โพรโทคอลค้นหาเส้นทางในเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจ
Routing Protocols in Ad hoc Network

ชลทิพย์ ยาวุธ (Cholatip Yawut)*

บทคัดย่อ

เครือข่ายแอดฮอคหรือเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจเป็นหนึ่งในเทคโนโลยีเครือข่ายที่ได้รับความนิยมและนำไปใช้งานในวงกว้าง มีหลายๆ ประเด็นที่น่าสนใจในเครือข่ายประเภทนี้เมื่อเทียบกับเครือข่ายมีสายและเครือข่ายไร้สายแบบมีโครงสร้าง เช่น เป็นเครือข่ายที่ไม่มีโครงสร้างแน่นอน เป็นเครือข่ายที่มีโมบิลิตี้ โหนดในเครือข่ายต้องทำหน้าที่เป็นตัวส่งข้อมูล เป็นเครือข่ายที่มีพลังงานจำกัด เป็นต้น ประเด็นหนึ่งที่สำคัญของเครือข่ายนี้คือการค้นหาเส้นทางไปยังโหนดปลายทาง หรือเรียกว่าเร้าติ้ง ซึ่งแตกต่างกับเครือข่ายมีสายและเครือข่ายไร้สายแบบมีโครงสร้างเป็นอันมาก ดังนั้นในบทความนี้ได้มีการจัดกลุ่มโพรโทคอล ค้นหาเส้นทางออกเป็นตามกลุ่มการทำงานและอธิบายการวิธีทำงานของแต่ละกลุ่มในสภาพแวดล้อมแบบเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจ (Ad hoc Network) นี้

คำสำคัญ: เครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจ, โพรโทคอลค้นหาเส้นทางในเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจ, การจัดกลุ่มโพรโทคอลค้นหาเส้นทางในเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจ

Abstract

Ad hoc Network is a type of networking technology which is popular and widely used. There are many interesting aspects in this network compared to wired network and wireless LAN. i.e., No Pre-existing Infrastructure, Node Mobility, Relay Node and Limited Energy etc. An important aspect in this network is to find a proper route to destination node, call routing method. The ad hoc routing protocol is really different from the routing protocol in wired network and wireless LAN. Therefore, this paper classifies ad hoc routing protocols depending on their functions and describes how these routing protocols work in such network environment.

Keywords: Ad hoc Network, Ad hoc Routing Protocol, Ad hoc Routing Protocol Classification.

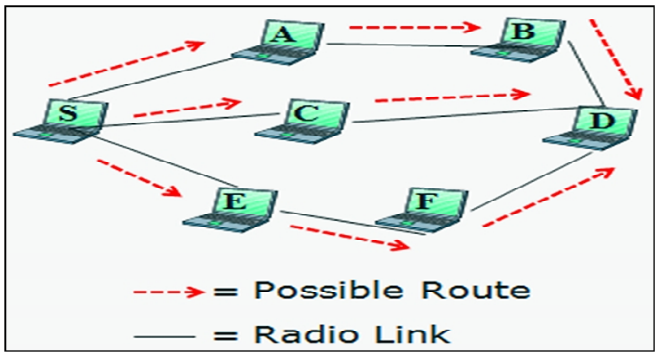
1. บทนำ

ในปัจจุบัน เทคโนโลยีเครือข่ายมีส่วนสำคัญกับชีวิตประจำของเราอย่างยิ่ง ทำให้เราสามารถติดต่อสื่อสารกันไม่ว่าจะอยู่ที่ใดก็ตาม เครือข่ายแบ่งออกเป็นเป็น 2 ประเภท [1] คือ เครือข่ายแบบมีสาย (Wired Network) และเครือข่ายแบบไร้สาย (Wireless Network) โดยเครือข่ายแบบมีสายนั้นมีให้บริการมาช้านานแล้ว ซึ่งเครือข่ายแบบมีสายแบบมีสายที่ได้รับความนิยมมากที่สุด คือ Ethernet ที่ถูกกำหนดตามมาตรฐานของ IEEE 802.3 [2] แต่ยังมีประเด็นในเรื่องของความสะดวกและการลงทุนเพื่อให้ได้เครือข่ายประเภทนี้มา อีกทั้งยังใช้เวลาในการด้านการวางโครงสร้างเพื่อใช้ให้ใช้งาน ด้วยเหตุนี้จึงทำให้เครือข่ายไร้สายได้รับความนิยมมากขึ้น โดยเครือข่ายไร้สายเองก็แบ่งออกเป็น 2 ประเภท [1] คือ เครือข่ายไร้สายแบบมีโครงสร้าง (Infrastructure Wireless Network) และเครือข่ายไร้สายแบบไม่มีโครงสร้างหรือแอดฮอค (Ad hoc Network หรือ Mobile Ad-hoc NETwork: MANET) โดยในช่วงแรกของเทคโนโลยีเครือข่ายไร้สายมีการนำเครือข่ายไร้สายแบบมีโครงสร้าง แบ่งได้เป็น 2 ลักษณะคือ เครือข่ายโทรศัพท์มือถือ (Cellular Network) [3] ซึ่งเริ่มต้นนั้นผู้ใช้งานส่วนใหญ่จะใช้ในการพูดคุยผ่านโทรศัพท์ และเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายหรือแลนไร้สาย (Wireless Local Area Network: WLAN) ซึ่งเริ่มต้นนั้น ผู้ใช้งานส่วนใหญ่จะใช้ในการส่งข้อมูลโดยวิธีการทำงานและมาตรฐานต่าง ๆ ของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายถูกกำหนดอยู่ในมาตรฐาน IEEE 802.11 หรือเราอาจเรียกได้ว่าเป็น Wireless Ethernet ซึ่งมีการนำไปใช้งานอย่างแพร่หลาย [3] ทั้งในที่พักอาศัย มหาวิทยาลัย องค์กรธุรกิจต่าง ๆ ศูนย์การค้า ฯลฯ ถึงแม้จะมีความสะดวกในการใช้งานเมื่อเทียบกับเครือข่ายแบบมีสาย แต่อย่างไรก็ตามเครือข่ายไร้สายแบบมีโครงสร้างยังไม่สามารถตอบโจทย์ความต้องการของผู้ใช้งานได้ เนื่องจากไม่สามารถใช้เครือข่ายไร้สายแบบมีโครงสร้างหรือถึงใช้งานได้ก็ไม่คุ้มค่ากับการลงทุน ในพื้นที่เสี่ยงภัย พื้นที่ห่างไกล พื้นที่ที่ผู้ใช้งานมีความประสงค์ใช้งานชั่วคราว และพื้นที่ที่ไม่สามารถวางโครงสร้างของเครือข่ายได้

* *คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*

เช่น พื้นที่ใกล้ภูเขาไฟ พื้นที่ป่า สนามรบ บนท้องถนน ใต้มหาสมุทร งานนิทรรศการแสดงสินค้าซึ่งจัดขึ้นเป็นระยะเวลาสั้น ๆ อาคารโบราณสถาน พิพิธภัณฑ์ที่ไม่สามารถขุดเจาะหรือวางโครงสร้างเครือข่ายได้เพราะจะทำให้ตัวอาคารเสียหาย ฯลฯ

