บทที่ 2
วิศวกรรมจราจรในระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์

2.1 ระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์

ระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์นั้น สามารถจำแนกตามขนาดการใช้งานได้ 2 ประเภท คือ

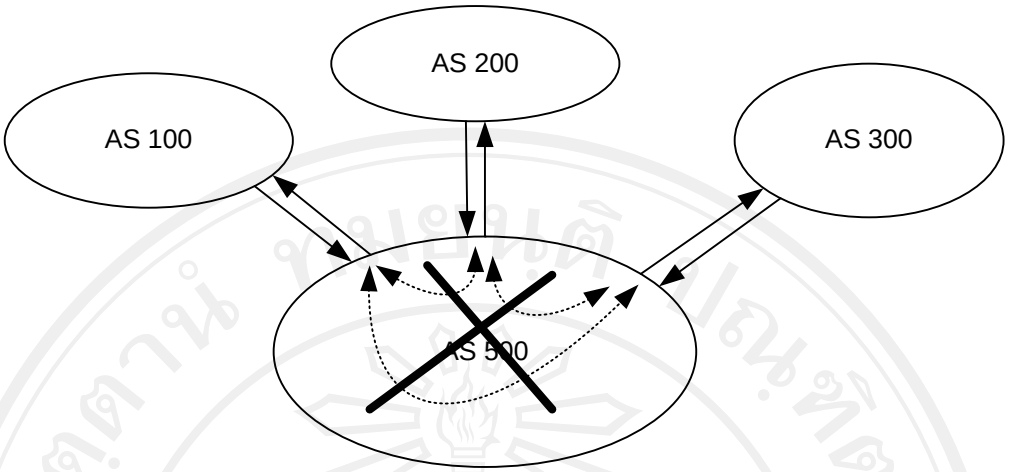
1) อินเทอร์เน็ต (Internet) อินเทอร์เน็ตเป็นเครือข่ายสาธารณะที่ครอบคลุมไปทั่วโลก มีคอมพิวเตอร์เป็นล้านๆ เครื่องเชื่อมต่อเข้ากับระบบ มีผู้ใช้งานทั่วโลกหลายพันล้านคน ไม่มีผู้ใดหรือองค์กรใดองค์กรหนึ่งเป็นเจ้าของอย่างแท้จริง การเชื่อมต่อเข้ากับอินเทอร์เน็ตต้องเชื่อมต่อผ่านผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ต (Internet Service Provider: ISP) เนื่องจากอินเทอร์เน็ตเป็นเครือข่ายสาธารณะ โดยทั่วไปจะมีการทำงานตามการเชื่อมต่อระหว่างระบบเปิด (Open System Interconnection: OSI Layer) ตั้งแต่ชั้นที่ 3 จนถึงชั้นที่ 7

2) อินทราเน็ต (Intranet) เป็นเครือข่ายที่ใช้ภายในองค์กรหรือหน่วยงานโดยจะมีการจราจรที่มีความเร็วสูงมาก โดยมีการทำงานตามการเชื่อมต่อระหว่างระบบเปิด ตั้งแต่ชั้นที่ 1 จนถึงชั้นที่ 7 การใช้งานของข้อมูลจะอยู่เฉพาะภายในอินทราเน็ตเท่านั้น แต่ก็สามารถแลกเปลี่ยนข้อมูลกับภายนอกหรืออินเทอร์เน็ตได้ นอกจากนั้นยังมีการควบคุมการแลกเปลี่ยนข้อมูลตามนโยบายขององค์กรหรือหน่วยงานนั้นๆ ระหว่างอินทราเน็ตกับอินเทอร์เน็ตควรจะมีระบบรักษาความปลอดภัยโดยใช้ เช่น ไฟร์วอลล์ (Firewall) ทำหน้าที่ป้องกันการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างอินทราเน็ตและอินเทอร์เน็ตด้วย

2.1.1 โดเมนของระบบอัตโนมัติ (AS Domain)

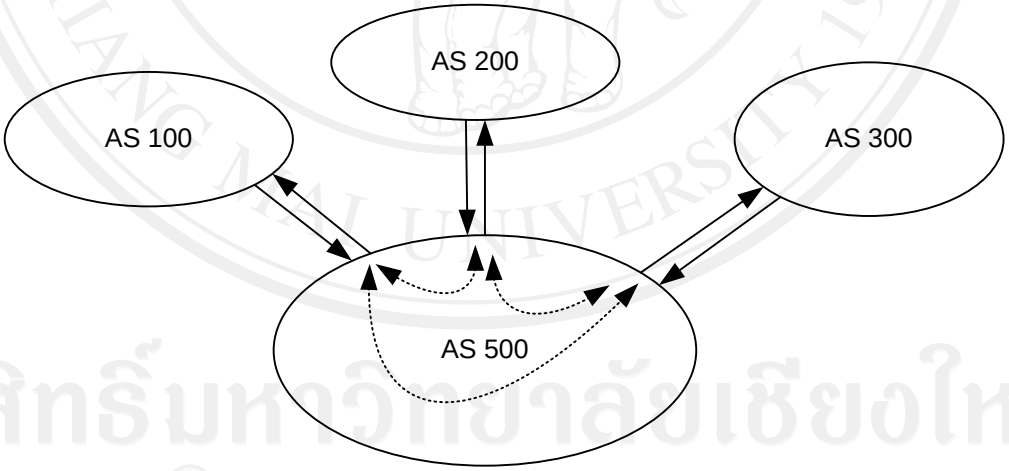
โดเมนระบบอัตโนมัติมี 2 ประเภท คือ โดเมนสตับ และโดเมนส่งผ่าน โดเมนสตับจะเป็นโดเมนที่รับหรือส่งกลุ่มข้อมูลไอพี (IP Packet) กับผู้ให้บริการ โดยการทำงานของการรับกลุ่มข้อมูลไอพีจากผู้ให้บริการ หรือการจราจรไหลเข้าจะทำงานด้วยการเป็นจุดกำเนิดของการประกาศเส้นทาง (Route Advertisement) ของตัวเองออกไปยังผู้ให้บริการ ส่วนการส่งกลุ่มข้อมูลไอพีออกไปยังผู้ให้บริการ หรือการจราจรไหลออกจะทำงานด้วยการรับเส้นทาง (Route Receiving) จากผู้ให้บริการ ในโดเมนสตับนี้จะไม่ประกาศเส้นทางที่เรียนรู้มาจากผู้ให้บริการหนึ่งออกไปยังผู้ให้บริการหนึ่งเด็ดขาดเพื่อป้องกันการใช้แบนด์วิดท์ของโดเมนสตับเป็นทางผ่านดังแสดงในรูปที่ 2.1 โดยทั่วไปโดเมนสตับจะเชื่อมต่อกับผู้ให้บริการมากกว่าหนึ่งผู้ให้บริการ ด้วยเหตุผลที่ว่าต้องการเพิ่มความสามารถที่จะใช้บริการอินเทอร์เน็ตได้ดีที่สุด เช่น เมื่อผู้ให้บริการหนึ่งขัดข้องก็ยังสามารถที่จะใช้บริการของผู้ให้บริการอีกรายหนึ่งได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2.1 โดเมนสตับ

โดเมนส่งผ่านคือโดเมนที่ยอมให้มีการไหลผ่านการจราจรจากโดเมนหนึ่งผ่านไปอีกโดเมนหนึ่ง คือ ยอมให้เป็นเส้นทางผ่าน ดังนั้นโดเมนส่งผ่านจะรับเส้นทางจากผู้ให้บริการหนึ่งแล้วส่งไปยังผู้ให้บริการอื่นๆ ที่ตัวมันเองเชื่อมอยู่ จึงทำให้การจราจรไหลผ่านจากผู้ให้บริการหนึ่งทะลุผ่านไปยังผู้ให้บริการรายอื่นๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 โดเมนส่งผ่าน

2.1.2 อุปกรณ์ในระบบเครือข่าย

อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบเครือข่ายจะทำหน้าที่รับส่งข้อมูลในเครือข่าย โดยอุปกรณ์จะต้องทำงานตามมาตรฐานการเชื่อมต่อระหว่างระบบเปิดกำหนด เพื่อให้สามารถสื่อสารกันได้

1) ฮับ (Hub) คืออุปกรณ์ที่ใช้เชื่อมต่อกลุ่มของคอมพิวเตอร์ ทำหน้าที่รับส่งเฟรมข้อมูลที่ได้จากพอร์ตใดพอร์ตหนึ่งไปยังทุกๆพอร์ตที่เหลืออยู่ คอมพิวเตอร์ที่เชื่อมต่อเข้ากับฮับจะ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ใช้แบนด์วิดท์ของเครือข่ายร่วมกัน การส่งข้อมูลแต่ละครั้งจะต้องส่งและรับเฟรมข้อมูลชุดแรกเสร็จสิ้นก่อนจึงจะทำการส่งและรับข้อมูลชุดต่อไปได้

