



เอกสารประกอบการสอน
รายวิชา การสื่อสารดิจิทัล

ปิยะ ไควินทร์ทวีวัฒน์

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

25XX

เอกสารประกอบการสอนรายวิชาการสื่อสารดิจิทัล

ปิยะ โควินท์ทวีวัฒน์



เอกสารประกอบการสอน
รายวิชา การสื่อสารดิจิทัล

ศาสตราจารย์ ดร. ปิยะ ไควินท์ทวีวัฒน์
Ph.D. (Electrical Engineering)

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

25XX

คำนำ

เอกสารประกอบการสอนรายวิชาการสื่อสารดิจิทัล รหัส 6553102 จัดทำขึ้นเพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับพื้นฐานและหลักการของการสื่อสารดิจิทัล ซึ่งจำเป็นต่อการศึกษาและการทำงานทางด้านวิศวกรรมโทรคมนาคม โดยเอกสารประกอบการสอนนี้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 9 หัวข้อเรื่อง ประกอบด้วย บทนำ ความน่าจะเป็นและกระบวนการสุ่ม การกล้ำรหัสพัลส์ การกล้ำสัญญาณแถบความถี่ฐาน วงจรภาครับเหมาะที่สุดสำหรับการส่งข้อมูลไบนารี พื้นฐานการกล้ำสัญญาณผ่านแถบ การส่งผ่านสัญญาณพัลส์แถบความถี่ฐาน ทฤษฎีข่าวสารและการเข้ารหัสแหล่งต้นทาง และการเข้ารหัสช่องสัญญาณ โดยแต่ละหัวข้อเรื่องจะใช้เวลาในการสอนแตกต่างกันขึ้นอยู่กับระดับความยากง่ายของแต่ละหัวข้อ ซึ่งรวมแล้วจะใช้เวลาในการศึกษาทั้งสิ้น 15 สัปดาห์ (3 คาบต่อสัปดาห์) นอกจากนี้ในการสอนจะเน้นทั้งภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติโดยใช้โปรแกรม SCILAB ควบคู่กันไป (สามารถดาวน์โหลดเอกสารพื้นฐานการใช้งานโปรแกรม SCILAB ได้ที่ <http://home.npru.ac.th/piya/webscilab>)

ผู้เรียนควรจะศึกษารายละเอียดในแต่ละหัวข้อจากเอกสารประกอบการสอน หนังสือ และเอกสารอื่นๆ เช่น ตำรา และบทความทางวิชาการ ร่วมด้วย นอกจากนี้ผู้สอนจะต้องให้ความสำคัญกับการแสดงวิธีการแก้ไขโจทย์ในแต่ละหัวข้อ รวมทั้งการตรวจและแก้ไขแบบฝึกหัดของผู้เรียน เพื่อให้ผู้เรียนได้เรียนรู้จากข้อบกพร่อง ซึ่งช่วยทำให้ผู้เรียนเข้าใจในบทเรียนแต่ละหัวข้อมากยิ่งขึ้น

ผู้เขียนได้พยายามอย่างยิ่งในการเรียบเรียงเอกสารประกอบการสอนนี้ให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจได้ด้วยตนเองอย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ หากมีข้อบกพร่องประการใด ผู้เขียนมีความยินดีและจักขอบพระคุณยิ่ง หากท่านผู้ใช้เอกสารการสอนนี้จะส่งข้อคิดเห็นหรือคำแนะนำที่เป็นประโยชน์สำหรับการปรับปรุงเอกสารคำสอนนี้มาที่อีเมล piya@npru.ac.th เพื่อที่ผู้เขียนจะได้ดำเนินการปรับปรุงและแก้ไขในการพิมพ์ครั้งต่อไป

***** ลายเซ็น *****

(ปิยะ โควินท์ทวีวัฒน์)

พฤษภาคม 25XX

(2)

สารบัญ

	หน้า
คำนำ	(1)
สารบัญ	(3)
แผนบริหารการสอนประจำวิชา	(5)
แผนบริหารการสอนประจำ สื่อการสอนชุดที่ 1	1
สื่อการสอนชุดที่ 1 บทนำ	3
1.1 พื้นฐานระบบสื่อสาร.....	5
1.2 เทคโนโลยีการสื่อสารดิจิทัล	6
1.3 ประวัติความเป็นมาของการสื่อสารดิจิทัล	6
1.4 ย่านความถี่ใช้งาน.....	7
1.5 ทำไมต้องใช้การสื่อสารดิจิทัล.....	8
1.6 แบบจำลองไอเอสไอ.....	10
1.7 แบบจำลองระบบสื่อสารดิจิทัล	12
1.8 ตัวชี้บอกสมรรถนะของระบบ.....	13
1.9 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	14
1.10 สรุป.....	15
1.11 แบบฝึกหัด.....	16
1.12 บรรณานุกรม	16
แผนบริหารการสอนประจำ สื่อการสอนชุดที่ 2	17
สื่อการสอนชุดที่ 2 ความน่าจะเป็นและกระบวนการสุ่ม	19
2.1 ความน่าจะเป็น	19
2.2 ตัวแปรสุ่ม	20
2.2.1 ฟังก์ชันของตัวแปรสุ่ม	21
2.2.2 ตัวแปรสุ่มหลายตัว	22
2.2.3 โมเมนต์	23
2.2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสุ่ม	25
2.2.5 ตัวแปรสุ่มวิฤตที่น่าสนใจ.....	27
2.3 กระบวนการสุ่ม.....	30
2.3.1 ค่าเฉลี่ยและฟังก์ชันอัตโนมัติ.....	31

(4)

2.3.2	อัตราสัมพันธ์ของกระบวนการสุ่มสแตชันเนรีแบบไวต์เซนส์.....	34
2.3.3	ความหนาแน่นสเปกตรัมกำลัง.....	35
2.3.4	สัญญาณรบกวนในระบบสื่อสาร.....	36
2.4	สรุป.....	38
2.5	แบบฝึกหัด.....	39
2.6	บรรณานุกรม.....	40
....		
....		
....		
	ภาคผนวก ก ตารางฟังก์ชัน Q	199
	ประวัติผู้เรียบเรียง	203

แผนบริหารการสอนประจำวิชา

รหัสวิชา 6553102

รายวิชา การสื่อสารดิจิทัล

3 (3 – 0)

Digital Communication

คำอธิบายรายวิชา

ทฤษฎีการสื่อสารตัวอย่าง กระบวนการสื่อสารและความน่าจะเป็น การเข้ารหัสไลน์โค้ด การปรับรูปร่างของสัญญาณพัลส์ การตรวจหาสัญญาณ การส่งผ่านสัญญาณดิจิทัลแบบแถบความถี่ฐาน การกล้ำสัญญาณดิจิทัลแบบเอเอสเค พีเอสเค และเอฟเอสเค การส่งผ่านสัญญาณดิจิทัลแบบแบนพาส การวิเคราะห์สมรรถนะของระบบสื่อสารดิจิทัล พื้นฐานของทฤษฎีข่าวสาร การเข้ารหัสต้นทาง การเข้ารหัสช่องสัญญาณ การใช้โปรแกรมประยุกต์ในการจำลองระบบ

จุดประสงค์ทั่วไป

เพื่อให้นักศึกษา

1. สามารถบอกองค์ประกอบ ความสำคัญ และโครงสร้างของระบบสื่อสารดิจิทัล
2. เข้าใจทฤษฎีการสื่อสารตัวอย่าง ความน่าจะเป็น และกระบวนการสื่อสาร
3. สามารถเข้ารหัสไลน์โค้ดได้
4. เข้าใจพื้นฐานการปรับรูปร่างของสัญญาณพัลส์
5. เข้าใจหลักการทำงานของวงจรมอดูเลชันที่เหมาะสมที่สุด และวิเคราะห์สมรรถนะของระบบสื่อสารดิจิทัลได้
6. เข้าใจการส่งผ่านสัญญาณดิจิทัลแบบแถบความถี่ฐาน และการกล้ำสัญญาณดิจิทัลแบบต่างๆ (เอเอสเค พีเอสเค เอฟเอสเค)
7. เข้าใจหลักการทำงานของ การส่งผ่านสัญญาณดิจิทัลแบบแบนพาส
8. เข้าใจพื้นฐานของทฤษฎีข่าวสาร การเข้ารหัสต้นทาง และการเข้ารหัสช่องสัญญาณ
9. สามารถใช้โปรแกรม SCILAB ในการจำลองระบบในแต่ละบทเรียนได้
10. มีเจตคติที่ดีต่อการเรียน มีทักษะที่ดี เห็นคุณค่าของการเรียน และนำไปใช้ประโยชน์ในการทำงานได้

