

โปรโตคอลค้นหาเส้นทางเชิงกริดสำหรับการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ

มันชานา ธรรมรักษา และ วณิดา พุทธิวิทยา

ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (ศูนย์รังสิต) ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี

Emails: por.manthana@gmail.com, wanidap@cs.tu.ac.th

บทคัดย่อ

การพัฒนาโปรโตคอลค้นหาเส้นทางบนเครือข่ายยานพาหนะ (VANET) ในปัจจุบันยังคงมีความท้าทายอยู่เนื่องจาก (1) คุณลักษณะเฉพาะของเครือข่ายคือรูปแบบการเชื่อมต่อของโหนดภายในเครือข่ายมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว และ (2) ความต้องการใช้ข้อมูลตำแหน่งของโหนดปลายทางในการทำงานของโปรโตคอลค้นหาเส้นทางบนเครือข่ายยานพาหนะที่มีประสิทธิภาพในปัจจุบัน ข้อมูลตำแหน่งของโหนดภายในเครือข่ายดังกล่าวจะต้องขอรับบริการจากส่วนให้บริการตำแหน่ง (location service) ซึ่งยังมีอยู่เฉพาะบางพื้นที่ นอกจากนี้ โหนดยังต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์เสริมเพื่อระบุตำแหน่งปัจจุบันของตนเองรวมทั้งแจ้งข้อมูลดังกล่าวให้กับเซิร์ฟเวอร์ของส่วนให้บริการตำแหน่งอีกด้วย จากคุณลักษณะเฉพาะและความต้องการดังกล่าวข้างต้น งานวิจัยชิ้นนี้จึงได้นำเสนอโปรโตคอลค้นหาเส้นทางจิวาร์พี (Greedy Routing Protocol for Inter-Vehicle Communication - GRP) ที่คัดเลือกโหนดสำหรับส่งต่อแพ็กเก็ตข้อมูลจากโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทางโดยอาศัยข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของแต่ละโหนดเป็นเกณฑ์ ผลการทดสอบสมรรถนะของโปรโตคอลค้นหาเส้นทางจิวาร์พีในเบื้องต้นแสดงว่า เมื่อแต่ละโหนดคัดเลือกโหนดส่งต่อเพิ่มขึ้น อัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลจะเพิ่มขึ้น และยังสามารถลดค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางลงได้เมื่อเปรียบเทียบกับโปรโตคอลซึ่งแต่ละโหนดทำการคัดเลือกโหนดส่งต่อแบบสุ่ม

คำสำคัญ —VANETs; MANETs; routing protocol

1. บทนำ

เครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ (Mobile Ad hoc Network - MANET) ซึ่งเป็นเครือข่ายของอุปกรณ์คำนวณแบบเคลื่อนที่ได้ เชื่อมต่อเพื่อรับส่งข้อมูลระหว่างกันเองโดยไม่ใช้สถานีฐาน (base station) และไม่มีการควบคุมจากส่วนกลาง เป็นตัวอย่างของการใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายในสถานการณ์ฉุกเฉินที่โครงข่ายการสื่อสารพื้นฐานถูกทำลายแบบฉับพลันโดยภัยธรรมชาติ หรือการโจมตีจากข้าศึกศัตรู หรือ ในกรณีที่ไม่มีคู่มือการลงหนดตั้งสถานีฐานจำนวนมาก ๆ

เครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจมีลักษณะเฉพาะกล่าวคือ ทอพอโลยี (topology) หรือ รูปแบบการเชื่อมต่อของโหนด (node) ภายในเครือข่ายสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา อัตราความเร็วในการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการเชื่อมต่อขึ้นกับความเร็วและทิศทางในการเคลื่อนที่ของโหนด ลักษณะเฉพาะดังกล่าวส่งผลให้การจัดส่งข้อมูลภายในเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจมีความยากลำบาก ต้องมีการพัฒนาโปรโตคอลค้นหาเส้นทางเฉพาะสำหรับเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจเพื่อให้สามารถส่งข้อมูลไปยังโหนดปลายทางที่ต้องการได้

เครือข่ายยานพาหนะ (Vehicular Ad hoc Network - VANET) เป็นอีกรูปแบบหนึ่งของเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจโดยมีรถยนต์เป็นโหนดภายในเครือข่าย รถยนต์ภายในเครือข่ายยานพาหนะสามารถเคลื่อนที่และสื่อสารกันได้โดยอิสระเช่นเดียวกับโหนดในเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ เนื่องจากมีการติดตั้งอุปกรณ์สื่อสารแบบไร้สายตามเทคโนโลยี IEEE 802.11 ไว้ภายใน [1] ความสามารถในการสื่อสารแบบไร้สายผ่านอุปกรณ์ตามเทคโนโลยี IEEE 802.11 ทำให้เครือข่ายยานพาหนะสามารถแบ่งปันข้อมูลสภาพแวดล้อมโดยรอบและข้อมูลการจราจรระหว่างโหนดเพื่อนบ้านได้ ยกตัวอย่างเช่น เดือนว่าเส้นทางข้างหน้ามีอุบัติเหตุเกิดขึ้น เดือนว่ามีสิ่งกีดขวางเส้นทางการจราจรอยู่ และส่งข้อมูลเกี่ยวกับการเปลี่ยนเส้นทางการจราจร เป็นต้น นอกจากนี้ โหนดซึ่งเชื่อมต่อกันภายในเครือข่ายยานพาหนะยังสามารถร่วมกันทำงานเพื่อค้นหาบริการที่ต้องการ ยกตัวอย่างเช่น การค้นหาโรงพยาบาลหรือรถฉุกเฉินที่กำลังอยู่ในละแวกใกล้เคียงกับจุดที่เกิดอุบัติเหตุหรือจุดที่มีผู้บาดเจ็บกำลังรอรับความช่วยเหลืออยู่ การค้นหารถแท็กซี่ซึ่งสามารถให้บริการกับผู้โดยสารได้อย่างรวดเร็ว เป็นต้น

