

ใบงานปฏิบัติการที่ 2 สื่อนำสัญญาณและการเข้าหัวสาย UTP

รายการ	รายละเอียด
รายวิชา	RBE2003 โครงข่ายคอมพิวเตอร์ (Computer Network)
สัปดาห์ที่	2
หัวข้อบรรยายที่เกี่ยวข้อง	ชั้นกายภาพ สัญญาณ แบนด์วิดท์ อัตราบิต สื่อนำสัญญาณแบบสาย/ใยแก้ว/ไร้สาย มาตรฐาน T568A/B การเข้ารหัสสัญญาณเบื้องต้น
เวลาปฏิบัติการ	2 ชั่วโมง
ผู้สอน	อาจารย์ ดร.อภิรักษ์ อธิติภูมิ
ชื่อ-รหัสนักศึกษา	
กลุ่มที่	 วันที่ปฏิบัติการ / /

1. วัตถุประสงค์

เมื่อทำใบงานนี้เสร็จ นักเรียนจะสามารถ

1. จำแนกชนิดของสื่อนำสัญญาณที่พบในห้องปฏิบัติการ (UTP, STP, ใยแก้วนำแสง, ไร้สาย) และอ่านข้อมูลบนปลอกสายเพื่อระบุประเภท (category) และอัตราบิตสูงสุดที่รองรับได้
2. เข้าหัวสาย UTP แบบสายตรง (straight-through) ตามมาตรฐาน T568B และแบบสายไขว้ (crossover) ตามมาตรฐาน T568A-T568B ได้ถูกต้องและผ่านการทดสอบด้วย cable tester
3. ตั้งค่าที่อยู่ IP แบบกำหนดเองบนคอมพิวเตอร์ 2 เครื่อง แล้วทดสอบการเชื่อมต่อผ่านสายที่เข้าหัวเองด้วยคำสั่ง ping ได้
4. วัดอัตราส่งข้อมูลจริง (throughput) ด้วย iperf3 และอธิบายได้ว่าเหตุใดค่าที่วัดได้จึงต่างจากอัตราบิตที่ระบุบนสายหรือบนอุปกรณ์

2. ความรู้พื้นฐานที่เกี่ยวข้อง

2.1 สัญญาณ แบนด์วิดท์ อัตราบิต และ throughput ต่างกันอย่างไร

ชั้นกายภาพ (physical layer) มีหน้าที่เดียวแต่สำคัญที่สุด คือแปลงบิต 0 และ 1 ให้กลายเป็น สัญญาณ (signal) ที่เดินทางผ่านสื่อได้จริง ไม่ว่าจะเป็นแรงดันไฟฟ้าในสายทองแดง พัลส์แสงในใยแก้ว หรือคลื่นวิทยุในอากาศ คำถามแรกที่ต้องตอบให้ได้คือ ตัวเลข “1 Gbps” ที่เขียนบนกล่องสายหรือบนสวิตช์นั้นหมายถึงอะไรกันแน่ เพราะในทางปฏิบัติมีตัวเลขอย่างน้อย 3 ตัวที่มักถูกใช้สับสนกัน

คำศัพท์	ความหมาย	หน่วย	ใครเป็นผู้กำหนด
แบนด์วิดท์	ช่วงความถี่ที่สื่อนำสัญญาณส่งผ่าน	Hz (เช่น Cat6 รองรับ	คุณสมบัติทางกายภาพของ

คำศัพท์	ความหมาย	หน่วย	ใครเป็นผู้กำหนด
(bandwidth)	ได้โดยไม่ผิดเพี้ยนเกินเกณฑ์	250 MHz)	สาย
อัตราบิต (bit rate)	จำนวนบิตที่ส่งได้ต่อวินาทีตามที่มาตรฐานกำหนด	bit/s (เช่น 1000BASE-T = 1 Gbps)	มาตรฐาน IEEE 802.3 ร่วมกับวิธีเข้ารหัส
throughput	จำนวนบิตของ ข้อมูลผู้ใช้ ที่ส่งถึงปลายทางได้จริงต่อวินาที	bit/s (วัดได้ด้วย iperf3)	สภาพจริงของสาย อุปกรณ์ โปรโตคอล และโหลด

ลองสังเกตว่าแบนด์วิดท์ที่มีหน่วยเป็น Hz ไม่ใช่ bit/s ตัวที่เชื่อมสองอย่างนี้เข้าด้วยกันคือ **การเข้ารหัสสัญญาณ** (line coding) ตัวอย่างเช่น 1000BASE-T ใช้แบนด์วิดท์เพียง 62.5 MHz ต่อคู่สาย แต่ส่งได้ 1 Gbps เพราะใช้สายพร้อมกันทั้ง 4 คู่ และแต่ละคู่ส่งสัญญาณ 5 ระดับแรงดัน (PAM-5) ทำให้แต่ละสัญลักษณ์แทนได้มากกว่า 1 บิต ส่วน throughput จะน้อยกว่าอัตราบิตเสมอ เพราะต้องหักส่วนหัวของทุกชั้น (Ethernet, IP, TCP) ช่องว่างระหว่างเฟรม และการรอ acknowledgement ในตอนที่ 4 นักศึกษาจะวัดค่านี้เองและเห็นว่าสายที่เข้าหัวไม่ดีทำให้ throughput ตกลงมากแค่ไหน

ในงานหุ่นยนต์ ตัวเลขที่วิศวกรต้องสนใจคือ throughput และความหน่วง ไม่ใช่ตัวเลขบนกล่อง กล่องความละเอียดสูงบนแขนหุ่นยนต์ตัวหนึ่งอาจต้องการข้อมูล 300 Mbps อย่างต่อเนื่อง หากเดินสายด้วย Cat5e ยาว 90 m ผ่านห้องที่มีมอเตอร์ขนาดใหญ่ สัญญาณรบกวนอาจทำให้เฟรมเสียหายจนต้องส่งซ้ำ และ throughput จริงตกลงจนภาพกระตุก ทั้งที่สายบอกว่ารองรับ 1 Gbps

