

# การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโพรโทคอลเอโอดีวี ดีเอสดีวี และดีเอสอาร์ โดยการเปลี่ยนจำนวนโหนดด้วยโปรแกรมเน็ตเวอร์คซิมูเลเตอร์

COMPARISON OF AODV DSDV AND DSR PROTOCOL PERFORMANCE WITH VARYING NUMBER OF NODES BY NS-2 SIMULATOR

## สุวิทย์ ศรีสุข

หลักสูตรวิทยาศาตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ  
สถาบันวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม  
E-mail : suwittosan@yahoo.com

## สุรศักดิ์ มั่งสิงห์

สถาบันวิทยาการสารสนเทศ  
มหาวิทยาลัยศรีปทุม  
E-mail : surasak.mu@spu.ac.th

## บทคัดย่อ

เครือข่ายแอดฮอค (Ad-hoc networks) เป็นเครือข่ายที่มีการเชื่อมโยงและสื่อสารข้อมูลกันโดยไม่มีโครงสร้างที่แน่นอน การสื่อสารระหว่างโหนด (Node) ที่เคลื่อนที่ จะเป็นการส่งต่อข้อมูลระหว่างโหนดจนกระทั่งถึงโหนดปลายทาง บทความนี้นำเสนอผลจากการทดลองด้วยโปรแกรมเนตเวอร์คซิมูเลเตอร์ (Network Simulator NS-2) ซึ่งเป็นโปรแกรมจำลองการทำงานของเครือข่าย ระหว่างโพรโทคอล (Protocol) เอโอดีวี (AODV) ดีเอสดีวี (DSDV) และดีเอสอาร์ (DSR) เพื่อหาประสิทธิภาพการทำงานภายใต้ตัวแปรควบคุมต่างๆ ในสภาพแวดล้อมที่ไม่จำกัดขนาดของแบนด์วิธ (Bandwidth) ของการสื่อสาร การวิเคราะห์เป็นแบบเชิงปริมาณจากการใช้ค่าเฉลี่ยของปริมาณข้อมูลถึงโหนดปลายทาง อัตราการรับต่อการส่งข้อมูล ช่วงเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูลจนถึงโหนดปลายทาง และปริมาณข้อมูลที่ใช้ในการค้นหาเส้นทาง โดยเปลี่ยนจำนวนโหนดและสัดส่วนจำนวนโหนดที่มีการติดต่อพร้อมกันสูงสุด การเคลื่อนที่เป็นแบบสุ่มและการสื่อสารใช้ขนาดข้อมูลที่ผลทดลองพบว่า DSDV มีประสิทธิภาพในการส่งข้อมูลถึงปลายทางได้สูงที่สุด จึงเหมาะสมกับการใช้งานที่มีการส่งข้อมูลปริมาณมาก มีทรัพยากรด้านพลังงานและแบนด์วิธที่ไม่จำกัด AODV มีประสิทธิภาพในสภาพแวดล้อมที่มีอัตราการรับข้อมูลต่อการส่งข้อมูลสูงที่สุด จึงเหมาะสมกับการใช้งานที่มีการส่งข้อมูลที่มีทรัพยากรที่จำกัด สำหรับ DSR มีประสิทธิภาพและประสิทธิภาพต่ำที่สุด ทั้งยังใช้ปริมาณการส่งข้อมูลในการค้นหาเส้นทางมากที่สุด จึงไม่เหมาะที่จะนำไปใช้งานในเครือข่ายที่ไม่มีการจำกัดขนาดของแบนด์วิธ

**คำสำคัญ :** เครือข่ายแอดฮอค การเปรียบเทียบ เอโอดีวี ดีเอสดีวี ดีเอสอาร์

## ABSTRACT

Mobile ad-hoc networks (MANET) are dynamic non-structure networks for mobile data communication. These networks are linked together using multi-node routing protocol so that intermediate mobile nodes can transmit the data until it reaches the destination node. In this paper, we performed an experiment using Network Simulation-2

(NS-2) for performance comparison of three routing protocols: AODV, DSDV and DSR. A quantitative analysis was based on average amount of data transmitted to the destination node (throughput), packets received per delivery ratio, end to end delay time, and amount of data communication for route discovery, in network environment with varying the number of nodes and ratios of maximum node pairs that could be connected. In this model, the node movement was randomized, the traffic pattern was constant bit rate (cbr), and the bandwidth was not restricted. The experimental results showed that DSDV protocol performed best for sending large amounts of data to destination node, and was appropriate for ad-hoc network environment with high available resources (e.g. battery and bandwidth). The AODV protocol performed best for high packet received per delivery ratio, and was appropriate for ad-hoc network environment with limited resources. The DSR protocol performed worst, and also required more data communication than the other protocols for route discovery, and was appropriate for ad-hoc network environment with no bandwidth restriction.

KEYWORDS : MANET, Comparison, AODV, DSDV, DS

## บทนำ

เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายของอุปกรณ์สื่อสารไม่ประจำที่มีการนำมาใช้งานมากขึ้นโดยเฉพาะเครือข่ายที่ไม่มีการจัดการที่เป็นโครงสร้างชัดเจน มีการทำงานร่วมกันระหว่างโหนด โดยการส่งต่อข้อมูลจากโหนดต้นทางเป็นทอดๆ ผ่านโหนดกลางทางจนการสื่อสารข้อมูลสำเร็จถึงโหนดปลายทาง เครือข่ายนี้เรียกว่า เครือข่าย แอดฮอก ซึ่งการสื่อสารใช้โพรโทคอลในชั้นเครือข่าย