(6)

เนื้อหาสื่อการสอน

(15 สัปดาห์)

ชุดที่ 1 บทนำ	1 สัปดาห์
ชุดที่ 2 ความน่าจะเป็นและกระบวนการสุ่ม	1.5 สัปดาห์
ชุดที่ 3 การกล่ารหัสพัลส์	1.5 สัปดาห์
ชุดที่ 4 การกล่าสัญญาณแถบความถี่ฐาน	1.5 สัปดาห์
ชุดที่ 5 วงจรภาครับเหมาะสมที่สุดสำหรับการส่งข้อมูลไปนารี	2 สัปดาห์
ชุดที่ 6 พื้นฐานการกล่าสัญญาณผ่านแถบ	2 สัปดาห์
ชุดที่ 7 การส่งผ่านสัญญาณพัลส์แถบความถี่ฐาน	1.5 สัปดาห์
ชุดที่ 8 ทฤษฎีข่าวสารและการเข้ารหัสแหล่งต้นทาง	2 สัปดาห์
ชุดที่ 9 การเข้ารหัสช่องสัญญาณ	2 สัปดาห์

วิธีสอนและกิจกรรม

1. วิธีสอนแบบบรรยายและแบบสาธิต เริ่มจากการอธิบายทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง จากนั้นผู้สอนจะอธิบายและแสดงตัวอย่างการแก้ไขปัญหาโจทย์ต่างๆ โดยให้ผู้เรียนในชั้นดูตามลำดับขั้นตอน พร้อมทั้งเปิดโอกาสให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมและลงมือปฏิบัติจริง
2. ศึกษาเอกสารประกอบการสอน แผนภูมิ แผ่นภาพ แผ่นใส แผ่นภาพเลื่อน และวีดิทัศน์ที่เกี่ยวข้อง
3. แบ่งกลุ่มศึกษาเนื้อหาและการจัดกิจกรรมการเรียนการสอน เพื่อให้ให้นักศึกษาที่เรียนรู้เร็วช่วยเหลือนักศึกษาที่เรียนรู้ช้า โดยมีการตั้งคำถาม ตอบคำถาม ระหว่างผู้สอนและผู้เรียน
4. ให้ผู้เรียนไปศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมตามหัวข้อที่กำหนดให้ จากแหล่งต่างๆ แล้วนำผลที่ได้จากการค้นคว้ามานำเสนอเป็นรายงาน
5. เปิดโอกาสให้นักศึกษาร่วมอภิปรายเนื้อหา และทำแบบฝึกหัดในชั้นเรียน พร้อมทั้งมีการมอบหมายแบบฝึกหัดให้ทำเป็นการบ้าน
6. ให้ผู้เรียนฝึกหัดใช้โปรแกรมภาษา SCILAB ช่วยในการวิเคราะห์และแก้ไขปัญหาโจทย์ต่างๆ

สื่อการเรียนการสอน

1. เอกสารประกอบการสอนรายวิชา การสื่อสารดิจิทัล
2. หนังสือการสื่อสารดิจิทัล
3. วีดิทัศน์
4. โปรแกรมสำเร็จรูป SCILAB

5. เครื่องคอมพิวเตอร์

การวัดผลและการประเมินผล

การวัดผล

1. คะแนนระหว่างภาคเรียน	ร้อยละ 60
1.1 การเข้าชั้นเรียน ความประพฤติ และวินัย	ร้อยละ 5
1.2 งานที่มอบหมาย รายงาน อภิปราย	ร้อยละ 15
1.3 แบบฝึกหัดและการบ้าน	ร้อยละ 10
1.4 การทดสอบกลางภาค	ร้อยละ 30
2. คะแนนสอบปลายภาคเรียน	ร้อยละ 40

การประเมินผล ใช้การอิงเกณฑ์ดังนี้

คะแนนระหว่าง 80 – 100	ได้ระดับ A
คะแนนระหว่าง 75 – 79	ได้ระดับ B+
คะแนนระหว่าง 70 – 74	ได้ระดับ B
คะแนนระหว่าง 60 – 69	ได้ระดับ C+
คะแนนระหว่าง 50 – 59	ได้ระดับ C
คะแนนระหว่าง 45 – 49	ได้ระดับ D+
คะแนนระหว่าง 40 – 44	ได้ระดับ D
คะแนนระหว่าง 0 – 39	ได้ระดับ E

(8)

แผนบริหารการสอนประจำสื่อการสอนชุดที่ 1

บทนำ

หัวข้อเนื้อหาประจำสื่อการสอนชุดที่ 1

1. พื้นฐานระบบสื่อสาร
2. ประวัติความเป็นมาของการสื่อสารดิจิทัล
3. ทำไมต้องใช้การสื่อสารดิจิทัล
4. แบบจำลองระบบสื่อสารดิจิทัล
5. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของช่องสื่อสาร
 - 5.1 ช่องสัญญาณที่มีสัญญาณรบกวนแบบบวก
 - 5.2 ช่องสัญญาณ AWGN
 - 5.3 ช่องสัญญาณตัวกรองเชิงเส้น

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

เมื่อศึกษาสื่อการสอนชุดที่ 1 จบแล้ว นักศึกษาสามารถ

1. ทราบถึงพื้นฐานและประวัติความเป็นมาของระบบสื่อสารดิจิทัล
2. เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของระบบสื่อสารดิจิทัลและระบบสื่อสารแอนะล็อกได้
3. เข้าใจแบบจำลองระบบสื่อสารดิจิทัล
4. เข้าใจแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของช่องสื่อสารแบบต่างๆ

วิธีสอนและกิจกรรมการเรียนการสอนประจำสื่อการสอนชุดที่ 1

1. วิธีสอน

- 1.1 แบบบรรยาย
- 1.2 แบบอภิปราย
- 1.3 แบบเน้นการเรียนรู้ด้วยตนเอง
- 1.4 แบบค้นคว้าหาความรู้เพิ่มเติม

2. กิจกรรมการเรียนการสอน

- 2.1 ผู้สอนสอบถามเกี่ยวกับความรู้ทั่วไปของระบบสื่อสาร
- 2.2 ผู้สอนบรรยายเนื้อหาต่างๆ ในสื่อการสอนชุดที่ 1 โดยใช้ไฟล์การนำเสนอ
- 2.3 ผู้สอนจะมีการตั้งคำถามระหว่างการสอน เพื่อเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้ฝึกคิด

2.4 เปิดโอกาสให้นักศึกษาร่วมอภิปรายเนื้อหา และทำแบบฝึกหัดในชั้นเรียน

2.5 มีการมอบหมายแบบฝึกหัดให้ทำเป็นการบ้าน

สื่อการเรียนการสอน

1. เอกสารประกอบการสอนรายวิชา การสื่อสารดิจิทัล
2. หนังสือการสื่อสารดิจิทัล
3. แบบฝึกหัด/การบ้าน

การวัดและประเมินผล

1. ตั้งคำถามให้ผู้เรียนตอบ
2. ให้ผู้เรียนทำแบบฝึกหัดระหว่างการสอน
3. ให้แบบฝึกหัดไปทำเป็นการบ้าน
4. มีการให้คะแนนทั้งสามส่วนข้างต้น เพื่อใช้เป็นคะแนนเก็บระหว่างภาคเรียน

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
Nakhon Pathom Rajabhat University

การสื่อสารดิจิทัล

สื่อการสอนชุดที่ 1 บทนำ

ศ.ดร.ปิยะ โควินท์ทวีวัฒน์
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

แนะนำรายวิชา

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
Nakhon Pathom Rajabhat University