จากประเด็นที่กล่าวมา จึงเป็นที่มาของการนำเครือข่ายแอดฮอค (อยู่ภายใต้การค้นหามาตรฐานของกลุ่มทำงานย่อยใน IETF ชื่อว่า MANET [4]) มาใช้งานเพื่อตอบโจทย์ความต้องการของผู้ใช้ได้ ซึ่งอันที่จริงแล้ว เครือข่ายแอดฮอคได้คิดค้นมานานแล้ว โดยมีจุดเริ่มต้นในช่วงคริสต์ศักราช 1970 โดยมีรากฐานมาจากเครือข่ายการส่งแพ็กเก็ตผ่านคลื่นวิทยุ DARPA (DARPA packet radio networks) [5] แต่เริ่มมีการใช้งานแพร่หลายในช่วงสิบปีหลังมานี้ โดยอุปกรณ์ไร้สายที่สื่อสารกันในเครือข่ายแอดฮอคนี้ มีชื่อเรียกแตกต่างกันไป เช่น โหนดเคลื่อนที่ (Mobile Node) โหนดเซ็นเซอร์ (Sensor node) โหนด (Node) สถานีไร้สาย (Wireless Station) โฮสต์เคลื่อนที่ (Mobile Host) เป็นต้น โดยเครือข่ายแอดฮอคมีคุณลักษณะพิเศษเฉพาะตัว คือ เป็นเครือข่ายที่ตั้งมาเฉพาะกิจเพื่อใช้งานชั่วคราวเพื่อวัตถุประสงค์ใดประสงค์หนึ่ง ไม่ต้องมีการวางโครงสร้างไว้ล่วงหน้า (No Pre-existing Infrastructure) ไม่มีตัวกลางควบคุม (Non-centralization) ทุกโหนดสามารถสื่อสารกันได้ โดยโหนดจะทำการสร้างเครือข่ายแอดฮอคขึ้นมาเอง (Self-organization) โดยใช้โพรโทคอลค้นหาเส้นทางเพื่อให้มีเส้นทางไปยังโหนดปลายทางที่ต้องการส่งข้อมูลไปถึง โดยโหนดที่อยู่ในรัศมีการส่งคลื่นวิทยุ (Radio coverage area) ของแต่ละโหนดสามารถสื่อสารกันได้โดยตรง เช่น โหนด S และโหนด A, โหนด C และโหนด E แต่ถ้าโหนดอยู่ไกลนอกรัศมีการส่งคลื่นวิทยุ เช่น โหนด B โหนด D และโหนด F ทำให้โหนด S ไม่สามารถสื่อสารกับโหนดนั้นได้โดยตรง หากโหนด S ต้องการสื่อกับโหนด D โหนด S ต้องส่งข้อมูลผ่านโหนดตัวกลางไป โดยโหนดตัวกลาง (ที่ไม่ใช่โหนดเป้าหมายปลายทาง) จะทำหน้าที่เป็นตัวส่งข้อมูลต่อ (Relay node หรือ Forwarding node) หรือทำหน้าที่เสมือนเร้าเตอร์ในเครือข่ายแบบมีสาย ในที่นี้คือโหนด A โหนด B โหนด C โหนด D โหนด E และโหนด F โดยโหนด S จะเลือกโหนดใดนั้นขึ้นอยู่กับว่าใช้โพรโทคอลค้นหาเส้นทาง (Routing Protocol) แบบใด ในที่นี้มีเส้นทางที่เป็นไปได้ 3 เส้นทาง คือ เส้นทาง SABD SCD และ SEFD การส่งข้อมูลแบบนี้ บางครั้งทำให้ต้องส่งผ่านโหนดหลายโหนด (Hop by hop) กว่าจะไปถึงปลายทาง จึงเรียกการส่งข้อมูลแบบนี้ว่า การส่งต่อหลายฮอพ (Multi-hop) นอกจากนี้ถ้าจำแนกตามจำนวนเส้นทางที่ใช้ส่งข้อมูลไปยังปลายทาง สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ ใช้เส้นทางเดียวในการส่งข้อมูลไปยังปลายทาง (Single path) และใช้หลายเส้นทางในการส่งข้อมูลไปยังปลายทางพร้อม ๆ กัน (Multipath) ยิ่งไปกว่านั้นในระหว่างการสื่อสารโหนดสามารถเคลื่อนย้ายออกไปโดยที่ไม่ต้องมีการแจ้งล่วงหน้า โดยคุณสมบัตินี้เรียกว่าโมบิลิตี้ (Mobility) เป็นผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโทโพโลยี (Topology Change) ในเครือข่ายนี้จะมีโหนดอื่นเพิ่มเข้ามาในเครือข่ายและโหนดในเครือข่ายสามารถเคลื่อนที่ออกนอกเครือข่ายได้ตลอดเวลา ส่งผลให้โทโปโลยีของเครือข่ายเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา ทำให้เส้นทางเดิมที่เคยใช้ได้นั้น อาจจะใช้ไม่ได้แล้ว ทำให้ต้องมีการหาเส้นทางใหม่โดยขึ้นอยู่กับว่าใช้งานโพรโทคอลค้นหาเส้นทางใด จะเห็นได้ว่าประเด็นสำคัญเพื่อที่จะส่งข้อมูลไปยังปลายทางได้คือการหาเส้นทาง ดังนั้นในบทความนี้จะกล่าวถึงวิธีการหาเส้นทางในแบบต่าง ๆ ของโพรโทคอลค้นหาเส้นทางในเครือข่ายแอดฮอค



ภาพที่ 1 เครือข่ายแอดฮอค

ยิ่งไปกว่านั้น ตามที่กล่าวในข้างต้นว่ากลุ่มทำงานย่อยใน IETF เป็นผู้กำกับค้นหาเกี่ยวกับการทำงานของเครือข่ายแอดฮอค จึงมีนักวิจัยจำนวนมากจากทั้งวงการการศึกษาและวงการอุตสาหกรรม นำเสนอโพรโทคอลค้นหาเส้นทางต่าง ๆ เข้าไปให้กลุ่มทำงานย่อยใน IETF พิจารณา โดยโพรโทคอลค้นหาเส้นทางนั้นเมื่อผ่านการพิจารณาการทำงานจากกลุ่มทำงานย่อยใน IETF โดยละเอียดแล้ว จะได้หมายเลขเฉพาะสำหรับโพรโทคอลค้นหาเส้นทางนั้น โดยเรียกเอกสารนั้นว่า RFC (Request For Comments) ซึ่งใน RFC นั้นจะประกอบไปด้วยรายละเอียดการทำงานต่าง ๆ และลักษณะแพ็กเก็ตที่ใช้ในโพรโทคอลค้นหาเส้นทางตัวนั้น ตัวอย่างเช่น RFC3561 [6]

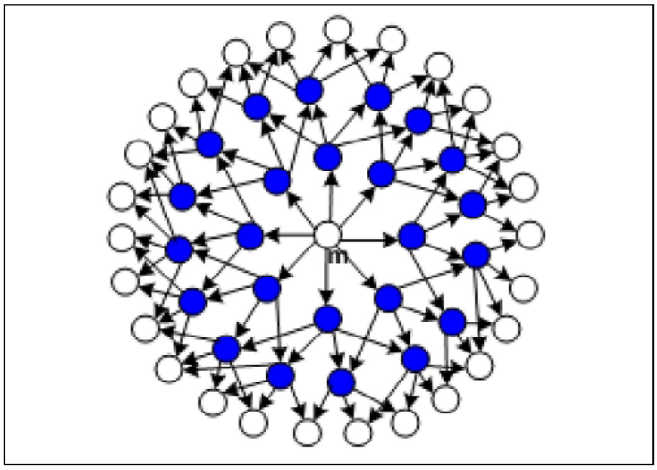
แสดงรายละเอียดการทำงานของโพรโทคอล AODV ส่วน RFC4728 [7] แสดงรายละเอียดการทำงานของโพรโทคอล DSR เป็นต้น

2. การหาเส้นทางของโพรโทคอลค้นหาเส้นทางในเครือข่ายแอดฮอค

วิธีการค้นหาเส้นทางโพรโทคอลค้นหาเส้นทางนั้นมีอยู่มากมายหลายโพรโทคอล [4] ซึ่งสามารถจัดกลุ่มได้โดยสังเขปดังนี้

2.1 Pure Flooding

การฟลัดดิ้งแบบสมบูรณ์ (Pure flooding) [8] คือ การแพร่กระจายแพ็กเกตหรือเรียกว่าข้อความฟลัดดิ้งไปยังโหนดทุกโหนดในเครือข่าย เป็นวิธีการส่งแพ็กเก็ตง่ายที่สุด หลักการ คือ โหนดที่เป็นโหนดปลายทางจะไม่มีการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลไปยังโหนดอื่น ส่วนโหนดอื่น ๆ ในเครือข่ายเมื่อได้รับแพ็กเก็ตก็จะทำการส่งต่อ (Retransmission) โดยการแพร่กระจายหรือเรียกว่า บรอดคาสต์ (Broadcast) ไปให้กับโหนดเพื่อบ้านทุกโหนด ข้อความที่ได้รับไปเรื่อย ๆ เมื่อได้รับแพ็กเก็ตนั้นเป็นครั้งแรก [9] แสดงดังภาพที่ 2 [10] โดยโหนดที่อยู่ตรงกลาง (โหนด m) เป็นโหนดต้นทางเริ่มทำการฟลัดดิ้งข้อมูลโดยไปให้กับโหนดเพื่อนบ้านทั้งหมด ซึ่งโหนดเหล่านั้นจะทำการแพร่กระจายข้อความอีกครั้งหรือเรียกว่ารีบรอดคาสต์ (Rebroadcast) ข้อความนั้นไปยังโหนดเพื่อนบ้านของตนเองอีกต่อหนึ่ง



