สำนักงานวิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

การทำมัลติคาสต์โดยใช้เขตที่ตั้ง

ในบทนี้กล่าวถึงโครงสร้างลำดับชั้นของการจัดกลุ่มโหนดตามพื้นที่ การสร้างมัลติคาสต์ทรีโดยใช้เขตที่ตั้ง การแบ่งและรวมคลัสเตอร์ และการลบโหนดออกจากทรี

4.1 โครงสร้างของการจัดกลุ่มโหนดตามพื้นที่ (LAC Hierarchical Structure)

การให้บริการถ่ายทอดสดเป็นการกระจายข้อมูลโดยอาศัยวิธีการส่งข้อมูลแบบยูนิคาสต์จากผู้ส่งเพียงโหนดเดียวไปยังผู้รับที่มีจำนวนมาก และจากการที่เครือข่ายอินเตอร์เน็ตมีแบนด์วิดท์จำกัด การกระจายข้อมูลสตรีมมิงเพื่อให้บริการถ่ายทอดสดจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องคำนึงถึงแบนด์วิดท์ที่มีอยู่เป็นสำคัญเพื่อให้สามารถกระจายข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ

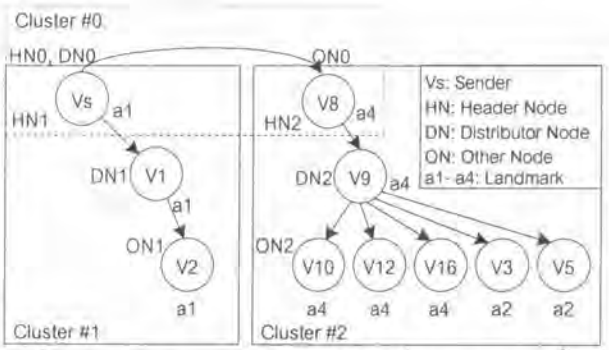
งานวิจัยนี้จึงนำเสนออัลกอริทึมกระจายข้อมูลที่มีประสิทธิภาพโดยใช้โครงสร้างทรีของคลัสเตอร์ (Tree of Cluster) เป็นพื้นฐานเช่นเดียวกันกับ [1] ซึ่งโหนดแต่ละโหนดในทรีเป็นกลุ่มโหนดผู้รับที่รวมกันรียกว่าคลัสเตอร์ (Cluster) โครงสร้างของทรีที่มีโหนดพื้นฐานเป็นคลัสเตอร์นี้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกระจายข้อมูลเพราะใช้การกระจายข้อมูลเป็นกลุ่มย่อยภายในคลัสเตอร์ และยังสามารถลดโอเวอร์เฮดในการเลือกโหนดที่เหมาะสมที่จะเชื่อมต่อ แต่การส่งข้อมูลในกลุ่มย่อยอาจทำให้เกิดโอเวอร์โหลดที่โหนดกระจายข้อมูล เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดปัญหานี้จึงกำหนดให้แต่ละคลัสเตอร์มีจำนวนสมาชิกไม่เกิน 3k ดังนั้นถ้ากำหนดให้ k เป็นตัวแปรมีค่าคงที่เป็น 3 แต่ละคลัสเตอร์จึงมีจำนวนสมาชิกสูงสุดได้ไม่เกิน 9 โหนด เป็นต้น นอกจากนี้อัลกอริทึมที่นำเสนอจะคำนึงถึงโครงสร้างการเชื่อมต่อ ซึ่งเป็นโครงสร้างจริงของเครือข่ายด้วยวิธีการจัดกลุ่มโหนดตามพื้นที่ (Locality-Aware Clustering: LAC) ซึ่งหมายถึงโหนดที่อยู่ในพื้นที่ใกล้กันให้จัดอยู่ในคลัสเตอร์เดียวกัน ด้วยการพิจารณาจากเขตที่ตั้ง (Landmark) โดยมีโหนดต้นทางทำหน้าที่เป็นโหนดรูตของทรี การจัดกลุ่มในลักษณะนี้ช่วยทำให้โหนดที่อยู่ในพื้นที่เดียวกันซึ่งส่วนใหญ่มักจะอยู่ในเครือข่ายโลคอลสามารถส่งข้อมูลถึงกันได้โดยตรงผ่านลิงค์สตับ

จากโครงสร้างทรีของคลัสเตอร์ ในแต่ละคลัสเตอร์ประกอบด้วยโหนด 3 ประเภท คือ โหนดหัวหน้า โหนดแจกจ่าย และโหนดอื่นๆ โดยหน้าที่หลักของโหนดแต่ละประเภทในคลัสเตอร์เป็นดังนี้

1) โหนดหัวหน้า (Header Node: HN) ทำหน้าที่ติดต่อระหว่างคลัสเตอร์ เป็นโหนดที่รับข้อมูล (Streaming Feed) จากคลัสเตอร์แม่ (Parent Cluster) และส่งข้อมูลนั้นให้กับโหนดแจกจ่าย โดยโหนดหัวหน้าในคลัสเตอร์ใดๆ ต้องเป็นโหนดอื่นในคลัสเตอร์แม่

2) โหนดแจกจ่าย (Distributor Node: DN) ทำหน้าที่กระจายข้อมูลให้กับโหนดอื่นภายในคลัสเตอร์เป็นโหนดที่รับข้อมูลมาจากโหนดหัวหน้า เพื่อนำมาส่งต่อให้กับสมาชิกทั้งหมดในคลัสเตอร์ นอกจากนี้โหนดแจกจ่ายยังเป็นโหนดสำรองที่สามารถทำหน้าที่แทนโหนดหัวหน้าในกรณีที่โหนดหัวหน้าออกจากมัลติคาสต์ทรีไป แต่ถ้าโหนดแจกจ่ายออกจากมัลติคาสต์ทรีไป จะเลือกโหนดอื่นตัวแรกมาทำหน้าที่เป็นโหนดแจกจ่ายแทนโหนดแจกจ่ายตัวเดิม

3) โหนดอื่น (Other Node: ON) ทำหน้าที่เป็นสมาชิกของคลัสเตอร์ เป็นโหนดที่ได้รับข้อมูลจากโหนดแจกจ่ายโดยตรง หากคลัสเตอร์นี้เป็นคลัสเตอร์ปลายสุดของมัลติคาสต์ทรี (Leaf Cluster) โหนดชนิดนี้จะไม่ส่งข้อมูลต่อ แต่ถ้าคลัสเตอร์นี้ไม่ใช่คลัสเตอร์ปลายสุดของมัลติคาสต์ทรี คลัสเตอร์นี้จะทำหน้าที่เป็นคลัสเตอร์แม่ของคลัสเตอร์ที่อยู่ด้านล่าง และโหนดนี้จะเป็นโหนดหัวหน้าของคลัสเตอร์ลูกที่ต่ออยู่ด้านล่าง