- ผู้สอน ศ.ดร.ปิยะ โควินท์ทวีวัฒน์
- ติดต่อ/สอบถาม ก่อน/หลัง เวลาเรียน 60 นาที หรือ piya@npru.ac.th
- หนังสือ
 - ปิยะ โควินท์ทวีวัฒน์, การสื่อสารดิจิทัลกับการประยุกต์ใช้โปรแกรม SCILAB, 2555
 - Bernard Sklar, Digital Communication and Its Application, 2001.
- เว็บไซต์ <http://home.npru.ac.th/piya/DigitalComm>
- เกณฑ์การให้คะแนน

ความตั้งใจในห้องเรียน	10%	การบ้าน/งานที่มอบหมาย	20%
สอบกลางภาค	30%	สอบปลายภาค	40%

Disclaimer ทบทวนวิธีการคัดลอกผลงานทางวิชาการ โดยไม่ต้อง ในสื่อการสอนนี้ จากเจ้า ศ.ดร.ปิยะ โควินท์ทวีวัฒน์ ขอเป็นผู้นับถือขอพบแต่เพียงผู้เดียว

คำอธิบายรายวิชา ทฤษฎีการสุ่มตัวอย่าง กระบวนการสุ่มและความน่าจะเป็น การเข้ารหัสไลน์โค้ด การปรับปรุงร่างของสัญญาณพัลส์ การตรวจหาสัญญาณ การส่งผ่านสัญญาณดิจิทัลแบบแถบความถี่ฐาน การกล้ำสัญญาณดิจิทัลแบบเอเอสเค พีเอสเค และเอฟเอสเค การส่งผ่านสัญญาณดิจิทัลแบบแบนพาส การวิเคราะห์สมรรถนะของระบบสื่อสารดิจิทัล พื้นฐานของทฤษฎีข่าวสาร การเข้ารหัสต้นทาง การเข้ารหัสช่องสัญญาณ การใช้โปรแกรมประยุกต์ในการจำลองระบบ

การบ้าน

- ให้ทุกๆ สองสัปดาห์ (bi-weekly homework)
- ต้องนำการบ้านมาส่งก่อนเริ่มเรียนในครั้งถัดไปเท่านั้น (**ไม่รับ** การบ้านที่ส่งหลังจากนี้)

การขาดเรียน

- ต้องแจ้งให้อาจารย์ทราบล่วงหน้า ก่อนเริ่มเรียน
- ต้องแสดงหลักฐานทางการแพทย์หรือหนังสือจากผู้ปกครอง ว่าขาดเรียนเพราะอะไร

Disclaimer: ทรัพย์สินทางปัญญาของกลางจากศึกษา โดยไม่ผูกพัน ในเชิงการสอนนี้ จากเจ้า สคร. ๒๕๖ ได้บันทึกไว้ฉบับก่อนเป็นผู้รับผิดชอบแต่เพียงผู้เดียว

เนื้อหาสื่อการสอน (15 สัปดาห์)

ชุดที่ 1 บทนำ	1 สัปดาห์
ชุดที่ 2 ความน่าจะเป็นและกระบวนการสุ่ม	1.5 สัปดาห์
ชุดที่ 3 การกล้ำรหัสพัลส์	1.5 สัปดาห์
ชุดที่ 4 การกล้ำสัญญาณแถบความถี่ฐาน	1.5 สัปดาห์
ชุดที่ 5 วงจรภาครับเหมาะที่สุดสำหรับการส่งข้อมูลไบนารี	2 สัปดาห์
ชุดที่ 6 พื้นฐานการกล้ำสัญญาณผ่านแถบ	2 สัปดาห์
ชุดที่ 7 การส่งผ่านสัญญาณพัลส์แถบความถี่ฐาน	1.5 สัปดาห์
ชุดที่ 8 ทฤษฎีข่าวสารและการเข้ารหัสแหล่งต้นทาง	2 สัปดาห์
ชุดที่ 9 การเข้ารหัสช่องสัญญาณ	2 สัปดาห์

Disclaimer: ทรัพย์สินทางปัญญาของกลางจากศึกษา โดยไม่ผูกพัน ในเชิงการสอนนี้ จากเจ้า สคร. ๒๕๖ ได้บันทึกไว้ฉบับก่อนเป็นผู้รับผิดชอบแต่เพียงผู้เดียว

หัวข้อสำหรับสื่อการสอนชุดที่ 1

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
Nakhon Pathom Rajabhat University

- | | |
|---|-----------------|
| 1.1 พื้นฐานระบบสื่อสาร | 1.10 สรุป |
| 1.2 เทคโนโลยีการสื่อสารดิจิทัล | 1.11 แบบฝึกหัด |
| 1.3 ประวัติความเป็นมาของการสื่อสารดิจิทัล | 1.12 บรรณานุกรม |
| 1.4 ยานความถี่ที่ใช้งาน | |
| 1.5 ทำไมต้องใช้การสื่อสารดิจิทัล | |
| 1.6 แบบจำลองไอเอสไอ | |
| 1.7 แบบจำลองระบบสื่อสารดิจิทัล | |
| 1.8 ตัวชี้บอกสมรรถนะของระบบ | |
| 1.9 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ | |

Disclaimer: ทรัพยากรนี้มีการคัดลอกผลงานจากที่อื่นๆ โดยไม่ถูกต้อง ในสื่อการสอนนี้ ข้าพเจ้า ศ.ดร.โอบะ ไดโนบุทสึมิจะขอเป็นผู้รับผิดชอบแต่เพียงผู้เดียว

1.1 พื้นฐานระบบสื่อสาร

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
Nakhon Pathom Rajabhat University

- ระบบสื่อสารมีสองความหมายคือ
 - ระบบที่ส่งผ่านข้อมูลจากจุดหนึ่ง (ต้นทาง) ไปยังอีกจุดหนึ่ง (ปลายทาง) เช่น ระบบรับส่งคลื่นวิทยุ ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ เป็นต้น
 - ระบบที่ส่งผ่านข้อมูลจากช่วงเวลาหนึ่ง (ต้นทาง) ไปยังอีกช่วงเวลาหนึ่ง (ปลายทาง) ได้แก่ ระบบการบันทึกข้อมูลเชิงแสงหรือเชิงแม่เหล็ก (เช่น ซีดี ดีวีดี หรือ HDD)
- ในทางปฏิบัติข้อมูลที่รับส่งในระบบสื่อสารจะเป็นอะไรก็ได้
 - เช่น เสียง รูปภาพ วีดีโอ เพลง อีเมลล์ เว็บเพจ
- จุดมุ่งหมายหลักของระบบสื่อสารก็คือวงจรภาครับต้องสามารถตรวจหา (detect) และถอดรหัส (decode) ให้ได้ว่าข้อมูลที่ถูกลงส่งมาจากวงจรภาคส่ง (transmitter) คืออะไร โดยไม่เกิดข้อผิดพลาด (error) หรือมีข้อผิดพลาดเกิดขึ้นภายในขอบเขตที่ยอมรับได้

Disclaimer: ทรัพยากรนี้มีการคัดลอกผลงานจากที่อื่นๆ โดยไม่ถูกต้อง ในสื่อการสอนนี้ ข้าพเจ้า ศ.ดร.โอบะ ไดโนบุทสึมิจะขอเป็นผู้รับผิดชอบแต่เพียงผู้เดียว

1.2 เทคโนโลยีการสื่อสารดิจิทัล

□ ในปัจจุบันระบบสื่อสารดิจิทัลมีให้เลือกใช้งานเป็นจำนวนมาก

- ระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ (LAN, MAN, WAN, Internet)
- ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ 3G และ 4G ที่ใช้เทคโนโลยี GSM, EDGE, CDMA, OFDM, MIMO
- ระบบการสื่อสารไร้สาย เช่น Bluetooth, Wi-Fi, WiMAX, UWB
- ระบบการกระจายเสียงดิจิทัล (DAB)
- ระบบการกระจายภาพดิจิทัล (DVB)

□ เทคโนโลยีการสื่อสารดิจิทัลยังคงมีการพัฒนาอยู่ตลอดเวลา เพื่อให้บรรลุเป้าประสงค์ของการใช้งานใน....