ภาพที่ 2 *การทำงานแบบ Pure Flooding*

กรณีที่แย่ที่สุด จะทำให้วิธีการนี้มีค่าใช้จ่ายของการส่งข้อมูลเป็น n ครั้งในเครือข่ายที่มี n โหนด นอกจากนี้วิธีการนี้ยังทำให้แน่ใจได้ว่าแพ็กเก็ตที่ส่งไปจะไปถึงทุกโหนดที่อยู่ในเครือข่ายถ้าโหนดมีการเชื่อมต่อเข้ากับเครือข่ายและไม่มีการชนกัน (Collision) ของแพ็กเก็ตเกิดขึ้น

อย่างไรก็ตามวิธีการนี้มีการสร้างทราฟฟิกที่ซ้ำ ๆ กัน ในเครือข่าย (Redundant network traffic) มากเกินไป เมื่อทุกโหนดในเครือข่ายทำการฟลัดดิ้งข้อความ โหนดในเครือข่ายจะใช้พลังงานเป็นจำนวนมากในการทำงาน และยังก่อให้เกิดความคับคั่ง (Congestion) ขึ้นในเครือข่าย

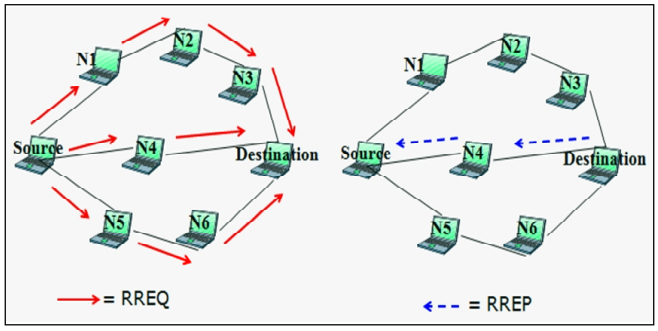
โหนดในเครือข่ายอาจจะส่งข้อมูลพร้อมกันหรือเรียกว่าแข่งขันกันส่ง (Contention) ซึ่งธรรมชาติของการบรอดคาสต์ของคลื่นวิทยุ จะทำให้มีโอกาสสูงทีเดียวที่จะเกิดการชนกัน (Collision) ของสัญญาณเมื่อโหนดทำการฟลัดดิ้งข้อความไปในเครือข่ายในเวลาเดียวกัน ซึ่งจะก่อให้เกิดปัญหา ต้องทำการส่งข้อมูลนั้นใหม่อีกครั้ง (Retransmission) มากขึ้น หรือบางโหนดอาจจะไม่ได้รับข้อความนั้น นอกจากนั้น เมื่อโหนดทำการรีบรอดคาสต์ข้อความนั้นไปยังโหนดเพื่อนบ้าน ซึ่งโหนดเพื่อนบ้านเหล่านี้ได้รับข้อความนั้นล่วงหน้าก่อนอยู่แล้ว ทำให้สิ้นเปลืองทรัพยากรไปโดยไม่จำเป็น เราเรียกเหตุการณ์นี้ว่าความซ้ำซ้อนในการรีบรอดคาสต์ (Redundant rebroadcast) การทำงานโดยมีการบรอดคาสต์ข้อความจำนวนมากเข้าไปในเครือข่ายจากโหนดต่าง ๆ เราเรียกปัญหานี้ว่า Broadcast storm [11]

ถึงแม้ว่าการฟลัดดิ้งแบบสมบูรณ์แบบสมบูรณ์จะมีจุดด้อยดังที่กล่าวมาข้างต้น ก็มีการนำไปใช้งานอย่างแพร่หลายในโพรโทคอลต่าง ๆ แต่แทนที่จะใช้ฟลัดดิ้งแพ็กเก็ตข้อมูล ในตอนเริ่มต้นการงานของโพรโทคอลค้นหาเส้นทางที่จะกล่าวในหัวข้อต่อๆ ไป จะมีการฟลัดดิ้งแพ็กเก็ตควบคุม (Control packet) [6], [7] เข้าไปในเครือข่ายเพื่อรู้จักโทโพโลยีของเครือข่าย และสร้างตารางข้อมูลเส้นทาง (Routing table) ไว้ใช้ในการส่งข้อมูลครั้งต่อๆ ไป โดยโหนดต้นทางจะเลือกเส้นทางที่ดีที่สุด (ขึ้นอยู่กับวิธีการของแต่ละโพรโทคอลค้นหาเส้นทาง) ซึ่งช่วยลดปัญหาของ broadcast storm ลงไปได้มากทีเดียว

2.2 Reactive Routing Protocol

โพรโทคอลค้นหาเส้นทางแบบรีแอคทีฟหรือเมื่อมีการร้องขอ (On demand) มักจะประกอบด้วย 3 ส่วน [12] คือ การค้นพบเส้นทาง (Route discovery) การส่งต่อข้อมูล (Data forwarding) และการบำรุงรักษาเส้นทาง (Route maintenance)

เมื่อโหนดต้องการสื่อสารกับโหนดอื่น กระบวนการเริ่มต้น คือ การค้นพบเส้นทาง โดยโหนดต้นทางพยายามที่จะค้นพบเส้นทางที่ดีไปยังปลายทางที่จะใช้ส่งแพ็กเก็ตข้อมูล โดยใช้การฟลัดดิ้งแพ็กเก็ตควบคุมที่ใช้ในการหาเส้นทางไปยังโหนดปลายทาง เรียกว่าแพ็กเก็ตร้องขอเส้นทาง (Route Request Packet: RREQ) โดยที่โหนดปลายทางจะเลือกเส้นทางที่ดีที่สุดและส่งแพ็กเก็ตตอบกลับเส้นทาง (Route Reply Packet: RREP) (ภาพที่ 3) โดยใช้เส้นทางนั้นเส้นทางเดียว (Unicast) โหนดต้นทางจะทำทางบันทึกเส้นทางนั้นไว้ และทำกระบวนการการส่งต่อข้อมูล โดยทำการส่งข้อมูลไปบนเส้นทางนั้นจนสิ้นสุดการสื่อสาร หรือเมื่อเส้นทางนั้นเสียหายในระหว่างการส่งข้อมูล ทำให้โหนดต้นทางได้รับการแจ้งว่าเส้นทางนั้นเสียหายผ่านแพ็กเก็ตแสดงเส้นทางเสียหาย (Route Error Packet: RRER) จึงมีการเริ่มขบวนการบำรุงรักษาเส้นทางเพื่อที่จะได้มีเส้นทางใหม่ไปยังปลายทางนั้น โพรโทคอลค้นหาเส้นทางแบบนี้ เช่น AODV [6], DSR [7], Tora [13] เป็นต้น