เนื่องจากโหนดภายในเครือข่ายยานพาหนะ คือรถยนต์สามารถเคลื่อนที่ได้ด้วยความเร็วค่อนข้างสูง ส่งผลให้รูปแบบการเชื่อมต่อของโหนดภายในเครือข่ายมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการเชื่อมต่ออย่างรวดเร็วมากเมื่อเทียบกับโหนดภายในเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ ลักษณะเฉพาะดังกล่าวนี้ทำให้ไม่เหมาะที่จะนำโปรโตคอลค้นหาเส้นทางสำหรับเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจมาประยุกต์ใช้กับเครือข่ายยานพาหนะ [1] เพราะเส้นทางที่ได้จากการใช้โปรโตคอลค้นหาเส้นทางสำหรับเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจนั้นจะหมดอายุ (expire) อย่างรวดเร็ว ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาโปรโตคอลค้นหาเส้นทางเฉพาะสำหรับเครือข่ายยานพาหนะขึ้น [2]-[6]

โปรโตคอลค้นหาเส้นทางภายในเครือข่ายยานพาหนะที่มีประสิทธิภาพ [2]-[6] จะทำการค้นหาเส้นทางแบบฐานตำแหน่ง (position-based routing protocols) กล่าวคือ อาศัยข้อมูลตำแหน่งปัจจุบันของโหนดต้นทาง (source node) โหนดเพื่อนบ้าน (neighboring node) และโหนดปลายทาง (destination node) ในการตัดสินใจเลือกโหนดที่เหมาะสมที่สุดเพียงหนึ่งโหนดที่จะเป็นโหนดส่งต่อ (forwarding node) เพื่อทำการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลต่อไปยังโหนดปลายทาง

โปรโตคอลค้นหาเส้นทางภายในเครือข่ายยานพาหนะดังกล่าวข้างต้น [2]-[6] ต้องอาศัยข้อมูลตำแหน่งของโหนดปลายทางจากส่วนให้บริการตำแหน่ง (location service) ในการทำงาน อย่างไรก็ตาม ส่วนให้บริการตำแหน่งที่มีความจำเป็นดังกล่าวนี้ยังมีบริการอยู่เฉพาะในบางพื้นที่และเสียค่าใช้จ่ายที่ค่อนข้างสูง ตัวอย่างของส่วนให้บริการตำแหน่งที่มีบริการอยู่ในปัจจุบันได้แก่ ฟลีทเมเนจเม้นท์โซลูชันส์ (Fleet Management Solutions) [7] เป็นระบบที่ให้บริการข้อมูลตำแหน่งของยานพาหนะสำหรับอุตสาหกรรมการขนส่ง เว็บเทคไวร์เลส (WebTechWireless) [8] ให้บริการข้อมูลตำแหน่งของรถบรรทุกและตำแหน่งของรถยนต์ที่ติดตั้งอุปกรณ์ทาง และเน็ตเวิร์กฟลีท (NetworkFleet) [9] เป็นต้น

งานวิจัยชิ้นนี้ทำการพัฒนาโปรโตคอลค้นหาเส้นทางในเครือข่ายยานพาหนะจิวรี่ที (Greedy Routing Protocol for Inter-Vehicle Communication - GRP) ซึ่งใช้ข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของแต่ละโหนดสำหรับคัดเลือกกลุ่มของโหนดสำหรับส่งต่อแพ็กเก็ตข้อมูลจากโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทางที่ต้องการ ข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของแต่ละโหนดจะเป็นข้อมูลนำเข้าสำหรับตัวแบบ (model) ที่เป็นรูปแบบผสมระหว่างตัวแบบ Set Covering [10] และตัวแบบ Maximum Covering Location Model [10] ในการคัดเลือกกลุ่มของโหนดส่งต่อโปรโตคอลจิวรี่ทีแตกต่างจากโปรโตคอลค้นหาเส้นทางภายในเครือข่ายยานพาหนะ [2]-[6] ซึ่งทำงานแบบฐานตำแหน่ง กล่าวคือ โปรโตคอลจิวรี่ทีค้นหาเส้นทางสำหรับส่งต่อแพ็กเก็ตข้อมูลโดยไม่ต้องอาศัยข้อมูลตำแหน่งจากส่วนให้บริการตำแหน่งที่ยังมีบริการอยู่เฉพาะในบางพื้นที่เท่านั้น ส่งผลให้สามารถใช้งานโปรโตคอลจิวรี่ทีได้ในทุกพื้นที่ นอกจากนี้โปรโตคอลจิวรี่ทียังมีความแตกต่างจากโปรโตคอลค้นหาเส้นทางในเครือข่ายยานพาหนะอื่น ๆ [2]-[6] โดยการคัดเลือกกลุ่มของโหนดส่งต่อที่เหมาะสมแทนการคัดเลือกโหนดส่งต่อเพียงโหนดเดียวส่งผลให้อัตราความสำเร็จในการส่งต่อข้อมูลสูงขึ้น

งานวิจัยฉบับนี้มีการจัดระเบียบเนื้อหาในการนำเสนอต่อไปนี้ หัวข้อที่ 2 สรุปทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องโดยสังเขป ถัดไป หัวข้อที่ 3 จะนำเสนอรายละเอียดการทำงานของโปรโตคอลค้นหาเส้นทางจิวรี่ที ในหัวข้อที่ 4 จะกล่าวถึงการทดลองเพื่อวัดสมรรถนะของโปรโตคอลค้นหาเส้นทางจิวรี่ที และท้ายที่สุด จะกล่าวถึงบทสรุปและงานวิจัยในอนาคต

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในหัวข้อนี้ จะกล่าวถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโปรโตคอลค้นหา