2.2 สายทองแดงคู่บิดเกลียว UTP และ STP

สาย UTP (Unshielded Twisted Pair) ประกอบด้วยลวดทองแดง 8 เส้น จับเป็น 4 คู่ แต่ละคู่บิดเกลียวเข้าหากัน การบิดเกลียวไม่ใช่เรื่องความสวยงาม แต่เป็นหัวใจของการป้องกันสัญญาณรบกวน เพราะสัญญาณในแต่ละคู่ถูกส่งแบบ **ผลต่าง** (differential signaling) คือเส้นหนึ่งส่ง +V อีกเส้นส่ง -V เมื่อสัญญาณรบกวนจากภายนอกเข้ามา มันจะกระทบทั้งสองเส้นเกือบเท่ากัน ฝั่งรับที่ดูเฉพาะผลต่างจึงตัดสัญญาณรบกวนออกไปได้เอง ยิ่งบิดถี่ ยิ่งกันสัญญาณรบกวนและ crosstalk ระหว่างคู่ได้ดี นี่คือเหตุผลที่สาย Cat6 บิดถี่กว่า Cat5e และมักมีแกนพลาสติกกรุบกางเซนคั่นกลางระหว่างคู่

ประเภท	แบนด์วิดท์	อัตราบิตสูงสุด (ระยะ 100 m)	ลักษณะที่สังเกตได้	การใช้งานที่เหมาะสม
Cat5e	100 MHz	1 Gbps (1000BASE-T)	สายบาง ไม่มีแกนคั่น	เครือข่ายสำนักงานทั่วไป ห้องปฏิบัติการ
Cat6	250 MHz	1 Gbps ที่ 100 m, 10 Gbps ที่ 55 m	หนาขึ้น มีแกนคั่นรูปกางเซน	อาคารใหม่ เซลล์หุ่นยนต์ที่มีกล่อง
Cat6A	500	10 Gbps ที่ 100 m	หนากว่ามาก บิดถี่ บางรุ่นมี	ห้องเซิร์ฟเวอร์ สายหลักของ

ประเภท	แบนด์วิธ	อัตราบิตสูงสุด (ระยะ 100 m)	ลักษณะที่สังเกตได้	การใช้งานที่เหมาะสม
	MHz		พอยล์	โรงงาน
STP / FTP	ตาม category	ตาม category	มีพอยล์หรือตะแกรงโลหะหุ้ม ปลายมีสายดิน	ใกล้มอเตอร์ อินเวอร์เตอร์ เครื่องเชื่อม

สาย STP (Shielded Twisted Pair) เพิ่มชั้นโลหะหุ้มเพื่อกันสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (EMI) ที่รุนแรงกว่าที่การบิดเกลียวจะรับได้ แต่มีข้อควรจำที่มักถูกลืม คือชั้นโลหะต้อง **ต่อลงดินที่ปลายด้านเดียว** ผ่านหัว RJ45 แบบมีโลหะ หากไม่ต่อดินเลย ชั้นโลหะจะกลายเป็นเสาอากาศรับสัญญาณรบกวนเข้ามาแทน ในโรงงานหุ่นยนต์ที่มีอินเวอร์เตอร์ขับเคลื่อนขนาดใหญ่ สาย STP ที่เข้าหัวและต่อดินถูกต้องมักเป็นทางเลือกที่ปลอดภัยกว่า

ระยะสูงสุดของสายทองแดงตามมาตรฐาน ANSI/TIA-568 คือ 100 m (permanent link 90 m + patch cord รวม 10 m) ไม่ว่าจะเป็น category ใด ถ้ายาวกว่านั้นสัญญาณจะอ่อนลง (attenuation) จนฝั่งรับแยก 0 กับ 1 ไม่ออก ต้องเปลี่ยนไปใช้ใยแก้วนำแสงหรือใส่สวิตช์คั่นกลาง

