

## ผลกระทบต่อประสิทธิภาพของ MPTCP อันเนื่องมาจากความล่าช้าทางเวลา

### Effect of Delay to Performance of MPTCP

ปราณี แก่นทอง<sup>1</sup> และ ธนัญ จารุวิทยโกวิท

<sup>1</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต

110/1-4 ถนนประชาชื่น หลักสี่ กรุงเทพฯ 10210 โทรศัพท์ 0-2954-7300 ถึง 29 ต่อ 498, 594, 601 E-mail: paraleek@gmail.com

#### บทคัดย่อ

ปัจจุบันความนิยมในการใช้อุปกรณ์สื่อสารเคลื่อนที่ในด้านความบันเทิงต่างๆ เพิ่มขึ้น ซึ่งต้องการความเร็วในการเชื่อมต่อสูง จึงได้มีการพัฒนาโพรโตคอล MPTCP ซึ่งเป็นส่วนเสริมของ TCP ที่ทำให้สามารถรับ-ส่งข้อมูลได้มากกว่า 1 ช่องทาง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเชื่อมต่อข้อมูล งานวิจัยนี้ศึกษาผลกระทบของประสิทธิภาพโดยรวมของ MPTCP เมื่อเส้นทางการรับ-ส่งข้อมูลเส้นทางใดเส้นทางหนึ่งมีประสิทธิภาพการทำงานที่ลดลง ซึ่งผลการจำลองพบว่า เมื่อประสิทธิภาพของเส้นทางนั้นลดลง จะมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพโดยรวมของ MPTCP โดยถ้าเส้นทางนั้นเป็นเส้นทางหลักที่มี Throughput สูงจะกระทบต่อประสิทธิภาพโดยรวม และ Throughput จะลดลงด้วยอัตราเร่งที่มากกว่า

คำสำคัญ: โพรโตคอล MPTCP, สถานีฐาน, อุปกรณ์กระจายสัญญาณ

#### Abstract

Currently, internet access via mobile devices has become the necessary for everyday life and been growing continuously every minute. Moreover, such growth needs fast transmitting data to provide the flow, therefore, protocol MPTCP has been developed as part of TCP for further capability of transferring data more than one pathway. This research studied on the effects to overall efficiency of MPTCP when one of the pathways has decreased its efficiency. Simulation results showed that MPTCP overall performance become less when such decrease happened. That is, if the main pathway has high throughput, it affects overall performance and the throughput will decrease with more acceleration.

Keywords: MPTCP, eNodeB, Access Point

#### 1. บทนำ

ปัจจุบันความนิยมในการใช้อุปกรณ์สื่อสารเคลื่อนที่ในการใช้ประโยชน์ด้านความบันเทิงเพิ่มขึ้น ทำให้ต้องการความเร็วในการเชื่อมต่อที่เพิ่มมากขึ้น แม้ว่าปัจจุบันจะมีรูปแบบการเชื่อมต่อที่หลากหลาย แต่การทำงานของ TCP นั้นยังเชื่อมต่อได้แค่ 1 เส้นทางเท่านั้น ทำให้ทรัพยากรที่มีอยู่ไม่คุ้มค่า จึงได้มีการพัฒนาโพรโตคอล MPTCP ซึ่งเป็นส่วนเสริมของ TCP ขึ้น ซึ่งสามารถรับ-ส่งข้อมูลได้มากกว่า 1 ช่องทาง ทำให้เพิ่มความเร็วและประสิทธิภาพในการเชื่อมต่อข้อมูล เนื่องจากส่งข้อมูลได้พร้อมๆกันหลายเส้นทาง และความต่อเนื่องในการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ปลายทาง

จากการค้นคว้ายังไม่พบงานวิจัยที่คำนึงถึงผลกระทบเมื่อเส้นทางการเชื่อมต่อฝั่ง LTE หรือ WiFi เส้นทางใดเส้นทางหนึ่งของ MPTCP มีประสิทธิภาพการทำงานที่ลดลง ทำให้ไม่ทราบถึงผลกระทบต่อประสิทธิภาพของ MPTCP ในภาพรวม เมื่อประสิทธิภาพการเชื่อมต่อของเส้นทางฝั่งใดฝั่งหนึ่งที่ลดลง

ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะจำลองสถานการณ์การทำงานของโพรโตคอล MPTCP บนโครงข่าย WiFi และ LTE โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ MPTCP เมื่อระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ของผู้ใช้งานกับสถานีฐาน หรืออุปกรณ์กระจายสัญญาณเปลี่ยนแปลงไป บนสมมติฐานว่าผลกระทบต่อประสิทธิภาพรวมของ MPTCP จะมากขึ้น เมื่อเส้นทางการเชื่อมต่อลดลงเป็นเส้นทางที่มี Throughput มากกว่า ในส่วนของเนื้อหาในบทความมีการจัดเรียงดังนี้ ส่วนที่ 2 จะกล่าวถึงงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ส่วนที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย ส่วนที่ 4 ผลการดำเนินการ และส่วนที่ 5 สรุปผลการวิจัย

## 2. งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

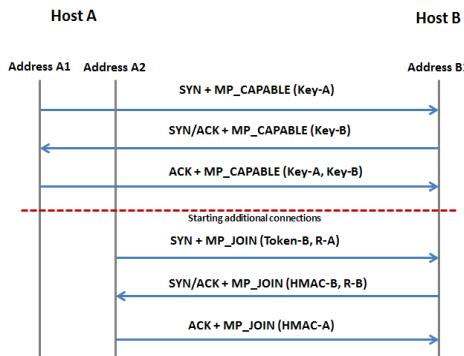
MPTCP [1] เป็นส่วนเสริมของโพรโตคอล TCP โดยจะทำงานอยู่ในส่วน Transport Layer โดยการเชื่อมต่อของ MPTCP จะเริ่มด้วย three-way handshake แอปพลิเคชัน SYN จะถูกส่งไปยังอุปกรณ์ปลายทาง พร้อม MP\_CAPABLE เครื่องปลายทาง จะส่ง MP\_CAPABLE กลับมาพร้อมแอปพลิเคชัน SYN+ACK หลังจากนั้นแอปพลิเคชัน ACK จะถูกส่งกลับไปยังเครื่องปลายทางอีกครั้ง เพื่อยืนยันความพร้อมใช้งานของ MPTCP เมื่อต้องการสร้างเส้นทางเพิ่ม จะใช้วิธีการทำ three-way handshake เช่นเดิม เพียงแต่

## บทความวิจัย

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 10

Proceedings of the 10<sup>th</sup> Conference of Electrical Engineering Network 2018 (EENET 2018)

เปลี่ยนค่าจาก MP\_CAPABLE ใน TCP option เป็น MP\_JOIN ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขั้นตอนการสร้างการเชื่อมต่อระหว่าง ของ MPTCP [5]

## 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัย [2] พบว่า MPTCP จะมี average goodput ดีกว่า TCP อย่างเห็นได้ชัด ที่ขนาด Buffer size 200KB ขึ้นไป ในส่วนของงานวิจัย [3] มีการวิจัยว่าขนาดข้อมูลแบบใด ควรเลือกใช้ MPTCP จากงานวิจัยสรุปว่า MPTCP จะทำงานได้ดีกว่า TCP อย่างชัดเจนเมื่อขนาดข้อมูลยาว เป็นการทดสอบจริงซึ่งมีการลงทุนสูง และงานวิจัย [4] ทดสอบประสิทธิภาพของ Throughput โดยทดลองการทำงานจริงภายในและภายนอกอาคาร ภายใต้ตัวแปรที่แตกต่างกัน ของ MPTCP, WiFi และ LTE แต่ไม่ได้คำนึงถึงประสิทธิภาพด้านความล่าช้าทางเวลา (Delay) และความแปรปรวนของความล่าช้าทางเวลา (Jitter)

จากการค้นคว้าของผู้วิจัยยังไม่มีงานวิจัยใด ที่คำนึงถึงผลกระทบต่อประสิทธิภาพรวมของ MPTCP เมื่อเส้นทางใดเส้นทางหนึ่งของ MPTCP มีประสิทธิภาพการทำงานที่ลดลง

