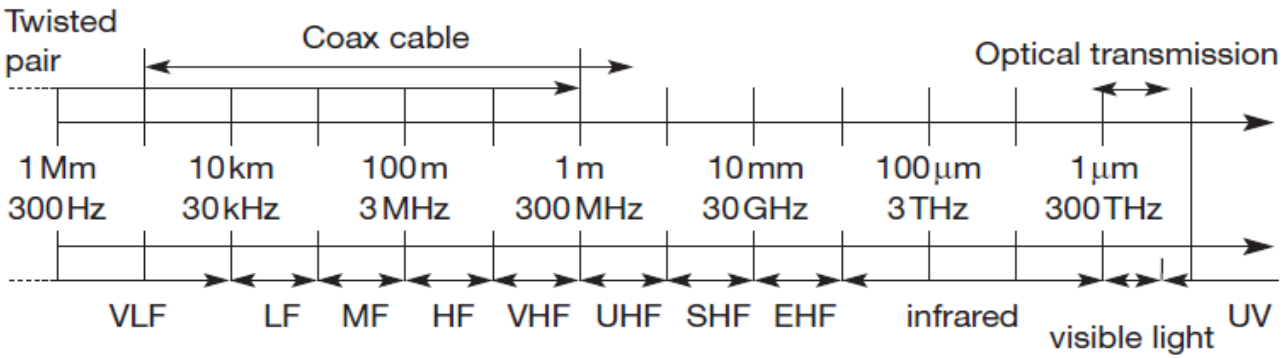
แก้ไขครั้งล่าสุดเมื่อวันที่ 16 มกราคม 2568

Chapter 02 – Wireless Transmission

Frequency Spectrum

ปัญหาหลักของ wireless ที่ต่างจาก wired คือ การรบกวน (interference) ทำให้เกิด transmission error

Figure 2.1
Frequency spectrum



V = Very
U = Ultra
S = Super
E = Extreme

L = Low
M = Medium
H = High

Frequencies for Radio Transmission

- ความถี่อยู่ในช่วง 300 Hz – 300 THz
- ความยาวคลื่น = ความเร็วแสง / ความถี่ (ความเร็วแสงมีค่าประมาณ $3x10^8$ m/s ในสุญญากาศ)
- Wired transmission
  - Twisted pair copper wires: several hundred kHz, some km
  - Coaxial cable: several hundred MHz, some 100 m
  - Fiber optics: several hundred THz
- Radio (wireless) transmission
  - Very low frequency (VLF)
  - Low frequency (LF) ใช้ในเรือดำน้ำ คลื่นเดินทางผ่านน้ำและไปตามพื้นผิวโลกได้ ใช้ในสถานีวิทยุบางสถานี
  - Medium frequency (MF) และ High frequency (HF)
    - Amplitude modulation (AM) 520 – 1605.5 kHz
    - Short wave (SW) 5.9 – 26.1 MHz
    - Frequency modulation (FM) 87.5 – 108 MHz

Grundig Satellit 400 solid-state, digital shortwave receiver, c. 1986[1]

Frequencies for Radio Transmission

- Low frequency (LF) ใช้ในสถานีวิทยุ AM
- High frequency (HF) ใช้ในสถานีวิทยุ FM
- เส้นแบ่งความถี่อาจจะแตกต่างกันไปตามกฎหมายในแต่ละประเทศ (ห้ามนำอุปกรณ์บางอย่างไปใช้ข้ามประเทศ)
- Transmission power อาจสูงถึง 500 kW (มือถือใช้ 1 W - อัปโหลดไม่ดี)
- VHF (174 – 230 MHz), UHF (470 – 790 MHz) ใช้ถ่ายทอดสัญญาณ analog TV
- 223 – 230 MHz และ 1452 – 1472 MHz ใช้ใน digital audio broadcasting (DAB)
- 470 – 862 MHz ใช้ใน digital TV (แทนที่ analog TV)
- 450 – 456 MHz ใช้ในโทรศัพท์มือถือแบบ analog
- 890 – 960 MHz, 1710–1880 MHz ใช้ในโทรศัพท์มือถือแบบ digital GSM
- 1880 – 1900 MHz, Digital enhanced cordless telephone (DECT)
- 1900 – 1980 MHz, 2020 – 2025 MHz, 2110 – 2190 MHz, 3G cellular systems - Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) standard

Frequencies for Radio Transmission

- VHF โดยเฉพาะ UHF ใช้เสาอากาศ (antennas) เล็ก ๆ ได้ จึงเหมาะกับโทรศัพท์มือถือ
- Super high frequency (SHF) ใช้สำหรับ directed microwave links (2 – 40 GHz) และ fixed satellite services
  - C-band (4 และ 6 GHz),
  - Ku-band (11 และ 14 GHz)
  - Ka-band (19 และ 29 GHz)

- Extremely high frequency (EHF) พบในบางระบบเท่านั้น
- Infrared (IR) ใช้ส่งข้อมูลแบบ directed links เช่น ระหว่างอาคาร
- Visible light มนุษย์รู้จักใช้ความถี่ในย่านนี้มานานแล้ว เกิดการรบกวนสูง ตา (eyes) คือ อุปกรณ์รับสัญญาณ (receiver)
- จะเห็นว่ายิ่งความถี่สูงมาก การรบกวนก็จะยิ่งมากขึ้นตามลำดับ ทำให้ใช้ส่งข้อมูลเป็นระยะทางไกลมากไม่ได้ แต่ถ้าใช้ความถี่สูงจะส่งข้อมูลได้มากกว่า เช่น fiber optics แต่ต้องส่งในสาย เพื่อป้องกันการรบกวน

Frequencies for Radio Transmission

- รัฐบาลจะเป็นผู้จัดสรรความถี่ เพื่อไม่ให้เกิดการรบกวน (interference) เช่น German regulation ครอบคลุม 9 kHz – 275 GHz (ความถี่ต่ำเป็นเสียงพูดของมนุษย์ ความถี่สูงเป็นแสงที่ตามองเห็น)

สำนักงาน กสทช.
สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ

กสทช. เป็นองค์กรอิสระ ที่รัฐธรรมนูญฯ พ.ศ. 2550 กำหนดให้มาทำหน้าที่ในการจัดสรรคลื่นความถี่ และกำกับดูแล วิทยุ-โทรทัศน์ และโทรคมนาคม ให้เกิดการปฏิรูปสื่อ คือเร่งกระจายความเป็นเจ้าของคลื่นความถี่จากที่หน่วยงานภาครัฐเท่านั้นที่ถือครอง ให้ไปสู่มือของผู้ประกอบการและประชาชนที่หลากหลาย โดยหน่วยงานของรัฐที่เป็นเจ้าของเดิม ก็ยังได้คงถือครองคลื่นบางส่วนตามความจำเป็นและเหมาะสม รวมทั้งทำงานด้านการพัฒนาคุณภาพและระบบการกำกับดูแลกันเองของผู้ประกอบกิจการ

Regulations

- The International Telecommunications Union (ITU)
  ตั้งอยู่ที่กรุงเจนีวา ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
- ITU เป็น sub-organization ของ UN ดูแลเรื่อง standardization ของทั้ง wired และ wireless
  - Region 1:
    Europe, the Middle East, countries of the former Soviet Union, and Africa
  - Region 2:
    Greenland, North and South America
  - Region 3:
    Far East, Australia, and New Zealand
- Harmonization ระหว่างแต่ละประเทศ จะทวีความสำคัญ เมื่อใช้ดาวเทียมแบบใหม่
  low earth-orbiting satellites

Table 2.1 Example systems and their frequency allocations (all values in MHz)

	Europe	US	Japan
Mobile phones	**NMT**	**AMPS, TDMA, CDMA**	**PDC**
	453–457 463–467	824–849 869–894	810–826 940–956 1429–1465 1477–1513
	GSM	**GSM, TDMA, CDMA**	
	890–915 935–960 1710–1785 1805–1880	1850–1910 1930–1990	
	UMTS (FDD)/ W–CDMA		**FOMA/ W–CDMA**
	1920–1980 2110–2190		1920–1980 2110–2170

เก่ามากแล้ว แค่จะให้ดูว่าในแต่ละประเทศไม่เหมือนกัน
อุปกรณ์ที่ขายในแต่ละประเทศอาจจะทำงานไม่ได้ในประเทศอื่น

	UMTS (TDD) 1900–1920 2020–2025		
Cordless telephones	**CT1+** 885–887 930–932	**PACS** 1850–1910 1930–1990	**PHS** 1895–1918
	CT2 864–868	**PACS–UB** 1910–1930	**JCT** 254–380
	DECT 1880–1900		
Wireless LANs	**IEEE 802.11** 2400–2483	**IEEE 802.11** 902–928 2400–2483	**IEEE 802.11** 2400–2497
	HiperLAN2, **IEEE 802.11a** 5150–5350 5470–5725	**HiperLAN2,** **IEEE 802.11a** 5150–5350 5725–5825	**HiperLAN2,** **IEEE 802.11a** 5150–5250
Others	**RF-Control** 27, 128, 418, 433, 868	**RF-Control** 315, 915	**RF-Control** 426, 868
	Satellite (e.g., Iridium, Globalstar) 1610–1626, 2483–2500		

Signals

นิสิตน่าจะเรียนมาบ้างแล้วในวิชา Data Comm I

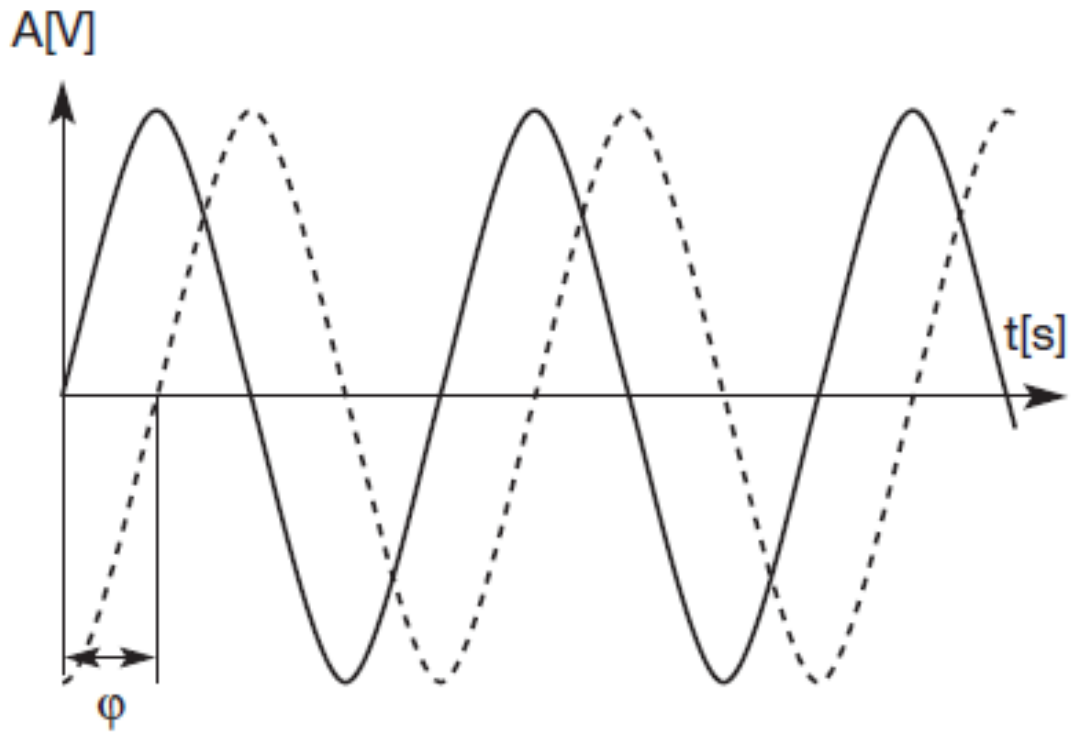
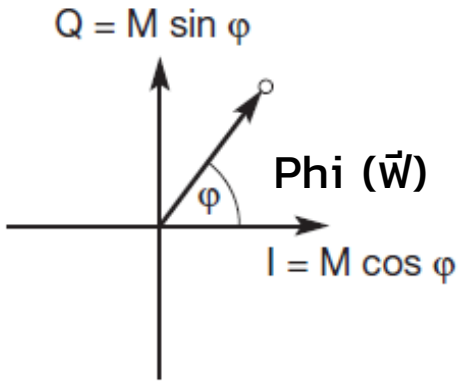


Figure 2.2
Time domain representation of a signal

เส้นประคือ phase shift ไป 270 องศา

Figure 2.3
Frequency domain representation of a signal

Figure 2.4
Phase domain representation of a signal



Antennas

Isotropic radiator (ทฤษฎี)

