

สัปดาห์ที่ 2

ชั้นกายภาพ สื่อนำสัญญาณ และ การเข้าหัวสาย UTP

สัญญาณ แบนด์วิดท์ อัตราบิด throughput · สายทองแดง ไยแก้ว ไร้สาย ·
มาตรฐาน T568A/B สายตรง สายไขว้ Auto-MDIX

อาจารย์ ดร.อภิรักษ์ ธิตินฤมิต
สาขาวิชาวิศวกรรมหุ่นยนต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา



หัวข้อวันนี้

1

สัญญาณ แบนด์วิดท์
อัตราบิต throughput

2

สายทองแดง UTP/STP
ใยแก้ว และไร้สาย

3

T568A/B สายตรง สาย
ไขว้ Auto-MDIX

4

ปฏิบัติการที่ 2: เข้าหัว
สายและวัด iperf3

วัตถุประสงค์การเรียนรู้ประจำสัปดาห์

- 1 จำแนกสื่อสัญญาณ (UTP STP ไยแก้ว ไร้สาย) และอ่านปลอกสายเพื่อระบุ category กับอัตราบิตได้
- 2 เข้าหัวสายตรง T568B และสายไขว้ T568A–T568B ให้ผ่าน cable tester ได้
- 3 ตั้งค่า IP แบบกำหนดเองบน PC 2 เครื่อง แล้วทดสอบสายที่เข้าหัวเองด้วย ping ได้
- 4 วัด throughput จริงด้วย iperf3 และอธิบายได้ว่าเหตุใดจึงต่างจากอัตราบิตที่ระบุบนสาย

1

สัญญาณ แบนด์วิดท์ อัตราบิต และ throughput

ตัวเลข 1 Gbps บนกล่องสายหมายถึงอะไรกันแน่

ลองคิดดู

กล่องบนแขนหุ่นยนต์ต้องส่งภาพ 300 Mbps ต่อเนื่อง สายบอกว่า 1 Gbps สวิตช์ก็ 1 Gbps แต่ภาพยังกระตุก ตัวเลขใดที่วิศวกรควรวัดจริง

ก. แบนด์วิธของสาย (MHz) เพราะเป็นสมบัติทางกายภาพ

ข. อัตราบิตของมาตรฐาน 1000BASE-T

ค. throughput และความหน่วงที่วัดได้จริง เช่น ด้วย iperf3

ง. ความยาวสาย เพราะยิ่งสั้นยิ่งเร็ว

คำตอบ: ค — สายและสวิตช์บอกได้แค่ขีดจำกัดทฤษฎี ภาพจะกระตุกหรือไม่ขึ้นกับ throughput จริงหลังหักส่วนหัว การส่งซ้ำ และสัญญาณรบกวน

ลองสังเกต: แบนด์วิดท์มีหน่วยเป็น Hz ไม่ใช่ bit/s

สามตัวเลขที่มักถูกใช้สับสนกัน

คำศัพท์	ความหมาย	หน่วย / ตัวอย่าง	ใครกำหนด
แบนด์วิดท์ (bandwidth)	ช่วงความถี่ที่ส่งผ่านได้โดยไม่ผิดเพี้ยน	Hz · Cat6 = 250 MHz	สมบัติทางกายภาพของสาย
อัตราบิต (bit rate)	จำนวนบิตต่อวินาทีตามที่มาตรฐานกำหนด	bit/s · 1000BASE-T = 1 Gbps	IEEE 802.3 + วิธีเข้ารหัส
throughput	บิตของข้อมูลผู้ใช้ที่ถึงปลายทางจริงต่อวินาที	bit/s · วัดด้วย iperf3	สภาพจริงของสาย อุปกรณ์ โหลด

ตัวเชื่อม Hz กับ bit/s คือการเข้ารหัสสัญญาณ (line coding) และ throughput จะน้อยกว่าอัตราบิตเสมอ

