

หลักการทำงานของ Synchronization

พงษ์ศักดิ์ สุ่มพันธ์โพบูลย์.

1. สถาปัตยกรรมเครือข่าย Synchronization

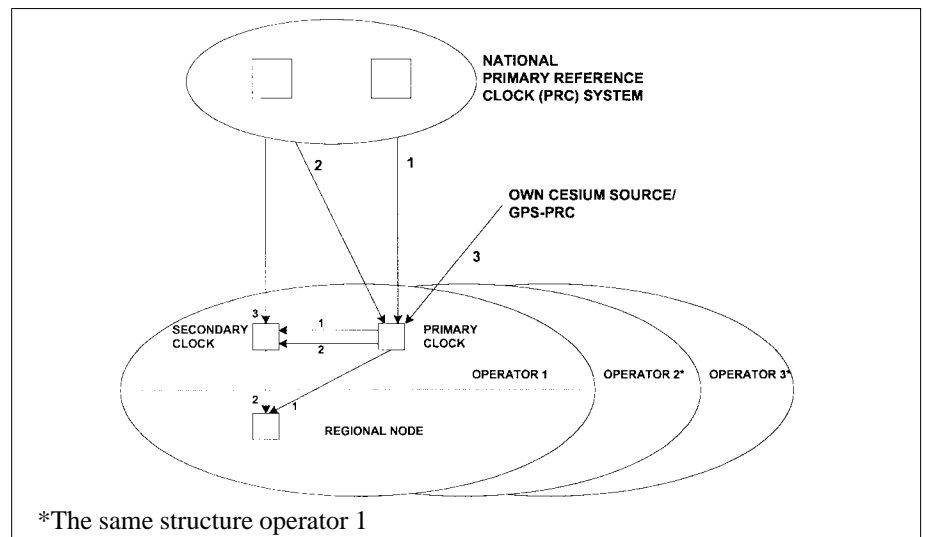
โดยทั่วไปสถาปัตยกรรมเครือข่าย Synchronization จะอ้างอิงตามมาตรฐาน ETS 300 462-2 หรือ ITU-T G.803 ซึ่งอธิบายความสัมพันธ์ของการกระจายสัญญาณ Clock ในเครือข่าย โดยสามารถแยกพิจารณาได้ดังนี้

เครือข่าย Synchronization ระดับชาติ (Nation Synchronization Network)

เครือข่ายโทรคมนาคมระดับชาติ (Nation Telecommunication Network) จะประกอบไปด้วยเครือข่ายของผู้ให้บริการ

(Operator) ในแต่ละประเภท เช่น ผู้ให้บริการทางด้านโทรศัพท์เคลื่อนที่, ผู้ให้บริการทางด้านโทรศัพท์พื้นฐานและโทรศัพท์ระหว่างประเทศ เป็นต้น โครงสร้างของเครือข่าย Synchronization ของผู้ให้บริการแต่ละราย จะมีการเชื่อมต่อกับเครือข่าย Synchronization ในระดับชาติ โดยจะกระจายสัญญาณ Clock ผ่านทางสัญญาณ 2.048 Mb/s (E1), 2.048 MHz หรือสัญญาณ STM-N

ลักษณะการกระจายสัญญาณ Clock ในรูปที่ 1 เป็นความสัมพันธ์ของการกระจายสัญญาณ Clock ระหว่างผู้ให้บริการแต่ละประเภทกับเครือข่ายโทร-



รูปที่ 1 : การกระจายสัญญาณ Clock ในเครือข่ายโทรคมนาคมระดับชาติ



คมนาคมระดับชาติ เครือข่ายโทรคมนาคมระดับชาติจะประกอบไปด้วย “**National Primary Reference Clock**” หรือ NPRC ซึ่งเป็นแหล่งสัญญาณ Clock หลักที่อ้างอิงตามมาตรฐานของ ITU-T G.811 จำนวน 2 ชุดแยกจากกัน โดยผู้ให้บริการแต่ละรายจะรับสัญญาณ Clock มาจาก NPRC นี้

โดยปกติแล้ว NPRC จะอยู่ภายใต้การควบคุมและดูแลขององค์กรเครือข่ายโทรคมนาคมในระดับชาติ ซึ่งในประเทศไทย หน่วยงานที่ทำหน้าที่อันนี้ก็คือ องค์กรโทรศัทพ์แห่งประเทศไทย (ทศท.)