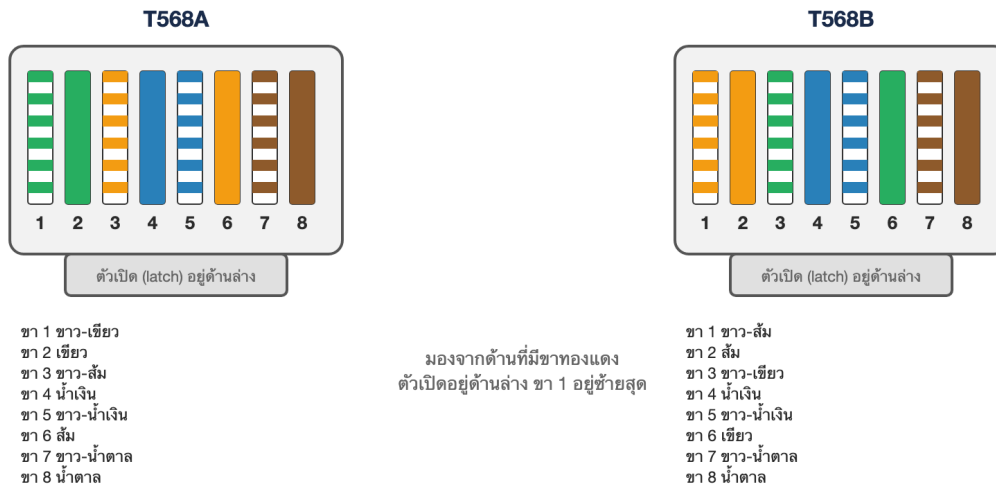
2.3 ใยแก้วนำแสงและสื่อไร้สาย

ใยแก้วนำแสง (optical fiber) ส่งข้อมูลด้วยพัลส์แสง จึงไม่ถูกรบกวนด้วยสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเลย และไปได้ไกลระดับกิโลเมตร แบ่งเป็น 2 ชนิดหลัก **Single-mode fiber (SMF)** แกนเล็กเพียง 9 μm ใช้เลเซอร์ ส่งได้ไกล 10–80 km ปลอกสายมักเป็นสีเหลือง และ **Multi-mode fiber (MMF)** แกนใหญ่ 50 μm ใช้ LED หรือ VCSEL ราคาถูกกว่า แต่ไปได้เพียง 300–550 m ที่ 10 Gbps ปลอกสายมักเป็นสีส้ม (OM1/OM2) หรือสีฟ้าอมเขียว (OM3/OM4) หัวต่อที่พบบ่อยคือ LC (เล็ก ใช้กับโมดูล SFP) และ SC (ใหญ่กว่า พบในตู้ชุมสาย) ในโรงงานมักใช้ใยแก้วเป็นสายหลักระหว่างอาคารหรือระหว่างตู้ควบคุมที่อยู่คนละโซน แล้วแปลงเป็นทองแดงที่สวิตช์ปลายทางเพื่อต่อเข้าหุ่นยนต์

สื่อไร้สาย (wireless) ใช้คลื่นวิทยุ ข้อดีคือหุ่นยนต์เคลื่อนที่ได้อิสระ แต่ต้องยอมรับว่าอัตราบิตที่ระบุ (เช่น Wi-Fi 6 สูงสุด 9.6 Gbps) เป็นค่าทางทฤษฎีที่แบ่งกันใช้กับทุกอุปกรณ์ในช่องสัญญาณเดียวกัน และแปรผันตามระยะ สิ่งกีดขวาง และสัญญาณรบกวน throughput จริงที่วัดได้มักเหลือ 20–40% ของตัวเลขที่โฆษณา ในตอนที่ 4 นักศึกษาจะได้เปรียบเทียบตัวเลขนี้กับสายทองแดงด้วยตนเอง รายละเอียดของ Wi-Fi จะเรียนในสัปดาห์ที่ 11

2.4 มาตรฐาน T568A/T568B สายตรง สายไขว้ และ Auto-MDIX

หัวต่อ RJ45 (ชื่อทางการคือ 8P8C) มี 8 ขา มาตรฐาน ANSI/TIA-568 กำหนดลำดับสีของลวดที่ต้องเข้าในแต่ละขาไว้ 2 แบบ คือ T568A และ T568B ดังรูปที่ 2.1 ทั้งสองแบบใช้งานได้เท่ากัน ต่างกันเพียงสลับตำแหน่งคู่สีเขียวกับคู่สีส้ม ในประเทศไทยและอุปกรณ์ส่วนใหญ่นิยม T568B ข้อสำคัญคือ **ทั้งสองปลายของสายเส้นเดียวกันต้องใช้มาตรฐานเดียวกัน** จึงจะได้สายตรง



ต่างกันเฉพาะคู่สีเขียวกับส้ม (ขา 1,2 ↔ 3,6)

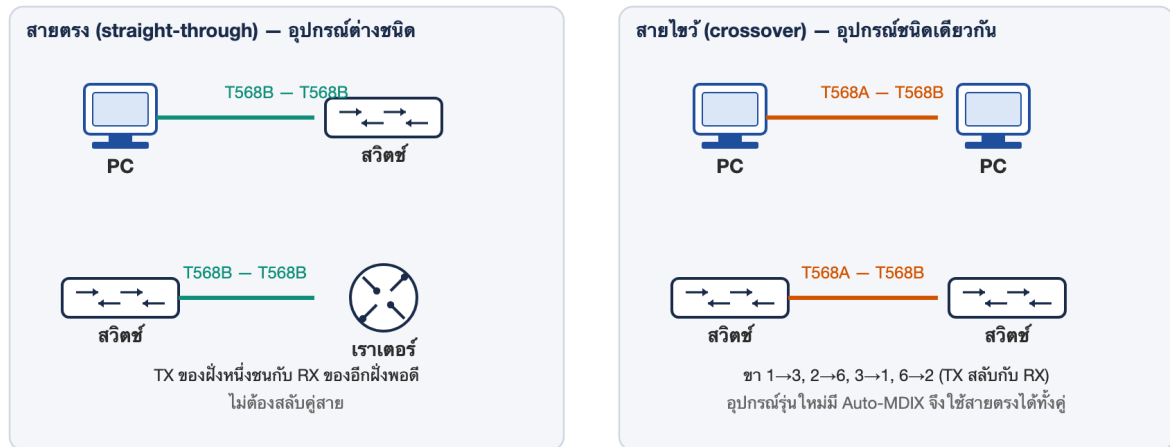
สายตรง = ปลายทั้งสองข้างใช้มาตรฐานเดียวกัน

สายไขว้ = ข้างหนึ่ง T568A อีกข้าง T568B

รูปที่ 2.1 ลำดับสีสายมาตรฐาน T568A และ T568B ที่หัว RJ45 (มองจากด้านหน้าตัวเปิดขึ้น)

ขา	T568A	T568B	หน้าที่ใน 10/100BASE-T	หน้าที่ใน 1000BASE-T
1	ขาว-เขียว	ขาว-ส้ม	TX+	BI_DA+
2	เขียว	ส้ม	TX-	BI_DA-
3	ขาว-ส้ม	ขาว-เขียว	RX+	BI_DB+
4	น้ำเงิน	น้ำเงิน	ไม่ใช่	BI_DC+
5	ขาว-น้ำเงิน	ขาว-น้ำเงิน	ไม่ใช่	BI_DC-
6	ส้ม	เขียว	RX-	BI_DB-
7	ขาว-น้ำตาล	ขาว-น้ำตาล	ไม่ใช่	BI_DD+
8	น้ำตาล	น้ำตาล	ไม่ใช่	BI_DD-

