

Chapter 7

Wireless LAN



Wi-Fi ([/ˈwaɪfaɪ/](#))^[1] is a family of [wireless network protocols](#), based on the [IEEE 802.11](#) family of standards, which are commonly used for [local area networking](#) of devices and [Internet](#) access. *Wi-Fi* is a trademark of the non-profit [Wi-Fi Alliance](#), which restricts the use of the term *Wi-Fi Certified* to products that successfully complete [interoperability](#) certification testing.^{[2][3][4]} As of 2017, the Wi-Fi Alliance consisted of more than 800 companies from around the world.^[5] As of 2018, over 2.97 billion Wi-Fi enabled devices shipped globally each year.^[6] Devices that can use Wi-Fi technologies include [personal computer](#) desktops and laptops, [smartphones](#) and [tablets](#), [smart TVs](#), [printers](#), [smart speakers](#), cars, and [drones](#).

Pros

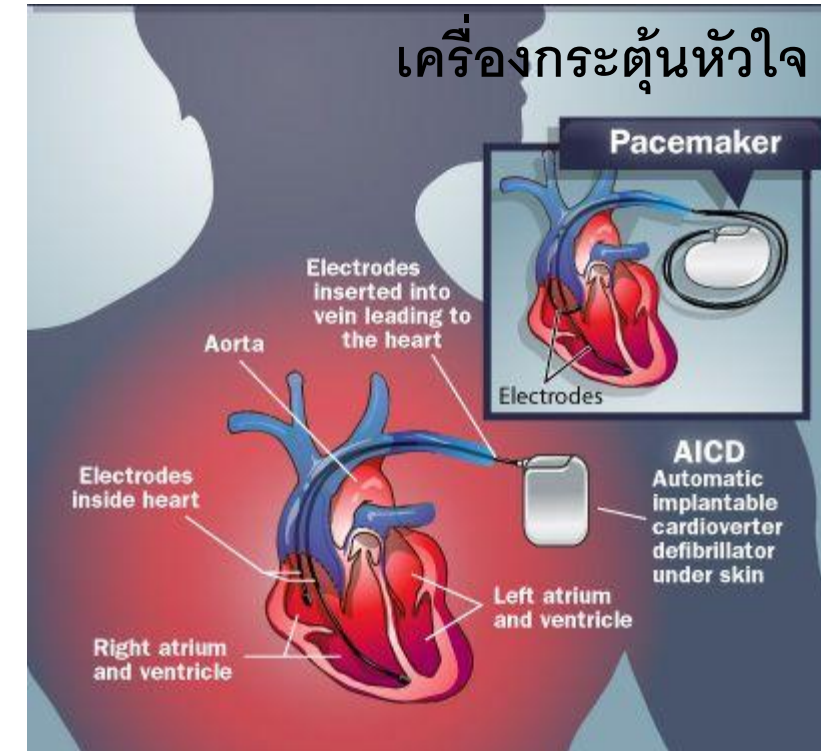
- **Flexibility** วางอุปกรณ์ เช่น **laptop** ตรงไหนก็ได้ ที่อยู่ในระยะ **radio coverage** ไร้สาย คลื่นทะลุสิ่งกีดขวาง เช่น กำแพง ที่เป็นอุปสรรคในการเดินสายไฟ
- **No planning** ไม่ต้องมีการวางแผนล่วงหน้า ทำ **ad-hoc network** ได้ ถ้าใช้สาย (**wire**) ทำไม่ได้ ต้องวางแผนล่วงหน้า วางสายก่อน
- **No wiring** เหมาะกับอาคารเก่าแก่ โบราณสถาน ที่ไม่ควรเดินสายเพิ่ม เพราะจะทำให้อาคารเสียหาย หรือดูไม่สวยงาม
- **Fixed cost** เสียค่าใช้จ่ายเริ่มต้นคงที่ ไม่แปรตามจำนวนผู้ใช้งาน ถ้าใช้สาย (**wire**) มีค่าใช้จ่ายตามจำนวนผู้ใช้งานที่เพิ่มขึ้น



This Linksys WRT54GS WiFi router from 2005 operates on the 2.4 GHz "G" standard, capable of transmitting 54 megabits per second.

Cons

- Quality of service ได้ data rate ต่ำกว่าใช้สายประมาณ 100 เท่า wireless ได้ 1 - 10 Mbit/s ใช้สายได้ 100 - 1,000 Mbit/s
- Proprietary solutions เนื่องจากมาตรฐานใหม่ออกช้า ผู้ผลิตทำส่วนขยายจากมาตรฐานเอง เพื่อให้ data rate สูงขึ้น เพิ่มบริการต่าง ๆ แต่อุปกรณ์จากผู้ผลิตยี่ห้อต่าง ๆ ทำงานร่วมกันไม่ได้
- Restrictions ใช้ความถี่ในช่วงที่เรียกว่า "license-free frequency bands" และห้ามใช้กำลังส่ง (watts) เกินกำหนด กฎระเบียบนี้แตกต่างกันไปในแต่ละประเทศ
- Safety and security ครอบคลุมสัญญาณอุปกรณ์อื่น ๆ เช่น pacemaker และ electrocardiogram (ECG) monitoring system การใช้ wireless เสี่ยงถูกดักฟังมากกว่าการใช้สาย





WiFi ต้นเหตุบีทีเอสขัดข้อง

กสทช.แนะสร้างระบบป้องกัน-เปลี่ยนคลื่นความถี่



ทำไมสัญญาณไวไฟถึงรบกวน BTS ได้ ?

เพราะ BTS ใช้คลื่น 2400 MHz ควบคุมระบบเดินรถ และสั่งการระหว่างกัน
และ BTS ไม่ได้สร้างระบบป้องกันการโดนรบกวน

ประกาศคณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ

ว่าด้วยมาตรฐานทางเทคนิคของเครื่องโทรคมนาคมและอุปกรณ์

เรื่อง เครื่องวิทยุคมนาคมที่ใช้เทคโนโลยี Broadband Wireless Access

ในลักษณะ Radio Local Area Network (RLAN)

กำลังส่ง (output power)

กำลังส่งของเครื่องวิทยุคมนาคม จะต้องไม่เกินค่าที่กำหนดไว้ ดังต่อไปนี้

ช่วงความถี่วิทยุ (GHz)	กำลังส่ง e.i.r.p (วัตต์)	ความหนาแน่นกำลังส่ง e.i.r.p density
2.400 – 2.500	0.1	-
5.150 – 5.350	0.2	10 mW/MHz (0.25 mW/25 kHz)
5.470 – 5.725	1.0	50 mW/MHz
5.725 – 5.850	1.0	-

US 1 W
EU 0.1 W
Japan 0.01 W

หมายเหตุ กำลังส่งในที่นี้ หมายถึง e.i.r.p during the transmission burst which corresponds to the highest power, if power control is implemented

Wireless LAN

~~1. ใช้ infrared light (300 GHz to 400 THz)~~

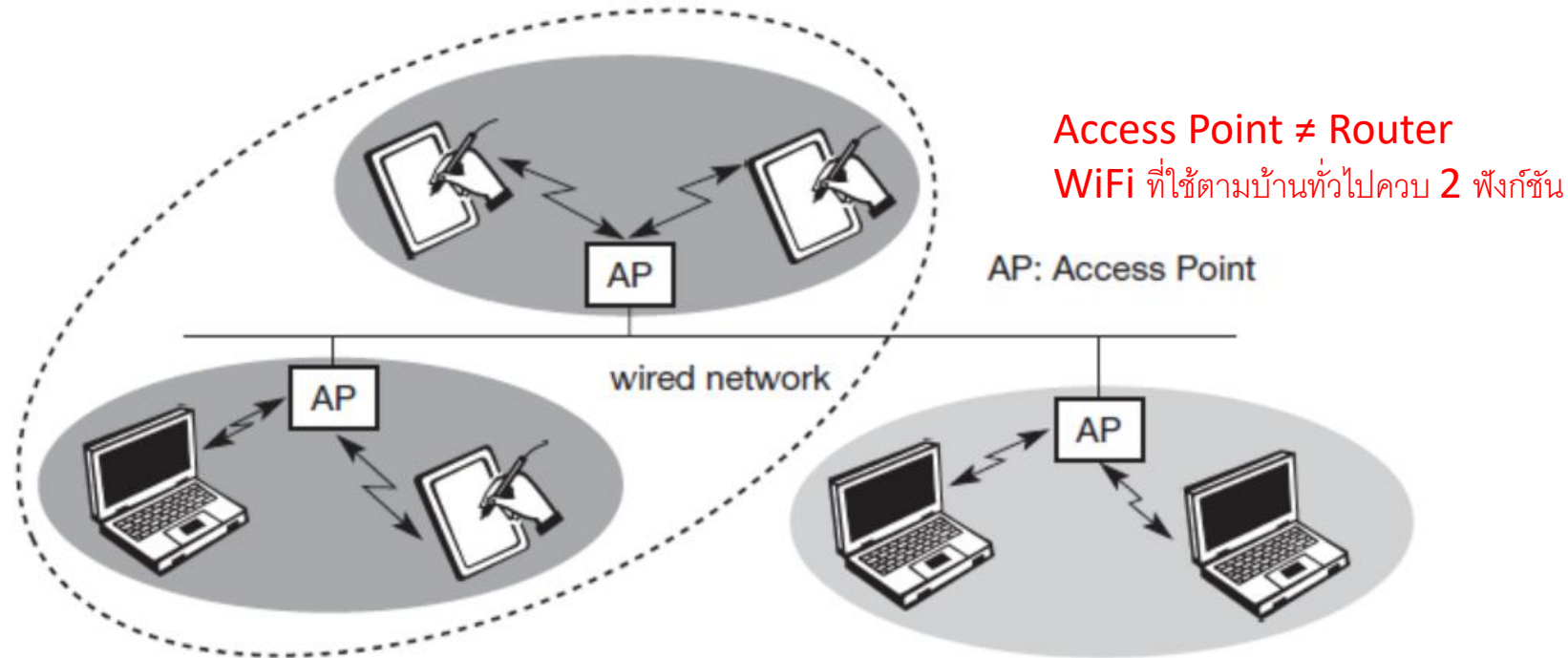
~~————— ต้องมี line of sight ไม่ทะลุสิ่งกีดขวาง transceiver/receiver ราคาถูก เลิกใช้ไปนานแล้ว~~

