บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

ในบทนี้เป็นการกล่าวถึงทฤษฎีและหลักการพื้นฐานสำหรับการทำวิทยานิพนธ์ โดยเนื้อหาที่จะกล่าวถึงในบทนี้ประกอบด้วย หัวข้อ 2.1 ความเป็นมาของระบบสื่อสารเคลื่อนที่ยุคที่ 3 หัวข้อ 2.2 โครงสร้างของระบบ UMTS และเทคโนโลยีการสื่อสารแบบ WCDMA จะกล่าวถึงในหัวข้อ 2.3 ซึ่งมีรายละเอียดย่อยเกี่ยวกับรูปแบบของสถาปัตยกรรมและจุดเด่นของมาตรฐานโปรโตคอลชนิดนี้ และคุณภาพของการบริการของระบบ UMTS ในหัวข้อ 2.4 กล่าวเกี่ยวกับขั้นตอนและวิธีการในการสื่อสารวีดิทัศน์บนเครือข่าย UMTS รวมถึงการบีบอัดวีดิทัศน์ด้วย MPEG-4 และสรุปเนื้อหาของบทนี้ในหัวข้อ 2.5

2.1 ความเป็นมาของระบบสื่อสารเคลื่อนที่ยุคที่ 3

อเล็กซานเดอร์เกร แฮม เบล เป็นผู้วางรากฐานระบบโทรศัพท์ไว้ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2419 สมัยนั้นโทรศัพท์มีพัฒนาการค่อนข้างช้า เริ่มจากการสวิตช์ด้วยคน มาเป็นการใช้ระบบสวิตช์แบบอัตโนมัติด้วยกลไกทางแม่เหล็กไฟฟ้าจำพวกรีเลย์ จนในที่สุดเป็นระบบครอสบาร์ ต่อมาเมื่อเข้าสู่ยุคดิจิตอลอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ ระบบโทรศัพท์ที่ใช้ได้เปลี่ยนแปลงวิธีการสวิตช์มาเป็นแบบดิจิตอล มีการแปลงสัญญาณเสียงให้เป็นดิจิตอล โดยคลื่นเสียงขนาด 4 กิโลเฮิร์ทซ์ต่อวินาที ใช้อัตราสุ่ม 8,000 ครั้งต่อวินาที จะได้สัญญาณดิจิตอลขนาด 64 กิโลบิตต่อวินาที ซึ่งคลื่นเสียงแบบดิจิตอลเป็นข้อมูลที่มีการรับส่งกันมากที่สุดในโลกอยู่ขณะนี้ [9]

จนประมาณปี 1983 ระบบเซลลูลาร์เริ่มพัฒนาขึ้นใช้งาน ระบบแรกที่พัฒนามาใช้งานเรียกว่า ระบบ AMPS (Analog Advance Mobile Phone Service) ระบบดังกล่าวส่งสัญญาณไร้สายแบบอะนาล็อก โดยใช้คลื่นความถี่ที่ 824-894 เมกะเฮิร์ทซ์ โดยใช้หลักการแบ่งช่องทางความถี่หรือที่เรียกว่า FDMA - Frequency Division Multiple Access

ต่อมาประมาณปี 1990 กลุ่มผู้พัฒนาระบบเซลลูลาร์ได้พัฒนามาตรฐานใหม่โดยให้ชื่อว่า ระบบ GSM-Global System for Mobile Communication โดยเน้นระบบเชื่อมโยงติดต่อกันได้ทั่วโลก ระบบดังกล่าวนี้ใช้วิธีการเข้าถึงช่องสัญญาณด้วยระบบ TDMA-Time Division Multiple Access โดยใช้ความถี่ในการติดต่อกับสถานีเบสที่ 890-960 เมกะเฮิร์ทซ์

สำหรับในสหรัฐอเมริกาก็มีการพัฒนาระบบของตนเองขึ้นมาใช้ในปี 1991 โดยให้ชื่อว่า IS - 54 (Interim Standard - 54) ระบบดังกล่าวใช้วิธีการเข้าสู่ช่องสัญญาณด้วยระบบ TDMA เช่นกัน แต่ใช้ช่วงความถี่ 824-894 เมกะเฮิร์ทซ์ และในปี 1993 ก็ได้พัฒนาต่อเป็น

ระบบ IS-95 โดยใช้ระบบ CDMA ที่มีช่องความถี่มากขึ้นคือ 824-894 และ 1,850-1,980 เมกะเฮิร์ทซ์ ซึ่งเป็นระบบที่ใช้ร่วมกับระบบ AMPS เดิมได้

หากจะแบ่งพัฒนาการของโทรศัพท์แบบเซลลูล่าร์แบ่งออกเป็นยุคตามรูปของการพัฒนาเทคโนโลยี สามารถแบ่งได้ดังนี้

ยุค 1G เป็นยุคแรกของการพัฒนาระบบโทรศัพท์แบบเซลลูลาร์ การรับส่งสัญญาณใช้วิธีการมอดูเลตสัญญาณอะนาล็อกเข้าช่องสื่อสารโดยใช้การแบ่งความถี่ออกมาเป็นช่องเล็ก ๆ ด้วยวิธีการนี้มีข้อจำกัดในเรื่องจำนวนช่องสัญญาณ และการใช้ไม่เต็มประสิทธิภาพ จึงติดขัดเรื่องการขยายจำนวนเลขหมาย และการขยายแถบความถี่ ประจวบกับระบบเครื่องรับส่งสัญญาณวิทยุกำหนดขนาดของเซล และความแรงของสัญญาณเพื่อให้เข้าถึงสถานีเบสได้ ตัวเครื่องโทรศัพท์เซลลูลาร์ยังมีขนาดใหญ่ ใช้กำลังงานไฟฟ้ามาก ในภายหลังจึงเปลี่ยนมาเป็นระบบดิจิตอล และการเข้าช่องสัญญาณแบบแบ่งเวลา โทรศัพท์เคลื่อนที่แบบ 1G จึงใช้เฉพาะในยุคแรกเท่านั้น

ยุค 2G การพัฒนามาตรฐานเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่สู่ยุค 2G แม้จะเกิดจากปัจจัยทางการเมือง ด้วยความพยายามของสหภาพยุโรปที่ต้องการออกแบบมาตรฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM (Global System for Mobile Communication) บนเทคโนโลยี TDMA (Time Division Multiple Access) ให้สามารถนำไปใช้งานได้ในทุกประเทศที่มีการติดตั้งเครือข่าย GSM อยู่ พร้อมกับการริเริ่มเก็บเลขหมายผู้ใช้บริการไว้ใน SIM card แทนที่จะฝังไว้ในตัวเครื่องลูกข่าย และการออกแบบให้เครือข่ายมีการรับส่งสัญญาณตามกระบวนการดิจิตอลอย่างสมบูรณ์แบบ ทำให้ฐานผู้ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วทั่วโลก ภายใต้การตอบโต้ของสหรัฐอเมริกาที่ผลักดันมาตรฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่ IS-95 บนเทคโนโลยี CDMA (Code Division Multiplex Access) ซึ่งมีความเป็นเลิศทางเทคโนโลยีเหนือกว่า GSM เพื่อหวังแย่งชิงตลาด แต่ความล่าช้าในการเปิดตัวเทคโนโลยี CDMA ก็ทำให้มาตรฐานดังกล่าวเกือบล่มสลาย เนื่องจากฐานผู้ใช้บริการ CDMA ทั่วโลกมีน้อยกว่า GSM มาก อย่างไรก็ตาม ทั้ง 2 มาตรฐานต่างได้รับการออกแบบมาให้สามารถรับส่งข้อมูลได้ด้วยอัตราเร็ว 9.6 กิโลบิตต่อวินาที ผ่านรูปแบบการเชื่อมต่อวงจรแบบสวิทช์วงจร (Circuit Switched) ซึ่งเป็นอัตราเร็วที่เพียงพอเทียบกับความต้องการและความจำเป็นในการสื่อสารข้อมูลผ่านเครือข่ายไร้สายในขณะนั้น

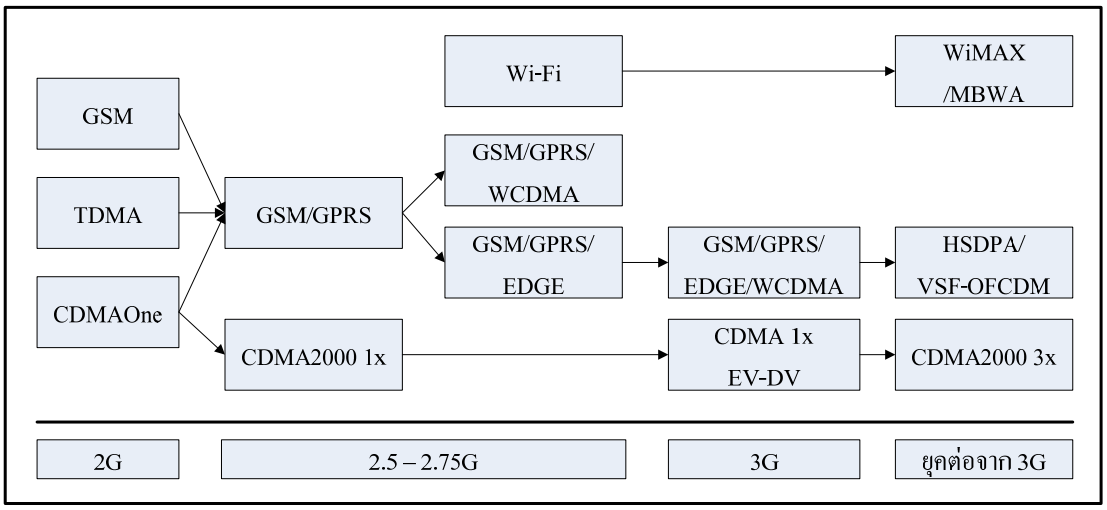
ความพยายามในการหารายได้ในรูปแบบใหม่ ๆ โดยเฉพาะการสื่อสารข้อมูล ทำให้เกิดการพัฒนาเทคโนโลยี 2.5G ขึ้น ภายใต้เงื่อนไขที่ให้มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเครือข่าย 2G ให้น้อยที่สุด พร้อมกับการนำเทคโนโลยีเชื่อมต่อวงจรแบบแพ็กเกตสวิทช์ (Packet Switched) ซึ่งอนุญาตให้ผู้ใช้งานหลายรายสามารถรับส่งข้อมูลได้บนวงจรเดียวกัน ในลักษณะคล้ายกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ต มาใช้งาน มีการพัฒนาเทคโนโลยี GPRS (Generic Packet Radio Service) ซึ่งต่อมาได้มีการพัฒนาไปเป็นเทคโนโลยี EDGE (Enhanced Data rate for GPRS Evolution) สำหรับใช้เพิ่มขีดความสามารถของเครือข่าย GSM ให้สามารถรองรับการสื่อสาร

ข้อมูลได้ดีขึ้น แต่เครือข่าย GPRS หรือ EDGE ไม่สามารถตอบสนองความต้องการใช้งานแบบ BWA (Broadband Wireless Access) ได้ เนื่องจากการรับส่งข้อมูลของ GPRS และ EDGE มีอัตราเร็วสูงสุด 171.2 และ 384 กิโลบิตต่อวินาทีตามลำดับเป็นอัตราเร็วรวมของความถี่ใช้งานแต่ละช่อง ในทางปฏิบัติย่อมไม่สามารถเปิดใช้งานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ เนื่องจากต้องกันทรัพยากรส่วนหนึ่งไว้เพื่อรองรับการสนทนาตามปกติ ทำให้อัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลลดต่ำลง ซึ่งเกิดขึ้นกับเทคโนโลยี 2.5G สำหรับเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ในตระกูล CDMA เช่นเดียวกัน จึงกล่าวได้ว่าเทคโนโลยี 2.5G เป็นเพียงการเตรียมการเครือข่าย 2G เพื่อให้บริการสื่อสารข้อมูลแบบง่าย ๆ เท่านั้น ยังไม่สามารถเป็นช่องทางในการสื่อสารข้อมูลไร้สายอัตราเร็วสูงได้อย่างแท้จริง