ลองสังเกตคอลัมน์ 10/100BASE-T ขา 1-2 ใช้ส่ง (TX) และขา 3-6 ใ้รับ (RX) เมื่อต่อ PC เข้ากับสวิตช์ สวิตช์ถูกออกแบบให้ขา 1-2 เป็นฝั่งรับ จึงต่อกันด้วย **สายตรง** (straight-through) ได้พอดี แต่ถ้าต่อ PC กับ PC โดยตรง ทั้งสองเครื่องจะส่งออกขา 1-2 พร้อมกันและไม่มีใครฟังที่ขา 3-6 จึงต้องใช้ **สายไขว้** (crossover) ที่ ปลายหนึ่งเป็น T568A อีกปลายเป็น T568B เพื่อสลับคู่ส่งไปเข้าคู่รับ ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การใช้สายตรงและสายไขว้ระหว่างอุปกรณ์ชนิดต่างกันและชนิดเดียวกัน

กติกาง่าย ๆ คือ อุปกรณ์ **ต่างชนิด** (PC-สวิตช์, เราเตอร์-สวิตช์) ใช้สายตรง อุปกรณ์ **ชนิดเดียวกัน** (PC-PC, สวิตช์-สวิตช์, เราเตอร์-PC ซึ่งถือเป็นชนิดเดียวกันเพราะพอร์ตออกแบบเหมือนกัน) ใช้สายไขว้ แล้วทำไมทุกวันนี้เราเสียบสายอะไรก็ได้ คำตอบคือ **Auto-MDIX** ความสามารถในการดัดเครือข่ายรุ่นใหม่ที่เราจับได้เองว่าปลายอีกด้านส่งมาที่คู่ใด แล้วสลับคู่รับ-ส่งภายในชิปให้อัตโนมัติ อุปกรณ์ที่รองรับ 1000BASE-T ทุกตัวต้องมี Auto-MDIX ตามมาตรฐาน อย่างไรก็ตาม ตัวควบคุมหุ่นยนต์อุตสาหกรรมและ PLC รุ่นเก่าหลายรุ่นยังมีพอร์ต 100 Mbps ที่ไม่มี Auto-MDIX วิศวกรหุ่นยนต์จึงยังต้องรู้จักสายไขว้และพกไว้ในกล่องเครื่องมือเสมอ

3. เครื่องมือและอุปกรณ์ (ต่อกลุ่ม 2 คน)

รายการ	จำนวน	หมายเหตุ
สาย UTP Cat5e หรือ Cat6	2.5 m	ตัดเป็น 2 เส้น เส้นละประมาณ 1.2 m
หัวต่อ RJ45 (8P8C)	6 ตัว	เพื่อเสียได้ 2 ตัว เลือกชนิดให้ตรงกับสาย (solid/stranded)
ปลอกหุ้มหัว (boot)	4 ตัว	ใส่ก่อนเข้าหัว
คีมเข้าหัว RJ45 (crimping tool)	1 ตัว	ชนิดมีใบตัดและใบปอกในตัว
คีมปอกสาย / มีดคัตเตอร์	1 ตัว	ใช้ปอกปลอกนอกเท่านั้น
Cable tester แบบ LED 8 ช่อง	1 ชุด	ตัวหลัก (master) และตัวลูก (remote)
ตัวอย่างสายและอุปกรณ์สำหรับสำรวจ	1 ชุดต่อห้อง	สาย Cat5e, Cat6, Cat6A, STP, ไยแก้ว SMF/MMF, โมดูล SFP, สายสำเร็จรูป 1 m
คอมพิวเตอร์ที่มีพอร์ต Ethernet	2 เครื่อง	ใช้เครื่องของกลุ่มเราและกลุ่มข้างเคียง
iperf3	ติดตั้งทั้ง 2 เครื่อง	ดาวน์โหลดจาก https://iperf.fr หรือ <code>sudo apt</code>

รายการ	จำนวน	หมายเหตุ
		install iperf3
Access point ห้องปฏิบัติการ	1 ชุดต่อห้อง	สำหรับเปรียบเทียบ Wi-Fi ในตอนที่ 4

4. ข้อควรระวัง

- ใบตัดของคีมเข้าหัวและคัตเตอร์มีความคม ตัดสายให้ปลายชี้ออกจากหัวและจากเพื่อนร่วมกลุ่มเสมอ เก็บเศษลวดทองแดงและเศษพลาสติกลงถังขยะทันที
- ห้ามมองเข้าไปในปลายสายใยแก้วนำแสงหรือช่องโมดูล SFP โดยตรง แสงเลเซอร์อินฟราเรดมองไม่เห็นแต่ทำลายจอประสาทตาได้ สายตัวอย่างในห้องปฏิบัติการไม่ได้ต่อกับแหล่งกำเนิดแสง แต่ให้ปฏิบัติเป็นนิสัยไว้ตั้งแต่ตอนนี้
- การเข้าหัว 1 ครั้งใช้หัว RJ45 1 ตัวและไม่สามารถถอดออกมาใช้ซ้ำได้ ตรวจสอบลำดับสีให้ครบ 8 เส้นก่อนบีบคีมทุกครั้ง
- การตั้งค่า IP แบบกำหนดเองในตอนที่ 3 ต้องทำเมื่อถอดสายออกจากเครือข่ายห้องปฏิบัติการแล้วเท่านั้น และเมื่อจบใบงานให้ตั้งกลับเป็นรับ IP อัตโนมัติ (DHCP) มิฉะนั้นเครื่องจะใช้อินเทอร์เน็ตไม่ได้ในสัปดาห์ถัดไป
- iperf3 สร้างการจราจรจนเต็มความจุของลิงก์ ให้รันเฉพาะระหว่างเครื่องของกลุ่มตนเองผ่านสายที่ต่อตรงหรือผ่าน access point ของห้องปฏิบัติการที่ผู้สอนกำหนดเท่านั้น ห้ามรันไปยังเซิร์ฟเวอร์ภายนอก