ทำไม 62.5 MHz ส่งได้ 1 Gbps และทำไมวัดจริงได้ไม่ถึง

- 1000BASE-T ใช้แบนด์วิดท์เพียง 62.5 MHz ต่อคู่สาย แต่ใช้พร้อมกันทั้ง 4 คู่
- แต่ละคู่ส่งสัญญาณ 5 ระดับแรงดัน (PAM-5) หนึ่งสัญลักษณ์จึงแทนได้มากกว่า 1 บิต
- throughput ต้องหักส่วนหัวทุกชั้น (Ethernet IP TCP) ช่องว่างระหว่างเฟรม และการรอ ACK
- สายเข้าหัวไม่ดีหรือมีสัญญาณรบกวน → เฟรมเสีย → ส่งซ้ำ (Retr) → throughput ตก
- งานหุ่นยนต์สนใจ throughput และความหน่วง ไม่ใช่ตัวเลขบนกล่อง

ตัวอย่าง: Cat5e ยาว 90 m ผ่านห้องที่มีมอเตอร์ใหญ่ ภาพกล้อง 300 Mbps อาจกระตุกทั้งที่สายบอก 1 Gbps

2

สื่อนำสัญญาณ: ทองแดง ไบแก้ว ไร้สาย

เลือกสื่อจากอัตราบิด ระยะทาง และสัญญาณรบกวน

สายคู่บิดเกลียว UTP: ทำไมต้องบิด

- แต่ละคู่ส่งแบบผลต่าง (differential): เส้นหนึ่ง +V อีกเส้น -V ฝั่งรับดูเฉพาะผลต่าง
- สัญญาณรบกวนกระทบทั้งสองเส้นเกือบเท่ากัน จึงถูกตัดออกไปเอง
- ยิ่งบิดถี่ ยิ่งกันรบกวนและ crosstalk ระหว่างคู่ได้ดี (Cat6 บิดถี่กว่า Cat5e มีแกนทางเขนคั่น)
- STP มีฟอยล์/ตะแกรงโลหะหุ้ม ต้องต่อลงดินที่ปลายด้านเดียว มิฉะนั้นกลายเป็นเสาอากาศรับรบกวน
- ระยะสูงสุด 100 m ทุก category (permanent link 90 m + patch cord 10 m) ตาม ANSI/TIA-568

ไกล์มอเตอร์ อินเวอร์เตอร์ เครื่องเชื่อม ให้เลือก STP ที่เข้าหัวและต่อดินถูกต้อง

ประเภทสายทองแดงที่พบในห้องปฏิบัติการ

ประเภท	แบนด์วิดท์	อัตราบิตสูงสุด (100 m)	ลักษณะที่สังเกตได้	ใช้ที่ไหน
Cat5e	100 MHz	1 Gbps (1000BASE-T)	สายบาง ไม่มีแกนคั่น	สำนักงาน ห้องปฏิบัติการ
Cat6	250 MHz	1 Gbps · 10 Gbps ที่ 55 m	หนาขึ้น มีแกนคั่นรูปกางเขน	อาคารใหม่ เซลล์หุ่นยนต์มีกล้อง
Cat6A	500 MHz	10 Gbps	หนามาก บิดถี่ บางรุ่นมีฟอยล์	ห้องเซิร์ฟเวอร์ สายหลักโรงงาน
STP / FTP	ตาม category	ตาม category	ฟอยล์/ตะแกรงหุ้ม ปลายมีสายดิน	ไกล้มอเตอร์ อินเวอร์เตอร์

ใยแก้วนำแสงและสื่อไร้สาย

Single-mode (SMF)

- แกน 9 μm ปลอกสีเหลือง (9/125)
- ใช้เลเซอร์ ใยไกล 10–80 km
- สายหลักระหว่างอาคาร
- หัวต่อ LC (SFP) หรือ SC

Multi-mode (MMF)

