

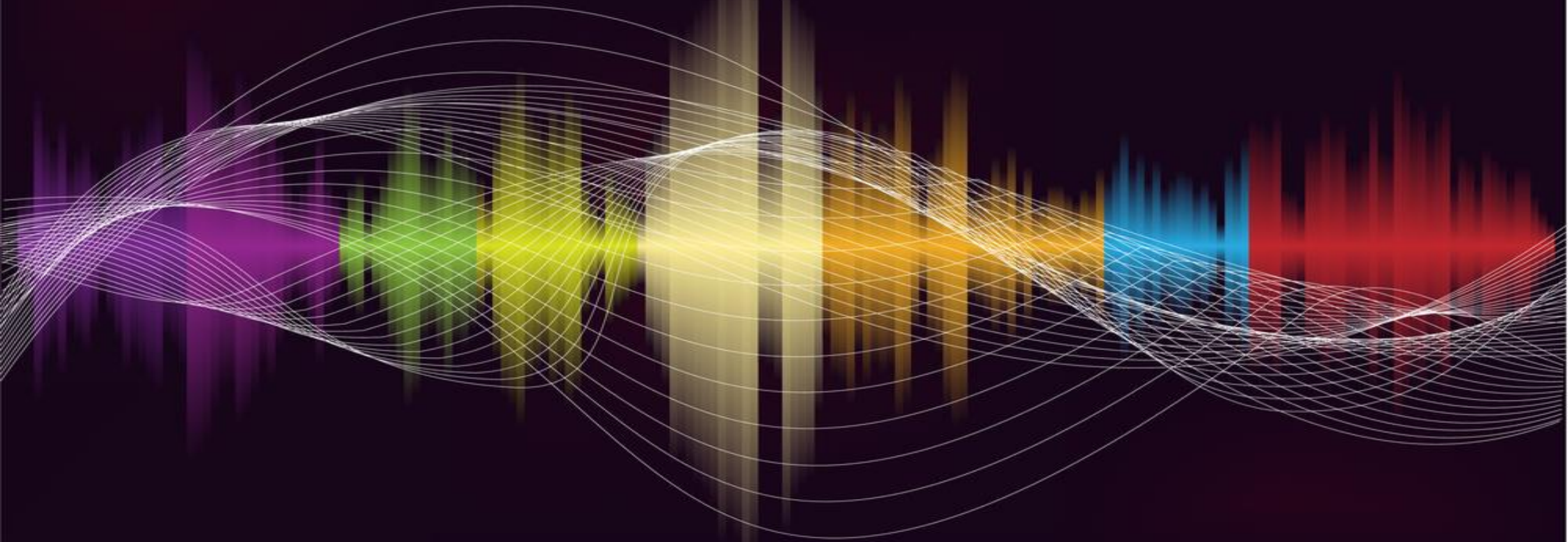
DIGINTO

The background features a series of vertical bars in purple, green, yellow, orange, blue, and red, transitioning from left to right. Overlaid on these bars are numerous thin, white, wavy lines that create a sense of motion and digital connectivity.

Digital kommunikationsteknik

Gonzalo Rivera ©

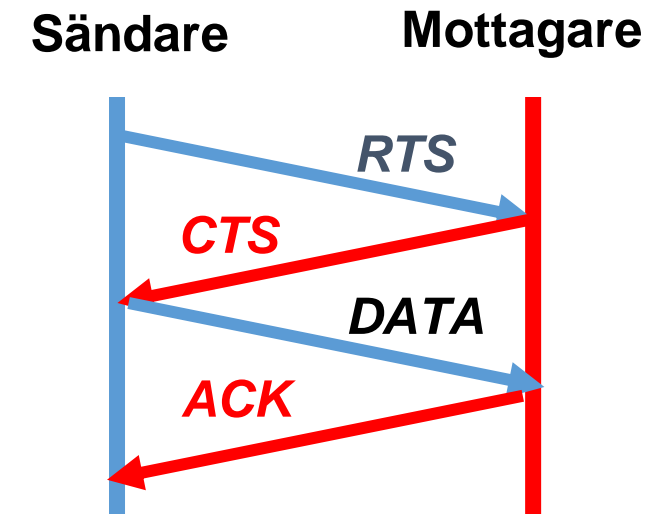
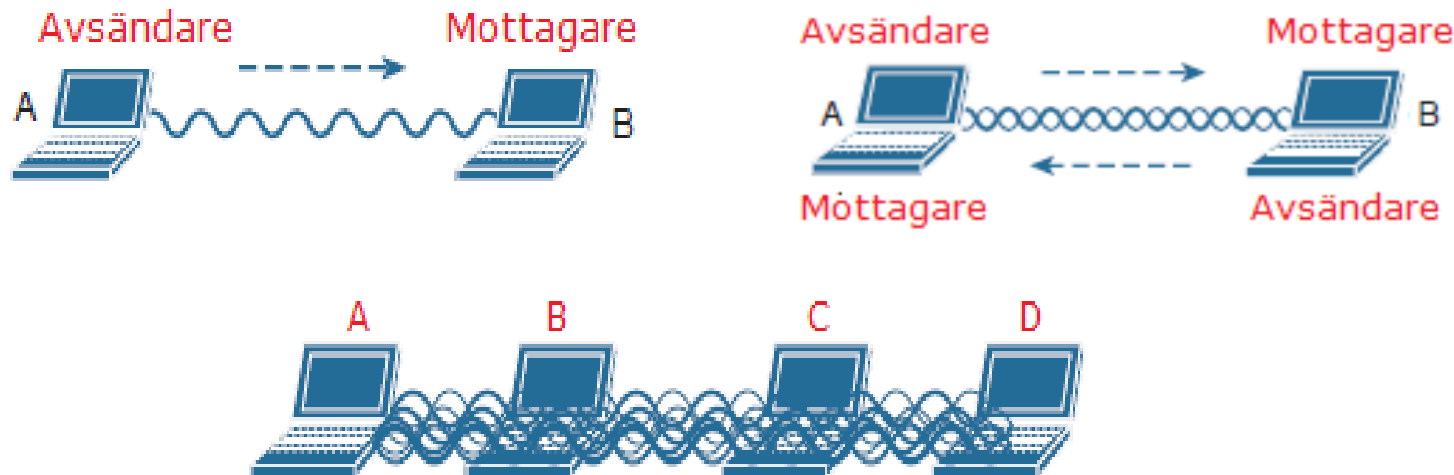
Digital kommunikation



