

## บทที่ 2

### แนวคิด ทฤษฎี และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 Internet Protocol Television: IPTV

เทคโนโลยี IPTV เป็นการนำเทคโนโลยีด้านโครงข่ายอินเทอร์เน็ตมาประยุกต์ใช้งานกับเทคโนโลยีทางการถ่ายทอดผ่านโทรทัศน์ ซึ่งเป็นการแพร่สัญญาณภาพและเสียงผ่านทางโครงข่ายอินเทอร์เน็ต เทคโนโลยี IPTV เป็นมัลติมีเดียชนิดหนึ่ง โดยมีการให้บริการที่น่าสนใจอยู่หลายรายการ ยกตัวอย่างเช่น Video on Demand การรับชมการถ่ายทอดสด และการรับชมย้อนหลัง Video on Demand เป็นการรับชมรายการแต่ละรายการที่ผู้ใช้บริการสนใจสามารถเข้ารับชมได้ในทันทีโดยการเลือกรายการที่สนใจรับชมนั้น แต่อาจต้องเสียค่าบริการเพิ่มเติมการรับชมการถ่ายทอดสด เป็นการรับชมรายการที่มีอยู่ในช่วงเวลานั้นๆ ได้อย่างทันทีทันใด และสามารถส่งข้อความตอบโต้หรือแสดงความคิดเห็นผ่านหน้าจอของผู้รับชมได้ทันทีโดยไม่ต้องผ่านโครงข่ายโทรศัพท์หรืออื่นๆในการรับชมย้อนหลัง รายการที่ผ่านมาแล้วที่ทางผู้รับชมไม่ได้ติดตามแต่ต้องการที่จะรับชมก็สามารถย้อนกลับไปรับชมย้อนหลังได้ตามต้องการ

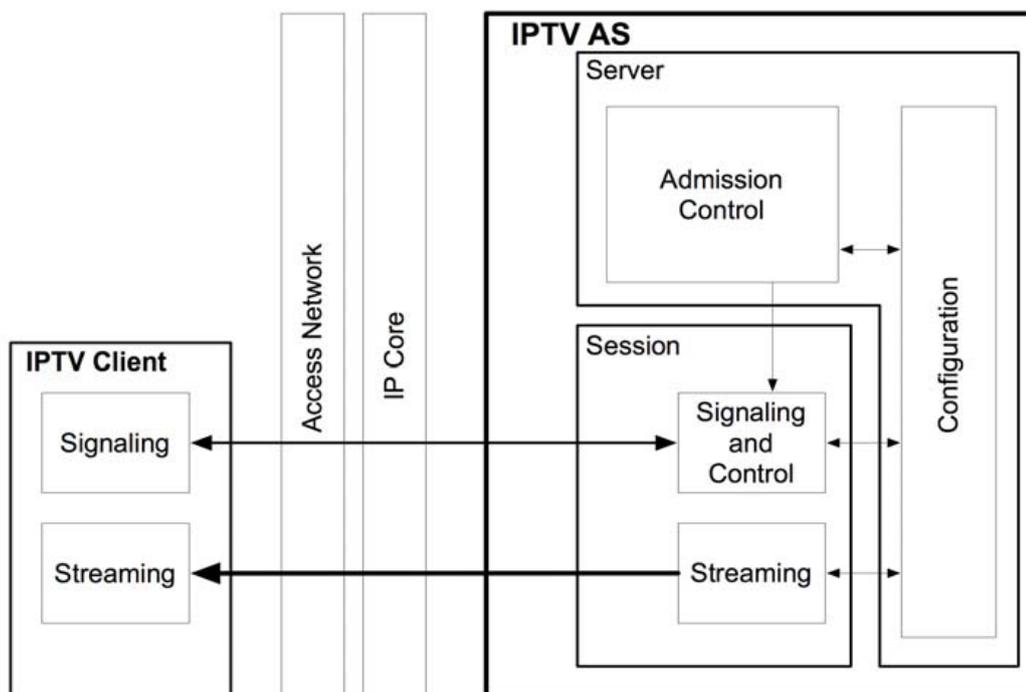
#### 2.2 สถาปัตยกรรม IPTV

สถาปัตยกรรม IPTV ในปัจจุบันที่มีอยู่นั้นมีการคิดค้นพัฒนาจากหลายๆแห่ง ทั้งในระดับองค์กรและระดับบุคคล โดยมีการนำสถาปัตยกรรมที่คิดค้นขึ้นมาเผยแพร่ให้บุคคลทั่วไปได้รับทราบแต่ทั้งนี้ยังไม่มีการกำหนดมาตรฐานของสถาปัตยกรรม IPTV ที่มีรูปแบบที่ชัดเจนและได้รับการยอมรับจากองค์กรที่เกี่ยวข้อง โดยภายในหัวข้อนี้จะยกตัวอย่างสถาปัตยกรรมบางตัวที่มีการใช้งานแพร่หลายเพื่อให้ทราบถึงสถาปัตยกรรม IPTV มากยิ่งขึ้น

### 2.2.1 SIP based IPTV architecture for heterogeneous networks<sup>1</sup>

IPTV AS Modules ส่วนประกอบหลักของ IPTV AS เป็น Server และ Session Block

ผังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การทำงานของ IPTV บน SIP ฟังก์ชัน server

ที่มา: R.S.Nunes, M.S.Menezes & L.Domingues. (2009, June). *SIP based IPTV architecture for heterogeneous networks*. ConTEL 2009 10<sup>th</sup> International Conference on Computer Communications

Server Block บล็อกนี้มีการกำหนดค่าเซิร์ฟเวอร์และการควบคุมและทำหน้าที่เป็นหลัก  
ยัดสำหรับการเชื่อมต่อผู้รับชม บล็อกนี้จะประกอบด้วยบล็อกย่อยๆต่อไปนี้

<sup>1</sup>R.S.Nunes, M.S.Menezes & L.Domingues. (2009, June). *SIP based IPTV architecture for heterogeneous networks*. ConTEL 2009. 10<sup>th</sup> International Conference on Computer Communications. pp. 421 – 428.

Configuration Block บล็อกนี้รับผิดชอบการตั้งค่าคุณสมบัติของเซิร์ฟเวอร์ สำหรับเส้นทางทั่วไปให้บริการผู้รับชมด้วยคุณลักษณะของสตรีมที่มีอยู่ สำหรับเส้นทาง Per-client มีลักษณะสตรีมสำหรับผู้รับชม

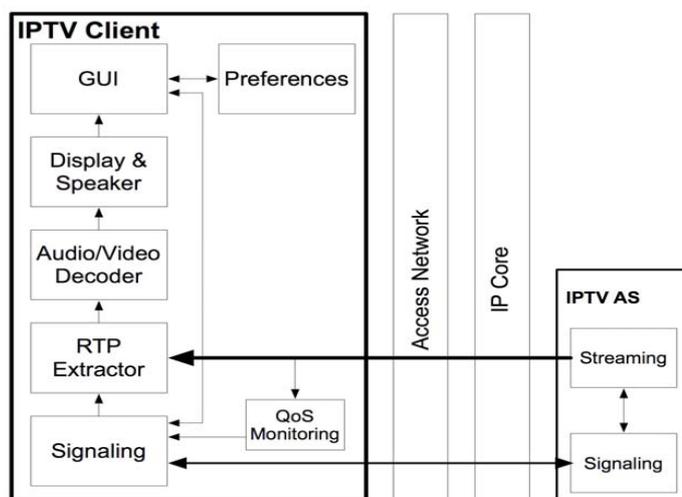
Admission Control Block บล็อกนี้รับผิดชอบการสร้างเซสชันผู้รับชมใหม่ทุกครั้งสำหรับผู้รับชมใหม่ขอเชื่อมต่อ