2. ใช้ radio wave (2.4 GHz และ 5 GHz)

เป็นแบบที่นิยมใช้ในปัจจุบัน

Infrastructure-based wireless network

Figure 7.1
Example of three
infrastructure-based
wireless networks



AP ทำหน้าที่

- Medium access control, AP 1 ตัวมี 1 ชี้อ
- Bridge to other wired/wireless networks
- APs หลายตัว ๆ รวมกันเป็น single network ที่กินพื้นที่ขนาดใหญ่ได้ เช่น ChulaWiFi
- เวลาแชร์ WiFi จาก smartphone ก็คือ AP ที่เกาะอยู่กับ mobile network

Ad-hoc wireless network

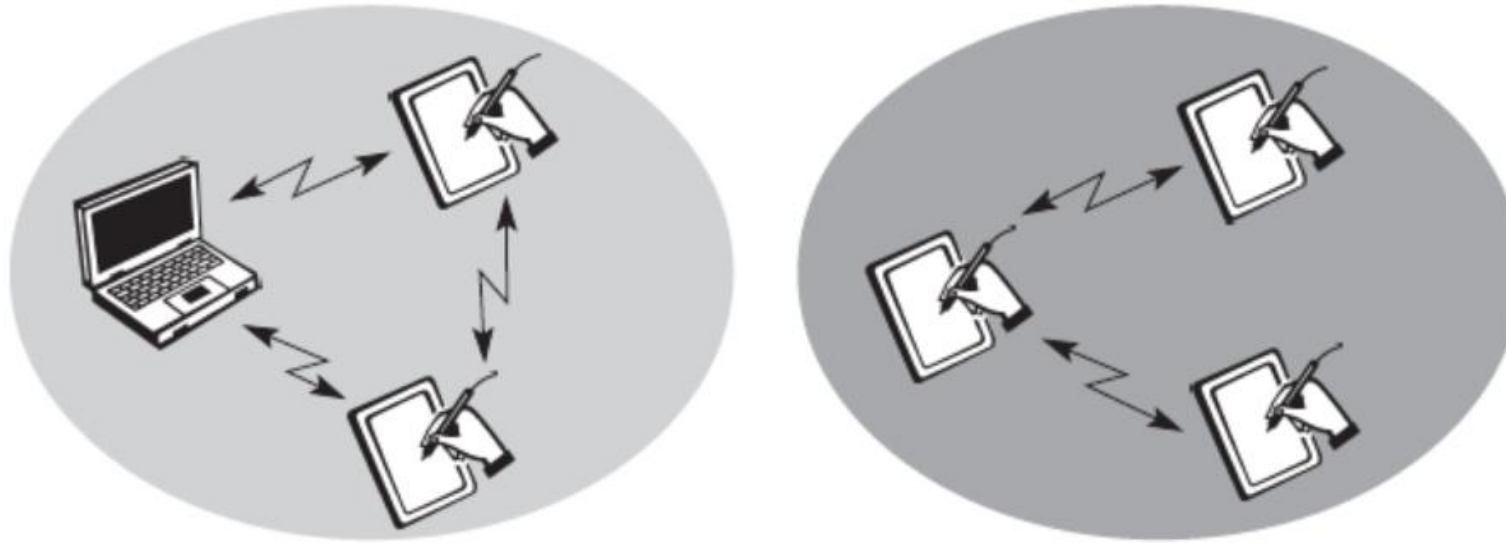
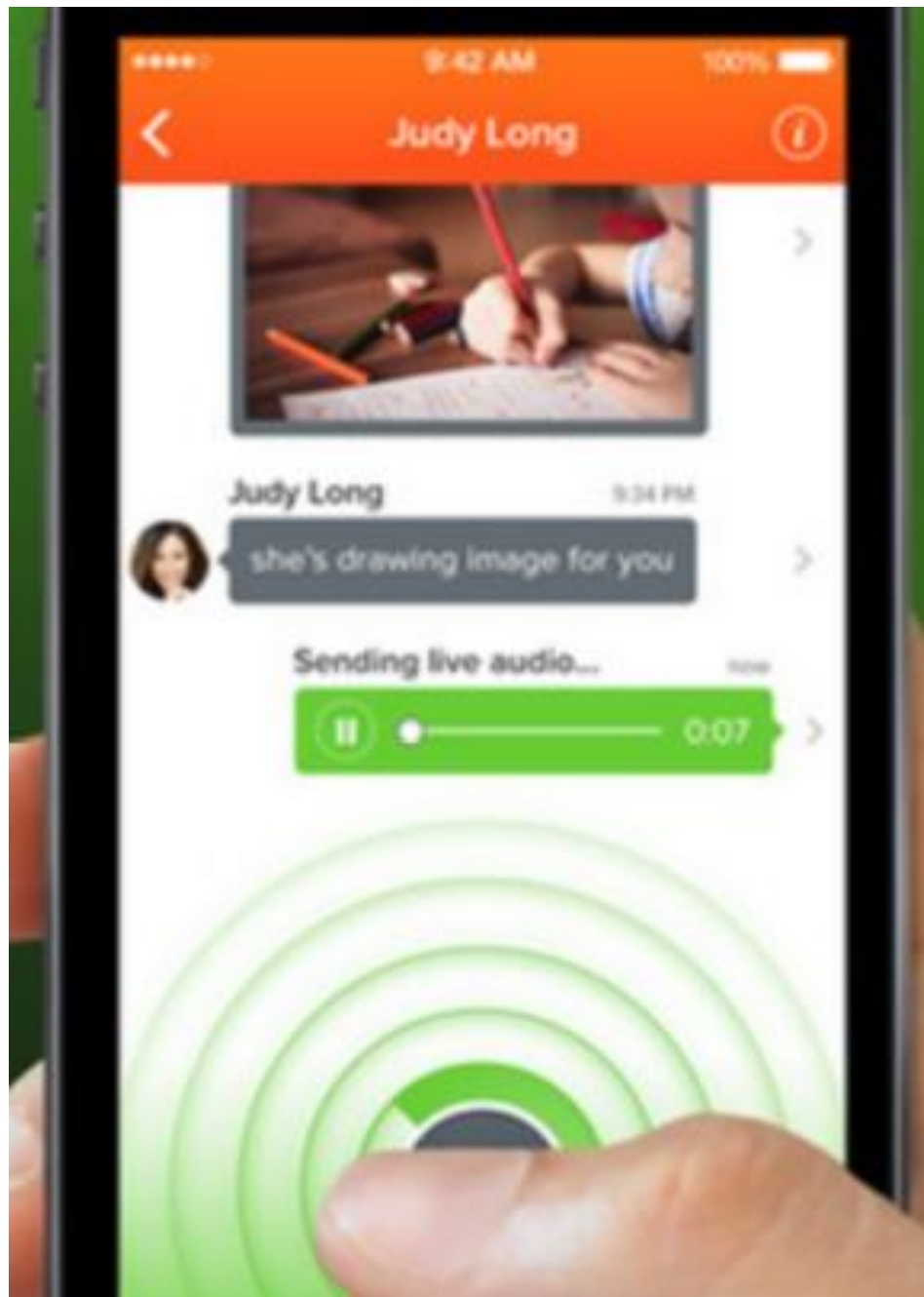