2) สวิตช์ (Switch) คืออุปกรณ์ที่ใช้เชื่อมต่อกลุ่มของคอมพิวเตอร์ ทำหน้าที่รับส่งเฟรมข้อมูล ทำหน้าที่คล้ายฮับแต่มีความฉลาดกว่า นั้นคือสามารถส่งข้อมูลที่ได้รับมาจากพอร์ตหนึ่งไปยังพอร์ตที่เป็นปลายทางเท่านั้น ทำให้คอมพิวเตอร์ที่เชื่อมต่อกับพอร์ตที่เหลือสามารถส่งข้อมูลถึงกันได้ในเวลาเดียวกัน ทำให้อัตราการรับส่งข้อมูลไม่ขึ้นอยู่กับจำนวนคอมพิวเตอร์ที่เชื่อมต่อเข้ากับสวิตช์ คอมพิวเตอร์ทุกเครื่องจะมีแบนด์วิดท์เท่ากับแบนด์วิดท์ของสวิตช์ และไม่มีปัญหาเรื่องการชนกันของข้อมูลในเครือข่าย ซึ่งจะทำงานที่ชั้นที่ 2 ตามมาตรฐานการเชื่อมต่อระหว่างระบบเปิด

3) อุปกรณ์จัดเส้นทาง (Router) คืออุปกรณ์ที่ใช้ในการค้นหาเส้นทางในการส่งข้อมูล โดยจะอ่านที่อยู่ (Address) ของสถานีปลายทางที่ส่วนหัว (Header) ของกลุ่มข้อมูล อุปกรณ์จัดเส้นทางจะมีข้อมูลเกี่ยวกับการจัดเส้นทางให้กับกลุ่มข้อมูล เรียกว่า ตารางการจัดเส้นทาง (Routing Table) และมีกระบวนการโพรโทคอลการจัดเส้นทาง (Routing Protocol) ต่างๆทำงานอยู่ อุปกรณ์จัดเส้นทางนี้จะทำงานที่ชั้นที่ 3 ตามมาตรฐานการเชื่อมต่อระหว่างระบบเปิด

2.2 โพรโทคอลการจัดเส้นทาง

ในมาตรฐานการเชื่อมต่อระหว่างระบบเปิด (OSI Layer) ตามที่ทราบกันดีว่า ได้มีการกำหนดชั้นมาตรฐาน 7 ชั้น เพื่อใช้ในการสื่อสารข้อมูล โดยในชั้นที่ 3 นั้นจะเป็นชั้นเน็ตเวิร์ค (Network Layer) ซึ่งทำงานบนอุปกรณ์จัดเส้นทาง ซึ่งสามารถแบ่งการจัดเส้นทางได้ 2 ประเภท คือ เส้นทางสถิต (Static Route) และเส้นทางพลวัต (Dynamic Route)

เส้นทางสถิตจะเป็นการเส้นทางแบบเปลี่ยนแปลงไม่ได้ โดยผู้ดูแลระบบจะเป็นคนกำหนดเองตามความต้องการ ซึ่งทำได้แบบตรงไปตรงมาไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ ดังนั้นเมื่อเส้นทางที่ผู้ดูแลระบบกำหนดเกิดขัดข้องแม้ว่าจะมีเส้นทางสำรองอีกเส้นทางหนึ่งอุปกรณ์จัดเส้นทางไม่สามารถที่จะเปลี่ยนมาใช้งานในเส้นทางนี้เองได้ ต้องรอผู้ดูแลระบบมาเปลี่ยนแปลงแก้ไขให้เท่านั้น ส่วนเส้นทางพลวัตจะเป็นเส้นทางที่ปรับเปลี่ยนได้ ซึ่งจะใช้โพรโทคอลการจัดเส้นทางเป็นตัวหาเส้นทาง ดังนั้นอุปกรณ์จัดเส้นทางจะสามารถเปลี่ยนเส้นทางเองได้ โดยทั่วไปโพรโทคอลการจัดเส้นทางที่ใช้จะขึ้นอยู่กับชนิดของการจราจร เช่น การจราจรยูนิแคสต์จะใช้โพรโทคอลการจัดเส้นทางยูนิแคสต์ (Unicast Routing Protocol) เช่น OSPF, iBGP, eBGP ส่วนการจราจรมัลติแคสต์จะใช้โพรโทคอลการจัดเส้นทางมัลติแคสต์ (Multicast Routing Protocol) เช่น MOSPF, MBGP

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เป็นต้น ซึ่งทฤษฎีที่ใช้จะเกี่ยวข้องกับโพรโทคอลการจัดเส้นทาง BGP, MBGP การจัดเส้นทางมัลติแคสต์ (Multicast Routing) หลักการวิศวกรรมการจราจรและอื่นๆ

2.2.1 โพรโทคอลเกตเวย์ขอบเขต (Border Gateway Protocol: BGP)

ปัจจุบัน BGP เป็นเวอร์ชัน 4 กำหนดใน RFC 1771 ซึ่งมีประกาศในเดือนมีนาคม ค.ศ. 1995 ทำงานโดยการแลกเปลี่ยนสารสนเทศเครือข่ายระหว่างโดเมนหรือระบบอัตโนมัติโดยใช้พอร์ต TCP 179 เพื่อใช้ในการเพียริงระหว่างสถานีเชื่อมโยง BGP ถูกสร้างให้รองรับการจัดเส้นทางแบบยูนิแคสต์และแบบมัลติแคสต์ BGP จะมีตารางการจัดเส้นทางเป็นของตัวเองไม่เกี่ยวกับตารางการจัดเส้นทาง (Routing Table) ของอุปกรณ์จัดเส้นทางที่ใช้ในการส่งกลุ่มข้อมูลไอพี (Forward IP Packet)

บีจีพีเนเบอร์ (BGP Neighbors)

เป็นการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์จัดเส้นทางบีจีพี 2 ตัว เพื่อแลกเปลี่ยนสารสนเทศ โดยก่อนที่การจัดเส้นทางจะทำการปรับนั้น อุปกรณ์จัดเส้นทางจะสร้างเนเบอร์ก่อน แล้วหลังจากนั้นจึงจะทำการแลกเปลี่ยนสารสนเทศบีจีพี

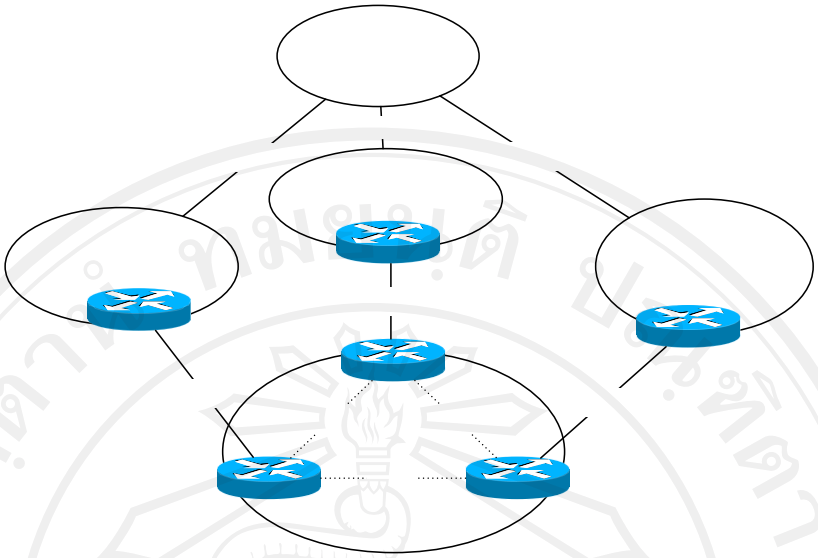
รูปแบบบีจีพีของความสัมพันธ์เพียริง (BGP Forms of Peering Relationships)

อุปกรณ์จัดเส้นทางบีจีพีจะสามารถสร้างสร้างเนเบอร์ได้ 2 ประเภท คือ

iBGP เป็นการเพียริงระหว่างบีจีพีเนเบอร์ที่อยู่ภายในระบบอัตโนมัติเดียวกัน โดยการเพียริงระหว่าง บีจีพีเนเบอร์จะสามารถเชื่อมถึงกันโดยตรงหรืออาจผ่านโพรโทคอลเกตเวย์ภายใน (Interior Gateway Protocol: IGP) OSPF, EIGRP เป็นต้น การเพียริงภายในระบบอัตโนมัติเดียวกันนี้จะต้องเพียริงเป็นแบบถึงกันหมดเพื่อป้องกันการวนซ้ำการจัดเส้นทาง (Routing Loop)

eBGP เป็นการเพียริงระหว่างบีจีพีเนเบอร์ที่มีเลขระบบอัตโนมัติแตกต่างกัน จากรูปที่ 2.3 ทุกอุปกรณ์จัดเส้นทางที่อยู่ในระบบอัตโนมัติ 500 จะสื่อสารไอบีจีพีระหว่างกัน และจะสื่อสารอีบีจีพีกับอุปกรณ์จัดเส้นทางที่อยู่ในระบบอัตโนมัติแตกต่างกัน