ทุกที่ (anywhere), ทุกเวลา (anytime), ทุกสิ่ง (anything) และทุกคน (anybody)

Disclaimer: ภาพหน้าปกนี้คัดลอกผลงานจากสื่อฯ โดยไม่ถูกต้อง ในเชิงการสนทนา จำหน่าย การ Copy ใดก็ตามที่ผิดลิขสิทธิ์จะเป็นผู้รับผิดชอบแต่เพียงผู้เดียว

1.3 ประวัติความเป็นมาของการสื่อสารดิจิทัล

ปี ค.ศ.	เหตุการณ์สำคัญ
1837	โทรเลข (telegraph) และรหัสมอร์ส
1876	โทรศัพท์
1924	Harry Nyquist นำเสนอทฤษฎีการเข้ารหัสของสัญญาณที่มีแบนด์วิดท์จำกัด
1928	Ralph Hartley นำเสนอการคำนวณอัตราส่งข้อมูลสูงสุดที่สามารถส่งผ่านช่องสัญญาณที่มีแบนด์วิดท์จำกัด
1939	การแพร่สัญญาณโทรทัศน์ (TV broadcasting) เชิงพาณิชย์
1948	Claude Shannon เสนอทฤษฎีบทของแชนนอนที่ใช้สำหรับคำนวณความจุสูงสุดของช่องสัญญาณที่ขึ้นกับแบนด์วิดท์และค่าอัตราส่วนกำลังเฉลี่ยของสัญญาณต่อกำลังเฉลี่ยของสัญญาณรบกวน
1950	Richard Hamming ประดิษฐ์รหัสแฮมมิงแบบ (7,4) ซึ่งถือว่าเป็นรหัส ECC แบบแรกของโลก
1952	David Huffman ประดิษฐ์รหัสฮัฟฟ์แมน (สำหรับบีบอัดข้อมูล)
1956	ชาร์ลิสต์โคไรท์ตัวแรกที่มีจำหน่ายในท้องตลาด (IBM 305 RAMAC)
1960	Robert Gallager ประดิษฐ์รหัส LDPC (low-density parity-check) Irving Reed และ Gustave Solomon ประดิษฐ์รหัส RS (Reed-Solomon)
1962	การสื่อสารผ่านดาวเทียม (TELSTAR 1)
1966	George Forney ประดิษฐ์รหัสแก้ไขข้อผิดพลาดแบบต่อกัน (concatenated ECC)
1967	Andrew Viterbi ประดิษฐ์อัลกอริทึมวิเทอโรบีที่ใช้อัลกอริทึมข้อมูลที่ถูกเข้ารหัสด้วยรหัสคอนโวลูชัน
1970	ระบบเครือข่าย LAN, WAN และ MAN

Disclaimer: ภาพหน้าปกนี้คัดลอกผลงานจากสื่อฯ โดยไม่ถูกต้อง ในเชิงการสนทนา จำหน่าย การ Copy ใดก็ตามที่ผิดลิขสิทธิ์จะเป็นผู้รับผิดชอบแต่เพียงผู้เดียว

1977	Jacob Ziv และ Adam Lempel ประดิษฐ์รหัส Lempel-Ziv (สำหรับบีบอัดข้อมูล)
1978	ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก (GPS: global positioning system) โดย Navstar
1979	ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคหนึ่ง (1G)
1980	แบบจำลอง OSI (open system interconnection)
1988	ระบบเครือข่าย ISDN (integrated services digital network)
1991	ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคสอง (2G)
1993	Claude Berrou, Alain Glavieux และ Punya Thitimajshima ประดิษฐ์รหัสเทอร์โบ (turbo code)
1995	Catherine Douillard, Michel Jézéquel และ Claude Berrou นำเสนอเทคนิคอีควอลไลเซชันแบบเทอร์โบ (turbo equalization)
1998	มาตรฐาน Wideband CDMA (มาตรฐานการเชื่อมต่อทางอากาศสำหรับเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคสาม)
2000	มาตรฐาน IMT 2000 และระบบ UMTS (universal mobile telecommunications system)
2001	ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคสาม (3G)
2004	มาตรฐาน WiMAX
2009	ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคสี่ (4G)

Disclaimer: ทบทวนเนื้อหาที่คัดลอกมาจากที่ใดๆ โดยไม่ต้อง รับผิดชอบนี้ ข้าพเจ้า ศ.ดร.โอบ ไดโนภักดิ์ ขอเป็นผู้รับผิดชอบแต่เพียงผู้เดียว

1.4 ย่านความถี่ที่ใช้งาน

ความถี่	ย่านความถี่	ความยาวคลื่น	การใช้งาน
3 Hz	ELF (extremely low frequency)	10^7 km	
30 Hz	SLF (super low frequency)	10^6 km	submarine
300 Hz	ULF (ultra low frequency)	10^5 km	magnetosphere, seismology, amateur radio
3 kHz	VLF (very low frequency)	100 km	radio navigation
30 kHz	LF (low frequency)	10 km	RFID, maritime, standard time signals, amateur radio
300 kHz	MF (medium frequency)	1 km	AM broadcast, maritime, aircraft navigation
3 MHz	HF (high frequency)	100 m	RFID, business, amateur/international radio
30 MHz	VHF (very high frequency)	10 m	mobile, aeronautical, FM and VHF TV broadcast
300 MHz	UHF (ultra high frequency)	1 m	RFID, UHF TV broadcast, mobile
3 GHz	SHF (super high frequency)	10 cm	microwave devices, WLAN, radar, satellite
30 GHz	EHF (extremely high frequency)	1 cm	radio astronomy, remote sensing, broadband Internet
300 GHz		1 mm	

Disclaimer: ทบทวนเนื้อหาที่คัดลอกมาจากที่ใดๆ โดยไม่ต้อง รับผิดชอบนี้ ข้าพเจ้า ศ.ดร.โอบ ไดโนภักดิ์ ขอเป็นผู้รับผิดชอบแต่เพียงผู้เดียว

1.5 ทำไมต้องใช้การสื่อสารดิจิทัล

ระบบสื่อสารแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

- ระบบสื่อสารแอนะล็อก ⇒ วงจรภาครับทำหน้าที่ในการสร้างรูปคลื่นสัญญาณใหม่ให้เหมือนกับรูปคลื่นสัญญาณต้นฉบับที่ถูกส่งมาจากวงจรถูกส่ง
 - ตัวชี้บอกสมรรถนะ ⇒ ความสมบูรณ์ของสัญญาณที่สร้างกลับคืนมา
- ระบบสื่อสารดิจิทัล ⇒ วงจรภาครับจะพิจารณาว่ารูปคลื่นสัญญาณใดที่ถูกส่งมาจากวงจรถูกส่ง (โดยไม่สนใจว่าสัญญาณที่ส่งมามีรูปร่างอย่างไร)
 - ตัวชี้บอกสมรรถนะ ⇒ ความน่าจะเป็นของข้อผิดพลาด (หรือ BER) ที่อาจเกิดขึ้น เมื่อวงจรถูกตัดสัญญาณผิดพลาด

ระบบสื่อสารดิจิทัลไม่เป็นที่นิยมใช้งานในอดีต เพราะ

- ใช้แบนด์วิดท์อย่างสิ้นเปลือง
- A/D converter มีราคาแพงมาก

Disclaimer: ภาพยนตร์เพื่อการทดลองทางเทคนิค โดยไม่ต้องสนใจการสนทนาจากผู้จัดทำ การ Copy ใดก็ตามที่ผิดจรรยาบรรณของผู้ใช้

ปัจจัยสำคัญที่ทำให้ระบบสื่อสารดิจิทัลเป็นที่นิยมมากขึ้นคือ

- การพัฒนาอัลกอริทึมต่างๆ (บีบอัดข้อมูล และแก้ไขข้อผิดพลาด)
- การพัฒนาระบบประมวลผลสัญญาณดิจิทัล
- การพัฒนามาตรฐาน

ปัจจุบัน ระบบสื่อสารดิจิทัลได้ถูกนำมาใช้เป็นมาตรฐานของระบบสื่อสารต่างๆ เช่น ระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ ระบบสื่อสารผ่านดาวเทียม ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ และระบบสื่อสารไร้สาย เป็นต้น

Disclaimer: ภาพยนตร์เพื่อการทดลองทางเทคนิค โดยไม่ต้องสนใจการสนทนาจากผู้จัดทำ การ Copy ใดก็ตามที่ผิดจรรยาบรรณของผู้ใช้