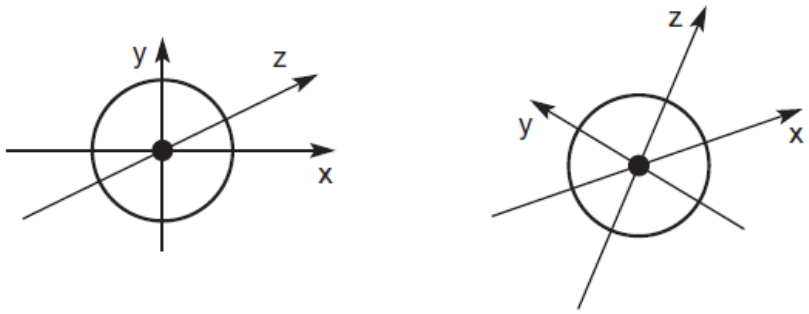
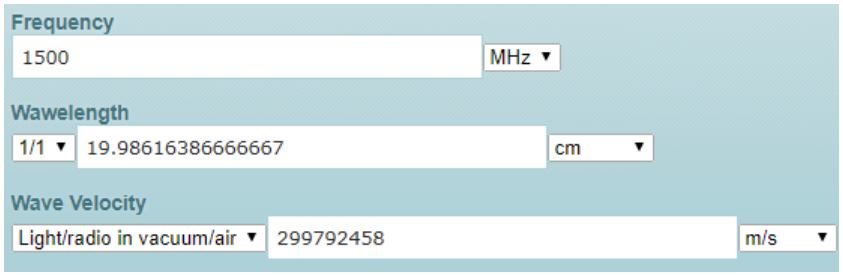


Figure 2.5
Radiation pattern of an isotropic radiator

Simple attennas (left: Marconi antenna, right: Hertzian dipole) ความยาวดีที่สุดคือ $\lambda/2$

Figure 2.6
Simple antennas

True Move H uses 900 MHz, 1800 MHz and 2100 MHz



มือถือปกติก็ใช้เสาอากาศยาวประมาณ 10 cm
(เอา wave length หาร 2)

https://www.omnicalculator.com/physics/dipole

Radiation Patterns

Omni-directional radiation pattern ของ $\lambda/2$ dipole antenna

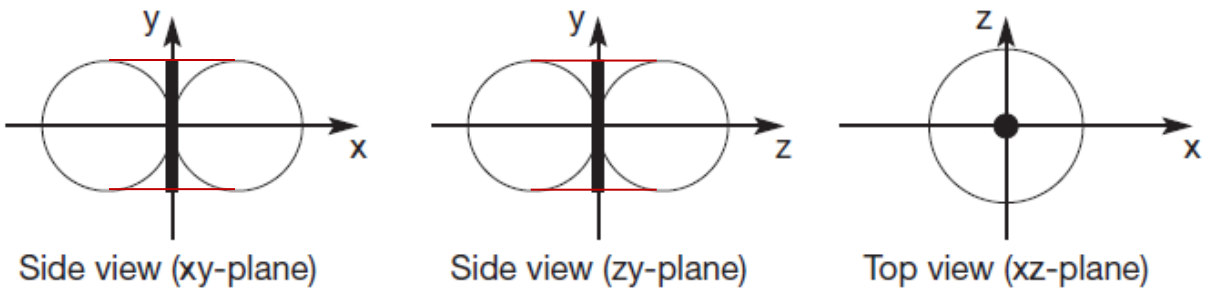
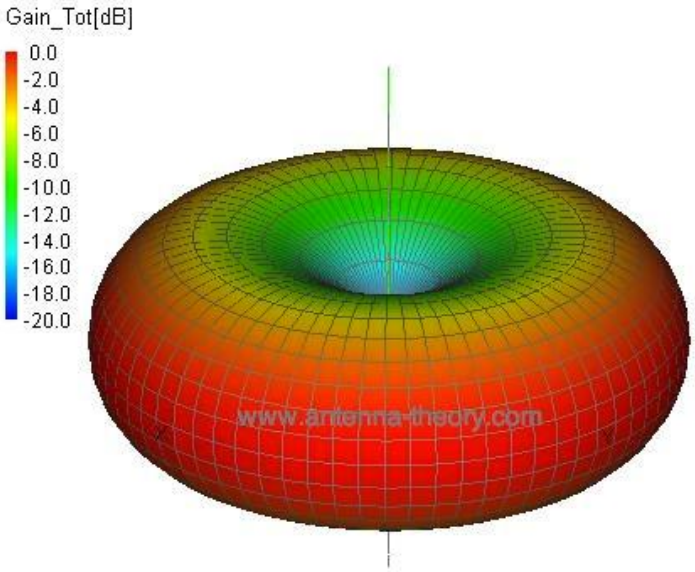


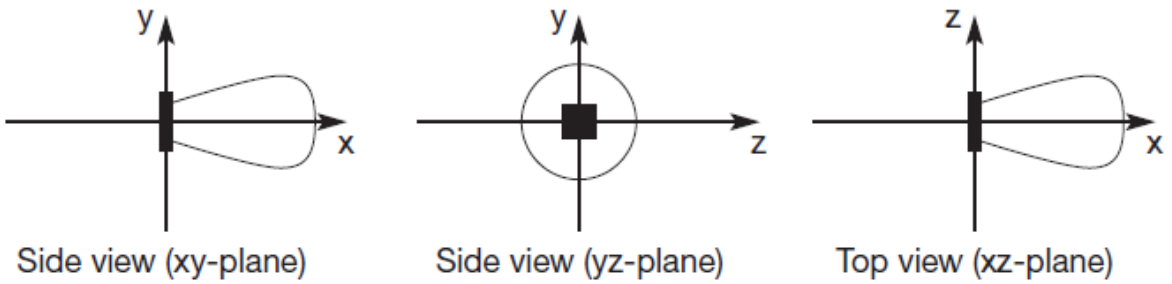
Figure 2.7
Radiation pattern of a simple dipole



บริเวณที่สัญญาณแรงที่สุด
จะอยู่แถวๆ ขอบนอก

Directional Antennas

Figure 2.8
Radiation pattern of a directed antenna

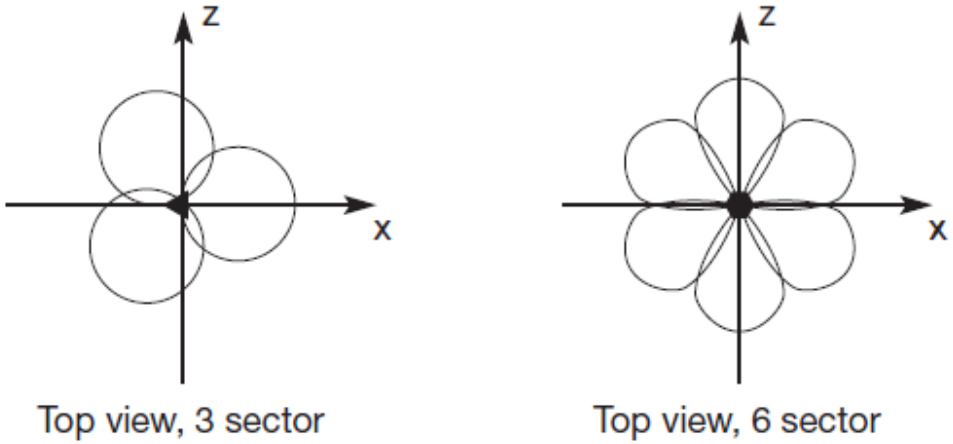


Antennas

เสาอากาศของ iPhone รุ่นเก่า

Sectorized Antennas

Figure 2.9
Radiation patterns of sectorized antennas



ส่งข้อมูลแบบ parallel ให้พร้อมกันหลาย ๆ devices ได้ ถ้าไม่ได้อยู่ใน sector เดียวกัน

Signal Propagation

- Transmission distance รับสัญญาณได้ มี error rate ต่ำพอที่จะใช้สื่อสารได้
- Detection distance เครื่องรับตรวจจับได้ว่ามีสัญญาณ (transmitted power > background noise)
- Interference distance เครื่องรับหาสัญญาณไม่เจอแล้ว แต่สัญญาณนี้ไปรบกวนสัญญาณอื่นๆ ได้

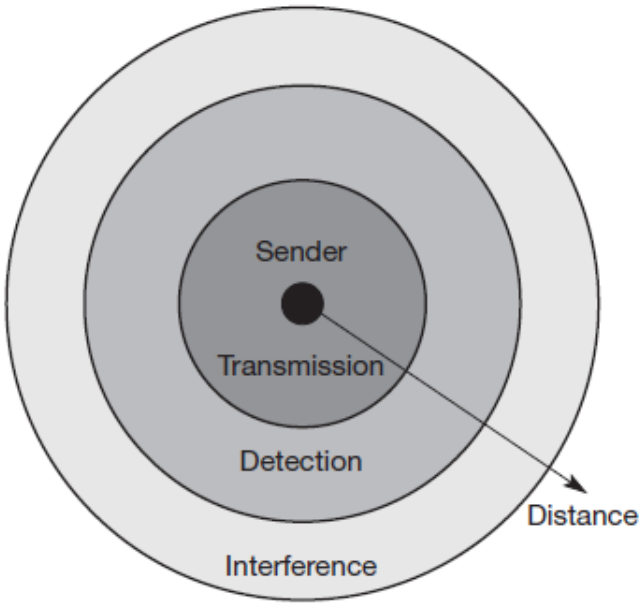


Figure 2.11
Ranges for transmission, detection, and interference of signals

Path loss of radio signals

- Line of sight (LOS) คือ เส้นตรงระหว่าง sender และ receiver
- Free space loss ต่อให้ไม่มีสิ่งกีดขวาง ในสภาพสุญญากาศ (vacuum) สัญญาณก็จะอ่อนลง
- Received power P_r แปรผันตรงตาม $1/d^2$ (หรือแปรผกผันกับระยะทางกำลังสอง) เนื่องจากคลื่นเดินทางออกจากแหล่งกำเนิดด้วยความเร็วแสงและกระจายออกไปทุกทิศทางเป็นรูป sphere ด้วยพลังงานปริมาณคงที่ แต่พื้นผิวของ sphere คือ $4\pi d^2$
- นอกจากนี้ received power ยังแปรตาม wave length, gain of receiver (gain เทียบกับ isotropic antenna), transmitter antennas หรือคุณภาพของเสาอากาศที่ใช้รับและส่ง
- ในสถานการณ์จริง (ไม่ใช่สุญญากาศ) มี air, rain, snow, fog, dust particles, smog (fog + smoke) จะให้เกิด path loss หรือ attenuation มากกว่าปกติ น้ำฝนดูดซับพลังงานคลื่นได้ดี (หลักการเดียวกับเตา microwave)
- พฤติกรรมของคลื่นขึ้นอยู่กับความถี่
  - 87 kHz สายอากาศลงดิน (Earth Antenna) คลื่นเดินทางไปตามพื้น/ผนังถ้ำ วิทยุถ้ำ HeyPhone
  - Ground wave (<2 MHz) คลื่นเดินทางไปตามพื้นผิวโลก ใช้กับวิทยุ AM และเรือดำน้ำ
  - Sky wave (2 – 30 MHz) สะท้อนบรรยากาศชั้น ionosphere ใช้กับ international broadcasting และวิทยุสมัครเล่น (amateur radio)
  - Line-of-sight (>30 MHz) ใช้กับโทรศัพท์มือถือ ดาวเทียม คลื่นเดินทางผ่าน straight line of sight ได้ ไม่สะท้อนชั้นบรรยากาศ (ใช้สื่อสารระหว่างพื้นกับดาวเทียม) แต่หักเห (refract) ได้

Additional signal propagation effects

- Blocking (shadowing)
- Reflection ช่วยให้สื่อสารกันได้โดยไม่ต้องมี line of sight (LOS) สัญญาณจะอ่อนลง เนื่องจากวัสดุดูดซับพลังงานคลื่นไป
- Refraction เมื่อคลื่นเดินทางผ่านตัวกลางที่หนาแน่นกว่า LOS จะเอียงเข้าหาตัวกลางนั้น (อ้อมสิ่งกีดขวางได้)
- ในกรณีที่สิ่งกีดขวางมีขนาดใกล้เคียงกับความยาวคลื่น จะเกิด scattering สัญญาณที่กระจายออกไปจะอ่อนกำลังลง
- Diffraction คล้ายกับ scattering มาก (เกิดกับสิ่งกีดขวางขนาดใหญ่?)