5. ขั้นตอนการปฏิบัติ

ตอนที่ 1 สำรวจสายและอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการ (15 นาที)

1. หยิบตัวอย่างสายและอุปกรณ์จากชุดสำรวจ อ่านตัวอักษรที่พิมพ์บนปลอกสาย โดยทั่วไปจะพบข้อความประเภท CAT6 UTP 23AWG 4PR 250MHz หรือ CAT5E F/UTP และตัวเลขความยาวเป็นเมตรหรือฟุตทุกช่วง 60 cm
 2. ตัดปลายสายแต่ละชนิดดูหน้าตัด สังเกตจำนวนคู่ การมีหรือไม่มีแกนคั่น ฟอยล์โลหะ และเส้นลวดดิน (drain wire)
 3. สำหรับใยแก้ว สังเกตสีปลอกและชนิดหัวต่อ อ่านข้อความ 9/125 (SMF) หรือ 50/125 (MMF) บนปลอก
 4. บันทึกผลลงตารางที่ 2.1 อย่างน้อย 5 รายการ
- ตารางที่ 2.1 สายและอุปกรณ์ที่สำรวจได้

รายการ	ข้อความบน ปลอกสาย / ป้าย	ชนิดสื่อ (UTP/STP/SM F/MMF)	Category หรือ OM/OS	อัตราบิต สูงสุดที่รองรับ	ลักษณะพิเศษ ที่สังเกตได้	ใช้ที่ใดในเครือ ข่ายหุ่นยนต์
1						
2						
3						
4						
5						

5. ดูสายสำเร็จรูป 1 m ที่จะใช้เปรียบเทียบกับตอนที่ 4 มองที่หัว RJ45 จากด้านหน้า (ตัวเปิดขึ้น) แล้วอ่านลำดับสี สายสำเร็จรูปนี้เข้าหัวตามมาตรฐาน ทั้งสองปลายเหมือนกันหรือไม่ จึงเป็นสาย (ตรง/ไขว้)

ตอนที่ 2 เข้าหัวสายตรงมาตรฐาน T568B ความยาว 1 m (40 นาที)

ทำตามขั้นตอนต่อไปนี้จะกับปลายสายทั้งสองด้าน สมาชิกกลุ่มเข้าหัวคนละปลาย

1. ตัดสาย UTP ยาว 1.2 m (เพื่อตัดแต่งปลาย) ใส่ปลอกหุ้มหัว (boot) เข้าไปในสายก่อน ขั้นตอนนี้มักถูกลืมและต้องเริ่มใหม่
2. ใช้ใบปอกของคีมปอกปลอกนอกออกยาวประมาณ 2.5–3 cm หมุนสายรอบใบมีดเบา ๆ ไม่กดแรง แล้วดึงปลอกออก ตรวจสอบขนาดของลวดทั้ง 8 เส้นไม่มีรอยขีด ถ้ามีรอยให้ตัดทิ้งแล้วปอกใหม่
3. คลายเกลียวทั้ง 4 คู่ออกเพียงเท่าที่จำเป็น เรียงลวดตามลำดับ T568B จากซ้ายไปขวา ได้แก่ ขาว-ส้ม, ส้ม, ขาว-เขียว, น้ำเงิน, ขาว-น้ำเงิน, เขียว, ขาว-น้ำตาล, น้ำตาล ลองสังเกตว่าคู่สีเงินอยู่ตรงกลางและถูกคู่เขียว “คร่อม” ไว้ นี่คือนิวเคลียสที่บิดบอยที่สุด
4. ริดลวดให้ตรงและเรียงชิดกัน ใช้ใบตัดของคีมตัดปลายลวดทั้ง 8 เส้นให้เสมอกันเป็นแนวตั้งฉาก เหลือความยาวลวดที่โผล่จากปลอกนอกประมาณ 1.3–1.4 cm (ประมาณความยาวของหัว RJ45)
5. ถือหัว RJ45 ให้ตัวเปิด (ขาล็อก) อยู่ด้านล่างและช่องเสียบหันเข้าหาตัว ดันลวดเข้าไปให้สุดจนเห็นปลายลวดทองแดงชนผนังด้านหน้าของหัวครบทุกช่อง และปลอกนอกของสายต้องเข้าไปอยู่ใต้ลิ้นล็อกของหัวด้วย ตรวจสอบลำดับสีอีกครั้งผ่านพลาสติกใส
6. ใส่หัวเข้าช่อง 8P ของคีม บีบให้สุดจนได้ยินเสียงคลิก ใบมีดทองแดงทั้ง 8 จะถูกกดลงทะลุผนังลวด และลิ้นล็อกจะกดปลอกนอกให้แน่น ดึงสายเบา ๆ ลวดต้องไม่เคลื่อน
7. ทำซ้ำข้อ 2–6 กับปลายอีกด้านด้วยลำดับ T568B เช่นเดียวกัน ดันปลอกหุ้มหัวเข้าที่
8. เสียบปลายหนึ่งเข้าตัวหลักของ cable tester และปลายอีกด้านเข้าตัวลูก เปิดเครื่อง ไฟ LED จะวิ่งจากช่อง 1 ถึง 8 (บางรุ่นมีช่อง G สำหรับสายดินของ STP) สายตรงที่ถูกต้องไฟทั้งสองตัวต้องติดพร้อมกันตามลำดับ 1-1, 2-2, ... , 8-8 บันทึกผลที่ละคู่ลงตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ผลการทดสอบสายตรง T568B ทีละคู่สาย