Session Block เป็น Per-client ที่ให้บริการแก่ผู้รับชม บล็อกนี้จะประกอบด้วยบล็อกย่อยๆ ต่อไปนี้

Signaling and Control Block บล็อกนี้รับผิดชอบการตั้งค่าเซสชันการควบคุมและที่ขาดหายบล็อกนี้มีหน้าที่ให้สัญญาณและการควบคุมสำหรับ IPTV Trick นอกจากนี้การปรับตัวแสดงมัลติมีเดียจากผู้รับชมมีการประมวลผลในบล็อกนี้ ซึ่งในทางกลับกันสัญญาณจะดำเนินการปรับปรุง Streaming Block บล็อกนี้ให้ฟังก์ชันจำเป็นสำหรับการส่งข้อมูลมัลติมีเดียและการดำเนินการตามหน้าที่ Trick หาก Per-client ต้องไปตามเส้นทางตามข้อกำหนดที่กำหนดโดยค่าเซสชัน

IPTV Client คืออุปกรณ์ที่สถานีผู้รับชมเรียกใช้ IPTV Client โดยประกอบด้วยมัลติมีเดียสตรีมมิ่ง กับ IMS หน้าที่ควบคุมตามเซสชันและหน้าที่ควบคุมสื่อ

IPTV Client Modules: IPTV Client Modules ที่ติดต่อโดยตรงกับ IPTV AS มีสัญญาณที่ RTP Extractor และติดตาม QoS Modules



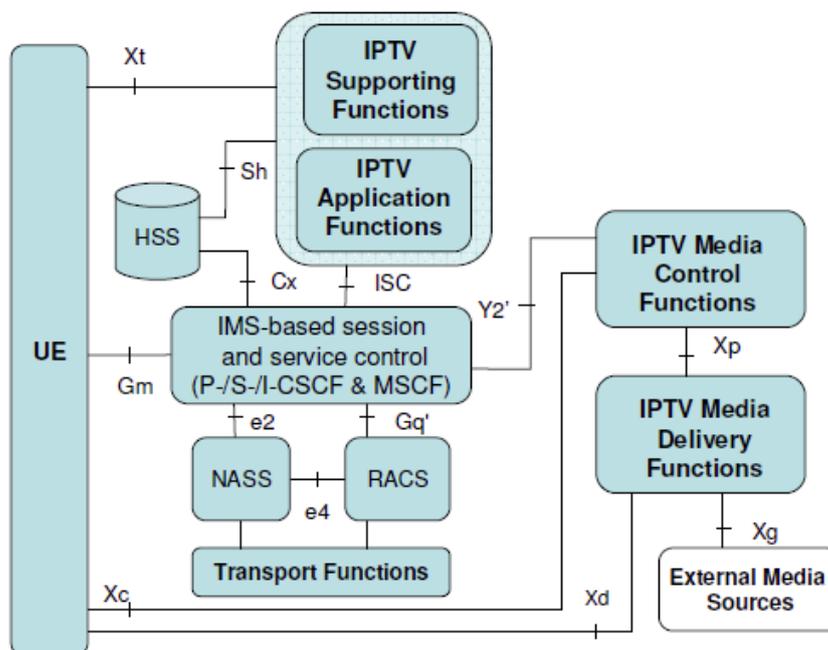
รูปที่ 2.2 การทำงานของ IPTV บน SIP ฟังก์ชัน Client

ที่มา: R.S.Nunes, M.S.Menezes & L.Domingues. (2009, June). *SIP based IPTV architecture for heterogeneous networks*. ConTEL 2009, 10<sup>th</sup> International Conference on Computer Communications

### 2.2.2 IMS based IPTV services - Architecture and Implementation<sup>2</sup>

IMS (IP Multimedia Subsystem) เป็นสถาปัตยกรรมโครงข่ายสำหรับส่งข้อมูลการบริการมัลติมีเดียผ่านทาง IP สถาปัตยกรรม IMS ในบทความนี้ได้อ้างอิงแนวคิดของ TISPAN เพื่อนำมาใช้เป็นมาตรฐานสำหรับ IPTV นั้นทำให้ได้รับฟังก์ชันต่างๆ ของ IMS มา ซึ่งทำให้มีข้อได้เปรียบในการจัดการข้อมูลส่วนตัว รวมถึงการบริการด้าน Voice, Data, Video ในแนวคิดของ ScaleNet

<sup>2</sup> Eugen Mikoczy, Dmitry Sivchenko & Veselin Rakocevic. (2007, August). *IMS based IPTV services - Architecture and Implementation*. MobiMedia 07 Proceedings of the 3rd international conference on Mobile multimedia communications. p.15-21.



รูปที่ 2.3 IMS IPTV functional architecture for ScaleNet

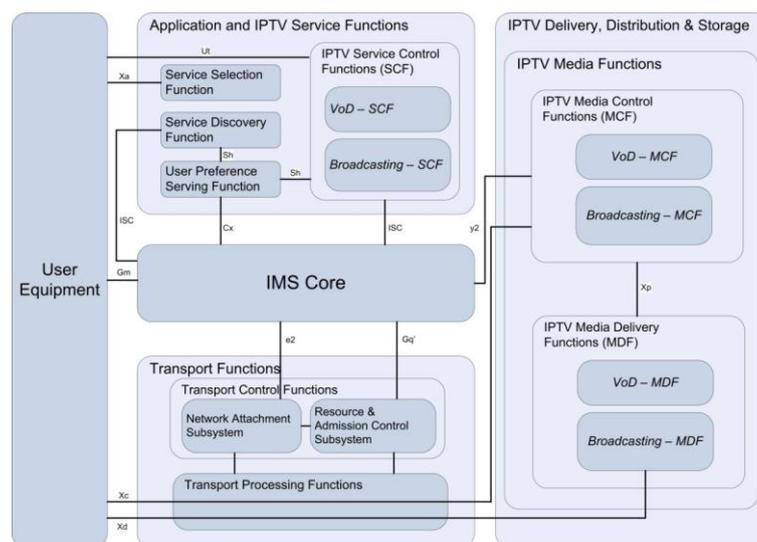
ที่มา: Eugen Mikoczy, Dmitry Sivchenko & Veselin Rakocevic. (2007, August). *IMS based IPTV services - Architecture and Implementation*. MobiMedia 07 Proceedings of the 3rd international conference on Mobile multimedia communications.

จากรูปที่ 2.3 UE (User Equipment) ทำการติดต่อสื่อสารกับบริการ IPTV ผ่านการควบคุมทาง core IMS โดยมีเซสชันควบคุมในช่องทาง Xt เพื่อใช้ในการกำหนดการให้บริการแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ของ IPTV

IPTV application server functions (IASF) ใช้อินเทอร์เน็ตเฟส ISC ใช้ติดต่อสื่อสารและควบคุมกับ IMS บน NGN (Next-generation network) และในอนาคตนี้มีการปรับปรุงในส่วนของ Multimedia Service Control Function (MSCF) ใช้สำหรับการควบคุมการส่งข้อมูลและการกระจายข้อมูล

### 2.2.3 IPTV Architecture; IPTV functions supported by the IMS subsystem<sup>3</sup>

สถาปัตยกรรม IMS (IP Multimedia Subsystem) เป็นแนวคิดของ TISPAN แบ่งการทำงานของระบบออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นของ Customer Network เป็นโครงข่ายของลูกค้า ส่วนที่สองเป็นส่วนของ Network Service Provider เป็นส่วนของผู้ให้บริการโครงข่าย ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 สถาปัตยกรรม IPTV บน IMS

ที่มา: ETSI. (2008). *Telecommunications & Internet converged Services & Protocols for Advanced Networking (TISPAN); IPTV Architecture; IPTV functions supported by the IMS subsystem*. Sophia Antipolis Cedex: FRANCE.