เครือข่ายแอดฮอก (Anand & Gupta, 2012) เป็นเครือข่ายที่มีการทำงานร่วมกัน ตัวกลางที่ใช้ในการสื่อสาร คือ คลื่นวิทยุ มีข้อจำกัดเรื่องแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าและแบนด์วิธที่ใช้ในการสื่อสาร มีกระบวนการสื่อสารที่เรียกว่า มัลติฮอปเร้าติ้งโพรโทคอล มีความหมายว่า เมื่อโหนดต้นทางไม่สามารถติดต่อโดยตรงกับโหนดปลายทางได้จะต้องพึ่งพาโหนดกลางทางช่วยถ่ายทอดต่อจนถึงโหนดปลายทาง มีการทำงานในชั้นเครือข่ายตัวอย่างการประยุกต์นำไปใช้งาน (Murthy & Manoj, 2004) มีดังนี้ การสื่อสารของทหารในสนามรบ การสื่อสารในสภาวะฉุกเฉินเช่น การค้นหา-การกู้ภัย และเครือข่ายเซนเซอร์ (Sensor network) โดยสามารถแบ่งหลักการทำงานออกเป็นสองแบบคือ แบบ โพรแอกทีฟ (proactive) และแบบรีแอกทีฟ (reactive)

แบบโพรแอกทีฟมีหลักการการทำงานที่ใช้การสร้างตารางเส้นทางพร้อมกับการปรับปรุงตารางเป็นจังหวะเวลาที่ตารางเส้นทางประกอบด้วย เลขโหนดปลายทาง โหนดถัดไป จำนวนโหนดกลางทาง เลขลำดับความทันสมัยของโหนดปลายทาง สถานะของโหนดที่ยังใช้ได้เส้นทาง เพื่อให้การสื่อสารใช้จำนวนโหนดน้อยที่สุดจะมีการส่งข้อมูลควบคุมตรวจสอบความทันสมัยเป็นจังหวะเวลา (Perkins & Bhagwat, 1994) อีกแบบหนึ่งคือแบบรีแอกทีฟหรือออน-ดีมานด์ (On-demand) มีหลักการการทำงานคือ เมื่อต้องการใช้งาน จะมีการค้นหาเส้นทางเฉพาะเมื่อต้องการจะส่งข้อมูลเท่านั้น เร้าติ้งโพรโทคอลมีหลายแบบ แต่ที่สนใจศึกษาในงานวิจัยนี้คือ DSDV DSR และ AODV

โพรโทคอล DSDV (Perkins & Bhagwat, 1994, Murthy & Manoj, 2004) ใช้หลักการการทำงานแบบโพรแอกทีฟที่มีการสร้างตารางเส้นทาง มีการปรับปรุงตารางเส้นทางเป็นจังหวะเวลา โดยการประกาศร้องขอข้อมูลจากโหนดข้างเคียง เมื่อโหนดข้างเคียงตอบกลับมา ก็จะมีการตรวจสอบเลขลำดับความทันสมัยของโหนดปลายทาง หากเลขลำดับความทันสมัยของโหนดปลายทางที่มีค่าสูงกว่าค่าในตารางที่เก็บไว้ก็จะใช้ข้อมูลใหม่แทนเส้นทางเดิมในตารางเส้นทาง นอกจากนี้เลขลำดับดังกล่าวยังเป็นการแก้ไขปัญหการนับขนาดเส้นทางไปเป็นอินฟินิตี้ (count

to infinity) เมื่อต้องการส่งข้อมูลก็เพียงแต่ตรวจสอบในตารางเส้นทางที่โหนดต้นทางว่ามีเส้นไปยังโหนดปลายทางที่ต้องการส่งหรือไม่ หากมีก็ทำการส่งข้อมูลไปยังโหนดถัดไปที่แสดงในตารางเส้นทางได้เลยไม่ต้องหาเส้นทางใหม่ก่อนส่งข้อมูล โพรโทคอลชนิดนี้จะใช้เวลาในการส่งข้อมูลน้อยแต่ใช้พลังงานมาก และแบนด์วิธในการสื่อสารมากเช่นกันเพราะต้องคอยตรวจสอบความทันสมัยของเส้นทางไปยังโหนดปลายทางต่างๆ เป็นจังหวะเวลา

โพรโทคอล DSR (Murthy & Manoj, 2004, Maltz, Broch, Jetcheva & Johnson, 1999) ใช้หลักการทำงานแบบรีแอคทีฟ ที่ใช้การบันทึกลำดับเลขโหนดต้นทางไว้ที่เก็บเส้นทางหรือแคชของเร้าเตอร์ (Route cache) ของแต่ละโหนดเมื่อโหนดต้นทางตรวจสอบในแคชของเร้าเตอร์ว่า ไม่มีเส้นทางไปยังโหนดปลายทาง โหนดต้นทางจะสร้างเลขประจำตัวเฉพาะของการค้นหาเส้นทางเป็นแพกเก็ต (Packet) ค้นหาเส้นทางที่ประกอบด้วยที่อยู่ของโหนดต้นทางและของโหนดปลายทางแล้วส่งต่อไปยังโหนดข้างเคียง หากโหนดข้างเคียงที่ได้รับไม่ใช่โหนดปลายทางหรือไม่มีเส้นทางไปยังโหนดปลายทางในแคชของเร้าเตอร์ ก็จะเพิ่มที่อยู่ของตัวเองลงไปในแพกเก็ตค้นหาเส้นทางแล้วส่งต่อ กรณีที่โหนดข้างเคียงที่ได้รับเป็นโหนดปลายทางหรือมีเส้นทางที่สามารถส่งข้อมูลไปถึงโหนดปลายทางได้ โหนดนั้นจะใส่ที่อยู่ของตัวเองและ/หรือเส้นทางที่ไปยังโหนดปลายทางนั้นส่งกลับไปยังโหนดต้นทางตามลำดับเส้นทางย้อนกลับ เมื่อโหนดต้นทางได้เส้นทางก็ดำเนินการส่งข้อมูลไปตามเส้นทางที่ได้รับนั้นไปยังโหนดปลายทาง โดยข้อมูลเส้นทางทั้งหมดจะเก็บไว้ในแพกเก็ตข้อมูลทุกแพกเก็ตด้วย โพรโทคอลนี้ออกแบบมาเพื่อรองรับการทำงานที่มีแบนด์วิธจำกัด และเครือข่ายที่มีการเคลื่อนที่น้อย (ค่าพอสท์ไทม์หรือขนาดเวลาที่หยุดมากๆ) (Murthy & Manoj, 2004)