ยุค 3G เพื่อเป็นการรองรับบริการสื่อสารข้อมูลแบบที่มิใช่เสียง (non-voice services) อย่างเต็มรูปแบบ พร้อมทั้งยังคงรักษาคุณภาพในการให้บริการสื่อสารด้วยเสียงด้วยระดับคุณภาพที่ทัดเทียมหรือดีกว่าในยุค 2G องค์กรสากล 3GPP (The 3rd Generation Partnership Project) และ 3GPP2 จึงได้กำหนดมาตรฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่ 3G ขึ้น โดยมีมาตรฐานสำคัญอยู่ 2 ประเภท คือ

1. **มาตรฐาน UMTS (Universal Mobile Telecommunications Services)** เป็นมาตรฐานที่ออกแบบมาสำหรับผู้ให้บริการเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้นำไปพัฒนาจากยุค 2G/2.5G/2.75G ไปสู่มาตรฐานยุค 3G อย่างเต็มตัว (ซึ่งจะสนับสนุนโดยระบบ GSM ที่มีอยู่เดิม) รับผิดชอบการพัฒนามาตรฐานโดยองค์กร 3GPP มีเทคโนโลยีหลักที่ปัจจุบันมีการยอมรับใช้งานทั่วโลกคือมาตรฐาน Wideband Code Division Multiple Access (W-CDMA) โดยในอนาคตจะมีการพัฒนาต่อเนื่องไปสู่มาตรฐาน HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) ซึ่งรองรับการสื่อสารด้วยอัตราเร็วสูงถึง 14 เมกะบิตต่อวินาที หรือเร็วกว่าการสื่อสารแบบ 2.75G ถึง 36 เท่า สำหรับอัตราบิตในการส่งและรับข้อมูลของมาตรฐาน W-CDMA เป็นดังนี้
    - อัตราการรับส่งข้อมูลที่ 144 กิโลบิตต่อวินาที ในสภาพแวดล้อมชนาดใหญ่ (macro-cellular environments) เช่น ในการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ
    - อัตราการรับส่งข้อมูลที่ 384 กิโลบิตต่อวินาที ในสภาพแวดล้อมขนาดเล็ก (micro-cellular environments) เช่น ในการเดินทางด้วยเท้า
    - อัตราการรับส่งข้อมูลที่ 2 เมกะบิตต่อวินาที ในสภาพแวดล้อมขนาดเล็กมาก (pico-cellular environments) เช่น ในตึกอาคาร หรือสำนักงาน
2. **มาตรฐาน cdma2000** เป็นการพัฒนาเครือข่าย CDMA ให้รองรับการสื่อสารในยุค 3G พัฒนาจาก CDMA2000 1x ไปเป็น CDMA 1x EV-DV รับผิดชอบการพัฒนามาตรฐานโดยองค์กร 3GPP2 มีศักยภาพเทียบเท่ากับมาตรฐาน W-CDMA ของค่ายยุโรป แต่ปัจจุบันยังไม่มีกำหนดความพร้อมสำหรับให้บริการเชิงพาณิชย์ที่ชัดเจน

แนวทางในการพัฒนาเทคโนโลยีเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่จากยุค 2G ไปสู่ 3G และต่อเนื่องไปสู่มาตรฐานหลังยุค 3G แสดงได้ดังรูปที่ 2.1 มาตรฐาน W-CDMA ได้รับการออกแบบมาเพื่อให้รองรับการสื่อสารแบบมัลติมีเดียสมบูรณ์แบบ โดยเปลี่ยนแปลงรูปแบบการสื่อสารชนิด TDMA ที่ปรากฏอยู่ในเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุค 2G/2.5G/2.75G ไปเป็นการสื่อสารแบบแพ็กเกตสวิทชิ่งเต็มรูปแบบ สามารถรองรับทั้งการสื่อสารแบบเสียงและแบบมิใช่เสียง โดยมีมาตรฐานการรองรับและควบคุมคุณภาพของข้อมูลที่สมบูรณ์อันเป็นผลต่อเนื่องมาจากความก้าวหน้าของเทคโนโลยีการเข้ารหัสข้อมูล (Information Coding) จึงทำให้ผู้ให้บริการเครือข่าย 3G ก้าวพ้นจากข้อจำกัดในการบริหารจัดการข้อมูลทั้ง 2 ประเภท ดังที่ปรากฏอยู่ในมาตรฐาน 2G/2.5G/2.75G ได้อย่างเด็ดขาด



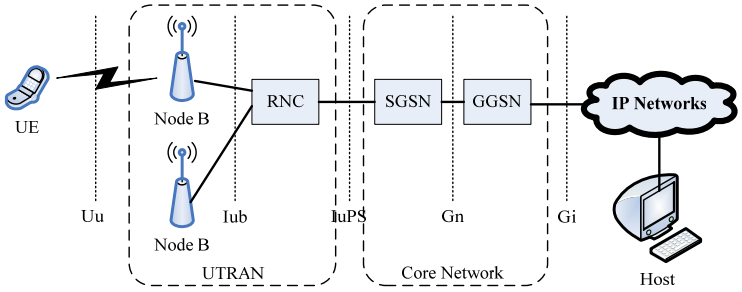
รูปที่ 2.1 แผนภาพการพัฒนาเทคโนโลยีเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่

มาตรฐานในการพัฒนาระบบสื่อสารเคลื่อนที่ยุคที่ 3 ของประเทศไทย เพื่อให้สนับสนุนระบบยุคที่ 2 ที่เป็นระบบ GSM นั้นจะต้องเป็นมาตรฐาน W-CDMA ซึ่งสามารถอ้างอิงข้อมูลในการพัฒนาจากกลุ่ม 3GPP ซึ่งได้ทำการวิจัยและออกแบบมาตรฐานของการพัฒนาโปรโตคอลในชั้นต่าง ๆตามมาตรฐาน WCDMA โดยในหัวข้อถัดไปจะทำการอธิบายสถาปัตยกรรมของชั้นโปรโตคอล และรายละเอียดฟังก์ชันการทำงานของแต่ละชั้นโปรโตคอลพอสังเขป

2.2 โครงสร้างของระบบ UMTS

สถาปัตยกรรมของเครือข่าย UMTS แบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ ๆ คือ User Equipment (UE), UMTS Terrestrial Radio Access Network (UTRAN) และ Core Network ดังรูปที่ 2.2[11] โดย UTRAN ประกอบด้วย Bass station (BS) หลาย ๆ โหนดเชื่อมต่อไปยัง

Radio Network Controller (RNC) สำหรับ Core network ประกอบ Serving GPRS Support Node (SGSN) และ Gateway GPRS Support Node (GGSN) ซึ่งมีหน้าที่หลักเพื่อทำการค้นหาเส้นทางและส่งข้อมูลผู้ใช้ (transmit user traffic) นอกจากนี้ยังเก็บฐานข้อมูลและฟังก์ชันการจัดการเครือข่ายไว้อีกด้วย ส่วนสุดท้าย UE ก็คือสถานีเคลื่อนย้าย (mobile station) ที่เชื่อมต่อกับ Node B บนจุดเชื่อมต่อทางวิทยุของ UMTS (UMTS radio interface)



รูปที่ 2.2 สถาปัตยกรรม UMTS

แต่เนื่องจากจุดสนใจของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้คือโปรโตคอลชั้นที่ 2 ของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุค 3 ซึ่งอยู่บนจุดเชื่อมต่อ Uu (Uu interface) ดังนั้นหลังจากหัวข้อนี้ไปจะขอกล่าวถึงรายละเอียดของโปรโตคอลบนจุดเชื่อมต่อนี้โดยอ้างอิงตามมาตรฐาน WCDMA เท่านั้น

2.3 เทคโนโลยีการสื่อสารแบบ WCDMA

เทคโนโลยี WCDMA ถูกพัฒนาขึ้นโดยออกแบบให้จุดเชื่อมต่อทางอากาศของ 3G (Third Generation Air Interface) สามารถปรับเปลี่ยนเพื่อให้ทำงานร่วมกับเทคโนโลยีการสื่อสารที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันได้ ข้อกำหนดของจุดเชื่อมต่อของเทคโนโลยี WCDMA ถูกกำหนดโดยกลุ่ม 3GPP ซึ่งเป็นการรวมมาตรฐานของประเทศต่าง ๆเข้าด้วยกัน ได้แก่ ยุโรป ญี่ปุ่น เกาหลี สหรัฐอเมริกา และจีน โดยใช้ชื่อเรียกเป็นทางการว่า UTRA (UMTS Terrestrial Radio Access) ซึ่งครอบคลุมข้อกำหนดต่าง ๆทั้งของเทคโนโลยี WCDMA และ TD-CDMA ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะเทคโนโลยี WCDMA ที่ใช้ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3 สำหรับประเทศไทย

เทคโนโลยีการเข้าถึงแบบ WCDMA จะใช้ในลักษณะของความถี่คู่ (Frequency Division Duplex: FDD) กล่าวคือ สถานีฐานจะใช้ความถี่ค่าหนึ่งในการส่งสัญญาณไปยังเครื่องลูกข่าย ในขณะที่เครื่องลูกข่ายจะใช้อีกความถี่หนึ่งในการส่งสัญญาณกลับมายังสถานีฐาน [12] มาตรฐานของ UMTS-WCDMA ในปัจจุบันนั้นมีการเผยแพร่ออกมาแล้ว 4 มาตรฐานด้วยกัน โดยหน่วยงาน 3GPP รับหน้าที่ในการออกแบบมาตรฐานต่าง ๆ ซึ่งประกอบไปด้วย

Release 99: เป็นมาตรฐานใช้งานที่เพิ่มเติมจากเครือข่าย GPRS และ EDGE

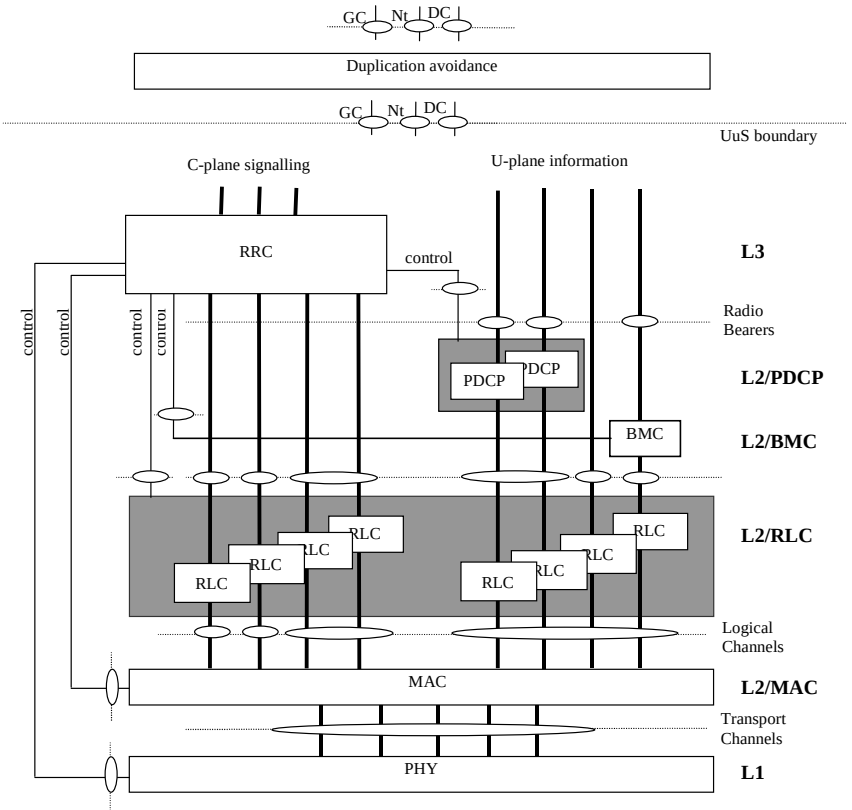
โดยจะมีการเพิ่มเติมอุปกรณ์ในส่วนของ BSS (Base Station Subsystem) ซึ่งเป็นส่วนที่ดูแลการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ของผู้ใช้บริการกับเครือข่ายของผู้ให้บริการ โดยกลุ่มของอุปกรณ์ที่เพิ่มเติมขึ้นมานั้นมีชื่อเรียกว่า UTRAN