รูปที่ 2.4 แสดงสถาปัตยกรรม IPTV บน IMS ที่กำหนดโดย TISPAN สถาปัตยกรรมนี้ได้รับการออกแบบมาเพื่อรองรับบริการ IPTV หลากหลายรูปแบบ เช่น content on demand (CoD), broadcast (BC) TV และ network PVR (N-PVR)

<sup>3</sup> ETSI. (2008). *Telecommunications & Internet converged Services & Protocols for Advanced Networking (TISPAN); IPTV Architecture; IPTV functions supported by the IMS subsystem*. Sophia Antipolis Cedex: FRANCE.

สถาปัตยกรรม IPTV บน IMS มีองค์ประกอบดังนี้

User Equipment ทำหน้าที่ได้ต่อกับผู้ชมหมายถึงการเรียกดูและเลือกหนึ่งในบริการที่ใช้ได้ให้กับผู้ชม (ช่องโทรทัศน์ เป็นต้น)

IMS Core ระบบย่อยที่บริการ layer ในสถาปัตยกรรม TISPAN NGN ที่สนับสนุนการให้บริการมัลติมีเดียบน SIP ทำหน้าที่จำกัดส่วนที่ควบคุมการปฏิบัติการได้

Transport Function ผู้ให้บริการ IPTV เชื่อมต่อไปยัง Server ปลายทาง ฟังก์ชันเหล่านี้สามารถแยกย่อยต่อไปเป็นชุดของหน้าที่ควบคุมการส่งและชุดของการดำเนินการส่งในฟังก์ชันหน้าที่การควบคุมการส่ง Resource and Admission Control Subsystem (RACS) ได้มาเกี่ยวข้องเป็นพิเศษ จะดำเนินการควบคุมนโยบาย ของทรัพยากร และรับหน้าที่ควบคุมการจราจรในช่องทางเดียว และหลายๆช่องทางสำหรับโครงข่ายการส่ง บริการ RACS ใช้งานเกี่ยวกับการจองทรัพยากรการส่ง และการรับประกันการให้บริการในโครงข่าย

User Preference Serving Function ทำหน้าที่เก็บโปรไฟล์ผู้ใช้ IPTV โปรไฟล์นี้ครอบคลุมถึงการตั้งค่าผู้ใช้ที่จำเป็นในการดำเนินการบริการ IPTV เช่นการตั้งค่าภาษาหรือช่องรายการโทรทัศน์

Application and IPTV service functions เป็นชุดของฟังก์ชันนี้ช่วยให้การดำเนินงานของบริการIPTV

Media delivery, distribution and storage ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับชุดของฟังก์ชัน โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนที่สำคัญ Media Control Functions (MCF) ส่วนใหญ่เป็นฟังก์ชันการจัดการข้อมูล และ Media Delivery Functions (MDF) ทำหน้าที่จัดการสื่อสารกับอุปกรณ์ตัวอื่น และ MDF เป็นหลักใช้สื่อการจัดการฟังก์ชัน เช่นการจัดเก็บ ประมวลผล และจัดส่งข้อมูล

### 2.3 การเข้ารหัสแบบ H.264<sup>4</sup>

H.264/MPEG-4 Part 10 หรือ AVC (Advance Video Coding) เป็นมาตรฐานชนิดหนึ่งสำหรับการบีบอัดวิดีโอ (Video Compression) และถือเป็นรูปแบบ (format) หนึ่งที่มีการใช้งาน

---

<sup>4</sup> P.Seeling and M.Reisslein. (2005, October). *Evaluating multimedia networking mechanisms using video traces*. IEEE Potentials, pp. 21-25.

สำหรับบันทึก บีบอัดและการกระจายข้อมูลสำหรับวิดีโอความละเอียดสูง (High Definition Video) โดยตัว H.264/MPEG-4 AVC นั้นเป็น block-oriented motion-compensation-based codec ซึ่งถูกพัฒนาโดย International Telecommunication Union (ITU-T) ร่วมกันกับ International Organization for Standardization (ISO)/ International Electro technical Commission (IEC) ซึ่งมาตรฐาน H.264 ของ ITU-T และมาตรฐาน MPEG-4 AVC ของ ISO/IEC นั้นจะเป็นการร่วมกันทำงาน ทำให้มีเนื้อหาที่เหมือนกัน โดย H.264 นั้นจะถูกใช้เพื่อเป็น codec มาตรฐานสำหรับแผ่นบลูเรย์ต่างๆทำให้เครื่องเล่นบลูเรย์นั้นจะต้องสามารถถอดรหัส H.264 ได้ นอกจากนั้นแล้ว H.264 ยังถูกใช้ในงานด้านต่างๆได้แก่ streaming internet source, web software, broadcast service, cable TV และ real-time videoconferencing ในปัจจุบัน H.264 ได้มีการเพิ่มโครงสร้างหลักเข้าไปอีก 2 แบบนั่นคือ SVC และ MVC

### 2.31 SVC (Scalable Video Coding)

เป็นชื่อของส่วนเสริมประเภท Annex G ของมาตรฐาน H.264/MPEG-4 AVC โดย SVC นั้นจะเป็นการวางมาตรฐานในการเข้ารหัส HD video bit stream ที่มีการบรรจุ subset bitstream มากกว่าหนึ่งตัว โดย subset bitstream นั้นสามารถปรับเปลี่ยนการแสดงความละเอียดของภาพ หรือลดคุณภาพของสัญญาณวิดีโอได้

### 2.3.2 MVC (Multiview Video Coding)

เป็นส่วนเสริมประเภท Annex H ของมาตรฐาน H.264/MPEG-4 AVC โดย MVC จะทำให้ bitstream นั้นสามารถทำให้วิดีโอแสดงผลมากกว่าหนึ่งมุมมองได้ ตัวอย่างหลักของการใช้งานประเภทนี้คือการเข้ารหัสวิดีโอ stereoscopic 3D โดยตัว MVC นั้นมีความสามารถ backward compatible กับ H.264/AVC ทำให้สามารถถอดรหัสโดยใช้แค่ AVC ได้ แต่จะไม่แสดงผลมุมมองอื่นๆ ลักษณะกระบวนการหลักในการเข้ารหัสของ H.264 มีองค์ประกอบหลักคือ

Inter frame coding โดยใช้การประมาณการเคลื่อนไหวและการชดเชยระหว่างเฟรมของวิดีโอที่ต่อเนื่องกัน