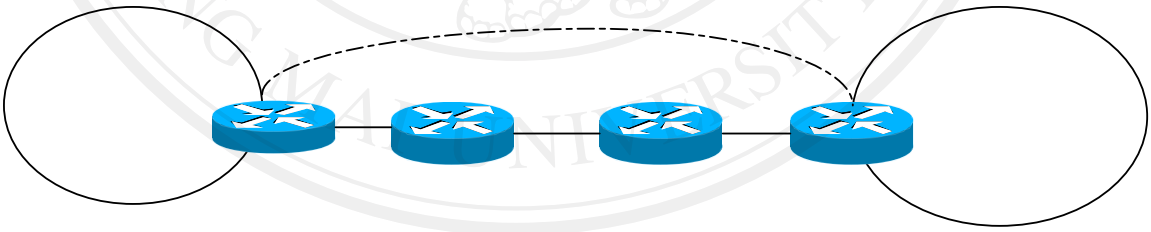
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2.3 การเพียริงไอบีจีพี และอีบีจีพี

อีบีจีพีมัลติฮอป (eBGP Multihop)

การเพียริงระหว่าง eBGP ที่ไม่สามารถจะเชื่อมต่อได้โดยตรงนั้น จำเป็นที่จะต้องทำอีบีจี-พีมัลติฮอป และก่อนที่จะทำอีบีจีพีมัลติฮอปได้นั้น จะต้องให้อุปกรณ์จัดเส้นทางสื่อสารผ่านเส้นทางสถิตหรือเส้นทางพลวัตให้ได้ก่อนดังในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 อีบีจีพีมัลติฮอป

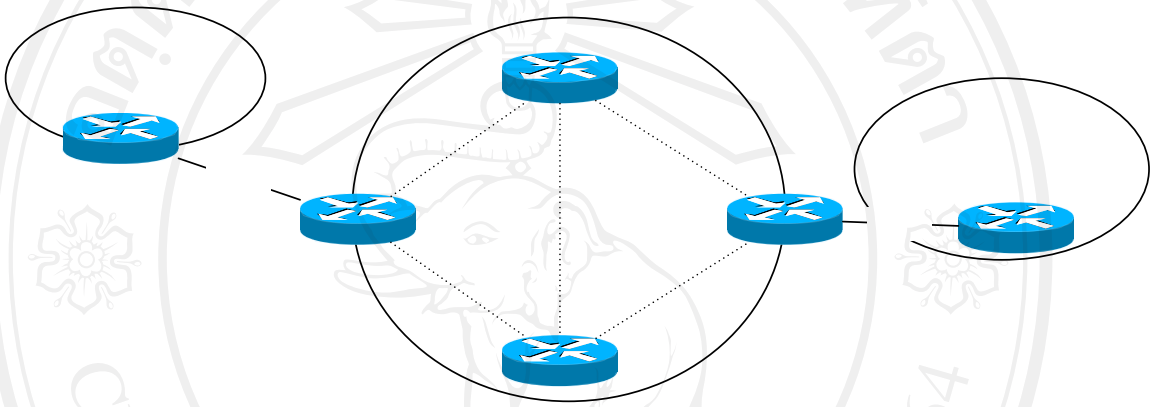
ระยะบริหารบีจีพี (BGP Administrative Distance)

ระยะบริหาร (Administrative Distance) คือ ตัวเลขที่อยู่ในตารางการจัดเส้นทางเพื่อใช้ในการตัดสินใจเลือกว่า จะใช้การจัดเส้นทางใดในการส่งกลุ่มข้อมูลไปยังปลายทาง ตัวเลขระยะบริหารที่น้อยที่สุด จะถูกเลือกใช้ในการส่งกลุ่มข้อมูลไปยังปลายทาง สำหรับบีจีพีนั้นมีสองค่า โดยที่ eBGP จะมีเลขระยะบริหารเท่ากับ 20 ส่วน iBGP จะมีเลขระยะบริหารเท่ากับ 200

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การประสานเวลาบีจีพี (BGP Synchronization)

การประสานเวลาบีจีพีจะเป็นผลให้การจัดเส้นทางภายในระบบอัตโนมัติและนอกระบบอัตโนมัติไม่ประกาศเส้นทางออกไป จนกว่า IGP ภายในระบบอัตโนมัติจะทำการปรับเส้นทางภายในถึงกันหมดก่อน ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ระบบอัตโนมัติ 10 และ ระบบอัตโนมัติ 30 จะยังไม่มีการจัดเส้นทางระหว่างกัน และจะยังไม่ทราบการจัดเส้นทางภายในระบบอัตโนมัติ 20 จนกว่าการจัดเส้นทางภายในระบบอัตโนมัติ 20 จะเรียนรู้เส้นทางผ่าน IGP กันก่อน



รูปที่ 2.5 การประสานเวลาบีจีพี

ลักษณะประจำของบีจีพี (BGP Attributes)

องค์ประกอบที่มีผลในการจัดหาเส้นทางของ BGP นั้น จะพิจารณาจากลักษณะประจำ (Attributes) ซึ่งจะประกอบไปด้วยดังนี้

1) ลักษณะประจำเนกต์ฮอป (Next Hop Attribute) คือ เลขที่อยู่ไอพี (IP Address) ของอีบีจีพีถัดไปที่ใช้เดินทางไปยังปลายทาง

2) ลักษณะประจำโลคอลพรีเฟอเรนซ์ (Local Preference Attribute) จะเป็นการเลือกว่าเส้นทางใดจะถูกเลือกใช้เป็นเส้นทางออกจากระบบอัตโนมัติ โดยที่เลขโลคอลพรีเฟอเรนซ์สูงกว่าจะถูกเลือกเป็นเส้นทางที่ใช้ออกจากระบบอัตโนมัติ

3) ลักษณะประจำจุดกำเนิด (Origin Attribute) เป็นลักษณะประจำที่ใช้บ่งบอกข้อมูลต้นทางว่าเป็น ไอบีจีพี อีบีจีพี หรือไม่สมบูรณ์ (Incomplete)

4) ลักษณะประจำเส้นทางเลขระบบอัตโนมัติ (AS Path Attribute) จะแสดงเลขระบบอัตโนมัติของแต่ละเส้นทางที่ใช้เดินทางไปยังปลายทาง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

5) ลักษณะประจำตัววัด (MED Attribute) คือ ค่าตัววัด (Metric) ที่ใช้บอกอีบีจีพีเนเบอร์ว่าเส้นทางใดจะใช้ในการเดินทางมายังระบบอัตโนมัติเมื่อมีหลายเส้นทางที่สามารถจะเดินทางมายังระบบอัตโนมัตินี้

6) ลักษณะประจำคอมมิวนิตี (Community Attribute) เป็นลักษณะประจำที่อุปกรณ์จัดเส้นทางบีจีพี 2 ตัวใช้ในการสื่อสารแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างกัน

กระบวนการตัดสินบีจีพี (BGP Decision Process)

โดยปกติในกรณีที่มีเส้นทางที่จะไปยังปลายทางมากกว่าหนึ่งเส้นทาง BGP จะทำการเลือกเส้นทางที่ดีที่สุดเพียงเส้นทางเดียว หลังจากนั้นจะนำเส้นทางนี้มาใส่ในตารางการจัดเส้นทาง อุปกรณ์จัดเส้นทางจะส่งกลุ่มข้อมูลตามเส้นทางที่เลือกจากตารางการจัดเส้นทางเท่านั้น

ในการเลือกเส้นทางที่มีปลายทางที่เดียวกันแต่มีเส้นทางมากกว่าหนึ่ง บีจีพีจะพิจารณาเรียงลำดับจากบนลงล่างดังนี้

1. ถ้าเส้นทางนั้นไม่สามารถไปยังเนกต์ฮอปได้ จะไม่เลือกเส้นทางนี้
2. จะเลือกเส้นทางที่มีโลคอลพรีเฟอเรนซ์สูงกว่า
3. ถ้าโลคอลพรีเฟอเรนซ์เท่ากัน จะเลือกเส้นทางที่มีความยาวเส้นทางที่สั้นที่สุด
4. ถ้าความยาวเส้นทางเท่ากัน จะเลือกเส้นทางที่มีจุดกำเนิดต่ำกว่า
5. เลือกเส้นทางที่มีค่าตัววัดที่ต่ำกว่า
6. เลือก IGP ที่มีตัววัดที่จะไปยังเนกต์ฮอปที่ต่ำกว่า
7. สุดท้ายจะเลือกเส้นทางที่มีค่าไอดีอุปกรณ์จัดเส้นทางบีจีพี (BGP Router ID) ที่ต่ำกว่า