Release 4: เป็นมาตรฐานที่เพิ่มเติมในส่วนของ Core-Network โดยจะมีการนำเครือข่ายแบบ ATM (Asynchronous Transfer Mode) และ IP ซึ่งเป็นการรับ-ส่งข้อมูลแบบเป็นเพ็กเก็ตเข้ามาใช้งานแทนเครือข่ายแบบ Circuit Switched ที่ใช้งานอยู่ในเครือข่าย GSM ในปัจจุบัน

Release 5: เป็นมาตรฐานที่เพิ่มเติมในส่วนของ IMS (IP Multimedia Service) โดยการทำงานของ IMS จะช่วยให้การใช้งานแบบ Multimedia ในลักษณะของ Person to Person มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น ซึ่งจะเป็นมาตรฐานที่ใช้อ้างอิงในการทำวิทยานิพนธ์นี้

Release 6: เป็นมาตรฐานที่ไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลงระบบมากนัก เพียงแต่เพิ่มความสามารถในการทำงานของการจดจำคำพูด (Speech Recognition), Wi-Fi / UMTS inter-working (การสื่อสารระหว่างเครือข่าย Wireless LAN กับเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่)

2.3.1 สถาปัตยกรรมของโปรโตคอลระบบ WCDMA



รูปที่ 2.3 สถาปัตยกรรมของโปรโตคอลระบบ WCDMA (UTRA FDD Radio Interface Protocol) [12]

ในระบบสื่อสารเคลื่อนที่ยุคที่ 3 ตามมาตรฐาน WCDMA นั้น ได้ออกแบบสถาปัตยกรรมของจุดเชื่อมต่อทางอากาศของชั้นโปรโตคอลต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ซึ่งการทำงานจะถูกแบบออกเป็นชั้นหลัก ๆ 3 ชั้น โดย

ชั้นที่หนึ่ง คือ ชั้นกายภาพ (Physical) จะให้การบริการแก่ชั้น Medium Access Control (MAC) ผ่านทางช่องสัญญาณขนส่ง (Transport) ซึ่งคุณลักษณะของข้อมูลที่ถูกส่งรวมถึงวิธีการส่งข้อมูลนั้น ๆ จะเป็นตัวกำหนดช่องสัญญาณขนส่งที่ใช้

ชั้นที่สองถูกเรียกว่าชั้นเชื่อมโยงข้อมูล (Data link) ซึ่งภายในชั้นนี้จะมีชั้นย่อย ๆ อีก 4 ชั้น คือ

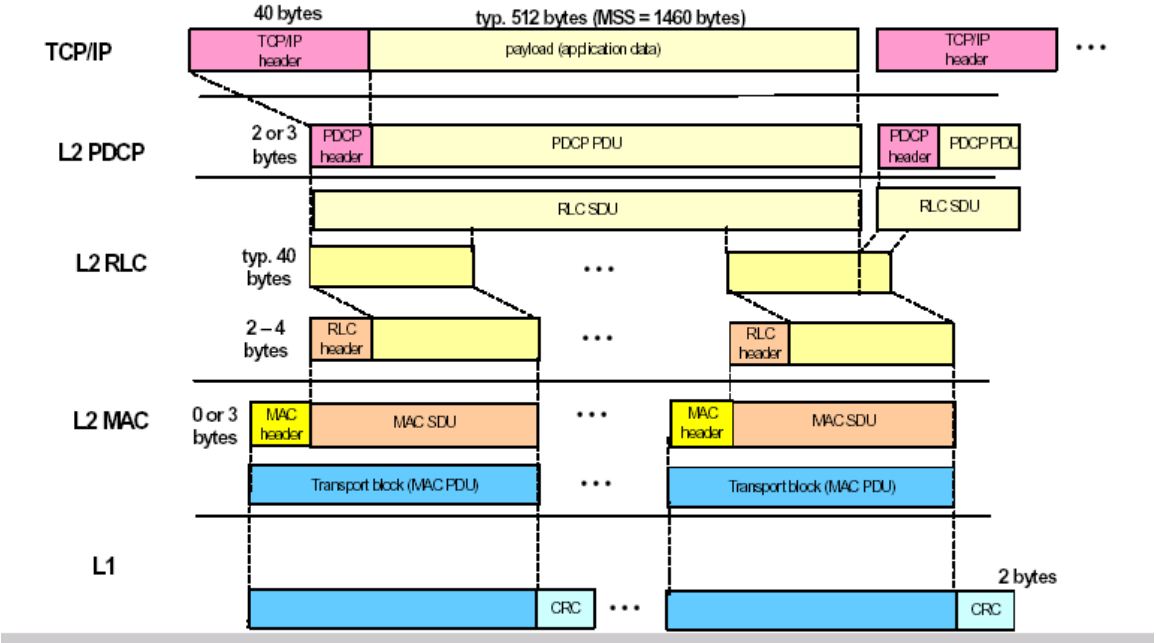
- ชั้น MAC จะให้บริการในการเชื่อมช่องสัญญาณไปยังชั้น Radio Link Control (RLC) ผ่านทางช่องสัญญาณ logical ซึ่งลักษณะช่องสัญญาณ logical นี้จะกำหนดโดยชนิดของข้อมูลที่จะทำการส่ง
- ชั้น RLC จะให้บริการแก่ชั้นที่สูงกว่าผ่านทาง SAPs (Service Access Points) ที่ซึ่งอธิบายวิธีที่ชั้น RLC จัดการกับแพ็คเกตข้อมูล ตัวอย่างเช่น กรณีที่การร้องขอการส่งข้อมูลซ้ำแบบอัตโนมัติ (Automatic Repeat Request: ARQ) ถูกเรียกใช้ เป็นต้น บนระนาบควบคุม (Control Plane: c-plane) บริการของ RLC จะถูกใช้โดย Packet Data Convergence Protocol (PDCP) หรือ MAC หรือใช้โดยการทำงานของระนาบให้บริการ (User Plane: u-plane) เช่น โคเดก (Codec) เสียงพูด เป็นต้น บริการของ RLC ในฝั่งของระนาบควบคุมถูกเรียกว่า Signaling Radio Bearers และในระนาบให้บริการสำหรับบริการที่ไม่สามารถใช้ได้กับ PDCP และ Broadcast Multicast Convergence (BMC) เรียกว่า Radio Bearers โดย RLC สามารถทำงานได้ 3 โหมด คือ Transparent Mode(TM) Unacknowledged Mode(UM) และ Acknowledge Mode(AM) หน้าที่หลัก ๆได้แก่ การแบ่งและต่อข้อมูลให้มีขนาดเล็กลง รวมถึงมีการตรวจสอบข้อผิดพลาดของข้อมูลและการส่งใหม่เพื่อให้ข้อมูลมีความถูกต้อง
- ชั้น PDCP จะมีเฉพาะในบริการ Packet Switched (PS) โดเมน หน้าที่หลักของชั้นนี้คือการบีบอัดข้อมูลของ header ของข้อมูลแพ็กเกตที่มาจากชั้นบน บริการของ PDCP ถูกเรียกว่า Radio Bearers
- ชั้น BMC จะทำหน้าที่รับส่งข้อมูลจุดเชื่อมต่อทางวิทยุ (radio interface messages) ที่มาจากศูนย์การกระจายเซล (Cell Broadcast Center) BMC จะถูกเรียกว่า Radio Bearers ด้วยเช่นกัน

ชั้นที่สามจะเป็นชั้นควบคุมทรัพยากรคลื่นวิทยุ (Radio Resource Control: RRC) จะให้บริการแก่ชั้นที่สูงกว่า (higher layers) ผ่านทาง SAPs ที่ซึ่งถูกใช้โดยโปรโตคอลใน

ชั้นที่สูงกว่าในฝั่งของ UE (User Equipment) และถูกใช้โดยโปรโตคอล RANAP บนจุดเชื่อมต่อ Iu ในฝั่งของ UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network) สัญญาณจากชั้นที่สูงกว่าทั้งหมด เช่น การจัดการการเคลื่อนย้ายตำแหน่ง (Mobility Management) การควบคุมการเรียก (Call Control) เป็นต้นจะถูกรวมมาอยู่ใน RRC Message สำหรับส่งไปในจุดเชื่อมต่อทางวิทยุ

สำหรับจุดเชื่อมต่อที่เป็นจุดควบคุมที่อยู่ระหว่าง RRC กับโปรโตคอลชั้นที่อยู่ต่ำกว่าจะเป็นส่วนที่ RRC ใช้สำหรับกำหนดลักษณะของโปรโตคอลเอ็นทิตี้ (Protocol Entity) ชั้นที่อยู่ต่ำกว่า รวมทั้งพารามิเตอร์สำหรับช่องสัญญาณ physical ช่องสัญญาณ transport และช่องสัญญาณ logical นอกจากนี้ชั้น RRC ยังใช้จุดเชื่อมต่อควบคุมนั้น ๆ ในการสั่งให้ชั้นที่อยู่ต่ำกว่าทำการวัด (Measurement) และชั้นที่อยู่ต่ำกว่าก็จะรายงานผลการวัดและข้อผิดพลาดกลับไปให้ RRC

จากรูปที่ 2.3 จะเห็นได้ว่าข้อมูลสามารถแบ่งเป็น 2 ด้านคือ Control plane และ User plane ในส่วนของ User plane นั้น ข้อมูลของผู้ใช้ (User) จะถูกส่งผ่านและไหลเข้ามาในโปรโตคอลชั้นที่ 2 ซึ่งตัวอย่างการไหลของข้อมูลสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การไหลของข้อมูลในส่วนของผู้ใช้ฝั่ง UE

เนื่องจากวิทยานิพนธ์นี้สนใจการประเมินประสิทธิภาพของโปรโตคอลชั้นที่ 2 ซึ่งประกอบด้วยโปรโตคอลเอ็นทิตี้ย่อย ๆ ได้แก่ RLC, MAC, PDCP และ BMC แต่เนื่องจากโปรโตคอล ในชั้นที่ 2 ที่มีหน้าที่หลักในการจัดการควบคุมความผิดพลาดในการส่งข้อมูลของโปรโตคอลชั้นบน คือ RLC ดังนั้นผู้จัดทำจึงเลือกโปรโตคอล RLC นี้เป็นหลักในการศึกษาและ

ประเมินประสิทธิภาพในการทำงาน ซึ่งจะกล่าวถึงโครงสร้างภายในและการทำงานโดยละเอียดในบทที่ 3 สำหรับชั้นของ RRC และ Physical ผู้จัดทำขอไม่กล่าวถึงในรายละเอียด