Figure 7.2

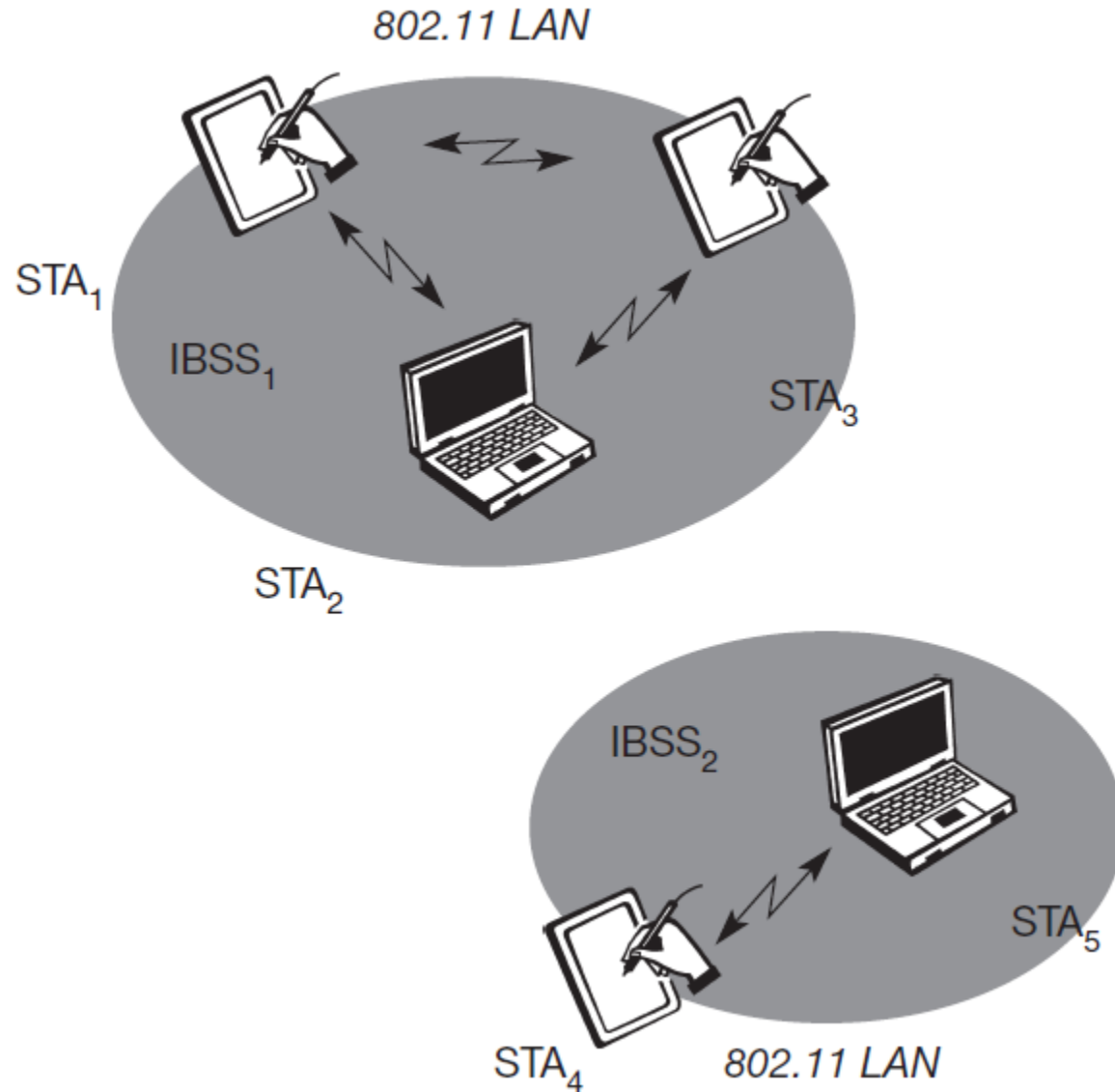
Example of two ad-hoc wireless networks

- ถ้าเป็น **wired network** เอา 2 เครื่องมาต่อสาย LAN กันตรง ๆ ได้ไม่ต้องมี **switch** แต่เอา 2 เครื่องมาต่อกันแบบ **wireless** โดยไม่ต้องมี **access point (ad-hoc)** ได้หรือไม่ ?
- ตัวอย่าง **ad-hoc applications** ที่มีการใช้งานแล้วจริงๆ เช่น **Voxer (Walkie Talkie App)** อุปกรณ์รับส่ง **WiFi** ต้องเป็นรุ่นเดียวกัน (มือถือรุ่นเดียวกัน) **ad-hoc network**



ใช้แทนวิทยุสื่อสาร (Walkie - Talkie) ได้เลย ไม่ต้องมี access point
ต้องเป็นมือถือรุ่นเดียวกัน ใช้อุปกรณ์รับส่ง WiFi รุ่นเดียวกันถึงจะทำได้

Ad-hoc wireless network

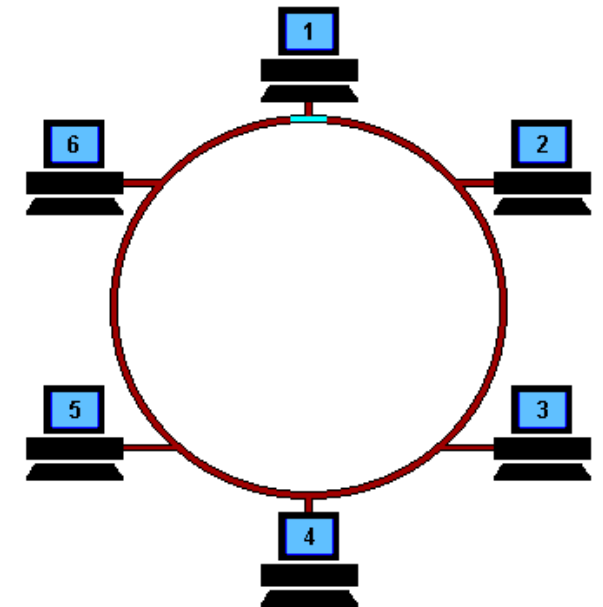


不需要 WiFi access point
ใช้ WiFi แบบ peer-to-peer ไม่ใช่ Bluetooth หรือ NFC

มาตรฐานทั้งหมดของ **Wireless LAN** (ของ **IEEE**)

European Telecommunications Standards Institute (ETSI) ออก HyperLAN (High Performance Radio LAN) แต่ไม่นิยมใช้มากเท่าของ IEEE

- IEEE 802.x LAN ทั้งหมด (wired / wireless)
- IEEE 802.3 Wired LAN (Ethernet) - physical layer / data link layer
- ~~• IEEE 802.5 Token Ring (cheap, less wires are needed)~~
- IEEE 802.11 Family of Wireless LANs



802.11 network PHY standards											[hide]
802.11 protocol	Release date ^[6]	Fre- quency	Band- width	Stream data rate ^[7]	Allowable MIMO streams	Modulation	Approximate range ^[citation needed]				
		(GHz)	(MHz)	(Mbit/s)			Indoor		Outdoor		
							(m)	(ft)	(m)	(ft)	
802.11-1997	Jun 1997	2.4	22	1, 2	N/A	DSSS, FHSS	20	66	100	330	
a	Sep 1999	5	20	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54	N/A	OFDM	35	115	120	390	
		3.7 ^[A]					—	—	5,000	16,000 ^[A]	
b	Sep 1999	2.4	22	1, 2, 5.5, 11	N/A	DSSS	35	115	140	460	
g	Jun 2003	2.4	20	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54	N/A	OFDM	38	125	140	460	
n	Oct 2009	2.4/5	20	400 ns GI : 7.2, 14.4, 21.7, 28.9, 43.3, 57.8, 65, 72.2 ^[B] 800 ns GI : 6.5, 13, 19.5, 26, 39, 52, 58.5, 65 ^[C]	4	MIMO-OFDM	70	230	250	820 ^[8]	
			40	400 ns GI : 15, 30, 45, 60, 90, 120, 135, 150 ^[B] 800 ns GI : 13.5, 27, 40.5, 54, 81, 108, 121.5, 135 ^[C]			70	230	250	820 ^[8]	
ac	Dec 2013	5	20	400 ns GI : 7.2, 14.4, 21.7, 28.9, 43.3, 57.8, 65, 72.2, 86.7, 96.3 ^[B] 800 ns GI : 6.5, 13, 19.5, 26, 39, 52, 58.5, 65, 78, 86.7 ^[C]	8		35	115 ^[9]			
			40	400 ns GI : 15, 30, 45, 60, 90, 120, 135, 150, 180, 200 ^[B] 800 ns GI : 13.5, 27, 40.5, 54, 81, 108, 121.5, 135, 162, 180 ^[C]			35	115 ^[9]			
			80	400 ns GI : 32.5, 65, 97.5, 130, 195, 260, 292.5, 325, 390, 433.3 ^[B] 800 ns GI : 29.2, 58.5, 87.8, 117, 175.5, 234, 263.2, 292.5, 351, 390 ^[C]			35	115 ^[9]			
			160	400 ns GI : 65, 130, 195, 260, 390, 520, 585, 650, 780, 866.7 ^[B] 800 ns GI : 58.5, 117, 175.5, 234, 351, 468, 702, 780 ^[C]			35	115 ^[9]			

ISM band อยู่ที่ 2.4 GHz และ 5 GHz (I = Industrial, S = Scientific, M = Medical)

