บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีเกม

ทฤษฎีเกม [18] คือ ทฤษฎีซึ่งนำเสนอวิธีการคำนวณผลได้ผลเสียของการแข่งขันที่มีจำนวนผู้เล่นตั้งแต่สองคนขึ้นไป โดยคำนึงถึงการตัดสินใจของผู้เล่นทุกฝ่าย โดยทุกรอบการแข่งขันผู้เล่นในแต่ละฝ่ายจะคำนึงถึงการเล่นเพื่อให้ได้ผลประโยชน์กับตนเองมากที่สุด ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้อาจจะเกิดจากผู้เล่นแต่ละฝ่ายพยายามโจมตีผู้เล่นฝ่ายตรงข้ามให้ได้มากที่สุด (non–cooperative game) หรือ ทุกฝ่ายต่างร่วมมือกันเพื่อให้ได้ผลประโยชน์ตอบแทนมากที่สุด (cooperative game) โดยแผนการเล่นจะมีสองแบบ ดังนี้

1. แผนการเล่นแบบบริสุทธิ์ (pure strategy) : ในแต่ละรอบของการแข่งขัน ผู้เล่นแต่ละคนจะมีแผนการเล่นเด่น (dominant strategy) ทำให้เลือกแผนการเล่นนั้น ๆ มาเล่นและใช้แผนเดิมกับทุกรอบของเกม

2. แผนการเล่นแบบผสม (mix strategies) : ในแต่ละรอบของการแข่งขัน ผู้เล่นแต่ละคนจะสุ่มแผนขึ้นมาเล่น โดยขึ้นกับการแจกแจงความน่าจะเป็น ซึ่งจะแตกต่างจากกรณีแผนการเล่นบริสุทธิ์ตรงที่ผู้เล่นแต่ละคนเลือกแผนมากกว่า 1 แผนในการเล่น

2.1.1 เกมเล่นสองคนที่มีผลรวมเป็นศูนย์ (two–person zero–sum game)

หมายถึง เกมในรูปแบบที่มีผู้เล่นสองคน โดยผลประโยชน์ที่ทั้งสองคนได้รับจะรวมกันเป็นศูนย์เสมอหรือกล่าวอีกนัยได้ว่า ถ้ามีผู้เล่นได้ผลตอบแทนมาเท่าไหร่ผู้เล่นอีกฝ่ายจะเสียไปเท่านั้น ซึ่งเกมในลักษณะนี้เป็นเกมที่ขัดแย้งกันระหว่างผู้เล่นอย่างชัดเจน ตัวอย่างเช่น หมากรุก เกมโยนเหรียญ เป็นต้น โดยปกติแล้วเกมเล่นสองคนที่มีผลรวมเป็นศูนย์นั้น จะแสดงผลได้ผลเสียด้วยตาราง ซึ่งเรียกว่า ตารางผลได้ผลเสีย (payoff table) ดังตัวอย่างในตารางที่ 2.1

		ผู้เล่น 2	
		a	b
ผู้เล่น 1	x	-2	0
	y	2	10

รูปที่ 2.1: ตัวอย่างตารางผลได้ผลเสีย

ตารางที่ 2.1 แสดงถึงค่าผลได้ผลเสียระหว่างผู้เล่นทั้งสองคน โดยผู้เล่นคนที่หนึ่ง (แนวแถว) มีสองแผน ได้แก่ แผน x และ y ส่วนผู้เล่นคนที่สอง (แนวหลัก) มีสองแผนเช่นกัน

ได้แก่ a และ b โดยค่าตัวเลขในตารางหมายถึงค่าผลได้เสียของผู้เล่นคนที่หนึ่ง ยกตัวอย่าง เช่น หากผู้เล่นคนที่หนึ่งเลือกแผน y และผู้เล่นคนที่สองเลือกแผน a ค่าที่ได้จากตารางจะเป็น 2 ซึ่งหมายความว่าผู้เล่นคนที่หนึ่งจะได้ผลประโยชน์ 2 หน่วย แต่ในทางกลับกันผู้เล่นคนที่สองจะเสียผลประโยชน์ 2 หน่วย แต่ถ้าผู้เล่นคนที่หนึ่งเลือกแผน x และผู้เล่นคนที่สองเลือกแผน a จะได้ค่าเท่ากับ -2 หมายความว่าผู้เล่นคนที่หนึ่งจะเสียผลประโยชน์ 2 หน่วย แต่ในทางกลับกันผู้เล่นคนที่สองจะได้ผลประโยชน์ 2 หน่วย

2.1.2 ทฤษฎีมินิแมกซ์ (minimax theorem)

จากเกมเล่นสองคนที่มีผลรวมเป็นศูนย์ที่กล่าวไปข้นต้น หากผู้เล่นทั้งสองคนมีแผนของการเล่นเป็นเซตจำกัดแล้ว จะเรียกเกมประเภทนี้ว่า เกมเล่นสองคนที่มีผลรวมเป็นศูนย์แบบจำกัด (finite, two–person zero–sum game) ซึ่งเกมประเภทนี้จะสามารถหาผลเฉลยของเกมได้โดยทฤษฎีมินิแมกซ์ [18] จากทฤษฎีกล่าวไว้ว่าถ้าเกมเล่นสองคนที่มีผลรวมเป็นศูนย์เป็นแบบจำกัดแล้ว

1. จะมีค่า V ซึ่งเป็นค่าของเกม (value of game) โดยค่าของเกมนี้เป็นค่าที่ผู้เล่นทั้งสองพอใจและเป็นค่าที่รับประกันผู้เล่นทั้งสองฝ่ายว่า ในการเล่นทั้งหมดโดยเฉลี่ยแล้วจะได้รับค่าที่ได้จากเกมไม่ต่ำกว่าค่านี้

2. จะมีแผนการเล่นแบบผสมสำหรับผู้เล่นคนที่หนึ่งซึ่งทำให้ได้รับประโยชน์โดยเฉลี่ยอย่างน้อยที่สุดเท่ากับค่า V ไม่ว่าผู้เล่นคนที่สองจะเลือกแผนการเล่นแบบไหนก็ตาม ซึ่งแผนของผู้เล่นคนที่หนึ่งเป็นการหาค่ามากที่สุดจากผลได้น้อยที่สุด

3. จะมีแผนการเล่นแบบผสมสำหรับผู้เล่นคนที่สองซึ่งทำให้ผู้เล่นคนที่สองเสียผลประโยชน์โดยเฉลี่ยอย่างมากที่สุดเท่ากับ V ไม่ว่าผู้เล่นคนที่หนึ่งจะเลือกแผนการเล่นแบบไหนก็ตาม ซึ่งแผนของผู้เล่นคนที่สองเป็นการหาค่าน้อยที่สุดจากผลเสียมากที่สุด

จากที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่าเกมเล่นสองคนที่มีผลรวมเป็นศูนย์ทุกเกมนั้นจะสามารถหาค่าของเกมได้ซึ่งจะสอดคล้องกับแผนของผู้เล่นคนที่หนึ่งและสองที่ทำให้ได้ค่าที่พอใจในผลได้ผลเสียทั้งสองฝ่าย โดยแผนที่ทั้งคู่เลือกมาเล่นนี้จะเรียกว่าแผนการเล่นแบบมินิแมกซ์หรือแผนการเล่นที่เหมาะสมที่สุด (optimal strategy)

2.1.3 แผนการเล่นเด่น (dominant strategy)

จากนิยาม [18] กล่าวว่าแผนการเล่น S จะเป็นแผนการเด่นกว่าแผนการเล่น T ก็ต่อเมื่อทุก ๆ ค่าของผลได้เสียใน S ที่ได้จากแผนการเล่นของผู้เล่นฝ่ายตรงข้ามมีค่าผลได้ผลเสียที่ดีกว่าหรือเท่ากับค่าผลได้ผลเสียใน T ที่ได้จากแผนการเล่นของผู้เล่นฝ่ายตรงข้าม ซึ่งกลยุทธ์เด่นนั้นสามารถแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบคือ

1. แผนการเล่นเด่นอย่างชัดเจน (strictly dominant)

ถ้าแผนการเล่น S เด่นกว่าแผนการเล่น T อย่างชัดเจนแล้ว ทุก ๆ ค่าของผลได้ผลเสียใน S ที่ได้จากแผนการเล่นของผู้เล่นฝ่ายตรงข้ามจะมีค่าผลได้ผลเสียดีกว่าค่าผลได้ผลเสียใน T ที่ได้จากแผนการเล่นของผู้เล่นฝ่ายตรงข้าม

2. แผนการเล่นไม่ด้อยกว่า (weakly dominant)

หากแผนการเล่น S ไม่ด้อยกว่าแผนการเล่น T แล้ว จะมีอย่างน้อยหนึ่งค่าของผลได้ผลเสียใน S ที่ได้จากแผนการการเล่นของผู้เล่นฝ่ายตรงข้ามมีค่าผลได้ผลเสียที่ดีกว่าค่าของผลได้ผลเสียใน T ที่ได้จากแผนการเล่นของผู้เล่นฝ่ายตรงข้าม และค่าของผลได้ผลเสียใน S ที่ได้จากแผนการเล่นของผู้เล่นฝ่ายตรงข้ามที่เหลือมีค่าผลได้ผลเสียเท่ากับค่าของผลได้ผลเสียใน T ที่ได้จากแผนการเล่นของผู้เล่นฝ่ายตรงข้าม

เพื่อความชัดเจนจึงขออธิบายโดยการยกตัวอย่างตารางผลได้ผลเสียดังรูปที่ 2.2

		ผู้เล่น 2			
		a	b	c	d
ผู้เล่น 1	w	1	2	3	4
	x	2	3	4	5
	y	2	4	4	5
	z	1	4	5	2

รูปที่ 2.2: ตัวอย่างตารางผลได้ผลเสียเพื่อแสดงแผนการเล่นเด่นของผู้เล่นทั้งสอง

เนื่องจากค่าในตารางเป็นค่าผลได้ผลเสียของผู้เล่นแนวแถว (ผู้เล่น 1) ดังนั้นค่าผลได้ผลเสียที่ดีกว่าสำหรับผู้เล่น 1 จะหมายถึง ค่าผลได้ผลเสียที่มากกว่านั้นเอง จากตัวอย่างจะเห็นว่าแผนการเล่น x นั้นเป็นแผนการเล่นที่เด่นกว่าแผนการเล่น w อย่างชัดเจน เนื่องจากค่าผลได้ผลเสียทุกค่าของแผน x มีค่ามากกว่าค่าผลได้ผลเสียของแผนการเล่น w ในทุกกรณี ในขณะที่แผนการเล่น y นั้นเป็นแผนการเล่นที่ไม่ด้อยกว่าแผนการเล่น x เนื่องจากมีอย่างน้อยหนึ่งค่าของแผนการเล่น y ที่ทำให้ผลได้ผลเสียมากกว่าแผนการเล่น x นั่นคือ ค่าผลได้ผลเสียในกรณีที่ผู้เล่น 2 เลือกแผนการการเล่น b ส่วนค่าผลได้ผลเสียในกรณีที่เหลือที่ผู้เล่น 2 เลือกนั้นแผนการเล่น x และ y มีค่าผลได้ผลเสียเท่ากัน

สำหรับผู้เล่น 2 เนื่องจากค่าในตารางเป็นค่าผลได้ผลเสียของผู้เล่น 1 ดังนั้นค่าผลได้ผลเสียที่ดีกว่าสำหรับผู้เล่น 2 จะหมายถึง ค่าผลได้ผลเสียที่น้อยกว่า และจากตัวอย่างจะเห็นว่าแผนการเล่น a เป็นแผนการเล่นที่เด่นที่สุดอย่างชัดเจน เนื่องจากค่าผลได้ผลเสียทุกค่าของแผน a มีค่าน้อยกว่าค่าผลได้ผลเสียของแผน b, c และ d ไม่ว่าผู้เล่น 1 จะเลือกแผนการเล่นใด เป็นต้น

จากหลักการของแผนการเล่นเด่น ทำให้สามารถลดความซับซ้อนในการหาผลเฉลยได้ เนื่องจากผู้เล่นที่มีเหตุมีผล (rational) นั้นจะไม่เลือกกลยุทธ์ที่ด้อยกว่าเพื่อมาใช้เล่น ทำให้สามารถตัดกลยุทธ์ที่ด้อยกว่าออกก่อนหาผลเฉลยได้โดยค่าของเกมที่ได้จะไม่เปลี่ยนแปลง

2.2 การส่งข้อมูลหลายวิถี (multi-path routing)