2.3.2 จุดเด่นของมาตรฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่ 3G แบบ W-CDMA

นอกจากมาตรฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่ 3G จะมีการพัฒนาเทคโนโลยีสถานีฐาน (Base Station Subsystem) จากยุค 2G ซึ่งใช้เทคโนโลยี TDMA เป็นการรับส่งข้อมูลในรูปแบบแพ็กเกตเพื่อความคล่องตัวในการจัดสรรทรัพยากรความถี่สำหรับให้บริการทั้งแบบเสียงและมิใช่เสียงอย่างเกิดประโยชน์สูงสุด ที่จะช่วยสร้างให้ผู้ใช้บริการรู้สึกถึงความรวดเร็วในการสื่อสารข้อมูล และยังคงรักษาคุณภาพของการสนทนาที่เหนือกว่ามาตรฐาน 2G/2.5G/2.75G แล้ว มาตรฐาน W-CDMA ยังมีความคล่องตัวในการเชื่อมต่อเข้ากับเครือข่ายข้อมูลที่อยู่ในอินเทอร์เน็ต เนื่องจากมาตรฐานการเชื่อมต่อต่าง ๆ สอดรับกับมาตรฐานของอุตสาหกรรมอินเทอร์เน็ตทุกประการ ทำให้ง่ายต่อการแลกเปลี่ยนใช้งานข้อมูลระหว่างกัน มีความคล่องตัวในการบันทึก จัดเก็บ และบริหารจัดการข้อมูลประเภทสื่อข้อมูลต่าง ๆ

นอกจากมาตรฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่ 3G จะรองรับการสื่อสารข้อมูลที่รวดเร็วกว่ามาตรฐาน 2G/2.5G/2.75G แล้ว ยังก่อให้เกิดการถือกำเนิดของบริการรูปแบบใหม่ ๆ ที่ไม่สามารถสร้างขึ้นบนเครือข่ายยุคก่อน ๆ ได้ ที่เห็นได้ชัดเจนก็คือบริการ Video Telephony และ Video Conference ซึ่งเป็นการสื่อสารแบบเห็นหน้ากัน โดยเครือข่าย 3G จะทำการถ่ายทอดสดทั้งภาพและเสียงระหว่างคู่สนทนา โดยไม่เกิดความหน่วงหรือล่าช้าของข้อมูล บริการในลักษณะนี้จะกลายเป็นจุดเด่นสำคัญประการหนึ่งของมาตรฐานการสื่อสารแบบ 3G ทั้งนี้เครื่องลูกข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ 3G ที่มีจำหน่ายในปัจจุบัน ล้วนรองรับบริการ Video Telephony แล้วทั้งสิ้น จึงสามารถเปิดให้บริการดังกล่าวได้ในทันที

กล่าวโดยสรุป ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลให้มาตรฐานเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ 3G แบบ W-CDMA มีแนวโน้มของการประสบความสำเร็จทางธุรกิจที่รวดเร็วกว่ามาตรฐาน 2G จนถึง 2.75G นั้น สืบเนื่องมาจากการปฏิวัติรูปแบบของเทคโนโลยีเครือข่าย เพื่อตอบสนองรูปแบบการสร้างความร่วมมือทางธุรกิจให้ผลักดันบริการชนิดมิใช่เสียงอย่างเต็มรูปแบบ ทั้งนี้ UMTS Forum ได้กล่าวถึงจุดเด่นของมาตรฐาน W-CDMA ไว้ดังนี้ [13]

1) เครือข่าย W-CDMA รับประกันคุณภาพในการรองรับข้อมูลแบบเสียงและมิใช่เสียง ผู้ใช้บริการจะสามารถรับรู้ได้ว่าคุณภาพเสียงจากการใช้งานเครือข่าย 3G ชัดเจนกว่าหรืออย่างน้อยเทียบเท่าการสนทนาผ่านเครือข่าย 2G ส่วนการรับส่งข้อมูลแบบมิใช่เสียงเห็นถึงอัตราเร็วในการสื่อสารที่สูงกว่าการใช้งานผ่านเครือข่าย 2.5G และ 2.75G มาก อันเป็นผลมาจากการปรับเปลี่ยนเทคโนโลยีเครือข่าย และใช้ย่านความถี่ที่สูงขึ้น

2) มาตรฐาน W-CDMA เป็นมาตรฐานเปิด (Open Standard) ซึ่งได้รับการพัฒนาโดยกลุ่ม 3GPP ซึ่งเป็นกลุ่มเดียวกับผู้พัฒนามาตรฐาน GSM ทำให้ผู้ให้บริการ 3G สามารถเชื่อมต่อเครือข่าย 3G เข้าหากันได้ อนุญาตให้มีการใช้งานข้ามเครือข่าย (Roaming) เช่นเดียวกับที่เป็นอยู่ในเครือข่ายยุค 2G นอกจากนั้นยังสามารถเชื่อมต่อเพื่อการใช้งานข้ามเครือข่ายกับมาตรฐาน 2G/2.5G/2.75G ได้ในทันที โดยผู้ใช้บริการเพียงมีอุปกรณ์สื่อสารแบบ Dual Mode เท่านั้น

3) มาตรฐาน W-CDMA เป็นมาตรฐานโลก ที่จะเข้ามาแทนที่เครือข่ายในตระกูล GSM เช่นเดียวกับเหตุการณ์ที่เครือข่าย GSM เข้ามาแทนที่เครือข่าย 1G เมื่อกว่า 10 ปีที่แล้ว จึงเป็นการรับประกันถึงพัฒนาการที่มีอย่างต่อเนื่องในด้านต่าง ๆ การเร่งเปิดให้บริการ 3G จึงเปรียบได้กับการเร่งเข้าสู่ตลาดโทรศัพท์เคลื่อนที่ 2G ของผู้ให้บริการเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ยักษ์ใหญ่ในปัจจุบันที่เกิดขึ้นในอดีต

4) พิจารณาเฉพาะการให้บริการแบบเสียงจะเห็นว่าการลงทุนสร้างเครือข่าย W-CDMA มีต้นทุนที่ต่ำกว่าการสร้างเครือข่าย GSM ถึงกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากมาตรฐาน W-CDMA มีความยืดหยุ่นและคล่องตัวให้ผู้ประกอบสามารถปรับเปลี่ยนทรัพยากรความถี่เพื่อรองรับบริการเสียงและมิใช่เสียงได้อย่างผสมผสาน ต่างจากการกำหนดทรัพยากรตายตัวในกรณีของเทคโนโลยี GSM

5) W-CDMA เป็นมาตรฐานสื่อสารไร้สายชนิดเดียวที่มีรูปแบบการทำงานแบบแถบความถี่กว้าง (Wideband) อันนำมาซึ่งประสิทธิภาพในการสร้างพื้นที่ให้บริการที่กว้างใหญ่ ไปพร้อม ๆ กับความสะดวกในการเพิ่มขยายขีดความสามารถในการรองรับข้อมูลข่าวสาร ต่างจากเครือข่าย 2G โดยทั่วไปที่ปัจจุบันเริ่มประสบกับปัญหาการจัดสรรความถี่ที่ไม่เพียงพอต่อการขยายเครือข่าย เนื่องจากเป็นระบบแบบแถบความถี่แคบ (Narrow Band)

6) กลไกการทำงานภายในเครือข่าย W-CDMA เป็นไปตามมาตรฐานสากล โดยเฉพาะมาตรฐาน IETF (Internet Engineering Task Force) ทำให้ผู้ประกอบการสามารถเปิดโอกาสให้พันธมิตรทางธุรกิจซึ่งมีความเชี่ยวชาญในการพัฒนาโปรแกรมหรือบริการพิเศษต่าง ๆ บนเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ได้ทำการพัฒนาสร้างบริการผ่านอุปกรณ์สื่อสารไร้สาย โดยใช้ทักษะความสามารถและความชำนาญที่มีอยู่ เป็นการกระตุ้นให้เกิดบริการประเภทมิใช่เสียงได้หลากหลายรูปแบบ

7) มีแนวทางในการพัฒนาขีดความสามารถในรองรับการสื่อสารข้อมูลที่มีอัตราเร็วสูงขึ้น ไม่ว่าจะเป็นการพัฒนาสู่มาตรฐาน HSDPA ที่รองรับการสื่อสารข้อมูลด้วยอัตราเร็วที่สูงมากถึง 14 เมกะบิตต่อวินาที ในขณะที่มาตรฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM ไม่สามารถพัฒนาให้รองรับการสื่อสารข้อมูลได้มากกว่าเทคโนโลยี EDGE ในปัจจุบันซึ่งรองรับข้อมูลได้ด้วยอัตราเร็ว 384 กิโลบิตต่อวินาที และในความเป็นจริงก็ไม่

สามารถเปิดให้บริการด้วยอัตราเร็วถึงระดับดังกล่าวได้ เนื่องจากจะทำให้สถานีไม่สามารถรองรับบริการเสียงได้อีกต่อไป

8) ในอนาคตมาตรฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่ 3G มีทิศทางการพัฒนาที่ชัดเจนในการรวมตัวกับมาตรฐานสื่อสารไร้สายชนิดอื่น ๆ ไม่ว่าจะเป็นมาตรฐาน Wireless LAN (IEEE802.11b/g) หรือ WiMAX (IEEE802.16d/e/e+) ทำให้ผู้ใช้บริการเครือข่ายไร้สายสามารถเคลื่อนย้ายไปใช้งานในเครือข่ายใด ๆ ก็ได้ตามความเหมาะสมทางภูมิประเทศ โดยยังคงได้รับการดูแลโดยผู้ให้บริการเครือข่าย 3G

2.3.3 คุณภาพการบริการของระบบ UMTS (UMTS Quality of Service: QoS)

ระบบสื่อสารเคลื่อนที่ 3G ถูกออกแบบมาสำหรับสื่อมัลติมีเดีย มีอัตราการส่งข้อมูลสูง และบริการข้อมูลแบบเพ็กเกต ซึ่งปริมาณข้อมูลที่ได้ ณ เวลาใดเวลาหนึ่ง (data throughput) ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่นั้นจำกัดโดยขีดจำกัดของความถี่สเปกตรัมวิทยุ ทำให้เป็นเป้าหมายของระบบ 3G เพื่อเพิ่มปริมาณ data throughput ทั้งสำหรับผู้ใช้เดี่ยว ๆทั่วไปและทั้งเครือข่าย

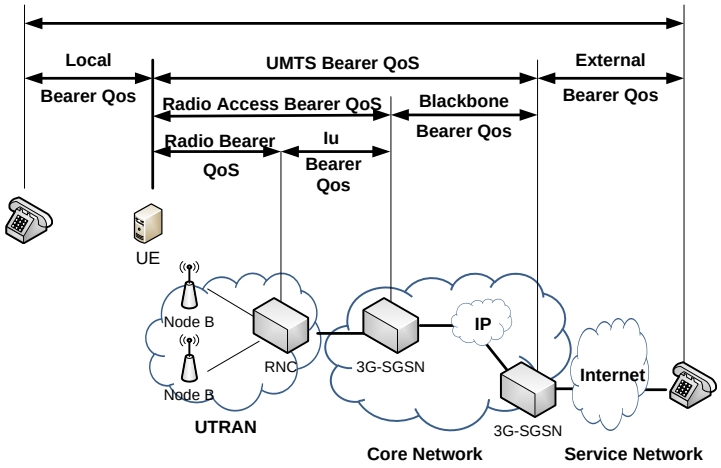
2.3.3.1 QoS

QoS สามารถให้คำจำกัดความได้ว่าเป็นความสามารถของผู้จัดเตรียมบริการเพื่อให้ตรงกับความต้องการของโปรแกรมหรือการทำงานของลูกค้า โดย UMTS ได้จัดเตรียมกลไกเพื่อที่จะรองรับ QoS สำหรับการทำงานต่าง ๆของลูกข่าย สำหรับปัจจัยบางส่วนที่จะพูดถึงเมื่อทำการวิเคราะห์ QoS คือ ความสมบูรณ์ของข้อมูล สิทธิความสำคัญ ความล่าช้า และ throughput

