

การวิจัยศึกษาระยะห่างระหว่างเครื่องรับส่งสัญญาณกับเครื่องคอมพิวเตอร์ลูกข่าย และจำนวนเครื่องลูกข่ายที่สามารถรับชมวิดีโอที่ชัดขนาด 720p พร้อมกันอย่างมีประสิทธิภาพ บนระบบเครือข่าย Wi-Fi ของคณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล

เสกสรรค์ โพธิ์ศรี, ศษ.บ., อ.ดร.พุฒินันท์ แพทย์พิทักษ์, พศ.ดร.นพพล เพ้าสวัสดิ์

สถานเทคโนโลยีการศึกษาแพทยศาสตร์, คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล, มหาวิทยาลัยมหิดล, กรุงเทพมหานคร 10700.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาระยะห่างระหว่างเครื่องรับส่งสัญญาณ (Access Point) กับเครื่องคอมพิวเตอร์ลูกข่าย ที่สามารถนำส่งข้อมูลสัญญาณภาพวิดีโอที่ชัดขนาด 720p ผ่านเครือข่ายคอมพิวเตอร์ชนิดไร้สาย (Wi-Fi) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และศึกษาจำนวนเครื่องลูกข่ายที่เหมาะสมในการรับชมภาพวิดีโอที่ชัดขนาดดังกล่าว โดยได้ทดสอบการส่งสัญญาณภาพวิดีโอที่ชัดขนาด 720p ความยาว 3 นาที มีระยะห่างระหว่างเครื่องรับส่งสัญญาณกับเครื่องคอมพิวเตอร์ลูกข่ายระยะ 10 และ 20 เมตร ใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ลูกข่ายจำนวน 1 ถึง 5 เครื่อง รับสัญญาณภาพวิดีโอในสถานการณ์จริงและสถานการณ์จำลอง ผลการทดลองในสถานการณ์จริงพบว่าเมื่อใช้คอมพิวเตอร์ลูกข่ายรับข้อมูลพร้อมกัน 5 เครื่องจากเครื่องรับส่งสัญญาณที่ระยะ 20 เมตรต้องใช้เวลาเฉลี่ย 5 นาที เพื่อแสดงผลวิดีโอที่ครบถ้วน ซึ่งอาจไม่สามารถนำไปให้บริการได้สะดวก ในขณะที่ใช้เวลาเฉลี่ยเพียง 3.19 นาที เมื่อลดระยะห่างเหลือ 10 เมตร ซึ่งสามารถนำไปขยายผลการทดลองต่อไปเพื่อให้บริการวิดีโอที่ชัดเพื่อการเรียนออนไลน์ได้

คำสำคัญ: วิดีทัศน์ความคมชัดสูง, อีเลิร์นนิ่ง, ระบบเครือข่ายไร้สาย

Abstract:

A Study on Suitable Distances that Enhance Video Playback Efficiency of Client Computers when Receiving 720p Video Data from Siriraj Wi-Fi Access Point and the Amount of Client Computers that can Effectively Display the Video Data Simultaneously
Seksan Posri, B.Ed., Puttinun Patpituk, Nopphol Pausawasdi, Doctor of Philosophy in Education-Information Technology

Medical Education Technology Center, Faculty of Medicine Siriraj Hospital, Mahidol University, Bangkok 10700, Thailand.

Siriraj Medical Bulletin 2014;7(2):48-52

This research aimed to study video playback efficiency of client computers when receiving 720p video data 10 and 20 meters away from Wi-Fi access point as well as to investigate the amount of client computers that can effectively display the video data simultaneously within the distances. Five computers were used to receive 3 minutes video clip data in normal and controlled experiments. The results show that the 3 minutes video was played completely in 5 minutes when 5 computers receive the data simultaneously 20 meters away from Wi-Fi access point. On the other hand, it was played completely in 3.19 minutes when 5 computers receive the data simultaneously 10 meters away from Wi-Fi access point which can be applied for video based learning online services.