Trådlösa nätverkstopologier

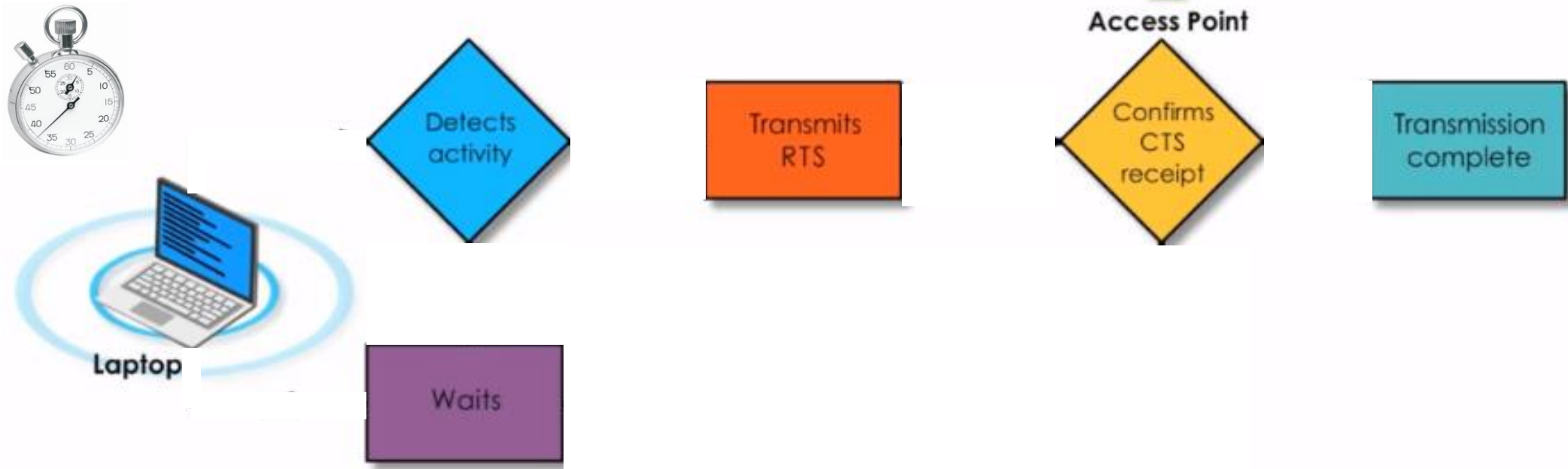
Trådlösa nätverkstopologier

- ✚ Kommunikation över trådlöst nätverk är enkelriktad, halv-duplex.
- ✚ Kommunikation över trådbundet nätverk kan vara halv-/full-duplex.
- ✚ Om flera trådlösa enheter skickar och tar emot datasignaler samtidigt uppstår interferenser.
- ✚ I ett trådlöst nätverk ska nätverksenheterna annonsera sina intentioner att skicka signaler till andra innan överföringen sker.
- ✚ Då alla andra enheterna väntar tills transmissionskanalen är ledig.
- ✚ CSMA/CA



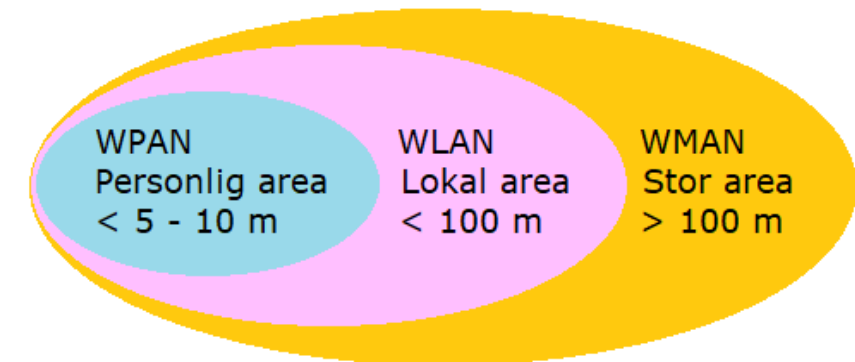
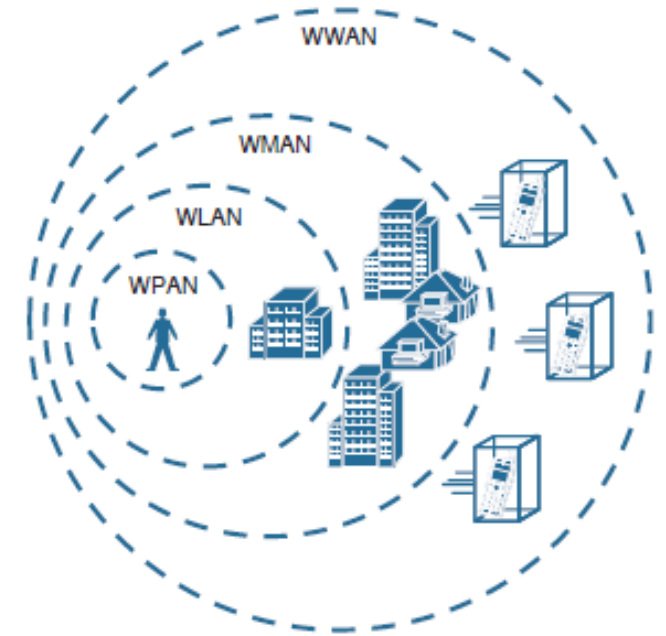
Trådlösa nätverkstopologier - CSMA/CA

- + *Carrier* – gemensam transmissionsmedia, radio och mikrovågor.
- + *Sense* – detektering av transmissioner i transmissionsmedia.
- + *Multiple Access* – fleråtkomst till transmissionsmedia.
- + *Collision Avoidance* – undvikande av kollisioner.