2.3.3.2 รูปแบบของ UMTS QoS

ในโปรแกรมการทำงานของการสื่อสารไร้สายต้องการการจัดการคุณภาพบริการระหว่างปลายทาง (end-to-end QoS) ตัวอย่างเช่น โปรแกรมเกี่ยวกับสตรีมของลูกข่ายที่อยู่บนฝั่ง UE สตรีมของแม่ข่ายที่อยู่บนอินเตอร์เน็ต โดยการแลกเปลี่ยนข้อมูลจะผ่านหลาย ๆโดเมนหรือเครือข่ายที่แตกต่างกันระหว่างแม่ข่ายและลูกข่าย ดังนั้น QoS ที่เหมาะสมจำเป็นที่จะต้องจัดให้มีในทุก ๆเครือข่ายเพื่อว่าผู้ใช้จะได้รับการบริการที่เหมาะสมที่สุด

สำหรับ end-to-end QoS ของ UMTS จะแบ่งกลไกออกเป็น 3 ส่วนหลักเพื่อจัดการการขนส่งใน Local bearer, UMTS Bearer และส่วนของ External Bearer ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 รูปแบบของ End-to-End QoS[14]

เนื่องจากจุดประสงค์หลักของวิทยานิพนธ์นี้สนใจเฉพาะจุดเชื่อมต่อระหว่าง UE และ UTRAN เท่านั้นหรือที่เรียกว่าจุดเชื่อมต่อ Uu ซึ่งอยู่ในส่วนของ Radio Bearer QoS ที่อยู่ภายใต้ UMTS Bearer QoS ดังนั้นจะขอกล่าวรายละเอียดฉพาะส่วนนี้ในหัวข้อถัดไป

2.3.3.3 UMTS Bearer QoS

Serving GPRS Support Node (SGSN) มีหน้าที่รับผิดชอบในการควบคุม UMTS Bearer Service Qos จากรูปที่ 2.5 จะเห็นว่า UMTS Bearer QoS ประกอบด้วย 2 ส่วนสำคัญคือ

Radio Access Bearer Qos: หรือ RAB เป็นการรวมกันของ Radio Bearer และ Iu Bearer โดย Radio Bearer ต้องการทรัพยากรคลื่นวิทยุที่อยู่ในอากาศ ภายใน UTRAN จะมี RNC ทำหน้าที่จองทรัพยากรคลื่นวิทยุที่ขึ้นอยู่กับการร้องขอจากส่วน Core Network และสำหรับบริการของ Iu Bearer ต้องการ QoS สำหรับ IP และ ATM

Backbone Bearer QoS: จะเป็น QoS ที่อยู่ใน Core Network ซึ่ง packet switched Core Network จะอ้างอิงจากเครือข่าย IP ดังนั้นกลไก QoS ของ IP เช่น DiffServ และ RSVP ก็จะอยู่ใน Backbone Bearer QoS นี้

2.3.3.4 UMTS QoS Classes และ Parameters

UMTS ได้กำหนดแบ่งโปรแกรมการทำงานและบริการออกเป็น 4 คลาสการขนส่ง (traffic class) ดังแสดงในตารางที่ 2.1 ซึ่งการแบ่งหมวดหมู่นี้แบ่งโดยลักษณะที่แตกต่างกันของการส่งผ่านข้อมูลของโปรแกรมประยุกต์ รายละเอียดอธิบายคลาสเหล่านี้แสดงไว้ใน

เอกสาร [15]

ตารางที่ 2.1 UMTS QoS Classes

คลาสการขนส่ง	คลาสเชิงสนทนา (Conversational Class) {เวลาจริง}	คลาสสตรีม (Streaming Class) {เวลาจริง}	คลาสเชิงโต้ตอบ (Interactive Class) {พยายามสูงสุด}	คลาสพื้นหลัง (Background Class) {พยายามสูงสุด}
ลักษณะเฉพาะพื้นฐาน	รูปแบบเชิงสนทนา (Conversational pattern) เคร่งครัดเรื่องเวลาหน่วงที่ต้องมีค่าต่ำ	รักษาความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงเวลาระหว่างเอ็นทิที้ขนส่งรายละเอียดของสตรีม	รูปแบบที่มีการร้องขอและตอบสนอง (Request-response pattern) รักษาข้อมูลที่บรรจุภายใน	ปลายทางไม่ได้คาดหวังว่าจะได้รับข้อมูลภายในเวลาที่แน่นอน รักษาข้อมูลที่บรรจุภายใน
ตัวอย่างโปรแกรมประยุกต์	เสียง (Voice)	วิดีโอสตรีม	เว็บเบราว์เซอร์	ดาวน์โหลดจดหมายอิเล็กทรอนิกส์

เวลาหน่วงมีผลต่อคลาสเชิงสนทนามากที่สุด และมีผลน้อยที่สุดต่อคลาสพื้นหลัง โดยทั่วไปคลาสเชิงโต้ตอบและคลาสพื้นหลังต้องการความน่าเชื่อถือ ความแม่นยำมากกว่าคลาสอื่น ๆ ซึ่ง UTRAN จะมีการเข้ารหัสช่องสัญญาณและมีการส่งซ้ำข้อมูลที่ผิดพลาดสูญหาย สำหรับการสร้าง Radio Bearer นั้น UTRAN จะจัดสรร radio bearer ที่มีความเหมาะสมกับลักษณะของคลาสการขนส่งนั้น ๆ

SGSN จะแจ้งความต้องการคุณภาพการบริการไปยังส่วนอื่นภายในเครือข่าย UMTS โดยใช้พารามิเตอร์ที่เกี่ยวกับการควบคุมคุณภาพในการแจ้งบอก ซึ่งพารามิเตอร์ที่ใช้อธิบายสรุปไว้ในตารางที่ 2.2 รายละเอียดสามารถดูได้จาก [15]

ตารางที่ 2.2 พารามิเตอร์ที่ใช้แจ้งคุณภาพการบริการ (Radio Access Bearer QoS Parameters)

พารามิเตอร์	คำอธิบาย
Traffic Class	คลาสที่ให้บริการ
Maximum Bit Rate	อัตราสูงสุดที่เป็นไปได้สำหรับ bearer
Delivery Order	การส่งแบบเรียงลำดับ

พารามิเตอร์	คำอธิบาย
Maximum SDU Size	ขนาดแพ็กเกตสูงสุด
SDU Format Information	ขนาดที่ถูกต้องแม่นยำของแพ็เก็ตที่ถูกส่งบน bearer นี้
SDU Error Ratio	อัตราเฟรมที่ผิดพลาด
Residual bit error rate	อนุญาตให้มีอัตราบิตผิดพลาดที่ไม่ได้ตรวจสอบได้
Delivery of erroneous SDUs	ชั้นความถี่วิทยุส่ง SDUs ที่มีความผิดพลาดไปยังโปรแกรมประยุกต์หรือไม่
Transfer Delay	เวลาหน่วงรวมในการส่งรายละเอียดใน UTRAN
Guaranteed bit rate	แบนด์วิดท์ที่น้อยที่สุดที่ยอมรับได้
Traffic Handling Priority	ค่าความสำคัญของแพ็กเกตของ RAB นั้นเพื่อใช้เทียบกับแพ็กเกตใน RAB อื่น
Allocation and Retention Priority	ค่าความสำคัญของ RAB นั้น เพื่อใช้เทียบกับ RAB อื่น

2.3.3.5 คุณลักษณะของบริการ Radio Bearer

เครือข่ายการเข้าถึงคลื่นวิทยุ (Radio access) อาศัยบริการที่ได้มาจาก radio bearer บริการนี้อธิบายโดยชุดของคุณลักษณะ ที่สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือส่วนที่ใช้สำหรับการควบคุมสิทธิการเข้าถึง วิธีการ และการจองใช้ทรัพยากร และส่วนที่ใช้เพื่อปรับแต่งโปรโตคอล radio sub-system [16]

- คุณลักษณะที่ใช้ในการควบคุมสิทธิการเข้าถึง วิธีการ และการจองใช้ทรัพยากร ประกอบด้วย
  - Traffic class
  - Maximum bit rate
  - Guaranteed bit rate
  - Maximum SDU size
  - Allocation/retention priority
  - Source statistics descriptor
- คุณลักษณะที่ใช้สำหรับ Radio sub-system ประกอบด้วย
  - Delivery order

- SDU format information
- SDU error ratio
- Residual bit error rate
- Delivery of erroneous SDUs
- Transfer delay
- Traffic handling priority

ในการที่การขนส่งหนึ่งจะถูกยอมรับเข้าในโดเมน UMTS นั้น แต่ละส่วนของ UMTS (UE, RNS, SGSN และ GGSN) ต้องดำเนินการควบคุมสิทธิการเข้าถึงเพื่อจองทรัพยากรที่จำเป็นสำหรับการขนส่ง ซึ่งอาจจะกล่าวได้ว่าคุณลักษณะการควบคุมทั้งหมดมีไว้สำหรับการจองทรัพยากรที่จำเป็นใน RNS และคุณลักษณะของ radio sub-system จำเป็นสำหรับขั้นตอนการสร้าง radio bearer เพื่อปรับแต่งพารามิเตอร์ของ radio sub-system ใน UE และ RNS โดยคุณลักษณะบริการของ radio bearer ต่าง ๆอธิบายได้ดังนี้

- **Traffic class**

Traffic class เป็นชนิดของโปรแกรมประยุกต์เพื่อเลือกบริการที่เหมาะสมที่สุดของ radio bearer ซึ่งชนิดของโปรแกรมที่สามารถเป็นได้คือ โปรแกรมเชิงสนทนา, สตรีม, เชิงโต้ตอบ และเชิงพื้นหลัง โดยชนิดเหล่านี้ทำให้ RNS สามารถสันนิษฐานเกี่ยวกับแหล่งกำเนิดข้อมูลและการขนส่งที่เหมาะสมสำหรับชนิดข้อมูลนั้น ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการจัดสรรบัฟเฟอร์อาจจะอ้างอิงจาก traffic class นี้

- **Maximum bit rate (kbps)**

เป็นอัตราบิตที่มากที่สุดที่สามารถส่งจาก RNS หนึ่งไปยัง RNS ที่ SAP การขนส่งสามารถส่งโดยที่สอดคล้องกับค่า maximum bit rate นานเท่าที่พฤติกรรมการส่งนั้นเป็นไปตามอัลกอริทึ่ม Token Bucket นั่นคือ อัตการโทเค็นเท่ากับ maximum bit rate และขนาดที่ฝากข้อมูล (bucket size) เท่ากับ maximum SDU size ทั้งนี้จุดประสงค์ก็เพื่อจำกัดอัตราบิตที่จะถูกส่งไปยังโปรแกรมประยุกต์หรือเครือข่ายภายนอกที่มีการจำกัดขอบเขตได้

- **Guaranteed bit rate (kbps)**

เป็นการประกันอัตรบิตที่ถูกส่งที่ SAP ซึ่ง guaranteed bit rate อาจถูกใช้เพื่อรองรับการควบคุมสิทธิการเข้าถึงโดยขึ้นกับทรัพยากรที่สามารถหาได้ และสำหรับการจัดสรรทรัพยากรภายใน RNS