โพรโทคอล AODV (Murthy & Manoj, 2004, Perkins & Royer, 1999) ใช้หลักการทำงานแบบ รีแอคทีฟ ที่มีการเก็บเส้นทางไว้ในตารางเส้นทางเหมือนกับ DSDV แต่วิธีการค้นหาเส้นทางหรือการปรับปรุงเส้นทางจะใช้วิธีการเดียวกันกับ DSR แต่การตรวจสอบข้อมูลเส้นทางไม่ได้อ่านข้อมูลในแคชของเร้าเตอร์เหมือนของ DSR แต่จะตรวจสอบจากตารางเส้นทางของโหนดข้างเคียงนั้นๆ เมื่อตารางเส้นทางนั้นมีเส้นทางไปยังโหนดปลายทาง

ก็จะส่งข้อมูลเส้นทางย้อนกลับด้วยวิธีการโหนดถัดไปจนถึงโหนดต้นทาง หลักการนี้เหมือน DSR และใช้เส้นทางนั้นส่งข้อมูลไปยังโหนดปลายทางต่อไป (Ahmad, 2005) โดยเส้นทางทั้งหมดของ AODV จะอยู่ในตารางเส้นทางของโหนดนั้นๆ ที่ให้ข้อมูลเป็นโหนดถัดไป (Murthy & Manoj, 2004)

โพรโทคอลทั้ง 3 แบบมีผลการทำงานที่เหมาะสมกับสถานะแวดล้อมที่แตกต่างกันเช่น จำนวนโหนด ปริมาณการเคลื่อนที่ และขนาดแบนด์วิธ เป็นต้น ดังนั้นจึงได้มีงานวิจัยนี้เพื่อเปรียบเทียบการทำงาน ยกตัวอย่าง DSDV มีการทำงานแบบโปรแอคทีฟที่ต้องการแบนด์วิธมาก หากสถานะแวดล้อมไม่จำกัดแบนด์วิธแล้วจะได้ผลการทำงานของ DSDV ที่ดีกว่า AODV และ DSR แตกต่างจากงานวิจัยในอดีต (Anand & Gupta, 2012) หรือไม่

รูปแบบการเคลื่อนที่แบบสุ่ม (random way point mobility model) (Djenouri, Derhab & Badache, 2006) เป็นรูปแบบการเคลื่อนที่ที่ใกล้เคียงการเคลื่อนที่ตามธรรมชาติมากที่สุด ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่ที่สุ่มเลือกปลายทางภายในพื้นที่ที่กำหนดและเคลื่อนที่ไปถึงปลายทางที่สุ่มนั้นเมื่อถึงตำแหน่งที่สุ่มจะหยุดเป็นเวลานานเท่ากับขนาดของค่าพอสท์ไทม์ (pause time) ที่กำหนด แล้วทำกระบวนการข้างต้นซ้ำจนครบตามที่กำหนด

โปรแกรมเน็ตเวิร์คซิมูเลเตอร์ (Issariyakul & Hossain, 2012) (Network simulator 2) เป็นเครื่องมือที่ใช้จำลองการทำงานของเครือข่าย เป็นโปรแกรมที่ประกอบด้วยภาษาซีพลัสพลัส (C++) และภาษาโอทีซีแอล (OTcl: Object-oriented Tool Command Language) โดยมีการแบ่งการทำงานของภาษาซีพลัสพลัสเป็นส่วนที่กำหนดการทำงานเบื้องหลัง (ภายในโปรแกรมซึ่งผู้ใช้ทั่วไปไม่ต้องเกี่ยวข้อง) ขณะที่ภาษาโอทีซีแอลเป็นส่วนที่กำหนดการทำงานที่ผู้ใช้งานทั่วไปใช้กำหนดความต้องการและข้อกำหนดหรือข้อจำกัดต่างๆ เพื่อจำลองการทำงาน ด้วยการเขียนแบบบรรยายหรือในรูปสคริปต์ โดยทั้งสองส่วนนี้จะเชื่อมโยงการทำงานด้วยภาษาทีซีแอลซีแอล (TclCL: Tool Command Language with Classes) ซึ่งผู้ใช้ทั่วไปไม่ได้เกี่ยวข้องเช่นกัน

สาเหตุที่ใช้ NS-2 (Issariyakul & Hossain, 2012) เพราะเป็น open-source software, อนุญาตให้ใช้โดยไม่มีค่าใช้จ่ายแม้มีข้อจำกัดเรื่องขนาดของเครือข่ายที่ขยายได้น้อยแต่ยังเพียงพอที่จะทดลอง (Hussain & Saeed, 2013) นอกจากนี้

ยังมีโปรแกรม GloMoSim เป็นโปรแกรมให้ใช้โดยไม่มีค่าใช้จ่าย เช่นเดียวกับ NS-2 แต่ข้อจำกัดเรื่องขนาดของเครือข่ายสามารถขยายได้มาก โปรแกรมนี้ได้รับการพัฒนาที่ University of California, Los Angeles (UCLA) อีกหนึ่งโปรแกรมคือ QualNet เป็นโปรแกรม ซึ่งได้รับการพัฒนาที่ University of California, Los Angeles เช่นเดียวกับโปรแกรม GloMoSim แต่เป็นรุ่นจะต้องซื้อ และโปรแกรม Opnet ที่ต้องซื้อเช่นกัน มีเครื่องมือให้ใช้มากกว่าทั้ง parallel processing ขณะนี้มีโปรแกรม NS-3 เช่นรุ่น NS-3.18 (30 กย. 2556) ได้รับการพัฒนาแนวทางเดียวกับ NS-2 โดยที่สคริปต์ จากโปรแกรม NS-2 จะไม่สามารถใช้งานร่วมกับ NS-3 ได้ แต่ยังคง เขียนด้วยภาษา C++ เหมือนเดิม แนวคิดหลักของการพัฒนา NS-3 (Sebastian, 2013) คือการที่สามารถจำลองการทำงาน พร้อมกัน 2 ระบบ (Parallel computation of network simulations)

ลำดับการจำลองการทำงานของแต่ละการทดลอง (Issariyakul & Hossain, 2012) ด้วยเครื่องมือที่มีใน NS-2 เริ่มด้วยการสร้างพฤติกรรมเคลื่อนที่โดยใช้ Mobility generation utility "setdest" ต่อไปสร้างพฤติกรรมการสื่อสารข้อมูล โดยใช้ Traffic generation utility "cbrgen.tcl" สุดท้ายของ การเตรียมการจะเป็นการกำหนดตัวแปรต่างๆ เป็น tcl script สำหรับโพรโทคอลแต่ละแบบ โดยลำดับการทำงานทุกขั้นตอน กำหนดไว้ในรูปแบบของ Command line interface (CLI) ของ shell script ที่ทำงานบนระบบปฏิบัติการลินุกซ์ (Linux) ค่าทราฟฟิกหรือค่าเฉลี่ยขนาดข้อมูลถึงปลายทางหรือที่เอชพี (average throughput : thp) (Anand & Gupta, 2012) เป็นขนาดของปริมาณรวมของข้อมูลทั้งหมด ในแต่ละวินาทีที่ส่งมีหน่วยเป็นบิตต่อวินาทีไปถึงโหนดปลายทางที่กำหนด ที่ชั้นสื่อสาร (transport layer)

ค่าเฉลี่ยอัตราการรับต่อการส่งข้อมูลหรือพีดีอาร์ (average packet delivery ratio : pdr) (Murthy & Manoj, 2004) นำมาใช้โดยประยุกต์ เป็นขนาดของอัตราปริมาณรวมของข้อมูลที่รับมีหน่วยเป็นบิตต่อปริมาณรวมของข้อมูลที่ส่งมีหน่วยเป็นบิตไปถึงแต่ละโหนดปลายทางที่กำหนดที่ชั้นสื่อสาร (เพื่อให้สอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้รับจากโปรแกรมเน็ตเวิร์คซิมูเลเตอร์) และตัวชี้วัดนี้แตกต่างจาก Packet Delivery Fraction ที่ใช้โดยงานวิจัยอื่น (Jiahong, Takaaki, Kazuki, Eiichiro

& Toyoo, 2011) คือ เป็นอัตราที่อ้างอิงจากผลรวมของโหนดที่ส่งเพียงโหนดเดียวจากการสื่อสารด้วย cbr เหมือนกัน ขณะที่งานวิจัยนี้ใช้ผลรวมของทุกโหนดต้นทางที่มีโหนดปลายทางเดียวกันนำมาคำนวณ

ค่าเฉลี่ยช่วงเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูลถึงปลายทาง หรือ ดีแอลที (end to end delay time : dlt) (Anand & Gupta, 2012) เป็นขนาดของผลต่างระหว่างเวลาที่รับข้อมูลกับเวลาที่ส่งข้อมูล ของหมายเลขแพคเกจข้อมูลที่กำหนด ที่เกิดจากโหนดต้นทางหนึ่งไปยังโหนดปลายทางหนึ่ง ที่ชั้นสื่อสาร และมีความหมายเดียวกับ end to end delay

ค่าเฉลี่ยขนาดข้อมูลที่ใช้ค้นหาเส้นทางหรืออาร์ทีดี (route discovery or route overhead : rtd) เป็นขนาดของปริมาณข้อมูลที่ส่งทั้งหมดที่ใช้ในการค้นหาเส้นทางของแบบรีแอคทีฟที่ชั้นเครือข่าย (routing layer) และตัวชี้วัดนี้แตกต่างจาก Routing load ที่มีการกล่าวถึงในเอกสารอื่น (Jonas, 2002) คือเป็นอัตราระหว่างผลรวมของปริมาณข้อมูลที่ส่งเองและส่งต่อที่แพคเกจชนิด DSR (ตามที่ใช้ในเอกสารอ้างอิงของ DSR) กับผลรวมของปริมาณข้อมูลที่รับที่แพคเกจชนิด cbr โดยที่การคำนวณนี้แตกต่างจากการคำนวณในงานวิจัยนี้ใช้เพียงผลรวมของปริมาณข้อมูลที่ส่งเองที่แพคเกจชนิด DSR (สำหรับ DSR) เท่านั้น

## วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อเปรียบเทียบการทำงานของโพรโทคอล AODV, DSDV และ DSR ในสภาพแวดล้อมตัวแปรควบคุมของจำนวนโหนด ซึ่งมีผลต่อการทำงานของแต่ละโพรโทคอล

## วิธีการดำเนินวิจัย

การวิจัยนี้ใช้วิธีทดลองด้วยโปรแกรมจำลองการทำงาน แล้ววิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณ การจำลองการทำงานเลือกตัวแปรควบคุม (Anand & Gupta, 2012) ที่จะเปลี่ยนค่าจำนวนโหนด 20, 50, 80, 110, 140 จำนวนคู่การสื่อสารสูงสุด 20%, 50%, 80% เปลี่ยนค่าอัตราการส่งข้อมูลเป็น 0.67, 6.67, 66.67 แพคเกจต่อวินาที และเปลี่ยนค่าพอสท์ไทม์ 5, 20, 40 วินาที ตัวแปรคงที่เป็นการส่งข้อมูลขนาดคงที่ (constant bit rate: CBR) ผ่านรูปแบบการส่งข้อมูลแบบยูดีพี (User Datagram Protocol: UDP) ขนาดของข้อมูล 512 บิตต่อแพคเกจ ในพื้นที่ทดลองขนาด 1,000

เมตร คุณ 1,000 เมตร ด้วยความเร็วคงที่ 20 เมตรต่อวินาที แต่ละค่าตัวแปรดำเนินการทดลอง 5 ครั้ง การทดลองได้ดำเนินการทั้งสิ้น 675 ครั้งในกรอบเวลาที่ทดลองแต่ละครั้งนาน 200 วินาที ตัวแปรอิสระเป็นการเคลื่อนที่ในทิศทางแบบสุ่ม การส่งข้อมูลให้สุ่มเวลาเริ่มและตำแหน่งโหนดทั้งที่ส่งและรับ ตัวแปรตามเป็นการนำผลการทดลองมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยโดยการเลือกค่าเฉลี่ยจะเลือกจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ต่ำที่สุดจากการทดลอง 5 ครั้ง ได้เป็นค่าเฉลี่ยของทีเอชพี, พีดีอาร์, ดีแอลที และอาร์ทีดี

### ผลการวิจัย

ผลการวิจัยด้วยวิธีทดลองที่จะนำมาอภิปรายผลโดยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทีเอชพี, พีดีอาร์, ดีแอลที และอาร์ทีดี ในบทความนี้นำเสนอผลการทดลองที่ได้จากการเปลี่ยนจำนวนโหนดขนาดของจำนวนคู่ของการเชื่อมต่อสูงสุดเป็นขนาด 20% และ 80% โดยควบคุมตัวแปรของอัตราการส่งข้อมูลไว้ที่ 66.67 แพกเก็ตต่อวินาที หรือระยะห่างของเวลาการส่งข้อมูลเท่ากับ 0.015 วินาทีต่อแพกเก็ต และช่วงระยะเวลาการหยุดพักหลังจากการสุ่มการเคลื่อนที่ 5 วินาที ดังรายละเอียดที่แสดงในตาราง 1

วิธีการอ่านชื่อของผลการทดลองที่จะได้เห็นต่อไปเช่น n331-thp เป็นต้นมีแนวทางการกำหนดชื่อของผลการทดลองประกอบด้วย หลักที่หนึ่ง (ซ้ายมือสุด) เป็นจำนวนโหนดหรือแทนด้วย 'n' หมายความว่าในการนำผลของการทดลองที่เปลี่ยนค่าจำนวนโหนดจึงกำหนดชื่อเป็นตัวแปรซึ่งมีค่าเป็น 1, 2, 3, 4, 5 ในการทดลองจะใช้ค่าเท่ากับ 20, 50, 80, 110 หรือ 140 ตามลำดับ หลักที่สองเป็นจำนวนคู่การสื่อสารสูงสุดเป็น 1, 2, 3 ซึ่งในการทดลองจะใช้ค่าเท่ากับ 20%, 50% หรือ 80% ตามลำดับ ในผลการทดลองเลือกค่าที่ 1 และ 3 (20% และ 80% ตามลำดับ) หลักที่สามเป็นค่าอัตราการส่งข้อมูลเป็น 1, 2, 3 ซึ่งในการทดลองจะใช้ค่าเท่ากับ 0.67, 6.67, 66.67 ตามลำดับในผลการทดลองเลือกค่าที่ 3 (66.67) หลักที่สี่เป็นค่าพอสโตนเป็น 1, 2, 3 ซึ่งในการทดลองจะใช้ค่าเท่ากับ 5, 20, 40 ตามลำดับในผลการทดลองเลือกค่าที่ 1 (5)

จากผลการทดลองของ n331-thp ตามภาพที่ 1 จะเห็นได้ว่า ทุกจำนวนของโหนดที่ทดลองค่าทฤษฎีสูงไปยังค่าทฤษฎีต่ำตามลำดับ คือ DSDV, AODV และ DSR ซึ่งในที่นี้ขอเทียบการวัดผลเป็นค่าประสิทธิภาพที่ว่า DSDV ให้ประสิทธิภาพในการได้รับข้อมูลที่ถูกต้องมาในกรอบเวลาที่ควบคุมมากที่สุด

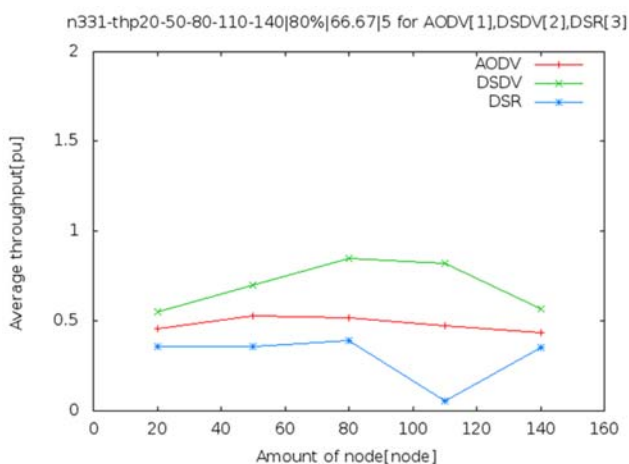
ตารางที่ 1 ขนาดของตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

ชื่อการทดลอง [ncrp-i]	จำนวนโหนด [n] (โหนด)	การเชื่อมต่อ [c] (%)	อัตราการส่งข้อมูล [r] (แพ็กเก็ต/วินาที)	พอสโตน [p] (วินาที)	ตัวชี้วัด: ค่าเฉลี่ยของ [i]
n331-thp	เปลี่ยนค่า [20, 50, 80, 110, 140]	80	66.67	5	ทีเอชพี (throughput)
n131-pdr		20	66.67	5	พีดีอาร์ (packet delivery ratio)
n331-dlt		80	66.67	5	ดีแอลที (end to end delay time)
n131-rtt		20	66.67	5	อาร์ทีดี (Route discovery)

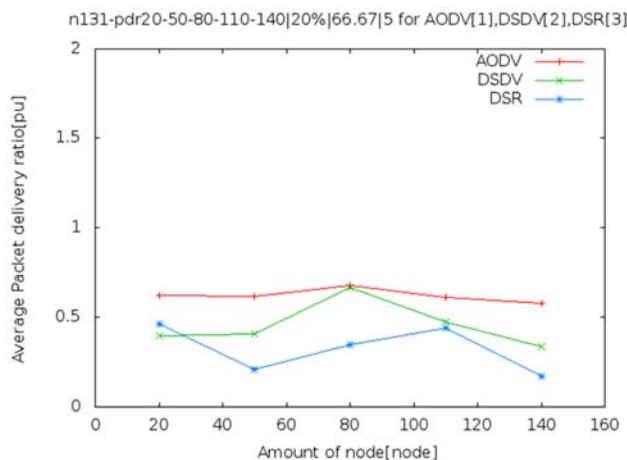
ทุกค่าจำนวนโหนดที่ทดลอง และ AODV DSR มีผลการทำงานที่ต่ำลงตามลำดับ

จากผลการทดลอง n131-pdr ตามภาพที่ 2 ซึ่งเป็นการทดลองเพื่อเปรียบเทียบอัตราการรับข้อมูลต่อการส่งข้อมูลจะเห็นได้ว่าที่จำนวนโหนดเท่ากับ 20 ให้ผลการทำงานของโพรโทคอลเป็นลำดับจากขนาดของค่าอัตราการรับข้อมูลต่อการส่งข้อมูลสูงไปยังค่าต่ำคือ AODV DSR และ DSDV แต่ผลการทดลองเปลี่ยนไปเมื่อเพิ่มจำนวนโหนดเป็น 50 80 110 และ 140 ได้ให้ผลการทำงานที่เปลี่ยนไปเป็นลำดับใหม่ดังนี้ AODV DSDV และ

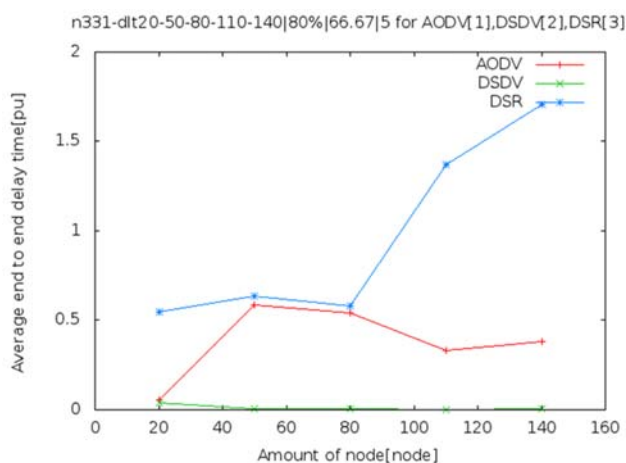
DSR จะเห็นได้ว่า ไม่ว่าจำนวนโหนดที่ทดลองจะเป็นเท่าไร AODV ก็ยังคงให้ผลการทดลองที่อัตราสูงที่สุดในที่นี้ขอเทียบการวัดผลเป็นค่าของประสิทธิภาพที่ว่า อัตราระหว่างข้อมูลที่รับต่อข้อมูลที่ส่งเป็นความหมายของประสิทธิภาพ ดังนั้นการทำงานของ AODV จึงเป็นโพรโทคอลที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุด แตกต่างจากการทำงานของ DSDV ที่ให้ผลการทดลองที่แสดงว่ามีประสิทธิภาพของการทำงานที่รองลงมาจาก AODV แต่ดีกว่า DSR เมื่อจำนวนโหนดมากกว่า 20 โหนด



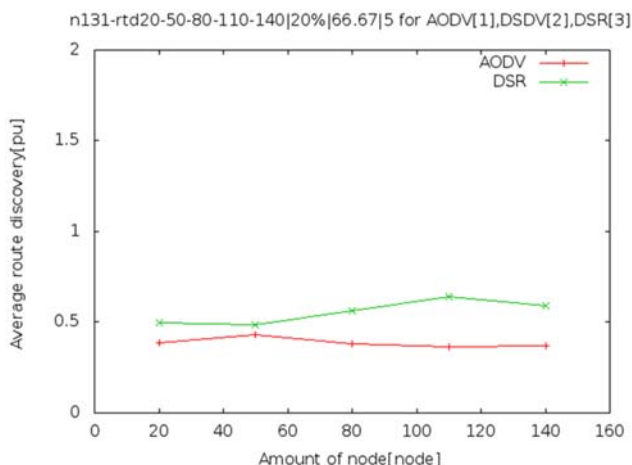
ภาพที่ 1 ผลการทดลองหาค่าทฤษฎี (ทีเอสพี) ที่กำหนดค่าการเชื่อมต่อ 80%



ภาพที่ 2 ผลการทดลองหาค่าอัตราการรับข้อมูล (พีดีอาร์) ที่กำหนดค่าการเชื่อมต่อ 20%



ภาพที่ 3 ผลการทดลองหาค่าช่วงเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูล (ดีแอลที) ที่กำหนดค่าการเชื่อมต่อ 80%



ภาพที่ 4 ผลการทดลองหาค่าปริมาณการส่งข้อมูลเพื่อหาเส้นทาง (อาร์ทีดี) ที่กำหนดค่าการเชื่อมต่อ 20%

จากผลการทดลองของ n331-thp ตามภาพที่ 1 นำมาศึกษาเพิ่มเติมโดยใช้ตัวชี้วัดค่าเฉลี่ยช่วงเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูลถึงปลายทางได้เป็นผลการทดลองของ n331-clt ตามภาพที่ 3 ซึ่งเป็นการทดลองเพื่อเปรียบเทียบระยะเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูลตั้งแต่เริ่มส่งจนกระทั่งได้รับข้อมูลสำหรับหมายเลขแพคเกจข้อมูลที่กำหนด จะเห็นได้ว่า ที่จำนวนโหนดทุกขนาด ให้ผลการทำงานของโพรโทคอลเป็นลำดับจากขนาดของค่าช่วงเวลาที่ใช้ในการส่งจนกระทั่งรับข้อมูลจากค่าสูงไปยังค่าต่ำคือ DSR AODV และ DSDV จะเห็นได้ว่า DSDV ใช้เวลาน้อยที่สุด ซึ่งเมื่อเทียบผลการทดลองของ n331-thp จะพบว่า DSDV ได้ค่าทรูพุทมากที่สุด และการทำงานของ AODV และ DSR มีประสิทธิภาพลดลงตามลำดับ