เส้นทางที่เหมาะสมสำหรับการสื่อสารระหว่างยานพาหนะโดยสังเขป หัวข้อที่ 2.1 กล่าวถึงโปรโตคอลค้นหาเส้นทางสำหรับเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจถัดไป ในหัวข้อที่ 2.2 จะกล่าวถึงโปรโตคอลสำหรับค้นหาเส้นทางสำหรับเครือข่ายยานพาหนะ

2.1. โปรโตคอลค้นหาเส้นทางสำหรับเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ (MANET Routing Protocols)

โปรโตคอลค้นหาเส้นทางที่ถูกพัฒนาสำหรับเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ [11] คือ (1) กลุ่มของโปรโตคอลที่ทำงานแบบขับเคลื่อนด้วยตาราง (table-driven) ตัวอย่างของโปรโตคอลในกลุ่มนี้ได้แก่ โปรโตคอล Destination-Sequenced Distance-Vector (DSDV) [12] โปรโตคอล Clusterhead Gateway Switch Routing (CGSR) [13] และโปรโตคอล Wireless Routing Protocol (WRP) [14] (2) กลุ่มของโปรโตคอลที่ทำงานเมื่อมีการร้องขอ (on-demand) ตัวอย่างของโปรโตคอลในกลุ่มนี้ได้แก่ โปรโตคอล Ad hoc On-demand Distance Vector Routing (AODV) [15] โปรโตคอล Dynamic Source Routing (DSR) [16] โปรโตคอล Temporally-Ordered Routing algorithm (TORA) [17] โปรโตคอล Associativity-Based Routing (ABR) [18] และโปรโตคอล Signal Stability-based Adaptive Routing (SSR) [19]

โปรโตคอลดีเอสดีวี (DSDV) [12] เป็นตัวอย่างหนึ่งของโปรโตคอลในกลุ่มที่ทำงานแบบขับเคลื่อนด้วยตาราง มีพื้นฐานมาจากอัลกอริทึมสำหรับค้นหาเส้นทางแบบกระจายของ Bellman-Ford และได้มีการปรับปรุงเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดลูปในเส้นทางสำหรับจัดส่งข้อมูลไปยังโหนดปลายทางที่ต้องการ โดยกำหนดให้แต่ละโหนดภายในเครือข่ายจะต้องจัดสร้างตารางส่งต่อ (forwarding table) ภายในบรรจุข้อมูลโหนดถัดไป (next hop) สำหรับส่งต่อแพ็กเก็ตต่อไปยังโหนดปลายทางใด ๆ ในเครือข่าย และจะทำการปรับปรุงข้อมูลในตารางส่งต่อเมื่อถึงช่วงเวลาที่กำหนด หรือเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงข้อมูลภายในตารางส่งต่อ ข้อดีคือ ไม่เกิดลูปในการค้นหาเส้นทาง และเวลาที่ต้องเสียไปสำหรับการประมวลผลที่แต่ละโหนดใช้น้อยเนื่องจากได้มีการเตรียมข้อมูลเส้นทางไว้ล่วงหน้าแล้ว ข้อเสียคือสิ้นเปลืองพื้นที่สำหรับจัดเก็บตารางข้อมูลเส้นทางที่ทุก ๆ โหนดในเครือข่าย และยังคงต้องทำการปรับปรุงตารางส่งต่ออยู่บ่อยครั้ง ถ้าเครือข่ายมีการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา

โปรโตคอลเอโอดีวี (AODV) [15] เป็นตัวอย่างหนึ่งของโปรโตคอลในกลุ่มที่ทำงานเมื่อมีการร้องขอ โปรโตคอลจะทำงานเมื่อโหนดต้นทางมีข้อมูลที่จะจัดส่งไปให้โหนดปลายทางที่ต้องการเท่านั้น โดยทำการบรอดแคสต์แพ็กเก็ตร้องขอเส้นทางให้กับโหนดเพื่อนบ้านจนกระทั่งแพ็กเก็ตร้องขอเส้นทางเดินทางไปถึงโหนดปลายทาง หลังจากนั้นโหนดปลายทางทำการส่งแพ็กเก็ตตอบกลับไปให้โหนดต้นทางโดยใช้เส้นทางเดียวกับที่แพ็กเก็ตร้องขอใช้ในการเดินทางมา และมีการจัดเก็บข้อมูลเกี่ยวกับเส้นทางที่ค้นพบลงในตารางเส้นทางระหว่างทางที่แพ็กเก็ตตอบกลับเดินทางผ่านโหนดต่าง ๆ ข้อดีคือไม่เกิดลูปในเส้นทางที่จะจัดส่งข้อมูลไปให้

โหนดปลายทางที่ต้องการ และใช้แบนด์วิดท์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ
ข้อเสีย คือ ไม่มีการทำแคชเก็บเส้นทางอื่น ๆ ที่สามารถไปถึงโหนด
ปลายทางที่ต้องการได้

2.2. โพรโทคอลค้นหาเส้นทางสำหรับเครือข่ายยานพาหนะ (VANET Routing Protocols)

โพรโทคอลค้นหาเส้นทางภายในเครือข่ายยานพาหนะที่มีประสิทธิภาพ จะ
ทำการค้นหาเส้นทางแบบฐานตำแหน่ง (position-based routing protocols)
กล่าวคือ อาศัยตำแหน่งข้อมูลปัจจุบันของโหนดต้นทาง (source node)
ข้อมูลตำแหน่งของโหนดเพื่อนบ้าน (neighboring node) และข้อมูล
ตำแหน่งของโหนดปลายทาง (destination node) ในการตัดสินใจเลือก
โหนดส่งต่อ (forwarding node) ที่เหมาะสมที่สุดเพียงหนึ่งโหนดเพื่อให้
แพ็กเก็ตข้อมูลเดินทางไปยังโหนดปลายทางได้อย่างรวดเร็ว ตัวอย่างของ
โพรโทคอลค้นหาเส้นทางสำหรับเครือข่ายยานพาหนะได้แก่ โพรโทคอล
Greedy Perimeter Stateless Routing (GPSR) [3] และโพรโทคอล
Contention-Based Forwarding (CBF) [6]