โดยในกระบวนการ Inter frame Coding เฟรมของวิดีโอจะถูกแบ่งออกเป็นรูปบล็อก 8x8 โดยทุกๆ บล็อกจะถูกเปลี่ยนโดยใช้ DCT จะกลายเป็นสัมประสิทธิ์การแปลงข้อมูล (transform coefficient) ขนาดบล็อก 8x8 ซึ่งแสดงถึงส่วนประกอบความถี่เชิงพื้นที่ (spatial frequency) ในบล็อกต้นแบบ โดยปกติแล้วข้อมูลเฟรมของวิดีโอ นั้นจะถูกรวบรวมไว้ในส่วนประกอบความถี่เชิงพื้นที่ซึ่งมีจำนวนน้อย ทำให้วิดีโอเฟรมที่ถูกแสดงนั้นถูกบีบอัดได้มากขึ้น จากนั้นสัมประสิทธิ์การแปลงข้อมูลจะถูก quantize โดยระดับของความหยาบของการ quantization นั้นจะถูกควบคุมโดยการตั้งค่า quantization step size (quantization scale) ซึ่งถ้า quantization scale

สูง จะทำให้การ quantization ที่หยาบขึ้นตามอัตราส่งผลให้เฟรมของวิดีโอมีขนาดเล็กขึ้นแต่คุณภาพของวิดีโอก็จะต่างไปด้วย ซึ่งการเข้ารหัส Constant Bit Rate (CBR) นั้น quantization scale จะถูกปรับในอัตราที่แตกต่างกันเพื่อรักษาระดับ bit rate ให้คงที่ ในทางกลับกัน การเข้ารหัสแบบ Variable Bit Rate (VBR) quantization scale จะถูกรักษาระดับไว้ให้คงที่ ส่งผลให้วิดีโอมีคุณภาพที่คงที่ แต่ bit rate ที่ได้จะไม่คงที่แตกต่างกันไป

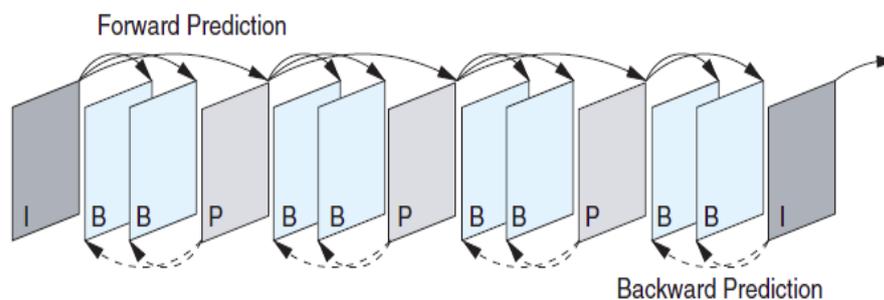
สำหรับการ Inter frame coding นั้น MPEG ได้แบ่งประเภทของเฟรมออกเป็น 3 ประเภท

1) I-frame (Intra-coded picture) เป็นเฟรมหลัก เป็นรูปภาพที่เก็บข้อมูลเฉพาะของตัวเองเหมือนรูปภาพหนึ่งทีคงที่ ทำให้มีอัตราการบีบอัดที่น้อยที่สุดแต่ไม่ต้องการเฟรมอื่นมาใช้ในการถอดรหัส (Decode)

2) P-frame (Predicted picture) เก็บเฉพาะการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจากเฟรมก่อนหน้า (ส่วนใหญ่จะเป็น I-frame) โดยการถอดรหัสนั้นจะดึงข้อมูลจากเฟรมก่อนหน้ามาใช้ ทำให้สามารถบีบอัดข้อมูลได้มากกว่า I-frame

3) B-frame (Bi-predictive picture) เก็บเฉพาะการเปลี่ยนแปลงจากเฟรมก่อนหน้าและเฟรมถัดไปต่อจากตัวมันเอง ทำให้ได้อัตราการบีบอัดข้อมูลสูงสุด

โดยเฟรมที่แตกต่างกันนี้จะถูกนำ มาจัดรวมกันเรียกว่า groups of pictures (GoPs) โดยอาจกล่าวได้ว่า ลำดับความต่อเนื่องของกลุ่มเฟรมที่เริ่มจากเฟรม I หนึ่งไปจนถึงเฟรมก่อนหน้าเฟรม I ที่อยู่ถัดไปจะถูกเรียกว่า GoP ซึ่งรูปแบบของ I, P และ B เฟรมที่รวมกันเป็น GoP นั้นจะถูกเรียกว่า GoP Pattern หรือ GoP structure ตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.5 ซึ่งแสดง GoP Pattern ที่มีสาม P เฟรมและมีสอง B เฟรมทั้งหน้าและหลัง P เฟรม



รูปที่ 2.5 รูปแบบการคาดการณ์ของ GoP

ที่มา: P.Seeling & M.Reisslein. (2005, October) *Evaluating multimedia networking mechanisms using video traces*. IEEE Potentials.

จากที่กล่าวไว้ข้างต้น I-frame ในรูปที่ 2.5 นั้นสามารถเข้ารหัสและถอดรหัสได้ในตัวของมันเองโดยไม่ต้องพึ่งหรืออ้างอิงจากเฟรมอื่น ในขณะที่ P-frame นั้นจะใช้การอ้างอิงจากตัว I-frame หรือ P-frame ก่อนหน้าเรียกว่า Forward Prediction ซึ่งแสดงไว้เป็นลูกศรสีเข้มในรูป ส่วนตัว B-frame นั้นจะใช้การอ้างอิงแบบ Forward Prediction และ Backward Prediction หรือก็คือการอ้างอิง แบบย้อนหลังจากตัว I-frame หรือ P-frame เบื้องหน้า ซึ่งแสดงไว้เป็นรูปลูกศรประจุดในรูป 2.5

ในกระบวนการอ้างอิงซึ่งใช้ในการ Prediction นั้น การจับคู่เหมือนของบล็อกต่างๆจะถูกวิเคราะห์และตัดสินใจโดยใช้ motion vector ซึ่งกระบวนการนี้จะถูกเรียกว่า motion estimation โดยข้อแตกต่างระหว่างบล็อกจะถูกนำไปเข้ารหัส ในขณะที่บล็อกที่เหมือนกันมากที่สุดจะถูกนำไปเปลี่ยนแปลงโดยใช้ DCT และการ quantize ตามที่กล่าวไว้ข้างบน โดยกระบวนการนี้เรียกว่า motion compensation ซึ่งถ้าไม่สามารถหาคู่ที่เหมือนกันของเฟรมที่นำมาอ้างอิงได้ แสดงว่าเฟรมนั้นเป็น I-frame

## 2.4 Protocol Independent Multicast (PIM)

เป็นหนึ่งในตระกูลของมัลติคาสต์โพรโตคอล บนโครงข่ายอินเทอร์เน็ตที่จะกระจายข้อมูลแบบ one-to-many และ many-to-many บนโครงข่าย LAN, WAN หรือ อินเทอร์เน็ต ที่เรียกว่า Protocol independent ก็เนื่องมาจากว่า PIM จะไม่มีกลไกในการเรียนรู้โครงสร้างเน็ตเวิร์ค แต่จะใช้ข้อมูล routing จาก routing protocol ต่างๆ ที่อยู่บนเน็ตเวิร์คนั้นๆ เช่น Open Shortest Path First, Routing Information Protocol และ Border Gateway Protocol เป็นต้น PIM Protocol ที่เป็นที่รู้จักมีดังต่อไปนี้

