หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

การปรับปรุงแบบจำลองและพฤติกรรมการจราจร

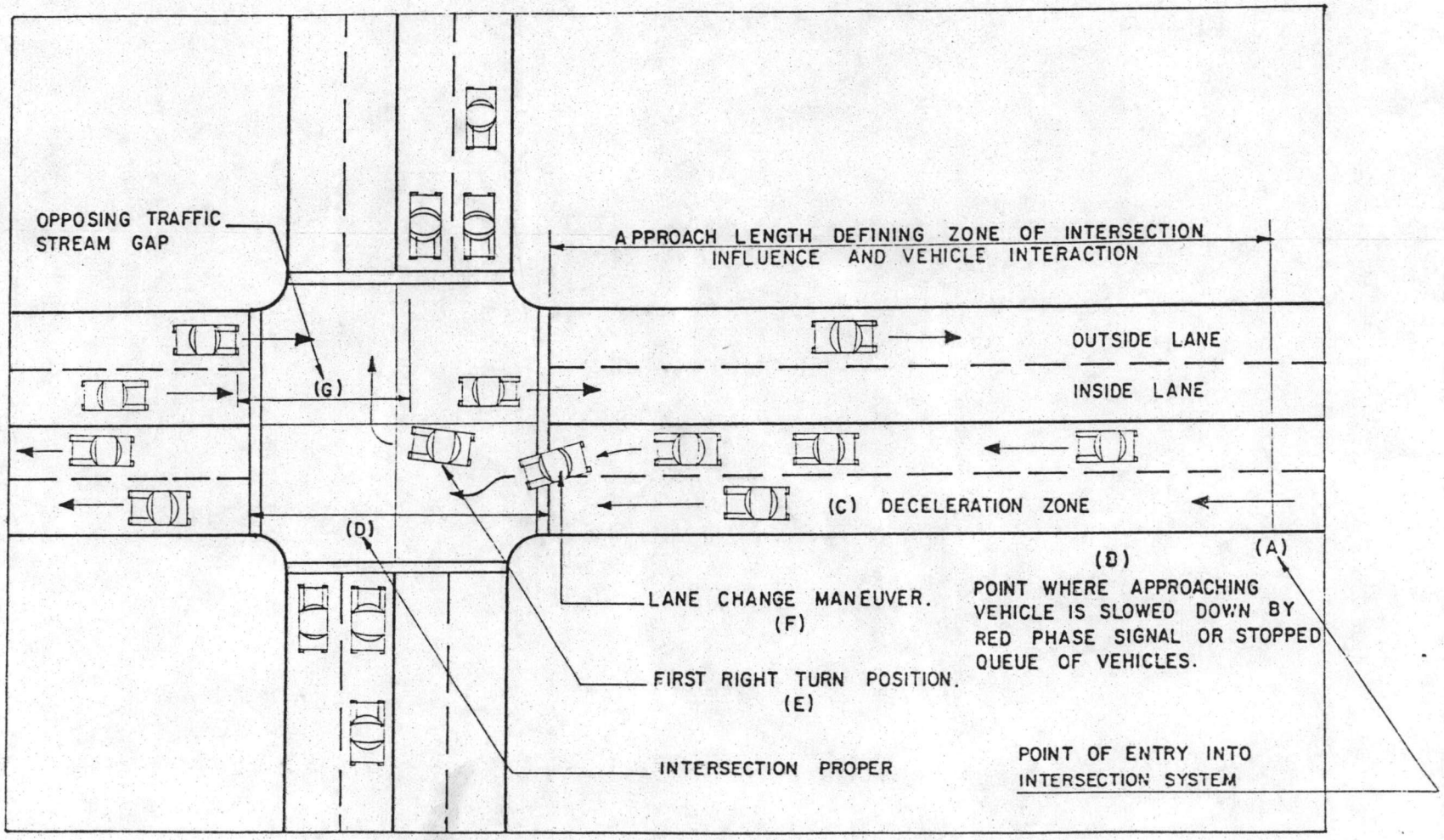
ปัญหาการจราจรได้ทวีความสำคัญเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะบริเวณทางแยก การแก้ปัญหาต่าง ๆ อาจสามารถกระทำได้หลายวิธี ประสิทธิภาพของการแก้ปัญหาแต่ละวิธีจะเป็นตัวตัดสินถึงวิธีที่ดีที่สุดในการแก้ปัญหาความล่าช้า (Delay) ของรถที่วิ่งผ่านทางแยก ซึ่งเป็นตัวแปรที่ช่วยใช้ในการวัดประสิทธิภาพจึงเป็นตัวประกอบที่สำคัญที่สุด จากการศึกษาที่ผ่านมาแสดงให้เห็นชัดเจนว่าความล่าช้าเป็นผลมาจากพฤติกรรมตอบสนองของรถ เนื่องจากสัญญาณควบคุมต่าง ๆ ในการศึกษาเพื่อสร้างแบบจำลองซิมมูเลชั่น (Simulation Model) บริเวณทางแยกจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องเข้าใจถึงพฤติกรรมต่าง ๆ ของการจราจรบริเวณทางแยก

3.1 พฤติกรรมของรถบริเวณทางแยกสัญญาณไฟ

หัวข้อนี้จะได้อธิบายถึงพฤติกรรมของรถที่เข้ามาสู่ทางแยก ซึ่ง Jarernswan[1] ได้เริ่มศึกษาพฤติกรรมนี้โดยละเอียด ได้อธิบายพฤติกรรมของการจราจรบริเวณทางแยกเดียว (Isolated intersection) สำหรับทางแยกที่มี 4 ช่องจราจรรถเดินสองทาง ดังแสดงในรูป 3.1

รถที่อยู่บนด้านเข้าสู่ทางแยก (Approach portion) เมื่อวิ่งมาถึงจุดอ้างอิงบนถนนโดยประมาณ 30-40 เมตร จากทางแยก พฤติกรรมของรถจะเปลี่ยนไปเนื่องจากได้รับอิทธิพลจากสัญญาณไฟที่ทางแยก ช่วงเวลาของการเข้าสู่ทางแยกของยวดยานแต่ละคัน (Arrival time) จะมีลักษณะเป็น Probability distribution ซึ่งจะสัมพันธ์กับ Exponential distribution ซึ่งมักจะอธิบายปรากฏการณ์การเข้ามาของรถ

จากรูป 3.1 เมื่อรถวิ่งมาถึงจุด A ผู้ขับขี่จะเริ่มพิจารณาสัญญาณไฟ เมื่อมีสัญญาณไฟแดง รถเริ่มพิจารณาการหยุดโดยรถคันแรกจะเริ่มหยุดบริเวณ Stop line ส่วนรถคันต่อมาซึ่งจะถือว่าอยู่ใน Zone C ตำแหน่งหยุดของรถจะพิจารณาจากรถคันหน้า



รูปที่ 3.1 แสดงพฤติกรรมการจราจรบริเวณทางแยกสัญญาณไฟ

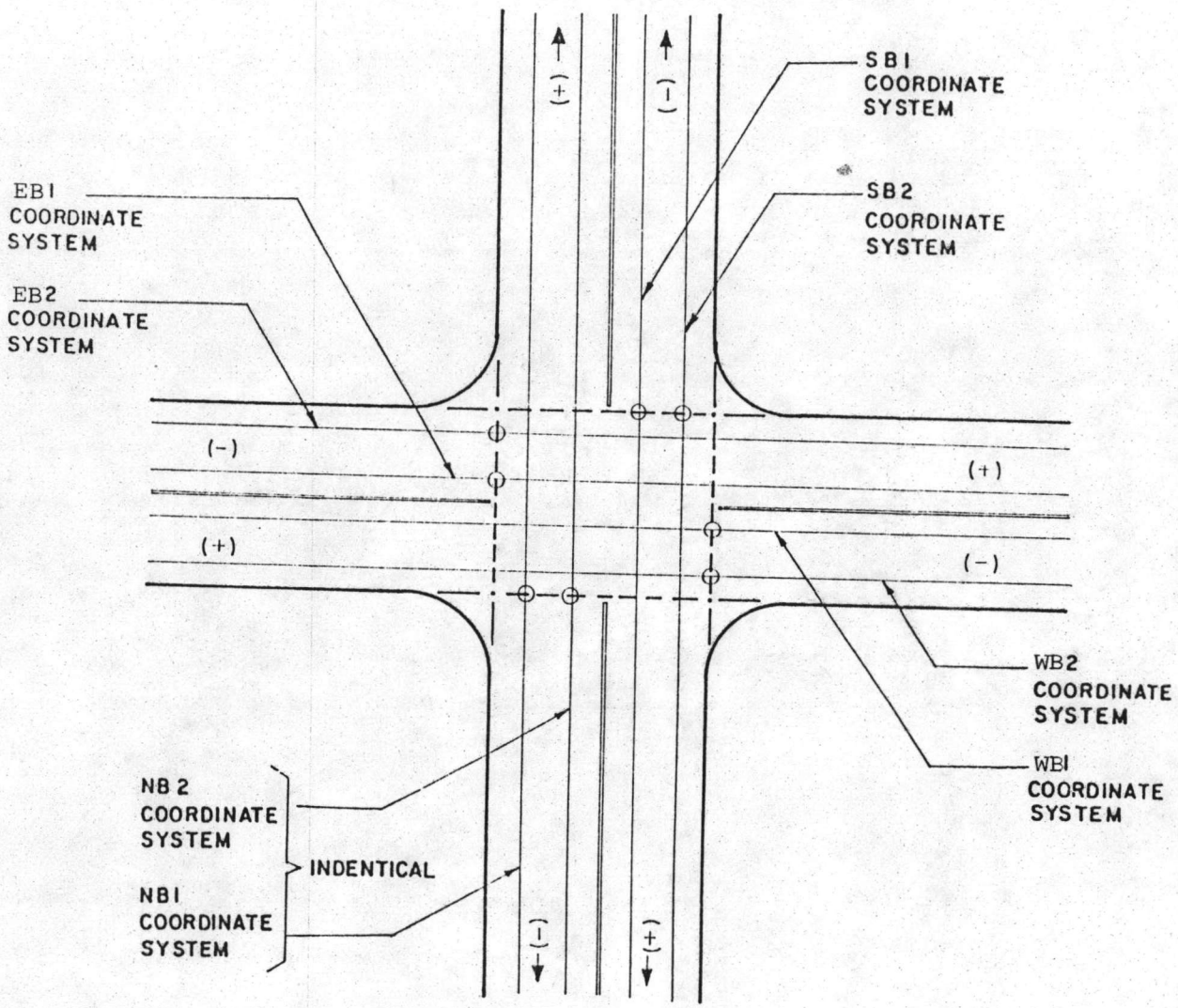
ในกรณีสัญญาณไฟเป็นเหลืองรถจะเริ่มพิจารณาตัดสินใจที่จะไปต่อหรือหยุด ในกรณีสัญญาณไฟเขียวรถจะวิ่งต่อไปตามพฤติกรรมของรถ สำหรับช่องจราจรเลี้ยวขวา เมื่อรถคันแรกหยุดรอเพื่อจะเลี้ยวขวาและรถคันที่ตามมาจะตรงไป การพิจารณาการเปลี่ยนช่องจราจรจะเกิดขึ้น (Lane change) โดยพิจารณาความเพียงพอของค่า gap จากช่องจราจรถัดไป ในกรณีระบบสัญญาณไฟไม่ได้แยกให้สัญญาณไฟเขียวเฉพาะสำหรับรถที่จะเลี้ยวขวา รถเลี้ยวขวาจะต้องหาช่องว่าง (gap size) ของรถ (G) ในช่องจราจรตรงข้าม (ในกรณีช่องจราจรตรงข้ามมีสัญญาณไฟเขียวเช่นกัน) เมื่อ gap size เพียงพอรถจึงจะเลี้ยว รถที่เลี้ยวขวาอาจไม่ต้องหยุดรอ เมื่อ gap size เพียงพอขณะที่รถวิ่งมาถึงทางแยก แต่ถ้าปริมาณการจราจรค่อนข้างมาก รถเลี้ยวขวาอาจต้องมาหยุดคอยเพื่อหา gap size ที่เพียงพอบริเวณทางแยกที่จุด E

3.2 การจำลองสภาพทางแยกทั่วไป

หัวข้อต่อไปนี้จะกล่าวถึงหลักการจำลองสภาพทางกายภาพที่จำเป็นของทางแยก เพื่อให้ง่ายในทางปฏิบัติและเข้าใจถึงแบบจำลองส่วนอื่น ๆ

3.2.1 การจำลองรูปแบบถนน (Roadway Representation)

เนื่องจากรูปแบบทางกายภาพของถนนบริเวณทางแยกนั้นไม่สามารถจำลองลงในคอมพิวเตอร์โดยตรงได้ จึงจำเป็นต้องสร้างรูปถนนลงในคอมพิวเตอร์ในลักษณะจินตนาการขึ้น ช่องจราจรแต่ละช่องของถนนบริเวณทางแยกจะถูกถือว่าเป็นแต่ละช่องข้อมูล (List) ในคอมพิวเตอร์ จำนวนช่องข้อมูลในคอมพิวเตอร์จะเท่ากับจำนวนช่องจราจรของถนนบริเวณทางแยก รถที่อยู่บนแต่ละช่องจราจรจะถือว่าวิ่งไปตามเส้นศูนย์กลาง (Center line) ของช่องจราจร ดังนั้นการอ้างอิงตำแหน่งของรถในคอมพิวเตอร์จะยึดถือตามแนวเส้นศูนย์กลางของแต่ละช่องจราจร ซึ่งจะเรียกว่า Coordinate System พื้นที่บนทางแยกถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน เพื่อง่ายต่อการอ้างอิงคือ ด้านเข้าสู่ทางแยก (Approach portion) และด้านออกจากทางแยก (Exit portion) โดยแบ่งพื้นที่ทั้งสองออกด้วยแนวขอบทางเท้าของถนนด้านตัดขวางที่ใกล้สุด (Crossing street's nearside curb line) รถที่อยู่บนด้านเข้าสู่ทางแยกจะถูกอ้างอิงตำแหน่งของรถด้วยค่าลบ และมีค่าเป็นบวกเมื่อรถมีตำแหน่งอยู่บนด้าน