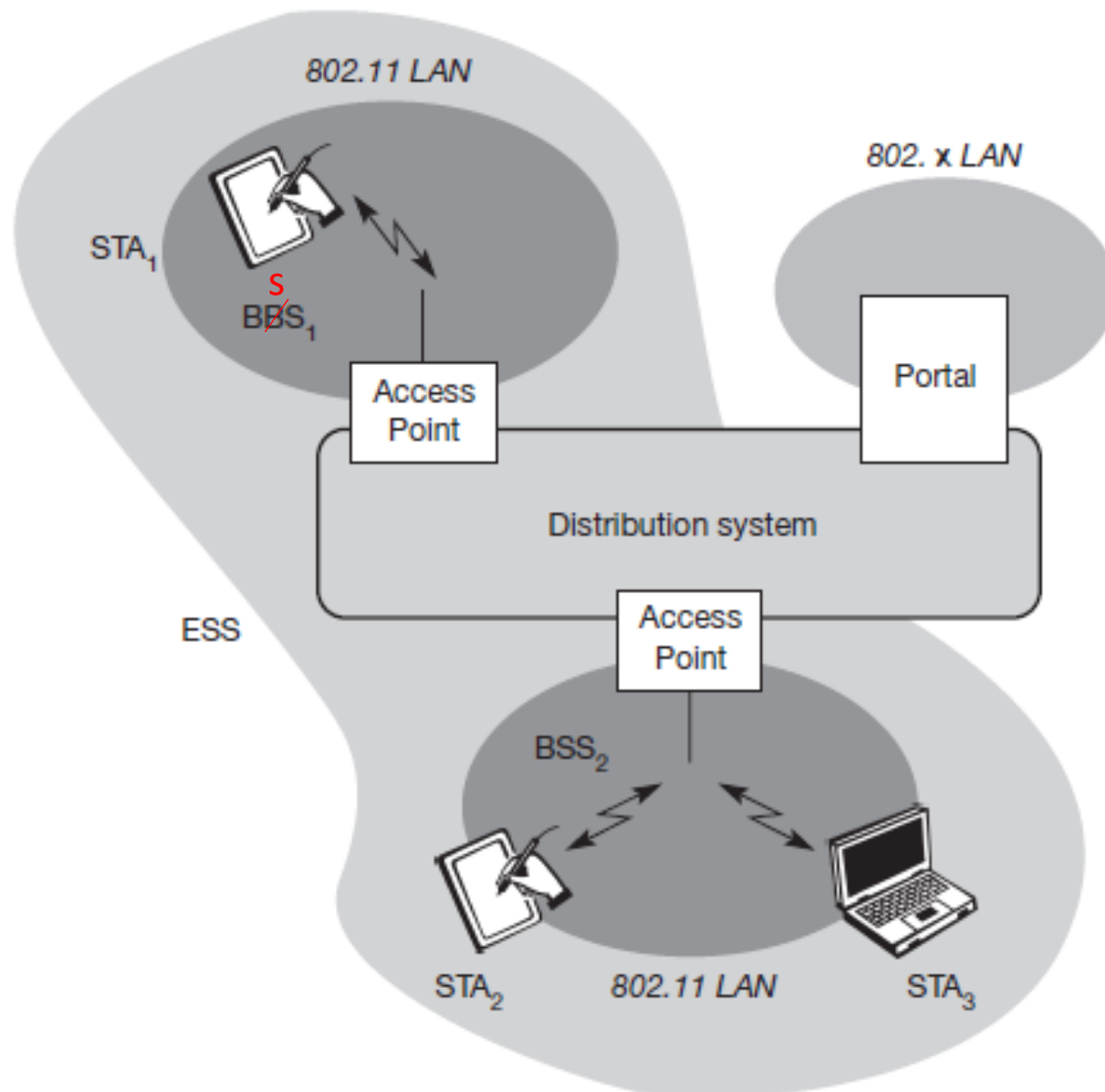
ad	Dec 2012	60	2,160	Up to 6,912 (6.75 Gbit/s) ^[10]	N/A	OFDM, single carrier, low-power single carrier	60			
ah	Est. Dec 2016 ^[8]	0.9		Up to 20						
aj	Est. Jul 2017 ^[8]	45/60								
ax	Est. Dec 2018 ^[8]	2.4/5		Up to 10.53 Gbit/s		MIMO-OFDM				
ay	Est. Nov 2019 ^[8]	60	8000	Up to 100,000 (100 Gbit/s)	4	OFDM, single carrier,	60			
az	Est. Mar 2021 ^[8]	60								

- ^{A1 A2} IEEE 802.11y-2008 extended operation of 802.11a to the licensed 3.7 GHz band. Increased power limits allow a range up to 5,000 m. As of 2009, it is only being licensed in the United States by the FCC.
- ^{B1 B2 B3 B4 B5 B6} Assumes short guard interval (SGI) enabled.
- ^{C1 C2 C3 C4 C5 C6} Assumes short guard interval (SGI) disabled.

WiFi 4, 5, 6, 6E, 7

	WiFi 4	WiFi 5	WiFi 6	WiFi 6E	WiFi 7
วันเปิดตัว	2007	2013	2019	2021	2024
มาตรฐาน IEEE	802.11 n	802.11 ac	802.11 ax		802.11 be
ความเร็วสูงสุด	150 Mbps	3.5 Gbps	9.6 Gbps		46 Gbps
คลื่นความถี่	2.4 GHz, 5 GHz	5 GHz	2.4 GHz, 5 GHz	2.4 GHz, 5 GHz, 6 GHz	2.4 GHz, 5 GHz, 6 GHz
ความกว้างช่องสัญญาณ	20, 40 MHz	20, 40, 80, 160 MHz	20, 40, 80, 160 MHz		20, 40, 80, 160, 320MHz
โมดูล	64 QAM OFDM	256 QAM OFDM	1024 QAM OFDMA	1024 QAM sOFDMA	4096 4096 QAM OFDMA
MIMO	4x4 MIMO	4x4 MIMO, DL MU-MIMO	8x8 UL/DL MU-MIMO		16x16 UL/DL MU-MIMO
RU	-	-	RU		Multi-RUs
MAC	-	-	-		MLO

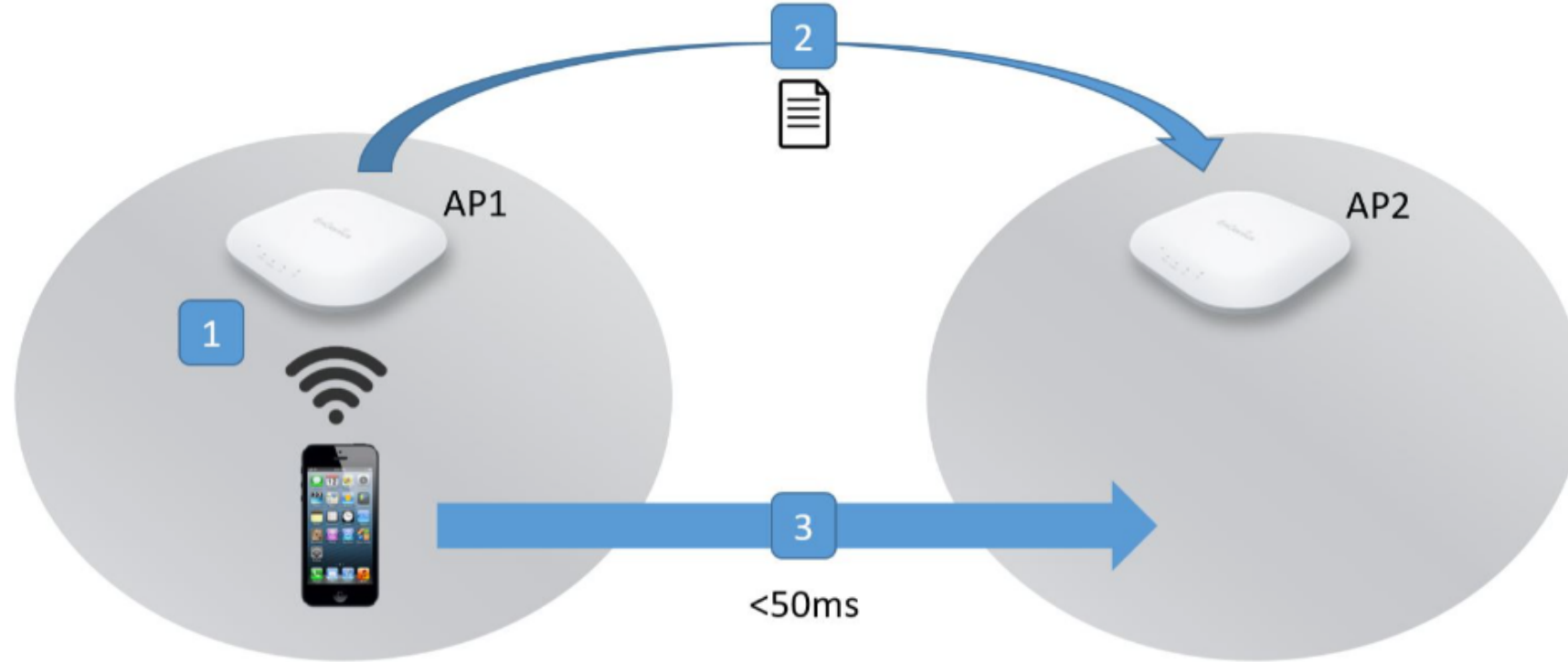
Infrastructure-based Network



- STA = station หรืออุปกรณ์ เกาะอยู่กับ access point (AP)
- BSS = basic service set เกาะอยู่กับ distribution system
- ESS = extended service set คือ single network ที่ประกอบด้วย BSS หลายๆ ตัว
ESS มี identifier คือ ESSID (ชื่อ network) เช่น ChulaWiFi
- Portal คือ ประตูที่เชื่อม distribution system นี้กับ LAN วงอื่นๆ (อาจจะเป็น wired หรือ wireless)

การทำ **handover** ควรใช้ AP ยี่ห้อเดียวกัน ที่ได้มาตรฐาน IEEE 802.11f (มาตรฐานว่าด้วยเรื่อง **handover**) ข้อเสียของ 802.11f คือ **handover** ช้า

โรมมิ่ง WiFi ไม่ขาดช่วง ด้วย Fast Roaming UU Controller EnGenius



Fast Roaming คืออะไร?

Fast Roaming คือการที่ช่วยให้อุปกรณ์ใช้งาน (Client) ที่จับสัญญาณ Access Point จากจุดใดจุดหนึ่ง ย้ายไปจับสัญญาณกับ Access Point อีกจุดหนึ่ง โดยที่ผู้ใช้งาน (Client) นั้นจะรู้สึกตัวเลยว่ามี การเปลี่ยนการจับสัญญาณ โดยที่ระบบนั้นจะทำการวิเคราะห์สัญญาณให้โดยอัตโนมัติ ด้วยมาตรฐาน 802.11k และ 802.11r จึงมั่นใจได้ว่า Fast Roaming บน Access Point นั้นปลอดภัยและแม่นยำแน่นอน

การโรมมิ่งเครือข่าย Wi-Fi ด้วยมาตรฐาน 802.11k, 802.11r และ 802.11v บน iOS

ดูวิธีที่ iOS และ iPadOS ปรับปรุงการโรมมิ่งของลูกข่ายโดยใช้มาตรฐานเครือข่าย Wi-Fi

iOS รองรับการโรมมิ่งของลูกข่ายที่ได้รับการปรับปรุงบนเครือข่าย Wi-Fi ขององค์กร มาตรฐาน k, r, และ v ของ 802.11 Working Group ช่วยให้ลูกข่ายทำการโรมมิ่งจากจุดเชื่อมต่อสัญญาณ (AP) ไปยัง AP ภายในเครือข่ายเดียวกันได้อย่างราบรื่นมากยิ่งขึ้น