### 2.4.1 Protocol Independent Multicast Dense Mode: PIM-DM<sup>5</sup>

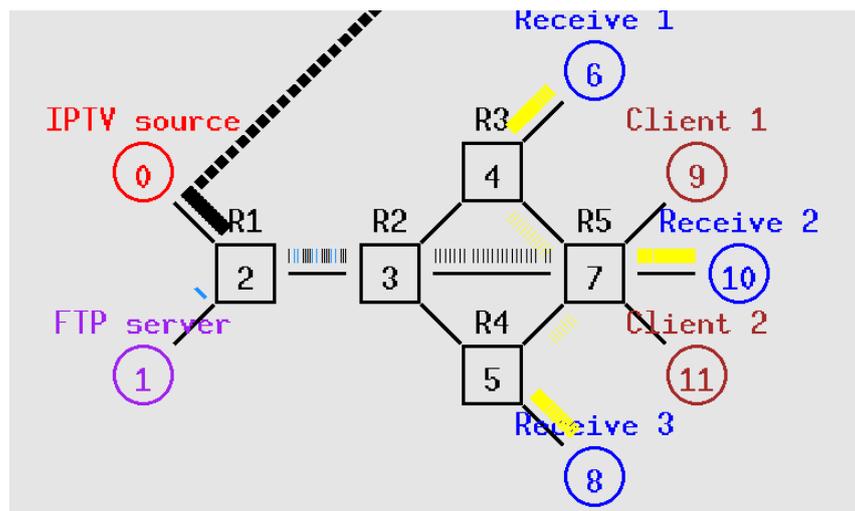
โพรโตคอล PIM-DM มีการทำงานสองขั้นตอน ในขั้นตอนแรกของโครงข่ายมัลติคาสต์ จะทำการส่งข้อมูลเพื่อที่จะทราบเส้นทางที่สามารถใช้งานได้ของเราเตอร์ทั้งหมดของโครงข่าย ยกเว้นเราเตอร์ต้นทางที่ปกติจะใช้การส่งแบบยูนิคาสต์ไปยังเราเตอร์ที่เป็นมัลติคาสต์ เพื่อให้เราเตอร์ที่เป็นมัลติคาสต์ทำงานต่อไป หลังจากขั้นตอนแรกส่งข้อมูลไปยังเราเตอร์ที่เป็นโหนดทั้งหมดของ

---

<sup>5</sup> A. Adams NextHop Technologies, J. Nicholas ITT A/CD, W. Siadak NestHop Technologies (2005, January). *Protocol Independent Multicast – Dense Mode (PIM-DM): Protocol Specification* (Revised). Pp. 5 – 6.



ข้อมูลออกไปยังเราเตอร์ตัวแรกจะทำการ encapsulate ข้อมูลพร้อมกลับ control message (Register) แต่จะเป็นการส่งแบบ unicast ไปยัง RP เมื่อ RP ได้รับข้อมูลแล้วจะทำการ de-capsulate ข้อมูลออก แล้วกระจายออกไปยัง Shared tree หลายเส้นทางแหล่งข้อมูลทั้งหมดที่จะผ่านมัลติคาสต์ต้องผ่าน โหนดส่วนกลางของ RP ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.7 วิธีการของ PIM-SM

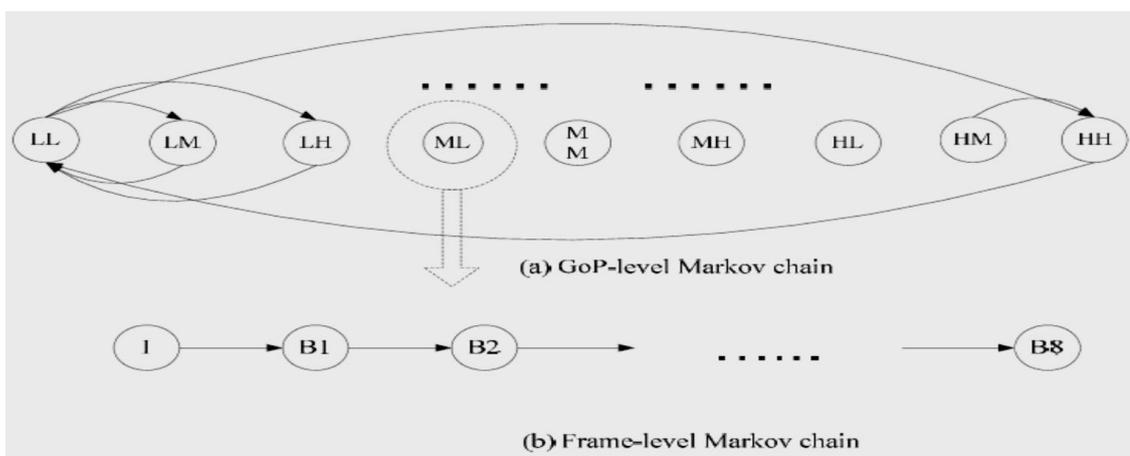
#### 2.4.3 Bidirectional Protocol Independent Multicast Mode: Bidirectional PIM<sup>7</sup>

เป็นโปรโตคอลตามมาตรฐาน IETF ใน RFC 5015 เป็นโปรโตคอลที่พัฒนาต่อ เนื่องจาก โปรโตคอล PIM-SM ซึ่ง Bidirectional PIM จะส่งข้อมูลไปยัง RP ตาม share tree ที่สร้างขึ้นมา แล้วส่งข้อมูลออกไปยังโหนดต่างๆ เป็นสองทิศทาง แต่ RP ไม่ได้ทำหน้าที่เป็น source – base tree แต่จะทำหน้าที่เป็น share tree เท่านั้น และไม่มีการทำ encapsulation แพคเกจก่อนส่งไปที่ RP ใน Bidirectional PIM โหนด RP ที่เป็น share tree จะไม่สามารถเปลี่ยนเป็น Source-base tree ได้ ใน Bidirectional PIM แต่จะถือว่าเราเตอร์เป็น share tree ทุกเราเตอร์ในแต่ละลิงค์จะถูกเลือกเป็น Designate Forwarding (DF) ซึ่งจะเกิดขึ้นในช่วงเริ่มต้นก่อนการส่งข้อมูล (Discovery

<sup>7</sup> M. Handley UCL, I. Houvelas, T. Speakman Cisco & L. Vicisano Digital Fountain (October 2007). *Bidirectional Protocol Independent Multicast (BIDIR-PIM)*. RFC5015.



และความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ (spatial correlations) โดยมีวิธีการกำหนดประเภทของวิดีโอเป็นระดับ S และ T ตามลำดับ ทั้งหมดนี้สามารถใช้  $S \times T$  เป็นตัวแทนความสัมพันธ์ทั้งหมดได้ และสรุปผลได้ว่าจากการทดลองให้  $S=3$ ,  $T=3$  เป็นการเลือกลำดับที่ดีที่สุด โดยจะแสดงเป็นสามระดับ คือ ความสัมพันธ์ของ low (L), medium (M) และ high (H) โดยแบ่งได้เป็นทั้งหมดเป็น 9 ระยะเวลา ( $3 \times 3$ ) โดยการใช้กระบวนการ transition probability ดังรูปที่ 2.9 (a)



รูปที่ 2.9 Traffic Model

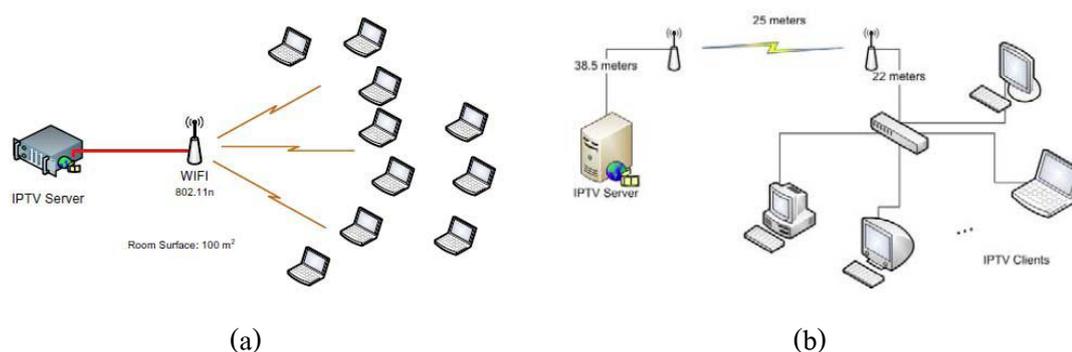
ที่มา : F. Wan, L. Cai & T.A. Gulliver. (2008, November). *A Simple, Two-Level Markovian Traffic Model for IPTV Video Sources*. Global Telecommunications Conference 2008.