- แกน 50 μm ปลอกส้ม/ฟ้าอมเขียว (50/125)
- ใช้ LED หรือ VCSEL ถูกกว่า
- 300–550 m ที่ 10 Gbps
- ไม่ถูก EMI รบกวนเลย

ไร้สาย (Wi-Fi)

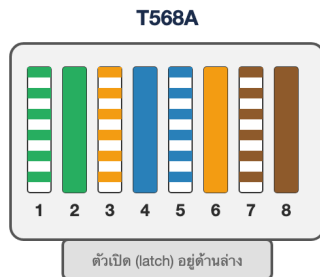
- หุ่นยนต์เคลื่อนที่ได้อิสระ
- อัตราบิตทฤษฎี เช่น Wi-Fi 6 = 9.6 Gbps
- แบ่งกันใช้ทุกอุปกรณ์ในช่องเดียว
- throughput จริงเหลือ 20–40%

3

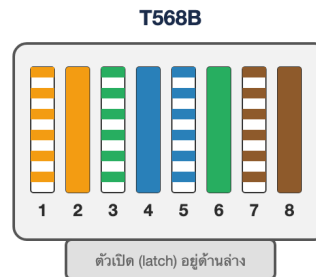
T568A/B สายตรง สายไขว้ และ Auto-MDIX

หัว RJ45 (8P8C) 8 ขา ลำดับสี 2 มาตรฐานตาม ANSI/TIA-568

ลำดับสีสายมาตรฐาน T568A และ T568B ที่หัว RJ45



ขา 1 ขาว-เขียว
ขา 2 เขียว
ขา 3 ขาว-ส้ม
ขา 4 น้ำเงิน
ขา 5 ขาว-น้ำเงิน
ขา 6 ส้ม
ขา 7 ขาว-น้ำตาล
ขา 8 น้ำตาล



ขา 1 ขาว-ส้ม
ขา 2 ส้ม
ขา 3 ขาว-เขียว
ขา 4 น้ำเงิน
ขา 5 ขาว-น้ำเงิน
ขา 6 เขียว
ขา 7 ขาว-น้ำตาล
ขา 8 น้ำตาล

มองจากด้านที่มีขาทองแดง
ตัวเปิดอยู่ด้านล่าง ขา 1 อยู่ซ้ายสุด

ต่างกันเฉพาะคู่สีเขียวกับส้ม (ขา 1,2 ↔ 3,6)

