

บทที่ 4

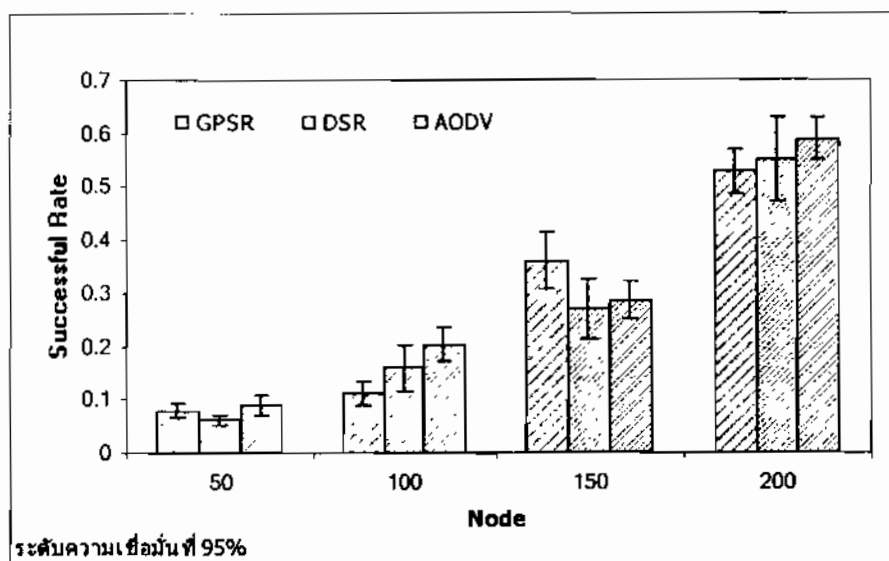
ผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองการทดสอบประสิทธิภาพ การทำงานของขั้นตอนวิธีการค้นหาเส้นทางเชิงภูมิศาสตร์เปรียบเทียบกับขั้นตอนวิธีการค้นหาเส้นทางแบบ On-demand Routing บนแบบจำลองการทำงานของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย และผลการทดลองการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของขั้นตอนวิธีการค้นหาเส้นทางเชิงภูมิศาสตร์ ในกรณีที่เกิดความผิดพลาดของตำแหน่งของโหนดในเครือข่าย และ ผลการทดลองการทดสอบประสิทธิภาพเมื่อนำขบวนการระบบประสาทมาปรับปรุงขั้นตอนวิธีการค้นหาเส้นทางเชิงภูมิศาสตร์เพื่อทำนายค่าผิดพลาดของตำแหน่งของโหนดที่เกิดขึ้น โดยในการทดลองนี้ผู้วิจัยได้พิจารณาในกรณีที่มีค่าผิดพลาดของตำแหน่งของ โหนด ที่ระยะ ± 10 เมตร

4.1 ผลการทดลองการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของขั้นตอนวิธีการค้นหาเส้นทางเชิงภูมิศาสตร์เปรียบเทียบกับขั้นตอนวิธีการค้นหาเส้นทางแบบ On-demand Routing

ตารางที่ 4-1 ผลการเปรียบเทียบ Successful Rate ของ GPSR, DSR, AODV จำแนกตามปริมาณของโหนดที่มีในเครือข่าย

Routing Algorithm	Successful Rate											
	50 โหนด			100 โหนด			150 โหนด			200 โหนด		
	$\bar{X}$	CI 95%	S.D.	$\bar{X}$	CI 95%	S.D.	$\bar{X}$	CI 95%	S.D.	$\bar{X}$	CI 95%	S.D.
GPSR	0.080	± 0.013	0.030	0.112	± 0.022	0.050	0.361	0.054	± 0.123	0.527	± 0.041	± 0.095
DSR	0.062	± 0.01	0.023	0.159	± 0.043	0.097	0.271	0.056	± 0.127	0.551	± 0.078	± 0.178
AODV	0.090	± 0.02	0.045	0.204	± 0.032	0.073	0.286	0.036	± 0.083	0.588	± 0.039	± 0.090



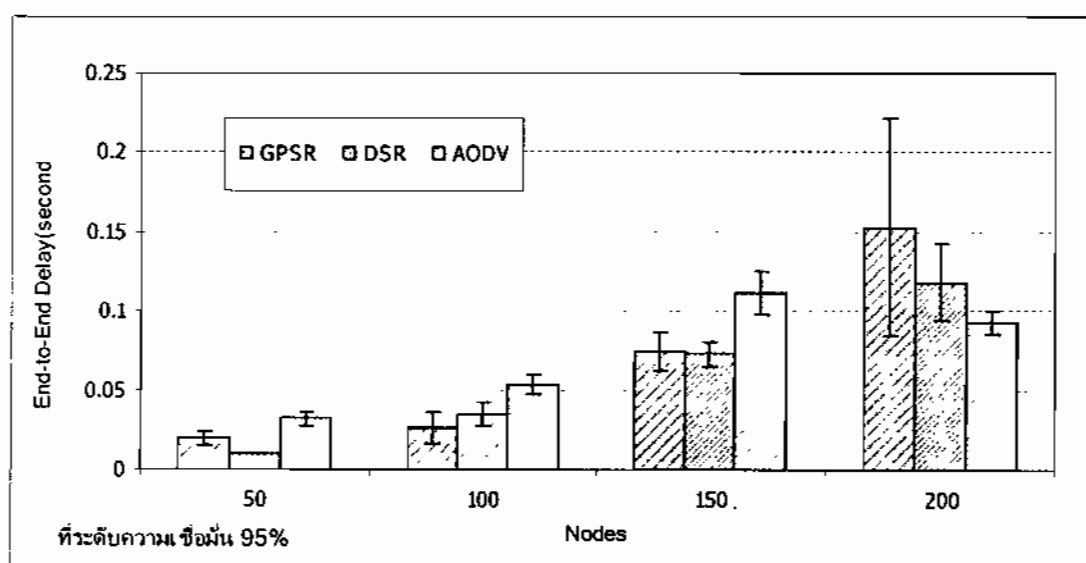
ภาพที่ 4-1 กราฟแสดง Successful Rate ของ GPSR เปรียบเทียบกับ AODV และ DSR ที่จำนวนโหนด ในระดับ 50 โหนด 100 โหนด 150 โหนด และ 200 โหนด

จากตารางที่ 4-1 พบว่า เมื่อจำนวนโหนดในเครือข่ายมีจำนวนเพิ่มขึ้น Successful Rate ของ GPSR AODV และ DSR เพิ่มขึ้น โดยที่ Successful Rate ของ AODV ในภาพรวมทุกขนาดของเครือข่ายมีมากที่สุดเนื่องจาก AODV จะมีการสร้างเส้นทางที่ใช้ในการส่งข้อมูลจากต้นทางไปถึงปลายทางก่อนที่จะส่งต่อข้อมูลออกไป ดังนั้น จึงทำให้มั่นใจได้ว่าข้อมูลที่ส่งออกไปจะไปถึงโหนดปลายทาง โดยเฉพาะเมื่อจำนวนโหนดในเครือข่ายมากขึ้น ก็ส่งผลให้มีเส้นทางในการส่งข้อมูลเพิ่มขึ้นตามไปด้วย หากเส้นทางใดเกิดการสูญหาย ก็ยังมีเส้นทางสำรองที่ใช้ในการส่งข้อมูลต่อไปได้ จึงทำให้วิธีการส่งข้อมูลของ AODV มี Successful Rate มากที่สุด ในขณะที่ GPSR มี Successful Rate อยู่ในลำดับรองลงมา เนื่องจาก GPSR มีวิธีการที่ช่วยให้ข้อมูลสามารถส่งต่อไปได้ถึงแม้ว่ายังไม่พบโหนดที่เป็นโหนดปลายทาง โดยการปรับเข้าสู่โหนดที่เรียกว่า Greedy นั่นคือ จะเพิ่มช่วงในการส่งต่อข้อมูลออกไปให้ได้ไกลที่สุดเพื่อลดจำนวน Hop ในแต่ละเส้นทาง อย่างไรก็ตาม เมื่อ GPSR ทำงานอยู่ใน เครือข่ายที่มีจำนวนโหนดข้างเคียงค่อนข้างน้อย GPSR มีแนวโน้มที่จะเกิดการล้มเหลวในการส่งต่อข้อมูล ดังจะเห็นได้จากภาพที่ 4-1 เมื่อ GPSR ทำงานในเครือข่ายที่มีจำนวนโหนด 50 โหนดจะพบว่า Successful Rate ที่ได้จะลดลง ในขณะที่ DSR มี Successful Rate อยู่ในลำดับสุดท้าย เนื่องจาก DSR ก็พยายามสร้างเส้นทางในการส่งข้อมูลจากโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทางเหมือน AODV เช่นกัน ซึ่งเมื่อต้องทำงานในเครือข่ายที่มีจำนวนโหนดข้างเคียงค่อนข้างน้อย การสร้างเส้นทางของ DSR ในแต่ละเส้นทางอาจจะมีจำนวนโหนดมากหรืออาจจะไม่พบ

โหนดใดเลย นั่นคือ เส้นทางมีแนวโน้มที่จะใช้งานไม่ได้เนื่องจากไม่พบโหนดใดที่จะทำการส่งข้อมูลต่อไปได้ หรือ เส้นทางที่ได้มีจำนวน Hop มากจนเมื่อทำการส่งข้อมูลจริงแล้วเกิด Time-Out ได้

ตารางที่ 4-2 ผลการเปรียบเทียบ End-to-End Delay ของ GPSR, DSR, AODV จำแนกตามปริมาณของโหนดที่มีในเครือข่าย

Routing Algorithm	End-to-End Delay (Second)											
	50 โหนด			100 โหนด			150 โหนด			200 โหนด		
	$\bar{X}$	CI 95%	S.D.	$\bar{X}$	CI 95%	S.D.	$\bar{X}$	CI 95%	S.D.	$\bar{X}$	CI 95%	S.D.
GPSR	0.019	± 0.004	± 0.009	± 0.027	± 0.010	± 0.022	± 0.074	± 0.013	± 0.029	± 0.153	± 0.069	± 0.157
DSR	0.010	± 0.000	± 0.000	± 0.035	± 0.007	± 0.016	± 0.072	± 0.008	± 0.018	± 0.118	± 0.024	± 0.056
AODV	0.032	± 0.004	± 0.010	± 0.053	± 0.006	± 0.015	± 0.111	± 0.014	± 0.031	± 0.093	± 0.008	± 0.018



ภาพที่ 4-2 กราฟแสดง End-to-End Delay Time ของ GPSR เปรียบเทียบกับ AODV และ DSR ที่จำนวน โหนด ในระดับ 50 โหนด 100 โหนด 150 โหนด และ 200 โหนด

จากภาพที่ 4-2 เป็นกราฟแสดงการเปรียบเทียบ End to End Delay Time ของ GPSR ที่ทำงานในสภาวะปกติ กับ AODV และ DSR พบว่า GPSR จะมี Delay น้อยที่สุด เพราะว่า GPSR จะเลือกโหนดที่ส่งต่อที่มีตำแหน่งอยู่ใกล้กับปลายทางมากที่สุดที่สามารถทำได้ จึงทำให้เส้นทางในการส่งข้อมูลของ GPSR สั้นกว่าของ AODV และ DSR จึงมีค่า Delay น้อยที่สุด แต่เมื่อทำงานในเครือข่าย

ที่มีปริมาณของโหนดมาก จากภาพที่ 4-2 คือ เครือข่ายที่ 200 โหนด พบว่า GPSR มี Delay Time มากที่สุดและมีความหลากหลาย สาเหตุมากจาเมื่อจำนวนโหนดมากขึ้นทำให้การพิจารณาเลือกโหนดที่อยู่ในรัศมีในการส่งมุลใช้เวลาเพิ่มขึ้นเนื่องจากพบว่าในรัศมีการส่งข้อมูลมีโหนดข้างเคียงมากขึ้น ทำให้ต้องใช้เวลาในการตัดสินใจเพิ่มขึ้นว่าจะเลือกโหนดใด เป็นลำดับถัดไปในการส่งข้อมูล แต่ในขณะเดียวกัน AODV และ DSR มี Delay Time เพิ่มขึ้นตามจำนวนโหนดที่เพิ่มมากขึ้น เนื่องจาก ต้องสร้างเส้นทางในการส่งข้อมูลทุกๆ เส้นทางที่ไปยังโหนดปลายทางได้ ดังนั้น เมื่อปริมาณโหนดเพิ่มขึ้น จึงทำให้เวลาในการสร้างเส้นทางเพิ่มขึ้นส่งผลให้ ค่า Delay Time เพิ่มขึ้นตามปริมาณของเครือข่ายที่เพิ่มขึ้นด้วย

4.2 ผลการทดลองการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของขั้นตอนวิธีการค้นหาเส้นทางเชิงภูมิศาสตร์ ในกรณีที่เกิดความผิดพลาดของตำแหน่งของ โหนด ในเครือข่าย

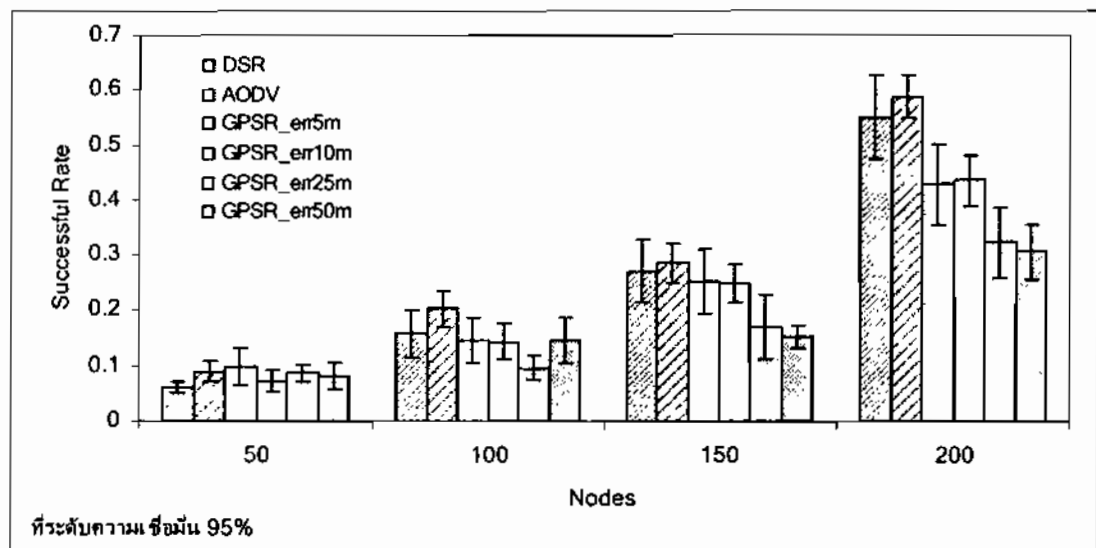
ตารางที่ 4-3 การกำหนดค่าความผิดพลาดที่ใช้ทดลองกับขั้นตอนวิธีการค้นหาเส้นทางเชิงภูมิศาสตร์

ลำดับ	ค่าความผิดพลาด	สัญลักษณ์ที่ใช้	ความหมาย
1	ระยะ ± 5 เมตร	GPSR_err5m	GPSR ที่ทำงานด้วยความผิดพลาดที่ระยะ ± 5 เมตร
2	ระยะ ± 10 เมตร	GPSR_err10m	GPSR ที่ทำงานด้วยความผิดพลาดที่ระยะ ± 10 เมตร
3	ระยะ ± 25 เมตร	GPSR_err25m	GPSR ที่ทำงานด้วยความผิดพลาดที่ระยะ ± 25 เมตร
4	ระยะ ± 50 เมตร	GPSR_err50m	GPSR ที่ทำงานด้วยความผิดพลาดที่ระยะ ± 50 เมตร

ในส่วนนี้เป็นผลการทดลองที่ศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของ GPSR เมื่อเกิดค่าความผิดพลาดของตำแหน่งในระดับต่างๆ ซึ่งในการวิจัยได้กำหนดค่าความผิดพลาดของตำแหน่งไว้ทั้งหมด 4 ระดับ คือ ± 5 เมตร ± 10 เมตร ± 25 เมตร และ ± 50 เมตร และแทนค่าการทำงานกับ GPSR ที่ระดับต่างๆ ตามตารางที่ 4-3 ซึ่งผลการทดลองที่ได้จากการทำงานของ GPSR เมื่อมีค่าความผิดพลาดของตำแหน่ง 4 ระดับจะนำมาเปรียบเทียบกับ GPSR AODV และ DSR

ตารางที่ 4-4 ผลการเปรียบเทียบ Successful Rate ของ DSR, AODV, GPSR_err5m, GPSR_err10m, GPSR_err25m และ GPSR_err50m จำแนกตามปริมาณของโหนดที่มีในเครือข่าย

Routing Algorithm	Successful Rate											
	50 โหนด			100 โหนด			150 โหนด			200 โหนด		
	$\bar{X}$	CI 95%	S.D.	$\bar{X}$	CI 95%	S.D.	$\bar{X}$	CI 95%	S.D.	$\bar{X}$	CI 95%	S.D.
DSR	0.062	± 0.010	0.023	0.159	± 0.043	0.097	0.271	± 0.056	0.127	0.551	± 0.078	0.178
AODV	0.090	± 0.020	0.045	0.204	± 0.032	0.073	0.286	± 0.036	0.083	0.588	± 0.039	0.090
GPSR_err5m	0.097	± 0.034	0.078	0.148	± 0.041	0.093	0.254	± 0.058	0.133	0.429	± 0.074	0.168
GPSR_err10m	0.073	± 0.018	0.009	0.144	± 0.033	0.017	0.251	± 0.034	0.017	0.436	± 0.046	0.024
GPSR_err25m	0.088	± 0.015	0.034	0.097	± 0.021	0.047	0.171	± 0.057	0.130	0.323	± 0.064	0.145
GPSR_err50m	0.082	± 0.023	0.052	0.148	± 0.041	0.094	0.153	± 0.020	0.046	0.306	± 0.051	0.116



ภาพที่ 4-3 กราฟแสดง Successful Rate ของ GPSR ที่มีค่าความผิดพลาดของตำแหน่งทั้ง 4 ระดับ เปรียบเทียบกับ AODV และ DSR ที่จำนวน โหนด ในระดับ 50 โหนด 100 โหนด 150 โหนด และ 200 โหนด

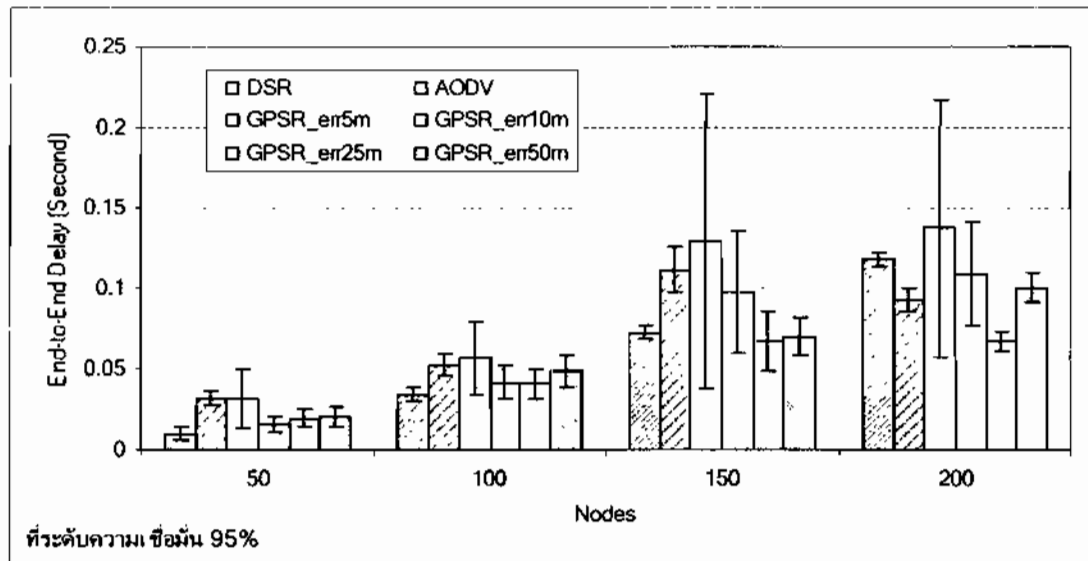
ผลการเปรียบเทียบ Successful Rate ของ DSR, AODV, GPSR_err5m, GPSR_err10m, GPSR_err25m และ GPSR_err50m จำแนกตามปริมาณของโหนดที่มีในเครือข่าย ใน ภาพที่ 4-3 พบว่า GPSR มีค่า Successful Rate ที่หลากหลาย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ การเกิด ความผิดพลาดของตำแหน่ง ในระดับต่างๆ เป็นปัจจัยสำคัญ ซึ่ง GPSR_50m แทนด้วยระดับการทำงานที่มีความผิดพลาดของ

ตำแหน่งของ โหนด ที่ ± 50 เมตร จะมี Successful Rate ต่ำที่สุด สำหรับ GPSR_5m จะแทนระดับการทำงานที่มีความผิดพลาดของตำแหน่งของ โหนด ที่ระดับ ± 5 เมตร จะมี Successful Rate มากที่สุด เมื่อเทียบกับ GPSR ที่ระดับอื่นๆ เนื่องจาก GPSR จะพิจารณาเฉพาะตำแหน่งของโหนดข้างเคียง เพราะฉะนั้น GPSR จะไม่สนใจสถานะของเครือข่ายที่เป็นอยู่ในขณะนั้น แต่จะสนใจเฉพาะการส่งข้อมูลแบบ Hop-to-Hop เพื่อให้ใกล้เคียงกับปลายทางที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ การเกิดความผิดพลาดของตำแหน่งจึงเป็นสาเหตุที่ทำให้ไม่สามารถส่ง Packet ไปยังตำแหน่งที่ควรจะเป็นได้ ดังนั้นระยะทางในการส่งข้อมูลจึงไม่สามารถที่จะทำให้ระยะทางสั้นได้ตามที่ควรจะเป็น ส่งผลให้เกิดความล้มเหลวเนื่องจากเส้นทางที่ใช้ในการส่งข้อมูลมีระยะทางที่ยาวเกินกำหนดจึงทำให้ไม่สามารถส่งข้อมูลได้สำเร็จ เมื่อมีค่าความผิดพลาดของตำแหน่งเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้เกิดความล้มเหลวมากขึ้น พิจารณาได้จาก Successful rate จะลดต่ำลงเมื่อมีเกิดความผิดพลาดของตำแหน่งเพิ่มขึ้น และเมื่อเทียบกับ AODV และ DSR แล้วพบว่า GPSR ที่มีเกิดค่าความผิดพลาดของตำแหน่งจะมีประสิทธิภาพที่ต่ำกว่า AODV และ DSR ในขณะที่ AODV และ DSR จะเกิดความล้มเหลวจากระยะเวลาการค้นหาเส้นทางสำหรับส่งข้อมูลจากต้นทางไปยังปลายทางไม่เพียงพอ

ตารางที่ 4-5 ผลการเปรียบเทียบ End-to-End Delay ของ DSR, AODV, GPSR_err5m,

GPSR_err10m, GPSR_err25m และ GPSR_err50m จำแนกตามปริมาณของโหนดที่มีในเครือข่าย

Routing Algorithm	End-to-End Delay											
	50 โหนด			100 โหนด			150 โหนด			200 โหนด		
	$\bar{X}$	CI 95%	S.D.	$\bar{X}$	CI 95%	S.D.	$\bar{X}$	CI 95%	S.D.	$\bar{X}$	CI 95%	S.D.
DSR	0.010	± 0.004	0.010	0.035	± 0.007	0.016	0.072	± 0.008	0.018	0.118	± 0.024	0.056
AODV	0.032	± 0.004	0.010	0.053	± 0.006	0.015	0.111	± 0.014	0.031	0.093	± 0.008	0.018
GPSR_err5m	0.032	± 0.019	0.043	0.057	± 0.022	0.051	0.129	± 0.092	0.209	0.138	± 0.080	0.182
GPSR_err10m	0.016	± 0.005	0.011	0.042	± 0.010	0.023	0.098	± 0.038	0.087	0.109	± 0.032	0.074
GPSR_err25m	0.020	± 0.005	0.011	0.041	± 0.009	0.020	0.067	± 0.018	0.041	0.067	± 0.007	0.015
GPSR_err50m	0.021	± 0.006	0.015	0.094	± 0.010	0.022	0.070	± 0.011	0.026	0.100	± 0.009	0.021



ภาพที่ 4-4 กราฟแสดง End-to-End Delay Time ของGPSR ที่มีค่าความผิดพลาดของตำแหน่งทั้ง 4 ระดับ เปรียบเทียบกับ AODV และ DSR ที่จำนวน โหนด ในระดับ 50 โหนด 100 โหนด 150 โหนด และ 200 โหนด

จากภาพที่ 4-4 คือ ผลการเปรียบเทียบ End-to-End Delay ของ GPSR ที่เกิดความผิดพลาดของตำแหน่งทั้ง 4 ระดับ เปรียบเทียบกับ AODV และ DSR พบว่าค่า End-to-End Delay จะเปลี่ยนแปลงตามค่าความผิดพลาดของตำแหน่งที่เกิดขึ้นและขนาดของเครือข่าย โดยที่ GPSR จะพยายามส่ง Packet ออกไปให้ได้ระยะทางไกลเท่าที่จะเป็นไปได้ โดยเลือกโหนดที่อยู่ใกล้กับตำแหน่งปลายทางที่สุด ดังนั้นเมื่อมีความผิดพลาดของตำแหน่งเกิดขึ้น GPSR มีแนวโน้มเปลี่ยนเข้าสู่การทำงาน Perimeter mode เพื่อพยายามที่จะหาเส้นทางที่จะส่งข้อมูลออกไปทำให้เกิดค่า End-to-end Delay เพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับ GPSR ที่ทำงานในสภาวะปกติ ซึ่ง End-to-End Delay ของGPSR ที่มีค่าผิดพลาดของตำแหน่งทั้ง 4 ระดับ จะมี Delay Time ที่ไม่แตกต่างจากการทำงานด้วย AODV และ DSR แต่มีข้อสังเกตได้ว่า GPSR_5mเมื่อทำงานในเครือข่ายที่มีปริมาณของโหนดที่ระดับ 150 และ 200 โหนด จะมีช่วงของความเป็นไปได้ในการเกิด Delay Time ที่กว้างกว่าการทำงานของ AODV DSR และ GPSR ที่เกิดความผิดพลาดของตำแหน่งในระดับอื่น

4.3 ผลการทดลองข่ายงานระบบประสาท

ในการทดลองเพื่อหาโครงสร้างของข่ายงานระบบประสาทที่มีความเหมาะสมกับปัญหาการจำแนกค่าผิดพลาดของตำแหน่งที่ตั้งของโหนดใน GPSR เมื่อผ่านฟังก์ชันค่าผิดพลาดแบบ Two Dimension Gaussian ผู้วิจัยได้ทำการทดลองปรับจำนวนหน่วยประมวลผลในชั้นซ่อน และจำนวนรอบของการฝึกสอน โดยทำการทดลองทั้งหมด 20 ครั้งกับแต่ละโครงสร้างของข่ายงานระบบประสาท เพื่อหาค่าสูงสุด ค่าเฉลี่ย และค่าความแปรปรวนของการจำแนกชุดข้อมูลฝึกสอนและชุดข้อมูลทดสอบของแต่ละโครงสร้าง สำหรับประกอบการตัดสินใจในการนำไปประยุกต์ใช้ในงานวิจัย สำหรับจำนวนชุดข้อมูลที่ใช้ในการฝึกสอนได้จากการ Generate ค่าตำแหน่ง (x, y) จากโปรแกรม NS-2 จำนวน 18,000 รายการ และข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบได้จากการ Generate ค่าตำแหน่ง (x, y) จากโปรแกรม NS-2 จำนวน 18,000 รายการ

ตารางที่ 4-6 ผลการทดลองข่ายงานระบบประสาทเมื่อทำการฝึกสอน 500,000 รอบ

จำนวน Neurons	การจำแนกชุดข้อมูลฝึกสอน(%)			การจำแนกชุดข้อมูลทดสอบ (%)		
	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ความแปรปรวน	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ความแปรปรวน
5	83.16	79.94	3.22	82.94	79.78	3.32
10	86.47	81.72	3.76	86.72	81.51	3.96
15	86.74	82.26	2.64	86.74	82.12	2.78
20	86.63	82.42	2.49	86.29	82.15	2.58
25	86.26	82.62	3.44	85.89	82.39	3.52
30	<u>87.38</u>	<u>83.44</u>	2.94	<u>87.20</u>	<u>83.23</u>	2.96
35	86.46	82.35	2.36	86.27	82.14	<u>2.43</u>
40	84.76	81.47	2.50	84.79	81.20	2.61
45	85.74	81.65	2.37	85.44	81.44	<u>2.43</u>
50	84.36	80.87	<u>2.32</u>	84.48	80.63	<u>2.43</u>

ผลการทดลองโดยใช้ค่าอัตราการเรียนรู้ 0.015 และทำการฝึกสอน 500,000 รอบ ดังแสดงในตารางที่ 4-6 แสดงให้เห็นว่า การใช้หน่วยประมวลผล 30 หน่วยช่วยให้ประสิทธิภาพการจำแนกชุดข้อมูลฝึกสอนและชุดข้อมูลทดสอบดีที่สุด แต่ส่วนของค่าความแปรปรวนนั้นมีแนวโน้มที่จะดีขึ้นถ้าใช้หน่วยประมวลผลมากขึ้น ซึ่งในการทดลองนี้การใช้หน่วยประมวลผล 50 หน่วย ให้ค่าความแปรปรวนที่น้อยที่สุด

ตารางที่ 4-7 ผลการทดลองข่ายงานระบบประสาทเมื่อทำการฝึกสอน 1,000,000 รอบ

จำนวน Neurons	การจำแนกชุดข้อมูลฝึกสอน (%)			การจำแนกชุดข้อมูลทดสอบ (%)		
	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ความแปรปรวน	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ความแปรปรวน
5	89.77	86.76	2.17	90.10	86.65	2.24
10	93.73	89.01	2.08	93.24	88.86	1.92
15	93.41	90.09	1.52	93.17	89.82	1.51
20	93.11	90.23	1.69	92.50	89.86	1.65
25	93.09	90.22	1.11	92.43	89.90	1.13
30	92.19	90.52	1.06	91.89	90.14	1.02
35	92.01	90.27	1.46	91.44	89.88	1.42
40	91.90	90.13	0.97	91.44	89.71	0.98
45	91.97	90.35	0.86	91.34	89.92	0.88
50	92.30	90.21	1.42	91.67	89.81	1.32

สำหรับการทดลองที่ทำการฝึกสอน 1,000,000 รอบ พบว่าการใช้หน่วยประมวลผล 30 หน่วย ยังคงให้ค่าประสิทธิภาพการจำแนกชุดข้อมูลทดสอบได้ดีที่สุด แต่ไม่แตกต่างจากการใช้หน่วยประมวลผล 15 – 50 หน่วย มากนัก สำหรับค่าความแปรปรวนนั้น การใช้หน่วยประมวลผลจำนวน 45 หน่วยให้ค่าความแปรปรวนที่น้อยที่สุด

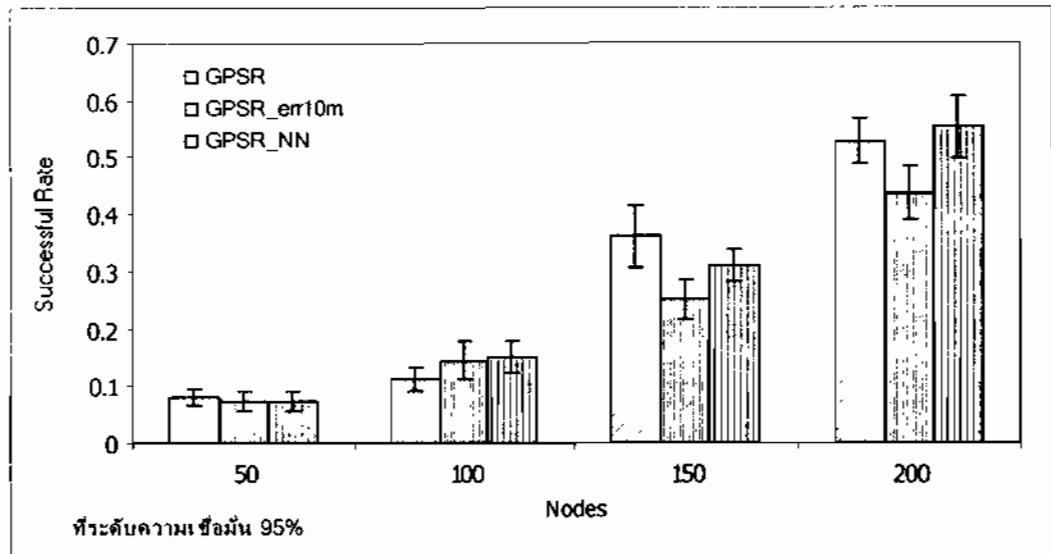
เมื่อพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของการจำแนกชุดข้อมูลฝึกสอนและชุดข้อมูลทดสอบ และค่าความแปรปรวนที่เกิดขึ้น ทางผู้วิจัยจึงเลือกใช้โครงสร้างของข่ายงานระบบประสาทที่ใช้หน่วยประมวลจำนวน 45 หน่วย และใช้การฝึกสอนจำนวน 1,000,000 รอบ ซึ่งให้ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการจำแนกชุดข้อมูลฝึกสอนที่ 90.35 เปอร์เซ็นต์ มีความแปรปรวนที่ 0.86 และให้ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการจำแนกชุดข้อมูลทดสอบที่ 89.92 เปอร์เซ็นต์ มีความแปรปรวนที่ 0.88 ดังแสดงในตารางที่ 4-7

4.4 ผลการทดลองการทดสอบประสิทธิภาพเมื่อปรับปรุงขั้นตอนวิธีการค้นหาเส้นทางเชิง ภูมิศาสตร์โดยใช้ข่ายงานระบบประสาท (Neural Networks) เพื่อทำนายค่าผิดพลาดของ ตำแหน่งของโหนด

ในส่วนนี้จะเป็นผลการทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีการค้นหาเส้นทางเชิงภูมิศาสตร์ที่ใช้เทคนิคของข่ายงานระบบประสาท เพื่อช่วยทำนายค่าผิดพลาดของตำแหน่งของโหนดที่เกิดขึ้น และนำค่าผิดพลาดที่คาดว่าจะเกิดขึ้นหักออกจากการคำนวณระยะทางของ โหนดแล้วจึงส่ง Packet ต่อไปยัง โหนดถัดไป ซึ่งผลการทดลองนี้จะพิจารณาจาก Successful Rate และ End-to-End Delay ของ GPSR ที่ทำงานด้วยข่ายงานระบบประสาท หรือ GPSR_NN เปรียบเทียบกับการทำงานของ GPSR ที่ทำงานในสภาวะปกติ และ GPSR ที่ทำงานเมื่อมีค่าความผิดพลาดของตำแหน่ง ซึ่งในกรณีนี้ ผู้วิจัยได้ทดลองกับค่าความผิดพลาดที่ระยะ ± 10 เมตร ซึ่งผลการทดลองจะแสดงให้เห็นตามภาพที่ 4-5 และ ภาพที่ 4-6

ตารางที่ 4-8 ผลการเปรียบเทียบ Successful Rate ของ GPSR, GPSR_err10m, GPSR_NN
จำแนกตามปริมาณของโหนดที่มีในเครือข่าย

Routing Algorithm	Successful Rate											
	50 โหนด			100 โหนด			150 โหนด			200 โหนด		
	$\bar{X}$	CI 95%	S.D.	$\bar{X}$	CI 95%	S.D.	$\bar{X}$	CI 95%	S.D.	$\bar{X}$	CI 95%	S.D.
GPSR	0.080	± 0.013	0.030	0.112	± 0.022	0.050	0.361	± 0.054	0.123	0.527	± 0.041	0.095
GPSR_err10m	0.073	± 0.018	0.041	0.144	± 0.033	0.075	0.251	± 0.034	0.078	0.436	± 0.046	0.106
GPSR_NN	0.074	± 0.074	0.042	0.150	± 0.150	0.066	0.310	± 0.310	0.065	0.552	± 0.552	0.123



ภาพที่ 4-5 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบ Successful Rate ของ GPSR ที่ทำงานด้วย
 ข่ายงานระบบประสาท, GPSR ที่มีค่าความผิดพลาดของตำแหน่งที่ ± 10 เมตร
 และ GPSR ที่ทำงานในสถานะปกติที่จำนวน โหนด ในระดับ 50 โหนด 100
 โหนด 150 โหนด และ 200 โหนด

ผลจากการทดลองพบว่าเมื่อนำข่ายงานระบบประสาทมาปรับปรุง GPSR ที่ทำงานที่ระดับ
 ความผิดพลาดของตำแหน่ง ± 10 เมตรแล้ว จะช่วยให้ GPSR สามารถทำงานได้ดี โดยพิจารณาได้
 จาก Successful Rate ที่เพิ่มขึ้น และเมื่อทำงานในเครือข่ายที่มีจำนวนโหนดมากขึ้นแล้ว GPSR ที่มี
 การนำข่ายงานระบบประสาทมาประยุกต์ใช้สามารถทำงานได้ดีกว่า GPSR ที่ทำงานในสถานะปกติ
 แต่อย่างไรก็ตามถ้าหากทำงานในเครือข่ายที่มีปริมาณ โหนด น้อย GPSR_NN ก็มีประสิทธิภาพใน
 การทำงานไม่แตกต่างกับ GPSR และ GPSR_10m เนื่องจากในเครือข่ายที่มีจำนวนโหนดน้อย จะ
 พบว่าแต่ละโหนดนั้น แทบจะไม่มีโหนดข้างเคียงที่พบอยู่ในรัศมีการรับ-ส่งสัญญาณเลย หรือถ้าพบ
 ก็จะมีน้อยมาก ซึ่งจะส่งผลให้เกิดความล้มเหลวเนื่องจากไม่มีเส้นทางที่ใช้ในการส่งต่อ

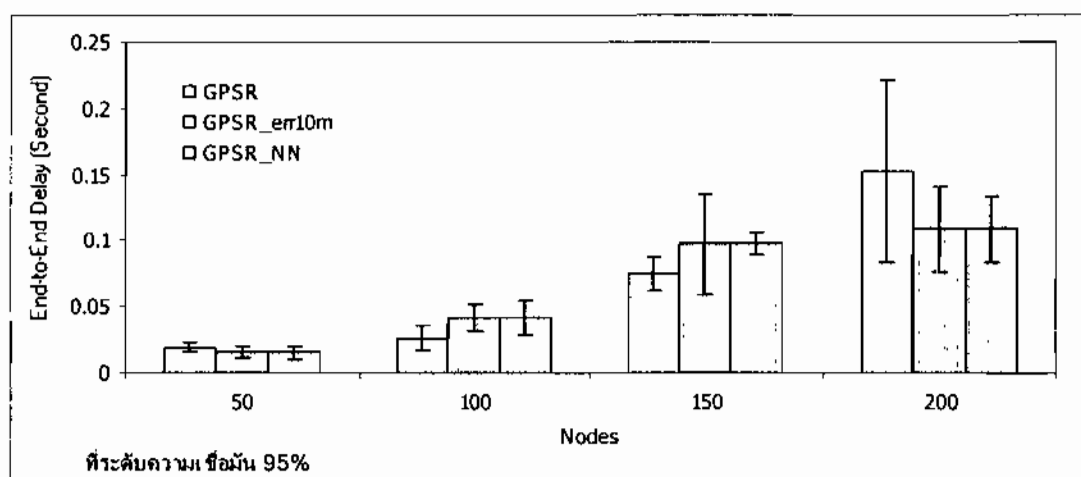
ตารางที่ 4-9 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างอัตรา Successful Rate ระหว่าง GPSR , GPSR_err10m และ GPSR_NN จำแนกตามปริมาณของโหนดที่มีในเครือข่าย

Routing Algorithm	Successful Rate			
	50 โหนด	100 โหนด	150 โหนด	200 โหนด
1) GPSR	0.079502	0.111527	0.360935	0.52727
2) GPSR_err10m	0.072861	0.041041	0.1443859	0.075343
3) GPSR_NN	0.073763	0.150189	0.3097682	0.552213
% ความแตกต่างระหว่าง GPSR และ GPSR_NN	7.218417	-34.66579	14.176167	-4.73056
% ความแตกต่างระหว่าง GPSR_err10m และ GPSR_NN	-1.23818	-4.019457	-23.561212	-26.6818

จากตารางที่ 4-9 แสดงให้เห็นว่า เมื่อนำขำงานระบบประสาทมาประยุกต์ใช้กับ GPSR เพื่อทำนายการเกิดค่าผิดพลาดและนำไปปรับแก้ค่าตำแหน่งแล้วนำมาทดลองใช้กับแบบจำลองที่สร้างขึ้น พบว่า GPSR_NN ช่วยให้ประสิทธิภาพในการรับส่งข้อมูล (พิจารณาจากค่า Successful Rate) มีแนวโน้มที่จะดีขึ้นตามปริมาณโหนดที่เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4-10 ผลการเปรียบเทียบ End-to-End Delay ของ GPSR GPSR_err10m และ GPSR_NN จำแนกตามปริมาณของโหนดที่มีในเครือข่าย

Routing Algorithm	End-to-End Delay (Second)											
	50 โหนด			100 โหนด			150 โหนด			200 โหนด		
	$\bar{X}$	CI 95%	S.D.	$\bar{X}$	CI 95%	S.D.	$\bar{X}$	CI 95%	S.D.	$\bar{X}$	CI 95%	S.D.
GPSR	0.019	±0.004	0.009	0.027	±0.010	0.022	0.074	±0.013	0.029	0.153	±0.069	0.157
GPSR_err10m	0.016	±0.005	0.011	0.042	±0.010	0.023	0.098	±0.038	0.087	0.109	±0.032	0.106
GPSR_NN	0.015	±0.005	0.010	0.042	±0.012	0.028	0.098	±0.009	0.020	0.109	±0.025	0.057



ภาพที่ 4-6 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบ End-to-End Delay ของ GPSR ที่ทำงาน

ด้วยขำงานระบบประสาท, GPSR ที่มีค่าความผิดพลาดของตำแหน่งที่ ± 10 เมตร และ GPSR ที่ทำงานในสภาวะปกติที่จำนวนโหนดในระดับ 50 โหนด 100 โหนด 150 โหนด และ 200 โหนด

ผลการเปรียบเทียบ End-to-End Delay ของ GPSR GPSR_err10m และ GPSR_NN จำแนกตามปริมาณของโหนดที่มีในเครือข่าย จากตารางที่ 4-10 พบว่า เมื่อนำขำงานระบบประสาทมาปรับปรุง GPSR แล้ว ทำให้ Delay Time ของการค้นหาเส้นทางเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะในกรณีที่ทำงานภายใต้สภาพแวดล้อมที่มีปริมาณโหนดเพิ่มมากขึ้น ดังที่แสดงในภาพที่ 4-6 จะเห็นได้ว่า GPSR_NN มีแนวโน้มจะมีปริมาณ Delay Time เพิ่มขึ้นเมื่อมีปริมาณโหนดเพิ่มขึ้น และเมื่อทำการเปรียบเทียบกับ GPSR พบว่า GPSR_NN จะมีค่า Delay Time น้อยกว่า

ตารางที่ 4-11 ผลการเปรียบเทียบอัตรา End-to-End Delay Time ระหว่าง GPSR GPSR_err10m และ GPSR_NN จำแนกตามปริมาณของโหนดที่มีในเครือข่าย

Routing Algorithm	End-to-End Delay (Second)			
	50 โหนด	100 โหนด	150 โหนด	200 โหนด
1) GPSR	0.019284	0.02653	0.0741694	0.152518
2) GPSR_err10m	0.015563	0.010902	0.0418656	0.023409
3) GPSR_NN	0.015106	0.047372	0.0748996	0.108918
% ความแตกต่างระหว่าง GPSR และ GPSR_NN	21.66638	78.56131	0.9844825	28.58675
% ความแตกต่างระหว่าง GPSR_err10m และ GPSR_NN	2.933765	-13.15205	23.184637	0.040522

จากตารางที่ 4-9 แสดงให้เห็นว่า เมื่อนำข้อมูลงานระบบประสาทมาประยุกต์ใช้กับ GPSR เพื่อทำนายการเกิดค่าผิดพลาดและนำไปปรับแก้ค่าตำแหน่งแล้วนำมาทดลองใช้กับแบบจำลองที่สร้างขึ้น พบว่า GPSR_NN จะใช้เวลาในการพิจารณาเลือกเส้นทางมากขึ้น พิจารณาจากความแตกต่างจาก End-to-End Delay ของ GPSR_NN เทียบกับ GPSR และ GPSR_err10m ทั้งนี้ ในขั้นตอนการตัดสินใจเลือกโหนดถัดไปในการส่งข้อมูลทุกครั้ง GPSR จะต้องผ่านขั้นตอนการทำนายตำแหน่งที่เกิดการผิดพลาดของโหนดก่อน โดยใช้ข้อมูลงานระบบประสาทเป็นตัวช่วยในการทำนาย ส่งผลให้ต้องใช้เวลาในการทำงานเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้ GPSR_NN มีค่า End-to-End Time มากที่สุด