Figure 2.12
Blocking (shadowing), reflection and refraction of waves

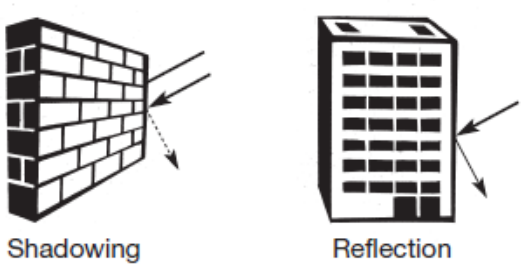


Figure 2.13
Scattering and diffraction of waves

Multi-path propagation

- เกิดจากการที่คลื่นเดินทางมาถึงผู้รับได้หลายทาง ทำให้เกิด delay spread
- Delay spread ในเมืองมีค่าประมาณ 3 – 12 μs
- Bandwidth ถูกจำกัดด้วย intersymbol interference (ISI) delay spread จะทำให้แต่ละ symbol รบกวนซึ่งกันและกัน (1 impulse = 1 symbol) ถ้ารู้ channel characteristics (pattern ของ delay spread) จะช่วยให้เครื่องรับอ่านข้อมูลได้ง่าย โดยปกติแล้วเครื่องส่งจะส่ง training sequence มาก่อน เพื่อใช้โปรแกรมตัว equalizer
- Equalizer จะทำงานยากขึ้น ถ้าผู้ใช้งานเคลื่อนที่ เนื่องจาก channel characteristics เปลี่ยนเร็วเกินไป equalizer ทำงานไม่ทัน
- การเคลื่อนที่ของผู้รับหรือผู้ส่งทำให้เกิด Doppler shift และทำให้เกิด random frequency shift แต่ต้องเคลื่อนที่เร็วมาก ๆ เช่น ดาวเทียม โดยปกติปัจจัยที่จำกัด bandwidth คือ multi-path propagation, intersymbol interference, varying channel characteristics ที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของผู้ส่งและผู้รับ

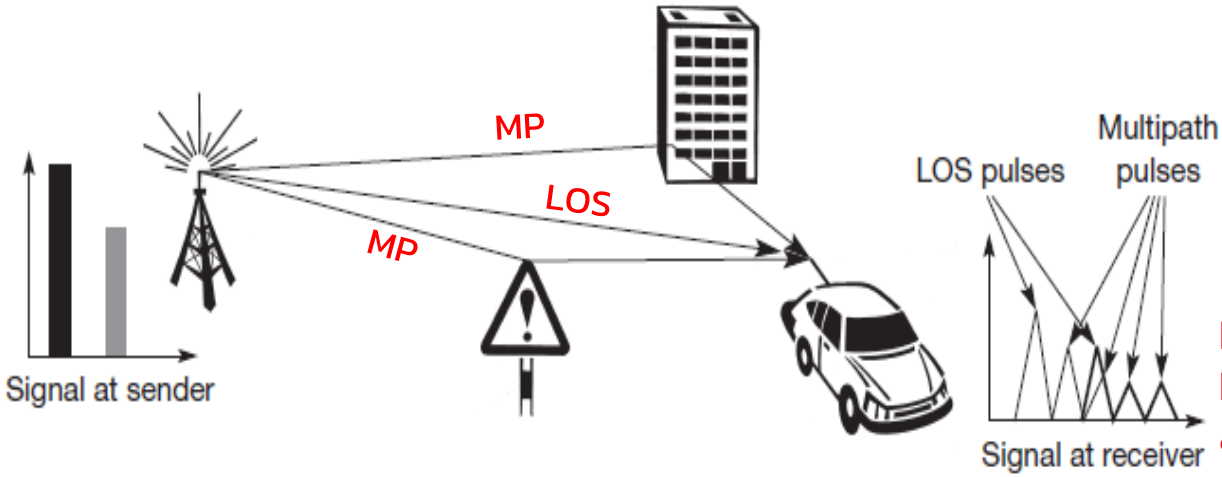


Figure 2.14
Multi-path propagation and intersymbol interference

LOS มาถึงก่อน
MP มาทีหลัง
สัญญาณอ่อน

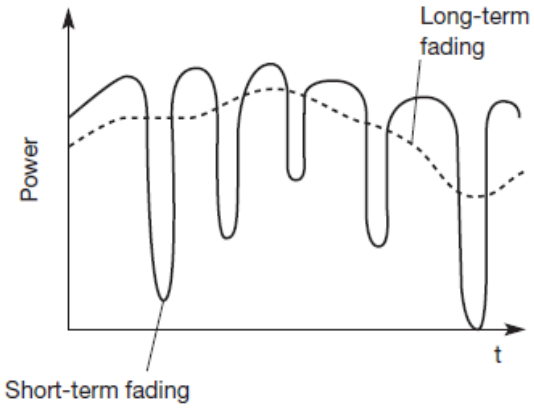
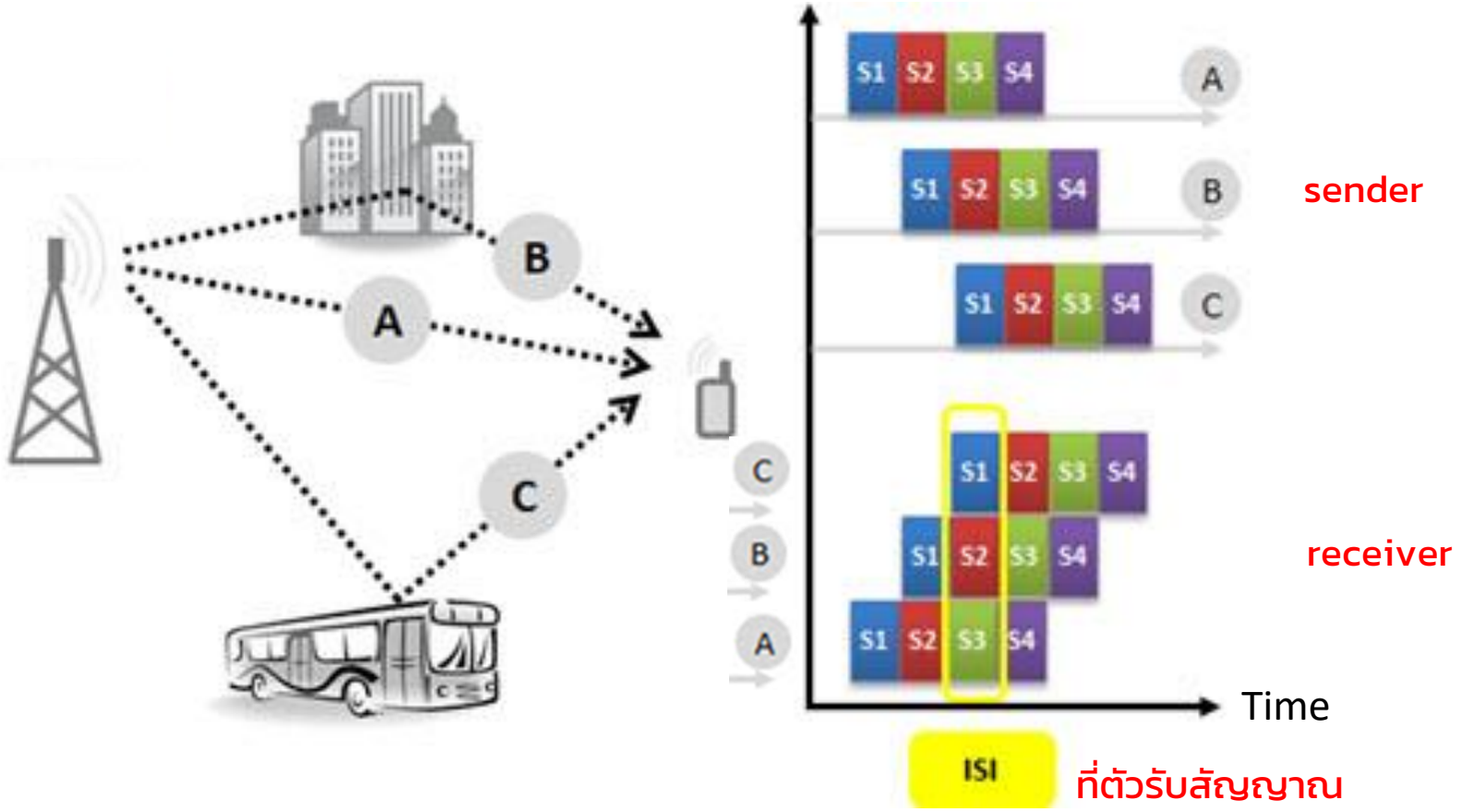


Figure 2.15
Short-term and long-term fading

Equalizer กำลังทำงาน
โดยใช้ training sequence

Intersymbol Interference (ISI)



Multiplexing

Multiplexing คือการที่ผู้ใช้หลายๆ คนแชร์ตัวกลาง (medium) เดียวกัน โดยไม่รบกวนกัน
การสื่อสายแบบใช้สาย (wire) ใช้ switch และ router เพื่อทำ multiplexing

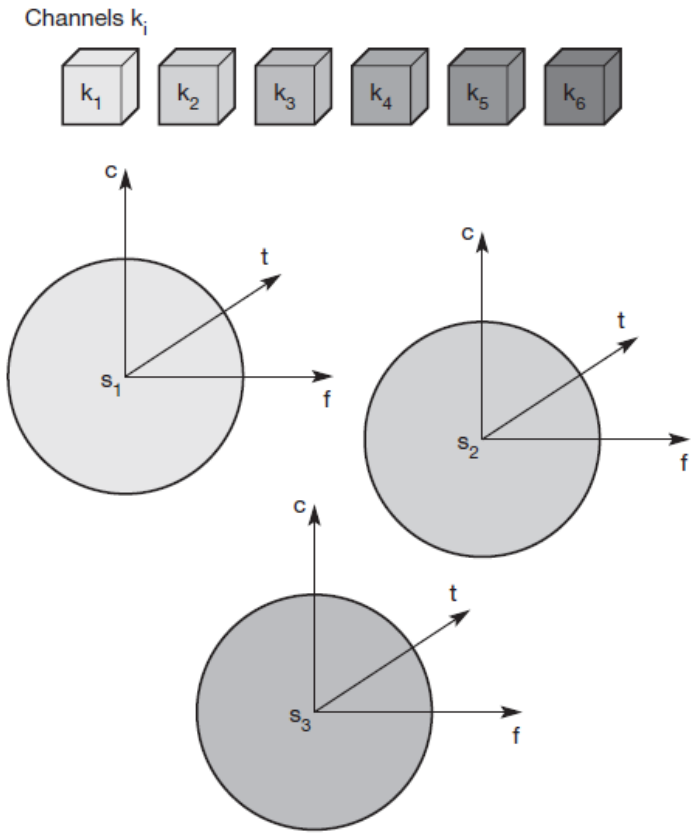
ใช้ตัวกลางคือ “อากาศ” หรือ “อวกาศ” ร่วมกัน

เมื่อมีคนอยากคุยกันหลายคู่ จะ multiplex อย่างไร?

Multiplexing ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อตอบสนองจำนวนผู้ใช้โทรศัพท์มือถือที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว

Space Division Multiplexing

Figure 2.16
Space division multiplexing (SDM)



เหมือนขับรถคนละเลน เลนใครเลนมัน หรือระบบโทรศัพท์ analog แบบเก่าที่ใช้สาย ในแต่ละวงกลมคือ interference range ที่ว่างคือ guard space ในแต่ละวงมีแกน code (c), time (t), frequency (f) ไม่ว่าจะ multiplexing ด้วยอะไรก็ควรมี guard space เสมอ

ตัวอย่างของ SDM คือสถานีวิทยุในแต่ละประเทศใช้คลื่นความถี่เดียวกันได้ แต่ SDM มีข้อเสียที่ผู้ส่งแต่ละคนต้องไม่อยู่ในวงกลม (channel) เดียวกัน ถ้ามีผู้ส่งหลายคนใน channel เดียวกัน ก็ต้อง multiplex ต่อด้วย code (c) หรือ time (t) หรือ frequency (f)

Frequency Division Multiplexing (FDM)