- **Delivery order (y/n)**

เป็นตัวชี้ว่า radio bearer ควรเตรียมการส่ง SDU แบบตามลำดับหรือไม่ตามลำดับ จะมีการระบุค่านี้เพื่อระบุว่า SDU แบบไม่เรียงลำดับสามารถถูกยอมรับได้หรือไม่ได้ SDU แบบไม่เรียงลำดับอาจถูกละทิ้งหรือมีการจัดเรียงใหม่ก็ขึ้นอยู่กับความน่าเชื่อถือที่ถูกกำหนดไว้

- **Maximum SDU size (octets)**

เป็นขนาดของ SDU ที่ใหญ่ที่สุดที่ได้รับอนุญาตให้ใช้งาน ค่า maximum SDU size ใช้สำหรับการควบคุมสิทธิการเข้าถึงและวิธีการ

- **SDU format information (bits)**

เป็นรายการขนาดของ SDU ที่เป็นไปได้ SDU format Information ยังใช้กำหนดรูปแบบ SDU payload ของ subflow และยังกำหนดอัตราบิตที่แต่ละ subflow ใช้ได้อีกด้วย RNS ใช้ SDU format Information เพื่อทำงานใน transparent mode ของ RLC ที่ซึ่งเป็นผลดีในเรื่องของประสิทธิภาพและเวลาหน่วงเมื่อ RLC ไม่มีการส่งซ้ำ ถ้าโปรแกรมประยุกต์สามารถระบุขนาด SDU การสิ้นเปลือง bearer ก็จะน้อยมาก นอกจากนี้ ในกรณีของการป้องกันความผิดพลาดเมื่อ SDU มีขนาดไม่ตรงกับค่าในรายการ RNS จำเป็นต้องรู้รูปแบบ SDU payload ที่แน่นอนเพื่อสามารถที่จะดีมัลติเพล็กซ์ SDU นั้นไปยังบริการ radio bearer ที่ต่างไป

- **SDU error ratio**

เป็นตัวชี้สัดส่วนของ SDU ที่ผิดพลาด ในกรณีของการป้องกันการผิดพลาดของขนาดของ SDU ค่า SDU error ratio จะถูกกำหนดค่าต่อ subflow และแสดงอัตราความผิดพลาดในแต่ละ subflow ซึ่งการให้ค่า SDU error ratio จะให้เฉพาะ subflow ที่มีการร้องขอการตรวจจับความผิดพลาด ในคลาสเชิงโต้ตอบและคลาสพื้นหลังจะใช้ค่า SDU error ratio เป็นค่าเป้าหมายในการปรับแต่งโปรโตคอล อัลกอริทึ่ม และการจัดการป้องกันความผิดพลาดซึ่งเป็นส่วนสำคัญเกี่ยวกับสมรรถนะภายใน RNS

- **Residual bit error ratio**

residual bit error ratio จะเป็นตัวกำหนดค่าสัดส่วนบิตผิดพลาดใน subflow ของการส่ง SDU นั้น ๆ ซึ่งจะถูกใช้สำหรับปรับแต่งโปรโตคอลจุดเชื่อมต่อทางวิทยุ อัลกอริทึ่ม และ การเข้ารหัสป้องกันการผิดพลาด ซึ่งค่า residual bit error ratio จะถูกกำหนดให้แต่ละ subflow สำหรับบริการที่ร้องขอการป้องกันการผิดพลาดของขนาด SDU

- **Delivery of erroneous SDUs (y/n/-)**

คุณลักษณะนี้โดยมากถูกใช้โดยจุดเชื่อมต่อ Iu เพื่อตัดสินใจว่าจะทำการละทิ้งเฟรม Iu นั้นหรือทำการส่งต่อ ค่า ‘yes’ หมายถึงว่ามีการป้องกันความผิดพลาดในจุดเชื่อมต่อ Iu และ SDU ที่ผิดพลาดจะถูกส่งต่อไปพร้อม ๆกับการระบุความผิดพลาด ค่า ‘no’ หมายถึงมีการป้องกันความผิดพลาดและ SDU ที่ผิดพลาดจะถูกละทิ้ง และค่า ‘-’ หมายถึง SDU จะถูกส่งโดยไม่สนใจว่าความผิดพลาดเกิดขึ้นหรือไม่ อย่างไรก็ตาม คุณลักษณะนี้อาจถูกใช้ในระดับของ radio bearer เพื่อเลือกโหมดการทำงานของ RLC ถ้าค่านี้ถูกกำหนดเป็น ‘yes’ แล้วโปรโตคอล RLC จำเป็นต้องทำงานในโหมด transparent กรณีอื่น SDU ที่ผิดพลาดจะถูกตัดทิ้งในชั้น RLC ก่อนจะไปถึงจุดเชื่อมต่อ Iu

- **Transfer delay (ms)**

เป็นตัวระบุค่าเวลาหน่วงสูงสุดสำหรับ SDU ทั้งหมดที่ถูกส่งในช่วงระยะเวลาของการดำรงอยู่ของบริการ bearer ซึ่งเวลาหน่วงสำหรับ SDU ถูกกำหนดเป็นเวลาจากการร้องขอการส่ง SDU ที่ SAP หนึ่ง ไปยัง SAP อื่น เป็นเวลาหน่วงการส่งบนจุดเชื่อมต่อทางอากาศสำหรับ UMTS bearer และ RNS ที่ใช้เพื่อตัดสินใจในการกำหนดรูปแบบของ transport format และพารามิเตอร์สำหรับกลไกการส่งซ้ำที่เรียกว่า Automatic Repeat request (ARQ)

- **Traffic handling priority**

เป็นตัวระบุความสำคัญของความสัมพันธ์สำหรับ handling ของ SDU ทั้งหมดที่เป็นของ radio bearer เปรียบเทียบกับ SDU ของ bearer อื่น การจัดกระทำ (handle) ใช้ traffic handling priority เพื่อสั่งชั้น MAC ใน RNS ให้เรียงลำดับการขนส่งให้สอดคล้องตามความสำคัญ

- **Allocation/Retention Priority**

เป็นตัวระบุความสำคัญความสัมพันธ์ของ radio bearer เปรียบเทียบกับ radio bearer อื่น ใช้สำหรับบอกความแตกต่างระหว่าง bearer เมื่อดำเนินการจัดสรรและกัน radio bearer ไว้ ในสถานกาณ์ที่ซึ่งทรัพยากรไม่เพียงพอเครือข่ายจะใช้ค่านี้เพื่อจัดลำดับ bearer ที่จะมีสิทธิการเข้าถึงใช้งานจุดเชื่อมต่อทางอากาศ bearer ที่มี allocation/retention priority สูงกว่าจะได้รับสิทธิก่อน

- **Source statistic descriptor ('speech'/ 'unknow')**

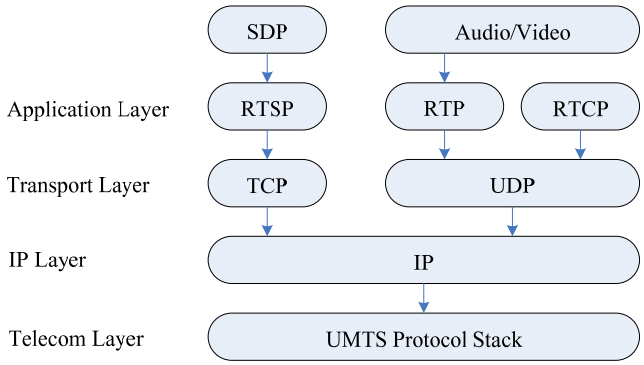
เป็นตัวบ่งบอกลักษณะของแหล่งกำเนิดของ SDU ว่าเป็นชนิดคำพูดหรือชนิดอื่น ๆ หากคุณสมบัติบอกว่า SDU สำหรับ radio bearer นั้นถูกสร้างโดยแหล่งกำเนิดคำพูด (speech source) ก็จะมีการคำนวณอัตราการขยายสหสัญญาณ (multiplex gain) สำหรับใช้ในการควบคุมสิทธิการเข้าถึงบนจุดเชื่อมต่อทางวิทยุ

2.4 การสื่อสารวีดิทัศน์บนเครือข่าย UMTS

โครงสร้างทั่วไปสำหรับบริการวีดิทัศน์แบบสตรีมมิ่ง (Video Streaming Service) ประกอบด้วย ระบบการสร้างสื่อ (Content Creation) และระบบการทำให้คืนสู่สภาพเดิม (Retrieval) เมื่อมีการจัดเตรียมบริการสตรีมเกิดขึ้น เครื่องแม่ข่ายที่ให้บริการสื่อ (Media Server) จะเปิดการเชื่อมต่อไปยังลูกข่ายปลายทางและเริ่มส่งสื่อนั้น ๆไปยังลูกข่ายตามความเหมาะสมกับอัตราการเล่น (playout) ช่วงที่กำลังรับสื่อข้อมูลนั้น ลูกข่ายก็จะทำการนำเสนอสื่อโดยอาจจะมีเวลาหน่วงบ้างหรืออาจจะไม่มีเลยก็ได้ วิธีการนี้นอกจากจะช่วยเพิ่มขนาดที่ว่างบนหน่วยความจำปลายทางที่มีอยู่อย่างจำกัดแล้วยังทำให้ลูกข่ายสามารถที่จะรับชมสื่อนั้นแบบสดได้ นอกจากนี้แล้ว ผู้ใช้จำเป็นต้องมีตัวเล่นหรือโปรแกรมพิเศษที่สามารถขยายข้อมูลที่ถูกบีบอัดไว้

(decompress) แล้วส่งข้อมูลภาพและเสียงไปยังส่วนแสดงผลและลำโพงตามลำดับ โปรแกรมประยุกต์ที่ลูกข่ายต้องสามารถควบคุมการไหลของสตรีม (control plane) และจัดการกับการไหลของข้อมูลสื่อ (user plane) และยังต้องติดต่อประสานกับเทคโนโลยีการขนส่งบนเครือข่ายชั้นที่อยู่ข้างล่างด้วยเพราะโปรโตคอลที่ระบุและข้อมูลที่ขนส่งจะเป็นตัวชี้บอกถึงบริการที่ใช้ [17]

สำหรับบริการสตรีมแบบพหุสื่อ (Multimedia Streaming Service) ของแพ็กเกตสวิทช์ใน 3GPP กำลังถูกทำให้เป็นมาตรฐานโดยมีพื้นฐานบนโปรโตคอลควบคุมและขนส่งของ IETF ตัวอย่างเช่น Real-Time Streaming Protocol (RTSP), Real-Time Transport Protocol (RTP) และ Session Description Protocol (SDP) ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ชั้นโปรโตคอลแสดงการไหลของสัญญาณและข้อมูลสื่อสำหรับบริการสตรีมมิ่ง [18]

RTSP เป็นโปรโตคอลในระดับชั้นโปรแกรมประยุกต์ที่ใช้ในการควบคุมการส่งข้อมูลสตรีมแบบเวลาจริง[19] RTP มีหน้าที่ส่งข้อมูลสื่อบนโปรโตคอล UDP เช่นเดียวกันกับโปรโตคอล RTCP[20] ซึ่งเป็นโปรโตคอลควบคุมที่เกี่ยวข้องกัน ทำหน้าที่ส่งผลเกี่ยวกับคุณภาพการส่งย้อนกลับไปให้โปรแกรมประยุกต์ มีการใช้รายงานของฝั่งส่งและรายงานของฝั่งรับที่ซึ่งมีรายละเอียดทางด้านสถิติที่เป็นประโยชน์ เช่น แพ็กเกตทั้งหมดที่ถูกส่ง อัตราการสูญเสียแพ็กเกตและเวลาหน่วงระหว่างการส่งข้อมูล เป็นต้น ค่าทางสถิติเหล่านี้มีประโยชน์มากเพราะสามารถนำไปใช้สำหรับการพัฒนากลไกควบคุมความคับคั่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพกลไกการส่งสตรีมได้