## 3. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

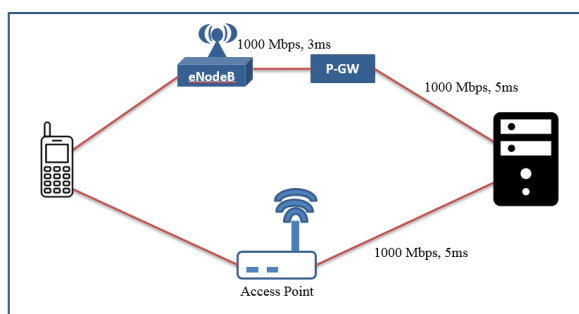
### 3.1 โครงข่ายงานวิจัย

โครงข่ายที่ใช้ในการทดสอบในงานวิจัย ประกอบไปด้วย 2 โครงข่าย ได้แก่ โครงข่าย LTE และโครงข่าย WiFi โดยการ Download ข้อมูลจากเครื่องแม่ข่าย ผ่าน โพรโตคอล MPTCP และมีการเปลี่ยนแปลงระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ของผู้ใช้ กับสถานีฐาน (eNodeB) หรือ อุปกรณ์กระจายสัญญาณ (Access Point: AP) และเลือกใช้วิธีการควบคุมการคับคั่งของข้อมูลในรูปแบบ CUBIC โดยทำการจำลองด้วยโปรแกรม NS3

โครงข่าย WiFi มีการใช้งาน AP ชนิด 802.11AC Wave 1 แบบ SISO มีค่าความกว้างช่องสัญญาณ (Bandwidth) 80 MHz การเชื่อมต่อ ระหว่าง UE และ AP มีค่า Modulation and Coding Scheme

(MCS) ระหว่าง 0 - 9 ตามระยะห่างระหว่าง UE กับ AP การเชื่อมต่อระหว่าง AP ถึง อุปกรณ์แม่ข่าย มีขนาดการเชื่อมต่อ 1 Gbps ค่าความล่าช้าทางเวลา 5 ms

โครงข่าย LTE เป็นแบบ SISO กำหนด Bandwidth ให้มีค่า 20MHz และมีวิธีการเลือกและค้นหาของสัญญาณที่ดีที่สุดให้กับการเชื่อมต่อ โดยคำนวณจาก Channel Quality Indicator (CQI) มีค่าระหว่าง 0 - 15 และ Modulation and Coding Scheme (MCS) มีค่าระหว่าง 0 - 28 ในส่วนการเชื่อมต่อจาก eNodeB ถึง P-GW มีขนาด 1 Gbps ค่าความล่าช้าทางเวลา 3 ms และระยะจาก P-GW ถึง อุปกรณ์ปลายทาง (Server) มีขนาด 1 Gbps ค่าความล่าช้าทางเวลา 5 ms ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 โครงข่าย LTE/WiFi ที่ใช้ในการวิจัย

## 3.2 การทดสอบการทำงาน

1. โครงข่าย LTE จะประกอบไปด้วยโทรศัพท์เคลื่อนที่ของผู้ใช้งาน (User Equipment – UE) เชื่อมต่อกับสถานีฐาน (eNodeB) และ P-GW ของโครงข่ายผู้ให้บริการ โดย UE สามารถเชื่อมต่อและรับ-ส่งข้อมูลผ่านโครงข่าย LTE ไปยังอุปกรณ์ปลายทาง ดังแสดงในรูปที่ 2

2. โครงข่าย WiFi จะประกอบไปด้วยอุปกรณ์กระจายสัญญาณ (Access Point – AP) เชื่อมต่อกับ UE โดย UE สามารถเชื่อมต่อผ่านโครงข่าย WiFi เพื่อรับ-ส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์ปลายทาง ดังแสดงในรูปที่ 2