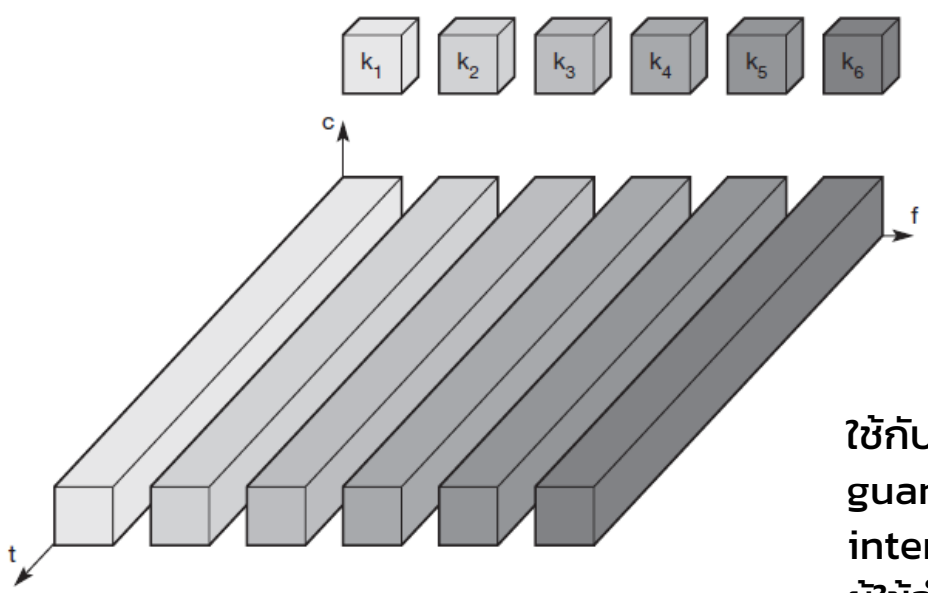


Figure 2.17
Frequency division multiplexing (FDM)

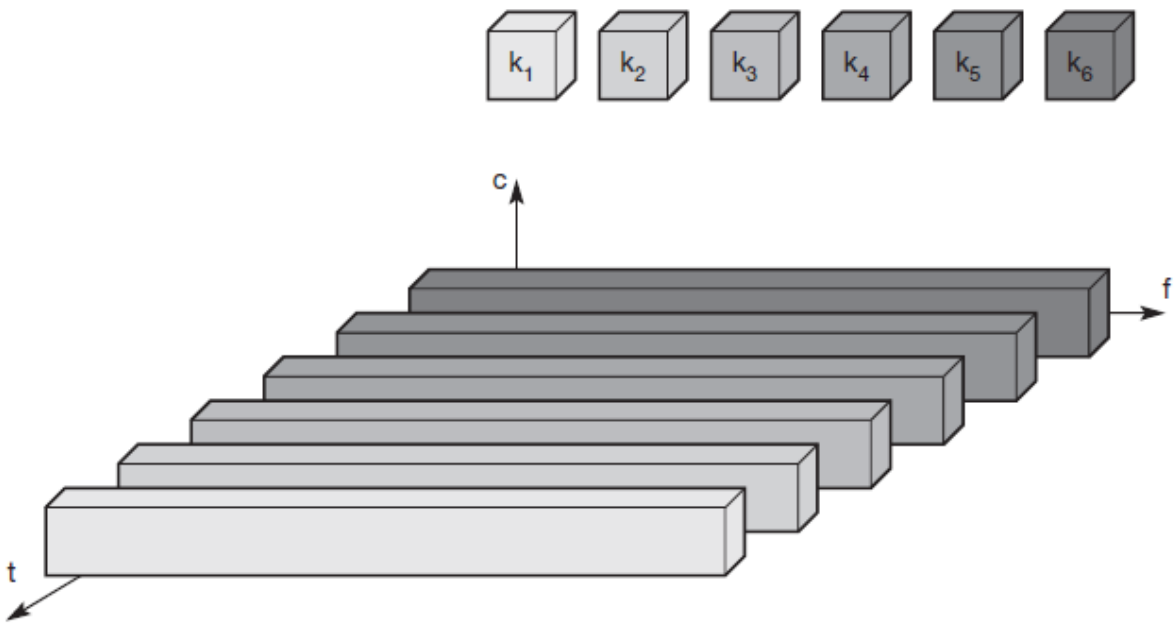
ใช้กับสถานีวิทยุที่แบ่งความถี่กันชัดเจน ต้องมี guard space เพื่อป้องกัน adjacent channel interference แต่วิธีนี้ไม่เหมาะกับโทรศัพท์มือถือที่มีผู้ใช้จำนวนมาก และแต่ละครั้งใช้ไม่นาน (สถานีวิทยุมีจำนวนน้อย และ broadcast 24 ชม. ต่อวัน) ถ้ามือถือ 1 เครื่องยึด 1 ความถี่ไปเลย จะมีย่านความถี่ไม่พอ ระบบ GSM ก็ใช้ FDM แต่ allocate ความถี่ให้ mobile station ชั่วคราว เมื่อใช้เสร็จแล้ว (วางสาย) ก็ยึดคืน

mobile station คือ โทรศัพท์เคลื่อนที่ (ฮาร์ดแวร์ + ซอฟต์แวร์)

Time Division Multiplexing (TDM)

แบ่งแกนเวลาเป็นช่วง ๆ เพื่อผลัดกันใช้ (เหมือนผลัดกันพูดทีละคน ให้พูดคนละ 1 นาที)

Figure 2.18
Time division multiplexing (TDM)



แล้วทำไมเรายังได้ยินเสียงคู่สนทนาต่อเนื่อง ???

Standard GSM ใช้ FDM + TDM เพื่อส่งข้อมูลระหว่าง mobile phone และ base station (สถานีภาคพื้นดิน)

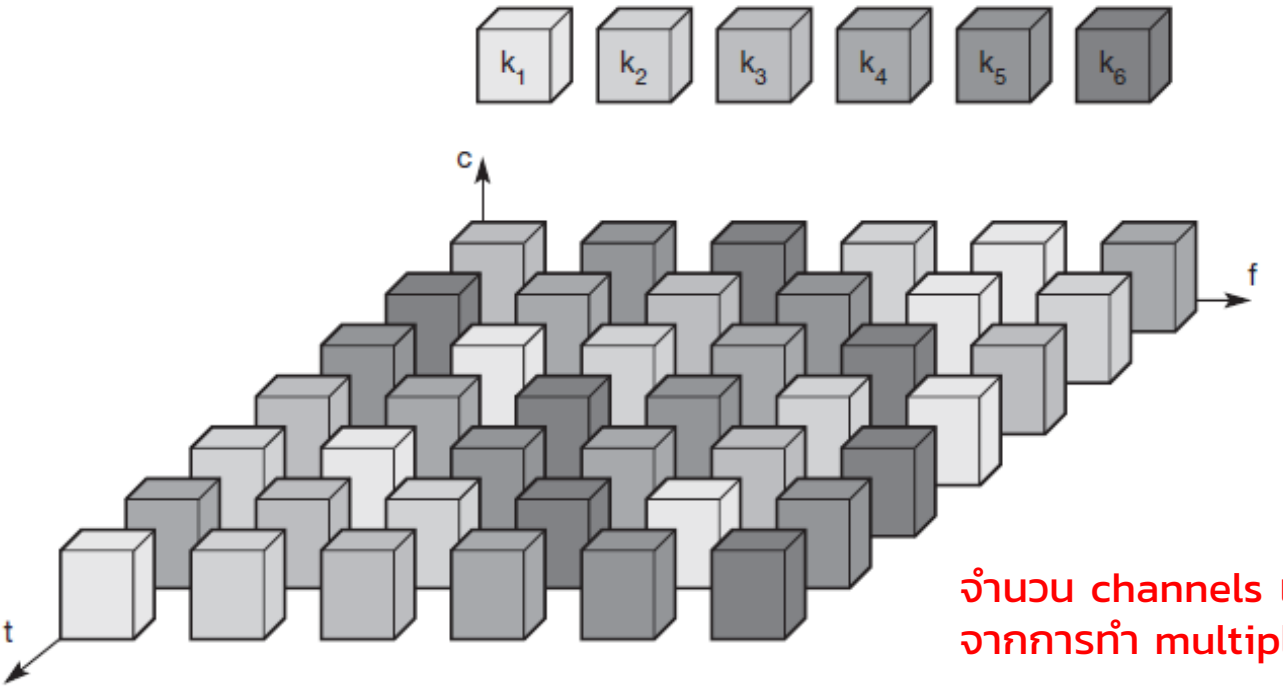


Figure 2.19
Frequency and time division multiplexing combined

จำนวน channels เพิ่มขึ้นจาก 6 เป็น 36 จากการทำ multiplexing แบบผสม

Coding Division Multiplexing (CDM)

ตัวอย่างเช่นในงาน party ที่แขกทุกคนใช้ความถี่เดียวกันคือ 300 – 6,000 Hz (เสียงพูด) ในสถานที่และเวลาเดียวกัน แต่ใช้ภาษาต่างกัน เช่น ภาษาไทย ภาษาอังกฤษ ภาษาจีน ภาษารัสเซีย ฯลฯ ถึงแม้จะรบกวนกันบ้าง แต่ก็ยังพอฟังเข้าใจ แต่ถ้าทุกคนพูดภาษาเดียวกันหมดจะรบกวนกันจนสื่อสารไม่ได้เลย

CDM ป้องกัน interference (ออกแบบ code ให้ห่าง ๆ กัน ถ้าใช้ความถี่ fixed ทำไม่ได้) และ tapping (ไม่รู้ code) ได้ดี ข้อเสียคือตัวรับสัญญาณซับซ้อนมาก power control สำคัญมากสำหรับ CDM เพราะถ้าทุกคนอยู่ใกล้ๆ กันแล้วตะโกนเสียงดัง ต่อให้ใช้ภาษาต่างกัน (code ต่างกัน) ก็ฟังไม่รู้เรื่อง เครื่องรับส่งในระบบ CDM จะต้องปรับกำลังส่ง (power) ให้พอเหมาะอยู่ตลอดเวลา

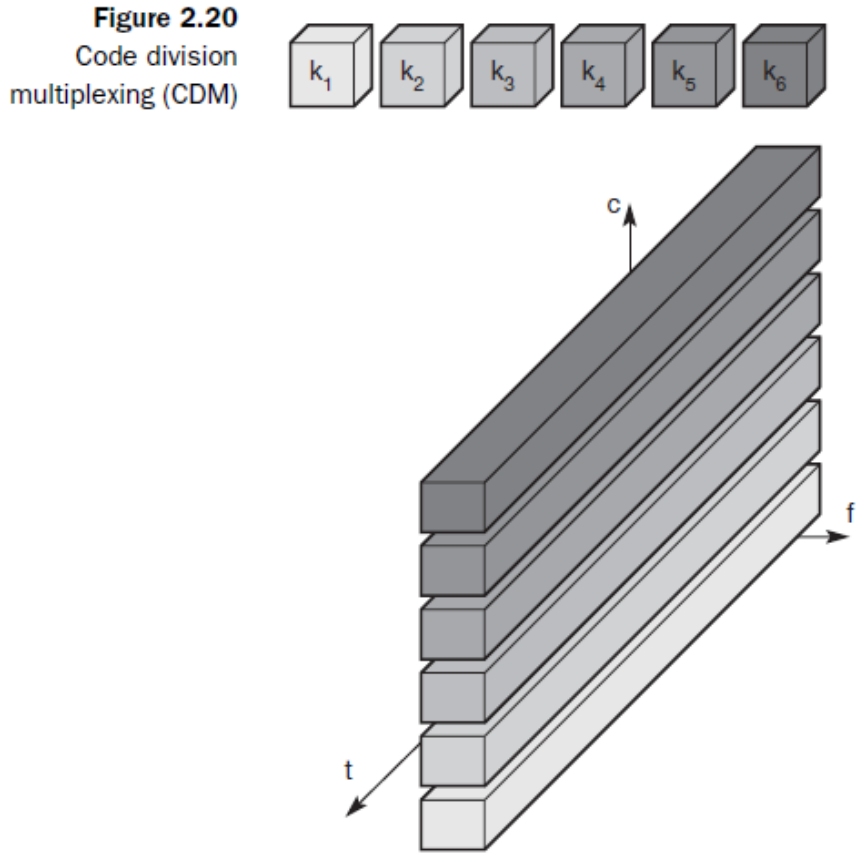


Figure 2.20 Code division multiplexing (CDM)

ถ้าผสม f และ t ด้วย จะได้ 216 channels

สรุป

Multiplexing มี 4 วิธีคือ

- Space
- Frequency
- Time
- Code

Modulation

Modulation คือการใส่ข้อมูล analog หรือ digital ลงไปบนพาหะ (คลื่น) เพื่อให้มันนำข้อมูลไป ถ้าส่งคลื่นเปล่าๆ ก็ไม่มีข้อมูล

- Digital modulation ใช้เมื่อต้องการส่งข้อมูลแบบ digital เช่น 1 Mbit/s bit-stream
  - Amplitude shift keying (ASK)
  - Frequency shift keying (FSK)
  - Phase shift keying (PSK)
- Analog modulation ใช้เมื่อต้องการส่งข้อมูลแบบ analog เหตุผลที่ไม่ส่งสัญญาณ analog ไปตรง ๆ คือ 1) ต้องใช้ความถี่สูง เพื่อให้ antenna มีขนาดเล็ก 2) FDM ใช้หลายความถี่ 3) medium characteristics ย้ายไปใช้ ความถี่อื่น (ความยาวคลื่นอื่น) เพื่อเลี่ยง path loss, obstacles, reflection, scattering, diffraction การรบกวนเหล่านี้แปรตามความยาวคลื่น
  - Amplitude modulation (AM)
  - Frequency modulation (FM)

