedia Approch (Palau, Esteve, Martínez, Molina and Perez, 2005) Overview of distribution decision-making for urban traffic control (Prikryl, [n.d.]) Decentralized Temporal Fuzzy Discrete Event Control in Urban Traffic Management (Akramizadeh, Afshar, Mohammad-R. Akbarzadeh-T, 2006)

และควบคุมระบบการจราจรโดยใช้ทฤษฎีเกมให้สามารถควบคุมระบบการจาจราจรให้ดีขึ้น และสะดวกมากขึ้น ตัวอย่างดังนี้

Alvarez, Poznyak, and Malo (2007) ระบุว่า การแก้ปัญหารถติดในเมืองโดยใช้ระบบควบคุมสัญญาณไฟแดง-เขียวเข้ามาช่วย โดยใช้วิธีแบบจำลองของมาร์คอฟเชน (Markov chain model) และทฤษฎีเกมในการเปรียบเทียบหาดุลยภาพของแนชเพื่อใช้ในการแก้ปัญหาในการควบคุมสัญญาณไฟจราจร โดยมีการเปรียบเทียบกับกระบวนการแก้ปัญหาแบบปรับเปลี่ยนอัตโนมัติอย่างง่าย

ระบบสัญญาณไฟจราจรใช้การควบคุมแบบปรับเปลี่ยนอัตโนมัติ และหลักการจำลองของมาร์คอฟเชนเป็นการพยากรณ์จากอดีตไปถึงปัจจุบัน และในอนาคต คำนวณเป็นช่วงเวลาจากสภาวะที่ 1 ไปสภาวะที่2, สภาวะที่ 2 ไปสภาวะที่ 3 เป็นต้น เพื่อศึกษาพฤติกรรมหรือความเป็นไปในการดำเนินงาน (State variable) จากเวลาหนึ่งไปอีกเวลาหนึ่งได้ว่ามีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร และการนำข้อมูลที่ได้มานั้นหาจุดสมดุลของระบบโดยการใช้ดุลยภาพของแนช และจากข้อมูลที่ได้จากควบคุมระบบสัญญาณไฟจราจรตามช่วงเวลานั้น ๆ สามารถลดจำนวนรถติดได้ร้อยละ 26.45 เมื่อเทียบกับการควบคุมแบบปรับเปลี่ยนอัตโนมัติอย่างง่าย โดยประสิทธิภาพนั้นขึ้นอยู่กับค่าเฉลี่ยเกมการไหลของการจราจร (Flow average traffic game) และจากหลายการทดลองพบว่าการ

จำลองโดยใช้ดุลยภาพของแนชให้ผลได้ดีกว่าในถนนอิ่มตัวของจำนวนรถยนต์ (Saturated intersection) และให้ผลที่ไม่แตกต่างในแบบถนนไม่อิ่มตัวของจำนวนรถยนต์ (Unsaturated intersection)

Sun and Goa (2007) ระบุว่า การวิเคราะห์ระบบการคำนวณเพื่อนำมาใช้งานในระบบการจราจรแบบเครือข่ายให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น โดยการจำลองระบบการจราจรและการขนส่งเปรียบเหมือนตลาดสินค้า โดยกำหนดให้ผู้โดยสารคือผู้บริโภค, โอเปอร์เรเตอร์การขนส่งคือผู้ผลิต และสินค้าคือการบริการการเดินทางที่ดีต่อผู้โดยสาร แล้วนำเกมดุลยภาพของแนชใช้ในการประยุกต์การปรับตัวการเลือกเส้นทาง และโหมดการเดินทางของผู้โดยสาร เช่นตัวอย่างความสมดุลการตลาด (Market equilibrium model) สำหรับระบบการขนส่ง โดยการเขียนโปรแกรมอนุกรมทางคณิตศาสตร์และระบบสมการต่างๆอย่างง่ายที่กำหนดขึ้นเอง เป็นการเปรียบเทียบระหว่างโอเปอร์เรเตอร์การขนส่งหรือผู้ผลิตกับสิ่งที่มีอิทธิพลต่อผู้โดยสาร ซึ่งสามารถจำลองการพยากรณ์ล่วงหน้าการเลือกเส้นทางและโหมดการเดินทางที่ดีที่สุดของผู้โดยสารได้และได้ออกแบบวิธีคิด (Algorithm) เพื่อหาจุดสมดุลของระบบอย่างง่าย และจะนำไปประยุกต์ใช้งานต่อไปในอนาคต

Yu and Faldini (2004) ระบุว่า การศึกษาเกี่ยวกับระบบการจราจรแบบเครือข่าย (Traffic network) มีความสลับซับซ้อนของระบบอย่างมากจึงได้นำมาประยุกต์ใช้ในทฤษฎีเกมโดยเปรียบเทียบจำนวนถนนแต่ละเส้นทางเหมือนมีผู้เล่นหลาย ๆ คน (Multi-agents systems (MAS)) เพื่อหาจุดสมดุลของระบบโดยใช้วิธีการหาดุลยภาพของแนชและการวัดประสิทธิภาพของพาเรโต (Pareto efficiency) การจำลองระบบการจราจรแบบเครือข่ายในเกมนี้เปรียบเสมือนว่ามีการแข่งขันของผู้เล่นหลาย ๆ คนของแต่ละทางแยกและในถนนหลาย ๆ เส้นทางที่เชื่อมถึงกันโดยใช้การจำลองแบบไม่มีการร่วมมือกัน (Non-cooperative) ของแต่ละทางแยก พบว่าการหาดุลยภาพของแนชได้ผลลัพธ์ที่แย่กว่าการแก้ปัญหาจากจุดสมดุลสภาวะทางสังคม (Social optimum) ซึ่งผลลัพธ์ที่ดีที่สุดสำหรับผู้เล่นทุกคนในเกมโดยใช้จุดสมดุลของแนชไม่สามารถรับรองประสิทธิภาพสำหรับผู้เล่นของพาเรโตว่าเป็นจุดที่ดีเสมอไป

ฉะนั้นจึงทำการประยุกต์จำนวนถนนแต่ละเส้นทางเหมือนมีผู้เล่นหลาย ๆ คนในทฤษฎีเกมโดยใช้วิธีดุลยภาพของแนชร่วมกับการวัดประสิทธิภาพของพาเรโต พบว่าเป็นการแก้ปัญหาที่ดีของสังคม และเป็นการแก้ปัญหาที่ดีกว่าวิธีอื่น ๆ ตามที่ได้ทดสอบมา และเหมาะที่จะนำมาจำลองเพื่อนำไปการประยุกต์ใช้งานจริงต่อไป