หลังจากที่บีจีพีพิจารณาเลือกเส้นทางแล้วจะใส่เครื่องหมาย “>” ข้างหน้าเส้นทางที่ถูกเลือก

การกรองเส้นทาง (Route Filter)

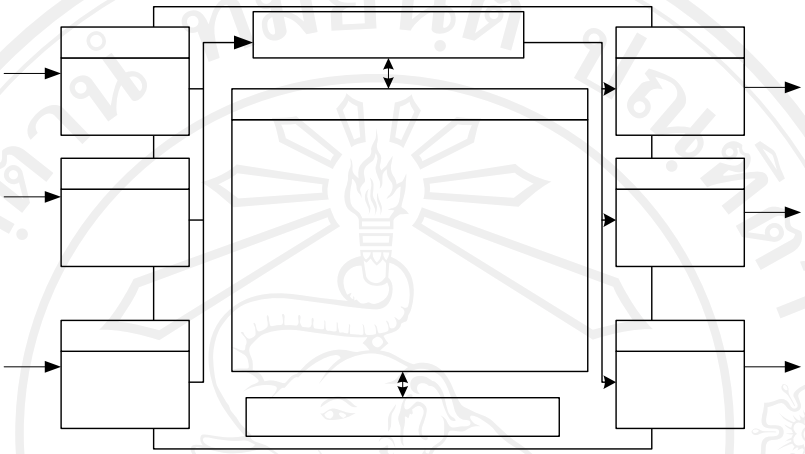
การกรองเส้นทางสามารถทำได้ 2 ประเภท

1. การกรองพรีฟิกบีจีพี (BGP Prefix Filter) เป็นการกรองเส้นทางที่ไหลเข้าออกไปยังเนเบอร์ โดยพิจารณาจากเส้นทางพรีฟิก (Prefix Route) เช่น กรองเน็ตเวิร์ค 202.28.28.0 ตัวพราง (Mask) เป็น 255.255.252.0
2. การกรองเส้นทางระบบอัตโนมัติบีจีพี (BGP AS Path Filter) เป็นการกรองเส้นทางที่พิจารณาจากเลขระบบอัตโนมัติ เช่น กรองเส้นทางที่มีเลขระบบอัตโนมัติเป็น 200

จากรูปที่ 2.6 จะเป็นการแสดงขั้นตอนการทำงานของอุปกรณ์จัดเส้นทางบีจีพี โดยเริ่มตั้งแต่การรับเส้นทางที่ไหลเข้ามายังอุปกรณ์จัดเส้นทางบีจีพี กรองเส้นทางที่ได้รับมาจากเนเบอร์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สร้างตารางการจัดเส้นทางบีจีพี ผ่านกระบวนการตัดสินบีจีพี เพื่อพิจารณาเส้นทาง แล้วจึงนำไปใส่ในตารางเส้นทางที่ใช้ในการส่งกลุ่มข้อมูลไอพี ขณะเดียวกันจะส่งเส้นทางบีจีพีที่มีอยู่ออกไปยังเนเบอร์ ผ่านขั้นตอนการกรองเส้นทางเช่นกัน



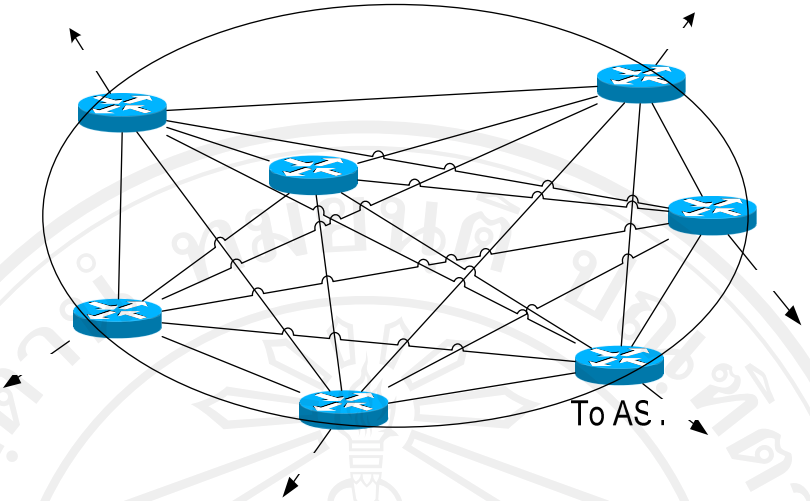
รูปที่ 2.6 การทำงานของอุปกรณ์จัดเส้นทางบีจีพี

การสะท้อนเส้นทางบีจีพี (BGP Route Reflectors: RR)

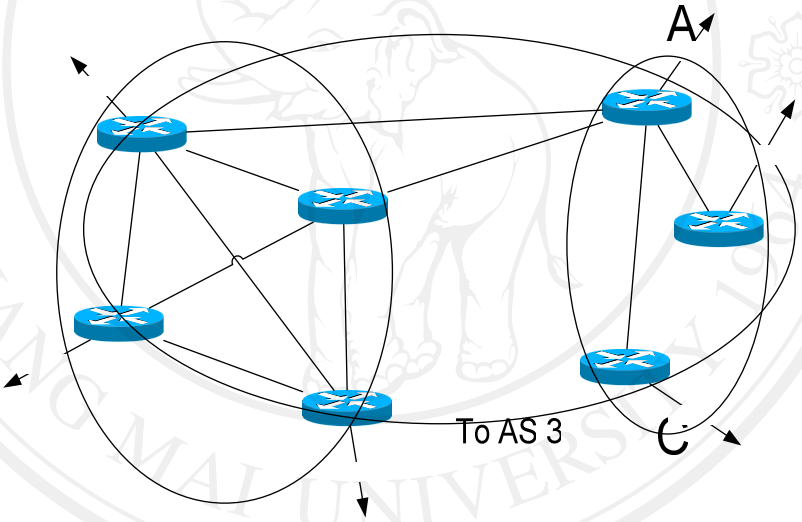
ภายในระบบอัตโนมัติบีจีพี BGP จะเพียริงกันในรูปแบบ iBGP ซึ่งการเพียริงนั้นจะต้องทำถึงกันหมด ดังแสดงในรูปที่ 2.7 เพื่อป้องกันการวนซ้ำการจัดเส้นทาง หรือเส้นทางอาจจะไปไม่ถึง ดังนั้นถ้าหากมีอุปกรณ์จัดเส้นทางบีจีพีจำนวนมาก การเพียริงก็จะมากตาม เช่น มีจำนวนอุปกรณ์จัดเส้นทางบีจีพีจำนวน N ตัว จะต้องเพียริงเป็น $(N-1)!$ วิธีแก้ปัญหาที่จะลดจำนวนเพียริงทำได้โดยทำการสะท้อนเส้นทาง

การสะท้อนเส้นทางจะต้องมีอุปกรณ์จัดเส้นทางที่ถูกเลือกให้เป็นตัวสะท้อนเส้นทางหรือ RR เพื่อให้บริการอุปกรณ์จัดเส้นทางลูกข่าย (Client) โดย RR จะมีหน้าที่สะท้อนเส้นทางไปยังอุปกรณ์จัดเส้นทางลูกข่ายที่อยู่ภายในระบบกลุ่ม (Cluster) เดียวกันดังในรูปที่ 2.8

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2.7 การเชื่อมต่อ iBGP แบบถึงกันหมด



รูปที่ 2.8 การเชื่อมต่อ iBGP โดยวิธีการสะท้อนเส้นทาง

G

To AS 4 D

2.2.2 โพรโทคอลการจัดเส้นทางมัลติแคสต์ (Multicast Routing Protocol)

ในระบบเครือข่ายนั้น มีระบบการใช้งานเลขที่อยู่ไอพี (IP Address) ออกเป็นสามแบบหลักๆ พื้นฐาน ดังต่อไปนี้

1) ยูนิแคสต์ เป็นการส่งกลุ่มข้อมูลจากต้นทางหนึ่ง ไปยังปลายทางหนึ่งเพียงปลายทางเดียว โดยที่อุปกรณ์จัดเส้นทางนั้น จะค้นหา IP ปลายทางมาจากตารางการจัดเส้นทาง และสวิตซ์จะทำการค้นหาปลายทางจาก MAC Address