ข้อดีของการสื่อสารดิจิทัล

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
Nakhon Pathom Rajabhat University

- สัญญาณดิจิทัลมีความทนทานต่อความผิดพลาดและการแทรกสอด
- สัญญาณดิจิทัลสามารถสร้างให้กลับคืนมาได้โดยสมบูรณ์โดยง่าย
- วงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้งานกับสัญญาณดิจิทัลมีความยืดหยุ่นและราคาถูก
- เทคนิคการรวมสัญญาณดิจิทัลด้วยวิธีการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา (TDM) มีความซับซ้อนน้อยกว่าการรวมสัญญาณแอนะล็อกด้วยวิธีการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความถี่ (FDM)
- ข้อมูลต่างๆ เช่น เสียง รูปภาพ เพลง และอีเมล เป็นต้น สามารถแปลงให้อยู่ในรูปของสัญญาณดิจิทัลได้ จึงทำให้ง่ายต่อการรวมสัญญาณ
- เทคนิคการประมวลผลสัญญาณแบบใหม่ๆ เพื่อรองรับการใช้งานสัญญาณดิจิทัล (การเข้ารหัสแก้ไขข้อผิดพลาดการบีบอัดข้อมูล) ทำให้สัญญาณดิจิทัลที่ส่งไปมีประสิทธิภาพและมีความน่าเชื่อถือสูง

Disclaimer: ภาพหน้าปกมีการคัดลอกผลงานจากผู้อื่น โดยไม่ถูกต้อง ในเชิงการสนทนาทางวิชาการ โดยไม่มีการขออนุญาตจากผู้ใด

ข้อเสียของการสื่อสารดิจิทัล

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
Nakhon Pathom Rajabhat University

- ระบบสื่อสารดิจิทัลจำเป็นต้องใช้กระบวนการสำหรับการประสานเวลา (synchronization) ของบิต, สัญลักษณ์ (symbol), และเฟรม (frame) ซึ่งวงจรที่ทำหน้าที่นี้มีความซับซ้อนและราคาแพง
- ระบบสื่อสารดิจิทัลจะมีสมรรถนะลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อระบบทำงานที่ค่า SNR ต่ำกว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยน (threshold level) ที่กำหนด
 - สมรรถนะของระบบสื่อสารแอนะล็อกจะลดลงอย่างช้าๆ
- เครื่องทวนสัญญาณ (repeater) ที่ใช้ในระบบสื่อสารดิจิทัลมีความซับซ้อนและราคาแพงมากกว่าเครื่องทวนสัญญาณที่ใช้ในระบบสื่อสารแอนะล็อก
- อย่างไรก็ตาม**โดยภาพรวมแล้ว ระบบสื่อสารดิจิทัลในปัจจุบันถือว่ามีสมรรถนะดีกว่าระบบสื่อสารแอนะล็อก

Disclaimer: ภาพหน้าปกมีการคัดลอกผลงานจากผู้อื่น โดยไม่ถูกต้อง ในเชิงการสนทนาทางวิชาการ โดยไม่มีการขออนุญาตจากผู้ใด

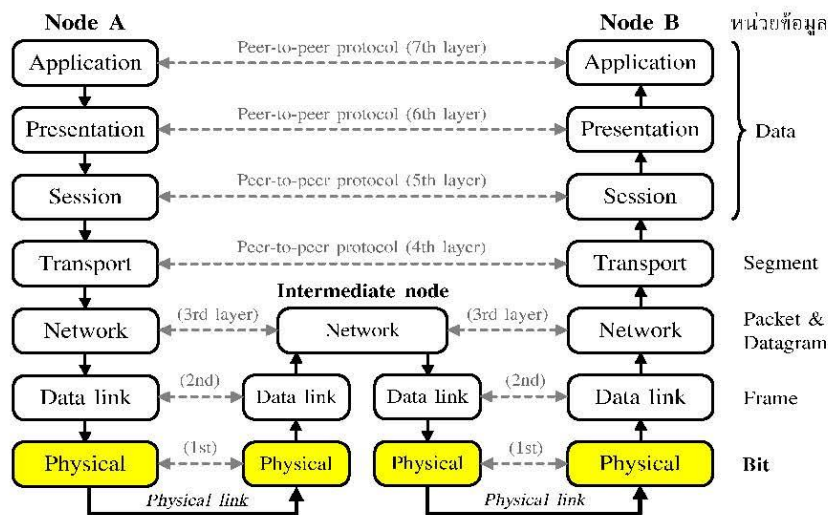
1.6 แบบจำลองโอเอสไอ

□ แบบจำลองโอเอสไอ (OSI: Open Systems Interconnection) เป็นมาตรฐานในการอธิบายกระบวนการติดต่อสื่อสารและโพรโทคอล (protocol) ของระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์

- พัฒนาขึ้นโดยองค์กร ISO (international organization for standardization)
- แบ่งออกเป็น 7 ชั้น

□ Physical layer นิยามข้อกำหนดทางไฟฟ้าและทางกายภาพของอุปกรณ์ที่ใช้ในการรับส่งข้อมูล รวมทั้งความสัมพันธ์ระหว่างอุปกรณ์และตัวกลาง เช่น ตัวกลางแบบใช้สาย (เช่น สายทองแดง สายดีเกิลีวคู์ เส้นใยนำแสง) หรือแบบไม่ใช้สาย (เช่น อากาศ), ใช้กำลังไฟฟ้าเท่าใด, ใช้ตัวต่อประสาน (interface) แบบใด, และใช้ความเร็วในการรับส่งข้อมูลเท่าใด เป็นต้น

Disclaimer: หากพบว่ามีภาพที่ลอกผลงานจากผู้อื่น โดยไม่แจ้งก่อน ในสื่อการสอนนี้ จำเป็น กรุณา: ติชม/แจ้ง/วิพากษ์/ขอเป็นผู้ใช้ของแบบเรียนนี้ด้วย



Disclaimer: หากพบว่ามีภาพที่ลอกผลงานจากผู้อื่น โดยไม่แจ้งก่อน ในสื่อการสอนนี้ จำเป็น กรุณา: ติชม/แจ้ง/วิพากษ์/ขอเป็นผู้ใช้ของแบบเรียนนี้ด้วย

Data link layer ทำหน้าที่จัดเตรียมข้อมูลที่จะส่งผ่านตัวกลาง และควบคุมการถ่ายโอนข้อมูลระหว่างโหนดเพื่อให้ได้สมรรถนะสูงสุด

- มีชั้นย่อยที่เรียกว่า MAC (medium access control) ที่ควบคุมการสื่อสารแบบการเข้าถึงหลายทาง

Network layer รับผิดชอบกระบวนการติดต่อสื่อสารระหว่างเครือข่าย ซึ่งทำให้สามารถส่งข้อมูลระหว่างโหนดข้ามเครือข่ายได้

- IP address, routing, QoS, flow control

Transport layer รับผิดชอบกระบวนการส่งข้อมูลจากโหนดหนึ่งไปยังอีกโหนดหนึ่ง (ต่างเครือข่ายก็ได้)

- การแบ่งส่วน (segmentation) และการรวมข้อมูล (assembly)

Disclaimer: ทบทวนวิธีการคัดลอกผลงานทางวิชาการ โดยไม่ต้องแจ้งในชื่อการสนธิสัญญาสงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

Session layer รับผิดชอบการควบคุมการเชื่อมต่อระหว่างโหนด โดยทำหน้าที่จัดตั้ง/จัดการ/ยกเลิกการโต้ตอบระหว่างกระบวนการ

Presentation layer รับผิดชอบการกำหนดรูปแบบการรับส่งข้อมูล (เช่น ASCII, EBCDIC หรือ Binary) การแปลงข้อมูล การเข้ารหัสและถอดรหัส และการบีบอัดข้อมูล