## 4. ผลการดำเนินการ

การทดสอบแบ่งออกเป็น 2 กรณีคือ 1. ทดสอบการส่งข้อมูลด้วย MPTCP เมื่อประสิทธิภาพ WiFi ลดลง 2. ทดสอบการส่งข้อมูลด้วย MPTCP เมื่อประสิทธิภาพ LTE ลดลง โดยทำให้ระยะห่างเพิ่มมากขึ้น ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 1 และ 2

### 4.1 กรณี 1 ระยะห่างระหว่าง UE และ AP เพิ่มขึ้น ในขณะที่ระยะห่างระหว่าง UE และ eNodeB คงที่

## บทความวิจัย

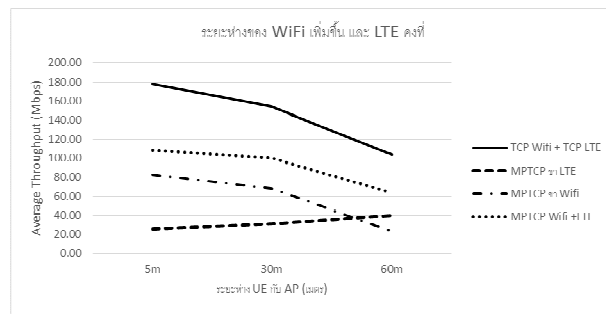
การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 10

Proceedings of the 10<sup>th</sup> Conference of Electrical Engineering Network 2018 (EENET 2018)

ตารางที่ 1 Throughput ที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบระหว่าง TCP และ MPTCP เมื่อระยะห่าง WiFi เพิ่ม

ระยะห่างจาก UE (เมตร)	TCP LTE + WiFi Throughput (Mbps)	MPTCP LTE Throughput (Mbps)	MPTCP WiFi Throughput (Mbps)	MPTCP Throughput (Mbps)	% เทียบกับ TCP (LTE+WiFi)
LTE 500 AP 5	178.02	25.75	82.32	108.07	60.70
LTE 500 AP 30	153.97	31.49	68.35	99.84	64.84
LTE 500 AP 60	103.84	40.28	23.32	63.60	61.24

จากตารางที่ 1 พบว่าเมื่อระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ผู้ใช้งานเพิ่มขึ้น ค่า Throughput ของขา WiFi ลดลง แต่ขา LTE Throughput รวมจะลดลงและที่ระยะห่าง 60 เมตร ค่า Throughput ของ LTE จะมากกว่า WiFi และส่งผลทำให้ประสิทธิภาพรวมของ MPTCP ลดลงอย่างรวดเร็ว โดย Throughput ของ MPTCP เมื่อเทียบกับผลรวมของ TCP LTE และ TCP WiFi จะอยู่ที่ประมาณ 60% ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 Throughput เฉลี่ย ของ MPTCP เมื่อระยะห่าง AP เพิ่มขึ้น เทียบกับ Throughput เฉลี่ย ของ TCP รวม

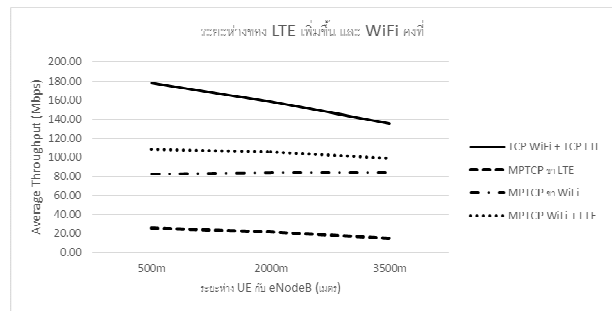
## 4.2 กรณี 2 ระยะห่างระหว่าง UE และ eNodeB เพิ่มขึ้น ในขณะที่ระยะห่างระหว่าง UE และ AP คงที่

ตารางที่ 2 Throughput ที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบระหว่าง TCP และ MPTCP เมื่อระยะห่าง LTE เพิ่ม

ระยะห่างจาก UE (เมตร)	TCP LTE + WiFi Throughput (Mbps)	MPTCP LTE Throughput (Mbps)	MPTCP WiFi Throughput (Mbps)	MPTCP Throughput (Mbps)	% เทียบกับ TCP (LTE+WiFi)
LTE 500 AP 5	178.02	25.75	82.32	108.07	60.70
LTE 2000 AP 5	158.13	21.46	83.77	105.23	66.55