ภาพที่ 3 *การทำงานของ RREQ และ RREP*

2.3 Proactive หรือ Table-driven Routing Protocol

โพรโทคอลค้นหาเส้นทางแบบโพรแอคทีฟหรือเปลี่ยนแปลงตามตารางข้อมูลเส้นทาง [14] [15] จะมีการหาเส้นทางไว้ล่วงหน้า แม้ไม่มีการร้องขอส่งข้อมูลจากโหนดใดเลยในเครือข่าย โดยแต่ละโหนดจะมีตารางข้อมูลเส้นทางซึ่งมีข้อมูลเส้นทางล่าสุดอยู่เสมอ และจะรู้ถึงเส้นทางที่ไปถึงโหนดทุกโหนดในเครือข่าย ในเส้นทางมักจะประกอบไปด้วย (Destination Node) โหนดปลายทาง โหนดเพื่อนบ้านที่ต้องส่งต่อถัดไป (Next hop node) และค่าของเส้นทางนั้น (Cost) วิธีการอัพเดทตารางมีอยู่ 2 วิธี คือ การอัพเดทเป็นระยะ ๆ (Periodic update) และการอัพเดทโดยการกระตุ้น (Triggered update) [16] โดยอัพเดทเป็นระยะ ๆ แต่ละโหนดจะมีการบรอดคาสต์แพ็กเก็ตควบคุมซึ่งมีค่าของตารางข้อมูลเส้นทางของแต่ละโหนดออกเป็นระยะ ๆ โหนดที่เพิ่งเข้ามาในเครือข่ายจะเรียนรู้เส้นทางจากแพ็กเก็ตควบคุมที่ส่งมานั้น เช่น โหนดจะทำความรู้จักโหนดเพื่อนบ้านโดยผ่าน Hello message ซึ่งจะใช้แสดงสถานการณ์เชื่อมต่อระหว่างโหนด ส่วนการอัพเดทโดยการกระตุ้นนั้นทันทีที่โหนดตรวจพบการเปลี่ยนแปลงของโหนดเพื่อนบ้านตนเอง โหนดนั้นจะทำการบรอดคาสต์ค่ารายการค้นหาเส้นทางที่มีการเปลี่ยนแปลงนั้นให้โหนดอื่นในเครือข่ายได้ทราบทันที ตัวอย่างโพรโทคอลประเภทนี้เช่น OLSR [17], TBRPF [18], DSDV [19] เป็นต้น

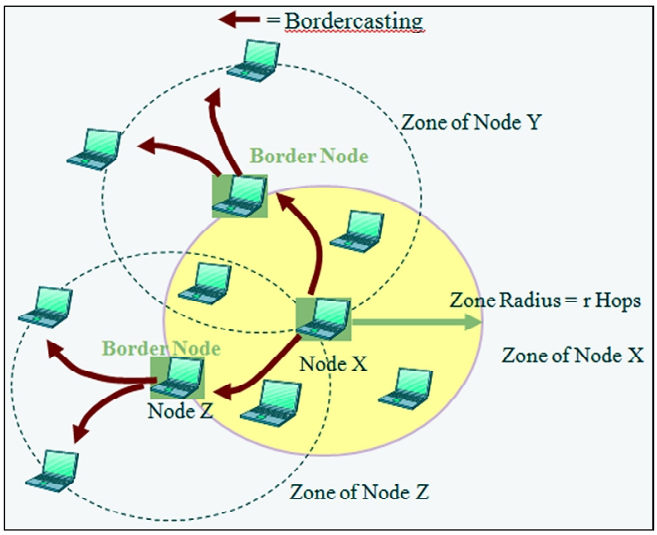
2.4 Hybrid Routing Protocol

โพรโทคอลค้นหาเส้นทางแบบไฮบริด [20] เป็นการนำข้อดีของโพรโทคอลค้นหาเส้นแบบโพรแอคทีฟและรีแอคทีฟเข้าด้วยกัน โดยโพรโทคอลค้นหาเส้นแบบโพรแอคทีฟนั้นมีโอเวอร์เฮดจำนวนมากแต่มีดีเลย์ต่ำ ในขณะที่โพรโทคอลค้นหาเส้นทางแบบรีแอคทีฟมีโอเวอร์เฮดต่ำแต่มีดีเลย์สูง ดังนั้นโพรโทคอลค้นหาเส้นทางแบบไฮบริดจึงกำจัดจุดอ่อนของโพรโทคอลทั้งสองโดยรวมโพรโทคอลทั้งสองแบบเข้าไว้ด้วยกัน โดยใช้กลไกการค้นพบเส้นทางของโพรโทคอลค้นหาเส้นแบบรีแอคทีฟและกลไกการค้นหารักษาตาราง (Table maintenance) ของโพรโทคอลค้นหาเส้นแบบโพรแอคทีฟ เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาของดีเลย์และโอเวอร์เฮดในเครือข่าย โพรโทคอลค้นหาเส้นทางแบบไฮบริดเหมาะสมกับการใช้งานในเครือข่ายขนาดใหญ่เมื่อมีจำนวนโหนดมากๆ โดยในเครือข่ายขนาดใหญ่นี้จะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนซึ่งเรียกว่าโซน (ภาพที่ 4 [21]) โดยที่โพรโทคอลค้นหาเส้นทางของโซนภายใน (inside) ทำงานในลักษณะของโพรโทคอลค้นหาเส้นแบบโพรแอคทีฟ และภายนอกโซน (outside) ทำงานในลักษณะรีแอคทีฟ ตัวอย่างของโพรโทคอลแบบนี้ เช่น ZRP [21], ZHLS [22], SHARP [23] เป็นต้น

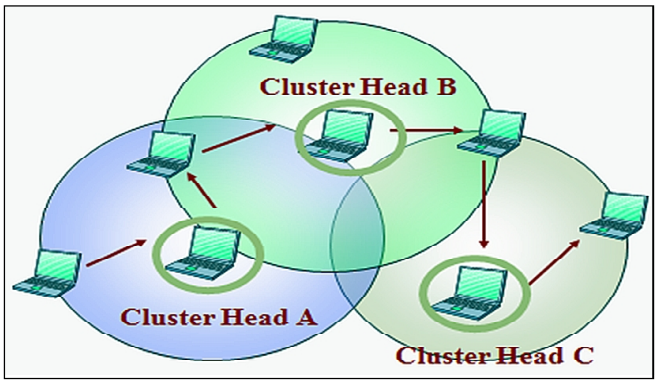
2.5 Hierarchical Topology Routing Protocol

โพรโทคอลค้นหาเส้นทางแบบลำดับชั้น [24] การหาเส้นทางแบบนี้ โหนดที่อยู่ในพื้นที่ใกล้ ๆ กัน (Scope) จะมีการกำหนดกลุ่มการทำงาน (Cluster) ของตนเองขึ้นมา (โดยอาจจะกำหนดจากระยะห่างระหว่างกัน) (ภาพที่ 5)

ดังนั้นเครือข่ายจะมีการแยกออกเป็นกลุ่มต่างๆ และในแต่ละกลุ่มจะมีการเลือกหัวหน้า (Cluster Head) โดยอาจดูจากจำนวนเพื่อนบ้านที่มี ค่าพลังงาน สถิติการเคลื่อนที่ เป็นต้น ซึ่งแต่ละโหนดที่อยู่ในกลุ่มการทำงานเดียวกันจะเรียนรู้สภาพโครงสร้างของเครือข่ายเฉพาะกลุ่มของตนเองเท่านั้น แต่สำหรับ



ภาพที่ 4 *การทำงานแบบ ZRP*



ภาพที่ 5 *การทำงานของโพรโทคอล CSCG*

โหนดปลายทางที่อยู่นอกกลุ่มการทำงาน โหนดต้นทางจะส่งแพ็คเก็ตค้นหาเส้นทางไปยังโหนดหัวหน้ากลุ่มซึ่งจะทำการค้นหาเส้นทางไปยังโหนดปลายทางต่อไป ในบางโพรโทคอลการจัดเส้นทางมีการรวมโหนดหัวหน้ากลุ่มเข้าด้วยกันเพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลเส้นทางระหว่างกัน ซึ่งถูกเรียกว่าการทำงานแบบลำดับชั้น (Multi level hierarchy) ตัวอย่างของโพรโทคอลแบบนี้เช่น CGSR [25], CSR [26], CEDAR [27]

2.6 Power Aware Routing Protocol

โพรโทคอลค้นหาเส้นทางแบบโพรแอคทีฟและรีแอคทีฟที่คิดค้นมาและมีการใช้งานในช่วงแรก ๆ เช่น AODV, DSR และ OLSR จะใช้เส้นทางเดียวในการส่งข้อมูล โดยการค้นหาเส้นทางนั้นมักเลือกเส้นทางที่สั้นที่สุด (Shortest path) โดยนับจากจำนวนโหนดที่ต้องส่งผ่าน (Number of hop) เมื่อได้เส้นทางในการส่งข้อมูลแล้วโหนดต้นทางจะใช้เส้นทางเดิมจนกว่าการส่งข้อมูลจะเสร็จสิ้นโดยที่ไม่มีการพิจารณาเรื่องพลังงานแบตเตอรี่ของโหนดที่อยู่ในเส้นทางนั้นจะถูกใช้งานหมดไปอย่างรวดเร็วทำให้โหนดในเส้นทางนั้นถูกใช้พลังงานแบตเตอรี่หมดไปและโหนดเหล่านั้นไม่สามารถทำงานได้ต่อไป เป็นผลทำให้เครือข่ายถูกแยกออกเป็นส่วน ๆ (Partition) และทำให้อายุของเครือข่ายนั้นสั้นลงไปด้วย [28]

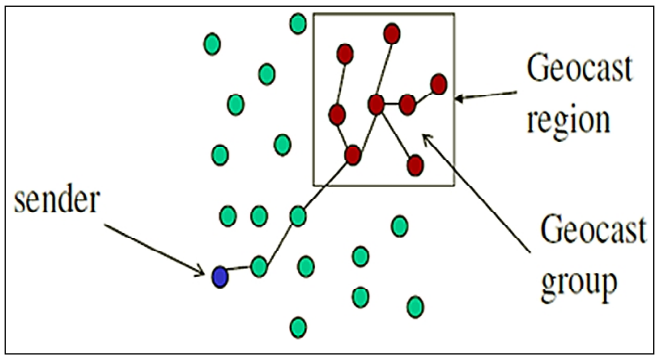
เพื่อที่จะแก้ปัญหาที่กล่าวมาข้างต้น โพรโทคอลค้นหาเส้นทางแบบคำนึงถึงพลังงานที่ใช้ (Power-aware or Energy-aware routing protocol) จึงถูกคิดขึ้น นอกเหนือจากการเลือกแค่เส้นทางที่สั้นที่สุด จะมีการคำนึงถึงพลังงานที่ใช้ด้วย โดยปกติการประหยัดพลังงานนั้นทำในเลเยอร์ MAC โดยใช้กลไกการควบคุมพลังงาน (Power control) และโหมดการหลับ (Sleep mode) ของโหนด อย่างไรก็ตาม ก็มีการพิจารณาในชั้นเน็ตเวิร์กถึงกิจกรรมที่ต้องทำ (Activity-based protocol)ในการหาเส้นทางด้วย [29] ตัวอย่างของโพรโทคอลแบบนี้ เช่น E-Tora [30], MMBCR [31], MDR [32]

2.7 Position-Based (Geographic) Routing Protocol

โพรโทคอลค้นหาเส้นทางแบบคำนึงถึงตำแหน่ง (Position-based routing protocol) หรือคำนึงถึงที่ตั้ง (Geographic routing protocol) [33] มีการใช้ข้อมูลของตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ (Geographic position) ของโหนดในเครือข่ายเพื่อที่จะทำการส่งต่อข้อมูล ในการที่โหนดจะรู้ที่ตั้งตำแหน่งของตนเองจะมีการใช้ GPS (Global Position System) และบริการระบุตำแหน่งอื่นๆ [34], [35] เข้ามาช่วย โดยโหนดทำการบรอดคาสต์ตำแหน่งของตัวเองไปให้โหนดเพื่อนบ้าน (ผ่านข้อความ Hello) ทำให้ทุกโหนดรู้จักตำแหน่งของโหนดเพื่อนบ้านของตนเอง การส่งข้อมูลในเครือข่ายจะมองจากตำแหน่งที่ตั้งของโหนดปลายทางเป็นสำคัญ จะไม่ส่งข้อมูลกระจายไปทั้งเครือข่าย แต่จะส่งข้อมูลไปยังทิศทางและตำแหน่งที่โหนดปลายทางหรือกลุ่มของโหนดปลายทางนั้นตั้งอยู่ (ภาพที่ 6 [36]) การส่งข้อมูลของโพรโทคอลค้นหาเส้นทางแบบคำนึงถึงตำแหน่งสามารถส่งข้อมูลได้จากโหนดต้นทาง 1 โหนด ไปยังโหนดปลายทางหลายโหนดได้ (One to Many) โดยดูจากตำแหน่งที่ตั้งของกลุ่มโหนดเป้าหมายเป็นหลัก ซึ่งเรียกการทำงานลักษณะนี้ว่า Geocast ในเครือข่ายแอดฮอค

ในการทำงานนั้น โหนดในเครือข่ายไม่จำเป็นต้องทำการค้นหารักษาข้อมูลเส้นทางโดยใช้การฟลัดดิ้งข้อความ แต่จะใช้การค้นหารักษาข้อมูลตำแหน่งของโหนดเพื่อนบ้านแทน

ข้อมูลตำแหน่งของโหนดเพื่อนบ้านที่แต่ละโหนดมีนั้นก็เพียงพอสำหรับการเลือกโหนดถัดไป (Next hop node) ที่จะใช้



ภาพที่ 6 การทำงานแบบ Geocast

ส่งข้อมูล โพรโทคอลค้นหาเส้นทางแบบนี้จะมีค่าโอเวอร์เฮดต่ำ ทำให้เหมาะแต่การนำไปใช้กับเครือข่ายที่มีขนาดใหญ่ และยังเป็นที่น่าดึงดูดใจสำหรับโหนดในเครือข่ายที่มีหน่วยความจำและพลังงานจำกัดเช่น อุปกรณ์เซ็นเซอร์ เป็นต้น ตัวอย่างโพรโทคอลประเภทนี้ เช่น Compass [37], DREAM [38], LAR [39]

2.8 Mobility Prediction Routing Protocol

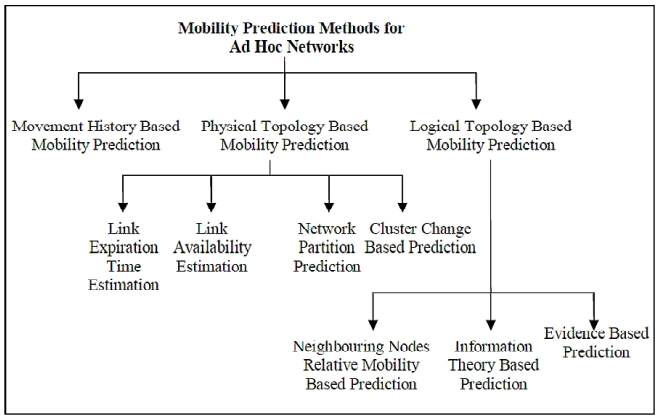
โพรโทคอลค้นหาเส้นทางแบบพยากรณ์การเคลื่อนที่จะมีการเลือกโหนดที่อยู่ในเส้นทางโดยดูค่าการเคลื่อนว่าโหนดนั้นมีการเคลื่อนที่น้อยที่สุด เพื่อให้อายุของเส้นทางที่เลือกนั้นยาวนานที่สุด หลีกเลี่ยงความเสียหายของเส้นทาง ซึ่งจะใช้ค่าเมทริกซ์ (Metric) ในการวัด [40] เราสามารถใช้วิธีการพยากรณ์การเคลื่อนที่ของโหนดในเครือข่ายแอดฮอคได้ 3 วิธี [41] (ภาพที่ 7) คือ

- พยากรณ์จากประวัติการเคลื่อนที่ (Movement history based prediction) ซึ่งทำให้พยากรณ์ถึงตำแหน่งของโหนดนั้นในอนาคตได้ หรือทำให้ทำนายถึงพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของโหนดนั้นได้ เช่น ดูจากประวัติรูปแบบการเคลื่อนที่ที่เพิ่งผ่านมา เป็นต้น

- พยากรณ์จากโทโพโลยีจากกายภาพ (Physical topology based mobility prediction) ซึ่งการพยากรณ์จะใช้ค่าทางกายภาพของโหนด อาจต้องใช้ GPS (Global Positioning System) เพื่อที่จะได้รับตำแหน่งที่แน่นอนของโหนดและข้อมูลการเคลื่อนที่ของโหนด

- พยากรณ์จากโทโพโลยีจากตรรกะ (Logical topology based mobility prediction) ซึ่งการพยากรณ์แบบนี้ไม่ได้ต้องการค่าที่แน่นอนของตำแหน่งและการเคลื่อนที่ของโหนด จึงไม่ต้องใช้ GPS แต่ต้องการค่าประมาณการตำแหน่งและการเคลื่อนที่ของโหนด โดยจะใช้ค่าทางตรรกะของโหนด เช่น ดูจากระดับความแรงของสัญญาณ เป็นต้น

ตัวอย่างโพรโทคอลประเภทนี้ เช่น SSA [42], KMPR [43], LET [44]



ภาพที่ 7 จำแนกกลุ่มวิธีการพยากรณ์การเคลื่อนที่ในเครือข่ายแอดฮอค

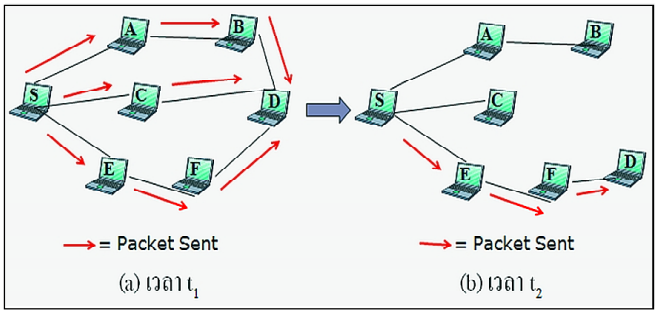
2.9 QoS Routing Protocol

โพรโทคอลค้นหาเส้นทางในเครือข่ายแอดฮอคนั้นส่วนที่กล่าวมาข้างต้น ส่วนมากมักทำงานในลักษณะพยายามทำให้ดีที่สุด (Best-effort) แต่ไม่มีการรองรับคุณภาพการให้บริการ (Quality-of-Service: QoS) เนื่องด้วยทรัพยากรที่มีจำกัดในเครือข่ายแอดฮอคเอง และมีการแชร์ทรัพยากรรวมกันระหว่างโหนดในเครือข่าย โดยคุณภาพการให้บริการอาจประกอบไปด้วยหลายประเด็น เช่น กำหนดค่าดีเลย์ที่ยอมรับได้ แบนด์วิทธ์ที่ต้องการในการส่งข้อมูล การจองทรัพยากรในเครือข่าย เป็นต้น ซึ่งจะเห็นว่าการรองรับคุณภาพการให้บริการในเครือข่ายแฮดออคนั้นเป็นสิ่งที่ท้าทายทีเดียว การจองทรัพยากรในเครือข่ายนี้ [45] สามารถทำได้เช่นกัน เรียกว่า “Soft QoS” [46] แต่ไม่มีการยืนยัน (Guarantee) เนื่องด้วยการเปลี่ยนแปลงโทโปโลยีโดยอิสระ อย่างไรก็ดีมีโพรโทคอลค้นหาเส้นทางจำนวนมากที่ออกแบบเพื่อรองรับคุณภาพการให้บริการในเครือข่ายแฮดออค เช่น DLAR [47], LBAR [48], FDAR [49]

2.10 Multipath Routing Protocol

โพรโทคอลค้นหาเส้นทางในหัวข้อก่อนหน้านี้ เช่น AODV, DSR, OLSR จะใช้เส้นทางเดียวในการส่งข้อมูล (Single Path) จนกระทั่งการส่งข้อมูลเสร็จสิ้น หรือในขณะส่งข้อมูลแต่เส้นทางนั้นเสียหาย โหนดก็จะเริ่มหาเส้นทางใหม่เพื่อส่ง

ข้อมูลไปยังปลายทางซึ่งแตกต่างกับการทำงานของโพรโทคอลค้นหาเส้นทางแบบหลายเส้นทาง (Multipath routing) [50] ซึ่งจะใช้หลายๆ เส้นทางในการส่งข้อมูลระหว่างโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทาง เส้นทางเหล่านี้จะเป็นตัวชดเชยธรรมชาติของเครือข่ายแอดฮอคที่มีลักษณะยืดหยุ่นและไม่สามารถคาดเดาสถานะของโหนดในเครือข่ายว่าจะมีสถานะเป็นอย่างไรในช่วงเวลาต่อไป



ภาพที่ 8 *การทำงานของโพรโทคอลค้นหาเส้นทางแบบส่งหลายเส้นทาง*

นอกจากนี้ เส้นทางเหล่านี้ยังเตรียมการให้บริการในลักษณะแบ่งโหลด (Load balancing) ทนทานต่อความเสียหาย (Fault-tolerance) และ และมีแบนด์วิทธ์โดยรวมที่สูงขึ้น (Higher aggregate bandwidth) โดยการแบ่งโหลดนั้นสำเร็จได้โดยการกระจายทราฟิกไปบนเส้นทางหลาย ๆ เส้นทาง ซึ่งช่วยแบ่งเบาปัญหาความแออัด (Congestion) และปัญหาคอขวดในเครือข่าย (Bottleneck) ส่วนการทนทานต่อความเสียหายนั้นโพรโทคอลค้นหาเส้นทางแบบหลายเส้นทางทำให้มีความยืดหยุ่นในการใช้เส้นทาง (Route resilience) ตัวอย่างแสดงดังภาพที่ ณ เวลา t_1 โหนด S มีเส้นทาง 3 เส้นทางไปยังโหนด D คือ เส้นทาง SABD SCD และ SEFD ตามลำดับ โหนด S ส่งแพ็กเก็ตที่เหมือนกันไปทั้ง 3 เส้นทาง ณ เวลา t_2 โหนด D เคลื่อนที่ ทำให้เส้นทางจากโหนด S ไปโหนด D เหลืออยู่ 1 เส้นทาง คือ เส้นทาง SEFD ตราบใดก็ตามที่ยังมีอย่างน้อย 1 เส้นทางที่ใช้ได้อยู่ โหนด D ก็จะได้รับแพ็กเก็ต โดยการส่งแพ็กเก็ตที่ซ้ำกัน (Redundant packets) ไม่ได้เป็นทางเดียวในการใช้ประโยชน์จากเส้นทางหลายๆ เส้นทาง ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีประโยชน์อย่างไร ในกรณีที่โหนดปลายทางเปลี่ยนตำแหน่งแต่ก็ยังมีเส้นทางอื่นที่ใช้อยู่ในขณะนั้นที่ยังไปถึงปลายทางได้ ซึ่งทำให้มีความทนทานต่อความเสียหายในกรณีที่เส้นทางเสียหาย

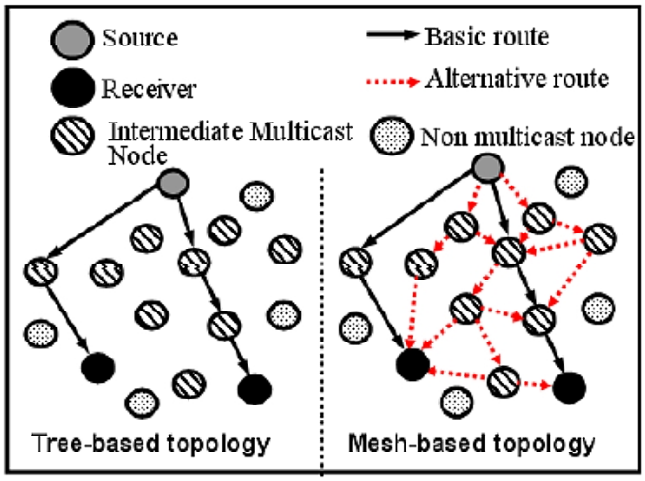
เนื่องจากแบนด์วิทธ์อาจมีจำกัดในเครือข่ายไร้สาย การส่งแพ็กเก็ตไปบนเส้นทางเดียวอาจจะมีแบนด์วิทธ์ไม่พอเพียงสำหรับการเชื่อมต่อนั้น แต่ถ้ามีการใช้หลายๆ เส้นทางในเวลาพร้อม ๆ กันเพื่อที่จะส่งข้อมูล ทำให้แบนด์วิธท์รวมที่ได้ของเส้นทางทั้งหมดอาจจะเพียงพอกับความต้องการแอพพลิเคชั่น ตัวอย่างโพรโทคอลประเภทนี้ เช่น SMR [51], AOMDV [52], MDVZRP [53]