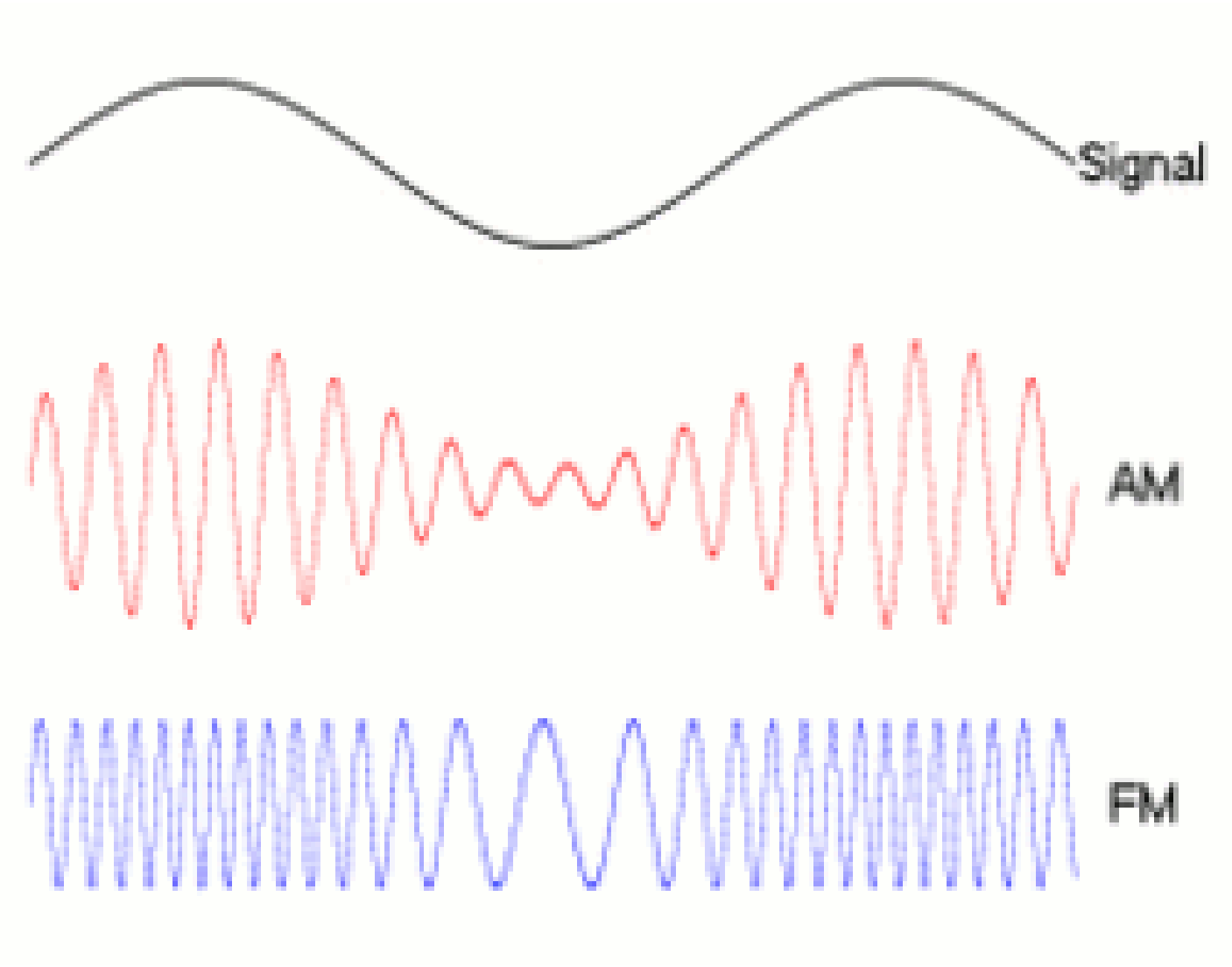
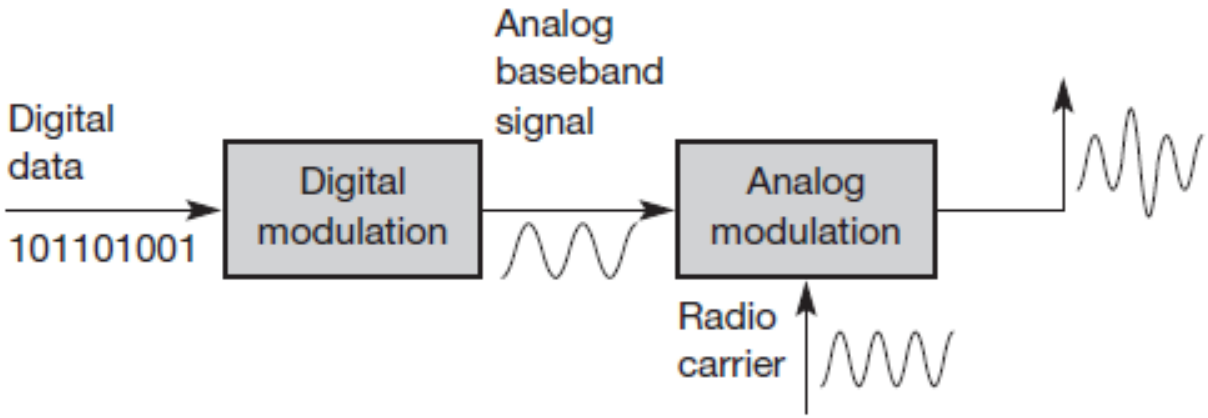

Signal
AM
FM

Figure 2.21
Modulation in a transmitter



สังเกตว่าต้องทำ digital modulation ก่อน แล้วค่อยทำ analog modulation

Amplitude Shift Keying (ASK)

ข้อเสียคือถูกรบกวนได้ง่ายจาก multi-path propagation, noise, path loss
(ปัญหาของ wireless ไม่พบใน wired)

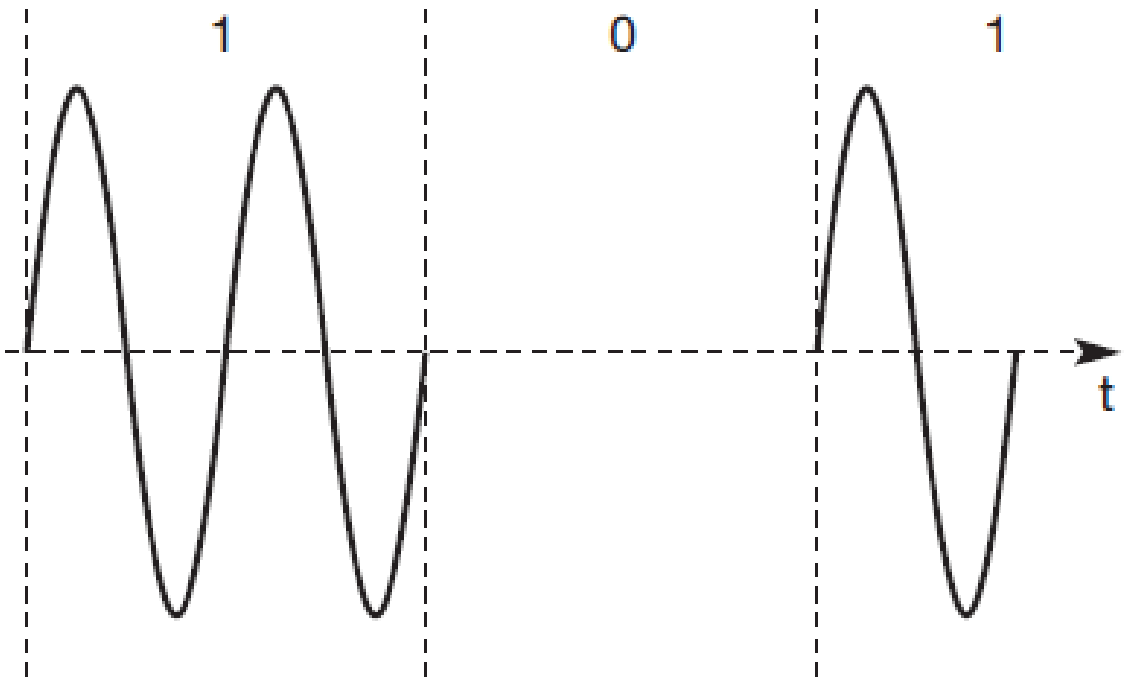


Figure 2.23
Amplitude shift keying (ASK)

Frequency Shift Keying (FSK)

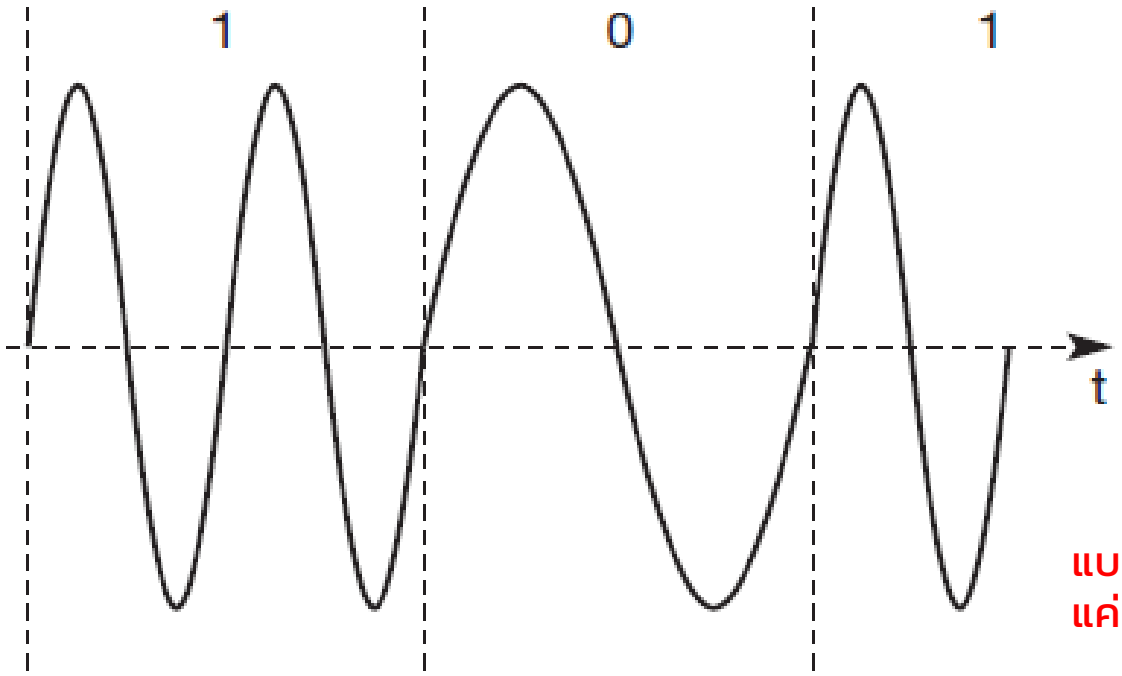


Figure 2.24
Frequency shift keying (FSK)

แบบที่ง่ายที่สุดคือ Binary FSK ใช้แค่ 2 ความถี่แทนบิตข้อมูล 0 และ 1

Phase Shift Keying (PSK)

เมื่อ data bit เปลี่ยนก็ shift phase ไป 180 (π) ในรูปเรียกว่า Binary PSK (BPSK)