LTE 3500 AP 5	135.61	14.65	84.03	98.67	72.77
---------------	--------	-------	-------	-------	-------

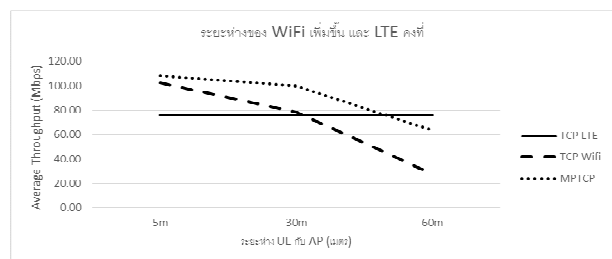
จากตารางที่ 2 พบว่า เมื่อระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ผู้ใช้งานเพิ่มขึ้น ค่า Throughput ของขา LTE ลดลง แต่ขา WiFi เพิ่มขึ้น Throughput รวมจะลดลงแปรผันตาม Throughput ของ MPTCP ขา WiFi โดย % Throughput ของ MPTCP เมื่อเทียบกับผลรวมของ TCP LTE และ TCP WiFi จะเพิ่มขึ้นตาม Throughput ของขา WiFi ที่เพิ่มมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 Throughput เฉลี่ย ของ MPTCP เมื่อระยะห่าง eNodeB เพิ่มขึ้น เทียบกับ Throughput เฉลี่ย ของ TCP รวม

เมื่อนำผลการทดลองของทั้ง 2 กรณีมาวิเคราะห์ พบว่า ประสิทธิภาพโดยรวมของ MPTCP จะสัมพันธ์กับเส้นทางที่มี Throughput มากกว่า และเส้นทางที่ประสิทธิภาพดีกว่าจะมี Throughput เพิ่มขึ้น ในขณะที่เส้นทางที่แย่กว่าจะมี Throughput ลดลง

นอกจากนี้ยังได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพรวมของ MPTCP กับ TCP ปกติ (ไม่มี MPTCP) ของทั้ง WiFi และ LTE พบว่าเมื่อประสิทธิภาพขาใดขาหนึ่งแยกลงจนถึงจุดหนึ่ง ประสิทธิภาพโดยรวมของ MPTCP จะน้อยกว่าการเชื่อมต่อด้วย TCP ปกติ ดังแสดงในรูปที่ 5 และ 6 รวมถึงค่าความล่าช้า Delay, Jitter และเวลาทั้งหมดที่ใช้ ดังแสดงในตารางที่ 3 และ 4 จะเห็นว่า ค่า Delay, Jitter และเวลาที่ใช้ในการ Download ข้อมูลเพิ่มขึ้นเมื่อระยะห่างเพิ่มขึ้น ในขณะที่ Throughput รวมลดลง

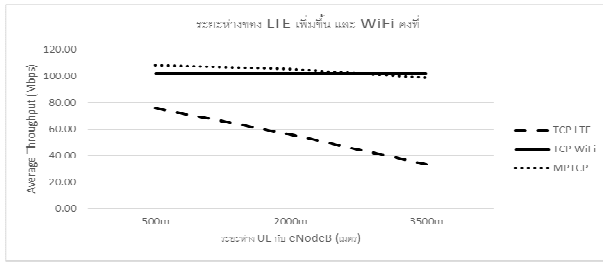


รูปที่ 5 Throughput MPTCP กับ TCP เมื่อระยะห่าง AP เพิ่ม

## บทความวิจัย

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 10

Proceedings of the 10<sup>th</sup> Conference of Electrical Engineering Network 2018 (EENET 2018)



รูปที่ 6 Throughput MPTCP กับ TCP เมื่อระยะห่าง eNodeB เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 3 ผลการจำลองกรณีระยะห่างจาก AP เพิ่มขึ้น