ในการเชื่อมต่อกับเครือข่ายของ NPRC จะมีหลักการเชื่อมตอดังนี้

1. แหล่งสัญญาณ Clock หลัก (Primary Clock) ของเครือข่ายผู้ให้บริการแต่ละราย จะรับสัญญาณ Clock ที่ใช้ในการ Synchronized มาจาก NPRC โดยที่จะรับสัญญาณ Synchronization หลัก (Primary Synchronization Signal) และสัญญาณ Synchronization รอง (Secondary Synchronization Signal) มาจากเอาท์พุทที่แตกต่างกันของ NPRC หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า สัญญาณ Synchronization หลักจะรับจาก PRC ตัวที่หนึ่งของ NPRC ส่วนสัญญาณ Synchronization รองจะรับจาก PRC ตัวที่สองของ NPRC และในการส่งต่อสัญญาณ Synchronization หลักและรองจะใช้สายส่งสัญญาณ (Transmission Line) ที่แยกกันดังรูป

2. แหล่งสัญญาณ Clock รองของเครือข่ายผู้ให้บริการแต่ละราย จะมีการรับสัญญาณ Clock ที่ใช้ในการ Synchronization ทั้งสัญญาณ Synchronization หลักและรองมาจากแหล่งสัญญาณ Clock หลักของเครือข่ายผู้ให้บริการนั้นๆ โดยวิธีการส่งต่อสัญญาณจะใช้สายส่งสัญญาณที่แยกกัน

3. โหนด (Node) ต่างๆ ในเครือ-

ข่ายของผู้ให้บริการแต่ละราย จะรับสัญญาณ Clock มาจากแหล่งสัญญาณ Clock หลักและแหล่งสัญญาณ Clock รองของเครือข่าย

4. แหล่งสัญญาณ Clock หลักของผู้ให้บริการแต่ละราย อาจจะมีสัญญาณ Synchronization มากกว่า 2 แหล่งก็ได้ เพื่อใช้เป็นแหล่งสัญญาณ Synchronization สำรองในกรณีที่เกิดความผิดพลาดกับสัญญาณ Synchronization หลักและรองของเครือข่าย โดยอาจจะใช้ Cesium-PRC, GPS-PRC หรืออาจจะใช้สัญญาณ Synchronization จากเครือข่ายอื่นๆ ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมและความสะดวกในการเชื่อมต่อ

2. หลักการเบื้องต้นในการวางแผนเครือข่าย Synchronization (Introduction to Synchronization Planning)

หลักในการวางแผนเครือข่าย Synchronization ก็คือ การหาวิธีในการกระจายสัญญาณ Clock ในเครือข่าย, การเลือกใช้สัญญาณ Clock เพื่อใช้เป็นสัญญาณ Clock อ้างอิงในเครือข่าย และการเลือกตำแหน่งในการติดตั้ง PRC และ SSU