รูปที่ 4.1 ตัวอย่างของมัลติคาสต์ทรีที่จัดกลุ่มตามพื้นที่

รูปที่ 4.1 แสดงตัวอย่างการจัดกลุ่มโหนดตามพื้นที่โดยใช้เขตที่ตั้งที่อ้างอิงจากเครือข่ายเชิงกายภาพในรูปที่ 3.1 มัลติคาสต์ทรีในรูปประกอบด้วยคลัสเตอร์จำนวน 3 ตัว ได้แก่ คลัสเตอร์ที่ 0 คลัสเตอร์ที่ 1 และคลัสเตอร์ที่ 2 โดยคลัสเตอร์ที่ 0 เป็นคลัสเตอร์เหลื่อม (Overlap Cluster) ระหว่างคลัสเตอร์ที่ 1 กับคลัสเตอร์ที่ 2 และยังทำหน้าที่เป็นคลัสเตอร์รูต (Root Cluster) ของมัลติคาสต์ทรี และในคลัสเตอร์รูตนี้โหนดรูตจะทำหน้าที่เป็นทั้งโหนดหัวหน้าและโหนดแจกจ่ายไปพร้อมกัน

<u>หมายเหตุ</u> แต่ละคลัสเตอร์จะมีหมายเลขคลัสเตอร์เป็นตัวอ้างอิง และเพื่อให้ง่ายต่อการอธิบายหมายเลขคลัสเตอร์นี้จะตรงกับหมายเลขที่อยู่หลังชื่อตัวย่อของโหนดแต่ละประเภท เช่น ในคลัส

เตอร์ที่ 0 มีโหนดหัวหน้า#0 (HN0) มีโหนดแจกจ่าย#0 (DN0) และมีโหนดอื่น#0 (ON0) เป็นสมาชิกในคลัสเตอร์นั้น

ตารางที่ 4.1 รายละเอียดของมัลติคาสต์ทรีในรูปที่ 4.1

คลัสเตอร์ที่	โหนดทั้งหมด	โหนดหัวหน้า(HN)	โหนดแจกจ่าย (DN)	โหนดอื่น (ON)
0	v_s และ v_8	v_s	v_s	v_8
1	v_s, v_1 และ v_2	v_s	v_1	v_2
2	v_8, v_9, v_{10}, v_{12}, v_{16}, v_3 และ v_5	v_8	v_9	v_{10} v_{12} v_{16} v_3 และ v_5

ความสัมพันธ์ของโหนดต่างๆ ในรูป 4.1 ดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 4.1 สามารถอธิบายได้ดังนี้

– คลัสเตอร์ที่ 0 มีสมาชิกอยู่ 2 โหนด คือ v_s และ v_8โดย v_s เป็นโหนดต้นทาง ซึ่งทำหน้าที่เป็นทั้งโหนดหัวหน้าและโหนดแจกจ่ายให้กับคลัสเตอร์ที่ 0 ในขณะที่ v_s ทำหน้าที่เป็นโหนดแจกจ่าย v_s จะส่งข้อมูลให้กับ v_8 ซึ่งเป็นโหนดอื่นเพียงโหนดเดียวในคลัสเตอร์

– คลัสเตอร์ที่ 1 มีสมาชิกอยู่ 3 โหนด คือ v_s, v_1 และ v_2 โดย v_s ทำหน้าที่เป็นโหนดหัวหน้าซึ่งเป็นผู้ส่งข้อมูลให้กับโหนดแจกจ่าย v_1 หลังจากที่โหนดแจกจ่ายได้รับข้อมูลแล้ว จะส่งข้อมูลนั้นให้กับโหนด v_2 ซึ่งเป็นสมาชิกของคลัสเตอร์

– คลัสเตอร์ที่ 2 มีสมาชิกอยู่ 7 โหนด คือ v_8, v_9, v_{10}, v_{12}, v_{16}, v_3 และ v_5 โดย v_8 ทำหน้าที่เป็นโหนดหัวหน้า หลังจากที่โหนดหัวหน้าได้รับข้อมูลแล้ว จะส่งข้อมูลนั้นให้กับโหนดแจกจ่าย เพื่อให้โหนดแจกจ่ายส่งข้อมูลให้กับสมาชิกที่เหลือทั้งหมดในคลัสเตอร์

โครงสร้างมัลติคาสต์ทรีที่มีการจัดกลุ่มโหนดตามพื้นที่เน้นการใช้เครือข่ายโลคอลเป็นหลัก ด้วยการลดการใช้ลิงค์ทรานสิต ซึ่งมีผลทำให้จำนวนแพ็กเก็ตซ้ำที่ลิงค์ทรานสิตลดลง ทราฟฟิกส่วนใหญ่ในเครือข่ายจึงเกิดขึ้นที่เครือข่ายโลคอล และเนื่องจากโดยปกติแล้วเครือข่ายโลคอลมีแบนด์วิดท์ที่ใช้ได้มากกว่าลิงค์ทรานสิต การใช้ลิงค์สลับและมีจำนวนแพ็กเก็ตซ้ำที่เพิ่มมากขึ้นจึงไม่เป็นปัญหาแต่อย่างใด ในโครงสร้างนี้โหนดแจกจ่ายเป็นโหนดที่มีการส่งข้อมูลไปยังโหนดอื่นในคลัสเตอร์เดียวกัน ดังนั้นหากโหนดแจกจ่ายและโหนดอื่นของคลัสเตอร์เดียวกันเป็นโหนดที่อยู่ในพื้นที่ใกล้กัน จะทำให้ใช้แบนด์วิดท์มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น และยังช่วยลดจำนวนแพ็กเก็ตซ้ำบนลิงค์ทรานสิตได้มาก ดังนั้นในอัลกอริทึมนี้จึงสร้างมัลติคาสต์ทรีโดยพยายามให้โหนดแจกจ่ายและโหนดอื่นในคลัสเตอร์เป็นโหนดที่อยู่ในพื้นที่ใกล้กันทางกายภาพให้มากที่สุด อีกนัยหนึ่งก็คือเป็นโหนดที่มีเขตที่ตั้งเดียวกัน

4.2 การสร้างมัลติคาสต์ทรีโดยใช้เขตที่ตั้ง (LAC Multicast Tree Construction)