Keywords: High definition video, e-learning, Wi-Fi network

บทนำ

วิดีโอเป็นสื่อที่นิยมใช้กันมากในการเรียนการสอนแบบอีเลิร์นนิ่ง¹ คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาลเองก็ได้ใช้สื่อวิดีโอประกอบการเรียนการสอนมาเป็นเวลานานในปัจจุบันความก้าวหน้าของเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ได้รับการพัฒนาให้สามารถนำส่งไฟล์วิดีโอผ่านเครือข่ายคอมพิวเตอร์ชนิดไร้สาย (Wi-Fi) ในการรับส่งข้อมูลซึ่งได้นำมาใช้เพื่อพัฒนาระบบอีเลิร์นนิ่งของคณะฯ ในขณะนี้ นักศึกษาส่วนมากเข้าสู่การเรียนรูปแบบนี้ผ่านการเชื่อมต่อกับระบบเครือข่ายชนิด Local Area Network (LAN) ได้ปกติ แต่พบรายงานข้อร้องเรียนอุปสรรคในการรับชมจำนวนมากเมื่อเชื่อมต่อกับระบบเครือข่ายชนิดไร้สาย (Wi-Fi) ภายในคณะฯ งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาการรับส่งข้อมูลวิดีโอพิเศษขนาด 720p ระดับความคมชัดสูง (High definition) ผ่านเทคโนโลยีเครือข่ายไร้สายบนเครือข่ายมัลติมีเดียเพื่อหาประสิทธิภาพระหว่างเครื่องรับส่งสัญญาณกับเครื่องคอมพิวเตอร์ลูกข่าย ที่สามารถนำส่งข้อมูลภาพวิดีโอพิเศษขนาด 720p ได้อย่างมีประสิทธิภาพและศึกษาจำนวนเครื่องลูกข่ายที่เหมาะสมในการรับชมโดยทดสอบในสถานการณ์จริงที่มีการใช้งานระบบเครือข่ายของคณะฯ ตามปกติ และสถานการณ์จำลองที่จำกัดการใช้งานเครือข่ายเฉพาะการทดลอง มีระยะห่างระหว่างเครื่องรับส่งสัญญาณกับเครื่องคอมพิวเตอร์ลูกข่ายที่ 10 และ 20 เมตร กับเครื่องคอมพิวเตอร์ลูกข่ายสูงสุด จำนวน 5 เครื่อง

วัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์

1. เพื่อหาประสิทธิภาพระหว่างเครื่องรับส่งสัญญาณกับเครื่องคอมพิวเตอร์ลูกข่าย ที่สามารถนำส่งข้อมูลสัญญาณภาพวิดีโอพิเศษขนาด 720p บนเครือข่ายมัลติมีเดียได้อย่างมีประสิทธิภาพ
2. เพื่อศึกษาจำนวนเครื่องลูกข่ายที่เหมาะสมในการรับชมให้บริการอีเลิร์นนิ่งของคณะฯ ที่สามารถนำส่งข้อมูลสัญญาณภาพวิดีโอพิเศษขนาด 720p บนเครือข่ายมัลติมีเดียได้อย่างมีประสิทธิภาพ

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การเรียนการสอนในรูปแบบอีเลิร์นนิ่งมีบทบาทอย่างมากในปัจจุบัน² โดยเฉพาะอย่างยิ่ง มีผลสำรวจแสดงให้เห็นประโยชน์ที่ได้จากการเรียนการสอนแบบ Video based learning³ สื่อวิดีโอเป็นสื่อที่นิยมใช้เป็นอย่างมากในระบบอีเลิร์นนิ่งของคณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล แต่ยังคงมีปัญหาเมื่อเรียกชมผ่านระบบเครือข่ายไร้สาย เมื่อส่งข้อมูลในรูปแบบ Video Streaming ในรูปแบบไฟล์ FLV4 ซึ่ง Adobe Systems ได้พัฒนารูปแบบไฟล์วิดีโอชนิดนี้เพื่อใช้งานบนระบบอินเทอร์เน็ตสนับสนุนมาตรฐานภาพวิดีโอพิเศษประเภท H.263 และ H.264⁵ เป็นมาตรฐานที่ใช้ได้กับภาพวิดีโอพิเศษขนาด 720p (720 x 576 pixels) อยู่ในกลุ่มไฟล์ชนิด MPEG 2 ซึ่งเป็นมาตรฐานสำหรับรับส่งสัญญาณระบบโทรทัศน์ดิจิทัล