802.11k สแกนหา AP ใหม่ไว้วล่งหน้า

มาตรฐาน 802.11k จะช่วยให้อุปกรณ์ค้นหา AP ที่อยู่ใกล้เคียงที่พร้อมใช้งานเป็นเป้าหมายการโรมมิ่งได้อย่างรวดเร็ว ด้วยการสร้างรายการช่องสัญญาณที่ปรับให้เหมาะสม เมื่อ AP ในปัจจุบันมีความแรงของสัญญาณอ่อน อุปกรณ์จะสแกนหา AP เป้าหมายจากรายการนี้

802.11r ทำ fast roaming

เมื่ออุปกรณ์ของคุณโรมมิ่งจาก AP หนึ่งไปยังอีก AP หนึ่งภายในเครือข่ายเดียวกัน มาตรฐาน 802.11r จะใช้คุณสมบัติที่เรียกว่า Fast Basic Service Set Transition (FT) ในการรับรองความถูกต้องอย่างรวดเร็วมากยิ่งขึ้น FT ทำงานร่วมกับวิธีการรับรองความถูกต้องด้วยคีย์ที่แชร์ล่วงหน้า (PSK) และ 802.1X

iOS 10 และใหม่กว่าและ iPadOS มาพร้อมการรองรับมาตรฐาน Adaptive 802.11r บนเครือข่ายไร้สายของ Cisco มาตรฐาน Adaptive 802.11r จะมี FT โดยไม่ต้องเปิดใช้งาน 802.11r บนเครือข่ายไร้สายของ Cisco ที่มีการกำหนดค่า

802.11v ทำ wireless network management เช่น power saving และ load balancing

iOS และ iPadOS รองรับการทำงาน 802.11v บนอุปกรณ์บางประเภทต่อไปนี้

- การจัดการการเปลี่ยนแปลงแบบ Basic Service Set (BSS)
- Disassociation Imminent
- Directed Multicast Service (DMS)
- BSS Max Idle Service

การจัดการการเปลี่ยนแปลงแบบ BSS ที่มี Disassociation Imminent ช่วยให้ฝ่ายจัดการควบคุมของเครือข่ายส่งผลกระทบต่อลักษณะการทำงานของโรมมิ่งของลูกข่าย โดยการให้ข้อมูลไหลของจุดเชื่อมต่อสัญญาณที่อยู่ใกล้เคียง อุปกรณ์จะนำข้อมูลนี้มาพิจารณาเมื่อตัดสินใจเลือกเป้าหมายการโรมมิ่งที่เป็นไปได้

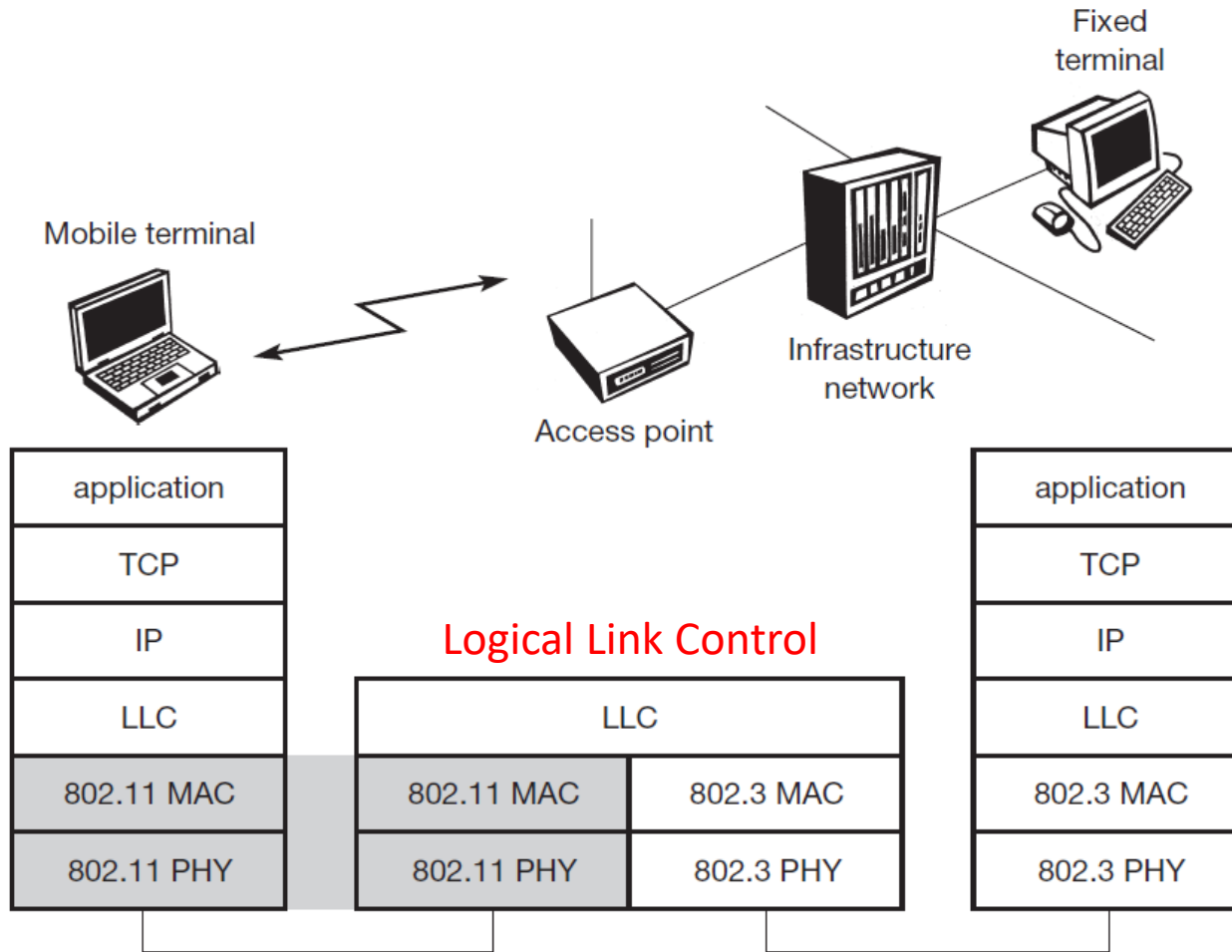
DMS จะปรับการรับส่งข้อมูลแบบมัลติคาสต์ให้เหมาะสมบนเครือข่ายไร้สาย อุปกรณ์จะใช้ข้อมูลนี้เพื่อปรับปรุงการสื่อสารแบบมัลติคาสต์ให้ดียิ่งขึ้นและยืดระยะเวลาการใช้งานแบตเตอรี่ของอุปกรณ์

Roaming procedures enable wireless access in areas that are covered by network providers with which the user does not have any prior arrangements. **Handover** procedures enable the maintenance of ongoing connections while a user moves across different wireless access networks (<https://d-nb.info/978402669/34>).

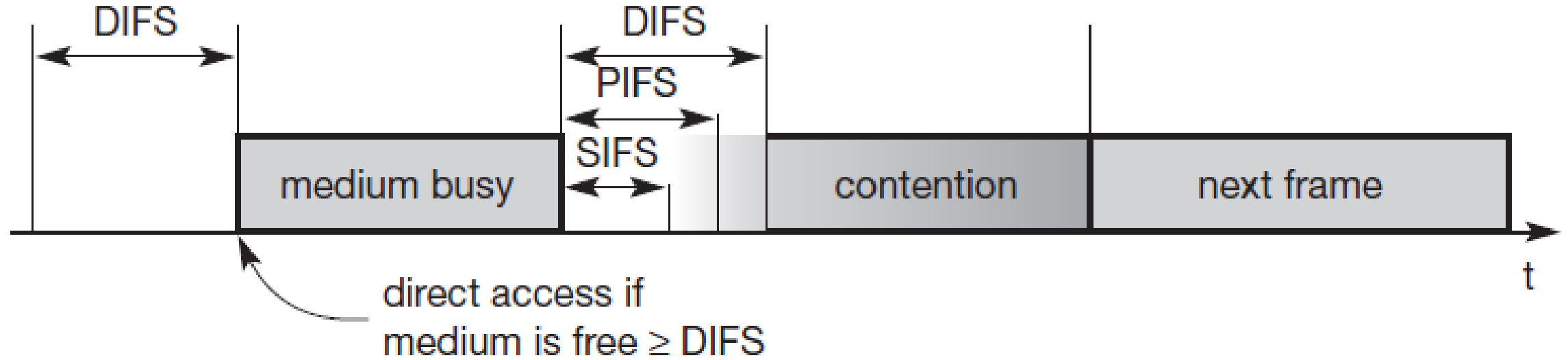
roaming อาจจะได้ ip address เดิม บางแอปทำงานต่อเนื่องไม่ได้ เช่น video call และ roaming อาจจะไม่ forward packets จาก AP ตัวก่อนหน้านี้มาให้ ต่างจาก handover ที่ทำให้เสมือนว่า connect อยู่ตลอดเวลา ทุกแอปทำงานได้ต่อเนื่อง

- Network assisted Power Savings - Helps clients to improve battery life by enabling them to sleep longer. For example, mobile devices use a certain amount of idle period to ensure that they remain connected to access points and therefore consume more power when performing the following tasks in a wireless network.
- Network assisted Roaming - Enables the WLAN to send messages to associated clients, for better APs to associate with clients. This is useful for both load balancing and in directing poorly connected clients.