กำหนดให้ v_i เป็นโหนดใหม่ที่ต้องการเข้าเป็นสมาชิกในมัลติคาสต์ทรี โดยมี $l(v_i)$ แทนเขตที่ตั้งของโหนด v_i นั้น โหนด v_i จะคัดเลือกคลัสเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดโดยพิจารณาจากเขตที่ตั้งของโหนดแจกจ่ายของแต่ละคลัสเตอร์ ขั้นตอนการสร้างมัลติคาสต์ทรีโดยใช้เขตที่ตั้ง แสดงได้ดังอัลกอริทึมที่ 1

อัลกอริทึมที่ 1 อัลกอริทึมการเพิ่มโหนดใหม่

Algorithm Name: Joining New Node Input: New Node	
1: If (source(vi)) 2: root=vi	ขั้นตอน ก)
3: Else 4: If (no of cluster==0) 5: TargetDN = root	ขั้นตอน ข) a
6: Else 7: TargetDN = FindTargetCluster(vi, l(vi)) 8: End if	ขั้นตอน ข) b
9: JoinNode(TargetDN, vi, l(vi))	ขั้นตอน ค)
10: If (no of Member(TargetCluster) > 3*k) 11: Split&MergeCluster(TargetCluster)	ขั้นตอน ง)
12: End if 13: End if	

จากอัลกอริทึมข้างต้น สามารถอธิบายเป็นขั้นตอนคร่าวๆ ได้ดังต่อไปนี้

ก) ถ้า v_i เป็นโหนดต้นทาง โหนด v_i จะเป็นโหนดรูตของมัลติคาสต์ทรี

ข) ถ้า v_i ไม่ใช่โหนดต้นทาง ให้ตรวจสอบจำนวนคลัสเตอร์ในมัลติคาสต์ทรี

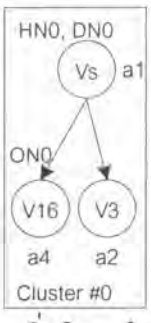
a. ถ้ามัลติคาสต์ทรีมีคลัสเตอร์เดียว ให้ v_i เป็นโหนดลูกของโหนดรูต

b. ถ้ามัลติคาสต์ทรีมีคลัสเตอร์มากกว่า 1 คลัสเตอร์ โหนด v_i จะสร้างลิสต์อย่างย่อ (Shortlist) ของคลัสเตอร์ที่มีพื้นที่ใกล้เคียง (Near-by Cluster) กับ v_i ที่สุด ซึ่งคลัสเตอร์ที่มีพื้นที่ใกล้เคียงที่สุดจะเป็นคลัสเตอร์ที่มีเขตที่ตั้งเดียวกันกับโหนด v_i

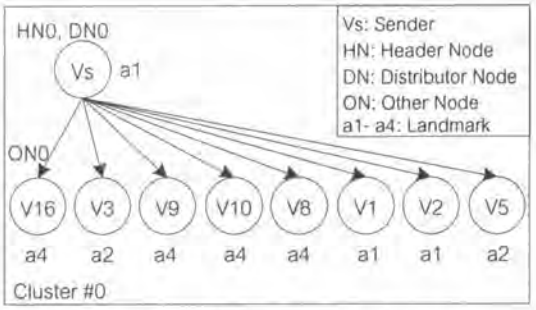
ในการสร้างลิสต์อย่างย่อ โหนด v_i จะตรวจสอบเขตที่ตั้งของโหนดแจกจ่ายทั้งหมด (DN List) เริ่มจากคลัสเตอร์รูต (คลัสเตอร์ที่ 0, มี DN0) ถ้าพบว่าในมีคลัสเตอร์ที่มีเขตที่ตั้งตรงกับเขตที่ตั้งของโหนดใหม่มากกว่า 1 คลัสเตอร์ อัลกอริทึมนี้จะเลือกคลัสเตอร์ที่มีจำนวนสมาชิกอยู่น้อยที่สุด เพื่อไม่ให้เกิดกระบวนการแบ่งคลัสเตอร์บ่อยจนเกินไป แต่ถ้าตรวจสอบโหนดแจกจ่ายครบทุกโหนดแล้ว ยังไม่พบว่าตรงกับเขตที่ตั้งของคลัสเตอร์ใด โหนด v_i จะเลือกคลัสเตอร์ที่มีค่าดีเลย์ระหว่างโหนด v_i กับโหนดแจกจ่ายที่น้อยที่สุดในมัลติคาสต์ทรี

ค) เมื่อพบคลัสเตอร์ที่เหมาะสม โหนด v_i จะเข้าเป็นสมาชิกใหม่ของคลัสเตอร์นั้น โดยต่อเป็นโหนดลูกของโหนดแจกจ่ายในคลัสเตอร์นั้น

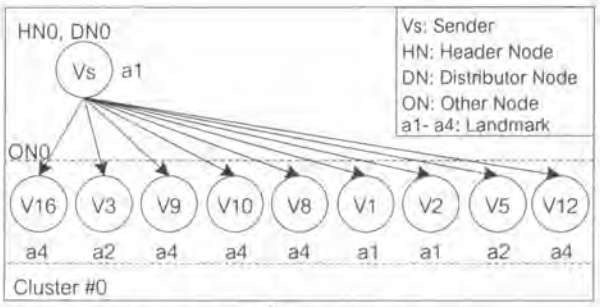
ง) ทำการตรวจสอบจำนวนโหนดในคลัสเตอร์ หากเกินกว่า 3k โหนด (จำนวนโหนดสูงสุดตามที่กำหนดไว้ ในที่นี้คือ 9 โหนด) คลัสเตอร์นั้นจะถูกแบ่งออกเป็น 2 คลัสเตอร์ (อธิบายไว้ในหัวข้อย่อย 4.3)



ก) หลังจากเพิ่มโหนดใหม่ 3 โหนด



ข) คลัสเตอร์มีโหนดครบ 9 โหนด



ค) คลัสเตอร์ที่มีโหนดเกินกำหนด

รูปที่ 4.2 การเพิ่มโหนดใหม่ลงในทรีจนกระทั่งคลัสเตอร์มีขนาดเกินกำหนด

รูปที่ 4.2 แสดงตัวอย่างการเพิ่มโหนดใหม่จนกระทั่งคลัสเตอร์มีจำนวนโหนดมากเกินกว่าที่กำหนด โดยเริ่มจากการเพิ่มโหนดต้นทางและโหนดผู้รับ จากรูปที่ 4.2 ก) เป็นมัลติ