## 2) Frame-level Markov chain

Frame-level Markov chain ในระดับนี้ได้แบ่งรูปแบบของ GoP level ออกเป็น 12 ระยะเวลา โดยแจกแจงออกเป็นระยะ I B1 B2 P1 B3 B4 P2 B5 B6 P3 B7 B8 ดังรูปที่ 2.6 (b) แต่ละเฟรมจะมีกระบวนการคิดตามระดับของ GoP โดยมีการคิดกระบวนการของระยะของ GoP มีทั้งหมด 3 ระดับ ที่กล่าวไว้ใน GoP level

### 2.5.2 IPTV Performance in IEEE 802.11n WLAN<sup>9</sup>

บทความนี้มีจุดเด่นโดยการนำมาตรฐานโครงข่ายไร้สาย IEEE 802.11n มาใช้ในการทดสอบ ซึ่งมีอัตราการส่งข้อมูลที่สูงและขอบเขตที่กว้างกว่ามาตรฐาน IEEE 802.1a/b/g โดยนำมาใช้ในการให้บริการโครงข่ายของ IPTV และบทความนี้ได้ทำการทดสอบจริง (Test Benches) เพื่อวัดสมรรถภาพของระบบตามอัตราการเปลี่ยนแปลงของผู้ใช้งานในระบบจากรูปที่ 2.10 (a), (b) แสดง Topology ที่ใช้ในการทดสอบทั้งแบบภายในและภายนอกอาคาร โดยวิดีโอที่ใช้ในการทดสอบนั้นจะอยู่ในรูป SDTV MPEG-2 โดยมีความละเอียดอยู่ที่ 720x576 เฟรมเรตอยู่ที่ 25 fps และมีความยาวของวิดีโอทั้งหมด 70 นาที โดยในการทดสอบทั้งแบบภายในและภายนอกอาคารสามารถจำแนกการทดสอบออกเป็นสี่แบบคือ Delay, Jitter, Packet loss และ Bandwidth โดยจะส่งในรูปแบบ Multicast 1 channel



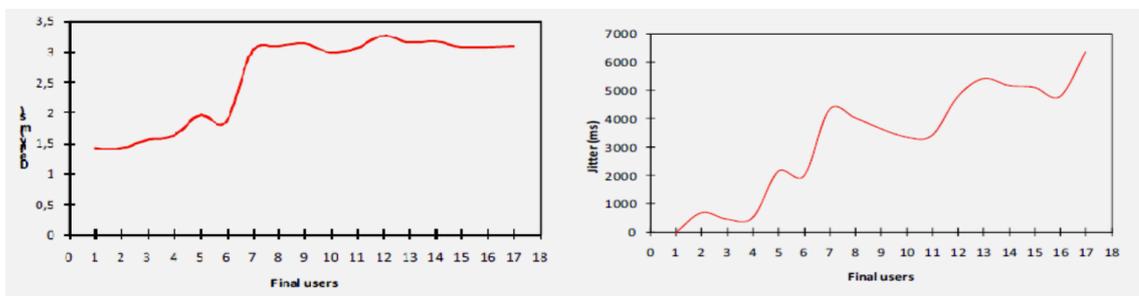
รูปที่ 2.10 (a) การทดสอบแบบสภาพแวดล้อมภายในอาคาร

(b) การทดสอบสภาพแวดล้อมภายนอกอาคาร

ที่มา: Marcelo Atenas, Sandra Sendra, Miguel Garcia & Jaime Lloret. (2010, December). *IPTV Performance in IEEE 802.11n WLANs*. IEEE GLOBECOM Workshops (GC Wkshps) 2010.

<sup>9</sup> Marcelo Atenas, Sandra Sendra, Miguel Garcia & Jaime Lloret. (2010, December). *IPTV Performance in IEEE 802.11n WLANs*. IEEE GLOBECOM Workshops (GC Wkshps) 2010. pp. 929 – 933.

ผลการทดสอบการให้บริการโครงข่าย IPTV จากการทดสอบแบบภายในและภายนอกอาคารดังรูปที่ 2.11 (a), (b)



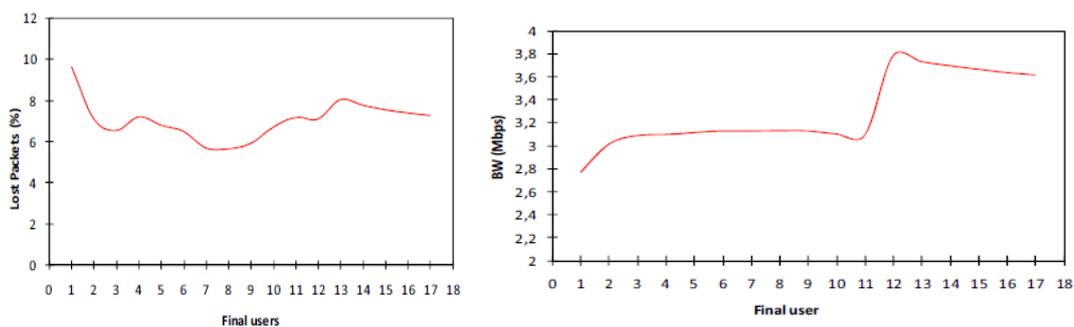
(a)

(b)

รูปที่ 2.11 (a) ค่าเฉลี่ย Delay สำหรับ 1 Multicast channel

(b) ค่าเฉลี่ย Jitter สำหรับ 1 Multicast channel

ที่มา: Marcelo Atenas, Sandra Sendra, Miguel Garcia & Jaime Lloret. (2010, December). *IPTV Performance in IEEE 802.11n WLANs*. IEEE GLOBECOM Workshops (GC Wkshps) 2010.



(a)

(b)

รูปที่ 2.12 (a) ค่าเฉลี่ย Packet loss สำหรับ 1 Multicast channel

(b) ค่าเฉลี่ย Bandwidth สำหรับ 1 Multicast channel

ที่มา: Marcelo Atenas, Sandra Sendra, Miguel Garcia & Jaime Lloret. (2010, December). *IPTV Performance in IEEE 802.11n WLANs*. IEEE GLOBECOM Workshops (GC Wkshps) 2010.