จัดเป็นระบบโทรทัศน์ความคมชัดสูง (high definition TV; HDTV)⁶

ในปัจจุบันการประยุกต์ใช้งานรูปแบบใหม่ ๆ ที่ใช้หลักการการกระจายข้อมูลระหว่างข้อมูลหลักไปยังสมาชิกพร้อม ๆ กัน โดยเฉพาะสำหรับระบบอีเลิร์นนิ่ง กำลังได้รับความสนใจมากขึ้น เป็นผลให้การจราจรข้อมูลแบบมัลติคาสต์ของแต่ละองค์กรมีสัดส่วนความต้องการใช้เพิ่มมากขึ้นเส้นทางการไหล (Routing Protocol) ที่เชื่อมระหว่างเครื่องรับและเครื่องส่งสำหรับการสื่อสารแบบมัลติคาสต์นั้นควรมีรูปแบบการเชื่อมต่อแบบ Steiner Tree ปัจจุบันยังไม่มีวิธีที่สามารถใช้ในการสร้าง Steiner Tree ที่สั้นที่สุดได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นวิธีการสร้าง Steiner Tree ส่วนใหญ่จึงเป็นแบบฮิวริสติก เช่น T-M อัลกอริทึม⁷

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการรับสัญญาณภาพวิดีโอที่ส่งในสถานการณ์จริงและสถานการณ์จำลองโดยแบ่งการทดสอบออกเป็นสองการทดลองดังนี้ Experiment ที่ 1: ติดตั้งเครื่องคอมพิวเตอร์ลูกข่าย 5 เครื่องที่ลงโปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลบนเครื่องข่ายเน็ตเวิร์คชื่อ Wireshark เชื่อมต่อกับเครื่องรับส่งสัญญาณแบบไร้สายที่ระยะห่าง 10 และ 20 เมตร หรือแบนด์วิดท์ขนาด 54 Mbps และเริ่มต้นเล่นวิดีโอที่ความละเอียด 720p ความยาว 3 นาทีพร้อมเก็บข้อมูลผ่านโปรแกรมตั้งแต่เริ่มจนจบแล้วบันทึกข้อมูลเป็นไฟล์ .pcap จากนั้นทำซ้ำกระบวนการเดิมแต่เพิ่มจำนวนเครื่องคอมพิวเตอร์ลูกข่ายที่เล่นวิดีโอเป็น 2, 3, 4 และ 5 เครื่องพร้อมกันตามลำดับในสถานการณ์จำลอง

Experiment ที่ 2: ติดตั้งเครื่องคอมพิวเตอร์ลูกข่าย 5 เครื่องเดียวกันกับการทดลองที่ 1 ลงโปรแกรม Wireshark เพื่อเก็บข้อมูลรูปแบบเดียวกัน และเชื่อมต่อกับเครื่องรับส่งสัญญาณแบบไร้สายที่ระยะห่าง 10 และ 20 เมตรในสถานการณ์จริง และเริ่มต้นเล่นวิดีโอไฟล์เดียวกันซ้ำจนครบ 5 เครื่องเช่นกัน

ผลการศึกษา

โปรแกรม Wireshark บันทึกข้อมูลจากการทดลองทั้งสองครั้ง ดังแสดงในตารางที่ 1

ข้อมูลในตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่าการทดสอบการรับส่งข้อมูลวิดีโอที่ต้นฉบับความยาว 3 นาที จบได้ในเวลาเฉลี่ย 3.028 นาทีเมื่อมีระยะห่าง 10 เมตร ระหว่างเครื่องรับส่งสัญญาณกับเครื่องคอมพิวเตอร์ลูกข่ายจำนวนถึง 5 เครื่องที่รับข้อมูลพร้อมกัน และแสดงผลข้อมูลภาพและเสียงวิดีโอที่ส่งในสถานการณ์จริงจบได้ในเวลาเฉลี่ย 3.190 นาที แต่เมื่อเพิ่มระยะห่างเป็น 20 เมตรพบว่าเมื่อคอมพิวเตอร์ลูกข่าย 5 เครื่อง รับข้อมูลพร้อมกันในสถานการณ์จำลองใช้เวลาเฉลี่ย 3.082 นาที แต่ใช้เวลาเฉลี่ยถึง 5.008 นาทีเพื่อแสดงผลข้อมูลภาพและเสียงวิดีโอที่ส่งจนครบในสถานการณ์จริง