- ซอฟต์แวร์ตัวเดียวกันทำงานได้ทั้งบนมาตรฐาน IEEE 802.11 (wireless LAN) และมาตรฐาน IEEE 802.3 (wired LAN)
- Layer ข้างบนมองไม่เห็น layer ข้างล่าง (MAC) ของ 802.11 และ 802.3 ต่างกันอย่างไร จะมองเห็นว่าเหมือนกัน แต่ 802.11 ช้ากว่ามาก (lower bandwidth และ higher access time)

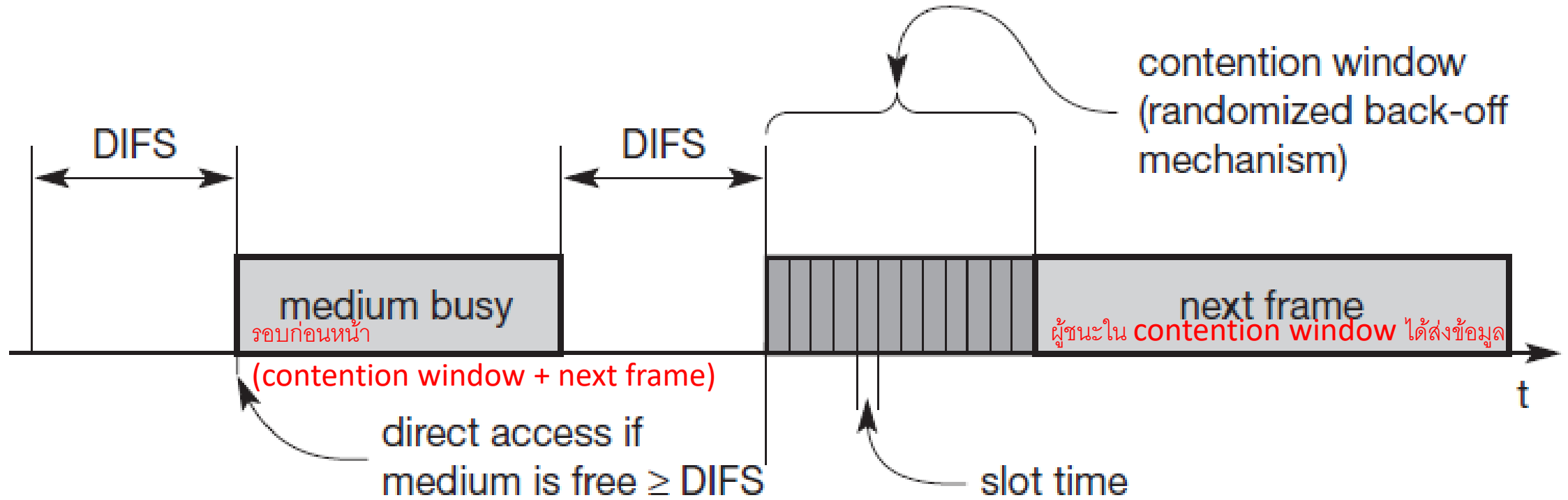


Distributed Foundation Wireless Medium Access Control (DFWMAC)



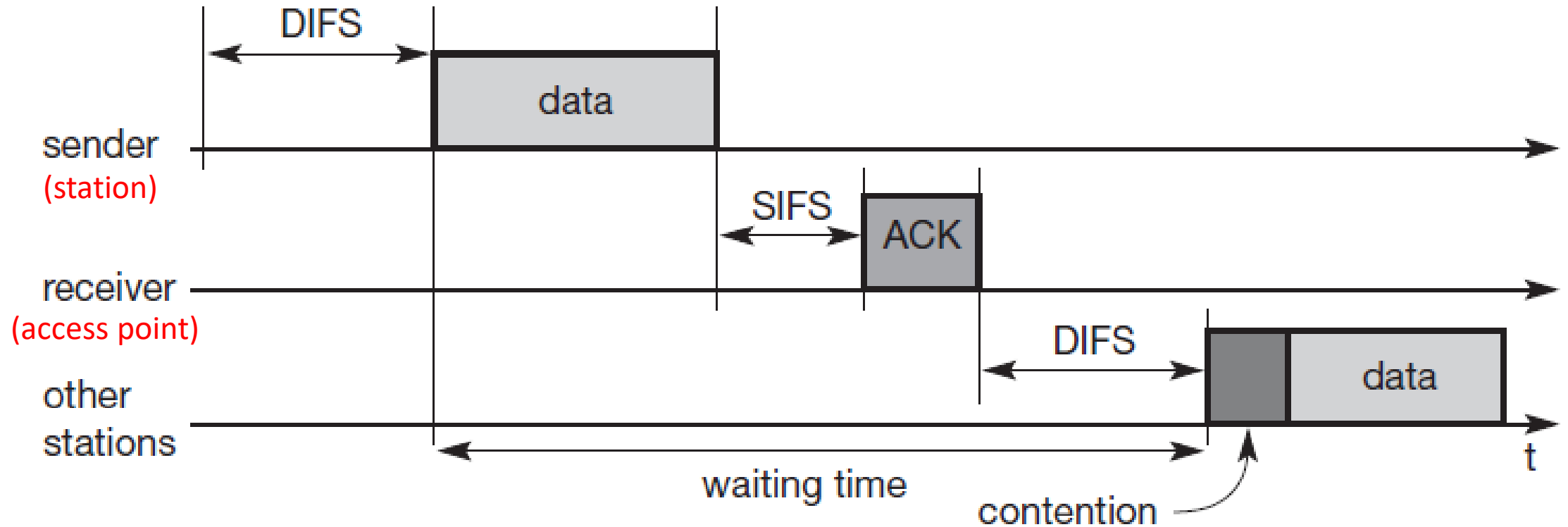
รูปนี้คือหัวใจของ **Medium Access Control (MAC)**

- **Short inter-frame spacing (SIFS):** The shortest waiting time for medium access (so the highest priority) is defined for short control messages, such as acknowledgements of data packets or polling responses. For DSSS SIFS is $10\ \mu\text{s}$ and for FHSS it is $28\ \mu\text{s}$. The use of this parameter will be explained in sections 7.3.4.1 through 7.3.4.3.
- **PCF inter-frame spacing (PIFS):** A waiting time between DIFS and SIFS (and thus a medium priority) is used for a time-bounded service. An access point polling other nodes only has to wait PIFS for medium access (see section 7.3.4.3). PIFS is defined as SIFS plus one slot time.
- **DCF inter-frame spacing (DIFS):** This parameter denotes the longest waiting time and has the lowest priority for medium access. This waiting time is used for asynchronous data service within a contention period (this parameter and the basic access method are explained in section 7.3.4.1). DIFS is defined as SIFS plus two slot times.

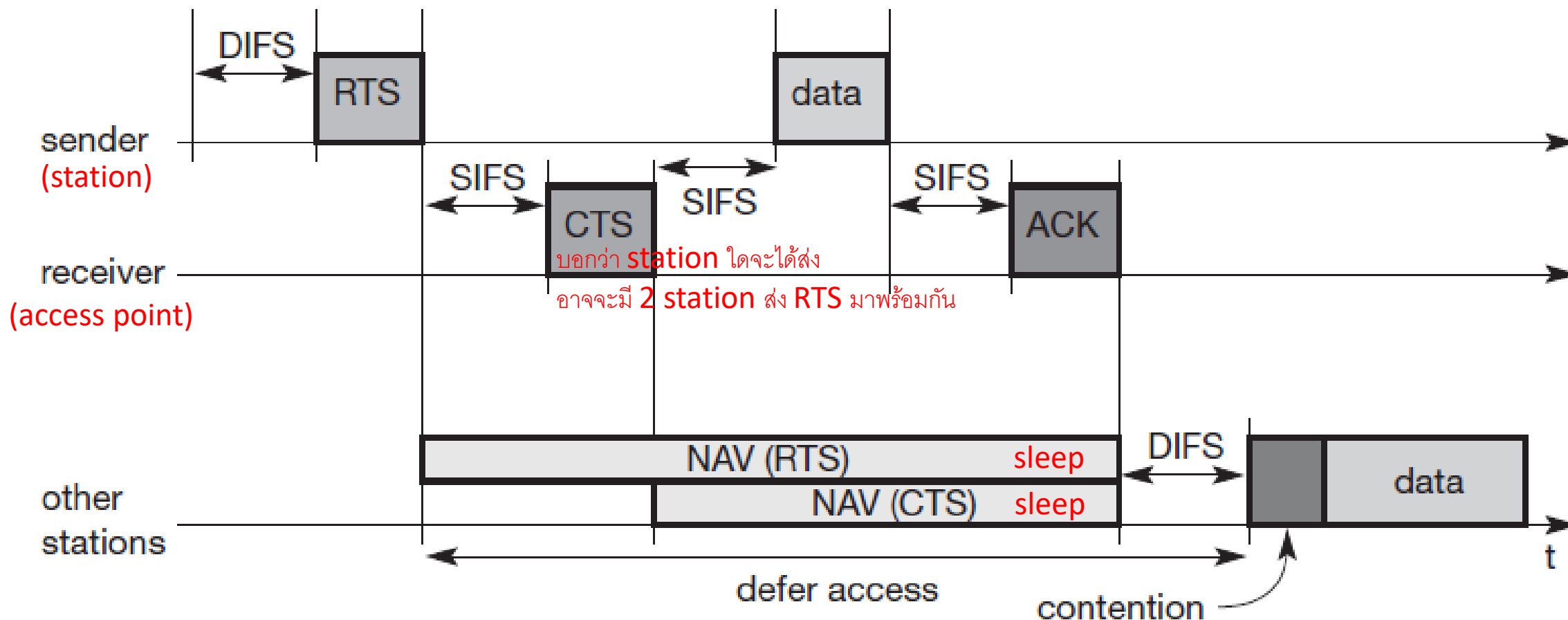


- ผู้ใช้แต่ละคนจะเลือก random backoff time ว่าจะรอกี่ slot หลังจาก DIFS ใคร random ได้น้อยสุด ก็ได้เข้ามาใช้ก่อน
- แต่ถ้าสุ่ม backoff time ทุกรอบ อาจเกิด starvation ได้ ดังนั้นจึงให้แต่ละ mobile station มี backoff timer ด้วย
- เริ่มต้นก็สุ่ม backoff time (slot) เหมือนเดิม และ start backoff timer ด้วย ถ้ายังไม่ได้ใช้ medium ในรอบนี้ ก็ stop backoff timer แล้วเมื่อขึ้น DIFS ถัดไปก็ start backoff timer อีก ถ้า backoff timer หมดเมื่อไหร่ก็เข้าใช้ medium ทันที เพื่อแก้ปัญหา starvation

หลังจากแย่งส่งข้อมูลได้แล้ว ผู้รับต้องรีบ **acknowledge** ภายในเวลา **SIFS**



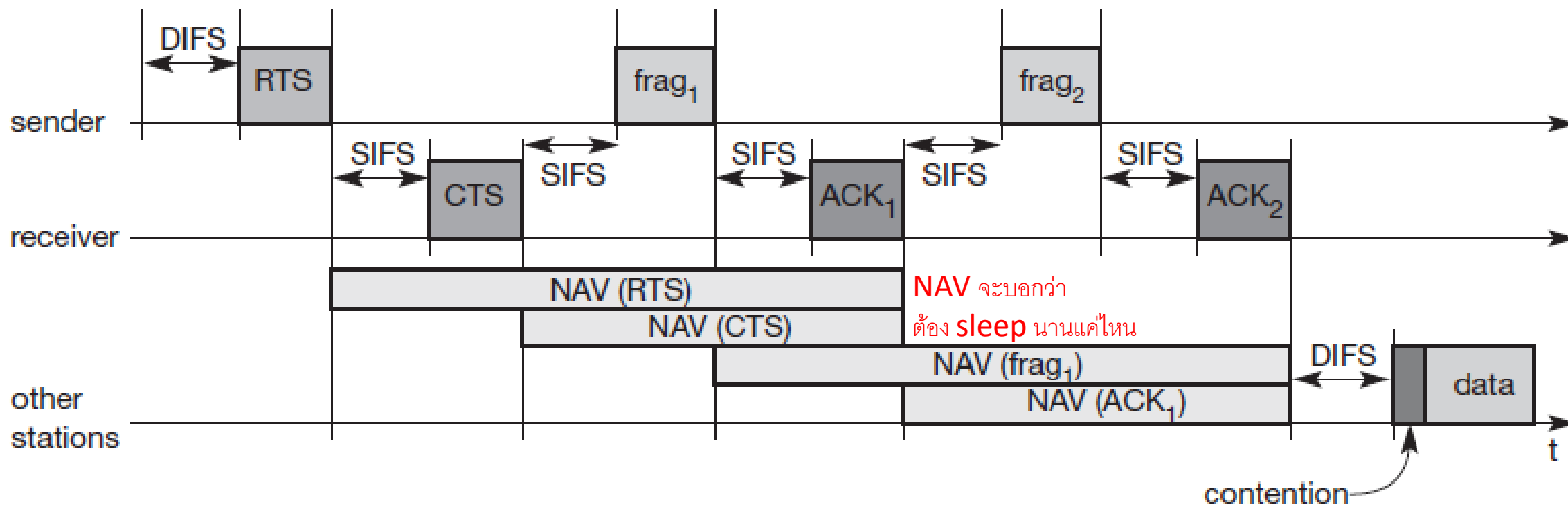
เพิ่ม RTS และ CTS ก่อนส่ง data เพื่อแก้ปัญหา Hidden Terminals (เช่น 2 station จะส่งพร้อม ๆ กัน)



NAV(RTS) สำหรับ station ที่ได้ยิน RTS (บาง station ไม่ได้ยิน RTS เพราะสัญญาณอ่อน)

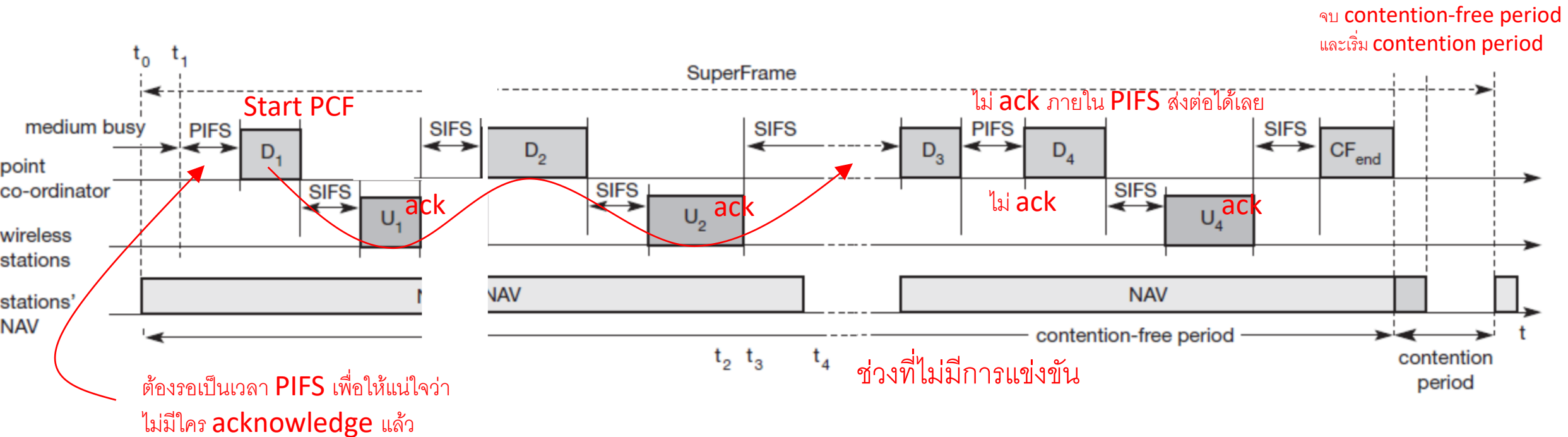
NAV(CTS) สำหรับ station ที่ไม่ได้ยิน RTS (ต้องได้ยิน CTS แน่ ๆ เพราะ AP ส่งสัญญาณแรง)

NAV = Net Allocation Vector



พอได้สัญญาณ **CTS** แล้ว ก็เริ่มส่งข้อมูลได้เลย ผู้รับจะ **acknowledge** ภายในเวลา **SIFS** ดังนั้นจะไม่มีใครมาแทรกได้

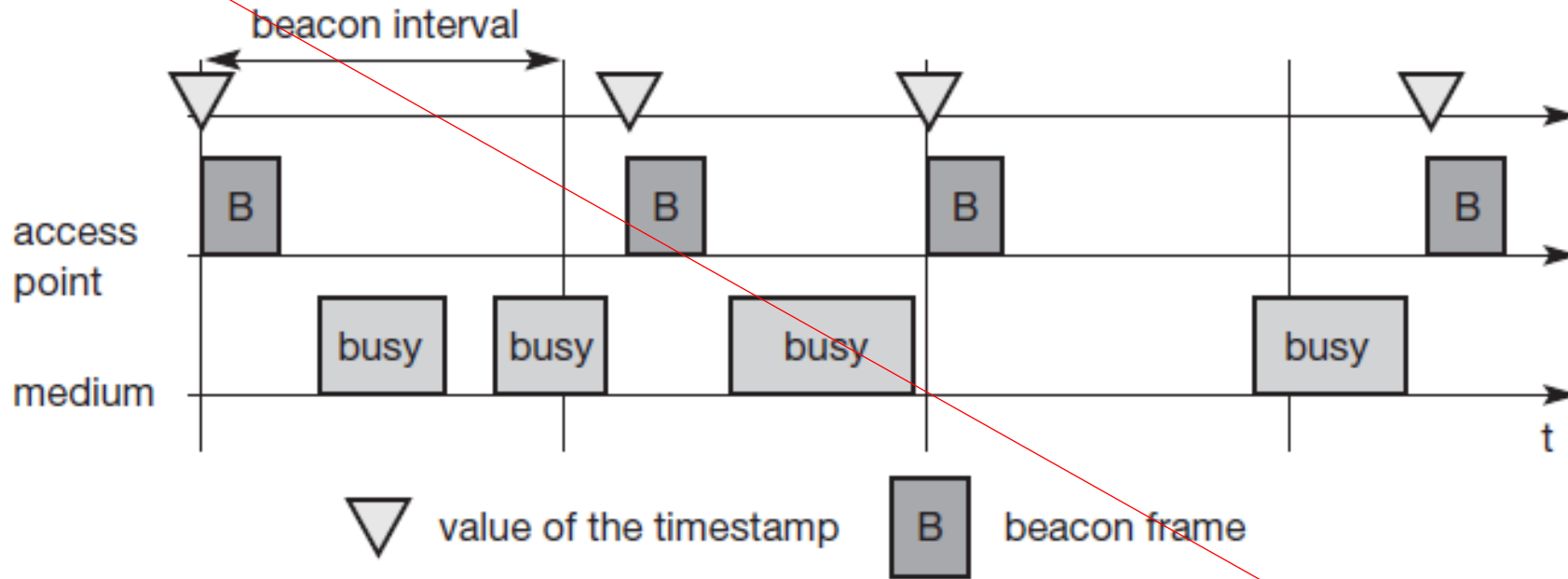
PCF = Point Coordination Function
DCF = Distribution Coordination Function