รูปที่ 3.2 แสดงการวางผังแบบ Coordinate System

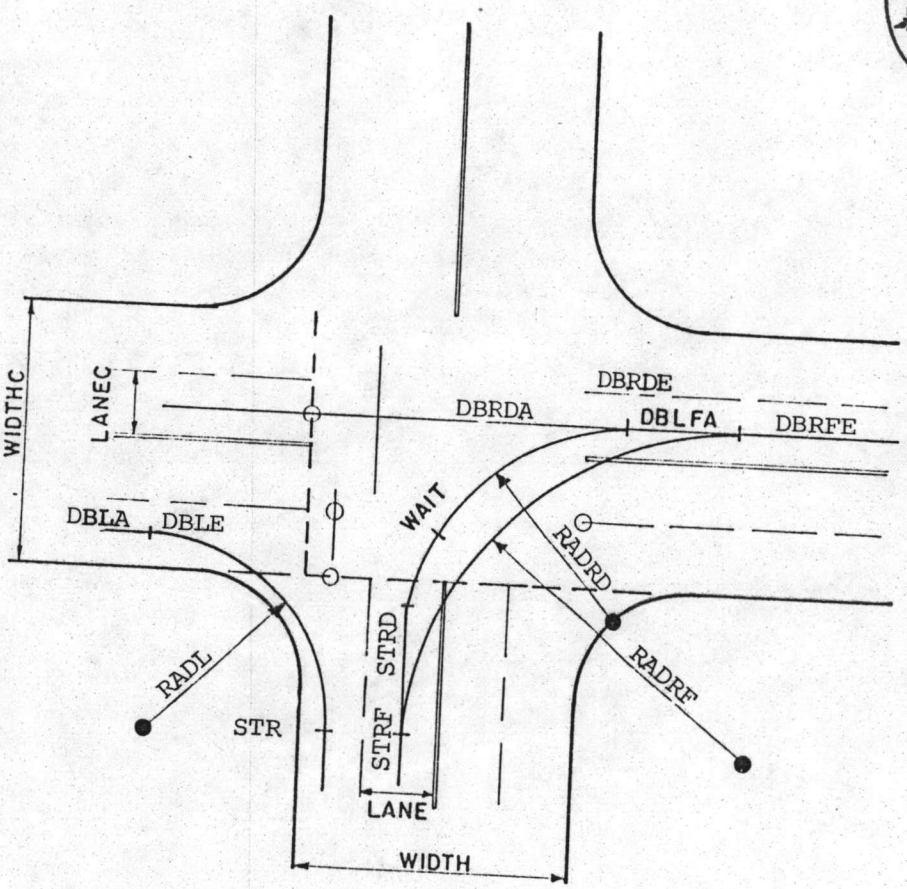
ออกจากทางแยก รูป 3.2 เป็นตัวอย่างการแสดงรูปแบบของถนนบริเวณทางแยกแบบง่าย ๆ เพื่อให้เข้าใจหลักการดังที่กล่าวมานี้ จากรูปทางแยกมีลักษณะเป็นสี่แยก โดยแต่ละแยกจะถูกแทนด้วยทิศต่าง ๆ คือ เหนือ ใต้ ตะวันออก และตะวันตก (NB,SB,EB,WB) แต่ละทิศจะมี 2 ช่องจราจรแทนด้วยเส้นศูนย์กลางช่องจราจร (Coordinate System)

3.2.2 <u>แนวเส้นทางการเคลื่อนที่ของรถบนถนน</u> (Vehicle Paths on the Roadway Coordinate Systems)

แนวเส้นทางการเคลื่อนที่ของรถบนถนนบริเวณทางแยก สามารถกำหนดได้เป็น 2 ลักษณะ คือ รถที่วิ่งตรงไป (straight through) และรถเลี้ยว (Turning vehicle) ซึ่งยังแบ่งเป็นรถที่เลี้ยวซ้าย (Left turning vehicle) กับรถเลี้ยวขวา (Right turning vehicle) แนวเส้นทางการเคลื่อนที่ของรถที่วิ่งตรงไป จะเริ่มออกวิ่งที่ด้านเข้าสู่ทางแยกซึ่งมีค่าของตำแหน่งรถเป็นลบ และวิ่งเข้าสู่ด้านออกจากทางแยกซึ่งมีค่าของตำแหน่งรถเป็นบวก ซึ่งจะถือว่าแนวเส้นทางการเคลื่อนที่ช่องรถที่วิ่งตรงไปนี้จะอยู่บนช่องจราจรเดิมตลอดการเคลื่อนที่ ข้อมูลต่าง ๆ ของรถจะยังคงเก็บไว้ในช่องข้อมูลเดิมในคอมพิวเตอร์

สำหรับแนวเส้นทางการเคลื่อนที่ของรถเลี้ยวจำเป็นต้องพิจารณารายละเอียดเพิ่มเติม เนื่องจากการเลี้ยวรถนั้นมีการเปลี่ยนช่องจราจรจากช่องจราจรเดิมไปสู่ช่องจราจรใหม่ที่รถเลี้ยวเข้าไป ดังนั้นในแบบจำลองคอมพิวเตอร์จึงมีการเคลื่อนย้ายข้อมูลของรถเลี้ยวจากช่องข้อมูลเดิม (Origin list) ไปสู่ช่องข้อมูลใหม่ที่รถเลี้ยวเข้าไป (Receiver list) การพิจารณาเส้นทางการเคลื่อนที่ของรถเลี้ยวจึงมีความจำเป็นเนื่องจากเป็นแนวทางในการพิจารณาการเคลื่อนย้ายข้อมูลของรถเลี้ยวในคอมพิวเตอร์ รูป 3.3 เป็นการแสดงแนวเส้นทางการเคลื่อนที่ของรถเลี้ยวสำหรับรถเลี้ยวซ้ายและเลี้ยวขวา ลักษณะการเลี้ยวจะถือว่ารถเลี้ยวเป็นวงกลม สำหรับรถเลี้ยวซ้ายรถจะเริ่มเลี้ยวที่จุดเริ่มเลี้ยวซ้าย (Starting left turn) ซึ่งเป็นจุดสัมผัสวงกลมกับเส้นศูนย์กลางช่องจราจรบนด้านเข้าสู่ทางแยก (Approach portion) และไปสิ้นสุดการเลี้ยวโค้งที่จุดสิ้นสุดการเลี้ยวซ้าย (End of left-turn) ซึ่งเป็นจุดสัมผัสวงกลมกับเส้นศูนย์กลางช่องจราจรบนด้านออกจากทางแยก (Exit portion) บนด้านที่รถเลี้ยวเข้าไป เมื่อรถเลี้ยวซ้ายวิ่งมาถึงจุดสิ้นสุดการเลี้ยวซ้ายจะมีการเคลื่อนย้าย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.3 แสดงรูปแบบทางเรขาคณิต

ข้อมูลของรถเลี้ยวในคอมพิวเตอร์ จึงเรียกจุดนี้ว่า "เขตการพิจารณารถไหลออกจากช่องจราจรเดิม" (Discharge boundary) ซึ่งสามารถคำนวณหาระยะทางต่าง ๆ ได้ดังนี้

$$STL = (WLANCE)/2 - RADL \qquad (3\text{-}1)$$

$$DBLA = STL + \frac{1}{2}\pi\,(RADL) \qquad (3\text{-}2)$$

โดย

STL = จุดเริ่มเลี้ยวซ้าย

DBLA = เขตการพิจารณารถไหลออกจากช่องเดิมสำหรับรถเลี้ยวซ้าย (Discharge boundary for left turns)

WLANCE = ความกว้างของช่องจราจรที่รถเลี้ยวเข้าไป

RADL = รัศมีการเลี้ยวซ้าย

ดังที่กล่าวมานี้เป็นการพิจารณาจากด้านเดิมของรถเลี้ยว (Originating Approach) ถ้ามาพิจารณาด้านที่รถเลี้ยวเข้าไป โดยถือจุด DBLA เป็นหลัก ระยะทางจากจุดศูนย์ถึงจุด DBLA ของด้านเดิมของรถเลี้ยว เมื่อเทียบกับระยะจากจุดศูนย์ถึงจุด DBLA ของด้านที่รถเลี้ยวเข้าไปจะมีค่าไม่เท่ากัน เมื่อมาพิจารณาระยะจากด้านที่รถเลี้ยวเข้าไปโดยให้จุด DBLA เป็น DBLE สามารถคำนวณระยะต่าง ๆ ได้ดังนี้

$$DBLE = WIDTH-(WLANCE)/2 + RADL \qquad (3\text{-}3)$$

โดย

DBLE = เขตการพิจารณารถไหลออกช่องจราจรเดิมสำหรับรถเลี้ยวซ้ายที่พิจารณาด้านที่รถเลี้ยวเข้าไป

(Discharge boundary cross-street coordinate system)

WIDTH = ความกว้างของถนนบนถนนเดิม (on originating street)

WLANCE = ความกว้างของช่องจราจรบนถนนเดิม (on originating street)

เมื่อมีการย้ายข้อมูลของรถเลี้ยวในคอมพิวเตอร์ ตำแหน่งของรถที่ถูกย้ายจากช่องข้อมูลเดิมไปสู่ช่องข้อมูลใหม่ จะต้องมีการปรับตำแหน่งของรถให้เข้ากับตามความแตกต่างของระยะ DBLA และ DBLE โดยนำค่าที่แตกต่างกันนี้ไปบวกกับค่าของตำแหน่งรถที่อยู่ในช่อง

ข้อมูลเดิม ซึ่งจะได้ตำแหน่งของรถในช่องข้อมูลใหม่

$$DTL = DBLE-DBLA \qquad (3-4)$$

DTL = ค่าความแตกต่างของตำแหน่งรถในการย้ายข้อมูล (Discharge transform for left turn)

สำหรับรถเลี้ยวขวา แนวเส้นทางการเคลื่อนที่ของรถมีลักษณะเช่นเดียวกับรถเลี้ยวซ้าย โดยการเลี้ยวขวานั้นจะถูกกำหนดให้เลี้ยวได้ 2 จังหวะ คือ การเลี้ยวขวาอิสระ (free turn)* และการเลี้ยวขวาล่าช้า (delay turn)** ดังนั้นแนวเส้นทางการเคลื่อนที่ของรถเลี้ยวขวาจึงมีได้สองแนว ซึ่งสามารถคำนวณค่าต่าง ๆ ได้ทำนองเดียวกับการเลี้ยวซ้าย ดังนี้

สำหรับรถเลี้ยวขวา

$$STRF = \{(WIDTH+WLANCE)/2\}-RADRF \qquad (3-5)$$

$$DBRFA = STRF + \frac{1}{2}\pi\,(RADRF) \qquad (3-6)$$

$$DBRFE = 1.5\,(WLANCE) + RADRF \qquad (3-7)$$

$$DTRF = DBRFE - DBRFE \qquad (3-8)$$

โดย STRF = จุดเริ่มเลี้ยวขวาอิสระ

DBRFA = เขตการพิจารณารถไหลออกจากช่องจราจรเดิม สำหรับรถเลี้ยวขวาแบบอิสระที่พิจารณาจากด้านเดิมของรถเลี้ยว

DBRFE = เขตการพิจารณารถไหลออกจากช่องจราจรเดิม สำหรับรถเลี้ยวขวาแบบอิสระที่พิจารณาจากด้านที่รถเลี้ยวขวาเข้าไป

RADRF = รัศมีวงเลี้ยวขวาแบบอิสระ

WIDTH = ความกว้างของถนนที่รถเลี้ยวขวาเข้าไป

DTRF = ค่าความแตกต่างของตำแหน่งรถในการย้ายข้อมูล สำหรับรถเลี้ยวขวาแบบอิสระ

*การเลี้ยวขวาอิสระ เป็นพฤติกรรมในการเลี้ยวขวาซึ่งรถไม่ต้องหยุดคอย gap

**การเลี้ยวขวาล่าช้า เป็นพฤติกรรมในการเลี้ยวขวาซึ่งรถจะต้องหยุดคอย gap

สำหรับการเลี้ยวขวาแบบล่าช้า

$$STRD = \{(WIDTH + WLANCE)/2\} - RADRD \quad (3\text{-}9)$$

$$DBRDA = STRD + \frac{1}{2}\pi\ (RADRD) \quad (3\text{-}10)$$

$$DBRDE = 1.5\ (WLANCE) = RADRD \quad (3\text{-}11)$$

$$DTRD = DBRDE - DBRDA \quad (3\text{-}12)$$

โดย STRD = จุดเริ่มเลี้ยวขวาแบบล่าช้า

DBRDA = เขตการพิจารณารถไหลออกจากช่องจราจรเดิม สำหรับรถเลี้ยวขวาแบบล่าช้าที่พิจารณาจากด้านเดิมของรถเลี้ยว

DBRDE = เขตการพิจารณารถไหลออกจากช่องจราจรเดิม สำหรับรถเลี้ยวขวาแบบล่าช้าที่พิจารณาจากด้านที่รถเลี้ยวขวาเข้าไป

RADRF = รัศมีวงเลี้ยวขวาแบบล่าช้า

DTRF = ค่าความแตกต่างของตำแหน่งรถในการย้ายข้อมูล สำหรับรถเลี้ยวขวาแบบล่าช้า

ที่กล่าวมานี้เป็นการยกตัวอย่างสำหรับสี่แยก ซึ่งมีจำนวนช่องจราจร 4 ช่อง ไปกลับ และถนนตัดกันทำมุม 90 องศา ในกรณีทางแยกที่แตกต่างไปจากตัวอย่างการคำนวณหาค่าต่าง ๆ จะคล้ายคลึงกัน