ทั้งนี้ มีข้อมูลที่น่าสนใจเมื่อทดลองใช้คอมพิวเตอร์ลูกข่ายจำนวน 3 เครื่อง รับส่งข้อมูลวิดีโอที่ต้นฉบับความยาว 3 นาที ที่มีระยะห่าง 10 เมตร จากเครื่องรับส่งสัญญาณในสถานการณ์จริง ต้องใช้เวลาเฉลี่ยถึง 3.420 นาที เพื่อแสดงผลวิดีโอที่ส่งจนครบแต่ใช้เวลาเฉลี่ยแสดงผลน้อยลงเหลือประมาณ 3.140 และ 3.190 นาที เมื่อใช้คอมพิวเตอร์ลูกข่ายมากขึ้นเป็นจำนวน 4 และ 5 เครื่องตามลำดับในขณะที่ใช้เวลาเฉลี่ยเพียง 3.166 นาที เมื่อใช้คอมพิวเตอร์ลูกข่ายจำนวน 3 เครื่องรับข้อมูลห่างจากเครื่องรับส่งสัญญาณ 20 เมตร ในสถานการณ์จริง

โปรแกรม Wireshark รายงานปริมาณการส่งข้อมูล ดังแสดงในตารางที่ 2 ว่า ขณะที่ทดสอบการรับข้อมูลในสถานการณ์จริงโดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ลูกข่ายพร้อมกัน 3 เครื่อง มีปริมาณการส่งข้อมูลน้อยที่สุดคือ 0.812 Mbit ต่อวินาที แต่เมื่อทดสอบโดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ลูกข่ายพร้อมกัน 4 และ 5 เครื่อง กลับมีปริมาณการส่งข้อมูลได้มากขึ้นคือ 0.929 และ 0.873 Mbit ต่อวินาที ตามลำดับ

การวิเคราะห์ข้อมูลและอภิปรายผล

การรับส่งข้อมูลวิดีโอที่ต้นฉบับ ระบบเครือข่ายชนิดไร้สายของคณะที่มีระยะห่างระหว่างเครื่องรับส่ง

ตารางที่ 1. ข้อมูลเปรียบเทียบระยะเวลาเฉลี่ยในการแสดงผลวิดีโอทัศน์ของจำนวนเครื่องคอมพิวเตอร์ทั้ง 5 เครื่องที่รับข้อมูลวิดีโอทัศน์ 3 นาที ผ่านระบบเครือข่ายชนิดไร้สายของคณะฯ ที่มีระยะห่างระหว่างเครื่องรับส่งสัญญาณกับเครื่องคอมพิวเตอร์ลูกข่าย 10 และ 20 เมตร

รูปแบบการทดลอง	ระยะเวลาเฉลี่ย (นาท) ที่แสดงผลข้อมูลวิดีโอทัศน์ต้นฉบับ 3 นาทีครบถ้วนเมื่อใช้จำนวนเครื่องคอมพิวเตอร์ ลูกข่าย 1 ถึง 5 เครื่อง				
	1 เครื่อง	2 เครื่อง	3 เครื่อง	4 เครื่อง	5 เครื่อง
ระยะห่างระหว่างเครื่องรับส่งสัญญาณกับเครื่องคอมพิวเตอร์ ลูกข่าย 10 เมตร ในสถานการณ์จำลอง	3.000	3.010	3.020	3.022	3.028
ระยะห่างระหว่างเครื่องรับส่งสัญญาณกับเครื่องคอมพิวเตอร์ ลูกข่าย 10 เมตร ในสถานการณ์จริง	3.020	3.025	3.420	3.140	3.190
ระยะห่างระหว่างเครื่องรับส่งสัญญาณกับเครื่องคอมพิวเตอร์ ลูกข่าย 20 เมตร ในสถานการณ์จำลอง	3.010	3.020	3.056	3.070	3.082
ระยะห่างระหว่างเครื่องรับส่งสัญญาณกับเครื่องคอมพิวเตอร์ ลูกข่าย 20 เมตร ในสถานการณ์จริง	3.030	3.075	3.166	3.695	5.008

สัญญาณกับเครื่องคอมพิวเตอร์ลูกข่าย 5 เครื่อง ที่ระยะ 10 เมตร ในสถานการณ์จำลองและสถานการณ์จริง (รูปที่ 1) แสดงให้เห็นว่าสามารถรับส่งข้อมูลวิดีโอทัศน์ 720p ได้ในเวลาใกล้เคียงกัน ที่ค่าเฉลี่ย 3.028 นาทและ 3.190 นาทตามลำดับ มีความต่างประมาณ 0.162 วินาที