To AS1

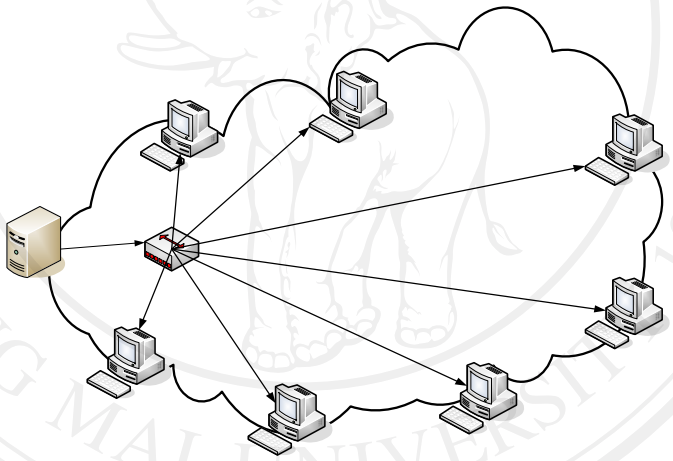
A

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2) แบบแพร่สัญญาณ (Broadcast) เป็นกลุ่มของที่อยู่ข้อมูลจากต้นทาง ถูกส่งไปยังปลายทางทุกๆ กลุ่มของเครื่องลูกข่ายที่มีที่อยู่ คือ 255.255.255.255 หรือจะเป็น กลุ่มทั้งหมดของแต่ละเครือข่ายย่อย (Sub net) เช่น 192.168.1.255

3) มัลติแคสต์ เป็นการส่งกลุ่มข้อมูลจากต้นทางหนึ่งไปยังกลุ่มปลายทางพิเศษ โดยที่กลุ่มปลายทางพิเศษนั้นเป็นการแทนถึงกลุ่มของเครื่องลูกข่ายใดๆ ที่ต้องการรับข้อมูลเฉพาะในกลุ่มเท่านั้น โดยอุปกรณ์จัดเส้นทางจะไม่ส่งข้อมูลโดยเด็ดขาดหากยังไม่มีการจัดเส้นทางยูนิแคสต์ และการจัดเส้นทางมัลติแคสต์ก่อน

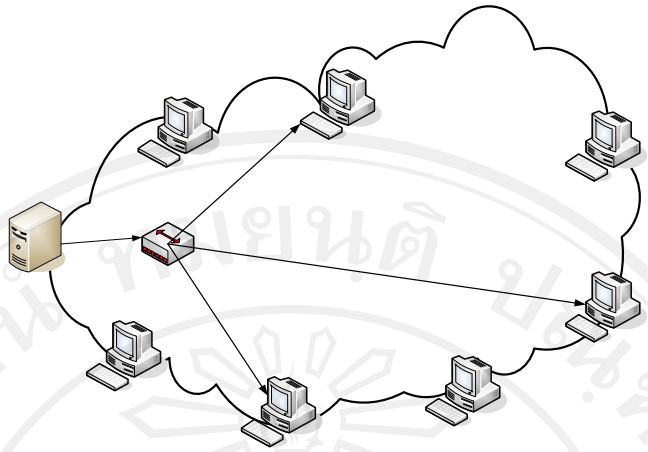
การส่งข้อมูลแบบมัลติแคสต์เป็นการส่งข้อมูลไปยังกลุ่มของผู้รับ ซึ่งจะแตกต่างกับการส่งข้อมูลแบบยูนิแคสต์และแบบแพร่สัญญาณ การส่งข้อมูลแบบยูนิแคสต์จะมีผู้รับเพียงผู้เดียว ส่วนการส่งข้อมูลแบบแพร่สัญญาณ ผู้รับจะเป็นทุกตัวที่รับสัญญาณ เช่น การส่งเสียงผ่านวิทยุจะมีผู้รับเป็นกลุ่มผู้ฟังที่เปิดสถานีวิทยุดังแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 การส่งข้อมูลแบบแพร่สัญญาณ

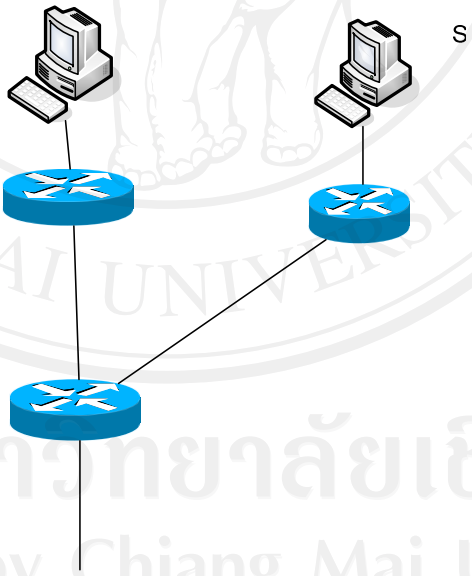
การส่งข้อมูลแบบมัลติแคสต์จะเป็นการส่งข้อมูลไปยังกลุ่มผู้รับที่ต้องการจะดูข้อมูลเท่านั้น โดยจะประกอบด้วยต้นทางของข้อมูลใช้สัญลักษณ์เป็น S และกลุ่มของข้อมูลใช้สัญลักษณ์เป็น G ดังแสดงในรูปที่ 2.10

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2.10 การส่งข้อมูลแบบมัลติแคสต์

การไหลของข้อมูลมัลติแคสต์จะไหลจากต้นทางเข้ามายังตัวต่อประสานขาขึ้น (Upstream Interface) ไปยังปลายทาง โดยจะออก ณ จุดตัวต่อประสานขาลง (Downstream Interface) ของอุปกรณ์จัดเส้นทาง ดังแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 การไหลของการจราจรมัลติแคสต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เลขที่อยู่มัลติแคสต์ (Multicast Addressing) จะถูกสงวนไว้ใน Class D ตั้งแต่ 224.0.0.0 จนถึง 239.255.255.255 โดยสามารถแบ่งประเภทได้ ดังนี้

1) เลขที่อยู่บริเวณเฉพาะที่ของลิงค์ (Link Local Address) จะมีเลขที่อยู่ คือ 224.0.0.0 จนถึง 224.0.0.255 เป็นการกำหนดที่อยู่ให้กับกลุ่มของตน ซึ่งอุปกรณ์จัดเส้นทางจะไม่ส่งกลุ่ม

ข้อมูลของเลขที่อยู่นี้ออกไปข้างนอกกลุ่ม เช่น 224.0.0.1 คือ ทุกอุปกรณ์จัดเส้นทางที่อยู่ใน Segment เดียวกัน 224.0.0.5 คือ ทุกอุปกรณ์จัดเส้นทาง OSPF เป็นต้น

2) เลขที่อยู่ในขอบเขตของผู้ดูแล (Administratively Scoped Address) จะมีเลขที่อยู่ คือ 239.0.0.0 จนถึง 239.255.255.255 เป็นเลขที่อยู่มัลติแคสต์ส่วนตัว (Private Multicast Address) ใช้สำหรับในโดเมนบริเวณเฉพาะที่ (Local Domain)

3) เลขที่อยู่ขอบเขตทั้งหมด (Globally Scoped Address) จะมีเลขที่อยู่ คือ 224.0.1.0 จนถึง 238.255.255.255 ใช้เป็นเลขที่อยู่มัลติแคสต์สาธารณะ (Public Multicast Address)

การส่งข้อมูลแบบมัลติแคสต์ ทำได้ 2 แบบ

1) แบบวิธีเดนส์ (Dense Mode) จะเป็นการส่งข้อมูลจากต้นทางไปยังปลายทางให้ถึงก่อน หากผู้รับไม่ต้องการรับก็จะทำการส่งสัญญาณไปบอกว่าไม่ต้องส่งมาอีก

2) แบบวิธีสปาร์ส (Sparse Mode) จะเป็นการทำงานในทางกลับกัน คือ ข้อมูลจะยังไม่ส่งจนกว่าจะมีผู้ต้องการข้อมูลเรียกร้องก่อนต้นทางจึงจะส่งข้อมูลไปให้ โดยแบบวิธีสปาร์สจำเป็นที่จะต้องมีจุดชุมนุม (Rendezvous Point: RP) เป็นจุดคัดลอกและเป็นต้นทางของข้อมูลอีกประเภทหนึ่ง