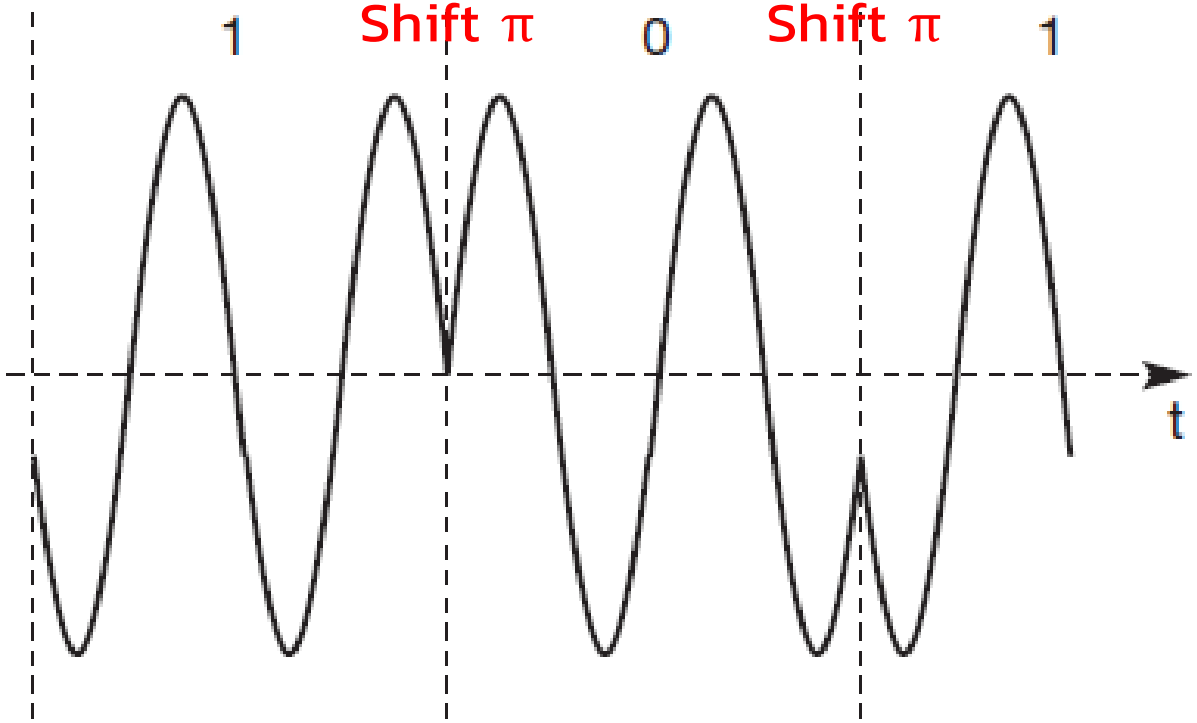
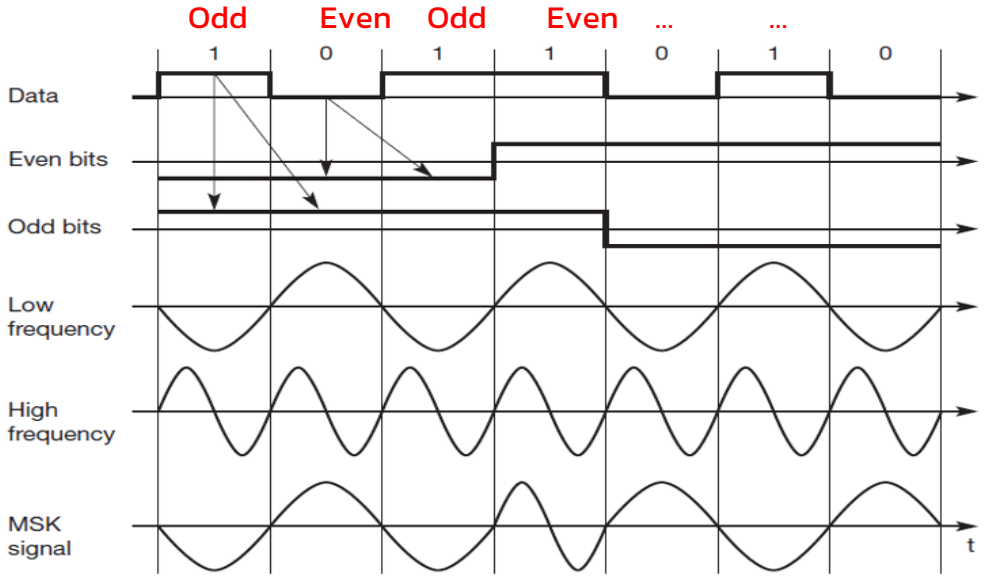


Figure 2.25
Phase shift keying (PSK)

เทียบกับ reference signal

Advanced Frequency Shift Keying (AFSK)



Avoid sudden phase shifts ได้ data rate มากกว่า FSK (ใช้ symbol duration สั้น ๆ ได้)

Even and odd bits = 0, 0	high frequency (inverted, phase shift 180)
Even and odd bits = 1, 0	low frequency (inverted, phase shift 180)
Even and odd bits = 0, 1	low frequency
Even and odd bits = 1, 1	high frequency

FSK ปกติ ถ้า fix ความถี่ f_1 f_2 ไว้ แล้วลด symbol duration สัญญาณมันจะไม่ต่อเนื่อง

Advanced Phase Shift Keying (APSK)

Quadrature/quaternary PSK (QPSK) เข้ารหัสทีละ 2 bits (เพิ่ม bit rate ได้ 2 เท่าเทียบกับ PSK)

Data bits = 0, 0	phase shift 225	เทียบกับ reference signal
Data bits = 1, 0	phase shift 135	เทียบกับ reference signal
Data bits = 0, 1	phase shift 315	เทียบกับ reference signal
Data bits = 1, 1	phase shift 45	เทียบกับ reference signal

ปัญหาของ QPSK อยู่ที่การสร้าง reference signal ที่เครื่องรับ เครื่องส่งและเครื่องรับอาจจะต้อง synchronize กันบ่อยๆ โดยใช้ special synchronization pattern หรือ pilot frequency เพื่ออ้างอิง

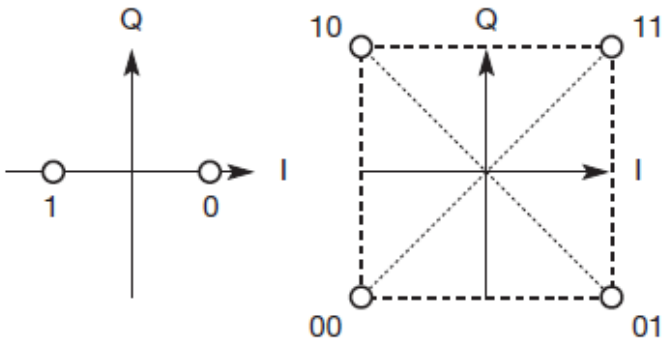


Figure 2.27
BPSK and QPSK in the phase domain

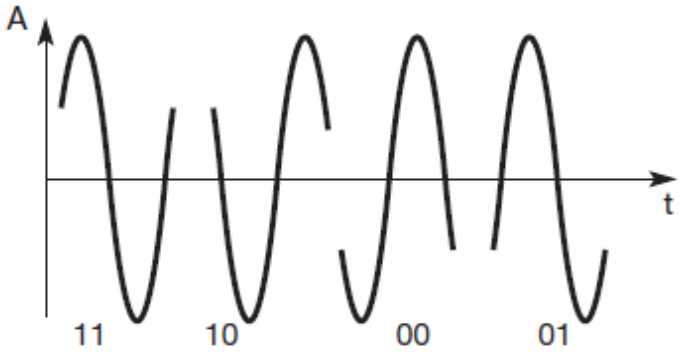
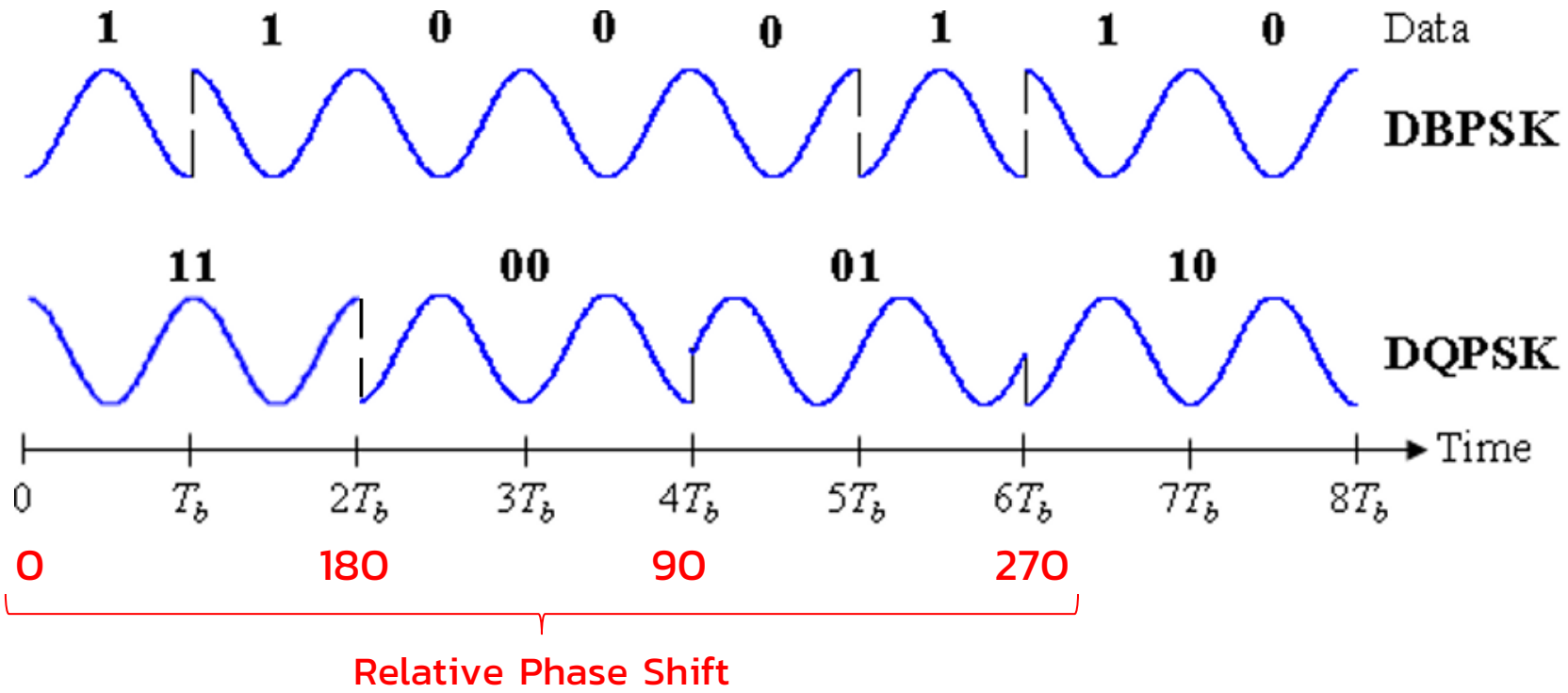


Figure 2.28
QPSK in the time domain

Reference signal คือ sine wave (ยาก เพราะผู้ส่งผู้รับต้องมี reference signal ที่ตรงกัน)

เพื่อเลี่ยงการใช้ reference signal ใช้ Differential QPSK วิธีนี้ phase shift จะ relative กับ phase ของบิตก่อนหน้า



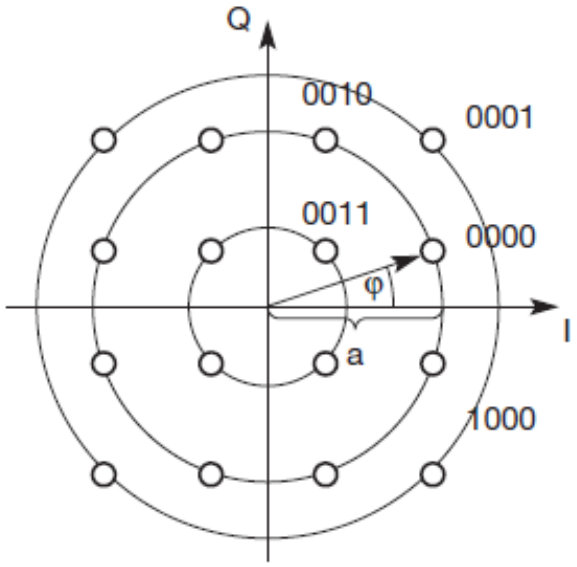
DB = differential binary PSK

DQ = differential quadratic PSK

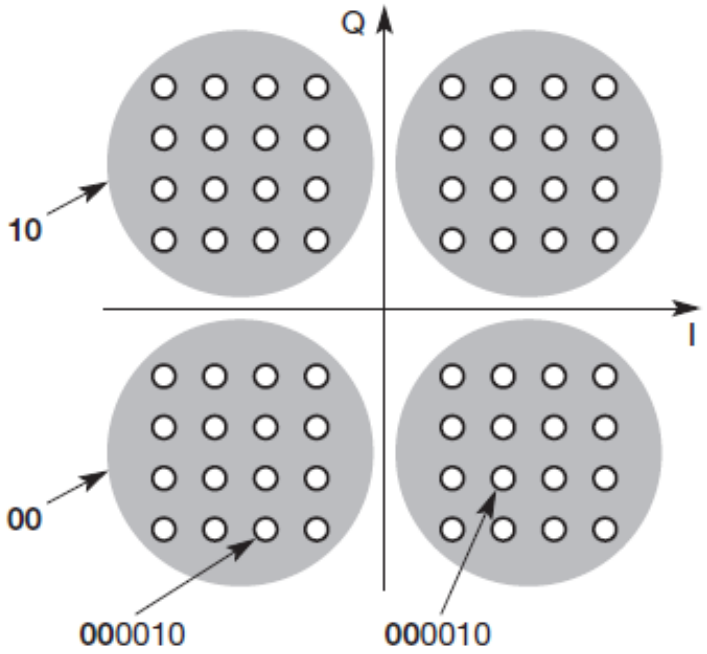
16 Quadrature Amplitude Modulation (16-QAM)