คู่สาย	ขา	สีตามมาตรฐาน T568B	ไฟติดที่ตัวหลัก (ขา)	ไฟติดที่ตัวลูก (ขา)	ผล (ผ่าน/ไม่ติด/สลับ/ช็อต)
คู่ที่ 2 (ส้ม)	1	ขาว-ส้ม			
	2	ส้ม			
คู่ที่ 3 (เขียว)	3	ขาว-เขียว			
	6	เขียว			
คู่ที่ 1 (น้ำเงิน)	4	น้ำเงิน			
	5	ขาว-น้ำเงิน			
คู่ที่ 4 (น้ำตาล)	7	ขาว-น้ำตาล			
	8	น้ำตาล			

จำนวนครั้งที่เข้าหัวจนผ่าน ครั้ง ถ้าไม่ผ่านในครั้งแรก อาการที่พบคือ สาเหตุที่วิเคราะห์ได้คือ

- อ่านสัญญาณของ tester ให้เป็น ถ้าไฟช่องใดไม่ติดทั้งสองด้าน แสดงว่าลวดเส้นนั้นไม่ถูกใบมีดกดถึง (open) ถ้าไฟติดที่ตัวหลักช่อง 3 แต่ตัวลูกติดช่อง 6 แสดงว่าสลับลำดับ (miswire) และถ้าไฟติด 2 ช่อง พร้อมกัน แสดงว่าลวดสองเส้นแตะกัน (short) สายที่ผ่านทุกช่องให้ติดป้ายชื่อกลุ่มไว้ใช้ในตอนที่ 4

ตอนที่ 3 เข้าหัวสายไขว้และทดสอบเชื่อมต่อ PC-PC (35 นาที)

- ตัดสาย UTP เส้นที่สองยาว 1.2 m เข้าหัวปลายด้านหนึ่งตาม T568B ด้วยขั้นตอนเดียวกับตอนที่ 2
- เข้าหัวปลายอีกด้านตาม T568A ได้แก่ ขาว-เขียว, เขียว, ขาว-ส้ม, น้ำเงิน, ขาว-น้ำเงิน, ส้ม, ขาว-น้ำตาล, น้ำตาล ลองสังเกตว่ามีเพียงคู่ส้มกับคู่เขียวที่สลับตำแหน่งกัน ส่วนคู่สีน้ำเงินและน้ำตาลอยู่เท่าเดิม
- ทดสอบด้วย cable tester สายไขว้ที่ถูกต้องไฟจะติดสลับคู่ คือ 1↔3, 2↔6, 3↔1, 6↔2 ส่วน 4, 5, 7, 8 ติดตรงกัน บันทึกผลการทดลองที่ 2.3 คอลัมน์ทดสอบด้วย tester
- ถอดสายเครือข่ายห้องปฏิบัติการออกจากคอมพิวเตอร์ทั้ง 2 เครื่อง (เครื่อง A ของกลุ่มเรา และเครื่อง B ของกลุ่มข้างเคียงหรือเครื่องที่สองของกลุ่ม) แล้วเสียบสายไขว้เชื่อมต่อทั้งสองเครื่องเข้าหากันโดยตรง สังเกตไฟ LED ที่พอร์ต Ethernet ทั้งสองข้างต้องติด (link up)
- ตั้งค่า IP แบบกำหนดเองบนเครื่อง A เป็น 192.168.2.1 และเครื่อง B เป็น 192.168.2.2 subnet mask 255.255.255.0 ทั้งสองเครื่อง ไม่ต้องตั้ง gateway เพราะทั้งคู่อยู่ในเครือข่ายเดียวกัน

Windows (เปิด Command Prompt แบบ Run as administrator เปลี่ยนชื่อการ์ด "Ethernet" ให้ตรงกับที่เห็นใน ipconfig)

```
netsh interface ip set address name="Ethernet" static 192.168.2.1
255.255.255.0
ipconfig
```

Linux (เปลี่ยน eth0 ให้ตรงกับชื่อการ์ดจาก ip link)

```
sudo ip addr flush dev eth0
sudo ip addr add 192.168.2.1/24 dev eth0
sudo ip link set eth0 up
ip addr show eth0
```

macOS

```
sudo ipconfig set en0 MANUAL 192.168.2.1 255.255.255.0
ifconfig en0
```

6. บนเครื่อง A สั่ง ping 192.168.2.2 (Windows ส่ง 4 ครั้งอัตโนมัติ macOS/Linux ใช้ ping -c 4 192.168.2.2) และบนเครื่อง B สั่ง ping กลับมาที่ 192.168.2.1 ถ้าได้ Request timed out ทั้งที่ไฟ link ติด สาเหตุที่พบบ่อยที่สุดคือ Windows Firewall ปิดกั้น ICMP ให้เปิดอนุญาตด้วยคำสั่ง

```
netsh advfirewall firewall add rule name="Allow ICMPv4"
protocol=icmpv4:8,any dir=in action=allow
```

7. บันทึกผลลงตารางที่ 2.3 จากนั้นทดลอง สลับสายไขว้เป็นสายตรง ที่เข้าหัวในตอนที่ 2 แล้ว ping อีกครั้ง ผลเป็นอย่างไร ถ้ายัง ping ได้ ให้ตรวจสอบว่าการ์ดเครือข่ายรองรับ Auto-MDIX (Windows: Device Manager → การ์ดเครือข่าย → Advanced → มองหา Auto-MDIX หรือ Auto Cross Over ลอง Disable แล้วทดสอบใหม่ถ้าสามารถทำได้)

ตารางที่ 2.3 ผลการทดสอบสายไขว้และการเชื่อมต่อ PC-PC

รายการทดสอบ	สายไขว้ (T568A-T568B)	สายตรง (T568B-T568B)
ผล cable tester (ลำดับไฟที่ตัวลูกเมื่อตัวหลักติดขา 1,2,3,6)		
ไฟ link ที่พอร์ต Ethernet ติดหรือไม่		
ความเร็วลิงก์ที่ระบบรายงาน (Mbps)		
ping จาก A → B (ได้รับ/ส่ง, RTT เฉลี่ย ms)		
ping จาก B → A (ได้รับ/ส่ง, RTT เฉลี่ย ms)		
การ์ดเครือข่ายรองรับ Auto-MDIX หรือไม่ (ระบุวิธีที่ใช้ตรวจ)		