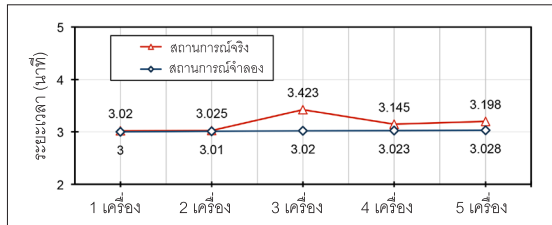
อย่างไรก็ตามตารางที่ 2 แสดงความไม่แน่นอนของปริมาณการรับส่งข้อมูลขณะทดสอบในสถานการณ์จริง เมื่อทดสอบการรับส่งข้อมูลโดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ลูกข่ายจำนวน 3 เครื่อง ที่มีปริมาณการส่งข้อมูลน้อยที่สุด

ตารางที่ 2. รายงานข้อมูลในเชิงปริมาณการส่งข้อมูลเฉลี่ยเป็น Mbit ต่อ วินาที (Avg. Mbit/sec) และขนาดโดยเฉลี่ยของข้อมูล (Avg. packet size) ของคอมพิวเตอร์ลูกข่ายทั้ง 5 เครื่องที่ระยะห่าง 10 เมตร ในสถานการณ์จริง

จำนวนเครื่องคอมพิวเตอร์ (เครื่อง)	Avg. Mbit/sec
1	1.068
2	1.067
3	0.812
4	0.929
5	0.873

คือ 0.812 Mbit ต่อวินาที น้อยกว่าปริมาณข้อมูลที่ส่งได้ขณะทดลองกับเครื่องลูกข่ายจำนวน 4 และ 5 เครื่องซึ่งไม่สอดคล้องกับการทดลองในสถานการณ์จำลองทั้งนี้ในสถานการณ์จริงมีการรับส่งข้อมูลอื่น ๆ ผ่านระบบเครือข่ายเดียวกันในช่วงเวลาต่าง ๆ กัน จึงมีความไม่แน่นอนของปริมาณการรับส่งข้อมูลในระบบเครือข่ายได้ ดังนั้นเมื่อมีการรบกวนการรับส่งข้อมูลในระบบเครือข่ายน้อยลงประสิทธิภาพการแสดงผลวิดีโอทัศน์ของเครื่องคอมพิวเตอร์ลูกข่ายทั้ง 5 แสดงผลจบได้ใน 3.190 นาท จึงมีความเป็นไปได้ในการนำไปให้บริการในระบบอีเลิร์นนิ่งของคณะฯ

การรับส่งข้อมูลวิดีโอทัศน์ผ่านระบบเครือข่ายชนิดไร้สายของคณะฯ ที่มีระยะห่างระหว่างเครื่องรับส่งสัญญาณกับเครื่องคอมพิวเตอร์ลูกข่าย 5 เครื่อง ที่ระยะ 10 และ 20 เมตรในสถานการณ์จริง (รูปที่ 2) แสดงให้เห็นความต่างของประสิทธิภาพในการรับส่งข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญ โดยใช้เวลา 3.190 นาทและ 5 นาทตามลำดับซึ่งในกรณีหลังไม่น่าจะให้ความสะดวกในการรับชมได้ในการนำไปให้บริการในระบบอีเลิร์นนิ่งของคณะฯ อย่างไรก็ตามหากสามารถจำกัดขอบเขตการให้บริการเครือข่ายไร้สายเฉพาะบริการข้อมูลอีเลิร์นนิ่งก็อาจสามารถให้บริการ

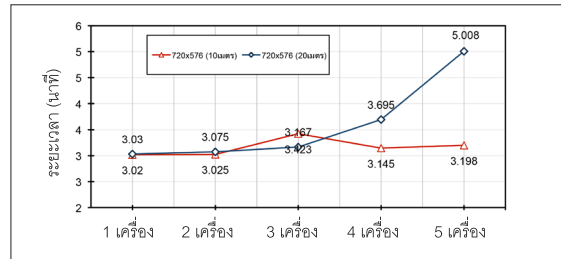


รูปที่ 1. เปรียบเทียบระยะเวลาที่ใช้ในการรับส่งข้อมูลวีดิทัศน์ผ่านระบบเครือข่ายชนิดไร้สายของคณะ ที่มีระยะห่างระหว่างเครื่องรับส่งสัญญาณ (Access Point) กับเครื่องคอมพิวเตอร์ลูกข่าย 10 เมตรในสถานการณ์จำลองและสถานการณ์จริง