จากผลการทดลองของ n131-rtt ตามภาพที่ 4 นำมาศึกษาเพิ่มเติมโดยใช้ตัวชี้วัดปริมาณข้อมูลที่ส่งเพื่อค้นหาเส้นทางไปยังปลายทางหนึ่งๆ ของโพรโทคอลรีแอกทีฟ จะเห็นได้ว่า ที่จำนวนโหนดทุกขนาดของ DSR ต้องส่งข้อมูลจากต้นทางไปเพื่อหาเส้นทางหนึ่งๆ มากกว่าการทำงานของ AODV ดังนั้นโดยภาพรวม AODV มีการทำงานที่ดีกว่า หรือใช้ปริมาณข้อมูลในการค้นหาเส้นทางที่น้อยกว่าการทำงานของ DSR

## สรุปและอภิปรายผล

จากภาพที่ 1 DSDV มีการทำงานที่พร้อมจะส่งข้อมูลมากที่สุด แต่มีความต้องการแบนด์วิธสูงเพื่อปรับปรุงตารางเส้นทาง ซึ่งการทดลองต่างๆ ของงานวิจัยนี้ไม่จำกัดขนาดของแบนด์วิธ รองลงมาคือ AODV ที่มีการทำงานซึ่งไม่ต้องการใช้แบนด์วิธเท่ากับ DSDV เนื่องจากการทดลองนี้ไม่ได้กำหนดขนาดแบนด์วิธ จึงไม่ทำให้ผลการทำงานดีกว่า DSDV เหมือนผลการทดลองของ Anand & Gupta (2012) ทำนองเดียวกันกับ DSR ที่การออกแบบการทำงานของ DSR มาสำหรับทำงานที่จำกัดแบนด์วิธ (Murthy & Manoj, 2004) จากการทดลองที่ไม่ได้กำหนดขนาดแบนด์วิธ จึงทำให้ผลการทำงานของ DSR ไม่ดีกว่า DSDV เหมือนผลการทดลองของ Anand & Gupta (2012) เช่นกัน

เมื่อนำผลการทดลองของ Anand & Gupta (2012) มาพิจารณาเปรียบเทียบผลการทดลองของค่าเฉลี่ย ทรูพุท จะพบว่า AODV ให้ผลการทำงานที่ดีที่สุด รองลงมาคือ DSR และน้อยที่สุดคือ DSDV การพิจารณาที่จำนวนโหนดตั้งแต่ 50,

80 และ 110 ก็ให้ผลแบบเดียวกับ งานวิจัยในอดีต (Anand & Gupta, 2012) ได้ให้เหตุผลที่ DSDV มีผลการทดลองที่น้อยที่สุดเมื่อจำนวนโหนดมากขึ้นไว้ว่า เมื่อจำนวนโหนดมากขึ้นจะทำให้แพคเกจที่ไปไม่ถึงปลายทางมากขึ้นค่าอธิบายนี้ขยายความเพิ่มเติมได้ว่า ขนาดของแบนด์วิธที่จำกัดในการทดลองนั้นทำให้ DSDV มีคุณสมบัติที่ต่ำที่สุด ดังนั้นผลการทดลองของงานวิจัยนี้ซึ่งไม่จำกัดขนาดของแบนด์วิธ จึงให้ผลการทดลองที่ตรงข้ามกับงานวิจัยในอดีตดังกล่าว และการที่ DSDV ให้ผลการทดลองที่ดีที่สุดสำหรับงานวิจัยนี้จึงเป็นผลมาจากการไม่จำกัดขนาดของแบนด์วิธ ดังนั้นขนาดของแบนด์วิธจึงมีผลต่อการทำงานของการทำงานทั้งแบบ โพรแอกทีฟและแบรีแอกทีฟ

จากภาพที่ 2 เมื่อพิจารณาอัตราของปริมาณข้อมูลที่รับต่อปริมาณข้อมูลที่ส่ง จะเห็นว่า AODV ให้ผลของอัตราของปริมาณข้อมูลที่รับต่อปริมาณข้อมูลที่ส่งมากที่สุด เป็นเพราะสาเหตุที่ AODV มีการทำงานเป็นแบรีแอกทีฟ ขณะที่ DSDV เป็นแบบโพรแอกทีฟที่ต้องส่งข้อมูลตรวจสอบเป็นจังหวะเวลา มีผลให้อัตราการส่งข้อมูลสูงกว่า AODV ที่มีการทำงานเป็นรีแอกทีฟ ดังนั้น AODV จึงให้ผลของอัตราการรับข้อมูลต่อการส่งข้อมูลที่ดีที่สุด DSR ที่ให้ผลที่ต่ำสุดด้วยเหตุผลข้างต้นเกี่ยวกับการที่การทดลองไม่ได้จำกัดขนาดของค่า แบนด์วิธ

จากภาพที่ 3 เมื่อพิจารณาความสอดคล้องของคุณสมบัติค่าทรูพุทจากภาพที่ 1 ที่มีลำดับจากมากไปหาน้อยคือ DSDV AODV และ DSR เทียบกับภาพที่ 3 ที่เป็นขนาดของระยะเวลาที่ใช้ส่งข้อมูลที่มีลำดับจากมากไปหาน้อย คือ DSR AODV และ DSDV จะเห็นได้ว่า DSR ใช้เวลามากที่สุดในการส่งข้อมูลถึงปลายทาง ขณะที่ DSDV ใช้เวลาน้อยที่สุดในการส่งข้อมูลถึงปลายทาง สาเหตุเนื่องมาจาก DSDV มีเส้นทางพร้อมที่จะใช้งานตลอดเวลาจึงทำให้ใช้เวลาในการส่งข้อมูลน้อยที่สุด รองลงมาคือ AODV ที่มีวิธีการเก็บข้อมูลเหมือนกันแต่จะต้องค้นหาเส้นทางก่อนตามการทำงานแบบรีแอกทีฟ ส่วน DSR ที่ให้ผลที่ใช้เวลามากที่สุดด้วยเหตุผลข้างต้นเกี่ยวกับการที่การทดลองไม่ได้จำกัดขนาดของค่าแบนด์วิธ