3.2.3 การจำลองสภาพยานยนต์ (Vehicle Representation)

ดังได้กล่าวมาแล้วถึงการจำลองถนนบริเวณทางแยก ซึ่งหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการจำลองสภาพรถยนต์ที่วิ่งอยู่บนถนนในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้จำลองช่องข้อมูลแทนช่องจราจร ซึ่งในช่องข้อมูลนี้จะเป็นตัวเก็บข้อมูลของรถที่วิ่งอยู่ในช่องจราจรที่ถูกแทน เพื่อเป็นตัวอ้างอิงและตรวจสอบพฤติกรรมของรถในช่องจราจร ข้อมูลของรถที่จำเป็นสามารถกำหนดได้ 11 ข้อมูล ดังนี้

1. ตำแหน่ง (Position)
2. ความเร็ว (Velocity)
3. ความเร่ง (Acceleration)

012041

4. Flags word

5. ความยาวจริงของรถ (Actual length)

6. ความยาวพิจารณา (Effective length)

7. ความเร็วมุ่งหมาย (Target velocity)

8. ความเร่งสูงสุดที่ต้องการ (Maximum desired acceleration)

9. ความหน่วงที่ต้องการ (Desired negative acceleration)

10. เวลาที่เข้าสู่ระบบ (System entry time)

11. ตำแหน่งหยุด (Stopped position)

ค่าของข้อมูลจาก 1 ถึง 4 จะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา (Dynamic) ตามรอบเวลาที่เปลี่ยนไปของ Simulation ข้อมูลจาก 5 ถึง 9 จะมีค่าคงที่ของรถแต่ละคัน ซึ่งได้จากการสุ่มค่า (Random) จากกราฟการกระจาย (Distributions) ซึ่งได้จากการเก็บข้อมูลจากข้อ 10 เป็นค่าของเวลาที่รถเริ่มเข้ามาในแบบจำลอง สำหรับข้อ 11 เป็นค่าที่ได้จากการคำนวณจุดที่รถจะหยุดเมื่อรถคันดังกล่าวเตรียมตัวจะหยุด

Flag word เป็นข้อมูลในการแสดงถึงพฤติกรรมขณะที่รถวิ่งอยู่ในแบบจำลองคอมพิวเตอร์ ซึ่งสามารถจำแนกออกได้ ดังนี้

1. การเลี้ยว : 0 = ตรง, 1 = เลี้ยวขวา, 2 = เลี้ยวซ้าย

2. ชนิดของรถ : 0 = รถยนต์, 1 = รถบรรทุก, รถประจำทาง

3. ลักษณะการเคลื่อนที่ :

    1. คาร์ ฟอลโลลอิ่ง (Car following)

    2. เคลื่อนที่อิสระ ((Free behavior)

    3. กำลังหยุด (Stopping)

    4. ชลอเพื่อเลี้ยว (Slowing for turn)

    5. กำลังหยุดเพื่อเลี้ยวขวา (Stopping for right turn)

    6. หยุดนิ่งเพื่อเลี้ยวขวา (Stopped for right turn)

    7. กำลังเลี้ยวขวาแบบอิสระ (Going in free right turn)

    8. กำลังเลี้ยวขวาแบบล่าช้า (Going in delay right turn)

9. กำลังเลี้ยวซ้าย (Going in left turn)

10. หยุดนิ่ง (Stopped)

4. การตัดสินใจในสัญญาณไฟเหลือง :

0 = ไม่มีการตัดสินใจ (เมื่อรถยังไม่เจอไฟเหลือง)

1 = หยุดเมื่อเจอไฟเหลือง

2 = ไปเมื่อเจอไฟเหลือง

5. ช่องข้อมูลเริ่มต้นของรถ (Originating List) เป็นค่าของเลขประจำตัวของช่องจราจรที่รถเริ่มต้นเข้ามาในแบบจำลอง

6. เลี้ยวขวาแบบล่าช้า (Delayed Right Turn)

0 = รถคันนี้ไม่ถูกทำให้เลี้ยวขวาแบบล่าช้าหรือรถที่ไม่ได้เลี้ยวขวา

1 = รถคันนี้ถูกทำให้เลี้ยวขวาแบบล่าช้า

3.2.4 <u>รถยนต์ในช่องข้อมูล</u> (Vehicle List)

การจราจรบริเวณทางแยก ส่วนใหญ่โดยพฤติกรรมการเข้าและออกจากทางแยกจะมีลักษณะค่อนข้างมีระเบียบ ในแบบจำลองคอมพิวเตอร์จะถือว่ารถที่เข้าและออกทางแยกเป็นไปอย่างมีระเบียบ ข้อมูลของรถแต่ละคันในช่องข้อมูลคอมพิวเตอร์จะถูกเรียงลำดับก่อนหลังของรถที่เข้ามาในระบบ และเมื่อเข้าถึงข้อมูลของรถแต่ละคันจึงจำเป็นต้องกำหนดหมายเลขประจำของรถแต่ละคัน (แทนด้วย J) ค่าของหมายเลขประจำรถนี้จะเรียงลำดับจาก 1 ขึ้นไป โดยหมายเลขประจำรถจะซ้ำกัน 2 คัน ภายในช่องข้อมูลเดียวกันไม่ได้

ในการสร้างแบบจำลองนี้ ได้กำหนดดัชนีขึ้นเพื่อเป็นตัวอ้างอิงในการพิจารณาในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ดัชนีนี้จะเป็นตัวย่อบอกถึงตำแหน่งก่อนหลัง (Sequence) ของรถที่จำเป็นในแต่ละช่องข้อมูลโดยแสดงค่าเป็นหมายเลขประจำรถที่อยู่ในตำแหน่งของดัชนีนั้น รถที่มีระยะของตำแหน่ง (Position) สูงสุดจะเป็นรถคันแรกของช่องข้อมูล รถที่มีระยะของตำแหน่งน้อยที่สุดจะเป็นรถคันหลังสุดของช่องข้อมูล เมื่อรถเลี้ยวจะมีการย้ายข้อมูลระหว่างช่องข้อมูล ซึ่งจะทำให้เกิดช่องว่างของข้อมูล ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการปรับหมายเลขประจำรถและข้อมูลของรถให้ถูกต้อง (Modify)

ดัชนีและจำนวนรถของด้านเข้าสู่ทางแยกและด้านออกจากทางแยก จึงมีความสำคัญในการควบคุมการทำงานต่าง ๆ ของแบบจำลองคอมพิวเตอร์ ซึ่งพอสรุปได้ดังนี้

NFST = ดัชนีแสดงหมายเลข (J) ของรถที่อยู่ในตำแหน่งคันแรกของช่องข้อมูล (Index of the first vehicle on a list)

NLST = ดัชนีแสดงหมายเลขของรถที่อยู่ในตำแหน่งคันสุดท้ายของช่องข้อมูล (Index of the last vehicle on a list)

NLSTE = ดัชนีแสดงหมายเลขของรถที่อยู่ในตำแหน่งคันสุดท้ายของด้านออกจากทางแยก (Index of the last vehicle on the exit portion of a list)

NFSTA = ดัชนีแสดงหมายเลขของรถที่อยู่ในตำแหน่งคันแรกของด้านเข้าสู่ทางแยก (Index of the first vehicle on the approach portion of a list)

NE = จำนวนรถที่อยู่บนด้านออกจากทางแยก (Number of vehicles on the exist portion of a list)

NA = จำนวนรถที่อยู่บนด้านเข้าสู่ทางแยก (Number of vehicles on the approach portion of a list).

ขั้นตอนการทำงานพออธิบายได้ดังนี้

1. เริ่มแรกขณะที่ไม่มีรถเลยในช่องข้อมูล ค่าเริ่มต้นของดัชนีถูกกำหนดให้มีค่าดังนี้ NFST = 1; NLST = 0; NLSTE = 0; NFSTA = 1; NE = o; NA = 0

2. ขณะที่รถคันแรกเริ่มเข้ามาในระบบ ซึ่งรถจะถูกกำหนดหมายเลขประจำรถ J = 1 และจำทำให้ค่า NLST และ NA มีค่าเพิ่มขึ้น 1 ดังนั้นค่าต่าง ๆ จะมีค่าดังนี้ NFST = 1; NLST = 1; NLSTE = 0; NFSTA = 1; NE = o; NA = 1

3. เมื่อรถถูกปล่อย (Generate) เข้ามาในระบบมากขึ้น หมายเลขประจำรถแต่ละคันก็จะมากขึ้น J = 2,3,4 และตลอดเวลาที่รถเริ่มเข้ามาในระบบค่า NLST และ NA ก็จะมีค่าเพิ่มตามจำนวนรถที่เข้ามา สมมติให้รถเข้ามาในระบบแล้ว 5 คัน ดัชนีต่าง ๆ

จะมีค่าดังนี้ NFST = 1; NLST = 5; NLSTE = 0; NFSTA = 1; NE = 0; NA = 5

4. เมื่อรถคันแรกด้านเข้าสู่ทางแยก เริ่มเข้าสู่ด้านออกจากทางแยก (Intersection Entry) จะมีผลทำให้ค่า NLSTE, NFSTA, NE เพิ่มขึ้น 1 และค่า NA จะลด 1 สรุปค่าต่าง ๆ ได้ดังนี้ NFST = 1; NLST = 5; NLSTE = 1; NFSTA = 2; NE = 1; NA = 4

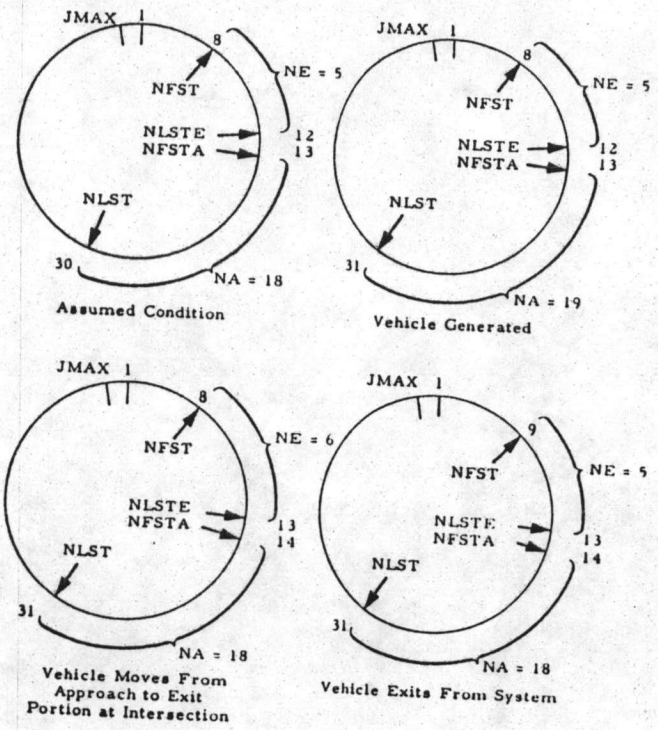
5. และเมื่อรถคันแรกเริ่มออกจากระบบ (System exit) จะทำให้ค่า NFST เพิ่มขึ้น 1 และค่า NE ลดลง 1 สรุปค่าต่าง ๆ ได้ดังนี้ NFST = 2; NLST = 5; NLSTE = 1; NFSTA = 2; NE = 0; NA = 4

ตารางที่ 3.1 ได้รวบรวมขั้นตอนต่าง ๆ ที่ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีและจำนวนรถ ในกรณีรถเลี้ยวการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีจะมีลักษณะเดียวกัน แต่มีความยุ่งยากมากขึ้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงจะมีขึ้นทั้ง 2 ช่องข้อมูล

ตารางที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงของดัชนี

EVENT	MODIFICATION TO BE MADE					
	NFST	NLST	NLSTE	NFSTA	NE	NA
Vehicle generated (i.e., vehicle enters system)		Increment				Increment
Vehicle moves from approach portion to exit portion, straight through			Increment	Increment	Increment	Decrement
Vehicle exits from system	Increment				Decrement	

เนื่องจากรถที่เข้ามาในระบบจะมีจำนวนมาก ซึ่งจะทำให้ค่าของหมายเลขประจำรถมีค่ามากไปด้วย จึงจำเป็นต้องกำหนดค่ามากสุดของหมายเลขประจำรถเท่ากับ JMAX ซึ่งเมื่อ NLST = JMAX แล้ว รถคันต่อไปที่จะเข้าสู่ระบบก็จะถูกกำหนดหมายเลขประจำรถเท่ากับ 1 ซึ่งเป็นการเริ่มต้นใหม่ในการกำหนดหมายเลขประจำรถและดัชนี NLST ก็จะมีค่า 1 ด้วย ดูรูป 3.4 ประกอบ