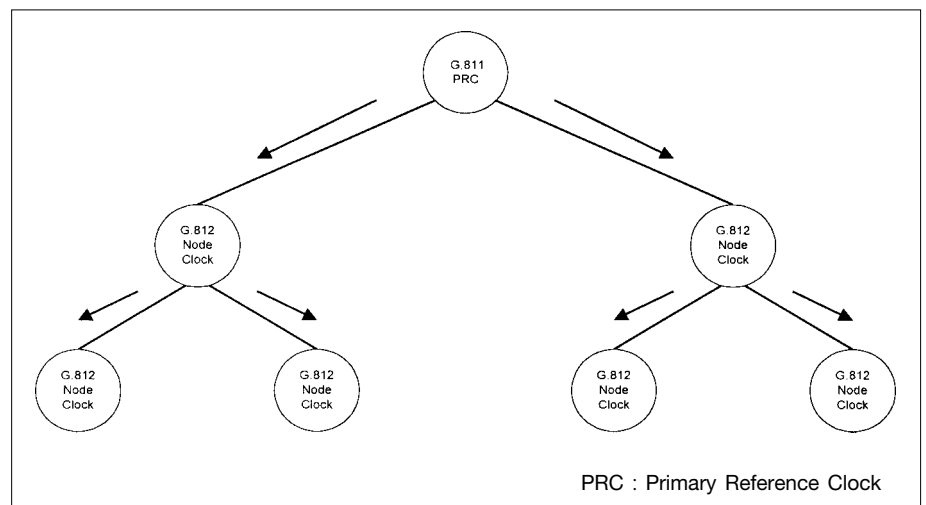
เพื่อที่จะให้การกระจายสัญญาณ

Clock ในเครือข่ายมีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด ควรคำนึงถึงข้อกำหนดดังนี้

1. หลีกเลี่ยงปัญหาจาก Timing Loop
2. มีการจัดการกระจายสัญญาณ Clock ในแต่ละชั้น (Hierarchy) ที่ดี
3. ควรใช้อุปกรณ์ BITS หรือ SSU ในการกระจายสัญญาณ Clock อย่างเหมาะสม เพื่อให้การกระจายสัญญาณ Clock สามารถครอบคลุมทั้งเครือข่าย
4. ควรเลือกแหล่งสัญญาณ Clock ที่ใช้เป็นแหล่งอ้างอิงที่ดีที่สุด
5. ในแต่ละโหนดควรมีแหล่งสัญญาณอย่างน้อย 2 แหล่ง เพื่อป้องกันความผิดพลาดที่เกิดจากความล้มเหลวของแหล่งสัญญาณ Clock แหล่งใดแหล่งหนึ่ง
6. ควรมีการ Cascade ของสัญญาณ Clock ที่เหมาะสม เพราะคุณภาพของสัญญาณ Clock จะลดลงทุกครั้งที่ผ่านมาอุปกรณ์เครือข่าย (Network Element ; NE) 1 ชุด

2.1 การวางแผนเครือข่าย Synchronization

การวางแผนเครือข่าย Synchronization เป็นการรวมเครือข่าย Synchronization ของเครือข่ายสื่อสารสัญญาณ SDH และเครือข่ายสื่อสารสัญญาณ PDH เข้าด้วย-



รูปที่ 2 : การกระจายสัญญาณ Clock ในลักษณะ Tree-Topology



กัน โดยให้เกิดความผิดพลาดและการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด

เครือข่ายของผู้ให้บริการแต่ละราย จะมีการทำงานแบบ Synchronous และเชื่อมต่อกับ PRC ของ NPRC ในการวางแผนเครือข่าย Synchronization ของผู้ให้บริการแต่ละรายจะเป็นอิสระจากเครือข่ายของผู้ให้บริการอื่นๆ โดยไม่มีการเชื่อมต่อโดยตรงระหว่างผู้ให้บริการแต่ละราย

วิธีในการ Synchronized ส่วนใหญ่จะเป็นแบบ Master-Slave ซึ่งแต่ละชั้นของลำดับชั้นจะมีการ Synchronized กับสัญญาณ Clock อ้างอิงที่สูงกว่าสัญญาณ Clock จาก PRC จะถูกกระจายลงไปแต่ละชั้นผ่านทางเครือข่าย เช่น อุปกรณ์สื่อสัญญาณ SDH หรือ PDH เป็นต้น