โดยสรุปว่าบทความนี้ได้ทำการทดสอบแล้วนั้น ทำให้รู้ว่าค่า Delay, Jitter, Packet loss และ Bandwidth ไม่ได้เพิ่มขึ้นเป็นลักษณะเชิงเส้นหรือตามจำนวนของผู้ใช้บริการแต่ขึ้นลงตามสภาพแวดล้อมที่มีในช่วงที่มีการให้บริการเวลานั้นดังรูปที่ 2.10-2.11

### 2.5.3 3D-IPTV Study and Performance<sup>10</sup>

บทความนี้ได้แบ่งออกเป็นสองส่วน โดยส่วนแรกของบทความจะทำการวิเคราะห์ข้อมูลปัจจัยต่างๆในการส่งผ่านวิดีโอ 3D ผ่านทาง IPTV โดยมีการกล่าวถึงข้อจำกัดต่างๆของ 3D-IPTV ที่ยังเป็นปัญหาอยู่ในขณะนี้เช่น การที่ข้อมูลมีขนาดใหญ่เกินไป รูปแบบที่ใช้ในการ encode แบบต่างๆ สำหรับ stereoscopic video สำหรับ MPEG4 part 10 (H.264) ขีดจำกัดทางด้านมุมมองต่างๆ ในการมองรูป 3D จากโทรทัศน์ จากนั้นส่วนที่สองได้ทำการจำลองโครงข่ายแบบใช้อุปกรณ์จริง (Test Bench) โดยมีข้อกำหนดต่างๆ ดังนี้

โครงข่ายมีความ scalability ในระดับสูง (10-100 Terabit/s)

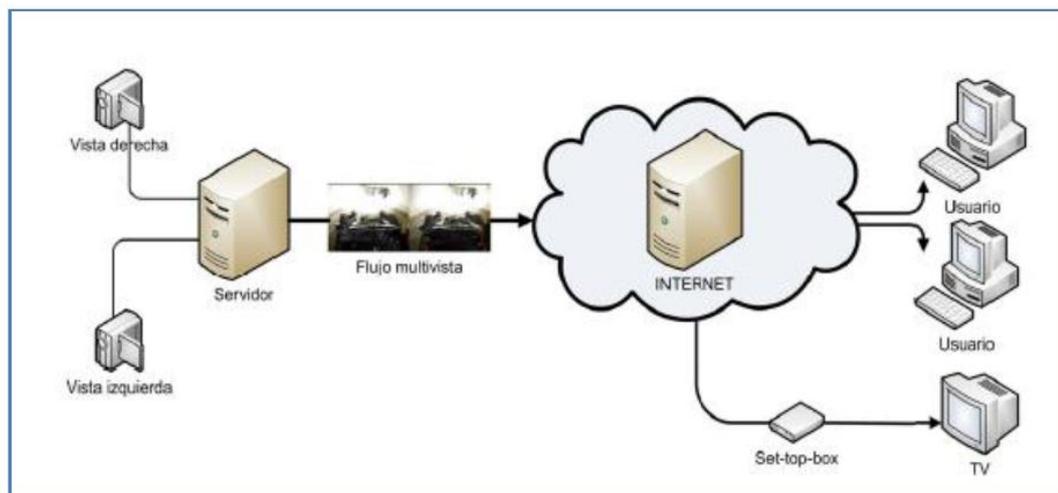
สามารถให้ QoS ที่เชื่อถือได้โดยการรวม delay, jitter และ packet loss ในการคิดคำนวณ ซึ่งต้องทดสอบการส่งผ่านทั้ง CBR และ VBR

การให้บริการต่างๆ นั้นเป็นไปได้ในขณะที่มี TCP traffic โดยการบริการนั้น ต้องอยู่ในระดับดีที่สุด และไม่ถูกรบกวนโดย traffic ต่างๆ

โดย Topology ที่ใช้ในการทดลองจะถูกแสดงไว้ที่รูปที่ 2.13

---

<sup>10</sup> A. Canovas, M. Garcia, J. Lloret & J. Toma s. (2010, September). *3D-IPTV Study and Performance*. Evolving Internet (INTERNET) 2010 Second International Conference. pp 55-60.



รูปที่ 2.13 Test Bench network Topology

ที่มา : A. Canovas, M. Garcia, J. Lloret & J. Toma s. (2010, September). *3D-IPTV Study and Performance*. Evolving Internet (INTERNET) 2010 Second International Conference.

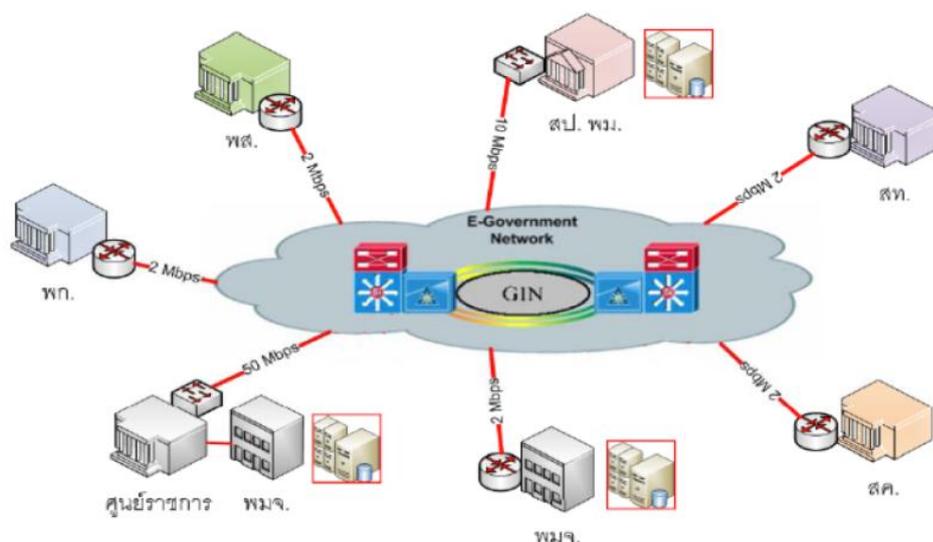
โดยการประเมินจะถูกแบ่งออกเป็นสองส่วน ซึ่งส่วนแรกจะประเมินการ coding 3D video โดยทดสอบว่าหลังจากถูก encode โดย H.264 แล้ว performance ของระบบจะได้ผลขนาดไหน และส่วนที่สองจะทำการทดสอบในโครงข่ายแบบอื่นๆ ว่า 3D video จะมีผลของ delay, jitter และ packet loss อย่างไรในโครงข่ายที่กำหนดผลรูปแบบต่างๆ เช่น มี jitter เป็น exponential, ไม่มี jitter เป็นต้น

#### 2.5.4 การประเมินคุณภาพไอพีทีวีแบบหลายช่องทางบนโครงข่ายสารสนเทศภาครัฐ<sup>11</sup>

วิทยานิพนธ์นี้ประเมินการใช้งานเทคโนโลยีโทรทัศนผ่านอินเทอร์เน็ตหรือ IPTV บนโครงข่ายสารสนเทศภาครัฐ โดยศึกษาในกรณีของการประยุกต์ใช้งาน IPTV แบบทันกาลและหลายผู้ใช้งานที่เหมาะสมกับการใช้งานในราชการเช่น การประชุมทางไกลผ่านวิดีโอ เป็นต้น โดยการจำลองจะใช้โพรโทคอลแบบ PIM-DM โดยใช้แหล่งกำเนิดสัญญาณวิดีโอที่มีความละเอียดของภาพ

<sup>11</sup> อนุพงษ์ ทองมอญและชัยพร เขมะภาคะพันธ์. (2012, March). *การประเมินคุณภาพไอพีทีวีแบบหลายช่องทางบนโครงข่ายสารสนเทศภาครัฐ*. The National Conference on Computer Information Technologies.