IGMP

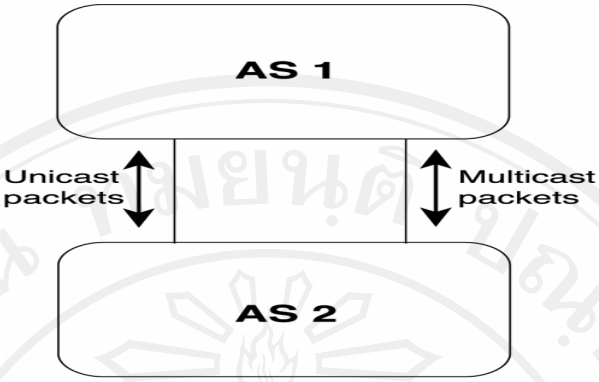
เป็นโพรโทคอลที่ทำให้อุปกรณ์จัดเส้นทางรู้ว่า มีเครื่องบริการหรือเครื่องลูกข่ายใดต้องการที่จะเข้าร่วม (Join) กับกลุ่มเลขที่อยู่มัลติแคสต์ และยังทำให้อุปกรณ์จัดเส้นทางรู้การออกจากกลุ่มมัลติแคสต์ (Multicast Leave) ได้ด้วย เมื่อมีการเข้าร่วมกลุ่มของมัลติแคสต์ (Multicast Group) แล้วนั้น (Protocol Independent Multicast: PIM) จะทำการสร้างมัลติแคสต์ทอพอโลยี (Multicast Topology) ขึ้นมาเอง IGMP จะมี 3 เวอร์ชัน คือ IGMPv1 IGMPv2 และ IGMPv3

มัลติแคสต์ระหว่างระบบอัตโนมัติ (Inter AS Multicasting)

ในการทำงานแบบวิธีสปาร์สระหว่างระบบอัตโนมัติจะประกอบด้วยสองส่วน ส่วนแรก คือ การจัดเส้นทางการจราจรมัลติแคสต์ภายในโดเมน จะใช้การจัดเส้นทางยูนิแคสต์ภายในโดเมน เพื่อใช้ในการตัดสินใจตัวต่อประสานอาร์พีเอฟ (RPF interface) และการจราจรมัลติแคสต์ระหว่างระบบอัตโนมัติจะใช้ MBGP ในการตัดสินใจตัวต่อประสานอาร์พีเอฟ ข้อดี คือเราสามารถที่จะแยกการจราจรยูนิแคสต์ให้ออกจากการจราจรมัลติแคสต์ได้

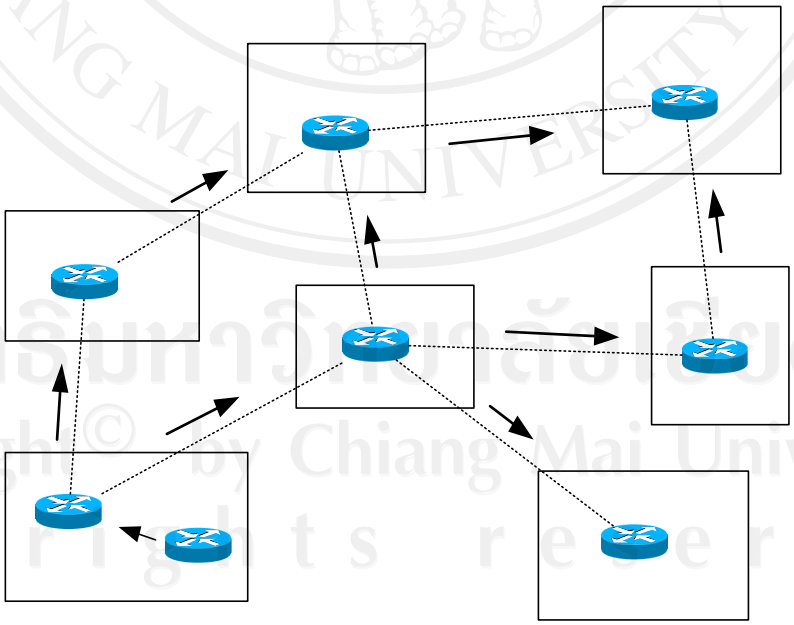
จากรูปที่ 2.12 ลิงค์ A เป็นการไหลของของการจราจรยูนิแคสต์และลิงค์ B เป็นการไหลของการจราจรมัลติแคสต์ หากใช้การจัดเส้นทางยูนิแคสต์ทั่วไปเมื่อตรวจสอบตัวต่อประสานอาร์พีเอฟแล้วจะผิดพลาด ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้ MBGP ที่สามารถจะแยกการจราจรออกจากกันได้ ซึ่งได้ถูกกำหนดขึ้นโดย RFC 2283

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2.12 การไหลของการจราจรยูนิแคสต์และการจราจรมัลติแคสต์

ส่วนที่สอง คือ โพรโทคอลค้นหาต้นทางมัลติแคสต์ (Multicast Source Discovery Protocol: MSDP) แต่ละโดเมนจะมีจุด RP เป็นของตนเอง โดยจุด RP จำเป็นจะต้องแลกเปลี่ยนข้อมูลต้นทางที่แอ็กทีฟ (Source Active) ซึ่งกันและกัน เพื่อจะให้ทราบว่า ในแต่ละโดเมนมีต้นทางและกลุ่มมัลติแคสต์อะไรบ้างดังแสดงในรูป ที่ 2.13



รูปที่ 2.13 การแลกเปลี่ยนข้อมูลต้นทางที่แอ็กทีฟ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2.3 โอเพนชอร์ตพาตเฟิร์ส (Open short part first: OSPF)

ในการเพียริงระหว่างอุปกรณ์จัดเส้นทางบีจีพี อุปกรณ์จัดเส้นทางจำเป็นต้องมี IGP ก่อน ในงานวิจัยนี้ได้เลือก OSPF เป็น IGP ในการสร้างตารางเส้นทาง OSPF จะใช้ลิงค์เสตจโพรโทคอล (Link Stating Protocol) มาประมวลผลแล้วสร้างตารางเส้นทาง อุปกรณ์จัดเส้นทาง OSPF จะหาเนเบอร์โดยใช้เลขที่อยู่มัลติแคสต์ (Multicast Address) คือ 224.0.0.5 เมื่อพบเนเบอร์ทุกตัวแล้วก็จะพิจารณาหาอุปกรณ์จัดเส้นทางที่จะทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์จัดเส้นทาง DR จากนั้นอุปกรณ์จัดเส้นทางทุกตัวก็จะส่งข้อมูลลิงค์เสตจ (Link State Advertise :LSA) ของตัวเองมายังอุปกรณ์จัดเส้นทาง DR โดยใช้เลขที่อยู่มัลติแคสต์ 224.0.0.6 หลังจากนั้นอุปกรณ์จัดเส้นทาง DR จะสร้างฐานข้อมูลลิงค์เสตจ (Link State Database) แล้วจะส่งฐานข้อมูลลิงค์เสตจนี้ไปยังอุปกรณ์จัดเส้นทาง OSPF ทุกตัวที่อยู่ใน OSPF โดเมนเดียวกันโดยการใช้เลขที่อยู่มัลติแคสต์ 224.0.0.5

ค่าตัววัดโอเอสพีเอฟ (OSPF Metric)

จะพิจารณาจากจากชนิดของตัวต่อประสาน (Interface) ซึ่งจะคำนวณได้จากสมการที่ 2.1 โดยค่า *Cost* ที่น้อยที่สุดจะถูกเลือกเป็นเส้นทางที่ดีที่สุด ตัวอย่างของค่า *Cost* แสดงในตารางที่ 2.1

$$Cost = \frac{10^8}{BW} \tag{2.1}$$

ตารางที่ 2.1 โอเอสพีเอฟคอสต์

InterfaceType	OSPF Cost
GigbitEhternet	1
OC-3(155 Mbps)	1
FastEthernet	1
DS-3(45 Mbps)	2
Ethernet	10
T1	64
512 KB	195
356 KB	390

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ประเภท LSA

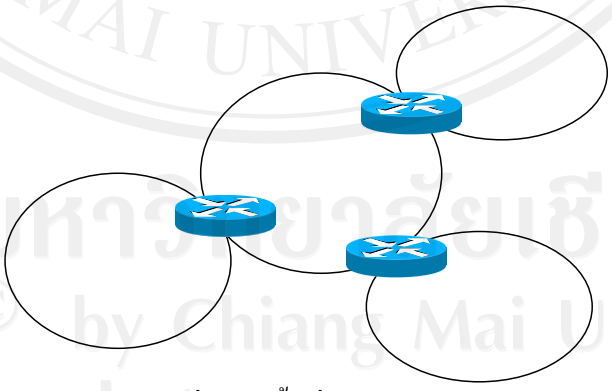
อุปกรณ์จัดเส้นทาง OSPFจะส่ง LSA แพร่กระจายภายโดเมนถึงกันหมด ซึ่งสามารถแบ่งแยกได้ตามตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ประเภทของ LSA

LSA Type 1	Router LSA
LSA Type 2	Network LSA
LSA Type 3	Summary LSA สำหรับ ABR
LSA Type 4	Summary LSA สำหรับ ABR เพื่อบอกที่อยู่ของ ASBR
LSA Type 5	AS External LSA
LSA Type 7	Not-so-stubby area External LSA