ระยะห่างจาก UE (เมตร)	ระยะห่างจาก UE (เมตร)	Throughput (Mbps)	Average Delay (ms)	Average Jitter (ms)	เวลาที่ใช้งาน (Second)
LTE 500	AP 5	108.07	0.253592	0.478313	18.371
LTE 500	AP 30	99.84	0.258802	0.479614	19.907
LTE 500	AP 60	63.60	0.441674	0.843023	31.316

ตารางที่ 4 ผลการจำลองกรณีระยะห่างจาก eNodeB เพิ่มขึ้น

ระยะห่างจาก UE (เมตร)	ระยะห่างจาก UE (เมตร)	Throughput (Mbps)	Average Delay (ms)	Average Jitter (ms)	เวลาที่ใช้งาน (Second)
LTE 500	AP 5	108.07	0.253592	0.478313	18.371
LTE 2000	AP 5	105.23	0.747334	1.434195	18.884
LTE 3500	AP 5	98.67	1.005004	1.896831	20.182

## 5. สรุป

งานวิจัยนี้จำลองการทำงานของ โพรโตคอล MPTCP ผลการศึกษาพบว่าเมื่อประสิทธิภาพของเส้นทางนั้นแย่ลง ด้วยการเพิ่มระยะห่าง จะมีผลต่อประสิทธิภาพโดยรวมของ MPTCP ค่า Delay, Jitter และเวลาที่ใช้ในการ Download ข้อมูลก็จะเพิ่มขึ้น Throughput โดยรวมลดลง อีกทั้งถ้าเส้นทางนั้นเป็นเส้นทางหลักที่มี Throughput สูง จะกระทบต่อประสิทธิภาพโดยรวมของ MPTCP มากกว่า ตามที่ได้ตั้งสมมติฐานไว้ข้างต้น และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับ TCP ปกติ (ไม่มี MPTCP) พบว่าเมื่อประสิทธิภาพขาใดขาหนึ่งของ MPTCP แย่ลงจนถึงจุดหนึ่ง ประสิทธิภาพโดยรวมของ MPTCP จะน้อยกว่า TCP ปกติ

นำไปสู่การพัฒนาวิธีการเลือกการเชื่อมต่อระหว่าง MPTCP และ TCP ปกติ ให้เหมาะสมและได้รับประสิทธิภาพที่ดีที่สุดไป

## เอกสารอ้างอิง

- [1] "RFC 6824 – TCP Extensions for Multipath Operation with Multiple Addresses", Tools.ietf.org, 2018. [Online]. Available: <https://tools.ietf.org/html/rfc6824>. [Accessed: 01- Feb- 2018].
- [2] Costin Raiciu, Christoph Paasch, Sebastien Barre, Alan Ford, Michio Honda, Fabien Duchene, Olivier Bonaventure and Mark Handley, "How Hard Can It Be? Designing and Implementing a Deployable Multipath TCP," in Universitatea Politehnica Bucuresti, Universite Catholique de Louvain, Keio University, University College London., 2012.
- [3] Shuo Deng, Ravi Netravali, Anirudh Sivaraman, Hari Balakrishnan. "WiFi, LTE, or Both? Measuring Multi-Homed Wireless Internet Performance," MIT Computer Science and Artificial Intelligence Lab Cambridge, Massachusetts, U.S.A., 2014.
- [4] Christoph Paasch, Gregory Detal, Fabien Duchene, Costin Raiciu, Olivier Bonaventure, "Exploring Mobile/WiFi Handover with Multipath TCP," Universite catholique de Louvain, University Politehnica of Bucharest, 2012.
- [5] T.Support, I. Protocols and T. TechNotes, "MPTCP and Product Support Overview", Cisco, 2018. [Online]. Available: <https://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/ip/transmission-control-protocol-tcp/116519-technote-mptcp-00.html>. [Accessed: 1- Feb- 2018].



นางสาวปราณี แก่นทอง

ตำแหน่ง: นักคอมพิวเตอร์

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

การศึกษา: กำลังศึกษาปริญญาโทวิศวกรรมคอมพิวเตอร์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต

งานวิจัยที่สนใจ: 5th generation mobile, MPTCP Congestion Algorithm