สำหรับการขนส่งบนเครือข่ายแพ็กเกตสวิตช์ ข้อมูลวิดีโอจะถูกทำให้อยู่ในรูปแพ็กเกต ซึ่งโดยทั่วไปวิธีการทำให้เป็นแพ็กเกตมีหลายรูปแบบแต่จะเลือกวิธีการใดนั้นต้องดูจากวัตถุประสงค์และการสร้างระบบจำลองจำเพาะนั้น ๆ ถ้าพิจารณาตามลักษณะการส่งวิดีโอผ่านระดับชั้นโปรโตคอลดังรูปที่ 2.6 จะได้แพ็กเกตที่ประกอบด้วย header RTP ขนาด 12 ไบท์, header UDP ขนาด 20 ไบท์และ IP header ขนาด 20 ไบท์กรณีที่ผ่านเครือข่าย IPv4 และ 40 ไบท์กรณีเครือข่าย IPv6 แพ็กเกต RTP ลำเลียงข้อมูลเฉพาะเฟรมวิดีโอเฟรมเดียว นั่นหมายถึงว่าหากมีการสูญหายหรือผิดพลาดกับแพ็กเกต RTP นี้ก็จะมีผลกับวิดีโอเฟรมเดียวเท่านั้น เนื่องจากว่าการส่งข้อมูลบนเครือข่ายมีการกำหนดขนาดสูงสุดของแพ็กเกตที่สามรถส่งได้อยู่

(maximum transfer unit: MTU) ดังนั้นข้อมูลวิดีโอทั้งหมดในแพ็กเกต RTP ควรถูกปรับให้เหมาะสมเพื่อว่าแพ็กเกต RTP รวม (ประกอบด้วยข้อมูลวิดีโอและ header) จะไม่เกินขนาดสูงสุดที่ส่งได้นี้เพื่อหลีกเลี่ยงการตัดแบ่งแพ็กเกตในเครือข่ายนอกจากว่าในลิงค์ที่เป็นเครือข่ายไร้สายอาจทำการตัดแบ่งแพ็กเกต RTP ที่ส่งมาจากเครือข่ายมีสายเอง ในกรณีที่เฟรมวิดีโอมีขนาดเล็กก็เป็นที่ยอมรับว่าสามารถบรรจุเฟรมวิดีโอซึ่งต่อเนื่องกันหลาย ๆเฟรมลงในแพ็กเกต RTP อันเดียวได้[21]

เนื่องจากข้อมูลวีดิทัศน์มีรายละเอียดมากและมีขนาดใหญ่ ดังนั้นการบีบอัดวีดิทัศน์จึงถือเป็นสิ่งสำคัญมากสำหรับการสื่อสารโดยเฉพาะบนเครือข่ายที่มีทรัพยากรจำกัดอย่างระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ กลุ่ม 3GPP เลือกเอาข้อดีของการบีบอัดวีดิทัศน์แบบ MPEG-4[22] มาเป็นมาตรฐานที่ใช้สำหรับการส่งสตรีมวิดีโอให้แก่ผู้ใช้บริการโทรศัพท์มือถือหรืออุปกรณ์เคลื่อนที่เพราะสามารถส่งได้ที่อัตราบิตต่ำมาก ซึ่งจะเป็นมาตรฐานวิดีโอที่จะใช้ในแบบจำลองวิทยานิพนธ์นี้ รายละเอียดของการบีบอัดชนิดนี้จะกล่าวในหัวข้อที่ 2.4.4

2.4.1 ขั้นตอนในการรับและส่งวีดิทัศน์บนเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่

ในการสื่อสารวีดิทัศน์บนเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่นั้น อาจจะเป็นการติดต่อระหว่างผู้ใช้โทรศัพท์กับผู้ใช้โทรศัพท์ด้วยกันซึ่งภาพของผู้ร่วมสนทนาคนหนึ่งจะถูกส่งไปปรากฏยังอุปกรณ์แสดงผลของผู้ร่วมสนทนาอีกคน หรืออาจเป็นการติดต่อที่ผู้ใช้บริการทำการร้องขอไฟล์วีดิทัศน์จากเครื่องให้บริการบนเครือข่ายอินเตอร์เน็ตใด ๆเพื่อนำมาแสดงผลบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ของตน แต่สำหรับแบบจำลองที่เลือกทดสอบจะเป็นการติดต่อในกรณีหลัง ซึ่งหลักการของการสื่อสารวิดีทัศน์บนเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบนี้เป็นไปในทำนองเดียวกับการสื่อสารวีดิทัศน์บนเครือข่ายอินเตอร์เน็ตเพียงแต่เปลี่ยนภาครับข้อมูลปลายทางเป็นโทรศัพท์มือถือหรืออุปกรณ์ที่รองรับกับเครือข่าย กล่าวคือ มีข้อมูลที่ได้มาจากกระบวนการจับวีดิทัศน์วิธีต่าง ๆ อยู่บนเครื่องแม่ข่ายผู้ให้บริการที่จะถูกทำการเข้ารหัสเพื่อบีบอัดก่อนส่งออกไปยังผู้รับบริการที่ทำการร้องขอผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ซึ่งมีทั้งส่วนที่มีสายและไร้สาย จากนั้นเมื่อข้อมูลไปถึงผู้รับข้อมูลของภาพก็จะถูกนำไปถอดรหัสและเปลี่ยนรูปแบบของภาพให้เหมาะสมกับอุปกรณ์แสดงผลและเมื่อภาพถูกส่งมาแสดงติดต่อกันหลายภาพ ก็จะได้เป็นวีดิทัศน์ปรากฏแก่สายตาของผู้รับ

2.4.2 พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลวีดิทัศน์

การได้มาซึ่งข้อมูลวีดิทัศน์อาจได้มาจากการจับจากกล้องวีดิทัศน์หรืออุปกรณ์จับวีดิทัศน์ พารามิเตอร์ที่จะต้องกำหนดได้แก่ อัตราเฟรม ขนาดภาพ และระบบสี พารามิเตอร์เหล่านี้จะถูกนำไปใช้กำหนดในแบบจำลองเพื่อให้ใกล้เคียงกับการทำงานจริงมากที่สุด ซึ่ง

รายละเอียดของพารามิเตอร์แต่ละตัวมีดังนี้

2.4.2.1 อัตราเฟรม (Frame Rate)

วีดิทัศน์ก็คือการนำภาพหลาย ๆ ภาพมาแสดงต่อกันนั่นเอง อัตราเฟรมเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความเร็วในการเปลี่ยนภาพดังกล่าว มีหน่วยเป็นเฟรมต่อวินาที (fps) วีดิทัศน์ที่มีอัตราเฟรมสูงจะมีความราบรื่นในการรับชมมากกว่าวีดิทัศน์ที่มีอัตราเฟรมต่ำ แต่ก็ทำให้อัตราบิตในการส่งวีดิทัศน์สูงขึ้นเช่นกัน โดยปกติแล้ววีดิทัศน์ของการฉายภาพยนตร์จะมีอัตราเฟรมอยู่ที่ 24 เฟรมต่อวินาที ส่วนการถ่ายทอดสัญญาณโทรทัศน์ในระบบ NTSC ที่ใช้เป็นมาตรฐานในอเมริกาเหนือและญี่ปุ่นนั้นมีอัตราเฟรม 29.97 เฟรมต่อวินาที ส่วนระบบ PAL ที่ใช้ในเอเชียและยุโรปส่วนใหญ่ใช้อัตราเฟรม 25 เฟรมต่อวินาที[23] การถ่ายทอดวีดิทัศน์ผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ตจะกำหนดอัตราเฟรมของวีดิทัศน์ให้ต่ำลงมา โดยใช้อัตราเฟรมเท่ากับ 15 เฟรมต่อวินาที[24]

2.4.2.2 ขนาดภาพ / ความละเอียด (Frame Size / Resolution)

ขนาดภาพของวีดิทัศน์เป็นค่าที่ระบุว่าความกว้างและความสูงของภาพมีจำนวนกี่จุดภาพ (Pixel) วีดิทัศน์ที่มีขนาดภาพใหญ่ย่อมเป็นที่พึงพอใจแก่ผู้ใช้ แต่ก็ต้องใช้อัตราบิตในการส่งวีดิทัศน์สูงกว่าวีดิทัศน์ที่มีขนาดภาพเล็กกว่า และเนื่องจากเป็นการใช้งานบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ เช่น โทรศัพท์มือถือ ดังนั้น ขนาดหน้าจอของอุปกรณ์แสดงผลจึงเป็นปัจจัยนึงในการกำหนดขนาดของภาพวีดิทัศน์ด้วย เช่นเดียวกันหากใช้อุปกรณ์จับภาพวีดิทัศน์ที่สร้างติดมากับโทรศัพท์แต่ละรุ่นก็จะได้ขนาดของภาพหรือความละเอียดแตกต่างกันไปตามความสามารถที่จำกัดของอุปกรณ์แต่ละรุ่น โดยส่วนใหญ่จะรองรับภาพวีดิทัศน์ที่ขนาด 176x144 จุดภาพ

2.4.2.3 ระบบสี (Color Space)

ระบบสีเป็นรูปแบบในการกำหนดค่าสำหรับแทนสี ระบบสีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการสื่อสารวีดิทัศน์ได้แก่ ระบบ RGB และระบบ YCbCr โดยในระบบ RGB จุดภาพแต่ละจุดจะถูกนำเสนอด้วยค่า 3 ค่าคือ ค่าสีแดง (R), ค่าสีเขียว (G) และค่าสีน้ำเงิน (B) ส่วนระบบสี YCbCr จะแบ่งข้อมูลของจุดภาพตามการรับรู้ของประสาทตาของคน โดยจะแยกข้อมูลเกี่ยวกับความสว่างออกจากข้อมูลเกี่ยวกับระดับสี นั่นคือใช้องค์ประกอบ Y เก็บค่าความสว่างของจุดภาพ ส่วน Cb คือค่าความแตกต่างระหว่างค่าสีน้ำเงินกับค่าความสว่าง (B-Y) องค์ประกอบ Cr คือค่าความแตกต่างระหว่างค่าสีแดงกับค่าความสว่าง (R-Y) ส่วนค่าความแตกต่างระหว่างค่าสีเขียวกับค่าความสว่าง (Cg) นั้นไม่จำเป็นต้องเก็บ เนื่องจากว่าค่าของ Cb + Cr + Cg มีค่าคงที่

ดังนั้นถ้าหากทราบเพียงแค่ค่า Cb และ Cr ก็สามารถหาค่า Cg ได้ อย่างไรก็ตามไม่ว่าจะเก็บข้อมูลของจุดภาพในระบบ RGB หรือ YCbCr ก็สามารถแปลงเป็นอีกระบบหนึ่งได้เสมอ

นอกจากนี้ยังมีระบบสี YUV ซึ่งมีหลักการเดียวกับ YCbCr นั่นคือใช้องค์ประกอบ Y เก็บค่าความสว่างของจุดภาพ องค์ประกอบ U เก็บค่าความแตกต่างระหว่างค่าสีน้ำเงินและค่าความสว่าง ส่วนองค์ประกอบ V เก็บค่าความแตกต่างระหว่างค่าสีแดงและค่าความสว่าง หรืออาจจะกล่าวว่าใช้องค์ประกอบ U และ V แทนองค์ประกอบ Cb และ Cr ตามลำดับ มีหลายครั้งที่มีการเรียกชื่อระบบสีทั้งสองนี้สลับกัน ทั้งๆ ระบบสี YUV เป็นระบบสีที่ใช้ในระบบวีดิทัศน์อนาล็อก ส่วน YCbCr นั้นใช้กับวีดิทัศน์ในระบบดิจิตอล [25]