ตอนที่ 4 วัด throughput ด้วย iperf3 (30 นาที)

iperf3 เป็นโปรแกรมวัดอัตราส่งข้อมูลจริงระหว่าง 2 เครื่อง โดยเครื่องหนึ่งทำหน้าที่เซิร์ฟเวอร์รับที่พอร์ต TCP 5201 อีกเครื่องเป็นไคลเอนต์ส่งข้อมูลไปเต็มกำลังตามเวลาที่กำหนด แล้วรายงานจำนวนบิตที่ส่งได้จริงต่อวินาที

1. ยังคงต่อสายและตั้ง IP ตามตอนที่ 3 บนเครื่อง A (192.168.2.1) เปิด iperf3 ในโหมดเซิร์ฟเวอร์

```
iperf3 -s
```

หน้าจอจะแสดง **Server listening on 5201** ป้อนหน้าต่างนี้ทิ้งไว้ (ถ้า Windows ถามเรื่อง firewall ให้กด Allow)

2. บนเครื่อง B เปิด iperf3 ในโหมดไคลเอนต์ส่งข้อมูล 10 วินาที

```
iperf3 -c 192.168.2.1 -t 10
```

อ่านค่าที่บรรทัดสรุปท้ายสุด [ID] Interval Transfer Bitrate แถว sender และ receiver บันทึกค่า Bitrate ของแถว receiver และจำนวน Retr (การส่งซ้ำ) ลงตารางที่ 2.4

3. ทดสอบทิศทางกลับด้วยตัวเลือก -R (เซิร์ฟเวอร์ส่ง ไคลเอนต์รับ) และทดสอบแบบ UDP ที่อัตรากำหนด 100 Mbps เพื่อดูเปอร์เซ็นต์การสูญหายของ datagram

```
iperf3 -c 192.168.2.1 -t 10 -R
iperf3 -c 192.168.2.1 -t 10 -u -b 100M
```

4. ทำซ้ำข้อ 2-3 อีก 2 รอบโดยเปลี่ยนสื่อกับได้แก่ (ก) สายสำเร็จรูป 1 m จากชุดสำรวจ และ (ข) Wi-Fi โดยถอดสายออกให้ทั้งสองเครื่องเชื่อม access point ห้องปฏิบัติการ SSID ที่ผู้สอนกำหนด แล้วใช้ ipconfig หรือ ip addr หาที่อยู่ IP ใหม่ของเครื่อง A มาแทน 192.168.2.1 ในคำสั่งไคลเอนต์
5. ระหว่างทดสอบด้วยสายที่เข้าหัวเอง ลองงอสายใกล้หัว RJ45 หรือดึงเบา ๆ แล้วสังเกตว่าค่า Bitrate ในแต่ละวินาทีเปลี่ยนแปลงหรือมี Retr เพิ่มขึ้นหรือไม่ บันทึกข้อสังเกตไว้

ตารางที่ 2.4 ผลการวัด throughput ด้วย iperf3 (เวลาทดสอบ 10 วินาทีต่อครั้ง)

สื่อสัญญาณ	ความเร็วลิงก์ที่ระบบรายงาน (Mbps)	TCP throughput B→A (Mbps)	Retr	TCP throughput A→B ด้วย -R (Mbps)	UDP 100M สูญหาย (%)	jitter (ms)	throughput / ความเร็วลิงก์ (%)
สายตรงที่เข้าหัวเอง (ตอนที่ 2)							
สายสำเร็จรูป 1 m							
Wi-Fi ห้องปฏิบัติการ (SSID)							

ข้อสังเกตเมื่องอหรือดึงสายที่เข้าหัวเองระหว่างทดสอบ

6. เมื่อเสร็จสิ้น ตั้งค่าเครื่องทั้งสองกลับเป็นรับ IP อัตโนมัติและต่อสายเครือข่ายห้องปฏิบัติการคืน

```
netsh interface ip set address name="Ethernet" dhcp
```

(Linux: `sudo dhclient eth0` หรือเปิด NetworkManager ใหม่, macOS: `sudo ipconfig set en0 DHCP`)

6. บันทึกผลและวิเคราะห์

1. จากตารางที่ 2.2 และ 2.3 สายเส้นใดเข้าหัวผ่านในครั้งแรก เส้นใดต้องแก้ อาการที่ tester แสดง (open, miswire, short) สอดคล้องกับข้อผิดพลาดที่พบตอนแกะหัวดูหรือไม่ อธิบายสาเหตุทางกายภาพของแต่ละอาการ
2. จากตารางที่ 2.3 เมื่อใช้สายตรงเชื่อม PC-PC ยัง ping ได้หรือไม่ ผลนี้บ่งบอกอะไรเกี่ยวกับการ์ดเครือข่ายของเครื่องที่ใช้ และหากนำสายตรงเส้นเดียวกันไปเชื่อม PLC รุ่นเก่าที่มีพอร์ต 100 Mbps คาดว่าจะเกิดอะไรขึ้น
3. จากตารางที่ 2.4 คำนวณอัตราส่วน throughput ต่อความเร็วลิงก์ของแต่ละสื่อ เหตุใดแม้สายสำเร็จรูปคุณภาพดีก็ยังไม่ถึง 100% ส่วนหัวของชั้นใดบ้างที่ “กิน” ความจุไป และ Wi-Fi ต่างจากสายทองแดงมากน้อยเพียงใด
4. เปรียบเทียบสายที่เข้าหัวเองกับสายสำเร็จรูป ค่า throughput, Retr และ UDP loss ต่างกันหรือไม่ ถ้าต่างกันมาก ให้ตั้งสมมติฐานว่าจุดใดของการเข้าหัวเป็นสาเหตุ (คล้ายเกลียวยาวเกิน ลวดไม่ชนผนังหัวปลอกนอกไม่เข้าลิ้นล็อก) และจะทดสอบสมมติฐานนั้นอย่างไร