รูปแบบ (Topology) ของการกระจายสัญญาณ Clock จะเป็นลักษณะ **“Tree-Topology”** ดังรูปที่ 2 หลักการของเครือข่าย Synchronization ก็คือ การให้ทุกๆ โหนดในเครือข่ายมีการดึงสัญญาณ Clock มาจาก PRC เครือข่าย Synchronization ในรูปที่ 3 เป็นการกระจายสัญญาณ Clock ในลักษณะ Master-Slave จาก PRC ไปยังโหนดต่างๆ ในเครือข่าย และเพื่อที่จะให้เครือข่าย Synchronization มีประสิทธิภาพที่ดี สัญญาณ Clock ในลำดับชั้นต่ำควรมีการดึงสัญญาณ Clock จากชั้นเดียวกันหรือสูงกว่า เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาจาก Timing Loop

โดยทั่วไปคุณภาพของสัญญาณ Clock ในเครือข่ายจะลดลงตามจำนวน Nes ในเครือข่ายที่เพิ่มขึ้นการออกแบบเครือข่าย Synchronization จำนวน Nes ในเครือข่ายควรเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด ในทางทฤษฎีตามมาตรฐาน ITU-T G.803 การกระจายสัญญาณ Clock ในเครือข่ายขนาดใหญ่ซึ่งมีหลายลำดับชั้น และมีการกระจายในลักษณะลูกโซ่

(Chain) จะกำหนดให้แต่ละ Chain มีจำนวน SSU ได้ไม่เกิน 10 และมีจำนวน Nes หรือ SEC ระหว่าง SSU ไม่ควรเกิน 20 ตัว โดยที่จำนวน Nes ทั้งหมดในแต่ละ Chain ไม่ควรเกินกว่า 60 Nes ดังรูปที่ 3

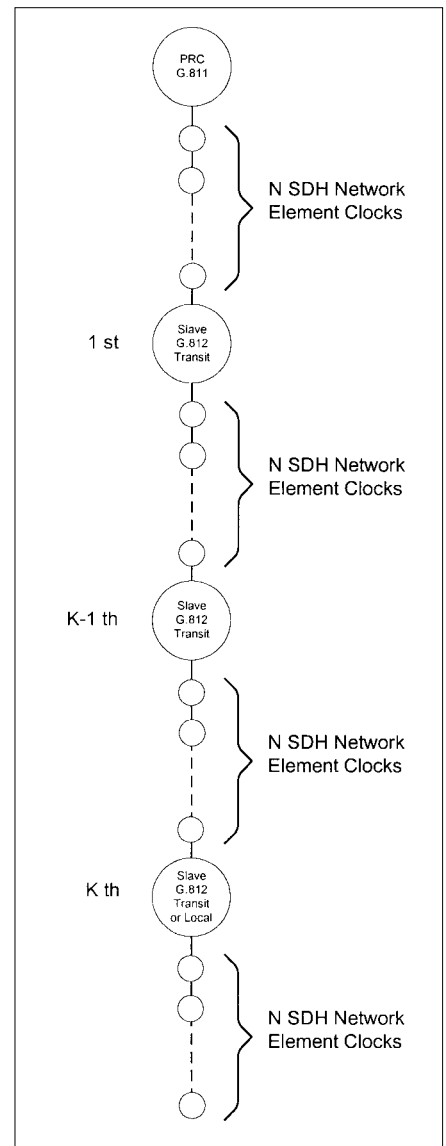
การวางแผนเครือข่าย Synchronization นอกจากมาตรฐานและข้อกำหนดต่างๆ ที่กำหนดไว้แล้ว สิ่งหนึ่งที่สำคัญเพื่อประสิทธิภาพและคุณภาพของการกระจายสัญญาณ Clock ที่ดี ก็คือ การเลือกแหล่งสัญญาณ Clock และตำแหน่งในการติดตั้งที่เหมาะสม ซึ่งจะกล่าวในรายละเอียดต่อไป