พื้นที่โอเอสพีเอฟ (OSPF Areas)

เมื่อระบบเครือข่ายมีขนาดใหญ่ขึ้น มีอุปกรณ์จัดเส้นทางจำนวนมาก ข้อมูลของ LSA จะมากตาม อุปกรณ์จัดเส้นทางแต่ละตัวจะต้องนำ LSA เหล่านี้มาประมวลผลสร้างตารางเส้นทาง จึงทำให้ซีพียู ของอุปกรณ์จัดเส้นทางทำงานอย่างหนัก ดังนั้นพื้นที่โอเอสพีเอฟจะช่วยลดปริมาณ LSA ลงได้ โดย LSA จะแพร่กระจายเฉพาะในพื้นที่เดียวกันเท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 พื้นที่โอเอสพีเอฟ

พื้นที่โอเอสพีเอฟจะประกอบด้วย พื้นที่โอเอสพีเอฟ 0 เป็นพื้นที่แกนหลัก (Backbone Area) ทำหน้าที่เชื่อมต่อกับพื้นที่โอเอสพีเอฟอื่นๆ โดยแลกเปลี่ยน LSA-3 และ LSA-5 ระหว่างกัน ตัวอย่างเช่น จากรูปที่ 3.12 พื้นที่โอเอสพีเอฟ 1 จะส่งข้อมูลถึงพื้นที่โอเอสพีเอฟ 3 ต้องผ่านพื้นที่โอ

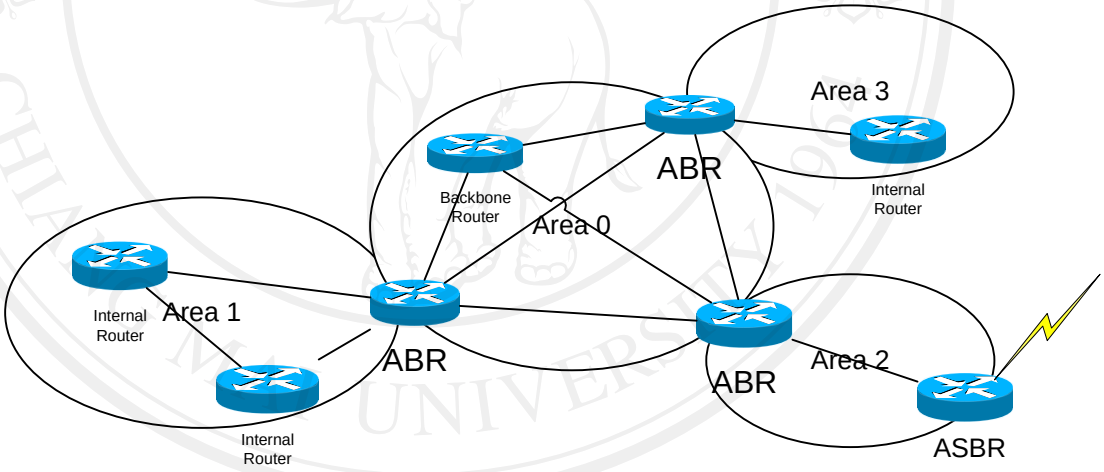
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เอสพีเอฟ 0 เสมอ ในขณะที่ ภายในพื้นที่โอเอสพีเอฟเดียวกันจะแพร่กระจาย LSA-1 และ LSA- 2 โดยจะไม่ส่งข้ามไปในพื้นที่โอเอสพีเอฟอื่นๆ แล้วอุปกรณ์จัดเส้นทางที่อยู่ในพื้นที่นี้จะสร้างตารางเส้นทางขึ้นมาเรียกว่าเส้นทางภายในพื้นที่ (Intra Area Route) ในขณะเดียวกันเส้นทางที่อยู่นอกพื้นที่จะเรียกว่าเส้นทางระหว่างพื้นที่ (Inter Area Route)

ประเภทของอุปกรณ์จัดเส้นทาง OSPF

รูปที่ 2.15 แสดงประเภทของอุปกรณ์จัดเส้นทาง OSPF ซึ่งสามารถแบ่งได้ดังนี้

1) อุปกรณ์จัดเส้นทางภายใน(Internal Router)
2) อุปกรณ์จัดเส้นทางขอบเขต (Area Border Router :ABR)
3) อุปกรณ์จัดเส้นทางขอบเขตอัตโนมัติ (Autonomous System Boundary Router :ASBR)
4) อุปกรณ์จัดเส้นทางแกนหลัก (Backbone Router)

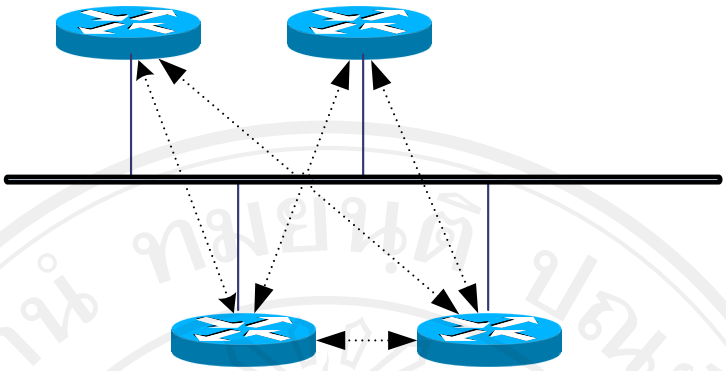


รูปที่ 2.15 ประเภทของอุปกรณ์จัดเส้นทาง OSPF

อุปกรณ์จัดเส้นทาง DR

ในการทำงานของ OSPF อุปกรณ์จัดเส้นทางจะต้องมีการเลือกอุปกรณ์จัดเส้นทาง DR เสมอ เพื่อเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยน LSA-1 LSA-2 กับทุกอุปกรณ์จัดเส้นทางอื่นๆ เพื่อลดปริมาณการจราจรของ LSAในระบบเครือข่าย ในขณะเดียวกันอุปกรณ์จัดเส้นทาง BDR จะถูกเลือกเพื่อเป็นตัวสำรองในกรณีที่อุปกรณ์จัดเส้นทาง DR ไม่สามารถทำงานได้ โดยการเลือกจะพิจารณาจากค่าลำดับความสำคัญ (Priority) ดังในรูปที่ 2.16 ค่าลำดับความสำคัญที่สูงกว่าจะถูกเลือกให้เป็นอุปกรณ์จัดเส้นทาง DR ก่อนเสมอ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2.16 การเลือกอุปกรณ์จัดเส้นทาง DR

Router C
DR Other
Priority 1

ประเภทของพื้นที่โอเอสพีเอฟสตับ (OSPF Stub Area)

นอกจาก OSPF จะสามารถแบ่งเป็นพื้นที่ แล้วยังสามารถที่จะกำหนดพื้นที่ให้เป็นสตับได้ ซึ่งสตับถูกสร้างขึ้นเพื่อลดปริมาณ LSA โดยจะไม่อนุญาต LSA-5 LSA-7 เข้ามาในพื้นที่ สามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ

1) พื้นที่สตับ ในพื้นที่สตับอุปกรณ์จัดเส้นทางขอบเขตจะป้องกัน LSA-5 และ LSA-7 ไม่ให้เข้ามาพื้นที่สตับ แต่ยังคงยอมให้ LSA-3 เข้ามาในพื้นที่ พื้นที่นี้จึงยังคงมีเส้นทางของพื้นที่อื่นอยู่

2) พื้นที่สตับอย่างแท้จริง จะคล้ายกับพื้นที่สตับ แต่จะไม่มี LSA-3 เข้ามาในพื้นที่ ดังนั้นในพื้นที่นี้จะไม่มีเส้นทางของพื้นที่อื่นๆอยู่เลย จะมีก็เพียงเส้นทางปริยาย (Default Route) เท่านั้น

Router A
DR
Priority 10

3) พื้นที่กึ่งสตับ NSSA อุปกรณ์จัดเส้นทางที่อยู่ในพื้นที่นี้จะแพร่กระจาย LSA-7 ในพื้นที่ และตรงจุดขอบเขตระหว่างพื้นที่อุปกรณ์จัดเส้นทางขอบเขตอัตโนมัติจะแปลง LSA-7 เป็น LSA-5 แล้วส่งเข้าไปในพื้นที่อื่นๆ

2.3 วิศวกรรมจราจร (Traffic Engineering)