โพรโทคอลซีบีเอฟ (CBF) [6] เป็นโพรโทคอลที่ไม่มีการส่งสารบอก
ตำแหน่ง (beacon message) ระหว่างโหนดภายในเครือข่าย กล่าวคือใช้
รูปแบบการส่งต่อเป็นแบบเชิงกริดที่ไม่ใช้สารบอกตำแหน่งในการ
ประมวลผลเพื่อตัดสินใจเลือกโหนดถัดไป เมื่อโหนดต้นทางต้องการส่ง
แพ็กเก็ตข้อมูลไปให้โหนดปลายทางใด ๆ ให้บรอดแคสต์แพ็กเก็ตข้อมูล
นั้นไปให้กับโหนดเพื่อนบ้าน หลังจากนั้นโหนดเพื่อนบ้านจะทำการ
แข่งขันกัน โดยที่กำหนดให้แต่ละโหนดตั้งเวลาคอยซึ่งเวลาดังกล่าวจะเป็น
สัดส่วนตรงกับระยะทางระหว่างโหนดตนเองกับโหนดปลายทาง โหนดใด
ที่คอยจนครบตามเวลาที่กำหนดก่อนจะมีสิทธิ์เป็นคนส่งต่อแพ็กเก็ต
ข้อมูลและให้ทำการบรอดแคสต์แพ็กเก็ตข้อมูลนั้นทันที จนกระทั่งแพ็ก
เก็ตข้อมูลไปถึงโหนดปลายทางที่ต้องการ ข้อดี คือลดการใช้แบนด์วิดท์
ข้อเสีย คือ ข้อมูลไปไม่ถึงโหนดปลายทางที่ต้องการเมื่อเกิดเหตุการณ์ที่
เครือข่ายถูกแบ่งออกเป็นส่วน ๆ และโหนดไม่สามารถเชื่อมต่อสื่อสารกัน
ได้

3. โพรโทคอลค้นหาเส้นทางเชิงกริดสำหรับการสื่อสารระหว่าง ยานพาหนะ (GRP: Greedy Routing Protocol for Inter- Vehicle Communication)

โพรโทคอลจีอาร์พี (GRP) ค้นหาเส้นทางสำหรับจัดส่งแพ็กเก็ตข้อมูลจาก
โหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทางโดยใช้จำนวนโหนดเพื่อนบ้านของแต่ละ
โหนดเป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจ กล่าวคือ จะทำการส่งต่อแพ็กเก็ต
ข้อมูลไปยังโหนดส่งต่อ (forwarding node) จำนวนไม่เกิน P โหนด ที่มี
ปริมาณโหนดเพื่อนบ้าน (neighboring node) สูงที่สุด

โพรโทคอลจีอาร์พีประกอบด้วยการทำงาน 3 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอน
การรวบรวมข้อมูล (information gathering) ขั้นตอนการคัดเลือกโหนดให้

เลือก (candidate node) ที่เหมาะสมที่สุด และขั้นตอนการส่งต่อแพ็กเก็ต
ข้อมูล (forward data) โดยขั้นตอนต่าง ๆ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1. ขั้นตอนการรวบรวมข้อมูล (Information Gathering)

ขั้นตอนการรวบรวมข้อมูล (information gathering) จะเริ่มปฏิบัติโดย
โหนดภายในเครือข่ายที่มีแพ็กเก็ตข้อมูลที่ต้องการจัดส่งไปยังโหนด
ปลายทาง ซึ่งอาจจะเกิดขึ้นได้ใน 2 กรณี กล่าวคือ เมื่อเป็นโหนดต้นทาง
(source node) หรือเมื่อได้รับเลือกให้เป็นโหนดส่งต่อ (forwarding node)

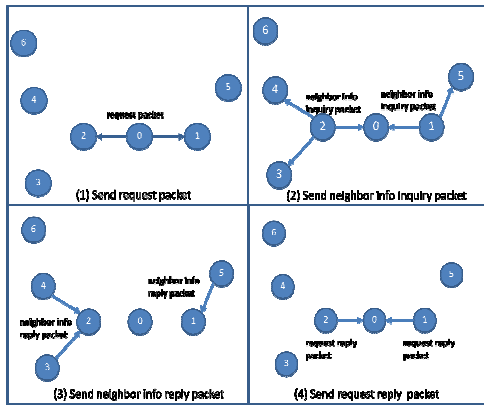
โหนดจะทำการบรอดแคสต์แพ็กเก็ตร้องขอ (request packet) ไปยัง
โหนดเพื่อนบ้าน (neighboring node) ทุกโหนด (รูปที่ 1 (1)) จากนั้นโหนด
จะตั้งเวลารอรับแพ็กเก็ตตอบกลับ (request reply packet) เป็นเวลา S_1
วินาที เมื่อเวลาที่ตั้งไว้หมดลง โหนดจะเริ่มทำงานขั้นตอนถัดไป กล่าวคือ
การคัดเลือกโหนดให้เลือก (candidate node)

หลังจากได้รับแพ็กเก็ตร้องขอ โหนดเพื่อนบ้านซึ่งไม่ใช่โหนด
ปลายทางของแพ็กเก็ตข้อมูลและไม่เคยเข้าร่วมการจัดส่งแพ็กเก็ตข้อมูลนี้
ในฐานะเป็นโหนดส่งต่อ (forwarding node) จะบรอดแคสต์แพ็กเก็ต
สอบถามข้อมูลเพื่อนบ้าน (neighbor info inquiry packet) และตั้งเวลารอ
รับแพ็กเก็ตตอบกลับข้อมูลจากเพื่อนบ้าน (neighbor info reply packet)
เป็นเวลา S_2 วินาที รูปที่ 1 (2) แสดงโหนด 2 และ 1 บรอดแคสต์แพ็กเก็ต
สอบถามข้อมูลเพื่อนบ้าน