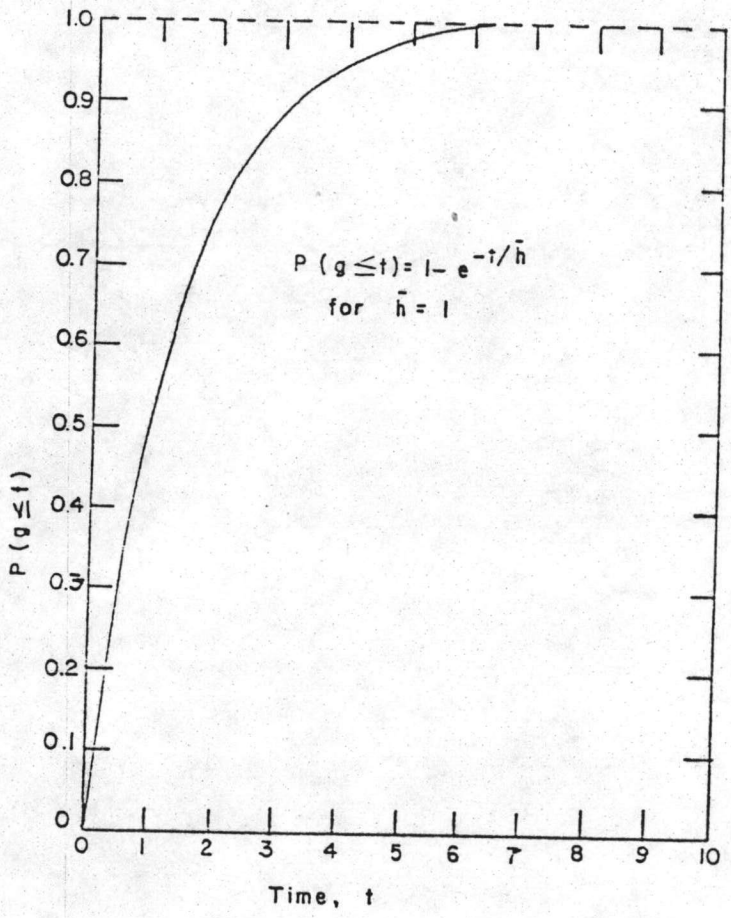
พลอยุตกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูป 3.4 แสดงหลักการแบบวงกลม(Circular list concept)

3.3 <u>การกระจายของการจราจร</u> (Traffic Distribution for Vehicle Generation)

มีตัวแปรมากมายที่เป็นองค์ประกอบของการจราจร องค์ประกอบที่สำคัญได้แก่ รถยนต์, ถนน และ พฤติกรรมของผู้ขับขี่ สิ่งเหล่านี้ส่วนใหญ่สามารถอธิบายพฤติกรรมได้จากข้อมูลทางสถิติ ข้อมูลของการจราจรมักถูกกำหนดให้เป็นตัวแทนคุณลักษณะของการจราจรได้แก่ ปริมาณการจราจร, inter-arrival times และความเร็วของรถ ถ้าสามารถทราบ Probability Distribution ของตัวแปรใดก็ตามและรู้ความสัมพันธ์ของตัวแปรอีกตัวหนึ่งที่มาสัมพันธ์จะช่วยให้สามารถอธิบายตัวแปรนั้น โดยปรับปรุง Probability Distribution ของอีกตัวแปรหนึ่ง และนำมาใช้ในงาน Simulation ได้ (23)

"Greenshields et al." (5) ได้แสดงให้เห็นว่า Vehicle arrival ของถนนที่มีปริมาณการจราจรน้อยถึงปานกลาง จะเป็นไปตาม Poisson Distribution



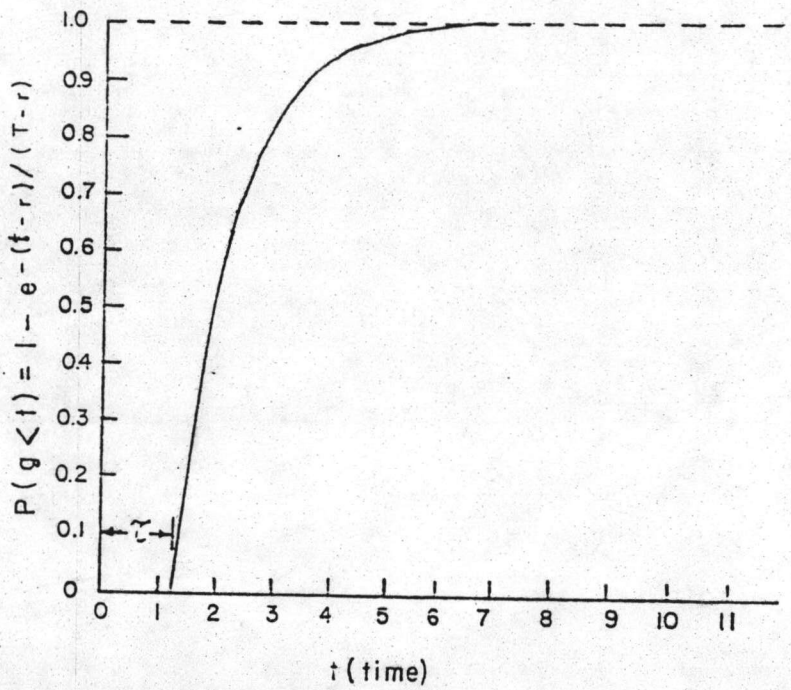
รูป 3.5 กราฟแสดง Exponential Distribution ของการศึกษา Gaps

ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า inter-arrival time จะเป็นไปตาม Exponential Distribution (แสดงในรูป 3.5) ซึ่งจากข้อสรุปนี้จะเห็นว่าได้รับความนิยมและเชื่อถืออย่างมาก ดังจะพบการอ้างถึงข้อสรุปของ Greenshields ในทฤษฎีเกี่ยวกับการจราจรต่าง ๆ แต่อย่างไรก็ตาม gaps (headway) ระหว่างรถ 2 คันไม่ควรจะมีค่าน้อยมาก จนเข้าใกล้ศูนย์ "Gerlough" (24) ได้เสนอแนะ Shifted Exponential Distribution (รูป 3.6) โดยการขยับ curve ออกไปเล็กน้อยตามแกนของเวลา ซึ่งมีค่าเท่ากับ τ

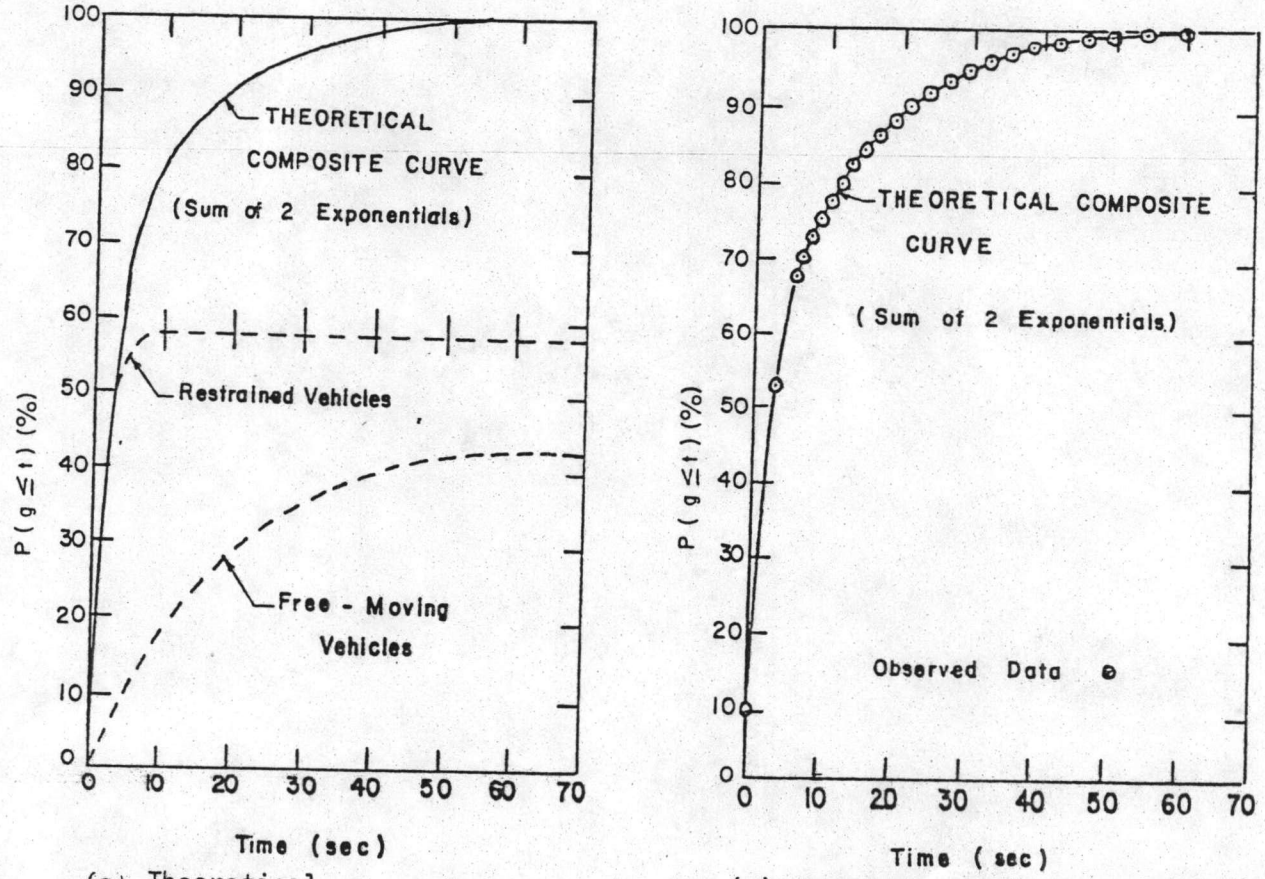
บริเวณที่มีปริมาณการจราจรจะสูง พฤติกรรมของการจราจรจะไม่อิสระพอที่จะแยกพิจารณารถแต่ละคัน เนื่องจาก headway ของรถแต่ละคันจะมีค่าใกล้เคียงกันมาก การเคลื่อนที่ของรถจึงมีลักษณะเป็นกลุ่มก้อน (Platoon behavior) โดยเฉพาะทางแยกที่มีลักษณะเป็นโครงข่าย (Net work) Vehicle arrivals จะขึ้นกับลักษณะ departure จากทางแยกที่อยู่ใกล้ จากการสำรวจในสภาพจริง (25) สรุปได้ว่า รถยนต์จะวิ่งออกจากทางแยกในลักษณะ Platoons ซึ่งจะแยกกระจายไปตามทางแยกอื่น ๆ เป็น Platoon ด้วย

"Damson and Chimini" (26) ได้ใช้ Hyperlang Probability Distribution (โดยใช้ linear ผสมกับ translated (shifted) exponential และ translated erland distributions) กับ intervehicular headway และได้ชี้ให้เห็นค่า minimum headway, τ 0.75 วินาที สำหรับ unconstrained vehicles และสำหรับ constrained vehicles τ จะมีค่าลดลงอยู่ในช่วงประมาณ 0.55 sec. หรือถ้าเป็น intervehicular spacing จะมีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 7 ถึง 8 ฟุต (2.1 ถึง 2.4 เมตร)

"Schuhl" (27) ได้ชี้ให้เห็นว่าการไหลของการจราจรมีลักษณะผสมระหว่าง Free-moving และ constrained vehicles ถึงอย่างไรก็ตามการไหลของการจราจรก็ยังมีลักษณะแบบ Poisson โดยการ arrival ของ Free-moving vehicles สามารถแทนด้วย Exponential Distribution และการ arrival ของ constrained vehicles สามารถแทนด้วย Shifted exponential distribution. Composite exponential (24) เป็นการผสมของทั้ง 2 exponential ดังแสดงในรูป 3.7 ก ซึ่ง



รูปที่ 3.6 กราฟแสดง Exponential Distribution ของ Gaps ที่ Shifted จากจุด Origin



(ก) Theoretical

(ข) Comparison of Theoretical and Actual

รูปที่ 3.7 แสดงกราฟของ Composite Exponential สำหรับ Inter-Arrival Times

จะเห็นว่าเป็น Exponential ที่มีลักษณะใกล้เคียงกับข้อมูลที่เก็บได้จากสนาม รูป 3.7 ข "Kell" (36) ได้ศึกษาถึง Composite time headway distribution ซึ่งพัฒนาจากการศึกษาของ Schuhl โดยได้รวมค่า minimum headway ของรถในสภาพ Free-moving ใน composite exponential ที่ได้จาก "Schuhl"

$$P\ (h \geq t) = (1-\alpha)\{\exp(-\frac{t-\lambda}{T_1-\lambda})\}+\alpha\ \{\exp(-\frac{t-\tau}{T_2-\tau})\} \quad (3\text{-}13)$$

$P\ (h \geq t)$ = probability of headway greater than or equal some time; t

$1-\alpha$ = proportion of "Free Moved" traffic

α = proportion of "Constrained" traffic

T_1 = average headway of "Free-moving" traffic

T_2 = average headway of "Constrained" traffic

λ = minimum headway of "Free-moving" traffic

τ = minimum headway of "Constrained" traffic

รถจะถูก generate เข้ามาในแต่ละช่องจราจรตามเงื่อนไขของสภาพการจราจรในช่องจราจรนั้น โดย Volume (vehicle/hour), α, λ, τ จะได้จากการเก็บข้อมูลในสนาม ในการ generate จะ Random ค่าเพื่อหา headway ที่รถเข้ามาในระบบ

3.4 <u>คุณลักษณะของความเร่งและความหน่วง</u> (Acceleration and Deceleration Characteristics)

จากกฎของการเคลื่อนที่ของมวลสาร (Law of motion) สามารถที่จะนำมาใช้หาความสัมพันธ์ของความเร็ว, spacings, ความเร่ง, ความหน่วง และระยะทางการหยุด สำหรับรถที่วิ่งเป็นเส้นตรง (3) ซึ่งสามารถแทนด้วยสูตรการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง (Straight line motion) ดังนี้

Uniform motion (ความเร็วคงที่) :

$$S = Vt \quad (3\text{-}14)$$

Uniform accelerated motion :

$$V = V_0 + at \qquad (3\text{-}15)$$

$$S = V_0 t + \frac{1}{2} at^2 \qquad (3\text{-}16)$$

$$V = V_0 + 2as \qquad (3\text{-}17)$$

โดย V_0 = ความเร็วต้น, เมตร/วินาที

V = ความเร็วปลาย, เมตร/วินาที

S = ระยะทาง, วินาที

t = เวลา, วินาที

a = ความเร่ง, เมตร/วินาที^{2}

อัตราการเปลี่ยนความเร็วคงที่ถูกสมมติให้เป็นเงื่อนไขของการเคลื่อนที่อิสระ แม้ว่าในความเป็นจริงแล้วความเร่งจะไม่ค่อยมีค่าคงที่ก็ตาม แต่ก็ถือว่าความเร่งคงที่ของรถขณะเคลื่อนที่ใกล้เคียงความเป็นจริง "Lewis" (4) ได้ใช้หลักการนี้ในการทำ Simulation model

"Greenshields" (5) ได้ศึกษาแยกแยะความแตกต่างของพฤติกรรมในการเปลี่ยนความเร็วบริเวณทางแยก "Lewis" (4, P.12) ได้สรุปผลของการศึกษาไว้ดังนี้

1. A chronotropic acceleration is one where delay is independent of the time lost in speed change, such as a vehicle stopping for a red signal. Regardless of the time lost in stopping, the vehicle is still delayed until the signal turns green.
2. Functional speed change occurs when the loss of time is dependent on the rate of speed change, such as a bus stopping to discharge passenger.