คาสต์ทรีหลังจากเพิ่มโหนดใหม่เข้าไป 3 โหนดคือ v_5, v_{16} และ v_3 ตามลำดับ ต่อมามีโหนดใหม่เข้ามาเพิ่มอีก 7 โหนด คือ v_9, v_{10}, v_8, v_1, V_2, v_5 และ v_{12} ตามลำดับ หลังจากที่ 6 โหนดแรกเข้าเป็นสมาชิกของทรี คลัสเตอร์ที่ 0 จะมีจำนวนสมาชิกเท่ากับจำนวนสูงสุดที่เป็นได้ดังรูปที่ 4.2 ข) และเมื่อ v_{12} เข้าเป็นสมาชิกของคลัสเตอร์นี้ จากรูปที่ 4.2 ค) เมื่อคลัสเตอร์มีจำนวนสมาชิกเท่ากับ 10 โหนด ซึ่งมากเกินกว่าที่กำหนดไว้ คลัสเตอร์นี้จะถูกแบ่งออกเป็นสองคลัสเตอร์ ซึ่งขั้นตอนการแบ่งคลัสเตอร์จะนำเสนอในหัวข้อถัดไป

4.3 **การแบ่งและการรวมคลัสเตอร์** (Splitting and Merging Clusters)

กระบวนการแบ่งคลัสเตอร์มีขั้นตอนสำคัญ 3 ขั้นตอน คือ

1) การจัดเรียงโหนดอื่นในคลัสเตอร์
2) การแบ่งโหนดในคลัสเตอร์ออกเป็นสองชุด
3) การเชื่อมคลัสเตอร์ใหม่เข้ากับมัลติคาสต์ทรี

อัลกอริทึมที่ 2 แสดงอัลกอริทึมการแบ่งคลัสเตอร์

```
Algorithm Name: Split and merge cluster
Input: Overflow Cluster
1:  sortByLandmark(allChild)                                   } ขั้นตอนที่ 1
2:  sortByNoOfNodeInLandmark(allChild)
3:  sortByLatencyInAnyLandmark(allChild)
4:  sp = position(findDiffLandmark(allChild))                  } ขั้นตอนที่ 2
5:  In the right of sp
6:    newHN = child(TargetDN, 1)
7:    newDN = child(TargetDN, 2)
8:    For child(i=sp to n)
9:      addChild(newDN) = child(TargetDN, i)
10:   End for
11:   addChild(DNofParentCluster) = newHN
12:   addChild(newHN) = newDN
13: End of right of sp
14: In the left of sp
15:   If (no of cluster>1)
16:    For child(i=sp to n)
17:      clearChild(TargetDN, i)
18:    End for
19:   Else
20:    newDN2 = child(TargetDN, 1)
21:    For child (i=2 to sp-1)
22:      addChild(newDN2) = child(TargetDN, i)
23:    End for
24:    addChild(HN) = newDN2
25:   End if
26: End of left of sp
27: MergeCluster(newHN)                                        } ขั้นตอนที่ 3
```

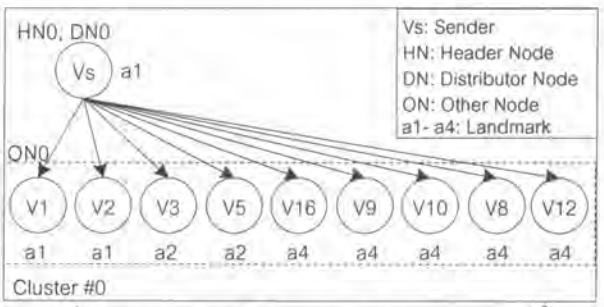
I 14673365

ในแต่ละขั้นตอนหลักมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 การจัดเรียงโหนดอื่นในคลัสเตอร์

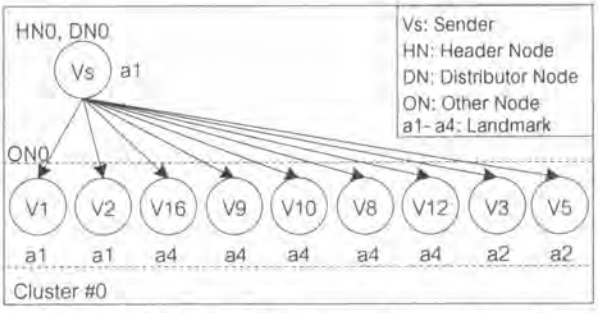
ในขั้นตอนนี้จะเป็นการจัดลำดับโหนดลูกทั้งหมดของโหนดแจกจ่ายด้วยการจัดเรียง 3 ลำดับความสำคัญ คือ เรียงตามเขตที่ตั้ง เรียงตามจำนวนโหนดในเขตที่ตั้ง และเรียงตามดีเลย์

ก) การเรียงตามเขตที่ตั้ง จะนำโหนดที่มีเขตที่ตั้งตรงกับโหนดแจกจ่ายมาไว้ในตำแหน่งแรกๆ จากนั้นจึงเรียงโหนดที่มีเขตที่ตั้งแตกต่างจากโหนดแจกจ่าย ตามลำดับเขตที่ตั้งจากน้อยไปหามาก จากรูปที่ 4.3 โหนดทั้งหมดที่อยู่ในกรอบเส้นประเป็นโหนดที่ถูกจัดเรียง และถ้าเป็นการจัดเรียงในคลัสเตอร์ที่ 0 ซึ่งโหนดหัวหน้าและโหนดแจกจ่ายเป็นโหนดเดียวกัน โหนดที่ถูกจัดเรียงทั้งหมดจึงมีจำนวน 9 โหนด ถ้าเป็นการจัดเรียงในคลัสเตอร์อื่นๆ ซึ่งเป็นคลัสเตอร์ที่มีทั้งโหนดหัวหน้าและโหนดแจกจ่าย ในคลัสเตอร์นั้นจะมีโหนดที่ถูกจัดเรียงทั้งหมดจำนวน 8 โหนด จากรูปพบว่าโหนด v_1 และ v_2 อยู่ในเขตที่ตั้ง a_1 เช่นเดียวกับโหนด v_s โหนดทั้งสองจึงถูกนำมาเรียงทางซ้ายสุด ส่วนโหนดอื่นๆ ที่เหลือจะถูกจัดเรียงตามเขตที่ตั้ง คือ a_2 และ a_4