สายตรง = ปลายทั้งสองข้าง ใช้มาตรฐานเดียวกัน

สายไขว้ = ข้างหนึ่ง T568A อีกข้าง T568B

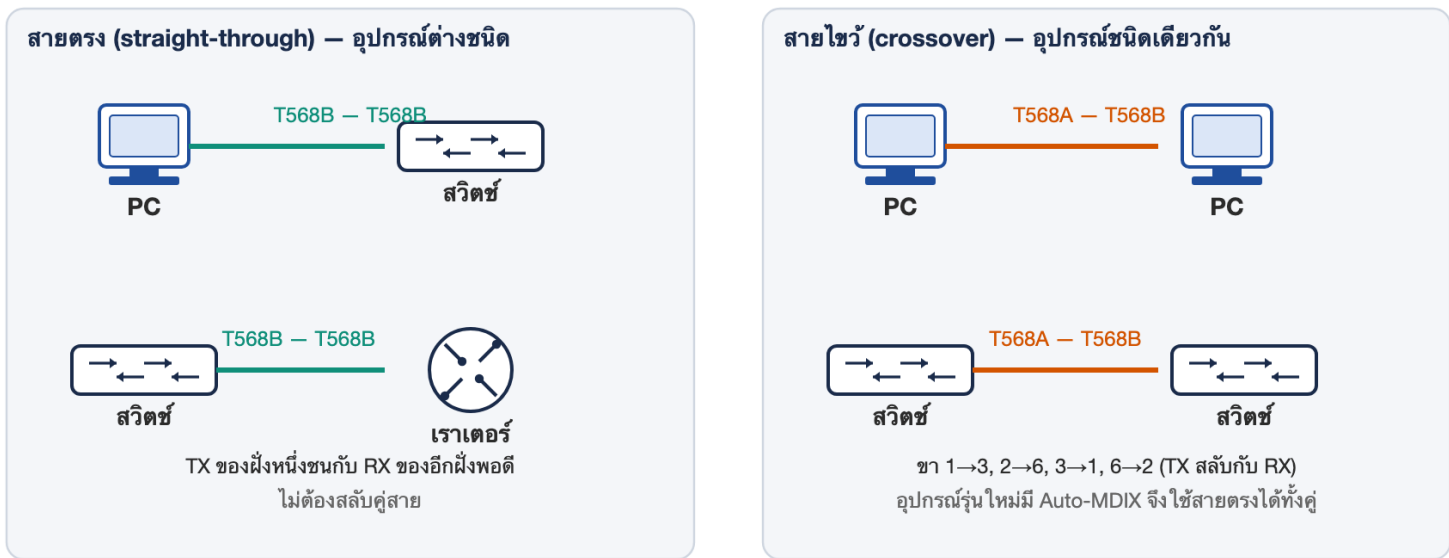
ทั้งสองแบบใช้งานได้เท่ากัน ต่างกันเพียงสลับคู่เขียวกับคู่ส้ม ไทยนิยม T568B

ลองสังเกต: 10/100BASE-T ใช้แค่ 2 คู่ แต่ 1000BASE-T ใช้ครบ 4 คู่

หน้าที่ของแต่ละขาในหัว RJ45

ขา	T568A	T568B	10/100BASE-T	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	ไม่ใช้	BI_DC+
5	ขาว-น้ำเงิน	ขาว-น้ำเงิน	ไม่ใช้	BI_DC-
6	ส้ม	เขียว	RX-	BI_DB-
7	ขาว-น้ำตาล	ขาว-น้ำตาล	ไม่ใช้	BI_DD+
8	น้ำตาล	น้ำตาล	ไม่ใช้	BI_DD-

สายตรงหรือสายไขว้ ดูจากชนิดของอุปกรณ์สองปลาย



PC-สวิตช์ ใช้สายตรง · PC-PC หรือ สวิตช์-สวิตช์ ใช้สายไขว้ (ถ้าไม่มี Auto-MDIX)

กติกาง่าย และเหตุที่ทุกวันนี้เสียอะไรก็ได้

สายตรง (straight)

- ทั้งสองปลาย T568B (หรือ A ทั้งคู่)
- อุปกรณ์ต่างชนิด: PC–สวิตช์
- เราเตอร์–สวิตช์
- คู่ส่งของฝั่งหนึ่งตรงกับคู่รับอีกฝั่ง

สายไขว้ (crossover)

- ปลายหนึ่ง T568A อีกปลาย T568B
- อุปกรณ์ชนิดเดียวกัน: PC–PC
- สวิตช์–สวิตช์, เราเตอร์–PC
- สลับคู่ส่ง↔️เชื่อม ให้ส่งไปเข้ารับ

Auto-MDIX

- ชิปตรวจสอบว่าอีกฝั่งส่งมาคู่ใด
- สลับคู่รับ-ส่งภายในให้อัตโนมัติ
- บังคับมีในทุกอุปกรณ์ 1000BASE-T
- PLC/ตัวควบคุมรุ่นเก่า 100 Mbps มักไม่มี

ขั้นตอนเข้าหัวสายตรง T568B



จุดผิดพลาดสุด: สัมไฟ boot · คู่เขียวต้องคร่อมคู่สีน้ำเงิน · คลายเกลียวยาวเกิน (มาตรฐานไม่เกิน 13 mm)