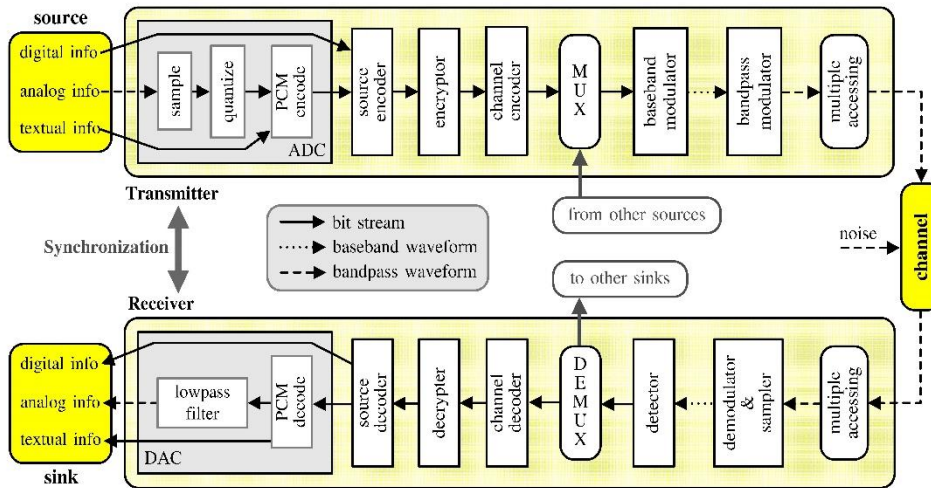
Application layer ทำหน้าที่ติดต่อกับผู้ใช้โดยตรง นั่นคือจะรับคำสั่งต่างๆ จากผู้ใช้ แล้วส่งให้คอมพิวเตอร์แปลความหมายและทำงานตามคำสั่งที่ได้รับในระดับโปรแกรมประยุกต์

วิชานี้จะเน้นทฤษฎีพื้นฐานที่เกิดขึ้นเฉพาะภายใน **Physical layer** ของระบบสื่อสารดิจิทัลเท่านั้น

- Modulation, demodulation, source coding, channel coding, etc.

Disclaimer: ทบทวนวิธีการคัดลอกผลงานทางวิชาการ โดยไม่ต้องแจ้งในชื่อการสนธิสัญญาสงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

1.7 แบบจำลองระบบสื่อสารดิจิทัล



Downloaded from <http://www.kit-ebook.com> by user on 2018-07-10 10:10:10 AM. All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or by any information storage and retrieval system, without permission in writing from the copyright owner.

□ แหล่งต้นทาง (source) หมายถึงข่าวสารต้นฉบับที่ผู้ใช้งานต้องการจะส่งผ่านระบบสื่อสารดิจิทัลไปยังแหล่งปลายทาง (sink) โดยข่าวสารนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทคือ

- ข่าวสารดิจิทัล (digital information) คือกระแสบิต (bit stream) หรือลำดับข้อมูล (data sequence) ที่อยู่ในรูปของบิต 0 และบิต 1 เรียงต่อกัน ซึ่งพร้อมส่งต่อไปยังวงจรเข้ารหัสแหล่งต้นทาง (source encoder)
- ข่าวสารที่เป็นข้อความ (textual information) เช่น ตัวอักษร จะต้องถูกทำการเข้ารหัสพีซีเอ็ม (PCM encoding) เพื่อแปลงให้เป็นข่าวสารดิจิทัล
- ข่าวสารแอนะล็อก (analog information) เช่น เสียงพูด จะต้องถูกส่งเข้าไปยังวงจร ADC เพื่อแปลงให้เป็นข่าวสารดิจิทัล

Downloaded from <http://www.kit-ebook.com> by user on 2018-07-10 10:10:10 AM. All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or by any information storage and retrieval system, without permission in writing from the copyright owner.

- ❑ **วงจรรภาคส่ง (transmitter)** ทำหน้าที่จัดเตรียมและปรับแต่งข้อมูลจากแหล่งต้นทางให้พร้อมสำหรับการส่งผ่านตัวกลางไปยังแหล่งปลายทาง โดยทั่วไปวงจรรภาคส่งมีส่วนประกอบหลักดังนี้
- ❑ **ช่องสัญญาณ (channel)** ก็คือตัวกลางทางกายภาพ (physical link) เช่น สายตีเกลียวคู่ สายเคเบิล เส้นใยนำแสง อากาศ หรือสื่อบันทึกของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ เป็นต้น ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการส่งผ่านข้อมูลจากแหล่งต้นทางไปยังแหล่งปลายทาง
- ❑ **สัญญาณรบกวน (noise)** เป็นสัญญาณที่ระบบไม่ต้องการเพราะจะไปขัดขวางการทำงานของวงจรรภาครับในการตรวจหาและถอดรหัสข้อมูล กล่าวคือถ้าระบบมีสัญญาณรบกวนมาก วงจรรภาครับก็จะมีข้อผิดพลาดมาก
- ❑ **วงจรรภาครับ (receiver)** ทำหน้าที่ปรับแต่ง ตรวจหา และถอดรหัสสัญญาณที่ส่งผ่านช่องสัญญาณให้เป็นข้อมูลที่เหมือนกับข้อมูลต้นฉบับให้มากที่สุด (มีข้อผิดพลาดน้อยสุด)

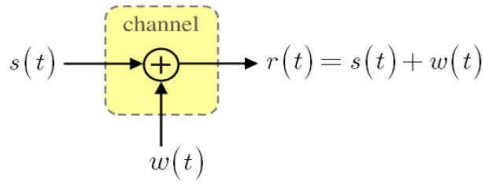
Disclaimer: ภาพหน้าปกมีการคัดลอกผลงานจากผู้อื่น โดยไม่ถูกต้อง ในเชิงการสนทนา ๓.๓๖.๒๐๒๐ ได้บันทึกไว้แล้ว ขอเป็นผู้ใช้โดยไม่ผิดชอบแต่ผู้เดียว

1.8 ตัวชี้บอกสมรรถนะของระบบ

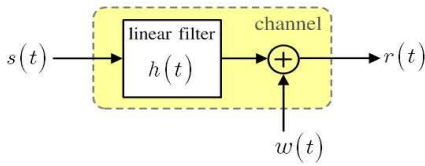
- ❑ **SNR** ถ้าให้ระบบ 2 ระบบมีสมรรถนะในรูปของ BER วัดที่ด้านขาออกของวงจรรตรวจหาเท่ากัน ระบบใดที่ใช้กำลังส่งข้อมูลน้อยกว่า (ใช้ SNR น้อยกว่า) ก็ถือว่าสมรรถนะดีกว่า
- ❑ **BER** ถ้าให้ระบบ 2 ระบบใช้ SNR เท่ากัน ระบบใดมีค่า BER วัดที่ด้านขาออกของวงจรรตรวจหาน้อยกว่า ก็ถือว่าสมรรถนะดีกว่า
 - ค่า BER เป็นฟังก์ชันของ SNR \Rightarrow SNR \uparrow BER \downarrow
 - ระบบทำงานที่ระดับ SNR สูงๆ **ไม่ได้** เพราะต้องเสียค่าใช้จ่ายมาก
 - สัญญาณเสียง (voice) มีคุณภาพดี \Rightarrow BER $\leq 10^{-3}$,
 - สัญญาณข้อมูล (data) มีคุณภาพดี \Rightarrow BER $\leq 10^{-5}$,
 - สัญญาณผ่านเส้นใยนำแสงมีคุณภาพดี \Rightarrow BER $\leq 10^{-12}$,
 - ระบบประมวลผลสัญญาณของ HDD มีคุณภาพดี \Rightarrow BER $\leq 10^{-20}$

Disclaimer: ภาพหน้าปกมีการคัดลอกผลงานจากผู้อื่น โดยไม่ถูกต้อง ในเชิงการสนทนา ๓.๓๖.๒๐๒๐ ได้บันทึกไว้แล้ว ขอเป็นผู้ใช้โดยไม่ผิดชอบแต่ผู้เดียว

1.9 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์



ช่องสัญญาณที่มีสัญญาณรบกวนแบบขาว
หรือช่องสัญญาณ **AWGN**



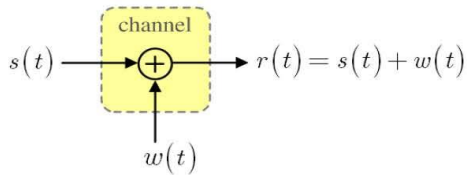
ช่องสัญญาณตัวกรองเชิงเส้น

$$r(t) = s(t) * h(t) + w(t) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t-\tau)h(\tau)d\tau + w(t)$$