อยู่ที่ 1080i และ 720i บนโครงข่ายที่มีโหนดอื่นๆ ขนาดต่างๆ และขนาดของบัพเฟอร์ของเราเตอร์ที่แตกต่างกันสี่กรณี คือ กรณีที่หนึ่ง ขนาดของบัพเฟอร์ทั้งหมดอยู่ที่ 600 แพ็คเก็ต กรณีที่สอง ขนาดของบัพเฟอร์ทั้งหมดอยู่ที่ 1200 แพ็คเก็ต กรณีที่สามขนาดของบัพเฟอร์ต้นทางอยู่ที่ 600 แพ็คเก็ต ปลายทางอยู่ที่ 1200 แพ็คเก็ต กรณีที่สี่ ขนาดของบัพเฟอร์ต้นทางอยู่ที่ 1200 แพ็คเก็ต ปลายทางอยู่ที่ 600 แพ็คเก็ต



รูปที่ 2.14 โครงข่ายสารสนเทศภาครัฐ

ที่มา: อนุพงษ์ ทองมอญและชัยพร เขมะภาคะพันธ์. (2012, March). การประเมินคุณภาพไอพีทีวีแบบหลายช่องทางบนโครงข่ายสารสนเทศภาครัฐ. The National Conference on Computer Information Technologies.

ผลการวิจัยพบว่าโครงข่าย GIN ยังไม่เหมาะที่จะนำมาให้บริการระบบ IPTV ได้ โดยพบตัวแปรที่สำคัญส่งผลกระทบต่อสมรรถนะคือแบนด์วิดท์และโหนดอื่นๆ ที่ใช้งานอยู่บนโครงข่าย อย่างไรก็ตามขนาดของบัพเฟอร์และระยะทางระหว่างแหล่งกำเนิดวิดีโอกับโหนดปลายทางมีผลกระทบเพียงเล็กน้อยต่อสมรรถนะดังกล่าว นอกจากนี้พบว่าสัญญาณวิดีโอที่มีความละเอียด 720i นั้นมีอัตราการสูญหายข้อมูลน้อยกว่าสัญญาณวิดีโอที่มีความละเอียด 1080i อย่างเห็นได้ชัด อนึ่งถ้าต้องการใช้งานระบบ IPTV บนโครงข่ายสารสนเทศภาครัฐ สำหรับสัญญาณวิดีโอที่มีความละเอียด 720i จะต้องมีการเพิ่มแบนด์วิดท์หลักของการเชื่อมโยงของโครงข่ายสารสนเทศภาครัฐ ไม่ต่ำกว่า 30 Mbps

### 2.5.5 การประเมินประสิทธิภาพของระบบไอพีทีวีสามมิติ<sup>12</sup>

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการประเมินสมรรถนะการส่งผ่านวิดีโอ 3 มิติบนโครงข่ายไอพีทีวีแบบจุดต่อจุด โดยใช้โปรแกรม NS2 ในการจำลอง ซึ่งมีการใช้ข้อมูลของวิดีโอจากแหล่งข้อมูลจริงของภาพยนตร์ 2 เรื่องคือ Tangled และ Tron และทำการเปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างวิดีโอ 3 มิติกับวิดีโอแบบความละเอียดสูงที่มีความละเอียดเท่ากันที่ 1080p โดยจะทำการวัดอัตราการสูญหายของข้อมูล อัตราล่าช้าของเวลา และความแปรปรวนของความล่าช้าของเวลา

ผลการวิจัยพบว่าแบนด์วิดท์ของการเชื่อมโยงมีผลกระทบอย่างมากต่อสมรรถนะทุกตัวแปร โดยเฉพาะอย่างยิ่งอัตราการสูญหายของข้อมูล โดยในโครงข่ายที่มีแบนด์วิดท์ที่ 20 Mbps วิดีโอแบบความละเอียดสูงจะมีอัตราการสูญหายของข้อมูลประมาณ 1-20 % แต่สำหรับวิดีโอแบบ 3 มิติ นั้น จะมีอัตราการสูญหายประมาณ 20-50% ตามการเปลี่ยนไปของปริมาณของโหนดอื่นๆ ที่ใช้งานอยู่บนโครงข่ายตามลำดับ เมื่อแบนด์วิดท์มีค่าเพิ่มเป็น 40 Mbps และค่าโหนดอื่นๆ ที่ใช้งานอยู่บนโครงข่ายมีค่าไม่เกิน 50% อัตราการสูญหายของข้อมูลของวิดีโอแบบความละเอียดสูงจะมีค่าเป็น 0 แต่สำหรับวิดีโอ 3 มิติ จะมีการสูญหายของข้อมูล ประมาณ 1-10% ทั้งนี้ขนาดของบัฟเฟอร์ของเราเตอร์มีส่วนช่วยลดอัตราการสูญหายได้ในระดับหนึ่ง สำหรับอัตราล่าช้าทางเวลานั้นจะได้รับผลกระทบโดยตรงจากแบนด์วิดท์ของการเชื่อมโยงเช่นกัน นอกจากนี้ยังพบอีกว่าปริมาณของโหนดอื่นๆ ที่ใช้งานอยู่บนโครงข่าย จะมีผลกระทบอย่างมากต่ออัตราการสูญหายของข้อมูลและอัตราล่าช้าทางเวลา

### 2.5.6 Internet Multicasting of IPTV with Essentially-Zero Delay Jitter<sup>13</sup>

งานวิจัยนี้นำเสนอเกี่ยวกับ IPTV แบบมัลติคาสต์บนโครงข่ายอินเทอร์เน็ตแบบแพ็คเกจสวิตช์ โดยใช้เทคโนโลยีที่เรียกว่า Essentially-zero delay jitter และ Essentially-zero packet loss rate และนำอัลกอริทึม Guarantee Rate scheduling มาคำนวณหาค่า jitter ที่ส่งผ่านออกไปในแต่ละ input และ output พอร์ตของเราเตอร์ที่เป็นมัลติคาสต์ตรี ด้วยอัลกอริทึม low-jitter GR

<sup>12</sup> อนุพงษ์ ทองมอญและชัยพร เขมะภาคะพันธ์. (2012, March). การประเมินคุณภาพไอพีทีวีแบบหลายช่องทางบนโครงข่ายสารสนเทศภาครัฐ. The National Conference on Computer Information Technologies.

<sup>13</sup> Ted H. Szymanski & Dave Gilbert (2009, March). *Internet Multicasting of IPTV With Essentially-zero Delay Jitter*. IEE Transactions on Broadcasting, 55(1).

scheduling จะแยกเซลล์ delay ซึ่งมีความแปรผันภายใน scheduling algorithms และช่วยลดจำนวนของบัฟเฟอร์ที่เราเตอร์ต้องการลงได้

การจำลองชี้ให้เห็นว่า Essentially-zero delay jitter สามารถทำได้สำเร็จ โดยการยืนยันในทางทฤษฎีว่าและผลการทดลองว่า แต่ละเราเตอร์จะบัฟเฟอร์เพียงแค่ 2 เซลล์ (cell) หรือ 128 ไบต์ (bytes) ของข้อมูลวิดีโอ ต่อหนึ่ง output พอร์ตสำหรับ IPTV ส่งผ่านแบบมัลติคาสต์ ซึ่งจะใช้บัฟเฟอร์น้อยกว่าที่ระบบปัจจุบันที่ใช้อยู่เทคโนโลยีนี้ยังสามารถทำไปใช้มัลติมีเดียแบบอื่นที่ส่งผ่านข้อมูลบนโครงข่ายอินเทอร์เน็ตไม่ว่าจะเป็น VOIP, Video-on-Demand, Telemedicine และ Telerobotic control over IP เป็นต้น