ไฟ LED รังจากช่อง 1 ถึง 8 ตัวหลักและตัวลูกต้องติดพร้อมกัน

อ่านผล cable tester ให้เป็น

อาการ	สิ่งที่ tester แสดง	สาเหตุทางกายภาพ
ผ่าน (สายตรง)	ติดพร้อมกันตามลำดับ 1-1, 2-2, ..., 8-8	ลำดับสีถูกต้องทั้งสองปลาย ในมิดกดครบ
ผ่าน (สายไขว้)	1↔3, 2↔6, 3↔1, 6↔2 ส่วน 4 5 7 8 ตรงกัน	ปลายหนึ่ง T568A อีกปลาย T568B ถูกต้อง
open	ช่องใดช่องหนึ่งไม่ติดทั้งสองด้าน	ลวดเส้นนั้นไม่ถูกไขมิดกดถึง หรือตันไม่สุด
miswire	ตัวหลักติดช่อง 3 แต่ตัวลูกติดช่อง 6	เรียงลำดับสีสลับกันที่ปลายใดปลายหนึ่ง
short	ไฟติด 2 ช่องพร้อมกัน	ลวดสองเส้นแตะกัน จนวนมีรอยจากการปอก

สายที่ผ่านทุกช่องให้ติดป้ายชื่อกลุ่ม แล้วนำไปวัด throughput ในตอนที่ 4

เครื่อง A = 192.168.2.1 เครื่อง B = 192.168.2.2 mask 255.255.255.0 ไม่ต้องตั้ง gateway

ตั้ง IP กำหนดเองแล้วทดสอบ PC-PC ผ่านสายไขว้ (Windows)

```
:: Command Prompt แบบ Run as administrator  
:: เปลี่ยน "Ethernet" ให้ตรงชื่อการ์ดใน ipconfig  
netsh interface ip set address name="Ethernet" ^  
    static 192.168.2.1 255.255.255.0  
ipconfig  
ping 192.168.2.2
```

```
:: ไฟล์ link ติดแต่ Request timed out → เปิด ICMP  
netsh advfirewall firewall add rule ^  
    name="Allow ICMPv4" protocol=icmpv4:8,any ^  
    dir=in action=allow
```

```
:: จบใช้งาน ตั้งกลับเป็น DHCP ทุกครั้ง  
netsh interface ip set address ^  
    name="Ethernet" dhcp
```

cmd

- ถอดสายเครือข่ายห้องปฏิบัติการออกก่อนตั้ง IP กำหนดเอง
- ทั้งคู่อยู่เครือข่ายเดียวกัน จึงไม่ต้องตั้ง gateway
- ping ได้ทั้งสองทิศ → บันทึกตารางที่ 2.3
- แล้วสลับเป็นสายตรง: ยัง ping ได้ไหม → ตรวจสอบ Auto-MDIX ใน Device Manager

เปลี่ยน eth0 / en0 ให้ตรงชื่อการ์ดจาก ip link หรือ ifconfig

ตั้ง IP กำหนดเอง (Linux และ macOS)

```
# Linux
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
ping -c 4 192.168.2.2

# macOS
sudo ipconfig set en0 MANUAL 192.168.2.1 \
    255.255.255.0
ifconfig en0
ping -c 4 192.168.2.2

# ตั้งกลับเป็น DHCP เมื่อจบใบงาน
sudo dhclient eth0
sudo ipconfig set en0 DHCP
```

```
# Linux
# macOS
```

shell

- ping บน Linux/macOS ไม่หยุดเอง ต้องใส่ -c 4
- ดูไฟ LED ที่พอร์ต Ethernet ทั้งสองข้างต้องติด (link up)
- ถ้าตั้ง IP ค้างไว้ สับดาห์หน้าเครื่องจะใช้อินเทอร์เน็ตไม่ได้