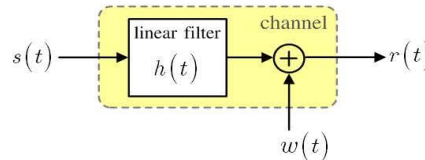
ช่องสัญญาณตัวกรองเชิงเส้นที่แปรเปลี่ยนตามเวลา $\Rightarrow h(t; \tau) = \sum_{k=1}^L \alpha_k(t) \delta(\tau - \tau_k)$

Disclaimer: หากพบว่ามีสิทธิ์ละเมิดงานจากผู้อื่น โดยไม่แจ้งชื่อ ในสื่อการสอนนี้ จำเป็นต้อง ได้รับความยินยอม ขอเป็นผู้ใช้รับผิดชอบแต่เพียงผู้เดียว

ช่องสัญญาณที่มีสัญญาณรบกวนแบบขาว
หรือช่องสัญญาณ **AWGN**



ช่องสัญญาณตัวกรองเชิงเส้น



$$r(t) = s(t) * h(t) + w(t) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t-\tau)h(\tau)d\tau + w(t)$$

Disclaimer: หากพบว่ามีสิทธิ์ละเมิดงานจากผู้อื่น โดยไม่แจ้งชื่อ ในสื่อการสอนนี้ จำเป็นต้อง ได้รับความยินยอม ขอเป็นผู้ใช้รับผิดชอบแต่เพียงผู้เดียว

ช่องสัญญาณตัวกรองเชิงเส้นที่แปรเปลี่ยนตามเวลา เป็นช่องสัญญาณที่มีคุณสมบัติเปลี่ยนแปลงตามเวลา เช่น การสื่อสารไร้สาย การสื่อสารใต้น้ำ และการสื่อสารวิทยุโอไอโนสเฟียร์

ในกรณีนี้ผลตอบสนองอิมพัลส์ของวงจรวงจรกรองเชิงเส้นจะเป็นฟังก์ชันของเวลา

$$h(t; \tau) = \sum_{k=1}^L \alpha_k(t) \delta(\tau - \tau_k)$$

ดังนั้นสัญญาณเอาต์พุตของช่องสัญญาณนี้เขียนได้เป็น

$$r(t) = s(t) * h(t; \tau) + w(t) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t - \tau) h(t; \tau) d\tau + w(t)$$

Disclaimer: ทบทวนมีการคัดลอกผลงานทางปัญญา โดยไม่ถูกต้อง ในสื่อการสอนนี้ ข้าพเจ้า ศ.ดร.โอบะ ไดโนบุมิจะรับชมจะเป็นผู้รับผิดชอบแต่เพียงผู้เดียว

1.10 สรุป

- ในบทนี้ได้อธิบายพื้นฐานระบบสื่อสารและประวัติความเป็นมาของการสื่อสารดิจิทัล เพื่อให้ผู้อ่านทราบถึงพัฒนาการทางด้านต่างๆ ที่ผ่านมามาถึงระบบสื่อสารดิจิทัลที่ใช้ในปัจจุบัน เช่น ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ ระบบสื่อสารผ่านดาวเทียม ระบบประมวลผลสัญญาณของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ เป็นต้น นอกจากนี้ยังได้กล่าวถึงแบบจำลองโอเอสไอที่แบ่งออกเป็น 7 ชั้น (ตามรูปที่ 1.2) เพื่อใช้อธิบายกระบวนการติดต่อสื่อสารและโพรโทคอลของระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ โดยหนังสือเล่มนี้จะเน้นไปที่กระบวนการทำงานที่เกิดขึ้นเฉพาะภายใน Physical layer เท่านั้นซึ่งแสดงเป็นแบบจำลองได้ตามรูปที่ 1.3 นอกจากนี้ยังได้อธิบายแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบต่างๆ ที่นิยมใช้ในการศึกษา วิเคราะห์ และออกแบบระบบสื่อสารดิจิทัล

Disclaimer: ทบทวนมีการคัดลอกผลงานทางปัญญา โดยไม่ถูกต้อง ในสื่อการสอนนี้ ข้าพเจ้า ศ.ดร.โอบะ ไดโนบุมิจะรับชมจะเป็นผู้รับผิดชอบแต่เพียงผู้เดียว

1.11 แบบฝึกหัด

1. จงอธิบายความแตกต่างของระบบสื่อสารแอนะล็อกและระบบสื่อสารดิจิทัล พร้อมทั้งอธิบายข้อดีและข้อเสียของแต่ละระบบ
2. จงอธิบายแบบจำลองโอเอสไอในรูปแบบที่ 1.2
3. จงอธิบายแบบจำลองระบบสื่อสารดิจิทัลในรูปแบบที่ 1.3
4. จงอธิบายประโยชน์และความแตกต่างของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของช่องสื่อสารแบบต่างๆ

Disclaimer: หากพบว่ามีภาพที่ลอกผลงานจากผู้อื่น โดยไม่แจ้งก่อน ในเชิงการสนทนา กรุณาแจ้งอาจารย์ผู้สอนก่อนเป็นต้นมาเพื่อขออนุญาตก่อน

1.12 บรรณานุกรม

- 1) H. Nguyen and E. Shwedyk, A first course in digital communications. Cambridge: Cambridge university press, England, 2009
- 2) ปิยะ โควินท์ทวีวัฒน์, สัญญาณและระบบ กับการประยุกต์ใช้โปรแกรม SCILAB. ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (เนคเทค), 2552
- 3) A. V. Oppenheim, A. S. Willsky, and S. H. Nawab, Signals and systems. New Jersey: Prentice Hall, 2nd-edition, 1997
- 4) S. T. Karris, Signals and Systems with MATLAB Computing and Simulink Modeling. Orchard Publications, 3rd-edition, 2009
- 5) ปิยะ โควินท์ทวีวัฒน์, คู่มือโปรแกรมภาษา SCILAB สำหรับผู้เริ่มต้น (พิมพ์ครั้งที่ 2). ศูนย์ผลิตตำราเรียน, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2551
- 6) ลัญฉกร วุฒิสีทธิกุลกิจ, หลักการไฟฟ้าสื่อสาร. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546

Disclaimer: หากพบว่ามีภาพที่ลอกผลงานจากผู้อื่น โดยไม่แจ้งก่อน ในเชิงการสนทนา กรุณาแจ้งอาจารย์ผู้สอนก่อนเป็นต้นมาเพื่อขออนุญาตก่อน

แผนบริหารการสอนประจำสื่อการสอนชุดที่ 2

ความน่าจะเป็นและกระบวนการสุ่ม

หัวข้อเนื้อหาประจำสื่อการสอนชุดที่ 2

1. ความน่าจะเป็น
2. ตัวแปรสุ่ม
 - 2.1 ฟังก์ชันของตัวแปรสุ่ม
 - 2.2 ตัวแปรสุ่มหลายตัว
 - 2.3 โมเมนต์
 - 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสุ่ม
 - 2.5 ตัวแปรสุ่มวิฤตที่น่าสนใจ
3. กระบวนการสุ่ม
 - 3.1 ค่าเฉลี่ยและฟังก์ชันอัตสหสัมพันธ์
 - 3.2 อัตสหสัมพันธ์ของกระบวนการสุ่มสเตชันนารีแบบไวต์เซนส์
 - 3.3 ความหนาแน่นสเปกตรัมกำลัง
 - 3.4 สัญญาณรบกวนในระบบสื่อสาร

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

เมื่อศึกษาสื่อการสอนชุดที่ 2 จบแล้ว นักศึกษาสามารถ

1. เข้าใจความหมายและหลักการของความน่าจะเป็น
2. เข้าใจความหมายและหลักการของตัวแปรสุ่ม
3. สามารถคำนวณหาค่าเฉลี่ยเอนเซมเบิลและโมเมนต์ของตัวแปรสุ่ม ได้
4. เข้าใจความหมายและหลักการของกระบวนการสุ่ม
5. สามารถคำนวณหาค่าเฉลี่ย ฟังก์ชันอัตสหสัมพันธ์ และความหนาแน่นสเปกตรัมกำลัง ของกระบวนการสุ่มสำหรับระบบ LTI ได้