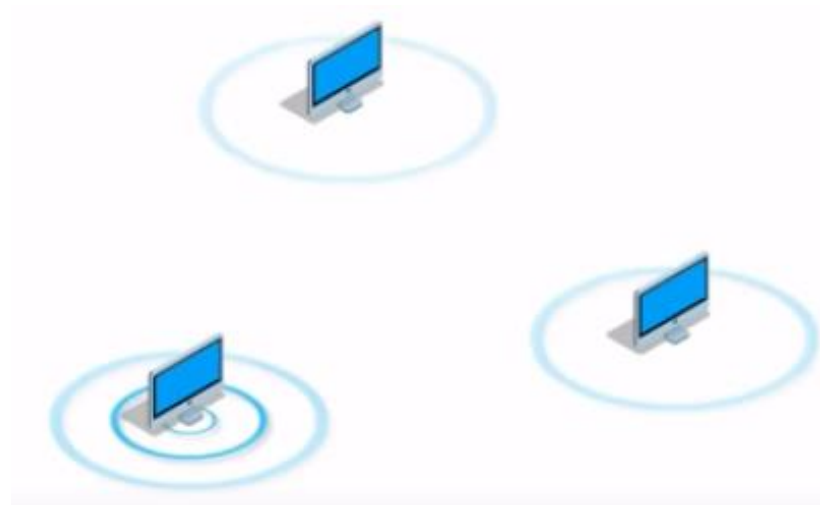
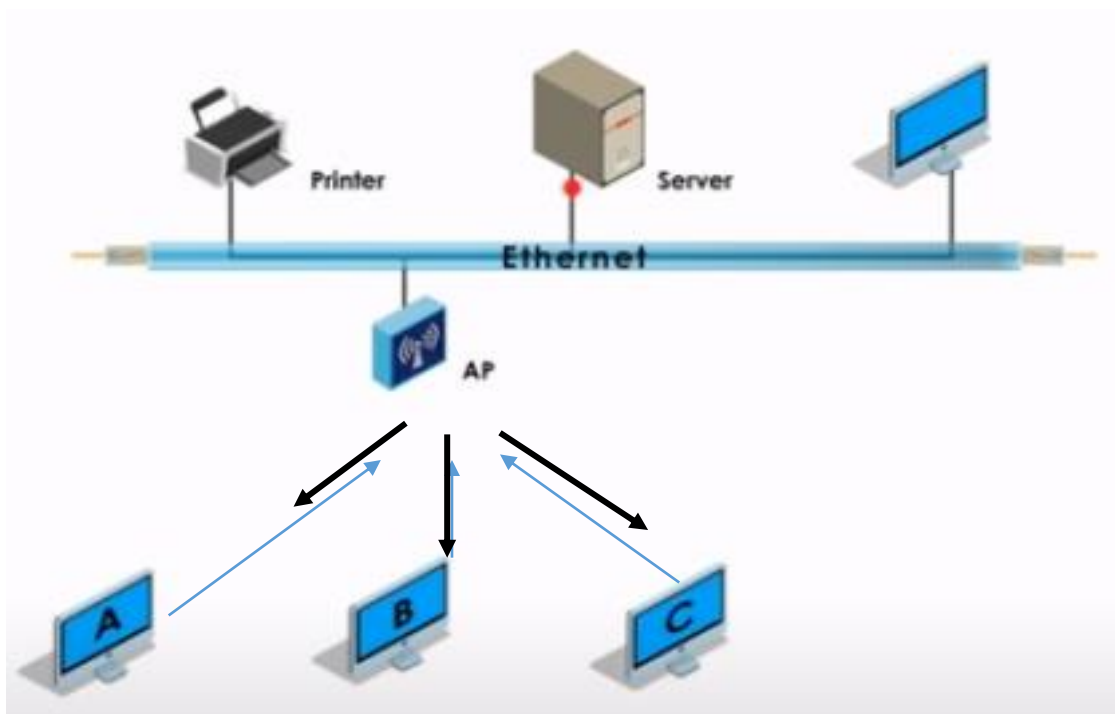
Trådlösa nätverkstopologier - Nätverkstyper

- ✚ Diverse implementationer av trådlösa nätverk:
 - Wireless Wide Area Network (WWAN)
 - Wireless Metropolitan Area Network (WMAN)
 - **Wireless Local Area Network (WLAN)**
 - Wireless Personal Area Network (WPAN)
- ✚ Det finns en hel del organisationer som är inblandade för att den trådlösa kommunikationen ska fungera.
- ✚ IEEE standarder
 - 802.11a, 802.11b, 802.11g, 802.11n, 802.11ac, 802.11ax.
 - 802.11i kryptering