2.11 Multicast Routing Protocol

การทำงานของโพรโทคอลค้นหาเส้นทางที่กล่าวมาข้างต้นเป็นการส่งข้อมูลจากโหนดต้นทาง 1 โหนด ไปยังโหนดปลายทาง 1 โหนด (One to One) ส่วนการแบ่งปันข้อมูลกันระหว่างกลุ่มนั้นเป็นรูปแบบ One to Many คือจะกระจายข้อมูลให้กับโหนดที่ลงทะเบียนไว้ในกลุ่มเดียวกัน ซึ่งเรียกการกระจายสัญญาณจากโหนดต้นทาง 1 โหนด ไปยังโหนดปลายทางหลาย ๆ โหนดที่ลงทะเบียนไว้ในกลุ่มเดียวกันโดยโหนดต้นทางทำการส่งสัญญาณแค่ครั้งเดียวแต่กระจายไปยังโหนดปลายทางทั้งหมดในกลุ่มว่า ว่าการกระจายสัญญาณแบบกลุ่ม (Multicast) โดยผู้ใช้งานมักจะเป็นกลุ่มที่ทำงานร่วมกัน (Collaboration Group) จึงต้องมีการแบ่งกันข้อมูลกันระหว่างกลุ่ม เช่น ในการปฏิบัติการทางทหารในสนามรบ กิจกรรมบันเทิงนอกสถานที่ งานประชุมวิชาการ การกู้ภัยในพื้นที่ประสบภัยเป็นต้น [54]

การทำงานของโพรโทคอลค้นหาเส้นทางแบบนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทง่าย ๆ (ภาพที่ 9 [55]) คือ กลุ่มที่ 1 บนพื้นฐานของโครงสร้างต้นไม้ (Tree-based proposal) โดยมีการแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มย่อยคือแนวทางโครงสร้างต้นไม้โดยอิงจากโหนดต้นทาง (Source-based tree) และโครงสร้างต้นไม้ที่ใช้งานรวมกัน (Shared-based tree) ในการทำงานของ Source-based tree โหนดต้นทาง (source) จะทำการสร้างโครงสร้างต้นไม้ (Single tree) ของตนเองขึ้นมา ส่วนการทำงานของ Shared-based tree โหนดต้นทางทุกโหนด (All sources) จะแบ่งบันโครงสร้างต้นไม้เดียวกันเท่านั้น ซึ่งโครงสร้างต้นไม้เดียวกันนั้นจะถูกควบคุมโดยโหนดเดียวโดยเฉพาะหรืออาจจะมีโหนดอื่นที่ถูกกำหนดมาเป็นพิเศษ แต่ในการทำงานของ tree-based ทั้ง 2 แนวทาง มีข้อเสียคือประการแรก โครงสร้างต้นไม้เสียหายได้ง่าย เพราะการเปลี่ยนแปลงโทโปโลยีที่ไม่สามารถคาดการณ์ได้เนื่องจากการเคลื่อนที่ของโหนด และประการถัดมา คือ ความล่าช้าในการสร้าง tree reconstruction ขึ้นมาใหม่

ดังนั้นจึงมีการนำเสนอวิธีการใหม่ในกลุ่มที่ 2 ซึ่งเรียกว่า แนวทางแบบตาข่าย (Mesh-based proposal) ซึ่งในการทำงานมีความเป็นไปได้ที่จะมีการเตรียมหลายๆ เส้นทาง (Multiple paths) ระหว่างคู่โหนดต้นทางกับโหนดปลายทางใด ๆ (Any source-receiver pair) ในเครือข่าย ตัวอย่างโพรโทคอลในกลุ่มนี้สามารถหาอ่านเพิ่มเติมได้จาก [55]



ภาพที่ 9 *การทำงานของโพรโทคอลค้นหาเส้นทางแบบ Tree-based topology และ Mesh-based topology*

3. บทสรุป

การค้นหาเส้นทางในเครือข่ายแอดฮอคนั้น เป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่งที่มีผลสำเร็จต่อการส่งข้อมูลของโหนดในเครือข่าย ในบทความนี้ได้นำเสนอตั้งแต่วิธีการอย่างง่ายคือการฟลัดดิ้ง จากนั้นจึงนำเสนอวิธีการอื่น ๆ ที่มีวิวัฒนาการขึ้นตามลำดับอีกมาก ซึ่งจะช่วยทำให้ผู้สนใจในโพรโทคอลค้นหาเส้นทางในเครือข่ายประเภทนี้ได้มองเห็นภาพรวมของการหาเส้นทางในเครือข่ายแอดฮอค และเกิดแนวคิดในการนำไปใช้งานหรือเป็นจุดเริ่มต้นในการทำวิจัยด้านเครือข่ายแอดฮอค ในปัจจุบันยังคงมีการทำวิจัยในด้านโพรโทคอลค้นหาเส้นทางในเครือข่ายแอดฮอคนี้อย่างกว้างขวาง และมีโพรโทคอลใหม่ ๆ ที่ถูกคิดค้นขึ้นมา โดยมีหลาย ๆ โพรโทคอลที่ถูกพัฒนาจนนำไปใช้ในสถานการณ์จริงได้

4. เอกสารอ้างอิง

[1] C. S. R. Murthy and B. Manoj, *Ad Hoc Wireless Networks : Architectures and Protocols*, Prentice Hall Communications Engineering and Emerging TechnologiesSeries, Prentice Hall PTR; Special edition, 3 June, 2004.

[2] IEEE 802.3 ETHERNET Working Group, Available online at http://www.ieee802.org/3/

[3] J Schiller, *Mobile Communications* (2nd Edition)Addison Wesley, ISBN-10: 0321123816, 21 September, 2003.

[4] MANET Working Group, IETF, Available online at http://datatracker.ietf.org/wg/manet/charter.

[5] J . Jubin, and J.D Tornow, "The DARPA Packet Radio Network Protocols," *In Proceedings of IEEE*, Vol. 75, No. 1, pp. 21-32, January, 1987.

[6] C. Perkins, E. Belding-Royer, and S. Das, "Ad hoc on-demand distance vector (aodv) routing," RFC 3561, July, 2003,

[7] D. Johnson, Y. Hu and D. Maltz, "The Dynamic Source Routing Protocol (DSR) for Mobile Ad Hoc Networks for IPv4," RFC4728, February, 2007.

[8] H. Zeng, et al., "Efficient Flooding in Mobile Ad Hoc Networks", *Ad Hoc Networks*: *New Research*, Jason N. Turner and Clive S. Boyer (eds.), Nova Science Publishers, 2008.

[9] C. Ho, K. Obraczka, G. Tsudik, and K. Viswanath, "Flooding for Reliable Multicast in Multi-hop Ad Hoc Networks," *in Proc. of the Int'l Workshop on Discrete Algorithms and Methods for Mobile Computing and Communication*, pp. 64-71, 1999.

[10] T. H. Clausen and E. Baccelli, "A simple address autoconfigura-tion mechanism for OLSR [MANET routing protocol]," *in in Proc. of IEEE International Symposium on Circuits and Systems*, (*ISCAS 2005*), pp. 2971-2974, 23-26 May, 2005.

[11] S. Ni, Y. Tseng, Y. Chen, and J. Sheu, "The broadcast storm problem in a mobile ad hoc network," *Proc. of ACM/IEEE MOBICOM*'99, pp. 151-162, August, 1999.

[12] S. L. Wu, et al., Route Maintenance in a Wireless Mobile Ad Hoc Network, Telecommunication Systems 18:1–3, 61–84, 2001 Kluwer Academic Publishers.

[13] C. Perkins and I. Chakeres, "Dynamic MANET On-demand (AODVv2) Routing," draft-ietf-manet-dymo-22, 12 March, 2012.

[14] G.Vijaya Kumar et. al., "Current Research Work on Routing Protocols for MANET: A Literature Survey," (IJCSE) *International Journal on Computer Science and Engineering* Vol. 02, No. 03, 706-713, 2010.

[15] M. Maleki and M. Pedram, "Power-Aware On-Demand Routing Protocols for Mobile Ad Hoc Networks," University of Southern California, Los Angeles, CA, USA.

[16] C. E. Perkins, *Ad Hoc Networking*, Addison Wesley, 2001.