•
•
•

ภาคผนวก ก

ตารางฟังก์ชัน Q

ฟังก์ชัน $Q(x)$ เป็นฟังก์ชันที่สามารถจัดให้อยู่ในรูปของฟังก์ชันการแจกแจงสะสม (cumulative distribution function) ของตัวแปรสุ่มแบบเกาส์เซียนได้ ซึ่งเป็นที่นิยมใช้งานทางด้านสถิติศาสตร์และด้านวิศวกรรมศาสตร์ โดยฟังก์ชัน $Q(x)$ นิยามดังนี้ (Nguyen and Shwedyk, 2009)

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty \exp\left(-\frac{y^2}{2}\right) dy \quad (\text{ก.1})$$

ซึ่งเป็นการหาค่าปริพันธ์ส่วนหางของฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นแบบเกาส์เซียน เมื่อ $\exp(\cdot)$ คือฟังก์ชันเลขชี้กำลัง (exponential function) โดยทั่วไปค่า $Q(x)$ สำหรับค่า x ต่างๆ หาได้จากตารางค้นหา (look-up table) อย่างไรก็ตามในกรณีที่ $x \gg 3$ ฟังก์ชัน $Q(x)$ ประมาณค่าได้ดังนี้

$$Q(x) \approx \frac{1}{x\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) \quad (\text{ก.2})$$

ตารางที่ ก.1 แสดงค่าของฟังก์ชัน $Q(x)$ สำหรับ $0 \leq x \leq 3.59$

คุณสมบัติที่สำคัญของฟังก์ชัน $Q(x)$ มีดังนี้

- 1) $Q(x) = 1 - Q(-x)$
- 2) $Q(x) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{\sqrt{2}}\right)$
- 3) $\operatorname{erfc}(x) = 2Q(x\sqrt{2})$
- 4) $Q^{-1}(x) = \sqrt{2} \operatorname{erfc}^{-1}(2x)$
- 5) $Q(x) < \exp(-x^2/2)$

โดยที่ $\operatorname{erfc}(x)$ คือฟังก์ชันข้อผิดพลาดเติมเต็ม (complementary error function) ซึ่งนิยามโดย

$$\operatorname{erfc}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^\infty \exp(-z^2) dz = 1 - \operatorname{erf}(x) \quad (\text{ก.3})$$

เมื่อ $\operatorname{erf}(x)$ คือฟังก์ชันข้อผิดพลาด (error function) ซึ่งนิยามโดย

$$\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x \exp(-z^2) dz \quad (\text{ก.4})$$

ตารางที่ ก.1 แสดงค่าของฟังก์ชัน $Q(x)$ สำหรับ $0 \leq x \leq 3.59$

x	$Q(x)$	x	$Q(x)$	x	$Q(x)$	x	$Q(x)$	x	$Q(x)$
0.00	0.50000	0.36	0.35942	0.72	0.23576	1.08	0.140070	1.44	0.074934
0.01	0.49601	0.37	0.35569	0.73	0.23270	1.09	0.137860	1.45	0.073529
0.02	0.49202	0.38	0.35197	0.74	0.22965	1.10	0.135670	1.46	0.072145
0.03	0.48803	0.39	0.34827	0.75	0.22663	1.11	0.133500	1.47	0.070781
0.04	0.48405	0.40	0.34458	0.76	0.22363	1.12	0.131360	1.48	0.069437
0.05	0.48006	0.41	0.34090	0.77	0.22065	1.13	0.129240	1.49	0.068112
0.06	0.47608	0.42	0.33724	0.78	0.21770	1.14	0.127140	1.50	0.066807
0.07	0.47210	0.43	0.33360	0.79	0.21476	1.15	0.125070	1.51	0.065522
0.08	0.46812	0.44	0.32997	0.80	0.21186	1.16	0.123020	1.52	0.064255
0.09	0.46414	0.45	0.32636	0.81	0.20897	1.17	0.121000	1.53	0.063008
0.10	0.46017	0.46	0.32276	0.82	0.20611	1.18	0.119000	1.54	0.061780
0.11	0.45620	0.47	0.31918	0.83	0.20327	1.19	0.117020	1.55	0.060571
0.12	0.45224	0.48	0.31561	0.84	0.20045	1.20	0.115070	1.56	0.059380
0.13	0.44828	0.49	0.31207	0.85	0.19766	1.21	0.113140	1.57	0.058208
0.14	0.44433	0.50	0.30854	0.86	0.19489	1.22	0.111230	1.58	0.057053
0.15	0.44038	0.51	0.30503	0.87	0.19215	1.23	0.109350	1.59	0.055917
0.16	0.43644	0.52	0.30153	0.88	0.18943	1.24	0.107490	1.60	0.054799
0.17	0.43251	0.53	0.29806	0.89	0.18673	1.25	0.105650	1.61	0.053699
0.18	0.42858	0.54	0.29460	0.90	0.18406	1.26	0.103830	1.62	0.052616
0.19	0.42465	0.55	0.29116	0.91	0.18141	1.27	0.102040	1.63	0.051551
0.20	0.42074	0.56	0.28774	0.92	0.17879	1.28	0.100270	1.64	0.050503
0.21	0.41683	0.57	0.28434	0.93	0.17619	1.29	0.098525	1.65	0.049471
0.22	0.41294	0.58	0.28096	0.94	0.17361	1.30	0.096800	1.66	0.048457
0.23	0.40905	0.59	0.27760	0.95	0.17106	1.31	0.095098	1.67	0.047460
0.24	0.40517	0.60	0.27425	0.96	0.16853	1.32	0.093418	1.68	0.046479
0.25	0.40129	0.61	0.27093	0.97	0.16602	1.33	0.091759	1.69	0.045514
0.26	0.39743	0.62	0.26763	0.98	0.16354	1.34	0.090123	1.70	0.044565
0.27	0.39358	0.63	0.26435	0.99	0.16109	1.35	0.088508	1.71	0.043633
0.28	0.38974	0.64	0.26109	1.00	0.15866	1.36	0.086915	1.72	0.042716
0.29	0.38591	0.65	0.25785	1.01	0.15625	1.37	0.085343	1.73	0.041815
0.30	0.38209	0.66	0.25463	1.02	0.15386	1.38	0.083793	1.74	0.040930
0.31	0.37828	0.67	0.25143	1.03	0.15151	1.39	0.082264	1.75	0.040059
0.32	0.37448	0.68	0.24825	1.04	0.14917	1.40	0.080757	1.76	0.039204
0.33	0.37070	0.69	0.24510	1.05	0.14686	1.41	0.079270	1.77	0.038364

ประวัติผู้เรียบเรียง

ศ.ดร.ปิยะ โควินท์ทวีวัฒน์

การศึกษา

- พ.ศ. 2537 ปริญญาตรี (เกียรตินิยม) มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, กรุงเทพฯ, ประเทศไทย
- พ.ศ. 2541 ปริญญาโท Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden
- พ.ศ. 2547 ปริญญาเอก Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA, USA

ประสบการณ์ทำงาน

- อาจารย์และนักวิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม (พ.ศ. 2548 – ปัจจุบัน)
- อาจารย์พิเศษ (KMUTNB, KMITL, KMUTT และ TU)
- Technical Intern, Seagate Research Center, Pittsburgh, PA, USA (รวม 1 ปี)
- ผู้ช่วยนักวิจัย ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีเครือข่าย ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (เนคเทค) ประเทศไทย (1 ปี)
- วิศวกร บริษัท TT&T (มหาชน) จำกัด ประเทศไทย (3.5 ปี)

ผลงานทางวิชาการ

- บทความวิจัยระดับชาติและนานาชาติ 150 บทความ
- สิทธิบัตร 5 ฉบับ และหนังสือ 10 เล่ม

งานวิจัย

- ระบบการประมวลผลสัญญาณสำหรับการจัดเก็บข้อมูลดิจิทัล
- เทคโนโลยีการตรวจหาแบบวนซ้ำ (iterative detection)
- เทคโนโลยี RFID (radio frequency identification)