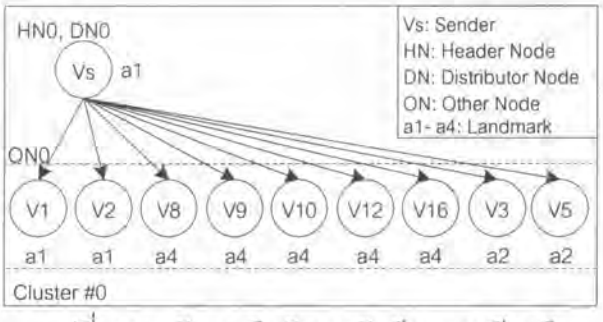
รูปที่ 4.3 คลัสเตอร์หลังการจัดเรียงตามเขตที่ตั้ง

ข) เรียงตามจำนวนโหนดในเขตที่ตั้ง จะมีผลกระทบเฉพาะโหนดที่มีเขตที่ตั้งต่างจากโหนดแจกจ่าย โดยให้เขตที่ตั้งที่มีจำนวนโหนดมากที่สุดวางต่อกับโหนดที่มีเขตที่ตั้งตรงกับโหนดแจกจ่าย จากรูปที่ 4.4 พบว่าเขตที่ตั้ง a_4 มีโหนดทั้งหมด 4 โหนด และเขตที่ตั้ง a_2 มีโหนดทั้งหมด 2 โหนด เมื่อเรียงตามจำนวนโหนดแล้ว จึงสลับกลุ่มโหนดที่มีเขตที่ตั้ง a_4 กับกลุ่มโหนดที่มีเขตที่ตั้ง a_2 กระบวนการจัดเรียงตามจำนวนโหนดนี้เป็นส่วนสำคัญที่ช่วยทำให้คลัสเตอร์ใหม่มีโหนดที่อยู่ในเขตที่ตั้งเดียวกันเป็นจำนวนมากที่สุด และทำให้เขตที่ตั้งที่มีจำนวนโหนดน้อยๆ มีโอกาสเป็นโหนดผู้นำและโหนดแจกจ่ายน้อยลง กระบวนการนี้ช่วยลดจำนวนลิงค์ทรานสิตได้



รูปที่ 4.4 คลังเตอร์หลังการจัดเรียงตามจำนวนโหนดในเขตที่ตั้ง

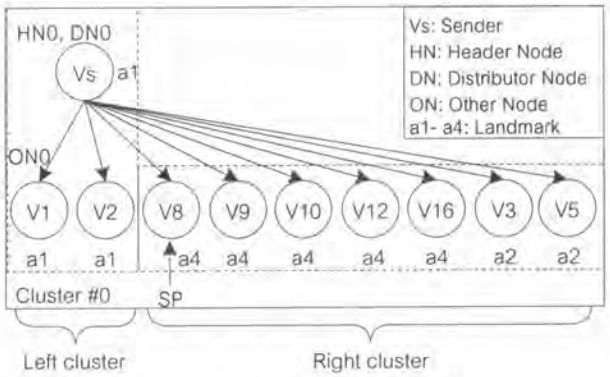
ค) เรียงตามดีเลย์ เป็นขั้นตอนการเรียงครั้งสุดท้าย โดยสลับเฉพาะโหนดที่อยู่ในเขตที่ตั้งเดียวกันเท่านั้น เมื่อเปรียบเทียบมัลติคาสต์ทรีในรูปที่ 4.4 และรูปที่ 4.5 เฉพาะเขตที่ตั้ง a_4 จะพบการสลับที่ระหว่างโหนด v_8, v_{12}, และ v_{16}



รูปที่ 4.5 คลัสเตอร์หลังการจัดเรียงตามดีเลย์

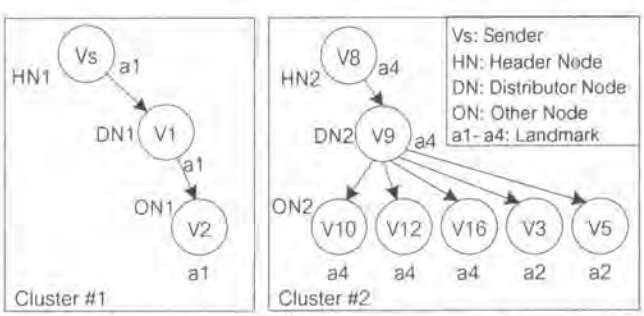
<u>ขั้นตอนที่ 2</u> การแบ่งโหนดในคลัสเตอร์ออกเป็นสองชุด

ในขั้นตอนนี้เป็นการหาตำแหน่งแบ่งแยก (Splitting Position) เพื่อแบ่งโหนดออกเป็นสองคลัสเตอร์ ตำแหน่งแบ่งแยกที่เหมาะสม จะพิจารณาจากเขตที่ตั้ง จากรูปที่ 4.6 มีกลุ่มเขตที่ตั้งทั้งหมด 3 กลุ่ม โดยตำแหน่งแบ่งแยกจะเป็นตำแหน่งแรกที่เขตที่ตั้งแตกต่างจากเขตที่ตั้งกลุ่มแรก ในรูปพบว่าเขตที่ตั้งกลุ่มแรกคือ a_1 ดังนั้นตำแหน่งแรกที่มีเขตที่ตั้งต่างจาก a_1 คือ โหนด v_8 จึงทำให้โหนด v_8 เป็นตำแหน่งแบ่งแยก ทำให้ทุกโหนดตั้งแต่โหนด v_8 ไปจนกระทั่งโหนดสุดท้าย (v_5) เป็นสมาชิกของคลัสเตอร์ใหม่ ในที่นี้ให้ใช้ชื่อว่า คลัสเตอร์ทางขวา และกำหนดหมายเลขอ้างอิงคลัสเตอร์ให้เป็นหมายเลขถัดจากคลัสเตอร์สุดท้ายของมัลติคาสต์ทรี ส่วนโหนดทั้งหมดที่อยู่ในตำแหน่งก่อนหน้าโหนด v_8 จะเป็นโหนดที่อยู่ในคลัสเตอร์เดิม ในที่นี้ให้ใช้ชื่อว่า คลัสเตอร์ทางซ้าย ในคลัสเตอร์นี้จึงรวมโหนดหัวหน้าและโหนดแจกจ่ายเข้าไปด้วย และเพื่อให้ได้ตำแหน่งแบ่งแยกที่ไม่ทำให้เกิดคลัสเตอร์ใหม่ที่มีขนาดเล็กจนเกินไป ดังนั้นในอัลกอริทึมนี้จึงกำหนดตำแหน่งแบ่งแยกให้อยู่ระหว่างตำแหน่งที่ 2 ถึงตำแหน่งที่ 6 (กำหนดให้โหนดแรกสุดอยู่ในตำแหน่งที่ 0)