โหนดที่ได้รับแพ็กเก็ตสอบถามข้อมูลเพื่อนบ้าน (neighbor info
inquiry packet) จะส่งแพ็กเก็ตข้อมูลตอบกลับเพื่อนบ้าน (neighbor info
reply packet) กลับไป รูปที่ 1 (3) แสดงโหนดที่ได้รับแพ็กเก็ตตอบกลับ
เพื่อนบ้าน จำนวนโหนดเพื่อนบ้านนับจากจำนวนโหนดที่ส่งแพ็กเก็ตตอบ
กลับเพื่อนบ้านกลับมา

เมื่อโหนดเพื่อนบ้านคอยจนครบ S_2 วินาทีแล้ว ให้ส่งแพ็กเก็ตตอบ
กลับ (request reply) ซึ่งบรรจุจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของตนเองกลับไป
ให้กับโหนดต้นทาง (source node) หรือโหนดส่งต่อ (forwarding node) ดัง
แสดงใน รูปที่ 1 (4)

ในแต่ละขั้นตอน หากมีแพ็กเก็ตร้องขอหรือแพ็กเก็ตสอบถามข้อมูล
เพื่อนบ้านซึ่งเดินทางถึงโหนดปลายทาง โหนดปลายทางจะตอบกลับด้วย
แพ็กเก็ตตอบรับ (acknowledgement) แบบบรอดแคสต์ ซึ่งจะส่งผลให้
โหนดปลายทางได้รับการส่งต่อแพ็กเก็ตข้อมูลทันที นอกจากนี้โหนดอื่น ๆ
ที่ได้รับแพ็กเก็ตตอบรับจะหยุดส่งแพ็กเก็ตตอบกลับด้วย เพื่อเป็นการลดโอ
เวอร์เฮด (overhead) ของโพรโทคอล



รูปที่ 1. แสดงขั้นตอนการส่งแพ็คเกจต่าง ๆ สำหรับขั้นตอนการรวบรวมข้อมูล

3.2 ขั้นตอนการคัดเลือกโหนดให้เลือก (candidate node)

โหนดผู้ส่งแพ็คเกจร้องขอ (request packet) จะพิจารณาโหนดเพื่อนบ้านทุกโหนดที่ตอบกลับแพ็คเกจร้องขอเป็นโหนดให้เลือก (candidate node) ในจำนวนโหนดให้เลือกเหล่านี้ โหนดผู้ส่งแพ็คเกจร้องขอจะคัดเลือกจำนวนไม่เกิน P โหนดที่เหมาะสมที่สุดเพื่อให้ทำหน้าที่เป็นโหนดส่งต่อ (forwarding node) โดยรับแพ็คเกจข้อมูลไปทำการจัดส่งต่อไป โหนดผู้ส่งจะต้องทำการบันทึกข้อมูลเฉพาะของแพ็คเกจข้อมูลก่อนจะส่งต่อไปให้โหนดส่งต่อที่ได้คัดเลือกไว้ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการจัดส่งแพ็คเกจข้อมูลซ้ำกับที่ได้เคยจัดส่งไปแล้ว

ปัญหาการคัดเลือกโหนดให้เลือกที่เหมาะสมที่สุดจำนวนไม่เกิน P โหนดสามารถเขียนเป็นบทนิยาม (Problem Definition) ได้ดังนี้

บทนิยามปัญหา: เลือกโหนดให้เลือกจำนวนไม่เกิน P โหนด ซึ่งทำให้ผลรวมจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของโหนดให้เลือกที่ได้รับเลือกมีค่ามากที่สุด

โปรโตคอลจีโอราฟิอัสตัวแบบซึ่งเป็นรูปแบบผสมระหว่างตัวแบบ Set Covering [10] และตัวแบบ Maximum Covering Location [10] เป็นแบบจำลองสำหรับปัญหาการคัดเลือกโหนดให้เลือกซึ่งนิยามไว้ข้างต้นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (objective function) (สมการที่ 1.) และเงื่อนไขบังคับ (constraints) (สมการที่ 2. และ 3.) ในตัวแบบสามารถแสดงได้ดังนี้

$$\text{MAXIMIZE} \quad \sum_i h_i Z_i \quad (1)$$

$$\text{SUBJECT TO:} \quad \sum_i Z_i \leq P \quad (2)$$

$$Z_i = 0, 1 \quad \forall i \quad (3)$$

เมื่อ h_i และ P ซึ่งเป็นข้อมูลนำเข้า (inputs) ของปัญหาแทนจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน (neighboring node) ของโหนด i และจำนวนโหนดส่งต่อ (forwarding node) ที่มากที่สุดที่สามารถคัดเลือกได้ ตามลำดับ ตัวแปร Z_i เป็นตัวแปรตัดสินใจ (decision variables) ของปัญหา นั่นคือ Z_i มีค่าเป็น 1 เมื่อเลือกโหนด i เป็นโหนดส่งต่อ และ Z_i มีค่าเท่ากับ 0 เมื่อไม่เลือกโหนด i เป็นโหนดส่งต่อ

3.3 ขั้นตอนการจัดส่งแพ็คเกจข้อมูล (Forward Data)

โหนดต้นทาง (source node) หรือโหนดส่งต่อ (forwarding node) ส่งแพ็คเกจข้อมูลไปยังโหนดส่งต่อที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งได้คัดเลือกไว้แล้วจากในขั้นตอนที่ผ่านมา โหนดส่งต่อซึ่งเพิ่งจะได้รับแพ็คเกจข้อมูลก็จะทำงานในฐานะโหนดผู้ส่ง นั่นคือเริ่มปฏิบัติการในขั้นตอนที่ 1 จนกระทั่งถึงขั้นตอนที่ 3 ใหม่ จนกระทั่งแพ็คเกจข้อมูลเดินทางถึงโหนดปลายทาง