จากภาพที่ 4 เป็นปริมาณข้อมูลที่ใช้ในการค้นหาเส้นทางของการทำงานของ รีแอกทีฟ จะเห็นว่า วิธีการที่ DSR มีการเพิ่มข้อมูลของโหนดที่ทำหน้าที่ส่งต่อแต่ละโหนดไปจนถึงปลายทาง ทำให้ขนาดข้อมูลตลอดทุกขั้นตอนจนกระทั่งได้ข้อมูลเส้นทาง

ทั้งหมดกลับมายังต้นทางมีขนาดที่ใหญ่กว่าการทำงานของ AODV ที่ใช้วิธีการบันทึกข้อมูลเส้นทางไว้ในตารางเส้นทางในแต่ละโหนด แล้วเมื่อได้เส้นทางไปยังโหนดปลายทางก็จะแจ้งข้อมูลว่า การจะส่งข้อมูลถึงโหนดปลายทางได้ จะต้องส่งข้อมูลไปยังโหนดถัดไปเท่านั้น

DSDV เหมาะสมกับการใช้งานที่มีการส่งข้อมูลอย่างมีประสิทธิภาพสำหรับข้อมูลปริมาณมากที่มีทรัพยากรด้านพลังงานและแบนด์วิธที่ไม่จำกัด ซึ่งงานวิจัยในอดีต (Anand & Gupta, 2012) ได้ให้ผลการทดลองของค่าทรูพุทที่ AODV และ DSR มีสมรรถนะดีกว่า DSDV ตามลำดับดังนั้นงานวิจัยนี้จึงชี้ให้เห็นว่า ผลจะไม่เป็นเช่นนั้นเลยหากไม่มีการจำกัดขนาดของแบนด์วิธ AODV เหมาะสมกับการใช้งานที่มีการส่งข้อมูลอย่างมีประสิทธิภาพที่มีทรัพยากรจำกัด DSR ไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้งานในเครือข่ายที่ไม่มีการจำกัดขนาดของแบนด์วิธ

### ข้อเสนอแนะ

ในการทดลองที่จะใช้งาน DSR ต้องคำนึงถึงขนาดแบนด์วิธที่จำกัด ที่เหมาะสม เพื่อให้ DSR ได้แสดงคุณสมบัติที่สามารถทำได้ และเหมาะสมแก่การใช้งาน

### กิตติคุณประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุมที่ได้ให้ใช้เครื่องคอมพิวเตอร์แมคมินิในการทดลอง ส่วนหนึ่งจนได้เป็นผลการวิจัยครั้งนี้

### รายการอ้างอิง

Anand V. & Gupta S. C. 2012. "Performance of AODV, DSR and DSDV Protocols under varying node movement." *World Congress on Information and Communication Technologies (WICT)*. 50-55.

Perkins C. E. & Bhagwat P. 1994. "Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector Routing (DSDV) for Mobile Computers." *Proceedings of the conference on Communications architectures, protocols and applications (SIGCOMM '94)*. 234-244

Murthy C. & Manoj B.S. 2004. *Ad Hoc Wireless Networks Architectures and Protocols*. (Third Printing) USA: Pearson Education, Inc.

Maltz D. A., Broch J., Jetcheva J. & Johnson D. B. 1999. "The effects of on-demand behavior in routing protocols for multihop wireless ad hoc networks." *IEEE Journal on Selected Areas in Communications special issue on mobile and wireless networks*. 17(8): 1439-1453.

Perkins C. E. & Royer E. M. 1999. "Ad hoc On-Demand Distance Vector Routing." *Proceedings of Mobile Computing Systems and Applications (WMCSA '99)*

Ahmad, Aftab. 2005. *Wireless and Mobile Data Networks*. (First Printing). USA: John Wiley

Djenouri D., Derhab A. & Badache N. 2006. "Ad Hoc Networks Routing Protocols and Mobility." *The International Arab Journal of Information Technology*, 3(2): April 2006.

Issariyakul T. & Hossain E. 2012. *Introduction to Network Simulator NS2*. (Second Edition). Springer.

Jiahong Wang, Takaaki Mikami, Kazuki Kanamori, Eiichiro Kodama, & Toyoo Takada. 2011. "An Effective Approach to Improving Packet Delivery Fraction of Ad Hoc Network." *Proceedings of IMECS 2011*. Vol. I, March 16-18, 2011, Hong Kong: 681-686



Jonas Nielsen. 2002. (manet) How do you compute normalized routing load? (online): <http://www.ietf.org/mail-archive/web/manet/current/msg00464.html> (2013, October 23)

Sebastian Rampfl. 2013. Network Simulation and its Limitations. Seminars FI/IITM/ACN SS2013, Network Architectures and Services, August 2013. PP57-63

Hussain A. Syed & Saeed A. 2013. An Analysis of Simulators for Vehicular Ad hoc Networks. *World Applied Sciences Journal*. 23(8). PP1044-1048



### >> สุวิทย์ ศรีสุข

จบการศึกษา วศ.บ. (ไฟฟ้ากำลัง) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี ปัจจุบันเป็นวิศวกรที่ปรึกษาอิสระ ผลงานวิชาการ มีประสบการณ์การทำงานเป็นวิศวกรที่ปรึกษาด้านการออกแบบระบบไฟฟ้า มีความสนใจในงานวิจัยด้านการสื่อสารและเครือข่ายคอมพิวเตอร์



### >> สุรศักดิ์ มั่งสิงห์

จบการศึกษา D.Eng.(Computer Science), Asian Institute of Technology, M.S.(Computer Science), Naval Postgraduate School, USA., วศ.ม. (อุตสาหกรรม), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, B.S.E. (Structures, Materials and Fluids), University of South Florida, USA. ผลงานวิชาการ มีประสบการณ์วิจัยด้านระบบสอนเสริมอัจฉริยะ ระบบการฝังซ่อนข้อมูลในสื่อดิจิทัล ระบบการเลือกบริเวณและพื้นที่สำหรับการท่องเที่ยวเฉพาะบุคคล ฯลฯ มีความสนใจในงานวิจัยด้านเทคโนโลยีเครือข่ายคอมพิวเตอร์ นวัตกรรมการเรียนการสอนระบบอัจฉริยะ