[17] T. Clausen, P. Jacquet, "Optimized Link State Routing Protocol," RFC3626, Available online at http://www.ietf.org/rfc/rfc3626.txt, 2003

[18] R. Ogier, F. Templin, and M. Lewis. "Topology Dissemination Based on Reverse- Path Forwarding (TBRPF)," RFC3684, February, 2004.

[19] E. Mahdipour, A.M. Rahmani, E. Aminian, "Performance Evaluation of Destination-Sequenced Distance-Vector (DSDV) Routing Protocol," *IEEE International Conference on Future Networks*, March, pp. 186-190, 2009.

[20] D. Ravilla, V.Sumalatha and C. S. R. Putta, "HYBRID ROUTING PROTOCOLS FOR AD HOC WIRELESS NETWORKS," *International Journal of Ad hoc, Sensor & Ubiquitous Computing* (IJASUC) Vol.2, No.4, December, 2011.

[21] Z. J. Haas, M. R. Pearlman and P. Samar, "The Zone Routing Protocol (ZRP) for Ad Hoc Internet Draft," draft-ietf-manet-zone-zrp-04, July, 2002.

[22] T. Hamma et al. "An Efficient ZHLS Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks," *Proc. of DEXA Workshops*, pp. 66–70 2006.

[23] V. Ramasubramanian, Z. J. Haas and E. G. Sirer, "SHARP: A Hybrid Adaptive Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks," *In Proceedings of the ACM Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing* (Mobihoc), June, 2003.

[24] F.Jaddi, B. Paillassa "Mobility and density self-adaptative routing strategies in adhoc Networks," *3rd IEEE International Conference on Mobile Ad Hoc and Sensor Systems*, LOCAN, Vancouver, Canada, 9-12 October, 2006.

[25] C.C. Chiang, "Routing in Clustered Multihop, Mobile Wireless Networks with Fading Channel," *Proc. IEEE SICON*'97, pp. 197-211, April, 1997.

[26] F. Jaddi and B. Paillassa, "An Adaptive Hierarchical Extension of the DSR: the Cluster Source Routing," *In: Journal of Universal Computer Science*, John Wiley and Sons, Special Issue of the Journal of Universal Computer Science Vol. 13 N. 1, (2007).

[27] R. Sivakumar, P. Sinha and V. Bharghavan, "CEDAR: a Core-Extraction Distributed Ad hoc Routing algorithm," *IEEE Journal on Selected Areas in Communication*, Vol. 17, No. 8, August, 1999.

[28] Z. Shi, Z. Pu and Z. Qin-Yu, "A Routing Protocol Based on Energy Aware in Ad Hoc Networks," *Information Technology Journal*, 9: 797-803, 2010.

[29] S. Nirisha, "Reception-aware routing for energy conservation in ad hoc networks," *Proceedings of the 27th International Conference on Distributed Computing Systems Workshops*, 22-29 June, 2007.

[30] F. Yu, et al. "A new tora-based energy aware routing protocol in mobile ad hoc networks," *Proceedings of 3rd IEEE/IFIP International Conference in Central Asia on Internet*, 26-28 September, 2007.

[31] C.-K.Toh, "Maximum battery life routing to support ubiquitous mobile computing in wireless ad hoc networks," *IEEE Communications Magazine* 39, pp. 138–147, 2001.

[32] J. J. Kim et al., "Power-Aware Routing Based on the Energy Drain Rate for Mobile Ad Hoc Networks," Proc. 11th Intl. Conf. Comp. Comm. Netw., 2002, pp. 565-569.

[33] S. Yan, "EFFICIENT GREEDY-FACE-GREEDY GEOGRAPHIC ROUTING PROTOCOLS IN MOBILE AD HOC AND SENSOR NETWORKS" (2012). Theses and Dissertations-Computer Science.Paper 3. http://uknowledge.uky.edu/cs_etds/3.

[34] S. Capkun, M. Hamdi, and J. Hubaux. "Gps-free positioning in mobile ad hoc networks," *In Hawaii International Conference on System Science* (*HICSS*), January, 2001.

[35] J. Hightower and G. Borriello. Location systems for ubiquitous computing. Computer, 34(8):57–66, August, 2001.

[36] Comparison/survey of different geocasting protocols, Reno_Group1_Geocast.pdf.

[37] E. Kranakis, H. Singh, and J. Urrutia, "Compass routing on geometric networks," *In 11th Canadian Conference on Computational Geometry: an Introduction*, pp. 51–54, 1999.

[38] B. Stefano et al., "A distance routing effect algorithm for mobility (DREAM)," *International Conference on Mobile Computing and Networking Proceedings of the 4th annual ACM/IEEE*, New York: ACM Press. pp. 76–84, 1998.

[39] Y. B. Ko and N. H. Vaidya, "Location-aided routing (LAR) in mobile ad hoc networks," *Journal Wireless Networks* Vol. 6 Iss. 4, pp. 307 - 321, Kluwer Academic Publishers, July, 2000.

[40] B. Paillassa, C. Yawut and R. Dhaou, "Network Awareness and Dynamic Routing: The Ad hoc Network Case," Computer Networks, Elsevier, Vol. 55 No. 9, pp. 2315-2328, March, 2011.

[41] Damianos Gavalas et al, "Mobility Prediction in Mobile Ad Hoc Networks," *Encyclopedia of Next Generation Networks and Ubiquitous Computing*, Editor: Samuel Pierre.

[42] R. Dube, et al., "Signal stability-based adaptive routing (SSA) for ad-hoc mobile networks," *IEEE Personal Communications*, Febuary, 1997.

[43] J. Haerri, F. Filali, and C. Bonnet, "On the application of mobility predictions to multipoint relaying in manets : kinetic multipoint relays," *AINTEC 2005, Asian Internet Engineering Conference*, Bangkok, Thailand, December 2005.

[44] W. Su, S.-J. Lee, and M. Gerla, "Mobility prediction in wireless networks," *Proc. of IEEE MILCOM 2000*, October 2000.

[45] Philipp Becker, QoS Routing Protocols for Mobile Ad-hoc Networks A Survey Technical Report 368/08, University of Kaiserslautern, 6. August 2007.

[46] Shigang Chen and Klara Nahrstedt, "A Distributed Quality-of-Service Routing in Ad-Hoc Networks," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 17(8), August 1999.

[47] S.-J. Lee and M. Gerla, "Dynamic load-aware routing in ad-hoc networks," *Proc. IEEE ICC 01*, pp. 3206-3210, 2001.

[48] H. Hassanein and A. Zhou, "Routing with load balancing in wireless ad-hoc networks," *Proc. ACM MSWiM*, pp. 89-96, 2001.

[49] X. Wang, S. Tagashira, and S. Fujita, "FDAR : A load-balanced routing scheme for mobile ad-hoc networks," *6th International Conference*, ADHOC-NOW 2007, 24-26 September, 2007.

[50] S. Mueller, R. P. Tsang, and D. Ghosal, "Multipath Routing in Mobile Ad Hoc Networks Issues and Challenges," *In Performance Tools and Applications to Networked Systems*, 2004.

[51] Lee, S.-J., Gerla, M.: Split Multipath Routing with Maximally Disjoint Paths in Ad Hoc Networks. *IEEE International Conference on Communications*, Vol. 10, 2001.

[52] M.K. Marina, and S.R. Das, "On-demand Multipath Distance Vector Routing in Ad Hoc Networks", *Proceedings of the International Conference for Network Procotols*, 2001.

[53] I. S. Ibrahim, A. Etorban and P. J.B King, "Multipath Distance Vector Zone Routing Protocol for Mobile Ad-Hoc Networks MDVZRP", *The 9th Annual Postgraduate Symposium* (PG NET), 23rd-24th June 2008.

[54] N. Meghanathan, "Survey of Topology-based Multicast Routing Protocols for Mobile Ad hoc Networks", *International Journal of Communication Networks and Information Security* (IJCNIS) Vol. 3, No. 2, August, 2011.

[55] M. A. Ali and A. EL-SAYED, and I. Z. MORSI, "A Survey of Multicast Routing Protocols for Ad-Hoc Wireless Networks", *Minufiya Journal of Electronic Engineering Research* (MJEER), Vol. 17, No. 2, July 2007.