วัด throughput ด้วย iperf3

```
# เครื่อง A (192.168.2.1) เปิดเซิร์ฟเวอร์
iperf3 -s
# Server listening on 5201

# เครื่อง B ไคลเอนต์ TCP 10 วินาที
iperf3 -c 192.168.2.1 -t 10

# ทิศทางกลับ (เซิร์ฟเวอร์ส่ง)
iperf3 -c 192.168.2.1 -t 10 -R

# UDP อัตรากำหนด 100 Mbps ดู loss และ jitter
iperf3 -c 192.168.2.1 -t 10 -u -b 100M
```

shell

- อ่านบรรทัดสรุปแถว receiver: Bitrate และ Retr (ส่งซ้ำ)
- ทำซ้ำ 3 สื่อ: สายเข้าตัวเอง · สายสำเร็จรูป 1 m · Wi-Fi ห้องปฏิบัติการ
- ระหว่างวัดลองงอสายใกล้เคียง RJ45 ดูว่า Bitrate ตกหรือ Retr เพิ่มขึ้น
- รันเฉพาะระหว่างเครื่องของกลุ่มตนเอง ห้ามยิงไปเซิร์ฟเวอร์ภายนอก

ปฏิบัติการวันนี้: ใงานที่ 2

ขั้นตอน

1. ตรวจสอบสายและอุปกรณ์ อ่านปลอกสาย ดูหน้าตัด บันทึกตารางที่ 2.1 อย่างน้อย 5 รายการ
2. เช้าหัวสายตรง T568B ยาว 1 m ทดสอบด้วย cable tester ทีละคู่ บันทึกตารางที่ 2.2
3. เช้าหัวสายไขว้ ตั้ง IP 192.168.2.1 และ .2 ping PC-PC แล้วลองสลับเป็นสายตรง (ตารางที่ 2.3)
4. วัด iperf3 TCP สองทิศ + UDP 100M กับ 3 สื่อ บันทึกตารางที่ 2.4 แล้วตั้ง IP กลับเป็น DHCP

สิ่งที่ต้องส่ง

- ✓ ใงานที่ 2 กรอกตารางที่ 2.1–2.4 และคำถามท้ายการทดลอง
- ✓ สายตรงและสายไขว้ติดป้ายชื่อกลุ่ม ส่งผู้สอนตรวจด้วย tester ท้ายคาบ
- ✓ ภาพถ่ายหัว RJ45 ทั้ง 4 ปลายจากด้านหน้า ภาพหน้าจอ ping PC-PC และ iperf3 ทั้ง 3 สื่อ
- ✓ ส่งผ่าน LMS ภายในสัปดาห์หน้า

สรุปประจำสัปดาห์

- แบนด์วิดท์ (Hz) $\neq$ อัตราบิต (bit/s) $\neq$ throughput จริง ตัวเชื่อมคือ line coding
- UTP กันรบกวนด้วยการบิดเกลียว+สัญญาณผลต่าง · STP ต่อดิน ปลายเดียว · ยาวสุด 100 m
- ใยแก้ว SMF ไปไกล MMF ถูกกว่า ไร้สายอิสระแต่ throughput เหลือ 20–40%
- T568A/B ต่างกันแค่คู่ส้ม↔เขียว ปลายเหมือนกัน = สายตรง ต่างกัน = สายไขว้
- Auto-MDIX ทำให้สายไขว้แทบไม่จำเป็น ยกเว้น PLC/ตัวควบคุมรุ่นเก่า

สัปดาห์หน้า

ชั้นเชื่อมโยงข้อมูล: เฟรม Ethernet ที่อยู่ MAC CSMA/CD สวิตช์และตาราง MAC ARP และ broadcast domain

งานที่ต้องส่ง

ส่งใบงานที่ 2 พร้อมสายที่เข้าหัว · ตั้ง IP เครื่องกลับเป็น DHCP · อ่าน หัวข้อ 2 ของใบงานที่ 3 ล่วงหน้า

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. Sections 1.2 และ 1.4.