Trådlösa nätverkstopologier

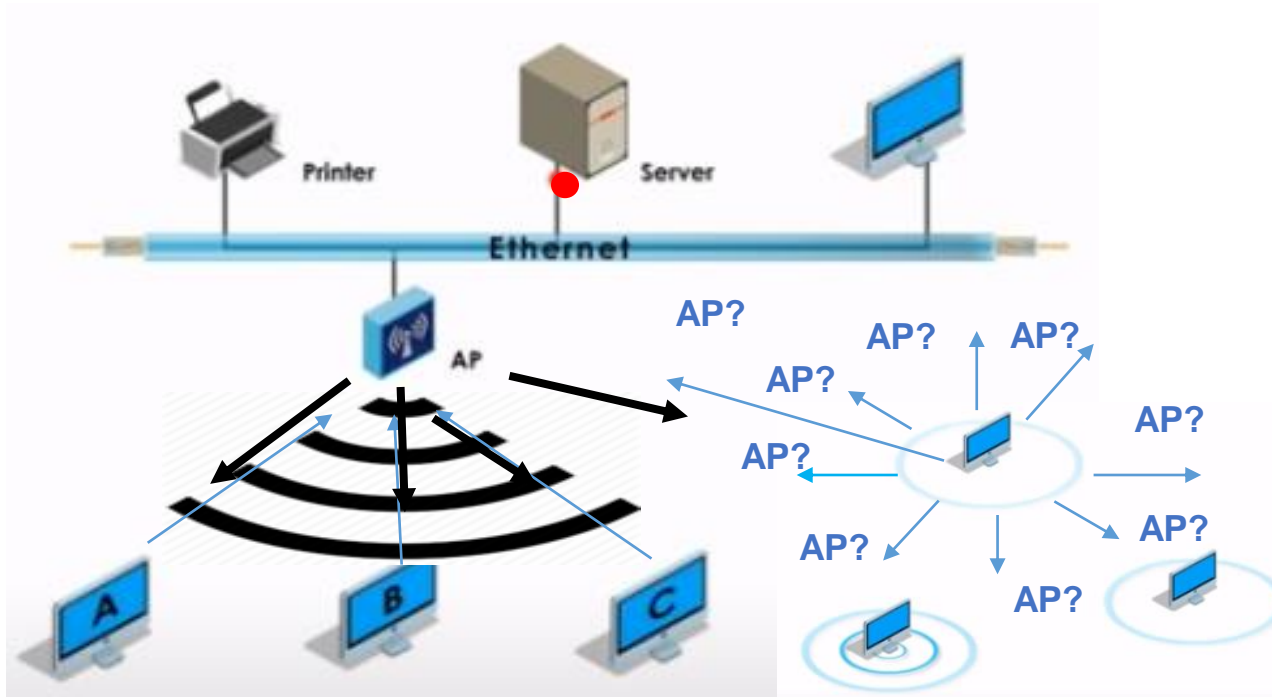
- ✚ I ett trådlöst nät byggs associationer mellan AP och klientstationer först.
- ✚ Klientstationer identifieras och registreras hos accesspunkter.
- ✚ I *aktiva associationsbyggande* söker klientstationer efter trådlösa accesspunkter genom att broadcast ett särskilt ram "probe"
- ✚ I *passiva associationsbyggande* väntar klientstationer för broadcast-ramar från accesspunkter som annonserar det trådlösa nätverket.



Trådlösa nätverkstopologier

- ✚ I *aktiva associationsbyggande* söker klientstationer efter trådlösa accesspunkter genom att broadcast ett särskilt ram "probe"

 1. Trådlösa enheter söker efter AP och skickar sina "probe" kontinuerligt.
 2. AP svarar till förfrågorna och skickar information till klientstationerna.
 3. Klientstationerna tar emot informationen och begär vara med i nätverket.
 4. AP verifierar processen och godkänner begäran.

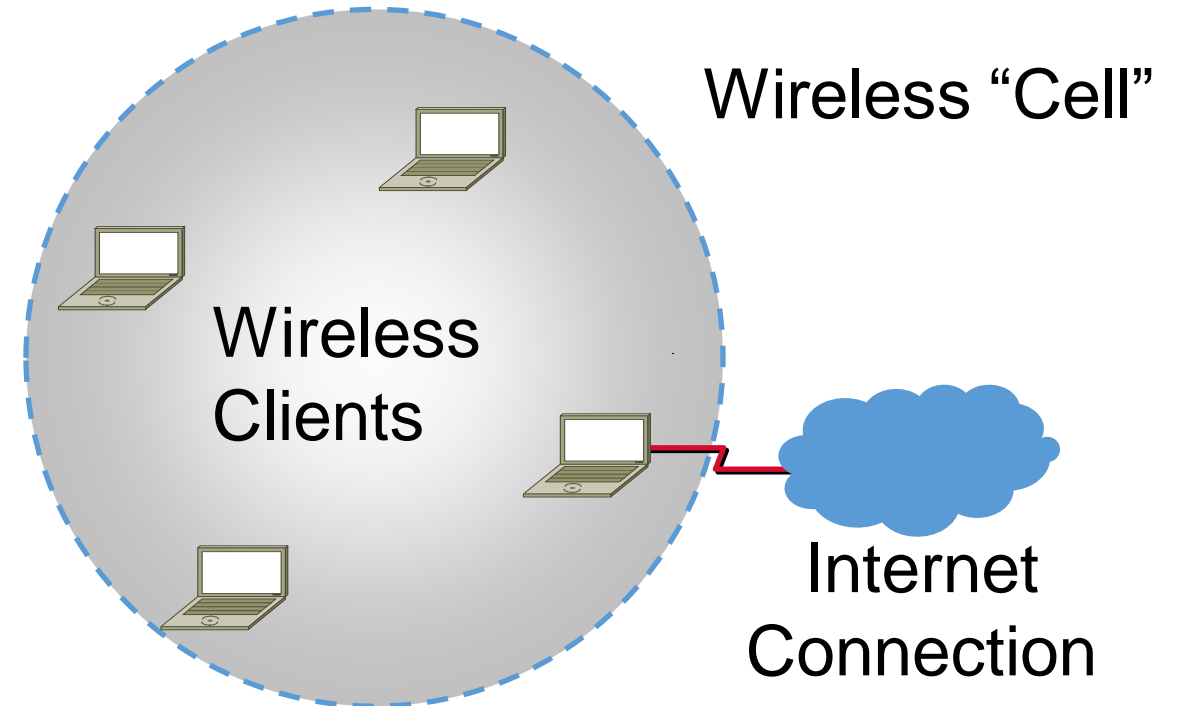
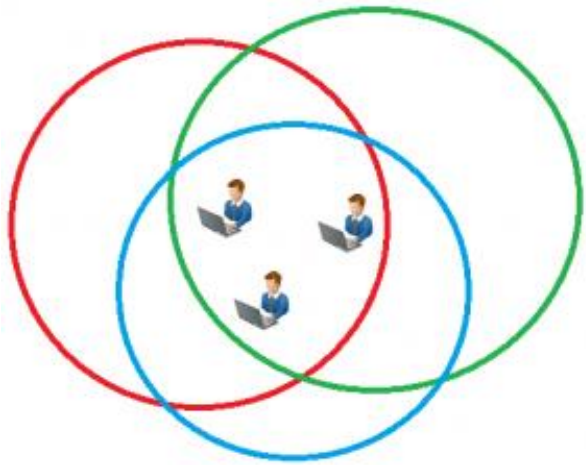