"Lewis" ได้สมมติความเร่งมีค่าเท่ากับ 3 ฟุต/วินาที^{2} ($\simeq$0.9 เมตร/วินาที^{2}) ขณะที่มีความเร็วเฉลี่ย 30 ไมล์/ช.ม. ($\simeq$48 ก.ม./ช.ม.) หรือ 44 ฟุต/วินาที ($\simeq$13.2

เมตร/วินาที) ในการทำ Simulation Lewis ได้สมมติความเร่งเป็น functional acceleration และใช้กับสภาพ Free-flow ในกรณีการเริ่มออกรถของรถที่หยุดนิ่ง หรือกำลังหยุดที่ stop line รวมทั้งกรณีของรถเลี้ยวด้วย Lewis ได้ให้ความเร่งเพิ่มขึ้นสำหรับรถ 3 คัน แรก ดังนี้ 6, 5 และ 4 ฟุต/วินาที^{2} (1.8, 1.5, 1.2 เมตร/วินาที) ตามลำดับ ส่วนคันที่ 4 เป็นต้นมา จะใช้ความเร่งเท่ากันหมด 3 ฟุต/วินาที (≃0.9 เมตร/วินาที)

ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับความเร่งอยู่ฉบับหนึ่ง (49) โดยเก็บข้อมูลจากสนาม ซึ่งชี้ให้เห็นว่า maximum acceleration สูงถึง 14.67 ฟุต/วินาที^{2} (≃4.40 เมตร/วินาที^{2}) หรือ 10 ไมล์/ช.ม./วินาที (16 ก.ม./ช.ม./วินาที) "Wilson and Ernert E." (6) เชื่อว่าความเร่งสูงสุดประมาณ 10 ฟุต/วินาที^{2} (≃3 เมตร/วินาที^{2}) เป็นค่าที่เหมาะสม

สำหรับความหน่วงของรถที่จะหยุด จะพบว่ามีค่าอยู่ประมาณ 20.2 ถึง 28.9 ฟุต/วินาที^{2} (≃6.06 ถึง 8.67 เมตร/วินาที^{2}) (3) ซึ่งเป็นค่าที่ค่อนข้างสูง อัตราความหน่วงที่ใช้ในการหยุดควรคำนึงถึงความรู้สึกของผู้โดยสารในรถด้วย National Safety Council (7) ได้กำหนดความหน่วงเท่ากับ 17 ฟุต/วินาที^{2} (5.1 เมตร/วินาที^{2}) เป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับความหน่วงสูงสุด จากการศึกษาภาคสนาม (49) พบว่าความหน่วงที่ใช้มีค่าอยู่ในช่วง 4.84 ถึง 7.77 ฟุต/วินาที^{2} (≃1.352 เมตร/วินาที^{2} ถึง 2.331 เมตร/วินาที^{2}) น่าจะกำลังเหมาะสม แต่จากการศึกษาของ "Wilson" (6) แสดงให้เห็นว่าค่าความหน่วงที่เหมาะสมในความรู้สึกของผู้โดยสารมีค่าประมาณ 8.55 ฟุต/วินาที^{2} (≃2.56 เมตร/วินาที^{2}) Baerwald (3, P.26-27) ได้แสดงผลของความหน่วงต่อผู้โดยสารในรถดังนี้

1. 11 ft/sec^2 (≃3.3 m/sec^2) = considered undesirable but not alarming to passengers
2. 14 ft/sec^2 (≃5.2 m/sec^2) = packages may slide off the seat, and the occupants of the vehicles find this rate uncomfortable

3. above 20 ft/sec^2 ($\simeq 6\ m/sec^2$) = the occupants must brace themselves firmly to avoid being thrown off the seat, will be used only in emergency situation

3.5 <u>การจำลองพฤติกรรมเบื้องต้นของรถและผู้ขับขี่</u> (Preliminary Model of Vehicle and Driver Performance)

การจำลองรูปแบบพฤติกรรมของผู้ขับขี่นั้นเปรียบเสมือนเป็นหัวใจของการปรับปรุงแบบจำลอง เนื่องจากการเคลื่อนที่ของรถจะมีความสัมพันธ์ขึ้นกับพฤติกรรมของผู้ขับขี่ เมื่อถนนว่างผู้ขับขี่โดยทั่วไปจะพยายามรักษาความจริงคงที่ที่ความเร็วมุ่งหมาย (Target velocity) ทั้งนี้เพื่อ minimize trip duration และ maximize safety ในกรณีที่รถต้องวิ่งตามกัน รถที่วิ่งตามหลังจะปรับความเร็วของการวิ่งให้สัมพันธ์กับรถคันหน้า โดยคำนึงถึง intervehicular spacing ที่เหมาะสม

3.5.1 <u>พฤติกรรมการตามกัน</u> (Car Following)

"Herman" et al. (8,9) ได้ศึกษาและอธิบายถึงทฤษฎี car following โดยใช้ความสัมพันธ์ของตัวประกอบที่สำคัญของการไหลของการจราจรได้แก่ road topology (number of lanes, nature of intersection, signals, warning signs, etc), vehicle characteristics (speed, acceleration and deceleration, vehicle signaling, vision, etc),และ driver behavior (range of perception, lags between perception and response, etc.) ซึ่งสามารถอธิบายพฤติกรรมการจราจรบริเวณทางแยกได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะการจราจรในสภาพ steady-state ใช้ในแบบจำลองที่ได้สร้างขึ้น ซึ่งแสดงไว้เป็นรูปแบบทั่ว ๆ ไป ดังนี้

Response = Sensitivity x Stimulus

ซึ่งสามารถแปลงมาเป็น ดังนี้

$$ACC(J+1,I+T) = a_o \frac{VEL(J,I)-VEL(J+1,I)}{POS(J,I)-POS(J+1,I)} \qquad (3\text{-}18)$$

โดย $ACC(J+1,I+T)$ = ความเร่งของรถคันที่ J+1 (รถที่คันหลัง) ที่เวลา I+T

T = Reaction time

$VEL(J,I)$ = ความเร็วของรถคันหน้า ที่เวลา I

$VEL(J+1,J)$ = ความเร็วของรถคันหลัง ที่เวลา I

$POS(J,I)$ = ตำแหน่งของรถคันหน้า ที่เวลา I

$POS(J+1,J)$ = ตำแหน่งของรถคันหลัง ที่เวลา I

a_o = Characteristic Speed

"Drew" (10) ได้ปรับสมการ 3-18 ใหม่เป็น

$$ACC(J+1,I+T) = a_o \frac{VEL(J,I-VEL(J+1,I)}{\{POS(J,I)-POS(J+1,I)\}^m} \qquad (3\text{-}19)$$

จากการวิเคราะห์ของ Drew โดยให้ m เป็นตัวแปร ซึ่งโดยทั่วไปเมื่อ m = 1; สมการ 3-19 จะแปลงกับไปเป็นสมการ 3-18 นั่นเอง และจะได้ค่า $a_o = U_m$ (Optimum car speed) และถ้า m = 2 จะได้ค่า $a_o = {}^{U_f}/_{K_j}$ โดย U_f = free speed และ k_j = jam concentration

3.5.2 <u>พฤติกรรมอิสระ</u> (Free Behavior)

พฤติกรรมของรถบางคันและบางขณะอาจมีพฤติกรรมอิสระ โดยไม่ถูกอิทธิพลของรถคันหน้า เช่น รถที่อยู่หน้าสุดเมื่อมีสัญญาณไฟเขียว "Davies" et al. (11) ได้อธิบายพฤติกรรมอิสระและได้แสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$ACC(J,I+J) = K_o\{TVEL(J)-VEL(J,I)\} \qquad (3\text{-}20)$$

โดย $ACC(J,J+I)$ = ความเร่งของรถคันที่ J ที่เวลา I+T

K_o = Proportionality coefficient

$TVEL(J)$ = target velocity ของรถคันที่ J

$VEL(J,I)$ = ความเร็วของรถคันที่ J ทีเวลา I

3.5.3 <u>การคืบหน้าของยวดยาน</u> (Vehicle Updating)

ในแต่ละ Scanning ของการ Simulation จะมีการเปลี่ยนแปลงค่าความเร่งของรถยนต์แต่ละคันตามรอบเวลาของ Reaction time (T) ในการ Simulation ค่า T อาจจะเท่ากัน หรือมากกว่า Scanning cycle length (C) โดย $T = nC$; $n = 1, 2, 3$ การเคลื่อนที่ของรถในระหว่างการ Scanning สามารถหาได้จาก Equation of motion

$$POS(J,I+C) = POS(J,I)+VEL(J,I)*C + \frac{1}{2}*ACC(J,I)*C^2 \quad (3\text{-}21)$$

$$VEL(J,I+C) = VEL(J,I)+ACC(J,I)*C \quad (3\text{-}22)$$

3.5.4 <u>พฤติกรรมการหยุดรถ</u> (Stopping Performance)

พฤติกรรมการหยุดของรถยนต์ที่ใช้กันในแบบจำลองมี 2 แบบ คือ

1. การหยุดของรถคันแรกที่เส้น stop line ของทางแยก

2. การหยุดของรถคันต่อ ๆ มา เมื่อพิจารณาจากรถคันแรกของ Approach ในสมการการหยุดของรถจะถือว่าจะหยุดที่บริเวณ Stop line สำหรับรถคันต่อ ๆ มาการหยุดของรถจะต้องสัมพันธ์กับรถคันหน้า

ในการศึกษานี้จะถือว่าในระหว่างที่รถกำลังหยุดถ้าไม่มีเหตุการณ์ที่ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันเกิดขึ้น รถจะหยุดด้วยอัตราหน่วงคงที่และใช้ equation of motion ในการคำนวณหาอัตราหน่วง

$$ACC(J,I) = \frac{VEL(J,I)^2}{2\{POS(J,I)-PS(J,I)\}} \quad (3\text{-}23)$$

โดย $PS(J,I)$ = ตำแหน่งที่รถจะหยุด

อัตราความหน่วงนี้จะถูกเปรียบเทียบกับ desired negative acceleration (ADES)(J) ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการสุ่มค่าตอนที่รถถูก generate เข้ามา เมื่อ

ACC (J,I) $\leq$ ADES (J) รถจะเริ่มหยุดโดยอัตราหน่วง ACC (J,I) จนรถหยุดนิ่ง (ความเร็ว = o) เมื่อ ACC (J,I)> ADES (J) รถจะยังไม่พิจารณาการหยุด โดยจะเคลื่อนที่ต่อไปด้วยความเร็วคงที่ และ ACC (J,I) = o

สำหรับรถคันแรก

$$PS(J,I) = STOP+E1 \qquad (3\text{-}24)$$

STOP = ตำแหน่งของ Stop line (เมตร)

E1 = Random normal stopping error (เมตร)

สำหรับรถคันต่อ ๆ มา

$$PS(J,I) = PS(J-1,I)+EL(J-1) \qquad (3\text{-}25)$$

โดย PS(J,I) = target stopping position ของรถคันที่ J, (เมตร)

PS(J-1,I) = target stopping position ของรถคันที่ J-1, (เมตร)

EL(J-1) = effective length ของรถคันที่ J-1, (เมตร)

= AL(J-1)+E2

AL(J-1) = Actual lengths ของรถคันที่ J-1, (เมตร)

E2 = random normal stopped spacing error, (เมตร)

3.5.5 พฤติกรรมการเลี้ยว (Turning Performance)

การเลี้ยวขวาของรถที่ทางแยกจะมีความสัมพันธ์กับรัศมีและมุมเลี้ยวของทางแยก โดยความเร็วของการเลี้ยวโค้งของรถจะแปรผันกับรัศมีการเลี้ยวและ side friction ของล้อรถกับผิวถนน ความเร็วสูงสุดในการเลี้ยวโค้งสามารถคำนวณหาได้ดังนี้

$$VMAXT = \sqrt{fgr} \qquad (3\text{-}26)$$

VMAXT = maximum turning speed (เมตร/วินาที)

f = coefficient of friction

r = รัศมีการเลี้ยว (เมตร)

g = acceleration of gravity (เมตร/วินาที^{2})

จากการศึกษาของ AASHTO Policy on Geometric Design (Rural) (50) พบว่า 95% ของระดับ Median low-speed turns จะมีค่า f = 0.3

$$VMAXT = \sqrt{0.3(9.81)r}$$

$$= \sqrt{2.943r} \quad \text{เมตร/วินาที} \qquad (3.27)$$

เมื่อรถวิ่งมาด้วยความเร็วที่มากกว่า VMAT ความเร็วของรถจะต้องถูกลดลง เพื่อที่จะสามารถเลี้ยวได้ โดยความเร็วจะถูกลดลงมาเท่ากับ VMAT ที่จุดเริ่มเลี้ยว (Starting turn point) อัตราหน่วงสามารถหาได้ดังนี้

$$ACC(J,I) = \frac{VMAXL^2 - VEL(J,I)^2}{2\{STL-POS(J,I)\}} \qquad (3\text{-}28)$$