7. คำถามท้ายการทดลอง

1. เหตุใดมาตรฐานจึงกำหนดให้คล้ายเกลียวสายก่อนเข้าหัวได้ไม่เกิน 13 mm อธิบายโดยใช้หลักการส่งสัญญาณแบบผลต่างและ crosstalk
2. สาย Cat5e ยาว 1 m กับสาย Cat6A ยาว 1 m ต่อ PC-สวิตช์ 1 Gbps ตัวเดียวกัน ค่า throughput ที่วัดด้วย iperf3 ควรต่างกันหรือไม่ แล้วถ้าเปลี่ยนเป็นความยาว 95 m ในห้องที่มีอินเวอร์เตอร์ขับเคลื่อนมอเตอร์ ค่าตอบเปลี่ยนไปหรือไม่ เพราะเหตุใด
3. Wi-Fi ที่ห้องปฏิบัติการอาจจะบูตราบิต 866 Mbps แต่ค่าที่วัดได้จริงมักต่ำกว่ามาก ให้ระบุปัจจัยอย่างน้อย 3 ข้อที่ทำให้ throughput ของสื่อไร้สายต่างจากอัตราบิตที่ระบุมากกว่าสื่อแบบสาย
4. หุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติ (AMR) ในคลังสินค้าต้องส่งภาพจากกล้อง 2 ตัว รวม 120 Mbps ไปยังเซิร์ฟเวอร์ และรับคำสั่งควบคุมที่ต้องการความหน่วงต่ำกว่า 20 ms หากนักศึกษาต้องเลือกสื่อนำสัญญาณสำหรับ (ก) ตัวหุ่นยนต์ที่เคลื่อนที่ (ข) สายจากจุดชาร์จเข้าสู่ตู้สวิตช์ห่าง 60 m ผ่านโซนเครื่องจักรหนัก และ (ค) สายหลักจากตู้สวิตช์ไปห้องเซิร์ฟเวอร์อีกอาคารห่าง 400 m จะเลือกสื่อชนิดใดในแต่ละช่วง พร้อมเหตุผลด้านอัตราบิต ระยะทาง และสัญญาณรบกวน
5. ถ้าเข้าหัวสายโดยสลับเฉพาะขา 4 กับขา 5 (คู่น้ำเงินกลับด้าน) ทั้งสองปลาย cable tester จะรายงานผ่านหรือไม่ และสายเส้นนี้จะใช้งานได้ที่ 100 Mbps หรือไม่ ที่ 1 Gbps หรือไม่ อธิบายจากตารางหน้าที่ของขาในหัวข้อ 2.4

8. งานที่ต้องส่งและเกณฑ์การให้คะแนน

สิ่งที่ต้องส่งผ่านระบบ LMS ภายในสัปดาห์ถัดไป

1. ใบงานฉบับนี้ที่กรอกตารางที่ 2.1–2.4 และตอบคำถามครบทุกข้อ (สแกนหรือกรอกในไฟล์)

2. สายตรง T568B และสายไขว้ที่เข้าหัวเอง ติดป้ายชื่อกลุ่ม ส่งให้ผู้สอนตรวจด้วย cable tester ท้ายคาบ
3. ภาพถ่ายหัว RJ45 ทั้ง 4 ปลายจากด้านหน้าให้เห็นลำดับสีชัดเจน ภาพหน้าจอผล ping PC-PC ผ่านสายไขว้ และภาพหน้าจอผล iperf3 ทั้ง 3 สื่อ

เกณฑ์การให้คะแนน (10 คะแนน)

หัวข้อประเมิน	คะแนน	เกณฑ์ระดับดี
ความถูกต้องของผลการปฏิบัติ	4	สายตรงและสายไขว้ผ่าน cable tester ทุกขา ping PC-PC สำเร็จ วัด iperf3 ได้ครบ 3 สื่อ
การบันทึกผลและหลักฐาน	2	ตารางที่ 2.1–2.4 กรอกรบ ภาพถ่ายหัวสายและภาพหน้าจอชัดเจนตรงกับที่กำหนด
การวิเคราะห์และคำตอบคำถามท้ายการทดลอง	3	อธิบายความต่างของแบนด์วิดท์/อัตราบิต/throughput และเลือกสื่อให้เหมาะกับงานหุ่นยนต์ได้อย่างมีเหตุผล
การส่งงานตรงเวลาและการทำงานเป็นทีม	1	ส่งภายในกำหนด สมาชิกทั้งสองคนเข้าหัวสายคนละปลาย

9. เอกสารอ้างอิง

1. Forouzan, B.A. (2013). *Data Communications and Networking* (5th ed.). McGraw-Hill. Chapters 3–4 และ 7.
2. Cisco Networking Academy. (2020). *Introduction to Networks Companion Guide* (CCNAV7). Cisco Press. Module 4 Physical Layer.
3. ANSI/TIA. (2018). *ANSI/TIA-568.2-D: Balanced Twisted-Pair Telecommunications Cabling and Components Standard*. TIA.
4. IEEE. (2022). *IEEE Std 802.3-2022: Ethernet*. IEEE. Clause 40 (1000BASE-T).
5. Tanenbaum, A.S., Feamster, N. & Wetherall, D.J. (2021). *Computer Networks* (6th ed.). Pearson. Chapter 2 The Physical Layer.
6. Kurose, J.F. & Ross, K.W. (2021). *Computer Networking: A Top-Down Approach* (8th ed.). Pearson. Section 1.2 และ 1.4.