2.2 ชนิดของสัญญาณ Clock ในเครือข่าย

ในการวางแผนเครือข่าย Synchronization จะต้องมีการเลือกใช้แหล่งสัญญาณ Clock ให้เหมาะสมกับความจำเป็นในการใช้และงบประมาณที่มีอยู่ แหล่งสัญญาณ Clock ในเครือข่าย Synchronization สามารถแบ่งออกได้ดังนี้

a) Primary Reference Clock (PRC)

สัญญาณ Clock ในแต่ละลำดับชั้น (Hierarchy) จะมีค่าความถูกต้อง (Accuracy) และคุณลักษณะอื่นๆ ที่แตกต่างกัน สัญญาณ Clock ที่ใช้ ณ ตำแหน่งที่มีลำดับชั้นสูงสุด เรียกว่า สัญญาณ Clock อ้างอิงหลัก หรือ PRC ซึ่งเรามักจะเปรียบเทียบสัญญาณ Clock ในลำดับชั้นนี้เป็น **“Stratum 1”** โดยค่าความถูกต้องอ้างอิงตามมาตรฐาน ITU-T G.811 มีค่าความถูกต้องเท่ากับ 1×10^{-11} สามารถสร้างสัญญาณ Clock ให้มีค่าความถูกต้องในระดับนี้ได้ โดยใช้มาตรฐานของ **“Primary Atomic”** หรือรู้จักกันในอีกชื่อหนึ่งว่า **“Cesium”** ซึ่งเป็นอุปกรณ์กำหนดสัญญาณ Clock ที่ดีที่สุดในปัจจุบัน มีค่าความถูกต้องดีกว่า 1×10^{-11} (ตาม มาตรฐานของผู้ผลิตบางราย



รูปที่ 3 : การกระจายสัญญาณ Clock ในลักษณะ Master-Slave ตามมาตรฐาน ITU-T G.803

มีค่าความถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ 1×10^{-12}) นอกจากนี้ยังมีมาตรฐานอีกมาตรฐานหนึ่งซึ่งสามารถสร้างสัญญาณ Clock ที่มีค่าความถูกต้องในระดับ PRC คือ **“Secondary Atomic”** รู้จักกันในชื่อของ Rubidium, GPS (Global Positioning System) ซึ่งเป็นอุปกรณ์กำเนิดสัญญาณ Clock ที่อ้างอิงตามมาตรฐาน ITU-T G.811 เช่นกัน การที่จะใช้ PRC ชนิดใดในเครือข่าย ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมและความจำเป็นของเครือข่ายนั้นๆ ซึ่งสามารถเปรียบเทียบข้อแตกต่างของ PRC แต่ละชนิดได้ดังตารางที่ 1



PRC	Characteristic
Cesium	<ol style="list-style-type: none"> 1. Stand-alone free running timing source. 2. Highly accurate (long and short term). 3. Requires calibration to make sure that tube is operating within specifications.
GPS	<ol style="list-style-type: none"> 1. Satellite system with world-wide coverage. 2. Most accurate (long and short term). 3. UTC traceable and provides "Time of Day"
Rubidium	<ol style="list-style-type: none"> 1. Reliable and relatively low cost. 2. Excellent stability for "Holdover" but requires reference for accuracy.