2.4.3 การบีบอัดข้อมูลวีดิทัศน์ (Video Compression)

การบีบอัดข้อมูลวีดิทัศน์ก็เพื่อจุดประสงค์ที่จะลดขนาดของข้อมูลก่อนที่จะส่งผ่านเครือข่าย เนื่องจากว่าหากใช้การส่งข้อมูลวีดิทัศน์โดยตรงโดยไม่มีการบีบอัดแล้วจะเป็นการสิ้นเปลืองทรัพยากรของเครือข่ายอย่างมาก และยังทำให้เกิดความล่าช้าในการส่งอีกด้วย เทคนิคที่ใช้ในการบีบอัดจะช่วยลดขนาดของข้อมูลและในขณะเดียวกันยังคงรักษาภาพที่มองเห็นที่ดีที่สุดที่สามารถเป็นไปได้เอาไว้เช่นกัน อย่างไรก็ตามการบีบอัดที่สูงเกินไปอาจจะช่วยลดรายละเอียดข้อมูลได้เป็นปริมาณมาก แต่ผลของภาพที่สร้างขึ้นมาอาจไม่สามารถยอมรับได้ด้วยการมองเห็นของมนุษย์ การบีบอัดที่ดีที่สุดจะต้องรักษาคุณภาพของภาพไว้และมีอัตราส่วนการบีบอัดสูง

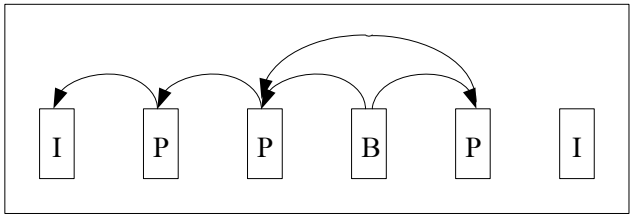
มาตรฐานในการบีบอัดวีดิทัศน์ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันนี้มีอยู่หลายมาตรฐาน แต่ละมาตรฐานก็มีเทคนิคในการบีบอัดที่แตกต่างกัน ซึ่งสามารถแบ่งเทคนิคหรือวิธีการได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่บีบอัดวีดิทัศน์โดยใช้ข้อมูลภายในเฟรมเดียวกันเท่านั้น (Intra-Frame Compression) เพราะฉะนั้นการบีบอัดจะเกิดขึ้นในลักษณะเฟรมต่อเฟรม ตัวอย่างของมาตรฐานการบีบอัดวีดิทัศน์ที่จัดอยู่ในกลุ่มนี้คือ Motion JPEG (MJPEG) ส่วนกลุ่มอีกกลุ่มนั้นจะใช้การบีบอัดโดยใช้ข้อมูลภายในเฟรมเดียวกันและใช้วิธีการบีบอัดแบบอ้างอิงกับเฟรมอื่นร่วมด้วย (Inter-Frame Compression) โดยการเปรียบเทียบว่าเฟรมปัจจุบันมีส่วนที่แตกต่างกับเฟรมที่อยู่ติดกันอย่างไรบ้าง และเก็บข้อมูลเฉพาะส่วนที่แตกต่างกันนั้นไว้แทนที่จะเก็บข้อมูลของทั้งเฟรม ซึ่งวิธีการบีบอัดแบบนี้จะลดขนาดข้อมูลได้มากในกรณีของวีดิทัศน์ที่มีการเคลื่อนไหวน้อย ซึ่งหากใช้การบีบอัดแบบกลุ่มแรกขนาดข้อมูลหลังการบีบอัดจะยังสูงกว่าการบีบอัดด้วยวิธีแบบกลุ่มหลัง ตัวอย่างของมาตรฐานการบีบอัดวีดิทัศน์ที่จัดอยู่ในกลุ่มนี้ เช่น MPEG-4 ที่จะเป็นมาตรฐานวีดิทัศน์ที่จะนำมาใช้ในการทดสอบระบบ ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดของการบีบอัดชนิดนี้ในหัวข้อถัดไป

2.4.4 การบีบอัดวีดิทัศน์ด้วย MPEG-4

MPEG-4[2] เป็นมาตรฐานที่ได้รับการพัฒนาขึ้นโดย MPEG (Moving Picture Expert Group) ซึ่งเป็นกลุ่มย่อยของ International Organization for Standardization (ISO) เพื่อให้เป็นมาตรฐานเปิดทางด้านสื่อดิจิตอลมัลติมีเดียสำหรับการเผยแพร่สตรีมภาพและเสียงที่ยังคงคุณภาพที่สูงบนอัตราบิตส่งต่ำเหมาะสำหรับช่วงแบนด์วิดท์ของโทรศัพท์เคลื่อนที่และบรอดแบนด์ ในมาตรฐาน MPEG-4 ประกอบด้วยเครื่องมือที่ใช้สร้าง, เผยแพร่และนำเสนอวัตถุที่เกี่ยวกับการมองเห็นและการได้ยินทั้งที่เป็นวัตถุธรรมชาติและที่เกิดจากการสังเคราะห์ขึ้น เช่น ข้อความ รูปภาพ ภาพเคลื่อนไหว รวมถึงวัตถุ 2 และ 3 มิติ เป็นต้น นอกจากนี้มาตรฐาน MPEG-4 ยังมีข้อกำหนดเกี่ยวกับระบบเพื่อที่จะนำวัตถุต่างชนิดกันมาแสดงผลพร้อมกันได้ โดยกราฟิกและข้อความจะถูกแยกและเข้ารหัสต่างกันแล้วจะถูกรวมเข้าด้วยกันอีกครั้งที่ปลายทาง[26] สำหรับในวิทยานิพนธ์นี้จะใช้มาตรฐาน MPEG-4 เฉพาะในส่วนของการบีบอัดวีดิทัศน์เท่านั้น เพื่อนำวีดิทัศน์ที่บีบอัดแล้วส่งผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3 โดยภายในของสตรีมวีดิทัศน์ที่บีบอัดแล้วจะประกอบด้วยชนิดของเฟรมที่แตกต่างกันซึ่งจะกล่าวในหัวข้อถัดไป สำหรับองค์ประกอบอื่น ๆ ในการบีบอัดจะไม่กล่าวถึง เนื่องจากไม่ได้เป็นจุดสนใจโดยตรงของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

2.4.4.1 ชนิดของเฟรมวีดิทัศน์ที่ผ่านการบีบอัดด้วย MPEG-4

ตามที่ได้กล่าวไปแล้วในข้อ 2.4.3 ว่าการบีบอัดวีดิทัศน์ตามมาตรฐาน MPEG-4 นั้นมีทั้งการบีบอัดโดยใช้ข้อมูลภายในเฟรมเดียวกัน และการบีบอัดแบบที่ต้องอ้างอิงข้อมูลจากเฟรมอื่น ซึ่งนอกจะลดขนาดข้อมูลโดยใช้ความซ้ำซ้อนภายในเฟรมเดียวกันแล้ว ยังสามารถลดขนาดข้อมูลโดยใช้ความซ้ำซ้อนระหว่างเฟรมได้อีกด้วย โดยเฟรมวีดิทัศน์หลังการบีบอัดด้วย MPEG-4 แบ่งได้เป็น 3 ชนิดคือ เฟรม I (Intra Frame), เฟรม P (Predicted Frame) และเฟรม B (Bi-directional Frame) ซึ่งความสัมพันธ์ของเฟรมแต่ละชนิดแสดงได้ดังรูปที่ 2.7 ชนิดแรกเฟรม I เป็นเฟรมที่บีบอัดโดยใช้ข้อมูลจากภายในเฟรมเดียวกันเท่านั้น ส่วนเฟรม P นั้นบีบอัดโดยการอ้างอิงกับเฟรม I หรือเฟรม P ที่อยู่ก่อนหน้า โดยเฟรม P นั้นจะมีขนาดน้อยกว่าเฟรม I เนื่องจากเฟรม P เก็บเฉพาะข้อมูลที่ระบุว่ามีส่วนที่แตกต่างกับเฟรมก่อนหน้าอย่างไรบ้าง แต่เฟรม I นั้นเก็บข้อมูลที่ได้จากการบีบอัดวีดิทัศน์ทั้งเฟรม ไม่มีการอ้างอิงส่วนต่างกับเฟรมใด ๆ จึงทำให้ขนาดของเฟรมหลังการบีบอัดแล้วยังมีขนาดใหญ่อยู่ และชนิดสุดท้ายคือเฟรม B ใช้การบีบอัดโดยการอ้างอิงกับเฟรม P ที่อยู่ทั้งก่อนหน้าและถัดไป แต่ในการส่งวีดิทัศน์ที่ต้องการความเป็นเวลาจริง ไม่ควรใช้เฟรม B เนื่องจากเฟรม B จะต้องมีการรอวีดิทัศน์ในเฟรมถัดไปก่อนจึงจะบีบอัดได้ซึ่งจะทำให้เวลาหน่วงเพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของเฟรมที่ผ่านการบีบอัดวีดิทัศน์ด้วย MPEG-4

และเนื่องจากว่าการบีบอัดวีดิทัศน์ด้วย MPEG-4 นั้นมีการอ้างอิงข้อมูลระหว่างเฟรม ดังนั้นการสูญหายของเฟรมวีดิทัศน์อาจส่งผลให้การถอดรหัสเฟรมถัดไปเกิดข้อผิดพลาดได้ ปรากฏการณ์อย่างนี้เรียกว่า Error Propagation

2.5 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงความเป็นมาของระบบสื่อสารเคลื่อนที่ในแต่ละยุคและมาตรฐานของทั้ง 2 ระบบที่ใช้ในยุคที่ 3 อันได้แก่ UMTS และ CDMA2000 ซึ่งระบบที่ประเทศไทยเลือกใช้งานคือ UMTS บนเทคโนโลยี WCDMA ภายในบทจึงแสดงรายละเอียดเกี่ยวกับสถาปัตยกรรม และจุดเด่นของเทคโนโลยีชนิดนี้ นอกจากนี้ยังได้อธิบายถึงหลักการพื้นฐานในการสื่อสารวีดิทัศน์บนเครือข่าย UMTS อันได้แก่ ขั้นตอนในการรับและส่งวีดิทัศน์ พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับข้อมูล และการบีบอัดวีดีทัศน์ด้วย MPEG-4 และเนื่องจากจุดสนใจของวิทยานิพนธ์นี้อยู่ที่โปรโตคอลชั้นที่ 2 ของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3 ซึ่งประกอบด้วยโปรโตคอลเอ็นทิ้ย่อย ๆ ได้แก่ RLC, MAC, PDCP และ BMC แต่โปรโตคอลที่มีหน้าที่หลักในการจัดการควบคุมความผิดพลาดในการส่งข้อมูลของโปรโตคอลชั้นบน คือ โปรโตคอล RLC รายละเอียดสถาปัตยกรรมองค์ประกอบภายในรวมถึงการทำงานของโปรโตคอลจะกล่าวถึงในบทที่ 3 ซึ่งทฤษฎีและหลักการทั้งหมดนี้จะถูกนำไปใช้ในการสร้างแบบจำลองเพื่อทำการทดสอบประสิทธิภาพที่จะกล่าวถึงในบทที่ 4 ต่อไป