รูปที่ 4.6 ตำแหน่งแบ่งแยก

หลังจากได้การจัดแบ่งโหนดออกเป็นคลัสเตอร์ทางซ้ายกับคลัสเตอร์ทางขวาแล้ว เมื่อตรวจสอบคลัสเตอร์ทางซ้ายพบว่ามีจำนวนสมาชิกครบทั้งสามประเภท แต่คลัสเตอร์ทางขวายังไม่มีโหนดหัวหน้าและโหนดแจกจ่าย จึงกำหนดให้โหนดแรกสุดทำหน้าที่เป็นโหนดหัวหน้า และให้โหนดถัดมาทำหน้าที่เป็นโหนดแจกจ่าย ส่วนโหนดที่เหลือทั้งหมดให้เป็นโหนดลูกของโหนดแจกจ่าย จากรูปที่ 4.7 โหนด v_8 เป็นโหนดหัวหน้า (HN2) โหนด v_9 เป็นโหนดแจกจ่าย (DN2) และโหนด v_{10}, v_{12}, v_{16}, v_3, และ v_5 เป็นโหนดลูกของโหนด v_9

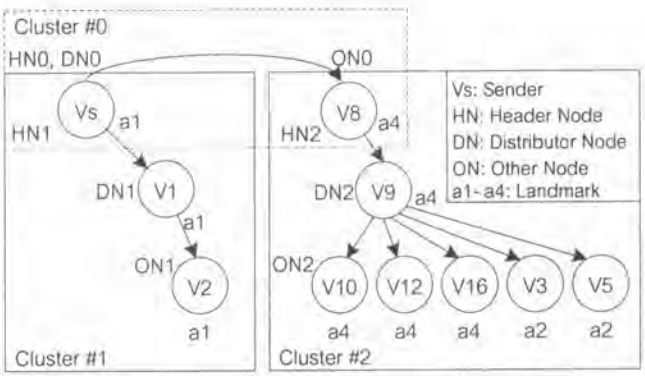


รูปที่ 4.7 คลัสเตอร์ที่ได้หลังจากแบ่งคลัสเตอร์

<u>ขั้นตอนที่ 3</u> การต่อคลัสเตอร์ใหม่เข้ากับมัลติคาสต์ทรี

การเชื่อมคลัสเตอร์ทั้งสองเข้ากับมัลติคาสต์ทรี จะต้องพิจารณาเขตที่ตั้งของโหนดแจกจ่ายในคลัสเตอร์ทางซ้ายกับโหนดหัวหน้าในคลัสเตอร์ทางขวา ถ้าทั้งสองโหนดอยู่ในเขตที่ตั้งเดียวกันให้นำโหนดหัวหน้าของคลัสเตอร์ทางขวาไปต่อเพิ่มเป็นโหนดลูกของโหนดแจกจ่ายในคลัสเตอร์ทางซ้าย แต่ถ้าทั้งสองโหนดไม่ได้อยู่ในเขตที่ตั้งเดียวกัน ให้นำโหนดหัวหน้าของคลัสเตอร์ทางขวาไปต่อเพิ่มเป็นโหนดลูกของโหนดแจกจ่ายของคลัสเตอร์แม่ จากรูปที่ 4.8 โหนดหัวหน้าของคลัสเตอร์ทางขวา (v_8) และโหนดแจกจ่ายของคลัสเตอร์ทางซ้าย (v_1) ไม่ได้อยู่ในเขตที่ตั้งเดียวกัน จึงต้องนำโหนดหัวหน้าของคลัสเตอร์ทางขวาไปต่อเพิ่มเป็นโหนดลูกของโหนดแจกจ่าย

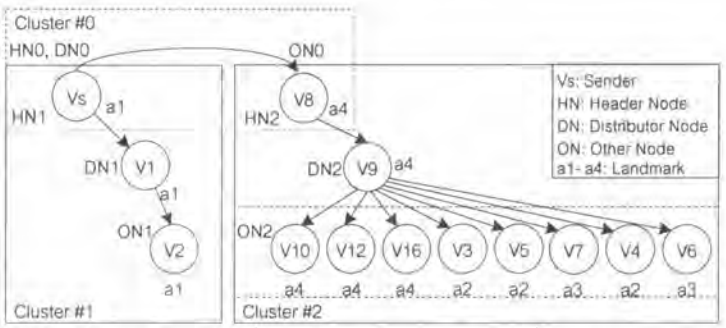
ในคลัสเตอร์แม่ (คลัสเตอร์ที่ 0) ซึ่งก็คือโหนด v_s ในทางกลับกัน ถ้าโหนด v_8 และ v_1 อยู่ในเขตที่ตั้งเดียวกัน ให้นำโหนด v_8 ไปต่อเพิ่มเป็นโหนดลูกของโหนด v_1



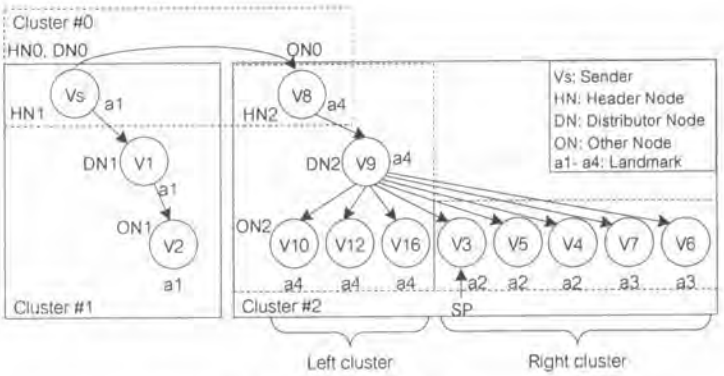
รูปที่ 4.8 มัลติคาสต์ทรีที่ได้หลังจากเชื่อมคลัสเตอร์

หากคลัสเตอร์ที่นำมาแบ่งเป็นคลัสเตอร์รูตหรือคลัสเตอร์ที่ 0 ซึ่งเป็นคลัสเตอร์ที่ไม่มีคลัสเตอร์แม่ ในกรณีนี้คลัสเตอร์ทั้งหมดในมัลติคาสต์ทรีจะต้องถูกจัดลำดับใหม่ โดยถูกเพิ่มลำดับเข้าไปอีก 1 ทำให้คลัสเตอร์ที่ 0 จะเปลี่ยนเป็นคลัสเตอร์ที่ 1 และคลัสเตอร์ที่ 1 เปลี่ยนเป็นคลัสเตอร์ที่ 2 ตามลำดับ จึงต้องกำหนดคลัสเตอร์ที่ 0 ใหม่อีกครั้ง โดยคลัสเตอร์ที่ 0 เป็นคลัสเตอร์ที่รวมคลัสเตอร์ทางซ้ายและคลัสเตอร์ทางขวาเข้าด้วยกัน ในรูปที่ 4.8 เป็นตัวอย่างของการจัดลำดับคลัสเตอร์ใหม่ แต่หากคลัสเตอร์ที่นำมาแบ่งเป็นคลัสเตอร์หมายเลขอื่นๆ จะไม่ต้องแก้ไขลำดับหมายเลขคลัสเตอร์ในมัลติคาสต์ทรี

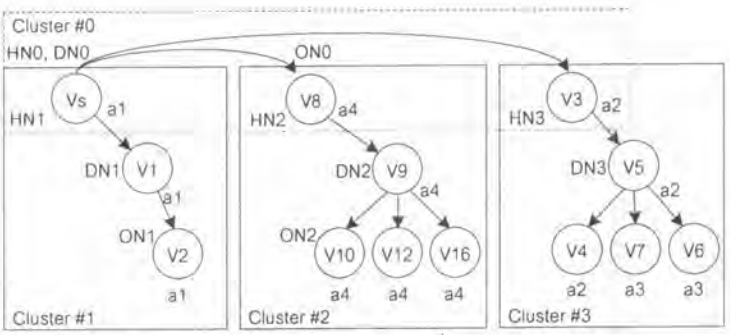
หลังจากคลัสเตอร์ที่ 0 ถูกแบ่งคลัสเตอร์และเชื่อมต่อเรียบร้อยแล้ว มัลติคาสต์ทรีจะอยู่ในสถานะพร้อมที่รับโหนดใหม่ และเมื่อโหนด v_7, v_4, และ v_6 เข้าเป็นสมาชิกคลัสเตอร์ที่ 2 ทำให้คลัสเตอร์ที่ 2 มีขนาดใหญ่เกิน จึงนำคลัสเตอร์ที่ 2 มาผ่านกระบวนการแบ่งและรวมคลัสเตอร์ โดยผลที่เกิดขึ้นแสดงได้ดังรูปที่ 4.9



ก) คลัสเตอร์ที่ 2 มีขนาดใหญ่เกินกว่าที่กำหนด



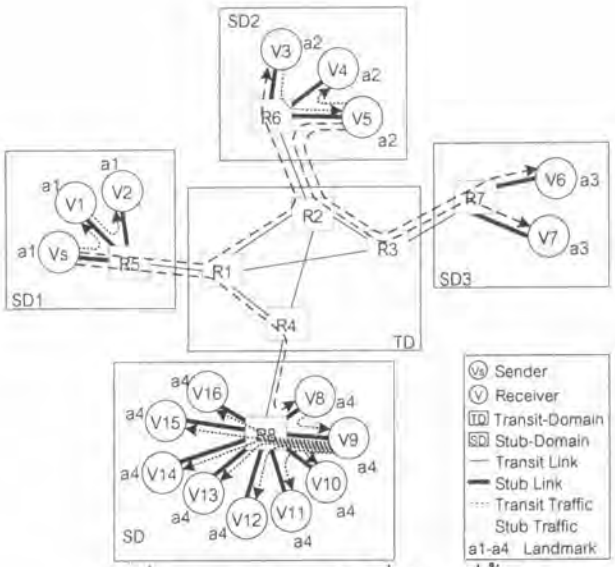
ข) คลัสเตอร์ที่ 2 ระหว่างแบ่งเป็นสองคลัสเตอร์



ค) มัลติคาสต์ทรีภายหลังจากเชื่อมคลัสเตอร์ใหม่

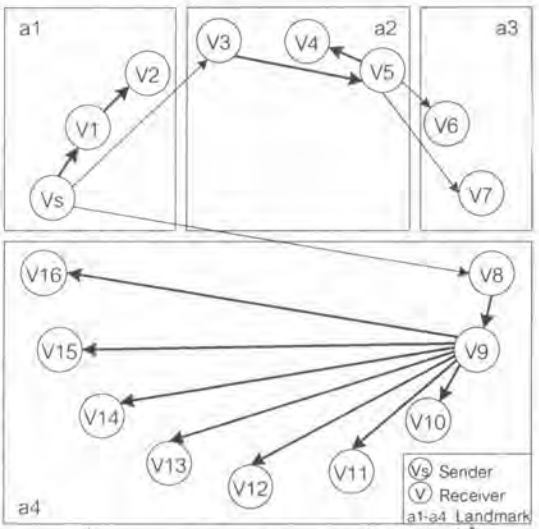
รูปที่ 4.9 กระบวนการแบ่งคลัสเตอร์และการเชื่อมคลัสเตอร์

จากรูปที่ 4.9 ก) โหนดทั้งหมดที่อยู่ในกรอบเส้นประเป็นโหนดที่ถูกนำไปจัดเรียง ซึ่งมีจำนวนทั้งหมด 8 โหนด หลังจากจัดเรียงโหนดแล้วจึงนำมาหาตำแหน่งแบ่งแยกซึ่งเป็นโหนดแรกที่มีเขตที่ตั้งต่างจากโหนดอื่น ในคลัสเตอร์ที่ 2 จึงเป็นโหนด v_3 ดังรูปที่ 4.9 ข) และเมื่อนำโหนดทั้งหมดในคลัสเตอร์ที่ 2 มาจัดเป็นสองกลุ่มตามตำแหน่งแบ่งแยกจะได้คลัสเตอร์ใหม่ (คลัสเตอร์ที่ 3) ซึ่งประกอบด้วยโหนด v_3, v_5, v_4, v_7 และ v_6 จากการพิจารณาเขตที่ตั้งของโหนดหัวหน้าทั้งสองคลัสเตอร์ (คลัสเตอร์ที่ 2 และ คลัสเตอร์ที่ 3) พบว่าทั้งสองโหนดมีเขตที่ตั้งต่างกัน ดังนั้นโหนดหัวหน้าของคลัสเตอร์ใหม่ (คลัสเตอร์ที่ 3) จึงต่อเชื่อมเป็นโหนดลูกของโหนดแจกจ่ายของคลัสเตอร์แม่ของคลัสเตอร์ที่ 2 ดังรูปที่ 4.9 ค)



รูปที่ 4.10 มัลติคาสต์ทรีที่ใช้เขตที่ตั้ง

รูปที่ 4.10 แสดงมัลติคาสต์ทรีที่สร้างขึ้นโดยแสดงอยู่บนเครือข่ายกายภาพ ซึ่งพบว่าจำนวนแพ็กเก็ตบนลิงค์สตับเท่ากับ 7 ที่ลิงค์ (v_9, R_8) และจำนวนแพ็กเก็ตซ้ำบนลิงค์ทรานสิตเท่ากับ 2 เท่ากันทั้งสามลิงค์ คือที่ (R_2, R_3) (R_6, R_2) (R_1, R_5) ดังนั้นจำนวนแพ็กเก็ตซ้ำในเครือข่ายซ้อนทับซึ่งเป็นจำนวนแพ็กเก็ตซ้ำสูงสุดของลิงค์ทั้งสองชนิดจึงเท่ากับ 7 และเมื่อนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับมัลติคาสต์ทรีในรูปที่ 2.5 ที่สร้างจากดีเลย์ มีจำนวนแพ็กเก็ตซ้ำที่ลิงค์ทรานสิตเท่ากับ 4 ที่ลิงค์ (R_1, R_5) และลิงค์สตับมีจำนวนแพ็กเก็ตซ้ำสูงสุดเท่ากับ 2 ที่ลิงค์ (v_{15}, R_8) ทำให้จำนวนแพ็กเก็ตในเครือข่ายซ้อนทับมีค่าเท่ากับ 4 ซึ่งผลที่ได้พบว่ามัลติคาสต์ทรีที่ใช้เขตที่ตั้งดังรูปที่ 4.10 มีจำนวนแพ็กเก็ตซ้ำที่ลิงค์ทรานสิตน้อยกว่ามัลติคาสต์ทรีที่สร้างจากดีเลย์เพียงอย่างเดียว และมัลติคาสต์ทรีที่สร้างขึ้นมีการใช้งานทราฟฟิกโลคอลได้มากขึ้นเพราะมีการใช้ลิงค์สตับมากขึ้น



รูปที่ 4.11 เครือข่ายซ้อนทับที่ใช้เขตที่ตั้ง

จากเครือข่ายเชิงกายภาพในรูปที่ 4.10 สามารถเขียนเป็นเครือข่ายซ้อนทับได้ดังรูปที่ 4.11 เมื่อพิจารณาเครือข่ายซ้อนทับที่ได้พบว่ามีการส่งข้อมูลข้ามเขตที่ตั้งซึ่งเป็นการส่งข้อมูลโดยใช้ลิงค์สลับเป็นจำนวน 4 ลิงค์ เมื่อนำมัลติคาสต์ทรีที่ได้มาเปรียบเทียบกับเครือข่ายซ้อนทับในรูป 3.3 ที่สร้างขึ้นจากดีเลย์ พบว่าเครือข่ายซ้อนทับนั้นมีจำนวนลิงค์ทรานสิตที่ใช้อยู่ 5 ลิงค์ เมื่อนำจำนวนลิงค์ทรานสิตมาเปรียบเทียบกันพบว่าเครือข่ายซ้อนทับที่ใช้เขตที่ตั้งสามารถลดจำนวนลิงค์ทรานสิตลงจำนวน 1 ลิงค์

4.4 การลบโหนดออกจากทรี (Leaving Node)

เมื่อโหนดใดออกจากมัลติคาสต์ทรี โหนดนั้นจะถูกลบออกจากมัลติคาสต์ทรี และมัลติคาสต์ทรีนั้นจะต้องปรับแต่งโครงสร้างใหม่บางส่วน เพื่อให้โหนดที่เหลืออยู่ทั้งหมดสามารถรับข้อมูลต่อได้ตามปกติ การลบโหนดออกจากมัลติคาสต์ทรีต้องอาศัยกระบวนการค้นหาโหนดที่จะลบ โดยกระบวนการค้นหาโหนดที่ออกจากมัลติคาสต์ทรีสามารถแบ่งได้ 2 กรณี คือ

1) โหนดออกจากมัลติคาสต์ทรีเป็นผู้ส่งการร้องขอไปยังโหนดแม่ (Parent) และโหนดลูก (Child) ในมัลติคาสต์ทรี

2) โหนดแม่หรือโหนดลูกเป็นผู้พบความผิดปกติในการรับ-ส่งข้อมูล ในกรณีโหนดสมาชิกทุกโหนด (ยกเว้นโหนดต้นทาง) ต้องส่งเมสเซจไปยังโหนดแม่อย่างสม่ำเสมอภายในขอบเขตเวลาที่กำหนดเพื่อยืนยันสถานภาพการเชื่อมต่อกับมัลติคาสต์ทรี หากพ้นระยะเวลาที่กำหนดแล้ว หากโหนดแม่ยังไม่ได้รับเมสเซจยืนยันจากโหนดลูก โหนดแม่จะถือว่าโหนดลูกไม่ได้เชื่อมต่ออยู่กับมัลติคาสต์ทรีแล้ว และนอกจากนี้ทุกโหนดจะกำหนดเวลามากที่สุดที่รอคอยข้อมูล (Timeout) หากพ้นระยะเวลาดังกล่าวแล้ว โหนดลูกยังไม่ได้รับข้อมูลตามปกติแสดงว่าโหนดแม่ไม่ได้เชื่อมต่ออยู่กับมัลติคาสต์ทรีแล้ว

หลังจากพบโหนดที่ต้องลบออกจากมัลติคาสต์ทรี จึงทำการปรับแต่งมัลติคาสต์ทรี ซึ่งรูปแบบการปรับแต่งขึ้นอยู่กับประเภทของโหนดที่ถูกลบออก คือ

ก) กรณีที่เป็นโหนดหัวหน้า จะปรับให้โหนดแจกจ่ายทำหน้าที่เป็นโหนดหัวหน้า (ใหม่ (แทนโหนดเดิมที่ออกไป พร้อมทั้งเลือกโหนดอื่นตัวแรกให้เป็นโหนดแจกจ่าย (ใหม่)

ข) กรณีที่เป็นโหนดแจกจ่าย จะเลือกโหนดอื่นตัวแรกให้ทำหน้าที่เป็นโหนดแจกจ่าย (ใหม่)

ค) กรณีที่เป็นโหนดอื่น จะไม่ต้องปรับแต่งมัลติคาสต์ทรี เพราะโหนดนี้ไม่มีการส่งข้อมูลให้โหนดใด จึงไม่มีผลกระทบกับมัลติคาสต์ทรี