ตารางที่ 1 : แสดงการเปรียบเทียบ PRC แต่ละประเภท

Configuration	Description
<p>1</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งสูงเพราะใช้อุปกรณ์ Cesium-PRC ถึง 3 ตัว 2. Output ที่ได้มีความถูกต้องดีกว่า 1×10^{-11} 3. มีค่าความน่าเชื่อถือ (Reliability) ดีมาก อุปกรณ์ แต่ละตัวจะทำงานในลักษณะ Redundant ซึ่งกันและกัน
<p>2</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งจะถูกกว่าแบบที่ 1 2. ใช้อุปกรณ์ GPS-PRC เป็นแหล่งสัญญาณ Clock สำรอง 3. ค่าความถูกต้องอยู่ในมาตรฐาน G.811 มีค่าเท่ากับ 1×10^{-11} 4. มีค่าความน่าเชื่อถือสูงแต่น้อยกว่าแบบที่ 1
<p>3</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งถูกกว่าแบบที่ 1 และ 2 2. ใช้อุปกรณ์ GPS-PRC เป็นแหล่งสัญญาณ Clock สำรองเช่นเดียวกับแบบที่ 2 3. มีค่าความถูกต้องอยู่ในมาตรฐาน G.811 4. ค่าความน่าเชื่อถือต่ำกว่าแบบที่ 1 และ 2
<p>4</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งถูกกว่าแบบอื่นๆ 2. มีการใช้อุปกรณ์ GPS-PRC เป็นแหล่งสัญญาณ Clock สำรองเช่นเดียวกับแบบที่ 2 และ 3 3. ใช้สัญญาณ Clock จากภายนอกเป็นสัญญาณ Clock อ้างอิงในเครือข่าย ดังนั้นคุณภาพของสัญญาณในเครือข่ายขึ้นอยู่กับคุณภาพของสัญญาณ Clock อ้างอิงจากภายนอก ถ้าสัญญาณ Clock อ้างอิงไม่มีคุณภาพ ก็จะส่งผลต่อคุณภาพของสัญญาณในเครือข่ายได้
<p>5</p> <p>BITS : Building Integrated Timing System SSU : Synchronization Supply Unit</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งถูก 2. สัญญาณ Clock จาก ทศท. ไม่อยู่ในมาตรฐานที่จะนำมาใช้เป็นสัญญาณ Clock อ้างอิงในเครือข่าย 3. ใช้ GPS-PRC เป็นแหล่งสัญญาณอ้างอิงในเครือข่าย 4. ใช้สัญญาณ Clock จาก ทศท. และจากชุมสายข้างเคียงเป็นแหล่งสัญญาณ Clock สำรองในเครือข่าย