VMAXL = maximum left-turn velocity

STL = Start left turn position

เมื่อ $ACC(J,I) \leq ADES(J)$ รถคันดังกล่าวจะเริ่มชลอความเร็วลงสู่ VMAXT ด้วยอัตราความหน่วง ACC(J,I) จนถึงจุดเริ่มเลี้ยว ถ้าไม่มีอิทธิพลจากเงื่อนไขอื่นรถจะเริ่มเลี้ยวโค้งด้วยความเร็ว VMAXT คงที่จนถึงจุดสิ้นสุดโค้ง ต่อจากนั้นรถจะใช้ความเร่งในลักษณะ Car-following หรือ Free behaviour ซึ่งขึ้นกับสภาพการจราจรที่ทางออก Exit Portion

3.6 การตัดสินใจของผู้ขับขี่ (Driver Dicisions)

3.6.1 Response to amber signal

เมื่อผู้ขับขี่พบสัญญาณไฟเหลือง จะมีการตัดสินใจของผู้ขับขี่ว่าสมควรจะหยุดหรือเร่งเครื่องต่อไป "Gazis, Herman and Maradudin"(12) ได้อธิบายถึง Zone บนด้าน Approach บริเวณทางแยกโดยให้ชื่อว่า "Dilemmer Zone" ซึ่งเป็น Zone ที่รถจะเริ่มตัดสินใจว่าจะหยุดหรือวิ่งต่อไป "Dart" (2) ศึกษาข้อมูลที่ได้จากสนาม (ตารางที่ 3.2) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการตัดสินใจของผู้ขับขี่เมื่อเริ่มสัญญาณไฟเหลืองนั้นแปรผันตามระยะทางของตำแหน่งรถถึงทางแยก Olsen and Rothery (13) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง

ตารางที่ 3.2 ผลการศึกษาการตอบสนองเนื่องจากไฟเหลืองของผู้ขับขี่

(Driver response to yellow phase of signal)

Distance From Intersection When Yellow Phase Starts	Approaching Vehicles			Indicated Probability of Stopping
	Total Number	Number That Stop	Percent Stopping	
0 - 40'	18	1	5.6%	0.056
50 - 80'	17	5	29.4	0.294
90 - 120'	21	17	80.9	0.809
130 - 160'	21	19	90.5	0.905
180 +	41	41	100.0	1.000
Totals	118	83		

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Probability ของการหยุด กับระยะทางและเวลาในการเคลื่อนที่ถึงทางแยก โดยแบ่งระดับความเร็วของรถที่เข้าสู่ทางแยกไว้ 3 ระดับ คือ low, medium และ high speed และพบว่า Probability distribution ของทั้ง 3 อัน มีลักษณะแตกต่างกัน

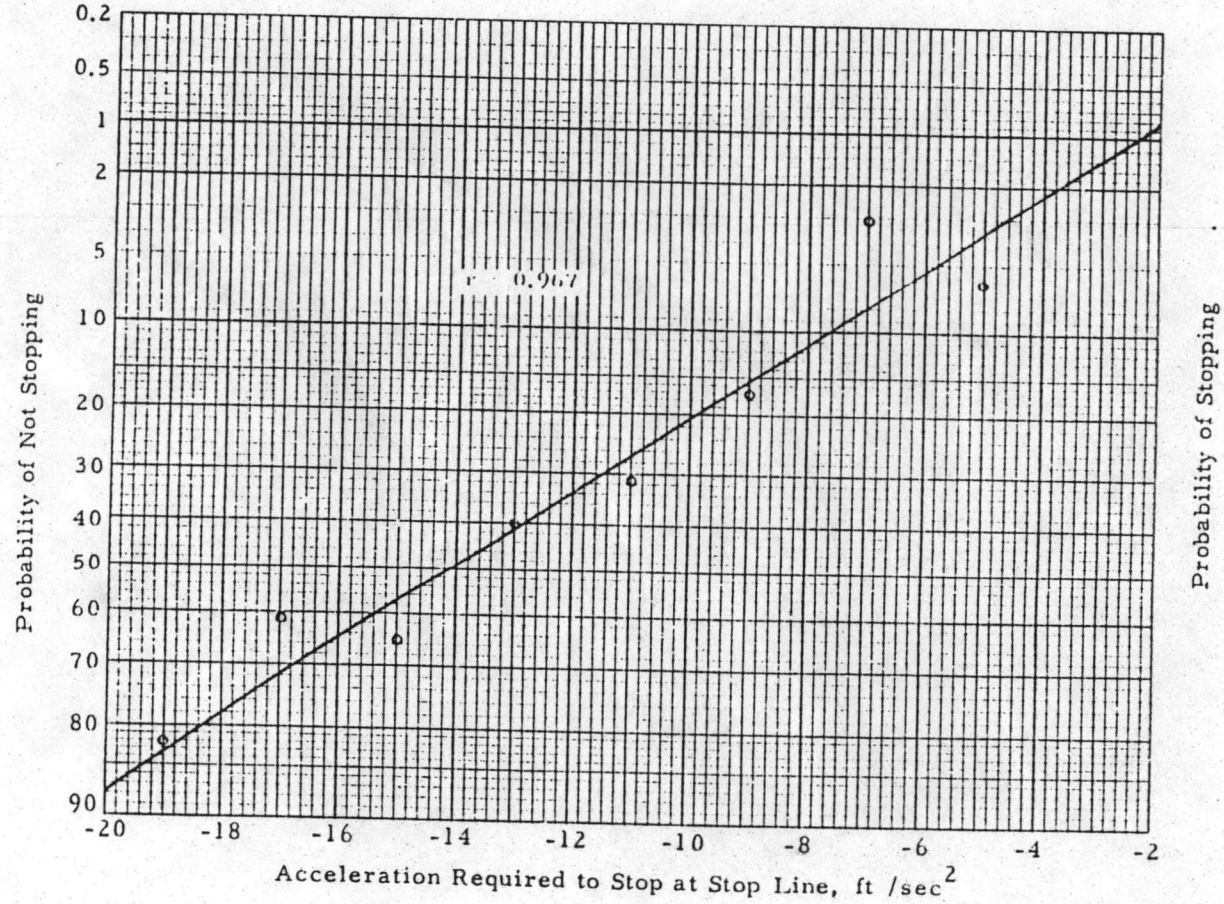
จากการศึกษาของ Gerlough and Wagner (14) โดยการนำข้อมูลที่เก็บได้มาคำนวณค่าความหน่วง ซึ่งจะสมมติให้หยุดที่ Stop line และให้ Reaction time เท่ากับ 1 วินาที นำมาพรอทกราฟในกระดานกราฟแบบ Normal Probability หาความสัมพันธ์ระหว่าง Probability ของการหยุดกับความหน่วงที่ต้องใช้ในการหยุด จากการทำ Linear regression fit โดยวิธี Probit method ได้ค่า R = 0.967 ดังแสดงในรูป 3.8 และตาราง 3.3

การตัดสินใจของผู้ขับขี่ในแบบจำลองนี้จะใช้วิธี Random เปรียบเทียบกับ Probability ในตาราง 3.3 ที่ได้จากค่าความหน่วงที่คำนวณได้ เมื่อรถตัดสินใจหยุดจะกำหนดค่า Flags word (หัวข้อ 3.3.3 ข้อ 4) เท่ากับ 1 และเท่ากับ 2 เมื่อรถตัดสินใจที่จะไป

3.6.2 Gap Acceptance for Right Turns

ทางแยกสัญญาณไฟที่ไม่ได้แยกสัญญาณไฟเขียวไว้สำหรับรถเลี้ยวขวา ซึ่งทำให้รถที่เลี้ยวขวาต้องหาช่องว่าง (Gap sizes) ของรถจากช่องจราจรตรงข้ามในการเลี้ยว ซึ่งช่องว่างที่จะต้องมากพอที่จะเลี้ยวด้วยความปลอดภัย (Gap acceptance) ขนาดของช่องว่างในการพยายามเลี้ยวรถนี้จะแปรผันกับปัจจัยของลักษณะของ driver, intersection, traffic situation (15) ในการศึกษาระยะแรก ๆ (16) ได้สมมติค่า Critical gap (τ) ไว้ เมื่อ gap มีค่ามากกว่า τ จะถือว่า accepted รถจะเลี้ยวได้ และจะถูก reject เมื่อ gap น้อยกว่า τ รถจะหยุดคอยเพื่อหา gap ต่อไป

"Kaisen" (17) ได้ศึกษาที่ทางแยกไม่มีสัญญาณไฟและพบว่าค่าน้อยสุดของ gap accepted เท่ากับ 3.75 วินาที และค่ามากสุดของ gap rejected เท่ากับ 4.75 วินาที "Noblitt" (18) ได้แสดงถึงค่า gap accepted ของรถบรรทุกแบบ Truck

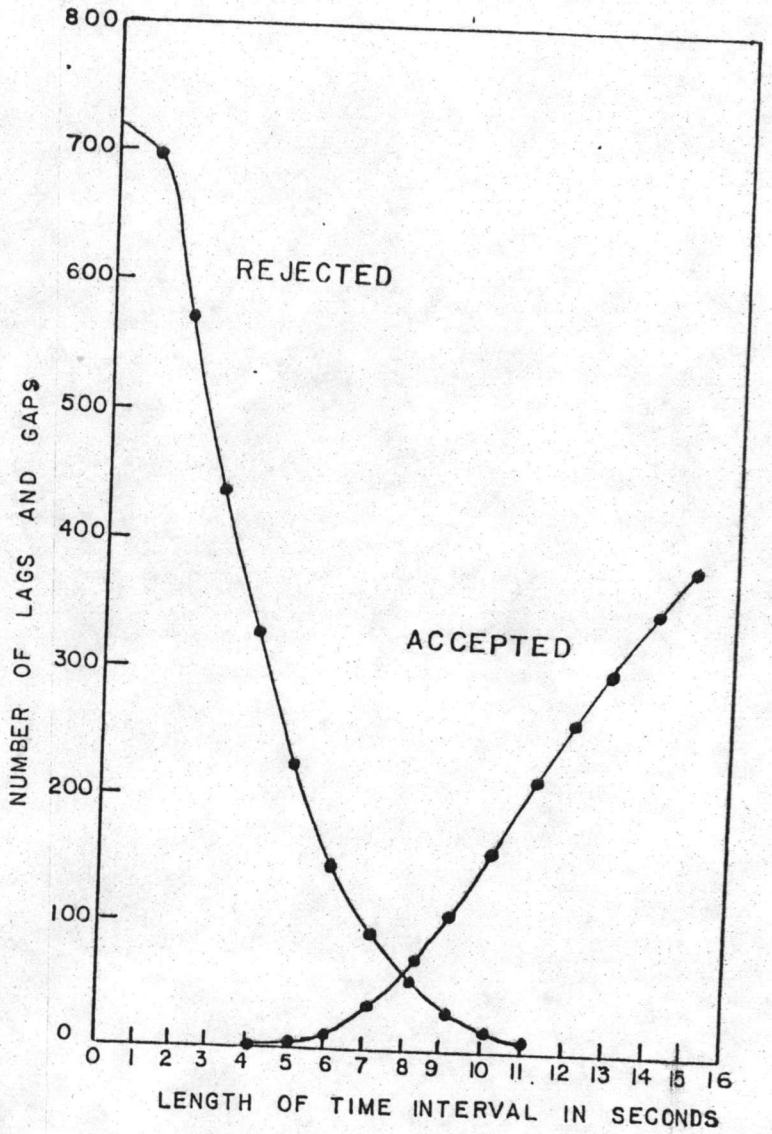


รูปที่ 3.8 กราฟแสดง Amber Decision Probability Distribution

I 16814933

ตารางที่ 3.3 ค่าความเป็นไปได้ของการตัดสินใจ เนื่องจาก สัญญาณไฟเหลือง (Amber Decision Probability)

ACCELERATION REQUIRED TO STOP AT STOP LINE (FT/SEC²)	PROBABILITY OF STOPPING
−0 to −0.99	1.000
−1.00 to −1.99	0.994
−2.00 to −2.99	0.989
−3.00 to −3.99	0.982
−4.00 to −4.99	0.972
−5.00 to −5.99	0.956
−6.00 to −6.99	0.935
−7.00 to −7.99	0.905
−8.00 to −8.99	0.867
−9.00 to −9.99	0.820
−10.00 to −10.99	0.762
−11.00 to −11.99	0.700
−12.00 to −12.99	0.624
−13.00 to −13.99	0.548
−14.00 to −14.99	0.468
−15.00 to −15.99	0.390
−16.00 to −16.99	0.318
−17.00 to −17.99	0.250
−18.00 to −18.99	0.190
−19.00 to −19.99	0.140



รูปที่ 3.9 แสดงการกระจายของ Accepted และ Rejected lags และ Gaps สำหรับรถเลี้ยวขวาบริเวณทางแยกสัญญาณไฟ

combinations จะมีค่าประมาณ 1.4 ถึง 1.8 เท่าของ Passenger cars และประมาณ 1.2 ถึง 1.5 เท่า ของ Single-unit truck "Kell" (19) ได้รวบรวมข้อมูลจากการศึกษาบนถนน 2 ช่องจราจรรถเดิน 2 ทาง ได้ถึง 500 ทางแยก ซึ่งได้แสดงไว้ใน ตาราง 3.4

"Solberg and Oppenlander" (20) ได้ศึกษาถึงเรื่อง lag and gap acceptances ของผู้ขับขี่บนถนนหลัก โดยพิจารณาจากรถที่หยุดเพื่อคอหา gap ซึ่งสรุปได้ว่า median acceptances time สำหรับรถเลี้ยวซ้ายไว้เท่ากับ 7.82 วินาที รูป 3.9 "Behnam" (15) ได้ศึกษา Critical-gaps สำหรับทางแยกสัญญาณไฟ รูป 3.10 จุดตัดระหว่าง curve ทั้ง 2 ถือว่าเป็นค่า Average critical gap ซึ่งมีค่าประมาณ 4.5 วินาที

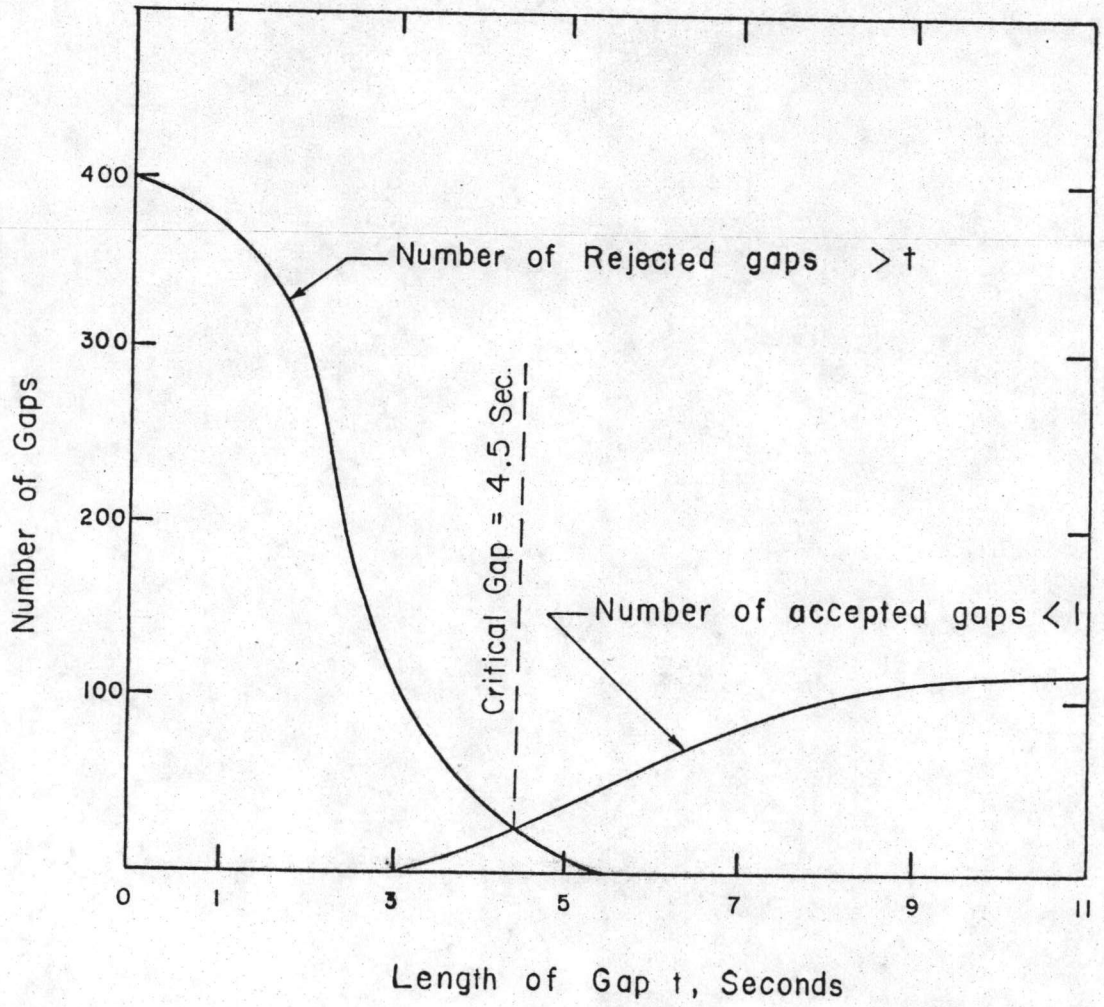
ความเร็วของรถก็เป็นส่วนประกอบที่สำคัญในการพิจารณา gap acceptances ของผู่ขับขี่ รถที่หยุดนิ่งต้องการ gap กว้างกว่า รถที่กำลังวิ่งมาเพื่อเลี้ยว รูป 3.11 (16) เป็นรูปแสดงผลจากข้อมูลของ Texas Transportation Institute ซึ่งได้จากการศึกษาวิเคราะห์ gap acceptances สำหรับการเคลื่อนที่และหยุดเนื่องจากการ Merging ของรถที่เข้าสู่ Freeway ใน Texas

"Dart" (22) ได้รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับ gap acceptances ตามสภาพทางแยกแบบต่าง ๆ กัน ดังแสดงในรูป 3.13 และรูป 3.14 สำหรับทางแยกแบบ 4 ช่องจราจร รถเดิน 2 ทาง ผลจากการวิจัยได้ชี้ให้เห็นว่าค่า Probability ประมาณ 0.145 หรือ 14.5% แสดงโอกาสที่รถคันแรกในช่องเลี้ยวขวาเริ่มเลี้ยวขวาก่อนที่รถในช่องจราจรตรงข้ามจะเริ่มเคลื่อนออกจากที่เมื่อเริ่มสัญญาณไฟเขียว

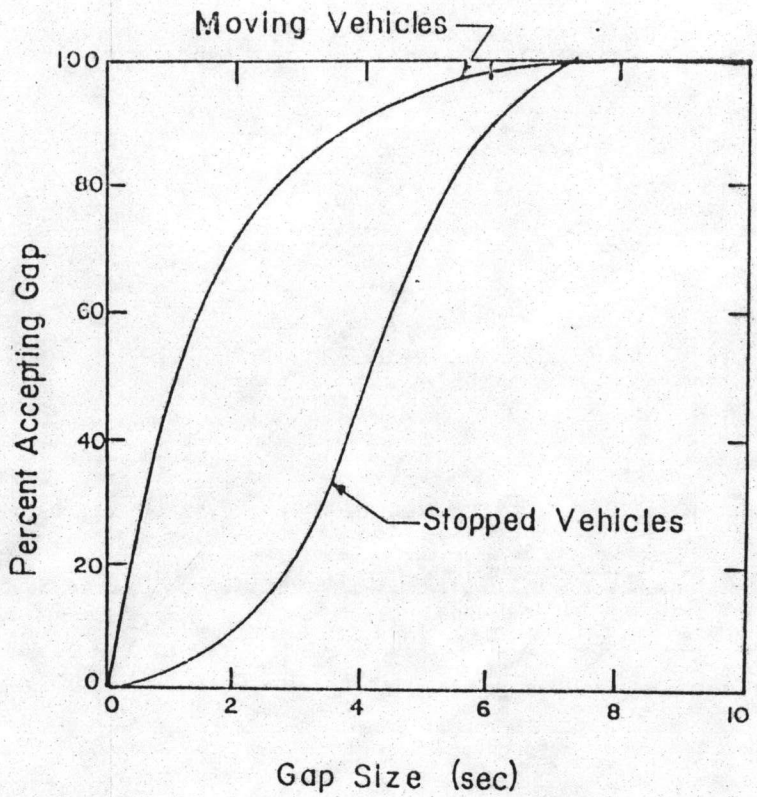
"Gerlough and Wagner" (14) ได้ปรับปรุงข้อมูลที่ได้จาก Kell (26) ในการหา gap และ lay acceptance โดยพล้อทข้อมูลในกราฟ log scale และสรุปได้ว่าเป็น log normal probability distribution รูป 3.15 และตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.4 ค่า Gap Acceptances ของการเลี้ยวขวาสำหรับถนน 2 ช่องจราจร รถเดิน 2 ทาง เสนอโดย Kell

Gap Size	Cumulative Percent Accepting	Gap Size	Cumulative Percent Accepting
< 1.0 sec	0	≤ 5.0 sec	94.7
≤ 1.5	1.4	≤ 5.5	96.4
≤ 2.0	10.2	≤ 6.0	97.9
≤ 2.5	18.3	≤ 6.5	98.2
≤ 3.0	31.3	≤ 7.0	98.5
≤ 3.5	50.0	≤ 7.5	99.3
≤ 4.0	64.6	≤ 8.0	99.4
≤ 4.5	85.3	> 8.0	100.0

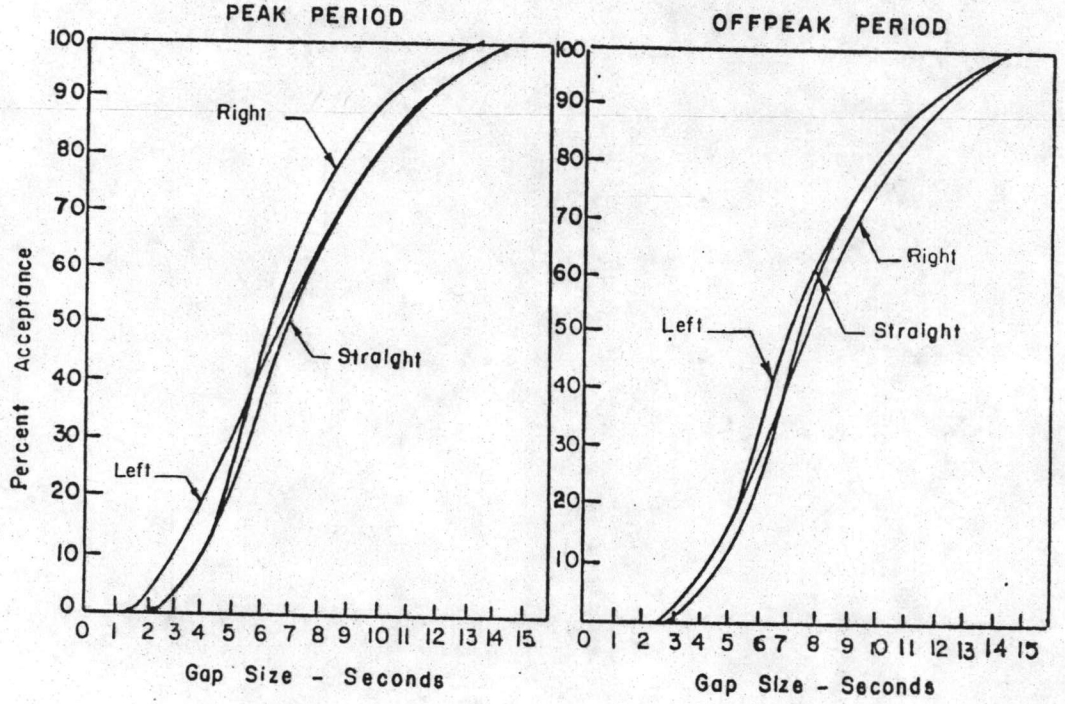


รูปที่ 3.10 แสดงกราฟการกระจายของ Accepted และ Rejected Gaps บริเวณทางแยก



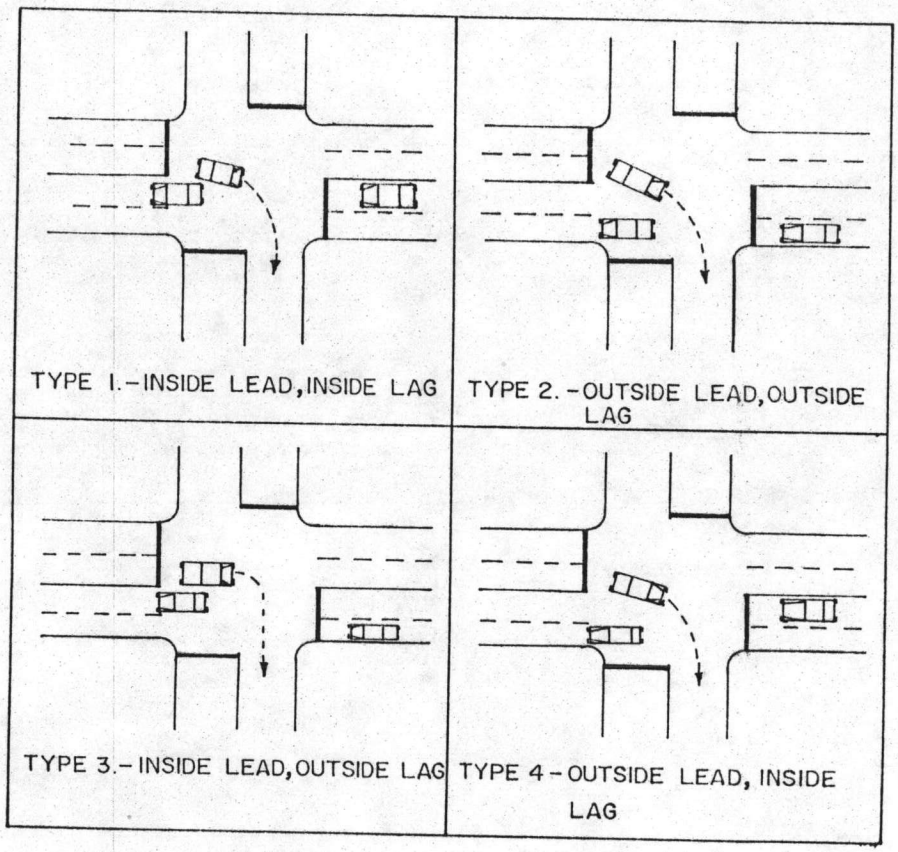
รูปที่ 3.11 กราฟแสดง Gaps Acceptance ของการ Merging

ในการจำลองพฤติกรรมของการเลี้ยวขวาของผู้ขับขี่ในแบบจำลองนี้จะเริ่มพิจารณาเมื่อรถวิ่งมาถึงจุดเริ่มเลี้ยวขวา โดยจะตัดสินใจที่ค่า lag ว่ามีมากพอกับการตัดสินใจหรือไม่ โดยการเทียบค่า Random กับค่า Probability ของ lag (ตาราง 3.3) ในกรณีที่ผู้ขับขี่ยอมรับค่า lag รถจะวิ่งต่อไปโดยจะไม่ให้ความเร็วเกินค่า Max. free right turning velocity แต่ถ้าค่า lag ถูก reject จากผู้ขับขี่ รถจะเริ่มหยุดด้วยอัตราความหน่วงคงที่เพื่อจะหยุดที่จุดคอยสำหรับเลี้ยวขวา ซึ่งจะถือว่าจุดนี้อยู่ที่หนึ่งส่วนสี่ของ

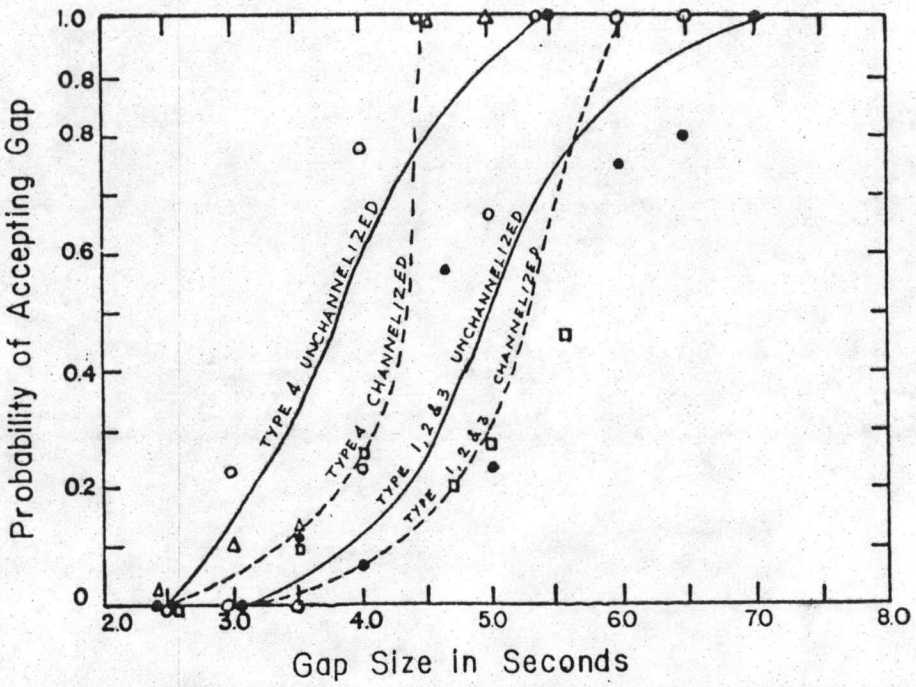


รูปที่ 3.12 อิทธิพลของทิศทางการเคลื่อนที่ของรถบนถนนด้านอื่นต่อ

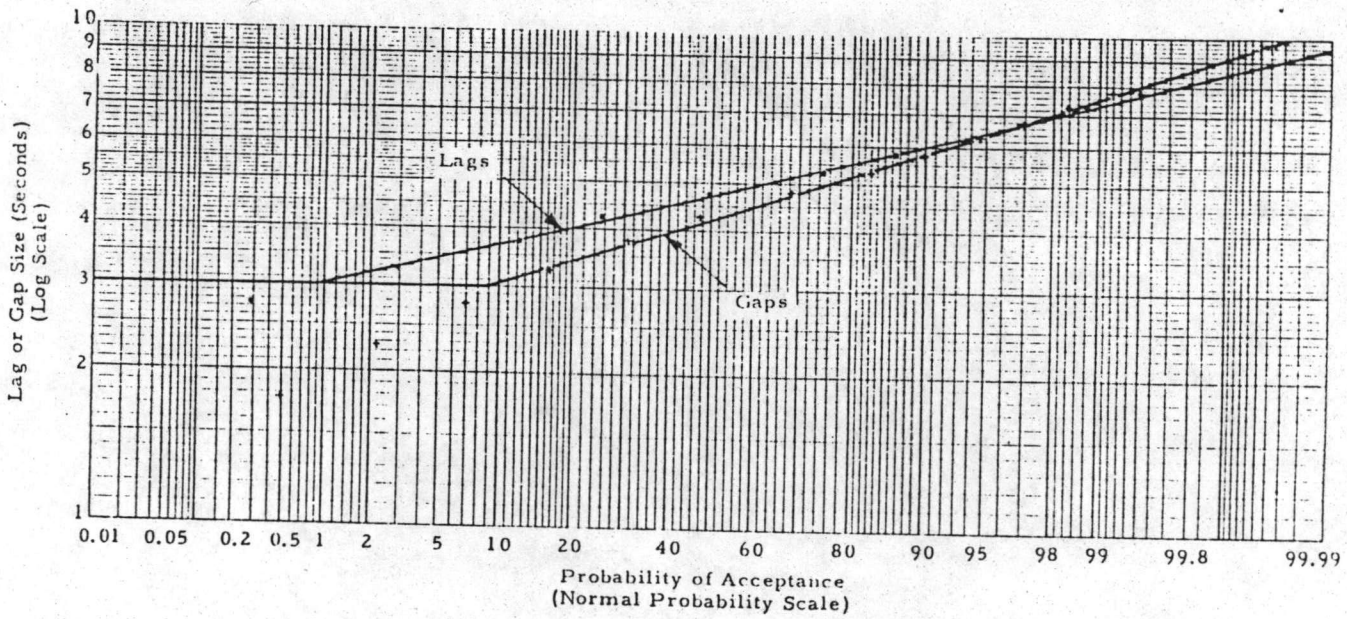
Gap Acceptance Distribution



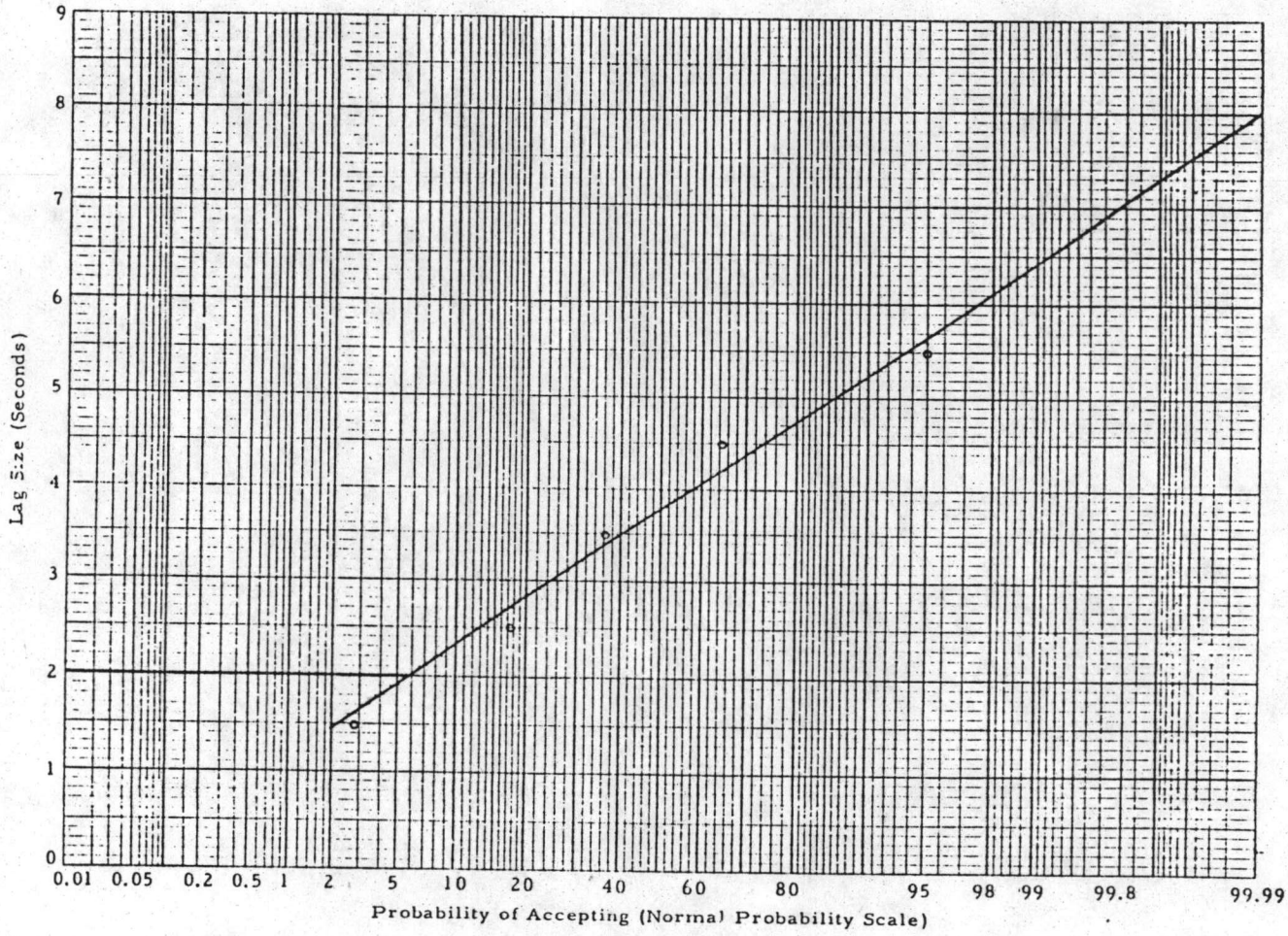
รูปที่ 3.13 แสดงพฤติกรรมการพิจารณา Lag และ Gap ของรถที่ต้องการเลี้ยวขวาบริเวณทางแยก



รูป 3.14 กราฟแสดงความเป็นไปได้ของ Gap Acceptance ของรถเลี้ยวขวาที่ตำแหน่งหยุดบริเวณทางแยกสัญญาณไฟ



รูปที่ 3.15 กราฟแสดง Right-Turn Decision Probability Distribution



3.16 กราฟแสดง Lane-Change Decision Probability Distribution

ตารางที่ 3.5 ค่าความเป็นไปได้ของการเลี้ยวขวา

(Right-Turn Decision Probability)

LAG OR GAP SIZE (SEC)	PROBABILITY OF ACCEPTING LAG	PROBABILITY OF ACCEPTING GAP
0 to 0.5	0	0
0.5 to 1.0	0	0
1.0 to 1.5	0	0
1.5 to 2.0	0	0
2.0 to 2.5	0	0
2.5 to 3.0	0	0
3.0 to 3.5	0.030	0.150
3.5 to 4.0	0.124	0.320
4.0 to 4.5	0.300	0.520
4.5 to 5.0	0.530	0.690
5.0 to 5.5	0.730	0.820
5.5 to 6.0	0.860	0.900
6.0 to 6.5	0.940	0.950
6.5 to 7.0	0.970	0.970
7.0 to 7.5	0.990	0.986
7.5 to 8.0	0.996	0.993
8.0 to 8.5	0.999	0.997
8.5 to 9.0	1.000	0.998
9.0 to 9.5	1.000	0.999
9.5 to 10.0	1.000	1.000

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.6 ค่าความเป็นไปได้นองการเปลี่ยนช่องจราจร

(Lane Change Decision Probability)

LANE CHANGE LAG (SEC)	PROBABILITY OF ACCEPTANCE
0 to 0.5	0
0.5 to 1.0	0
1.0 to 1.5	0
1.5 to 2.0	0
2.0 to 2.5	0.090
2.5 to 3.0	0.180
3.0 to 3.5	0.340
3.5 to 4.0	0.490
4.0 to 4.5	0.660
4.5 to 5.0	0.810
5.0 to 5.5	0.900
5.5 to 6.0	0.960
6.0 to 6.5	0.985
6.5 to 7.0	0.995
7.0 to 7.5	0.999
7.5 to 8.0	0.999
8.0 to 8.5	1.000
8.5 to 9.0	1.000
9.0 to 9.5	1.000
9.5 to 10.0	1.000

วงเลี้ยว หลังจากหยุดแล้วผู้ขับขี่จะสำรวจรถตรงข้ามอีกครั้ง เพื่อตรวจค่า gap โดยเทียบค่า Random กับ Probability ในตาราง 3.3 ถ้ามี gap มาก พอรถจะเริ่มเลี้ยวต่อไป โดยความเร็วรถจะไม่เกิน Max. delayed turning velocity.

3.6.3 Lane Changing

ในแบบจำลองนี้ได้พิจารณาถึงการเปลี่ยนช่องจราจรด้วย (ตามปกติจะถือว่าในบริเวณทางแยกจะไม่มีการเปลี่ยนช่องจราจรหรือแซงกัน) เมื่อรถเลี้ยวขวาต้องอยู่รอ gap เพื่อเลี้ยว ซึ่งทำให้รถคันหลังที่จะตรงไปต้องหยุดรอ การพิจารณาเปลี่ยนช่องจราจรของรถคันหลังที่จะตรงไป จะเริ่มโดยการตรวจดูรถที่อยู่ในช่องจราจรด้านซ้ายถัดไป ว่ามีช่องว่างพอที่จะแทรกเข้าไปได้หรือไม่ โดยพิจารณาระยะเวลาในการเคลื่อนที่ของรถที่วิ่งมาในช่องจราจรซ้ายมือถึงจุด Conflict การตัดสินใจของผู้ขับขี่จะใช้วิธี Random เปรียบเทียบกับค่า Probability ของตาราง Lane change lag acceptance ในช่วงเวลาที่คำนวณได้ รูป 3.16 และตารางที่ 3.6 ซึ่งค่าในตารางดังกล่าว Gerlough and Wagner (14) ได้ปรับปรุงจาก Midwest Research Institute Data.