แก่เครื่องลูกข่ายได้อย่างน้อย 5 เครื่องขึ้นไปในระหว่างระหว่างเครื่องรับส่งสัญญาณกับเครื่องคอมพิวเตอร์ลูกข่าย 20 เมตร เนื่องจากใช้เวลาแสดงผลวีดิทัศน์เพียง 3.082 นาฬิกา ในสถานการณ์จำลอง

สรุป

ผลการวิจัยชี้ความเป็นไปได้ในการให้บริการสื่อวีดิทัศน์ขนาด 720p ผ่านเครือข่ายไร้สายของคณะ โดยจำกัดระยะห่างระหว่างเครื่องรับส่งสัญญาณกับเครื่องคอมพิวเตอร์ลูกข่ายที่ระยะ 10 เมตร และสามารถส่งข้อมูลไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ลูกข่ายอย่างน้อย 5 เครื่องขึ้นไป และหากใช้เครือข่ายที่จำกัดการบริการสำหรับข้อมูลอื่นใดโดยเฉพาะอาจเพิ่มระยะห่างได้ถึง 20 เมตรซึ่งสามารถนำผลการทดลองนี้ไปขยายผลศึกษาเพื่อให้บริการต่อได้ การพิจารณาติดตั้งเครื่องรับส่งสัญญาณทุก ๆ 10 เมตรรอบบริเวณให้บริการ และแนะนำจุดรับสัญญาณ Wi-Fi เพื่อการเรียนรู้ผ่านวีดิทัศน์ให้ผู้เรียนได้ทราบ จะช่วยให้เครื่องคอมพิวเตอร์ลูกข่ายของผู้เรียนรับข้อมูลวีดิทัศน์ชนิด FLV ขนาด 720p ผ่านเครือข่ายไร้สายได้อย่างมีประสิทธิภาพในการรับชม



รูปที่ 2. เปรียบเทียบระยะเวลาที่ใช้ในการรับส่งข้อมูลวีดิทัศน์ผ่านระบบเครือข่ายชนิดไร้สายของคณะ ที่มีระยะห่างระหว่างเครื่องรับส่งสัญญาณ (Access Point) กับเครื่องคอมพิวเตอร์ลูกข่าย 10 และ 20 เมตรในสถานการณ์จริง

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากทุนพัฒนาการวิจัย คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล บริหารจัดการโดยหน่วยพัฒนางานประจำสู่งานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

1. Giannakos MN. Exploring the video-based learning research: A review of the literature. *British J Educ Technol* 2013;44: E191–E195.
2. Rosenberg MJ. *E-learning: Strategies for Delivering Knowledge in the Digital Age*. Illinois: McGraw Hill; 2001. p.55.
3. AVAYA. Survey Shows Faculty and Student Benefits From Video-Based Learning. Avaya Incorporated. [online] June 2013. Available from: URL: <http://www.avaya.com/usa/about-avaya/newsroom/news-releases/2013/pr-130619a>
4. นพพล เฒ่าสวัสดิ์, พุฒินันท์ แพทย์พิทักษ์, สุทิน โยภบัว, เสกสรรค์ โพธิ์ศรี. การประยุกต์ใช้ระบบบริหารจัดการการเรียนรู้และสื่อการสอนมัลติมีเดียเพื่อพัฒนาอีเลิร์นนิ่งในคณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล. หนังสือบทความงานประชุมวิชาการประจำปี ครั้งที่ 18 สมาคมเวชสารสนเทศไทย; 18-20 พฤศจิกายน 2552; กรุงเทพฯ. 2552. หน้า 73-78.
5. Adobe Systems Incorporated. Video File Format Specification, Version 10. Adobe Systems Incorporated. [online] November 2008. PDF file Available from: URL: http://www.adobe.com/devnet/flv/pdf/video_file_format_spec_v10.pdf. Retrieved 2009-08-03.
6. <http://mpeg.chiariglione.org/> [online] Retrieved 2010-08-08.
7. Takahashi H, Matsuyama A. "An approximate solution for the Steiner problem in graphs," *Math. Japonica*, vol. 6, p. 533–77.