ตารางที่ 2 : แสดงอุปกรณ์ PRC แต่ละแบบ

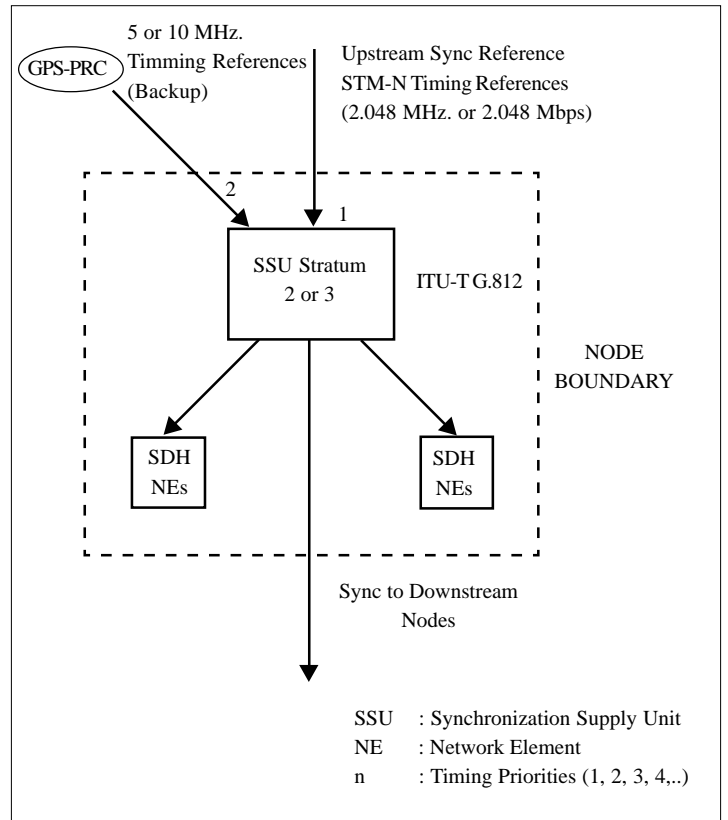
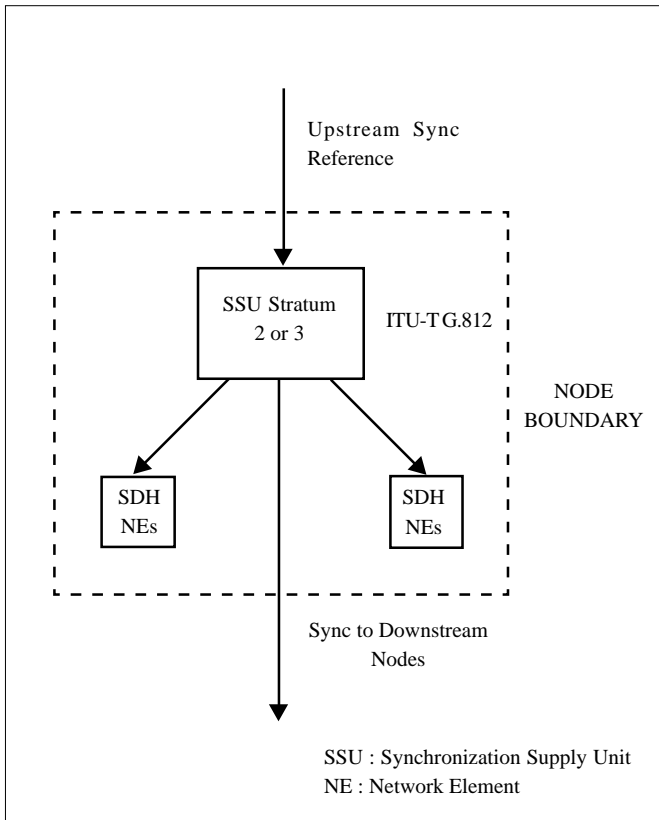
ในการใช้อุปกรณ์ PRC แต่ละชนิด จะมีได้หลายรูปแบบขึ้นอยู่กับความต้องการและงบประมาณในการติดตั้ง ซึ่งรูปแบบที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบันสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2

b) Slave Clock

สัญญาณ Clock ในลำดับชั้นที่ต่ำกว่า PRC เป็นสัญญาณ Clock ที่มีการปรับตั้งความถี่ตามสัญญาณ Clock ในลำดับชั้นที่สูงกว่า เรียกสัญญาณในลำดับชั้นนี้ว่า "Slave Clock" โดยอ้างอิงตามมาตรฐาน ITU-T G.812 ซึ่งได้แบ่งสัญญาณ Clock ในลำดับชั้นนี้ออกเป็น 2 ระดับ คือ Transit Node Clock (TNC) และ Local Node Clock (LNC) สามารถเปรียบเทียบสัญญาณ Clock ทั้ง 2 ระดับนี้เป็น "Stratum 2" และ "Stratum 3" ตามลำดับ ค่าความถูกต้องของสัญญาณ Clock ในลำดับชั้น G.812 Transit Node Clock มีค่าเท่ากับ 1×10^{-9} และในลำดับชั้น G.812 Local Node มีค่าเท่ากับ 2×10^{-8} อุปกรณ์ที่อ้างอิงตามมาตรฐาน G.812 ก็คือ SSU (Synchronization Supply Unit) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ในการกระจายสัญญาณ Clock โดยรับสัญญาณ Clock มาจากสัญญาณในลำดับชั้นเดียวกันหรือสูงกว่า ดังรูปที่ 4 อุปกรณ์ SSU อาจจะมีสัญญาณ Input มากกว่าหนึ่งได้ (ขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีของผู้ผลิตแต่ละยี่ห้อ อุปกรณ์ SSU บางยี่ห้ออาจจะมี Input ถึง 9 หรือมากกว่า) โดยอุปกรณ์ SSU จะเลือกสัญญาณ Clock ที่มีคุณภาพดีที่สุด เพื่อใช้เป็นสัญญาณ Clock อ้างอิงในเครือข่าย นอกจากนี้ อุปกรณ์ SSU ยังมีฟังก์ชันในการกำจัดสัญญาณรบกวนต่างๆ ที่ปนมากับสัญญาณ Clock ออกไปก่อนที่จะนำมาใช้ในเครือข่าย อุปกรณ์ SSU จึงนับได้ว่าเป็นอุปกรณ์ที่มีประโยชน์อย่างมากในเครือข่าย Synchronization