การจัดเส้นทางของยูนิแคสต์และมัลติแคสต์จะทำงานเหมือนกันกับ BGP โดยจะเลือกเส้นทางที่ดีที่สุดเพียงเส้นทางเดียว โดยพิจารณาจากกระบวนการตัดสินบีจีพี ซึ่งไม่ได้คำนึงถึงแบนด์วิดท์ การหน่วง การสูญเสียกลุ่มข้อมูลและไม่ได้ทดสอบเส้นทางก่อนว่า เหมาะสมหรือไม่ ดังนั้นเส้นทางที่ BGP เลือกอาจจะไม่เหมาะสม หรือไม่ได้ดังความต้องของผู้ดูแลระบบ ในระบบโครงสร้างแบบมัลติโฮมเมดที่มีหลายๆ ISP เชื่อมต่อกับสตับ การเลือกเส้นทางจากหลายๆ เส้นทาง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ที่สามารถไปถึงปลายทางนั้น ผู้ดูแลระบบจะต้องทำการเลือกเส้นทางที่ดีและเหมาะสมที่สุดให้กับมัน การจัดเลือกเส้นทางเหล่านี้เรียกว่า วิศวกรรมการจราจร

การควบคุมการจราจรนั้น ไม่ว่าจะเป็นการจราจรแบบยูนิแคสต์หรือแบบมัลติแคสต์ ต้องแยกพิจารณาเป็นการจราจรขาเข้าและการจราจรขาออก ดังนี้

1) วิศวกรรมจราจรขาออก (Traffic Engineering for Outgoing Traffic)

1. กำหนดค่าโลคอลพรีเฟอเรนซ์ (Setting The Local Preference)
2. ต่อเติมเลขระบบอัตโนมัติเพิ่มสำหรับควบคุมการจราจรไหลออก
3. กำหนดคอมมิวนิตี (Setting Inbound Communities)

2) วิศวกรรมจราจรขาเข้า (Traffic Engineering for Incoming Traffic)

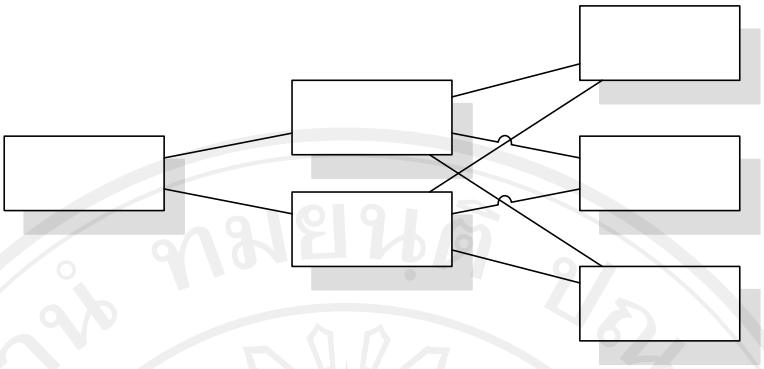
1. กำหนดค่าตัววัด (Setting The MED)
2. ต่อเติมเลขระบบอัตโนมัติเพิ่มสำหรับควบคุมการจราจรไหลเข้า
3. กำหนดคอมมิวนิตี (Setting The Outbound Communities)

โดยทั่วไปแล้วการบริหารเส้นทางการจราจรขาออกจะไม่ซับซ้อนและเข้าใจง่ายกว่า การจัดการเส้นทางการจราจรขาเข้า

ปัจจัยในการวิเคราะห์หาว่า เส้นทางที่สามารถไปยังปลายทางที่เดียวกัน ที่มีเส้นทางให้เลือกมากกว่า 2 เส้นทางว่า เส้นทางใดดีที่สุด จะพิจารณาจากแบนด์วิดท์ การหน่วง การสูญเสียกลุ่มข้อมูลซึ่งทั้งสามตัวแปรนี้จะเป็นปัจจัยหลัก ยกตัวอย่างเช่น ลิงค์ 45 Mbps ที่เป็นดาวเทียมที่มีความล่าช้า 300 ms หรือลิงค์ 1544 Kbps จากที่ไกลมากที่มีความล่าช้า 3 ms เราสมควรจะพิจารณาเลือกเส้นทางใดจึงจะทำให้ผู้ใช้รู้สึกพึงพอใจที่สุด

การพิจารณาเลือกเส้นทางที่ดีที่สุดนั้น จะทำได้ยากกว่าการเลือกเส้นทางที่เลวที่สุด และจะทราบได้อย่างไรว่าเส้นทางใดเหมาะสมที่สุด วิธีที่ดีที่สุด คือ ต้องทำการทดสอบก่อน การทดสอบนั้นสามารถทำได้โดยใช้คำสั่ง Traceroute แล้วพิจารณาจากปัจจัยหลายๆ อย่างเพิ่มเติม นอกเหนือจาก 3ปัจจัยหลักที่เคยกล่าวถึงไปแล้ว ยังสามารถใช้สมการทางคณิตศาสตร์เพื่อคำนวณหาจำนวนร้อยละของการไหลของการจราจรทั้งเข้าและออกที่ผ่านแต่ละสถานีเชื่อมโยงของเลขระบบอัตโนมัติ เช่น จากรูปที่ 2.17 ระบบอัตโนมัติ E เป็นสถับเชื่อมกับระบบอัตโนมัติ A และระบบอัตโนมัติ B ต้องการควบคุมการจราจรไหลเข้าหาระบบอัตโนมัติ E โดยวิธีลักษณะประจำต่อเติมเลขระบบอัตโนมัติทำการทดลองสามครั้งดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2.17 ตัวอย่างการทดลองการบริหารจัดการการจราจร

1) ต่อเติมเลขระบบอัตโนมัติที่ระบบอัตโนมัติ E โดยเพิ่มเลขระบบอัตโนมัติ E อีกหนึ่งฮอป ที่มีเส้นทางผ่าน ISP A ดังนั้นเส้นทางที่ระบบอัตโนมัติ X มองเห็นจะเป็น AEE ระบบอัตโนมัติ Y จะเป็น AEE และระบบอัตโนมัติ Z จะเป็น AEE แต่วิธีการเลือกเส้นทางนั้น จะใช้กระบวนการตัดสินบีจีพี จึงทำให้ระบบอัตโนมัติ X เลือกเส้นทาง BE ระบบอัตโนมัติ Y เลือกเส้นทาง BE และระบบอัตโนมัติ Z เลือกเส้นทาง BE ผลที่ได้ปรากฏว่ามีการจราจรไหลเข้ามาหาระบบอัตโนมัติ E ผ่าน ISP A 15% ISP B 85 % ตามตารางที่ 2.3 แสดงไว้

2) ไม่ต่อเติมเลขระบบอัตโนมัติ (No Prepend) ผลที่ได้ปรากฏว่า มีการจราจรไหลเข้ามาในระบบอัตโนมัติ E ผ่าน ISP A 40% ISP B 60 %

3) ต่อเติมเลขระบบอัตโนมัติที่ระบบอัตโนมัติ E โดยเพิ่มเลขระบบอัตโนมัติ E อีกหนึ่งฮอปที่มีเส้นทางผ่าน ISP B ดังนั้นเส้นทางที่ระบบอัตโนมัติ X มองเห็นเป็น BEE ระบบอัตโนมัติ Y เห็นเป็น BEE และระบบอัตโนมัติ Z เห็นเป็น BEE เมื่อผ่านกระบวนการตัดสินบีจีพี ระบบอัตโนมัติ X เลือกเส้นทาง AE ระบบอัตโนมัติ Y เลือกเส้นทาง AE และระบบอัตโนมัติ Z เลือกเส้นทาง AE ผลที่ได้ปรากฏว่า มีการจราจรไหลเข้ามาหาระบบอัตโนมัติ E ผ่าน ISP A 90% ISP B 10 %

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.3 ผลทดลองเปลี่ยนเส้นทางเลขระบบอัตโนมัติแบบต่าง

	AS X	AS Y	AS Z	Traffic distribution
Prepend to A	AEE	AEE	AEE	ISP A: 15%
	BE	BE	BE	ISP B: 85%
No prepending	AE	AE	AE	ISP A: 40%
	BE	BE	BE	ISP B: 60%
Prepend to B	AE	AE	AE	ISP A: 90%
	BEE	BEE	BEE	ISP B: 10%

เมื่อผ่านการคำนวณทางคณิตศาสตร์แล้ว จะมีการจราจรไหลออกจากระบบอัตโนมัติ A 15% ระบบอัตโนมัติ B 10 % ระบบอัตโนมัติ X 25 % ระบบอัตโนมัติ Y 25 % และระบบอัตโนมัติ Z 25 % ดังนั้นเมื่อรู้ปริมาณการจราจรของแต่ละสถานีเชื่อมโยงแล้ว หากต้องการบริหารจัดการการจราจรก็จะทำได้ไม่ยาก เช่น เมื่อต้องการทำให้เกิดดุลภาระ ก็จะทำได้ง่ายขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved