

Technology

ปรับปรุงคุณภาพเสียง

เทคนิคการปรับปรุงคุณภาพเสียงในเครือข่ายลูกผสม TDM-IP



สิ่งที่เหมือนกับเทคโนโลยีส่วนใหญ่ก็คือ บริการพูดคุยทางโทรศัพท์มักมีปัญหาเรื่องคุณภาพเกี่ยวกับตัวของการบริการเอง การติดตั้งและการนำไปใช้งานจริง ตัวอย่างเช่น โทรศัพท์รุ่นแรกๆ ซึ่งมีใช้กันในช่วงปี 1930 มีรูปร่างเป็นเชิงเทียน (อุปกรณ์ที่ใช้พูดและหูฟังแยกออกจากกัน) ส่วนการกดตัวเลขก็เป็นปุ่มหมุนอยู่ ในขณะที่แป้นกด (ถ้าหากเป็นโทรศัพท์ยุคปัจจุบันคนจะเห็นป้ายระบุเบอร์ต่อเอาไว้) พิมพ์ข้อความว่า "กรุณารอสัญญาณโทรศัพท์ก่อน" รูปแบบนี้เตือนให้เราเข้าใจว่าปัญหาเรื่องคุณภาพของเสียงเกิดขึ้นมานานแล้ว และยังคงมีต่อจนกระทั่งถึงทุกวันนี้ แต่ในตอนนี้นักคนต่างยอมรับกันว่า การที่จะให้ผู้ใช้อยอมรับการติดตั้งใช้งานบริการโทรศัพท์ที่ทันสมัยในวงกว้างแล้วละก็ คุณภาพเสียงที่ดีจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่ง ในปัจจุบันการใช้ระบบ voice over IP (VoIP) ได้เปลี่ยนสภาพจากการใช้งานหนึ่งจุดที่สำนักงานใหญ่และสำนักงานสาขาหลายๆ จุด ไปเป็นการให้บริการเสียงทางธุรกิจซึ่งอยู่ภายใต้การดูแลของบริษัทผู้ให้บริการ ซึ่งจะครอบคลุมการทำงานของสำนักงานใหญ่หลายสิบแห่งบวกกับสำนักงานสาขาอีกหลายร้อยแห่งได้ ดังนั้นคุณภาพของเสียงจึงไม่ใช่อยู่ในระดับที่พอยอมรับได้อีกต่อไป แต่กลายเป็นเรื่องหลักไปแล้ว

การนำเอาเครือข่ายส่วนตัว (ของบริษัทหรือองค์กร) ไปเชื่อมโยงกับเครือข่ายอื่นๆ ซึ่งส่วนใหญ่มักเป็นเครือข่ายสาธารณะ ดังนั้นเครือข่ายซึ่งใช้ในสภาพแวดล้อมของระบบเสียงแบบไกลบอลจึงมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว การที่ผู้คนจำนวนมากยังไม่ค่อยเข้าใจนี้กว่าการผสมผสานเครือข่ายเสียงแบบแพ็กเก็ตสวิตซ์กับเครือข่ายเสียงแบบเซอร์กิตสวิตซ์จะส่งผลกระทบต่อรูปแบบการสื่อสารโดยรวมของเครือข่ายลูกผสมอย่างไร ดังนั้นผู้คนจึงตั้งข้อสังเกตว่า VoIP น่าจะเป็นต้นตอปัญหาเรื่องคุณภาพเสียงที่เกิดขึ้น แม้ว่าผู้ติดตั้งระบบโทรศัพท์ส่วนใหญ่เข้าใจดีว่าสัญญาณเสียงผ่านอินเทอร์เน็ตย่อมมีความแตกต่างจากสัญญาณเสียงที่ผ่านระบบ PSTN ก็ตาม แต่ความเข้าใจของพวกเขาเกี่ยวข้องกับ การควบคุมสัญญาณเสียงเทียบกับการควบคุมสัญญาณข้อมูล หรือความจำเป็นที่ต้องใช้เทคนิค Quality-of-Service (QoS) ลงไปในขั้นตอนการส่งสัญญาณเสียง และยอมรับกับปัญหาเรื่องสัญญาณในส่วนของการบีบอัดสัญญาณพื้นฐานของเครือข่าย แต่มีผู้ติดตั้งระบบโทรศัพท์เพียงไม่กี่รายเท่านั้นที่คำนึงถึงสภาพแวดล้อมการส่งสัญญาณเสียงในขณะวางแผนติดตั้งเครือข่ายลูกผสม TDM-IP รวมทั้งมีการคำนวณอัตราสูญเสียของสัญญาณเพื่อคำนวณคุณภาพเสียงซึ่งครอบคลุมการทำงานจากปลายด้านหนึ่งสู่ปลายอีกด้านหนึ่งด้วย

บทความชิ้นนี้จะทำการศึกษาปัญหาเรื่องคุณภาพเสียงซึ่งเกิดขึ้นมาจากเครือข่ายลูกผสม TDM-IP โดยที่คำจำกัดความของคุณภาพเสียงต้องอิงกับการวัดในเชิงคุณภาพและปริมาณที่มีต่อตัวบริการ (เสถียรภาพ ตัวบริการที่มีอยู่ และความพร้อมในการให้บริการ) ความชัดเจน (ความดัง ความผิดเพี้ยน สัญญาณรบกวน) และคุณภาพในการสนทนา (เสียงสะท้อน ความล่าช้า เสียงขาดๆ หายๆ) ของการโทรศัพท์ คำจำกัดความนี้ครอบคลุมทั้งคุณลักษณะของสัญญาณเสียงแบบอะนาล็อกเองและประสิทธิภาพของกลไกการส่งสัญญาณที่อยู่ภายในด้วย

การแก้ปัญหาเรื่องเสียงขาดหายและ ความล่าช้ายังไม่ใช้สิ่งที่พอเพียง

ถ้าหากเป็นมุมมองการออกแบบโทรศัพท์แบบเก่าแล้ว ผู้คนมักมองว่าเครือข่าย VoIP มีสภาพเหมือนกับกล่องดำ ผู้ติดตั้งระบบเข้าใจว่าการควบคุมสัญญาณเสียงที่ขาดหายๆ ให้อยู่ในรูปของการส่งแพ็กเก็ตที่ต่อเนื่อง จากนั้นก็ลดความล่าช้าจากปลายด้านหนึ่งไปสู่อีกด้านหนึ่งให้เหลือน้อยกว่า 150 มิลลิวินาที (ms) ก็น่าจะทำให้ผู้ใช้พึงพอใจได้แล้ว ส่วนการวัดคุณภาพเสียงจะอยู่ที่จุดปลายทั้งสองด้านเท่านั้น โดยไม่สนใจว่ามีส่วนประกอบอะไรที่อยู่ตรงกลางหรือจุดปลายทั้งสองด้านบ้าง อย่างไรก็ตาม บริการ ความชัดเจน และการสนทนาที่สามารถส่งผลกระทบต่อคุณภาพของเสียงได้เช่นกัน ไม่ว่าจะเป็นการโทรผ่าน PSTN เครือข่ายไอพี หรือเครือข่ายลูกผสมก็ตาม ดังนั้นคุณภาพของบริการจึงส่งผลกระทบต่อการทำธุรกิจอย่างแยกไม่ออก อย่างไรก็ตาม ความชัดเจนและคุณภาพเสียงในขณะที่ทำการสนทนาจะขึ้นอยู่กับวิธีการออกแบบเครือข่ายระบบเสียงโดยตรง ซึ่งในแง่มุมนี้ ความชัดเจน ความล่าช้า และเสียงสะท้อนจึงถือเป็นสิ่งที่มีความสำคัญมาก ดังนั้นการทบทวนว่ามีปัญหาอะไรบ้างซึ่งก่อให้เกิดเสียงที่น่ารำคาญขึ้นมาได้บ้าง จะมีประโยชน์อย่างมากต่อการออกแบบเครือข่ายเสียงที่คำนึงถึงผลกระทบต่อคุณภาพของเสียง

เสียงสะท้อนน่าจะเป็นปัญหาเรื่องเสียงที่ชัดเจนมากที่สุด ซึ่งปัญหานี้จะรุนแรงจนถึงระดับที่น่ารำคาญก็ต่อเมื่อมีการใช้งานในเครือข่ายลูกผสม TDM-IP เท่านั้น ถ้าหากพิจารณาในแง่ของคุณภาพแล้ว เสียงสะท้อนเป็นเสียงที่เกิดจากเสียงของผู้พูดส่งย้อนกลับมาผ่านหูฟังไปยังหูของผู้พูดเอง ถ้าหากพิจารณาในแง่เทคนิคแล้ว เสียงสะท้อนเกิดจากเส้นทางการส่งสัญญาณที่ปลายอีกด้านหนึ่งทำสัญญาณรั่วย้อนกลับมาถึงเส้นทางการรับสัญญาณในส่วนวงจรจะนาฬิกาของเครือข่าย ถ้าหากเวลาระหว่างการพูดครั้งแรกและการสะท้อนของเสียงสั้นมาก (ความยาวของร่องรอยเสียงสะท้อน (echo tail length-ETL) น้อยกว่า 32 มิลลิวินาที หรือถ้าหากระดับความเจือจางของเสียงสะท้อนต่ำมาก (echo return loss-ERL น้อยกว่า -10 เดซิเบล) ปัญหาจะไม่ก่อความรำคาญและรบกวนการสนทนาแต่อย่างใด ถ้าหากเป็นสภาพแวดล้อมการใช้ระบบ PSTN ส่วนใหญ่ เสียงสะท้อนยังคงมีอยู่ แต่เกิดขึ้นใกล้เคียงกับเวลาเดียวกับการพูดของผู้พูด มันจึงไม่ได้สร้างความรำคาญแต่อย่างใด แต่ถ้าหากเสียงสะท้อนยังไม่ถูกทำให้เจือจางลงมากพอ และเดินทางผ่านเครือข่ายโดยมีความล่าช้าเกิดขึ้น ผู้พูดจะได้ยินเสียงสะท้อนอย่างชัดเจน และคุณภาพเสียงก็จะมีปัญหาเกิดขึ้น แต่เสียงสะท้อนจะเกิดขึ้นเฉพาะในองค์ประกอบที่เป็นระบบจะนาฬิกาของเครือข่ายเท่านั้น ในขณะที่ความล่าช้าซึ่งเกิดขึ้นจากเครือข่ายไอพี จะทำให้เสียงสะท้อนที่ไม่เคยได้ยินมาก่อนกลับได้ยินชัดขึ้น วิธีการจัดการเสียงสะท้อนที่น่ารำคาญนี้ เราจะใช้อุปกรณ์จัดเสียงสะท้อนติดตั้งเอาไว้ใกล้ต้นตอของเสียงสะท้อนให้มากที่สุด อย่างไรก็ตาม ถ้าหากต้องการทำให้อุปกรณ์ชิ้นนี้ทำงานได้อย่างประสบความสำเร็จแล้วละก็ การออกแบบเครือข่ายเสียงจำเป็นต้องมี ERD และ ERL อยู่ในระดับที่สามารถควบคุมได้ด้วย

สัญญาณการสนทนาที่ขาดหายไปเป็นช่วงๆ อาจจะมาจากความล่าช้าของแพ็กเก็ตที่มีมากเกินไป หรือเกิดปัญหาแพ็กเก็ตสูญหายในองค์ประกอบที่เป็นไอพีของเครือข่ายเสียงเรื่องนี้ขึ้นอยู่กับรูปแบบการหายของแพ็กเก็ต อัลกอริทึมเพื่อซ่อมแซมแพ็กเก็ตที่หายไป และประเภทของ coder/de-coder (CDDEC) ที่ใช้อยู่ จะทำให้คุณภาพเสียงที่ได้แตกต่างออกไป ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดแบบหนึ่งของรูปแบบการหายของแพ็กเก็ตก็คือการที่แพ็กเก็ตหายอย่างต่อเนื่อง ซึ่งทำให้คุณภาพเสียงมีปัญหามากกว่าการหายแบบสุ่มของแพ็กเก็ตต้นตอที่เกี่ยวข้องกันซึ่งทำให้คุณภาพเสียงลดลงมาสาเหตุจากเวลาที่แพ็กเก็ตเดินทางไปถึงเป้าหมายไม่คงเส้นคงวา หรือการส่งแพ็กเก็ตหยุดทำงานไปเลยๆ ปัจจัยทั้งสองเรื่องนี้ส่งผลทำให้บัฟเฟอร์รองรับปัญหาสัญญาณขาดช่วงที่จุดปลายตัดแพ็กเก็ตทิ้งไปแม้ว่าจะได้รับแพ็กเก็ตมาก็ตาม เนื่องจากแพ็กเก็ตมาถึงช้าเกินไป หรือมาแบบไม่เป็นระเบียบจนบัฟเฟอร์แก้ปัญหาสัญญาณขาดช่วงที่จะซ่อมแซมได้ (อ่านรายละเอียดเพิ่มเติมจาก ITU-T Recommendation G.113)

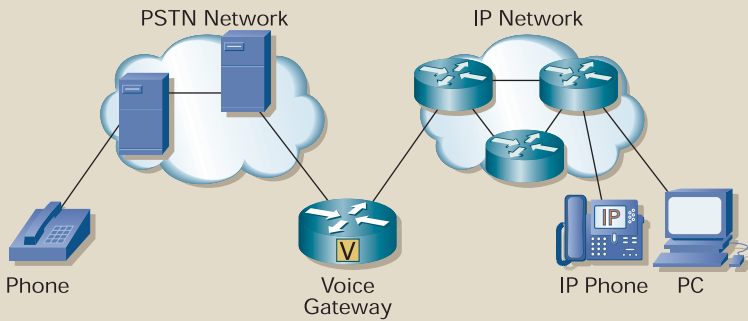
ส่วนคุณภาพในการสนทนาได้รับผลกระทบจากความล่าช้าระหว่างจุดปลายสองด้านที่มีมากเกินไป ตัวอย่างเช่น ผู้พูดมักจะพูดซ้ำๆ ประโยคเดิม เมื่อไม่ได้รับคำตอบที่คาดหวังเอาไว้อย่างทันที่ ถ้าหากคำพูดที่ส่งไปชนกัน การตอบสนทนาที่ล่าช้าจากปลายอีกด้านหนึ่งก็จะก่อให้เกิดปัญหาเหมือนกับการพูดพร้อมๆ กัน ผู้ใช้ส่วนมากจะไม่ได้สังเกตเห็นความล่าช้าซึ่งต่ำกว่า 100 มิลลิวินาที แต่ผู้ใช้จะสังเกตความล่าช้าเล็กน้อยในคำตอบของคู่สนทนาถ้าหากมีความล่าช้าระหว่าง 100 ถึง 300 มิลลิวินาที ความล่าช้าดังกล่าวอาจส่งผลกระทบต่อผู้ฟังแต่ละคนว่าในตอนนั้นมีอารมณ์ร่วมต่อการสนทนาเป็นอย่างไรบ้าง ถ้าหากความล่าช้าสูงกว่า 300 มิลลิวินาที ผู้ใช้จะสังเกตเห็นความล่าช้าได้อย่างชัดเจน ดังนั้นผู้ใช้ก็ไม่ได้คิดที่จะใช้ระบบโทรศัพท์แบบนี้เพื่อป้องกันเรื่องกวนใจที่เกิดขึ้น เนื่องจากระบบไม่มีคุณภาพรองรับการสนทนาที่ดีพอ (อ่านรายละเอียดเพิ่มเติม ITU-T Recommendation G.114)

สัญญาณขาดหายจากผู้พูด: ปัญหาอยู่ในรูปของคำพูดคำแรกของผู้พูดออกไป ซึ่งอาจจะเป็นผลมาจากความล่าช้าและการใช้กลไกจัดความเรียบในเครือข่ายไอพี ถ้าหากเครือข่าย VoIP ต้องการใช้แบนด์วิดธ์อย่างมีประสิทธิภาพแล้ว เครือข่ายต้องใช้กลไกจัดความเรียบ เช่น voice activity detector (VAD) หรือ comfort noise generator (CNG)

วิธีการประเมินคุณภาพของเสียง

ถ้าหากปัจจัยเรื่องการทำงานของระบบส่งผลกระทบต่อคุณภาพของเสียงได้ ดังนั้นเราจะประเมินคุณภาพเสียงจากปลายด้านหนึ่งสู่อีกด้านหนึ่งได้อย่างไร? ในปัจจุบันมีวิธีการมาตรฐานหลายชนิดที่ใช้วัดคุณภาพของเสียงได้ วิธีการที่ได้รับความนิยมมากที่สุดชนิดหนึ่งก็คือ Mean Opinion Score (MOS หรือ ITU-T P.800) เป็นผลมาจากการทดสอบโดยใช้ผู้ทดสอบจำนวนมากโทรศัพท์พูดคุยซึ่งกันและกันจากนั้นก็ให้คะแนนคุณภาพของเสียง ผลการทดสอบจะมาจากผู้ที่เข้าร่วมทดสอบทุกคน โดย MOS เป็น

เครือข่ายเสียงลูกผสม TDM-I



▲ **คุณภาพของระบบเสียงจากปลายด้านหนึ่งสู่ปลายอีกด้านหนึ่ง:** การที่ส่วนประกอบต่างๆ ในโครงสร้างพื้นฐานของเครือข่ายมีผลกระทบต่อคุณภาพเสียงได้เนื่องจากส่วนประกอบแต่ละชนิดทำให้สัญญาณสูญหายได้ ดังนั้นเราจำเป็นต้องวิเคราะห์เครือข่ายทั้งหมดอย่างรอบคอบเสียก่อน

ค่าเฉลี่ยที่ได้จากความเห็นของผู้ใช้ (ตัวเลขเป็น 1-5 โดยตัวเลข 5 คือยอดเยี่ยมและ 4 ก็คือคุณภาพของสายโทรศัพท์ปกติ) ข้อเสียของ MOS ก็คือมันเป็นวิธีการที่เสียเวลามากเสียค่าใช้จ่ายสูงและไม่สะดวก

ด้วยเหตุนี้เราจึงใช้วิธีการวัดคุณภาพของเสียงผ่านอัลกอริทึมวิเคราะห์ดังนี้คือ Perceptual Speech Quality Measure (PSQM, ITU-T P.861 ล้าสมัยไปแล้ว) Perceptual Analysis Measurement System (PAMS) หรือ Perceptual Evaluation of Speech (PESQ, ITU-T P.860) การประเมินผลเหล่านี้มีรูปแบบที่เหมาะสมที่ใช้ประเมินและแยกแยะความชัดเจนของเสียงได้อย่างเป็นอิสระ เครื่องมือทดสอบคุณภาพของเสียงส่วนมากใช้วิธีการวัดคุณภาพเหล่านี้ตั้งแต่หนึ่งแบบขึ้นไป บวกกับการใช้วิธีการ MOS บางส่วนด้วย เพื่อทำการเปรียบเทียบ แม้ว่ามาตรฐานเหล่านี้ไม่ได้แยกแยะคุณภาพของจุดปลายได้ก็ตาม แต่เราก็สามารถใช้ในการประเมินเครือข่ายอย่างรวดเร็วได้ อย่างไรก็ตาม การใช้อัลกอริทึมล่าสุดและเป็นที่พึงพอใจของผู้ใช้มากที่สุดอย่าง PESQ แต่ก็ยังไม่อาจประเมินคุณภาพของสัญญาณได้อย่างครอบคลุมได้ โดยที่ PESQ จะทำการวัดผลกระทบที่มีต่อการพูดเพียงทางเดียว ในเรื่องความผิดเพี้ยนและเสียงรบกวนเท่านั้น แต่ไม่ได้วัดผลกระทบการสื่อสารแบบสองทางในเรื่องความดัง ความล่าช้า และเสียงสะท้อนแต่อย่างใด ระบบเครือข่ายอาจจะได้คะแนนสูงจากการทดสอบ PESQ แต่อาจยังมีคุณภาพในการสื่อสารที่ไม่ดีได้อยู่ สิ่งที่มีความสำคัญสูงสุดก็คือ วิธีการวัดผลเหล่านี้ไม่ได้ให้ข้อมูลเชิงวิเคราะห์ที่มากพอว่าปัญหาของระบบเครือข่ายอาจจะเกิดขึ้นตรงจุดใดได้บ้าง (ดูรูปประกอบ)

ส่วนประกอบต่างๆ (ระบบสื่อสาร PSTN วอยซ์เกตเวย์ โทรศัพท์อนาล็อกและไอพีฯลฯ) ในโครงสร้างพื้นฐานของเครือข่ายส่งผลกระทบต่อคุณภาพของเสียงโดยการสร้างช่วงเวลาที่ทำให้สัญญาณหายไปเกิดขึ้น ด้วยเหตุนี้ในช่วงที่เรากำลังวางแผนหรือทบทวนระบบเครือข่ายเพื่อทำการวิเคราะห์คุณภาพเสียงซึ่งครอบคลุมการทำงานทั้งหมดอยู่นั้น เราจำเป็นต้องวางแผนเรื่องระดับและอัตราการสูญหายของสัญญาณของเครือข่ายทั้งหมดเมื่อเอาไว้ด้วย การออกแบบจำเป็นต้องระบุระดับของคุณภาพเสียงสูงสุดที่ต้องการระหว่างผู้ใช้สองจุดซึ่งอยู่ในเครือข่ายภายใน รวมทั้งระหว่างเครือข่ายภายในและเครือข่ายสาธารณะภายนอกด้วย

แผนงานรับมือเรื่องสัญญาณข้อมูลที่สูงหาย

แผนงานรับมือเรื่องสัญญาณที่สูงหายเกี่ยวข้องกัับสัญญาณข้อมูลที่สูงหายโดยรวมของการสื่อสารระหว่างผู้พูดและผู้ฟัง ซึ่งได้มาจากการสูญหายสัญญาณสะสมซึ่งเกิดจากส่วนประกอบทุกชิ้นซึ่งเกี่ยวข้องกับการสื่อสารนั้น กลุ่ม Telecommunications Industry Association (TIA) เป็นผู้คิดค้นแผนงานดังกล่าวขึ้น โดยแผนงานรับมือเรื่องสัญญาณที่สูงหายแบบคงที่นี้เป็นการจำลองสภาพการสนทนาปกติของผู้พูดและผู้ฟังซึ่งยืนห่างจากกัน 1 เมตร โดยที่อัตราสัญญาณสูญหายระหว่างปลายอีกด้านหนึ่งจนถึงปลายอีกด้านหนึ่งจะต้องไม่เกิน 10 เดซิเบล แต่ในเครือข่ายที่เราใช้อยู่ในปัจจุบันมีปัญหาสัญญาณสูญหายประมาณ 8-21 เดซิเบล ซึ่งทางกลุ่มตั้งเป้าเอาไว้ว่าจะแก้ปัญหาให้อัตราการสัญญาณสูญหายไม่เกิน 8-12 เดซิเบลให้ได้ เป้าหมายของแผนงานการกำหนดสัญญาณที่สูงหายแบบคงที่ก็คือการรักษาคุณภาพของการสื่อสารที่เสียงให้ดีที่สุดโดยการลดเสียงสะท้อนและเสียงรบกวน (อ่านเพิ่มเติมที่ TIA TSB32-A) องค์ประกอบพื้นฐานของการวางแผนเรื่องระบบสื่อสารเสียงก็คือ E-Model (ITU-T G.107) เพื่อใช้คำนวณและวัดผลคุณภาพเสียงจากปลายด้านหนึ่งสู่ปลายอีกด้านหนึ่ง สิ่งที่แตกต่างกันจากวิธีการวัดคุณภาพเสียงซึ่งพูดไปแล้วในบทความนี้ก็คือ E-Model ใช้อุปกรณ์วัดคุณภาพเสียงเพื่อคำนวณอัตราคุณภาพเสียงที่ชื่อ R factor (0-100) ขึ้นมา จากนั้นก็นำไปเปรียบเทียบกับตัวเลข MOS (ตัวอย่างเช่น R=80 ส่วน MOS = 4.03 เป็นต้น)