4. สมรรถนะของโปรโตคอลจีโอราฟิ

ในการทดลองเบื้องต้น ผู้วิจัยจะทำการเทียบสมรรถนะของโปรโตคอลจีโอราฟิกับสมรรถนะของโปรโตคอลแบบสุ่ม (Random) โปรโตคอลแบบสุ่มจะเลือกโหนดส่งต่อจำนวนไม่เกิน P โหนดแบบสุ่มแทนการเลือกตามตัวแบบที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.2 ผู้วิจัยใช้โปรแกรมจำลองเครือข่ายเอ็นเอสทู (NS2) [20] ในการจำลองโปรโตคอลจีโอราฟิและโปรโตคอลแบบสุ่ม และใช้เครื่องมือ setdest ของโปรแกรมเอ็นเอสทูในการสร้างเครือข่ายไร้สายจำลองแบบสุ่มจำนวน 1 เครือข่าย ซึ่งประกอบด้วยโหนดเคลื่อนที่ได้จำนวน 32 โหนด ครอบคลุมพื้นที่ 750×750 ตารางเมตร โหนดในเครือข่ายเคลื่อนที่ด้วยความเร็วไม่เกิน 50 เมตรต่อวินาที ซึ่งเทียบเท่ากับ 180 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

ในการวัดสมรรถนะของโปรโตคอล ผู้วิจัยจะสุ่มค่าของโหนดต้นทางและโหนดปลายทางจำนวน 10 คู่ เพื่อวัดค่าตัววัดสมรรถนะแต่ละตัวสำหรับการส่งข้อมูลจากโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทางแต่ละคู่ จากนั้น จะคำนวณค่าเฉลี่ยของค่าตัววัดสมรรถนะที่วัดได้ทั้งหมดเพื่อใช้เป็นตัวแทนสมรรถนะของโปรโตคอล

4.1. ตัววัดสมรรถนะโปรโตคอล (performance metrics)

การวัดสมรรถนะของโปรโตคอลจีโอราฟิ (GRP) เทียบกับโปรโตคอลส่งต่อแบบสุ่ม (Random) ใช้ตัววัดสมรรถนะ (performance metrics) 2 ตัว ดังนี้ (1) ค่าอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูล (packet delivery ratio) วัดจากอัตราส่วนของจำนวนแพ็คเกจข้อมูลที่ส่งถึงปลายทางและจำนวนแพ็คเกจข้อมูลที่ส่งทั้งหมด ค่าที่วัดได้จะอยู่ในช่วง $[0,1]$ โดยค่าที่เข้าใกล้ 1 แสดงถึงอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลที่สูงขึ้น และ (2) ค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทาง (average end-to-end delay) ได้แก่ ค่าเฉลี่ยของเวลาที่ข้อมูลใช้ในการเดินทางจากโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทาง ค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางที่ต่ำแสดงถึงสมรรถนะของโปรโตคอลที่สูง

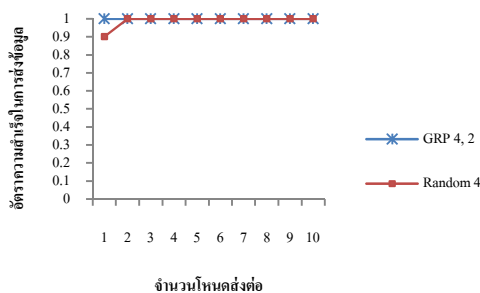
4.2. อัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูล

รูปที่ 2 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลระหว่างโปรโตคอลจีโอราฟิและโปรโตคอลส่งต่อแบบสุ่ม เมื่อเวลา S_1 และ S_2 เป็น 4 และ 2 วินาที ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงว่าโปรโตคอลจีโอราฟิมีค่าอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลเป็น 100% ในทุกกรณี ในขณะที่โปรโตคอลส่งต่อแบบสุ่มจะมีค่าอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลเป็น 90% เมื่อสุ่มเลือกจำนวนโหนดส่งต่อเพียงหนึ่งโหนด และค่าอัตรา

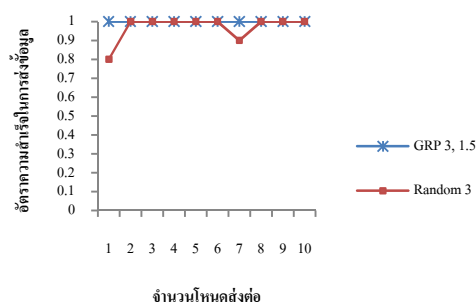
ความสำเร็จในการส่งข้อมูลจะเพิ่มขึ้นเป็น 100% เมื่อสุ่มเลือกจำนวนโหนดส่งต่ออย่างน้อย 2 โหนด นั่นคือ เมื่อเพิ่มจำนวนโหนดส่งต่อที่สุ่มเลือก อัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลจะมีค่าสูงขึ้น

รูปที่ 3 แสดงค่าอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลของโปรโตคอลจีอาร์ทีเทียบกับโปรโตคอลส่งต่อแบบสุ่มเมื่อลดเวลา S_1 และ S_2 เป็น 3 และ 1.5 วินาที ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงว่าที่จำนวนโหนดในเครือข่ายเท่ากับ 32 โหนด โปรโตคอลจีอาร์ทีมีค่าอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลเป็น 100% ในทุกกรณี ส่วนโปรโตคอลส่งต่อแบบสุ่มให้ค่าอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลเท่ากับ 80% ในกรณีที่จำนวนโหนดส่งต่อเท่ากับ 1 และมีอัตราความสำเร็จเพิ่มขึ้นเป็น 100% เมื่อสุ่มเลือกจำนวนโหนดส่งต่ออย่างน้อย 2 โหนด ยกเว้นเมื่อจำนวนโหนดส่งต่อที่คัดเลือกเท่ากับ 7 โหนด