Contention-free period
Contention-period

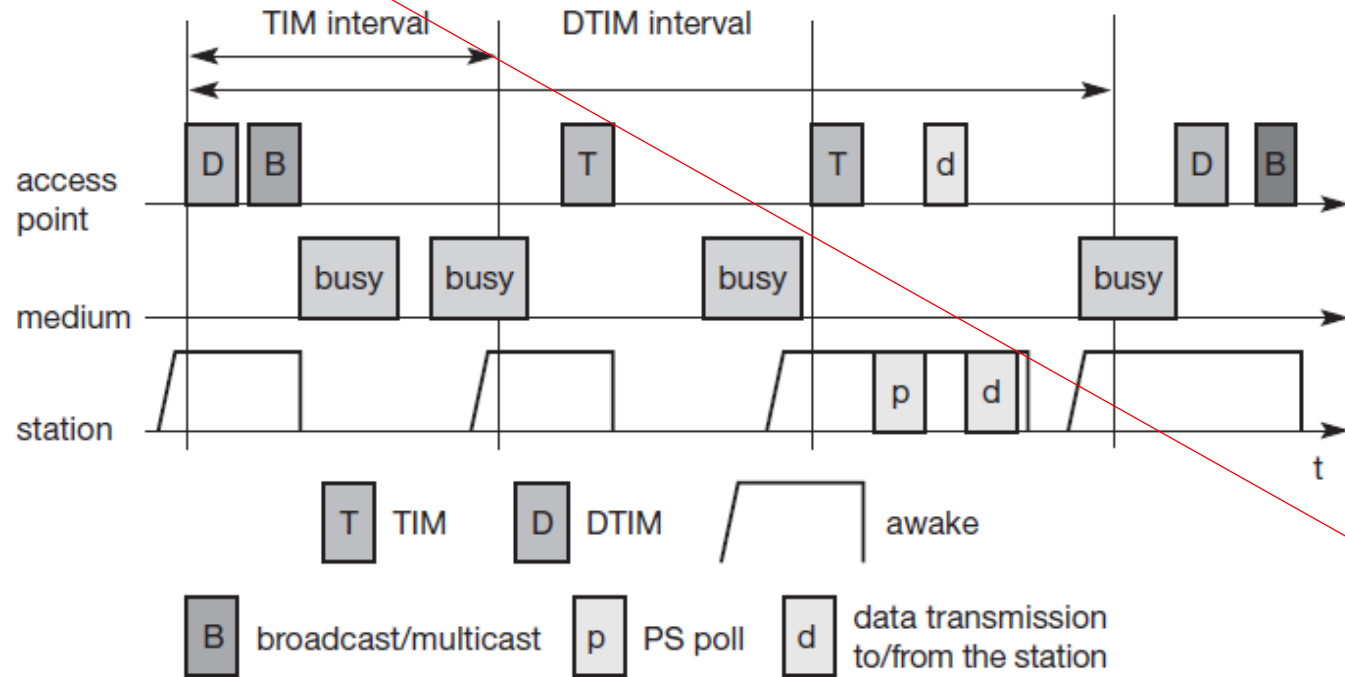
ส่งข้อมูลจาก AP ไป station
ส่งข้อมูลจาก station ไป AP

Synchronization



- แต่ละ mobile station มี internal clock และต้อง sync เพื่อทำ PCF (แต่ละ node ทำนายได้ว่า superframe จะเริ่มต้นเมื่อใด), frequency hopping, power management
- ข้อมูลสำหรับ time sync อยู่ใน beacon frame ที่ส่งออกมาเป็นระยะๆ ใน beacon มีข้อมูล time stamp และข้อมูลอื่นๆ สำหรับ power management และ roaming
- ใน infrastructure network นั้น access point จะส่ง beacon ออกมาเป็นระยะๆ mobile station มีหน้าที่ปรับ local clock ให้ตรงกับ access point สังเกตว่าสัญญาณ beacon นั้นจะไม่สม่ำเสมอ เนื่องจาก medium busy แต่ access point จะพยายามรักษา beacon interval ไว้

Power Management



- หลักการประหยัดพลังงานคือปิดเครื่องรับสัญญาณเมื่อไม่ได้ใช้ (sleep vs. awake)
- ถ้าจะส่งข้อมูลให้ power-saving station, sender จะต้อง buffer data ไว้ (อย่าส่งบ่อยๆ) mobile station จะต้องตื่นขึ้นมาเป็นระยะๆ เพื่อฟัง sender ประกาศว่าจะส่งข้อมูลใน buffer ให้ใครบ้าง station ต้อง stay awake จนกว่าจะได้รับข้อมูล
- ในรูปข้างบน station จะต้องตื่นขึ้นมาทุกๆ TIM interval (TIM = traffic indication map) เพื่อฟัง beacon และ T ใน T จะระบุว่าใครเป็นผู้รับ แบบ unicast / multicast ถ้า station นั้นเป็นผู้รับก็ต้อง stay awake
- Access point จะส่ง broadcast/multicast frames ทุกๆ DTIM interval (DTIM = delivery TIM) ใน D น่าจะมีข้อมูลที่เป็นภาพรวมทั้งหมดว่ารอบนี้จะส่งอะไรให้ใครบ้าง (หนังสือไม่อธิบายว่าใน D มีข้อมูลอะไร) ส่วนใน T จะระบุแค่ว่าในรอบนี้ใครเป็นผู้รับ
- รอบ #1 เป็น broadcast (B) ทำให้ station ต้อง awake เพื่อรับ B ให้หมด
- รอบ #2 เพราะ medium busy ทำให้ T เลื่อนไปนิด
- รอบ #3 ใน T บอกว่าให้ station รอรับข้อมูล station ตอบกลับว่า p (PS = power saving poll น่าจะหมายถึง acknowledge ใน power saving mode) station รับและส่งข้อมูลกับ access point

How Bluetooth and Wi-Fi Interfere

Wi-Fi and Bluetooth both occupy a section of the 2.4 GHz ISM band that is 83 MHz-wide. Bluetooth uses Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS) and is allowed to hop between 79 different 1 MHz-wide channels in this band.

Wi-Fi uses Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS) instead of FHSS. Its carrier does not hop or change frequency and remains centered on one channel that is 22 MHz-wide. While there is room for 11 overlapping channels in this 83 MHz-wide band, there is only room for three non-overlapping channels. Thus there can be no more than three different Wi-Fi networks operating in close proximity to one another.

When a Bluetooth radio and a Wi-Fi radio are operating in the same area, the single 22 MHz-wide Wi-Fi channel occupies the same frequency space as 22 of the 79 Bluetooth channels which are 1 MHz wide. When a Bluetooth transmission occurs on a frequency that lies within the frequency space occupied by a simultaneous Wi-Fi transmission, some level of interference can occur, depending on the strength of each signal.

มีหน้า login กับหน้า main

```
src > JS App.js > ...
1   import { Routes, Route } from "react-router-dom";
2
3   import Login from './Login'
4   import Main from './Main'
5
6   function App() {
7
8     return (
9       <Routes>
10        <Route path="/" element={<Login />} />
11        <Route path="/login" element={<Login />} />
12        <Route path="/main" element={<Main />} />
13      </Routes>
14    )
15  }
16
17  export default App
```

npm install react-hot-toast

```
src > JS index.js > ...
1  import React from 'react';
2  import ReactDOM from 'react-dom/client';
3  import './index.css';
4  import App from './App';
5  import reportWebVitals from './reportWebVitals';
6  import { BrowserRouter } from 'react-router-dom'
7  import { Toaster } from 'react-hot-toast'; ←
8
9  const root = ReactDOM.createRoot(document.getElementById('root'));
10 root.render(
11   //<React.StrictMode>
12   <BrowserRouter>
13     <Toaster /> ←
14     <App />
15   </BrowserRouter>
16   //</React.StrictMode>
17 );
18
19 // If you want to start measuring performance in your app, pass a function
20 // to log results (for example: reportWebVitals(console.log))
21 // or send to an analytics endpoint. Learn more: https://bit.ly/CRA-vitals
22 reportWebVitals();
```

หน้า **main** (หลังล็อกอินสำเร็จ)

```
src > JS Main.js > ...
  1  import React from 'react'
  2  import { useNavigate } from 'react-router-dom'
  3
  4  function Main(props) {
  5    let navigate = useNavigate()
  6    return <center>
  7      <h1>Main Page</h1>
  8    </center>
  9  }
10
11  export default Main
```

npm install react-cookies

src > JS Login.js > ...

```
1 import React, { useState } from 'react'
2 import { useNavigate } from 'react-router-dom'
3 import { toast } from 'react-hot-toast'
4 import { useCookies } from 'react-cookie'
5 import axios from 'axios'
6
7 function submit(username, password, setCookies, navigate,) {
8   axios.post('http://localhost:5555/tokens', { nationalId: username, password: password }).then((response) => {
9     setCookies('token', response.data.token) บันทึก token เก็บไว้ใน cookies
10    toast.success('กำลังเข้าสู่ระบบ')
11    navigate('/Main')
12  }).catch((error) => {
13    toast.error(error.response.status + " " + error.response.statusText)
14  })
15 }
16
17 function Login(props) {
18   const [username, setUsername] = useState('');
19   const [password, setPassword] = useState('');
20   const [, setCookies] = useCookies(['token']);
21   let navigate = useNavigate()
22   return <center>
23     <h1>To Do App</h1>
24     <input type='text' placeholder='เลขประจำตัวประชาชน' value={username} onChange={(e) => setUsername(e.target.value)}></input><br />
25     <input type='password' placeholder='รหัสผ่าน' value={password} onChange={(e) => setPassword(e.target.value)}></input><br /><br />
26     <button onClick={() => submit(username, password, setCookies, navigate)}>เข้าสู่ระบบ</button>
27   </center>
28 }
29
30 export default Login
```

การแยกฟังก์ชัน submit ออกไปไว้ข้างนอก component มีข้อเสียคือต้องส่ง username, password, setCookies, navigate ตามไปด้วย แต่ก็ทำให้โค้ดเป็นระเบียบและอ่านง่าย setCookies และ navigate เป็นฟังก์ชัน