เป้าหมายหลักของการวางแผนเพื่อสร้างระบบเครือข่ายเสียงขึ้นมาใหม่หรือปรับปรุงของเดิมที่มีอยู่ก็คือ การรวบรวมข้อมูลที่จำเป็นเกี่ยวกับส่วนประกอบต่างๆ ที่อยู่ในเครือข่ายในแง่ขององค์ประกอบที่จำเป็นต้องใช้งานและผลกระทบที่ทำให้สัญญาณมีคุณภาพลดลง ซึ่งส่งผลกระทบต่อคุณภาพเสียงของการสื่อสารจากปลายด้านหนึ่งไปสู่ปลายอีกด้านหนึ่งตัวแปรต่างๆ อาทิ สัญญาณสูญหาย ความผิดเพี้ยน ความล่าช้า สัญญาณสะท้อน สัญญาณรบกวน ฯลฯ ล้วนแล้วแต่ทำให้สัญญาณมีคุณภาพลดลงได้ ส่วนการเพิ่มรอยขีดเคเวย์โทรศัพท์ไอพีหรือการสื่อสาร ATA (อุปกรณ์ใดๆ ที่ใช้เป็นตัวเชื่อมระหว่างระบบอนาล็อกและดิจิทัล หรืออินเทอร์เฟซของ TDM กับระบบเสียงไอพี) ลงไปในเครือข่ายเสียงจะส่งผลทำให้สัญญาณสูญหายได้ การสูญหายนี้เกิดจากสัญญาณไฟฟ้าลดลงระหว่างจุดที่เชื่อมโยงกับอินพุตพอร์ตกับการวัดผลที่เอาต์พุตพอร์ต (อ่านข้อความประกอบ TIA TIA-912) ซึ่งอิงกับตัวแปรที่เกี่ยวข้อง เช่น สัญญาณที่ขาดหายเป็นช่วงๆ และความล่าช้าจากปลายด้านหนึ่งไปสู่ปลายอีกด้านหนึ่ง

เครือข่ายเสียงเริ่มมีความซับซ้อนกว่าในอดีตมาก แต่มันยังจะมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง เมื่อมีการนำเอาเทคโนโลยีใหม่ๆ มาใช้งาน การใช้ E-Model จะช่วยให้การจัดการตัวแปรต่างๆ ของการสื่อสารมีความยืดหยุ่นมากขึ้น ซึ่งเหมาะที่จะใช้ในการวางแผนเพื่อจำกัดไม่ให้ปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่อสื่อสารจะไม่ได้น่ามากจนเกินไป การออกแบบเครือข่ายโดยอิงกับโมเดลนี้จะช่วยให้คุณทำให้ระบบเสียงมีคุณภาพสูงสุดในลักษณะที่คำนวณออกมาเป็นตัวเลขได้ ▲ ▲