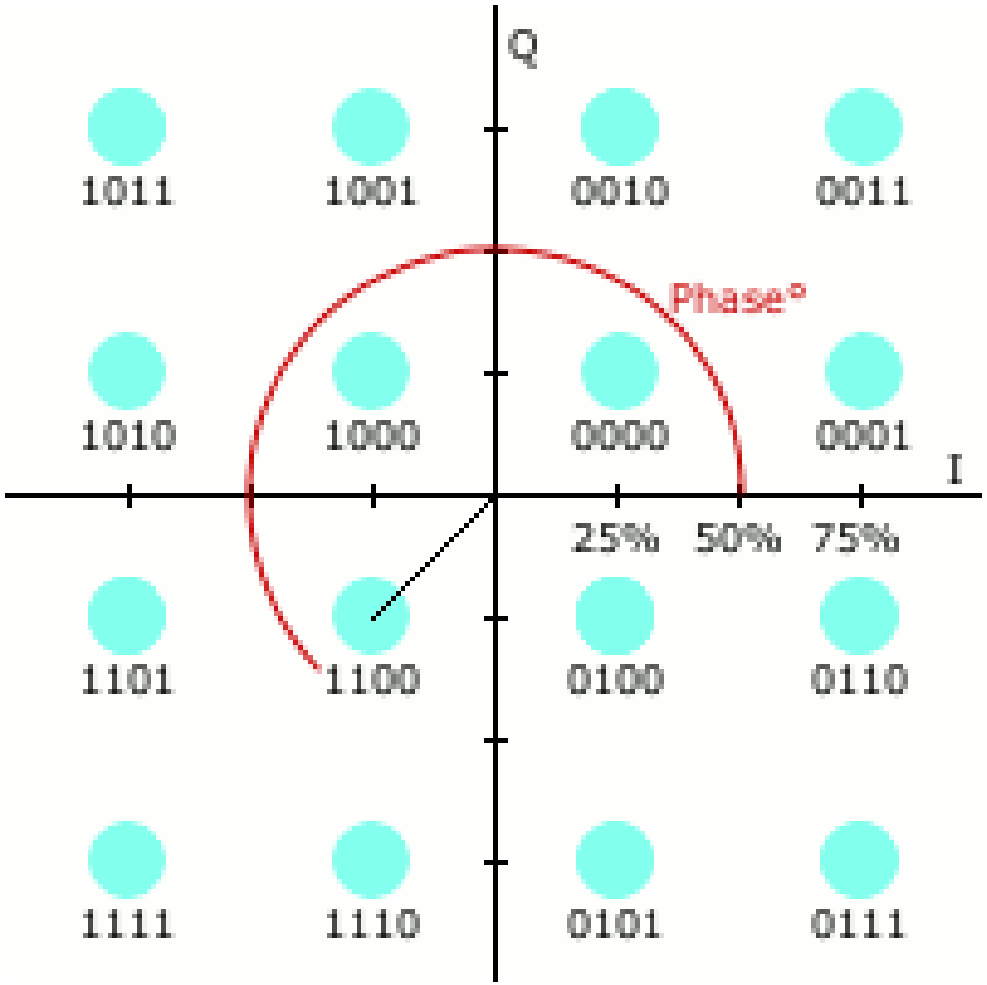
PSK อาจจะเข้ารหัสทีละ 2, 3, หรือ 4 บิตก็ได้ และใช้ PSK ร่วมกับ ASK ได้ ในรูปซ้ายคือ 16 Quadrature Amplitude Modulation (16-QAM) สำหรับ standard 9,600 bit/s modems ใช้ 3 amplitudes และ 12 angles รูปขวาคือ 64-QAM เป็นมาตรฐานของดิจิตัลทีวี Digital Video Broadcasting - Terrestrial (DVB-T)

Figure 2.29
16 quadrature amplitude modulation and hierarchical 64 QAM



มี amplitude 3 ค่า 25%, 50%, 75%
ดูหน้าถัดไป





Amp	Phase	Data
25%	225°	1100

Wiki

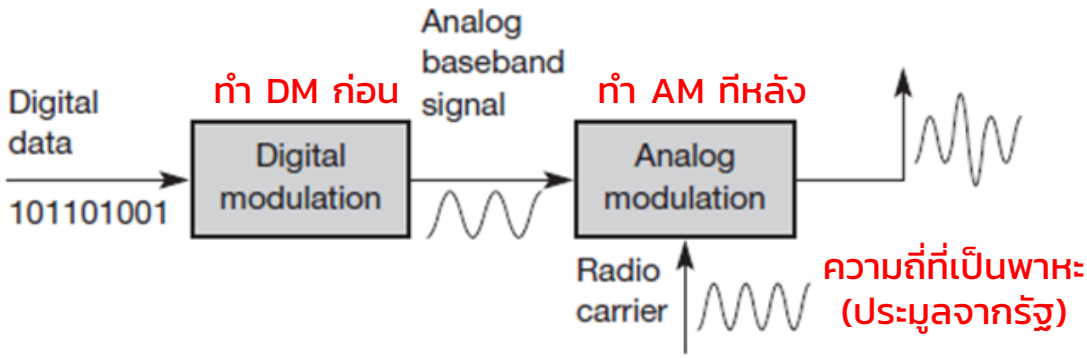
สรุป

Analog Modulation

- AM
- FM

Digital Modulation แทน 0, 1 ด้วย

- Amplitude
- Frequency
- Phase
- Amplitude + Phase



Spread Spectrum

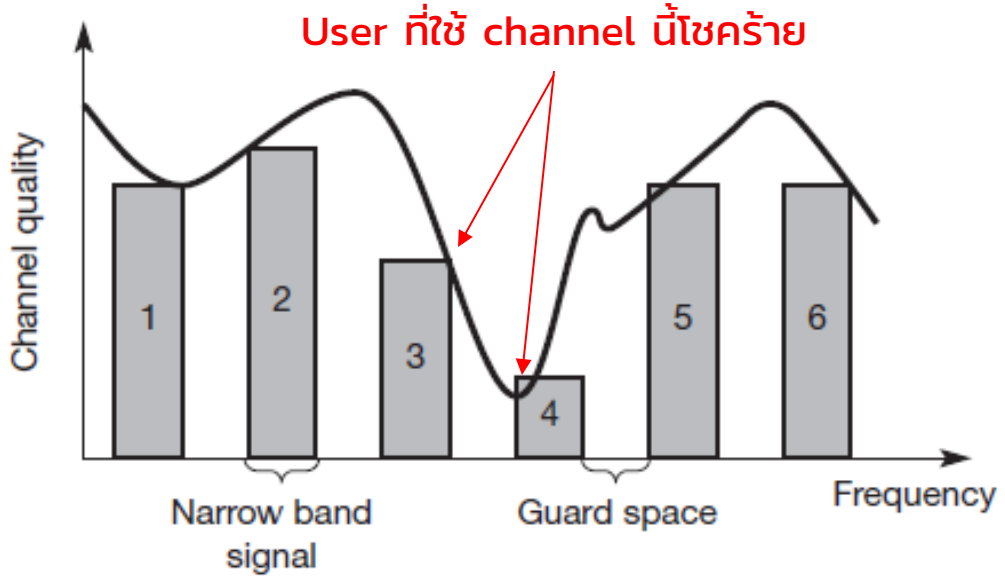


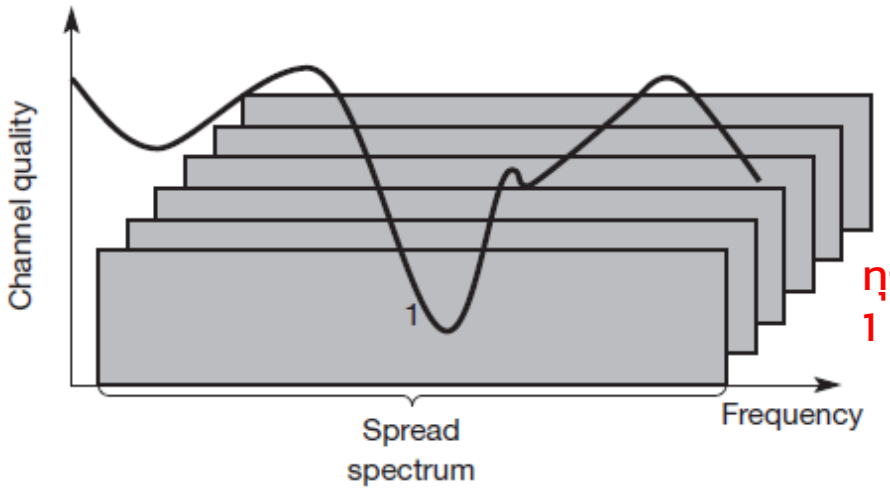
Figure 2.33
Narrowband interference without spread spectrum

จากรูปใช้ FDM (6 channels) เกิด narrowband interference (channel 3, 4 ไม่สามารถ reconstruct transmitted data ได้) การสื่อสารโดยใช้ narrowband เป็นเรื่องยาก ควรจะใช้ broadband และ users ทุกคนใช้ร่วมกัน โดยไม่แบ่งความถี่

Broadband ในที่นี้ หมายถึง ใช้ทุกย่านความถี่
Broadband internet หมายถึง high-speed internet (ความหมายในโฆษณา)

วิธีแก้ปัญหาเรื่อง narrowband interference คือใช้ spread spectrum ส่งข้อมูลออกไปโดยใช้ทุก ๆ channel (frequency) เมื่อ channel ใดมีคุณภาพต่ำลง ก็จะได้ข้อมูลบน channel นั้นผิด แต่โดยรวมจะได้รับข้อมูลถูกต้อง ในกรณีที่มีผู้รับส่งข้อมูลมากกว่า 1 คู่ ก็ต้องใช้ multiplexing แบบอื่น ๆ มาช่วย

Figure 2.34
Spread spectrum to avoid narrowband interference

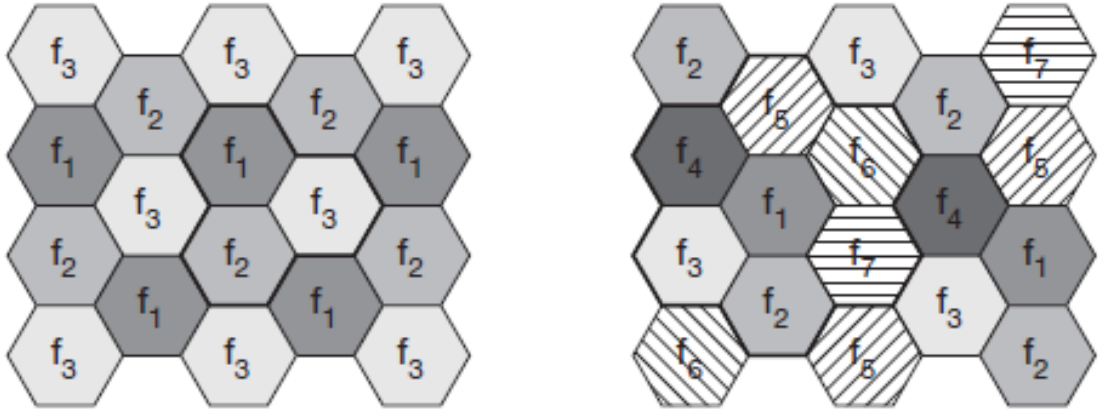


ทุก channel ใช้ทุกความถี่
1 channel = 1 คู่สนทนา

Cellular Systems (2G)

1 cell ต่อ 1 base station รัศมีของ cell อาจจะยาวถึงหลายร้อยเมตร ขึ้นอยู่กับว่า base station อยู่ในอาคารหรือที่โล่ง รูปร่างของ cell ไม่เป็นกลมหรือเป็นหกเหลี่ยม แต่ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม สภาพอากาศ

Figure 2.41
Cellular system with three and seven cell clusters



มี base station อยู่ตรงกลางของแต่ละ cell

1G ใช้ base station ตัวเดียวคลุมพื้นที่ทั้งเมือง ทำให้เครื่องส่งต้องใช้พลังงานมาก