c) SDH Node Clock

สัญญาณ Clock ในลำดับชั้นนี้



รูปที่ 4 : แสดงการกระจายสัญญาณ Clock ภายในอุปกรณ์ SSU

รูปที่ 5 : แสดงการใช้งานอุปกรณ์ GPS-PRC เป็นแหล่งสัญญาณ Clock สำรอง

อ้างอิงตามมาตรฐาน ITU-T G.813 ซึ่งมีค่าความถูกต้องเท่ากับ 4.6 ppm หรือเท่ากับ 4.6×10^{-6}

2.3 ตำแหน่งในการติดตั้งอุปกรณ์ PRC และ SSU

นอกจากประเด็นของการเลือกใช้สัญญาณ Clock ให้เหมาะสมกับเครือข่ายแล้ว อีกประเด็นหนึ่งที่สำคัญก็คือ การเลือกตำแหน่งในการติดตั้งอุปกรณ์กำเนิดสัญญาณ Clock ทั้งในระดับชั้น G.811 และ G.812 ซึ่งมีหลักเกณฑ์ในการเลือกตำแหน่งสำหรับการติดตั้งดังนี้

1) ในการเลือกตำแหน่งสำหรับติดตั้งอุปกรณ์ PRC โดยทั่วไปจะติดตั้งอุปกรณ์ PRC ในตำแหน่งที่เป็นศูนย์กลางของเครือข่าย เช่น Gateway แต่การที่จะเลือกตำแหน่งใดนั้น ก็ต้องพิจารณาประกอบกับปัจจัยที่เกี่ยวข้องอีกหลายปัจจัย อาทิเช่น ความสัมพันธ์ในการ

กระจายสัญญาณ Clock ให้กับโหนดอื่นๆ ในเครือข่าย, ความยากง่ายในการติดตั้ง, ความพร้อมของสถานที่ นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงความปลอดภัยและการบำรุงรักษาในอนาคตอีกด้วย

2) การติดตั้งอุปกรณ์ SSU จะเป็นไปตามมาตรฐานการกระจายสัญญาณ Clock ตามมาตรฐาน ITU-T G.803 หรือจะติดตั้งในตำแหน่งที่คุณภาพของสัญญาณ Clock มีค่าต่ำกว่ามาตรฐานที่โหนดหรือ NE นั้นๆ ยอมรับได้ หรือตำแหน่งที่เป็นศูนย์กลางของเครือข่ายในแต่ละภูมิภาค

3) โดยทั่วไปเครือข่ายที่มีความเสี่ยงสูง หรือเครือข่ายสื่อสารสัญญาณที่ไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอ เช่น สาย Fiber Optic อยู่ในพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อความเสียหายสูง หรือในกรณีที่ใช้ Microwave ในการเชื่อมโยง อาจจะเกิดกรณีที่ไม่สามารถใช้งาน Microwave ได้ โดยทั่วไปในการแก้ปัญหาเหล่านี้จะมีการออกแบบให้มี

แหล่งสัญญาณ Clock สำรอง (Back-up) ในตำแหน่งที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ SSU อาจจะมีการติดตั้งทุกตำแหน่งหรือบางตำแหน่ง ขึ้นอยู่กับความสำคัญของตำแหน่งนั้นๆ ซึ่งไดอะแกรมตามรูปที่ 5 แสดงการใช้งานอุปกรณ์ GPS-PRC เป็นแหล่งสัญญาณ Clock สำรองร่วมกับ SSU.

GEW