เมื่อต้องการส่งข้อมูลจากจุดเชื่อมต่อหนึ่งไปยังอีกจุดเชื่อมโยงต่อ โครงข่ายจะต้องมีกระบวนการจัดหาเส้นทางการส่งข้อมูล (routing) เพื่อให้ข้อมูลถูกส่งไปเส้นทางที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพดีที่สุด เช่น ในด้านต้นทุน ด้านความน่าเชื่อถือ เป็นต้น โดยปกติแล้วการจัดหาเส้นทางการส่งข้อมูลจะส่งไปตามเส้นทางใดเส้นทางหนึ่งจากต้นทางไปยังปลายทาง (single path routing) ซึ่งถ้าหากเกิดปัญหาเส้นทางนั้นเสียหายไม่ว่าจากอุปกรณ์การส่งหรือสายเชื่อมโยง จะทำให้การส่งข้อมูลในขณะนั้นใช้งานไม่ได้และเกิดความเสียหายต่อข้อมูลขึ้น ยิ่งไปกว่านั้นถ้าหากการส่งข้อมูลถูกโจมตีด้วยการดักฟังหรือการรบกวนสัญญาณแล้ว โครงข่ายจะถูกโจมตีได้โดยง่ายเพราะสามารถคาดเดาหรือรู้เส้นทางการส่งที่แน่นอน ด้วยเหตุนี้จึงเกิดแนวคิดการส่งข้อมูลที่ใช้มากกว่าหนึ่งเส้นทางเกิดขึ้น (multi-path routing) เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว ซึ่งทำได้หลายลักษณะดังนี้

2.2.1 การส่งแบบระยะทางที่สั้นที่สุด (shortest path)

การส่งแบบระยะทางที่สั้นที่สุด [19] เป็นวิธีการส่งวิธีการส่งข้อมูลไปในทุกเส้นทางที่มีระยะทางสั้นที่สุดหรือต้นทุนต่ำที่สุดซึ่งจะเป็นวิธีการส่งที่ประหยัดทรัพยากรของโครงข่ายแต่ความปลอดภัยนั้นจะต่ำเพราะผู้โจมตีสามารถคาดเดาเส้นทางการส่งข้อมูลได้ง่าย โดยจะเลือกเส้นทางที่สั้นที่สุดในการโจมตี

2.2.2 การจัดเส้นทางแบบเฟ้นสุ่ม

การจัดเส้นทางแบบเฟ้นสุ่ม [14], [20] เป็นวิธีการส่งโดยเลือกเส้นทางการส่งข้อมูลมาหนึ่งเส้นทางอย่างสุ่ม การจัดเส้นทางด้วยวิธีนี้เป็นการยากต่อผู้ที่จะมาโจมตีโครงข่ายเพราะไม่สามารถคาดเดาเส้นทางการส่งข้อมูลที่แน่นอนได้และเป็นการบังคับให้ผู้โจมตีเลือกโจมตีทุกเส้นทางที่เป็นอิสระต่อกัน นอกจากนี้การจัดเส้นทางแบบเฟ้นสุ่มยังไม่เปลืองทรัพยากรมากเท่าการส่งแบบกระจายทุกทิศทางดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้จะพิจารณาเฉพาะการจัดเส้นทางแบบเฟ้นสุ่มโดยมุ่งศึกษาการปรับค่าความน่าจะเป็นในการเลือกเส้นทางการส่งของฝ่ายป้องกันโดยใช้ทฤษฎีเกมเพื่อใช้ในการหาเส้นทางที่ปลอดภัยที่สุดและคำนวณค่าคาดหวังของจำนวนเซสชั่นที่ปลอดภัยจากการถูกโจมตีต่อไป

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ใช้การจัดเส้นทางแบบเฟ้นสุ่มเพื่อแก้ไขการถูกโจมตีทั้งสองชนิดได้แก่ การดักฟังและการส่งสัญญาณรบกวนในโครงข่ายไร้สายแบบเมช โดยได้นำทฤษฎีเกมมาประยุกต์ใช้ในการคำนวณเพื่อเลือกเส้นทางที่ดีที่สุดในการส่งข้อมูล ทำให้สามารถรับประกันค่าความปลอดภัยของโครงข่ายขั้นต่ำที่พึงจะได้ โดยในวิทยานิพนธ์จะสามารถแยกฝ่ายป้องกันและฝ่ายโจมตีซึ่งขัดแย้งกันอย่างชัดเจนจึงจำลองได้โดยใช้เกมผู้เล่นสองคนที่มีผลรวมเป็นศูนย์ แต่ในรูปแบบการโจมตีแบบดักฟังและส่งสัญญาณรบกวนมีลักษณะที่แตกต่างกัน จึงพิจารณาแยกเป็นสองส่วน โดยส่วนแรกจะวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดจากการดักฟังข้อมูลในโครงข่าย ส่วนที่สองจกเป็นการวิเคราะห์การถูกโจมตีด้วยสัญญาณรบกวนซึ่งจะกล่าวโดยละเอียดในบทต่อไป