1G เป็น analog
2G เป็น digital

ข้อดีของ cellular system

- Higher capacity เมื่อใช้ space division multiplexing (SDM) ก็จะนำความถี่กลับมาใช้ซ้ำได้ ความถี่ที่ใช้ได้มีน้อย ทำให้ใน 1 cell มีคู่สนทนาได้จำกัด ในเมืองที่มีคนอาศัยอยู่หนาแน่นยิ่งต้องเพิ่มจำนวน cell และทำ cell ให้มีขนาดเล็ก ๆ
- Less transmission power ใช้พลังงานในการส่งข้อมูลน้อย อัตราการใช้พลังงาน (Watt) ไม่ใช้ปัญหาสำหรับ base station แต่เป็นปัญหาสำหรับ mobile device
- Local interference only ไม่ถูกรบกวนจาก cell ข้าง เนื่องจากสัญญาณมาไม่ถึง หรือสัญญาณอ่อน
- Robustness อาจจะมี base station บางตัวเสีย ทำงานไม่ได้ cell นั้นก็ล่มไป แต่ระบบโดยรวมก็ยังทำงานต่อไปได้

ข้อเสียของ cellular system

- Infrastructure needed ต้องลงทุนอุปกรณ์ที่มีราคาแพง เพื่อสร้าง base station และเชื่อม base station ทั้งหมดเข้าด้วยกัน
- Handover needed ต้องทำ handover ถ้าใช้ดาวเทียมก็ไม่ต้องทำ handover
- Frequency planning ต้องจัดสรรความถี่ให้ดี ไม่ให้เกิด interference หรือให้เกิดน้อยที่สุด

ใช้ sectorized antenna เพื่อลดการรบกวน แบ่งผู้ใช้ใน 1 cell เป็น 3 ส่วน แทนที่จะใช้ omni-directional antenna อันเดียวสำหรับผู้ใช้ทุกคนใน 1 cell

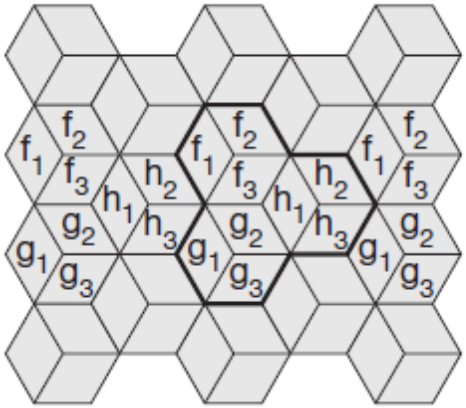


Figure 2.42
Cellular system with three cell clusters and three sectors per cell

Channel allocation schemes การจัดสรรความถี่

- Fixed channel allocation (FCA) fix ความถี่ที่ใช้ในแต่ละ cell
- Borrowing channel allocation (BCA) ยืมความถี่จาก cell อื่นที่ traffic น้อยมาใช้ก่อน ใช้ใน GSM
- Dynamic channel allocation (DCA) จัดสรรความถี่ให้แต่ละ cell แบบ dynamic เปลี่ยนไปเรื่อยๆ ไม่ตายตัว ใช้ใน DECT

Styling HTML with CSS

Inline CSS

```
<h1 style="color:blue;">This is a Blue Heading</h1>
```

มี attribute ตัวเดียวพอ คือ style
color คือ property
blue คือ value

Styling HTML with CSS

Internal CSS

```
<!DOCTYPE html>
<html>
<head>
<style>
body {background-color: powderblue;}
h1   {color: blue;}
p    {color: red;}
</style>
</head>
<body>

<h1>This is a heading</h1>
<p>This is a paragraph.</p>

</body>
</html>
```

ไม่นิยมใส่ attribute ใน tag แล้ว
ไปกำหนด property ใน style แทน

ข้อดี ใช้ style คุมทั้งหน้า ไม่ต้องไปแก้ทีละ tag

Styling HTML with CSS

External CSS

attribute คือ bgcolor (HTML5 ยกเลิกแล้ว)
property คือ background-color

```html
<!DOCTYPE html>
<html>
<head>
  <link rel="stylesheet" href="styles.css">
</head>
<body>

<h1>This is a heading</h1>
<p>This is a paragraph.</p>

</body>
</html>
```

ข้อดี ใช้ styles.css คุมทั้งเว็บไซต์
ไม่ต้องไปแก้ html ทีละไฟล์

```css
body {
    background-color: powderblue;
}
h1 {
    color: blue;
}
p {
    color: red;
}
```

CSS Fonts

The CSS **color** property defines the text color to be used.

The CSS **font-family** property defines the font to be used.

The CSS **font-size** property defines the text size to be used.

Example

```
<!DOCTYPE html>
<html>
<head>
<style>
h1 {
    color: blue;
    font-family: verdana;
    font-size: 300%;
}
p  {
    color: red;
    font-family: courier;
    font-size: 160%;
}
</style>
</head>
```

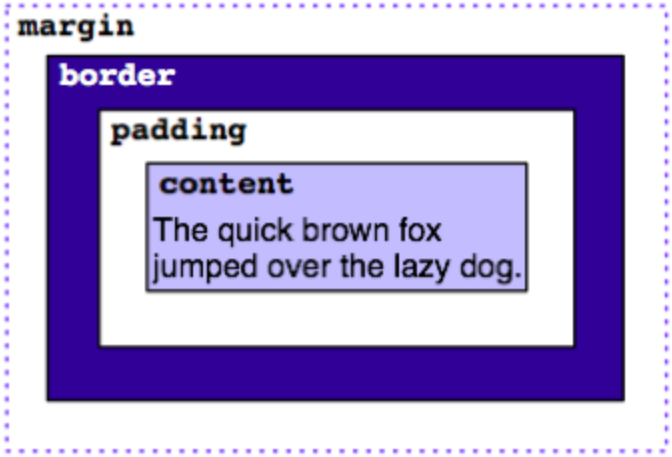
CSS Border

The CSS **border** property defines a border around an HTML element:

Example

```
p {
    border: 1px solid powderblue;
}
```

Try it Yourself »



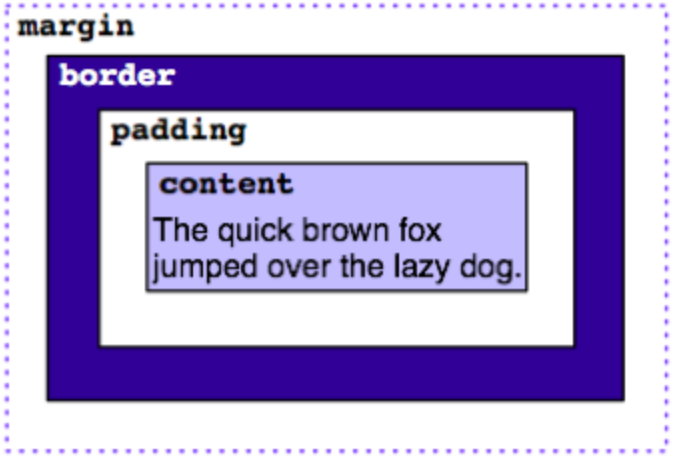
CSS Padding

The CSS **padding** property defines a padding (space) between the text and the border:

Example

```
p {
    border: 1px solid powderblue;
    padding: 30px;
}
```

Try it Yourself »



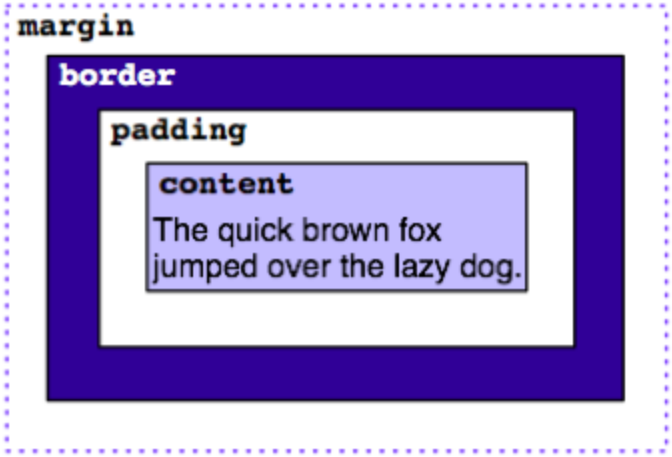
CSS Margin

The CSS **margin** property defines a margin (space) outside the border:

Example

```
p {
    border: 1px solid powderblue;
    margin: 50px;
}
```

Try it Yourself »



The id Attribute

To define a specific style for one special element, add an id attribute to the element:

```
<p id="p01">I am different</p>
```

then define a style for the element with the specific id:

Example

```
#p01 {
    color: blue;
}
```

Try it Yourself »

The class Attribute

To define a style for a special type of elements, add a class attribute to the element:

```
<p class="error">I am different</p>
```

then define a style for the elements with the specific class:

Example

```
p.error {
    color: red;
}
```

Try it Yourself »

External References

External style sheets can be referenced with a full URL or with a path relative to the current web page.

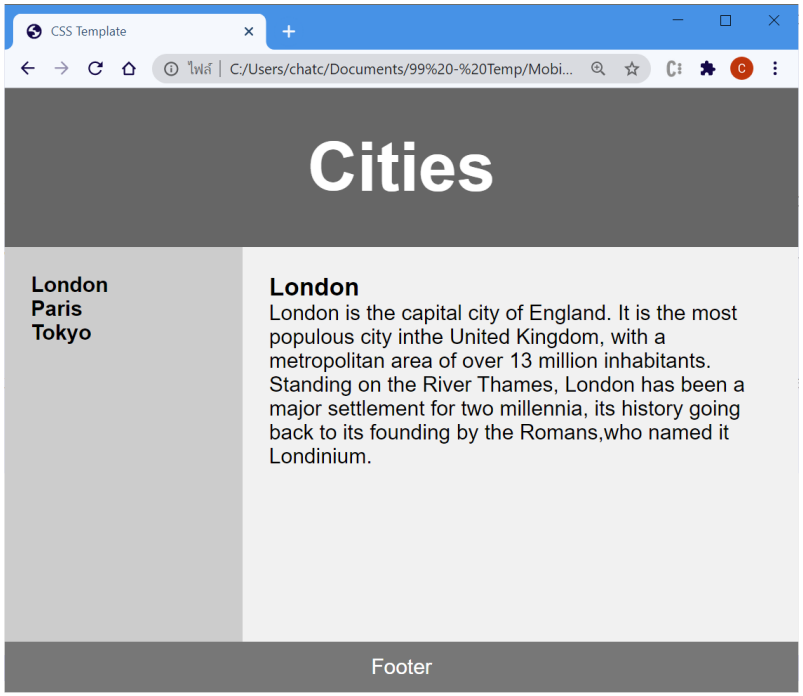
This example uses a full URL to link to a style sheet:

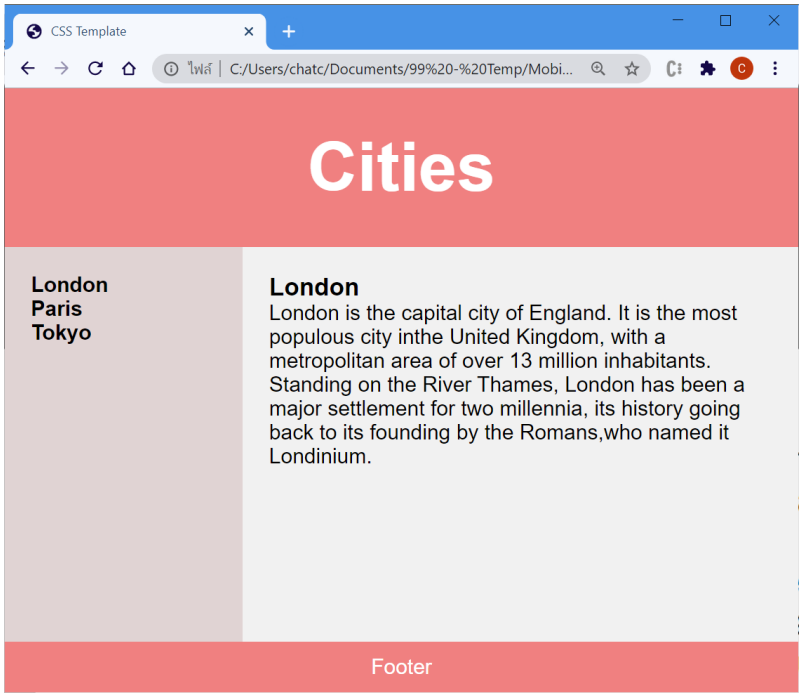
Example

```
<link rel="stylesheet" href="http://www.w3schools.com/html/styles.css">
```

ใช้ URL ได้ แชร์มาจากเว็บไซต์อื่น

Try it Yourself »





เลือกไฟล์ css แบบขาวดำหรือแบบสี (ไฟล์เดียว)

```
<style>
  @import url(./BlackWhite.css);
  @import url(./Color.css);
</style>
```

import คือเอาโค้ดในไฟล์ css มาแปะตรงนั้น
จะใช้ <link ...> ก็ได้เหมือนกัน

```
<head>
  <link rel="stylesheet" href="styles.css">
</head>
```