จากรูปที่ 2 และรูปที่ 3 สำหรับแต่ละค่าของจำนวนโหนดส่งต่อที่คัดเลือก โปรโตคอลจีอาร์ทีมีอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลที่สูงกว่าโปรโตคอลแบบสุ่ม เนื่องมาจากการใช้ตัวแบบในหัวข้อ 3.2 ในการคัดเลือกโหนดส่งต่อส่งผลให้แต่ละโหนดสามารถคัดเลือกโหนดส่งต่อที่เหมาะสมกว่าการสุ่มเลือกโดยโปรโตคอลแบบสุ่ม



รูปที่ 2. แสดงค่าอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูล เมื่อ $s_1=4$ วินาที $s_2=2$ วินาที



รูปที่ 3. แสดงค่าอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูล เมื่อ $s_1=3$ วินาที $s_2=1.5$ วินาที

4.3. ค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทาง

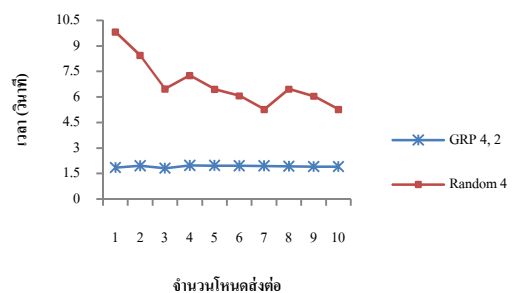
รูปที่ 4 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางระหว่างโปรโตคอลจีอาร์ทีและโปรโตคอลส่งต่อแบบสุ่มเมื่อ S_1 และ S_2 เป็น 4 และ 2 วินาที ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงว่า โดยเฉลี่ยแล้วโปรโตคอลแบบสุ่มมีค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางมากกว่าโปรโตคอลจีอาร์ทีคิด

เป็น 71% โดยเมื่อพิจารณาพฤติกรรมของแต่ละโปรโตคอลพบว่าโปรโตคอลจีอาร์ทีมีค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางที่ประมาณ 2 วินาทีสำหรับทุกค่าของจำนวนโหนดส่งต่อที่มีการคัดเลือก นั่นคือ จำนวนโหนดส่งต่อที่ทำการคัดเลือกไม่มีผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางของโปรโตคอลจีอาร์ที ในทางกลับกัน รูปที่ 4 แสดงว่าโปรโตคอลแบบสุ่มมีค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางที่ลดลงเมื่อเพิ่มค่าของจำนวนโหนดส่งต่อที่ทำการคัดเลือก

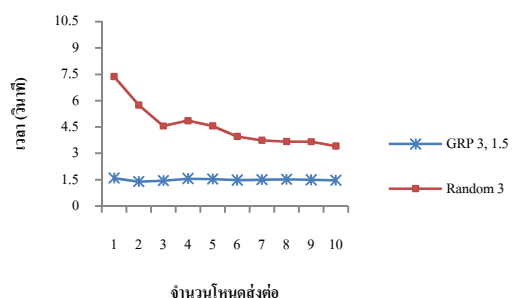
เมื่อลดเวลาในการรอข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของโหนดให้เลือก (candidate nodes) ลง (S_1 และ S_2 เป็น 3 และ 1.5 วินาที ตามลำดับ) รูปที่ 5 แสดงว่าโดยเฉลี่ยแล้วโปรโตคอลแบบสุ่มมีค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางมากกว่าโปรโตคอลจีอาร์ทีคิดเป็น 66% นอกจากนี้ ผลการทดลองยังแสดงว่าโปรโตคอลจีอาร์ทีมีค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางที่ประมาณ 1.5 วินาทีสำหรับทุกค่าของจำนวนโหนดส่งต่อที่มีการคัดเลือก ในขณะที่โปรโตคอลแบบสุ่มยังคงมีค่าเฉลี่ยการหน่วงที่ลดลงเมื่อเพิ่มจำนวนโหนดส่งต่อที่ทำการคัดเลือก

รูปที่ 4 และ รูปที่ 5 แสดงให้เห็นว่าเวลาในการรอข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้านมีผลในการลดค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางของโปรโตคอลจีอาร์ที ในขณะที่จำนวนโหนดส่งต่อที่ทำการคัดเลือกไม่มีผลในการลดค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางของโปรโตคอล เนื่องจากโหนดส่งต่อที่ถูกคัดเลือกเมื่อ $P=1$ เป็นโหนดส่งต่อที่เหมาะสมที่สุด

ในทางกลับกัน รูปที่ 4 และ รูปที่ 5 แสดงให้เห็นว่าเมื่อจำนวนโหนดส่งต่อที่คัดเลือกเพิ่มขึ้นมีผลกระทบทางบวกต่อค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางของโปรโตคอลแบบสุ่ม เนื่องจากการสุ่มเลือกโหนดส่งต่อเพิ่มขึ้นส่งผลให้โอกาสที่จะเลือกได้โหนดส่งต่อที่เหมาะสมที่สุดมีมากขึ้นด้วย



รูปที่ 4. แสดงค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางเมื่อ $s_1=4$ วินาที $s_2=2$ วินาที



รูปที่ 5. แสดงค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทาง เมื่อ $s_1=3$ วินาที $s_2=1.5$ วินาที

5. บทสรุปและงานวิจัยในอนาคต

งานวิจัยนี้นำเสนอโปรโตคอลค้นหาเส้นทางจีโออาร์พีที่ใช้ข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของแต่ละโหนดเป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจเลือกโหนดส่งต่อแพ็คเกจข้อมูลไปยังโหนดปลายทางที่ต้องการ แทนการใช้ข้อมูลตำแหน่งปัจจุบันของโหนดปลายทาง การไม่ใช้งานข้อมูลตำแหน่งปัจจุบันของโหนดปลายทางซึ่งจะได้มาโดยการขอรับบริการจากส่วนให้บริการตำแหน่ง (location service) ส่งผลให้โปรโตคอลจีโออาร์พีไม่มีข้อจำกัดเกี่ยวกับพื้นที่ใช้งาน นั่นคือสามารถใช้งานได้ในทุกพื้นที่ ไม่จำกัดอยู่เฉพาะพื้นที่ซึ่งเป็นพื้นที่บริการของส่วนให้บริการตำแหน่งเท่านั้น ผลการทดลองเพื่อวัดสมรรถนะเบื้องต้นของโปรโตคอลจีโออาร์พีพบว่าโปรโตคอลจีโออาร์พีมีอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูล (packet delivery ratio) เป็น 100% ในทุกกรณี ซึ่งสูงกว่าอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลของโปรโตคอลแบบสุ่ม นอกจากนี้โปรโตคอลจีโออาร์พียังให้ค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางที่ต่ำกว่าโปรโตคอลแบบสุ่มคิดเป็น 71% เมื่อ S_1 และ S_2 เป็น 4 และ 2 วินาทีตามลำดับ

การทดลองเพื่อวัดสมรรถนะของโปรโตคอลจีโออาร์พีในขั้นต่อไปจะเป็นการเพิ่มตัววัดสมรรถนะอื่น ๆ เพื่อให้การวัดสมรรถนะและการศึกษาพฤติกรรมของโปรโตคอลจีโออาร์พีมีความครอบคลุมมากขึ้น นอกจากนี้จะต้องมีการเปรียบเทียบสมรรถนะของโปรโตคอลจีโออาร์พีกับโปรโตคอลค้นหาเส้นทางตัวอื่น ๆ ด้วย

เอกสารอ้างอิง

- [1] J. Chennikara-Varghese, W. Chen, O. Altintas, and S. Cai, "Survey of Routing Protocols for Inter-Vehicle Communications," in *Mobile and Ubiquitous Systems: Networking & Services, 2006 Third Annual International Conference*, pp. 1-5, 2006.
- [2] S. Basagni, I. Chlamtac, V. R. Syrotiuk, and B. A. Woodward, "A distance routing effect algorithm for mobility (DREAM)," in *Proceedings of the 4th annual ACM/IEEE international conference on Mobile computing and networking* Dallas, Texas, United States: ACM, 1998.
- [3] B. Karp, and H. T. Kung, "GPSR: greedy perimeter stateless routing for wireless networks," in *Proceedings of the 6th annual international conference on Mobile computing and networking*, Boston, Massachusetts, United States, 2000.
- [4] C. Lochert, H. Hartenstein, J. Tian, H. Fussler, D. Hermann, and M. Mauve, "A routing strategy for vehicular ad hoc networks in city environments," in *Intelligent Vehicles Symposium, Proceedings IEEE*, pp. 156-161, 2003.
- [5] T. Jing, H. Lu, and K. Rothermel, "Spatially aware packet routing for mobile ad hoc inter-vehicle radio networks," in *Intelligent Transportation Systems, Proceedings IEEE*, vol.2, pp. 1546-1551, 2003.
- [6] H. Füßler, J. Widmer, M. Käsemann, M. Mauve, and H. Hartenstein, "Contention-based forwarding for mobile ad hoc networks," *Ad Hoc Networks*, vol. 1, pp. 351-369, 2003.
- [7] Fleet Management Solutions, June 1, 2010; <http://www.fmsgps.com/frontend/index.aspx>.
- [8] WebTechWireless, May 31, 2010; <http://www.webtechwireless.com>.
- [9] Networkfleet, June 1, 2010; <http://www.networkfleet.com/>.
- [10] M. S. Daskin, *Network and discrete location: models, algorithms, and applications.*, New York, NY: Wiley, 1995.
- [11] E. M. Royer, and T. Chai-Keong, "A review of current routing protocols for ad hoc mobile wireless networks," *Personal Communications, IEEE*, vol. 6, no. 2, pp. 46-55, 1999.
- [12] C. E. Perkins, and P. Bhagwat, "Highly dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector routing (DSDV) for mobile computers," *SIGCOMM Comput. Commun. Rev.*, vol. 24, no. 4, pp. 234-244, 1994.
- [13] C. Ching-Chuan and M. Gerla, "Routing and multicast in multihop, mobile wireless networks," in *Universal Personal Communications Record, 1997. Conference Record., 1997 IEEE 6th International Conference*, pp. 546-551 vol.2, 1997.
- [14] S. Murthy, and J. J. Garcia-Luna-Aceves, "An efficient routing protocol for wireless networks," *Mob. Netw. Appl.*, vol. 1, no. 2, pp. 183-197, 1996.
- [15] C. E. Perkins and E. M. Royer, "Ad-hoc on-demand distance vector routing," in *Mobile Computing Systems and Applications, 1999. Proceedings. WMCSSA '99. Second IEEE Workshop*, pp. 90-100, 1999.
- [16] D. B. Johnson, and D. A. Maltz, "Dynamic Source Routing in Ad Hoc Wireless Networks," *Mobile Computing*, pp. 153-181, 1996.
- [17] V. D. Park and M. S. Corson, "A highly adaptive distributed routing algorithm for mobile wireless networks," in *INFOCOM '97. Sixteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings IEEE*, vol.3, pp. 1405-1413, 1997.
- [18] T. Chai-Keong, "A novel distributed routing protocol to support ad-hoc mobile computing," in *Computers and Communications, 1996., Conference Proceedings of the 1996 IEEE Fifteenth Annual International Phoenix Conference*, pp. 480-486, 1996.
- [19] R. Dube, C. D. Rais, W. Kuang-Yeh et al., "Signal stability-based adaptive routing (SSA) for ad hoc mobile networks," *Personal Communications, IEEE*, vol. 4, no. 1, pp. 36-45, 1997.
- [20] NS2. "Network Simulator 2 - NS2.," July 10, 2009; <http://www.isi.edu/nsnam/ns>.