Trådlösa nätverkstopologier

- ✚ WLAN topologier kan sammanfattas i tre grundläggande uppsättning av tjänster som associerar klientstationer mellan eller klientstationer med accesspunkten.
 - Independent Basic Service Set – IBSS
 - Basic Service set – BSS
 - Extended Service Set – ESS
- ✚ Varje WLAN är ansluten till ett trådbundet nätverk.

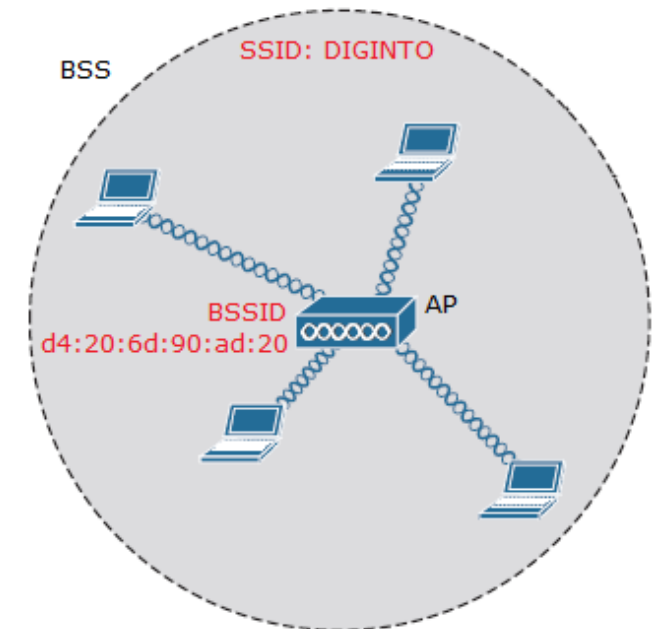
Nätverkstopologier - IBSS

- ✚ Independent BSS, ett AD HOC nätverk utan AP
- ✚ AD HOC nätverk har för syfte direkt och tillfälligt kommunikation.
- ✚ `c:\> netsh wlan show drivers`
- ✚ Sök efter "Authentication and cipher supported in ad-hoc mode:
- ✚ `c:\> netsh wlan set hostednetwork mode=allow ssid=diginto key=Digintopass`
- ✚ `c:\> netsh wlan start hostednetwork`



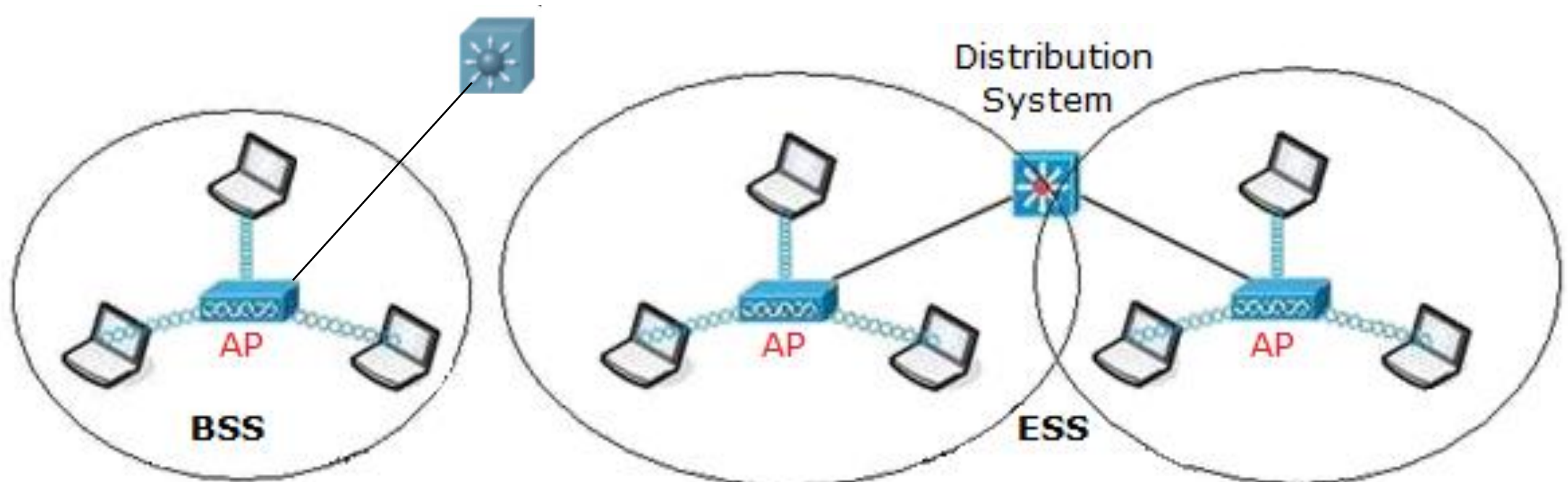
Trådlösa nätverkstopologier - BSS

- ✚ För att vara med i ett trådlöst nätverk behöver klientstationer identifiera nätverket, moduleringssteknik, lösenord, mm.
- ✚ Dessa tjänster kallas för grundläggande serviceuppsättning eller *Basic Service Set* eller bara BSS.
- ✚ I centrum av ett BSS-topologi finns en trådlös åtkomstpunkt (AP) som erbjuder den grundläggande serviceuppsättning.
- ✚ Klientstationer som kan identifiera sig får bygga upp en *association* med AP.
- ✚ Kommunikation mellan klientstationer sker via AP och **inte direkt** mellan varandra.
- ✚ *Service Set Identifier* – SSID är nätverkets namn, 32 bokstäver och case sensitiv.
- ✚ *Basic Service Set Identifier* – BSSID är MAC-adressen (48 bitar)



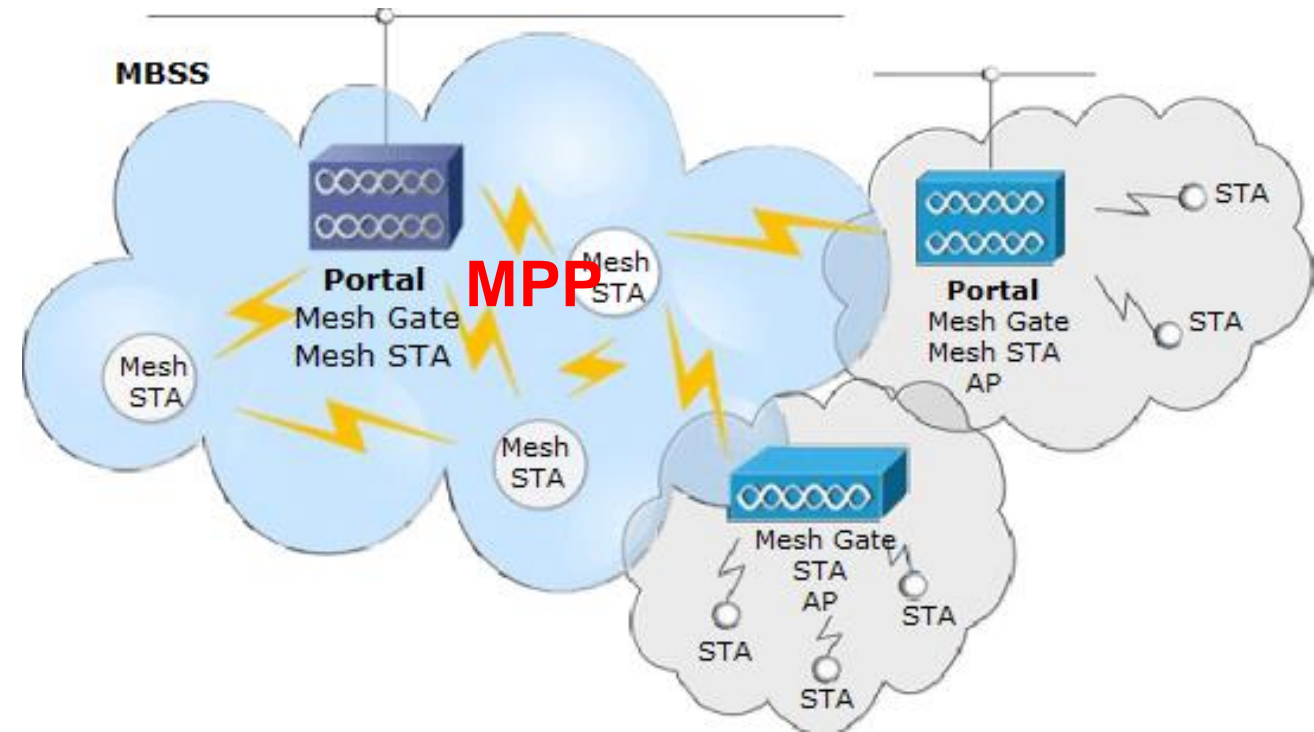
Trådlösa nätverkstopologier – ESS, BSA och ESA

- ✚ *Basic Service Set* eller serviceuppsättning med en AP ansluten till ett trådbundet nätverk
- ✚ Oftast finns det flera AP och serviceuppsättningen kallas för *Extended Service Set*.
- ✚ Med andra ord flera BSS tillsammans utgör en ESS.
- ✚ Läger vi till ordet **Area** så här vi *Basic Service Area* (BSA) och *Extended Service Area* (ESA).



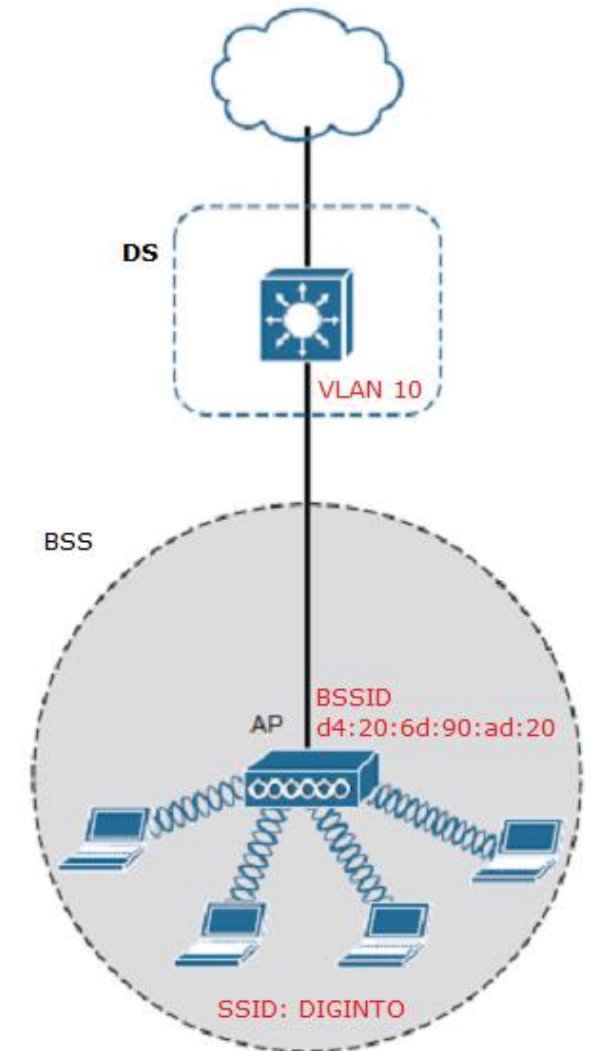
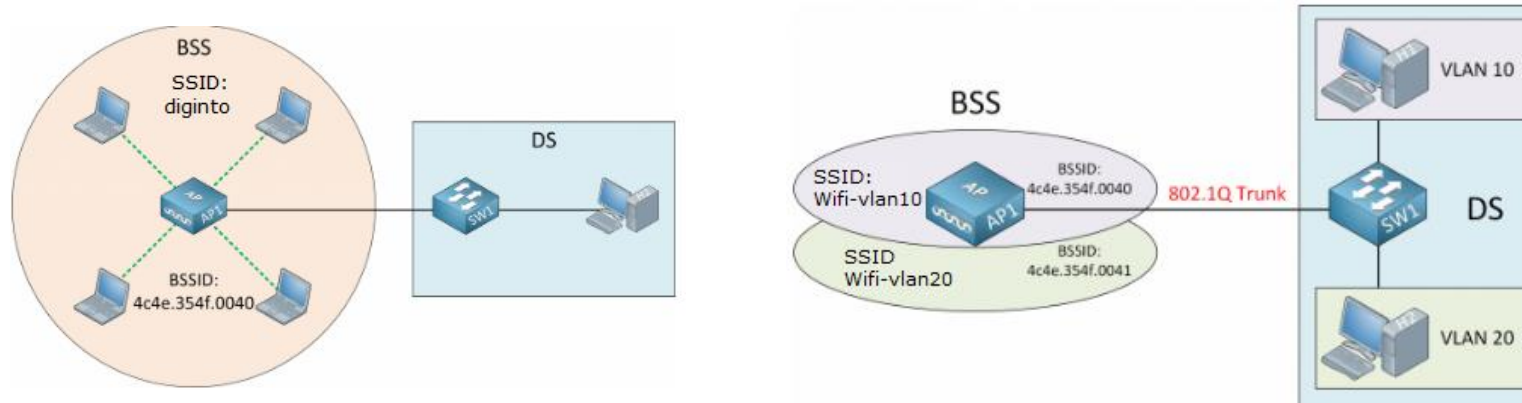
Trådlösa nätverkstopologier – Mesh BSS

- ✚ I ett MBSS nätverkstopologi finns minst en AP som är alltid ansluten till trådbundet nätverket, en *Mesh Point Portal*.
- ✚ Trådlösa klientstationer för åtkomst till det trådbundet nätverket via MPP.
- ✚ De andra accesspunkter tillhandahåller anslutning till MPP därmed kallas de "wireless backhuls".
- ✚ Accesspunkter i ett Mesh BSS kallas generellt "mesh points" eller MPs.



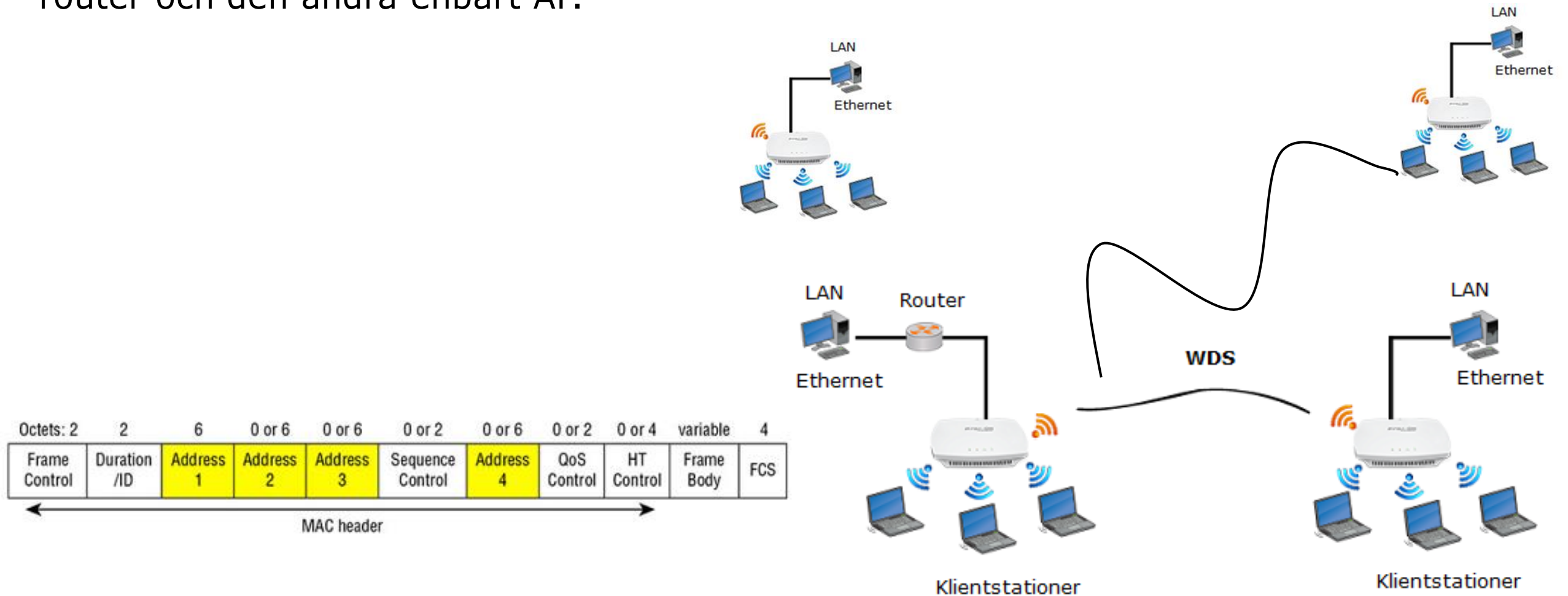
Distributionssystem

- ✚ Ett trådbundet nätverk anslutet till ett trådlöst nätverk via accesspunkter.
- ✚ AP har inbyggda teknologier för att brygga två olika nätverkstyper och översätta datasignalerna.
- ✚ Ett Distributionssystem består av två huvudkomponenter:
 - *Distribution System Medium* (DSM) – transmissionsmedia, logiska och fysiska mellan AP.
 - *Distribution System Services* (DSS) – tjänster i form av mjukvara som finns i AP.
- ✚ Mjukvaran används för att hantera kommunikation mellan AP och anslutna klientstationer.



Distributionssystem

- ✚ **WDS** – Wireless Distribution System, trådlös brygga där AP får endast kommunicera med varandra och inte med trådlösa klienter eller stationer.
- ✚ Denna teknik används för att binda ihop separata nätverk där den ena är en WDS trådlös router och den andra enbart AP.



Digital kommunikation

802.11 standarder

Gonzalo Rivera ©

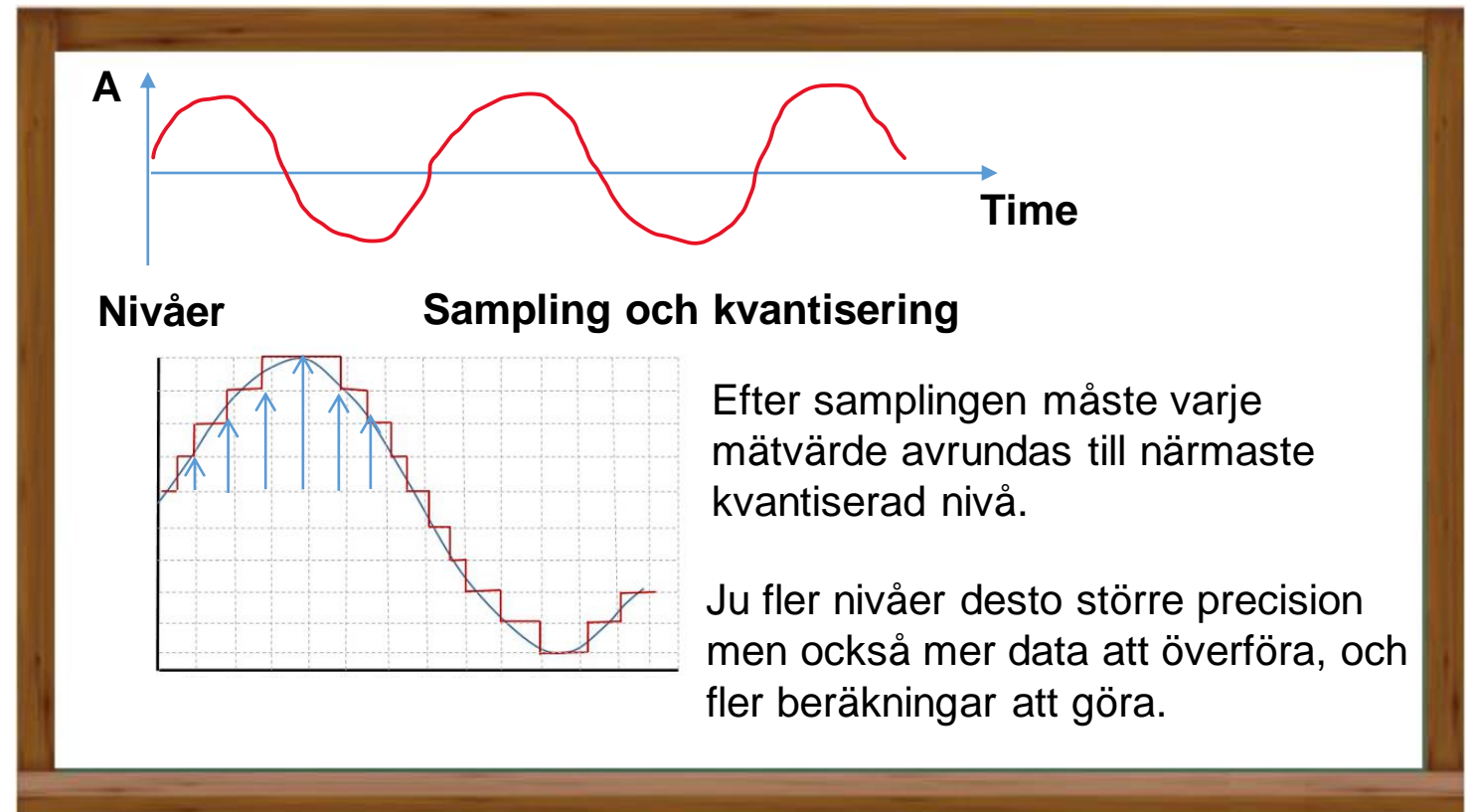
802.11 standarder

- + 802.11 publicerades år 1997 av IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)
- + Betraktad idag som "*legacy*" standard för 2.4 GHz och 900 MHz frekvensområden.
- + Här tas upp några av de teknik med syfte att förstå standarden 802.11
- + Spread Spectrum teknologi
- + PCM eller pulskodsmodulering
- + FHSS och DSSS modulationsteknik
- + TDM och TDMA
- + STDM och STDMA
- + FDM och FDMA
- + OFDM och OFDMA



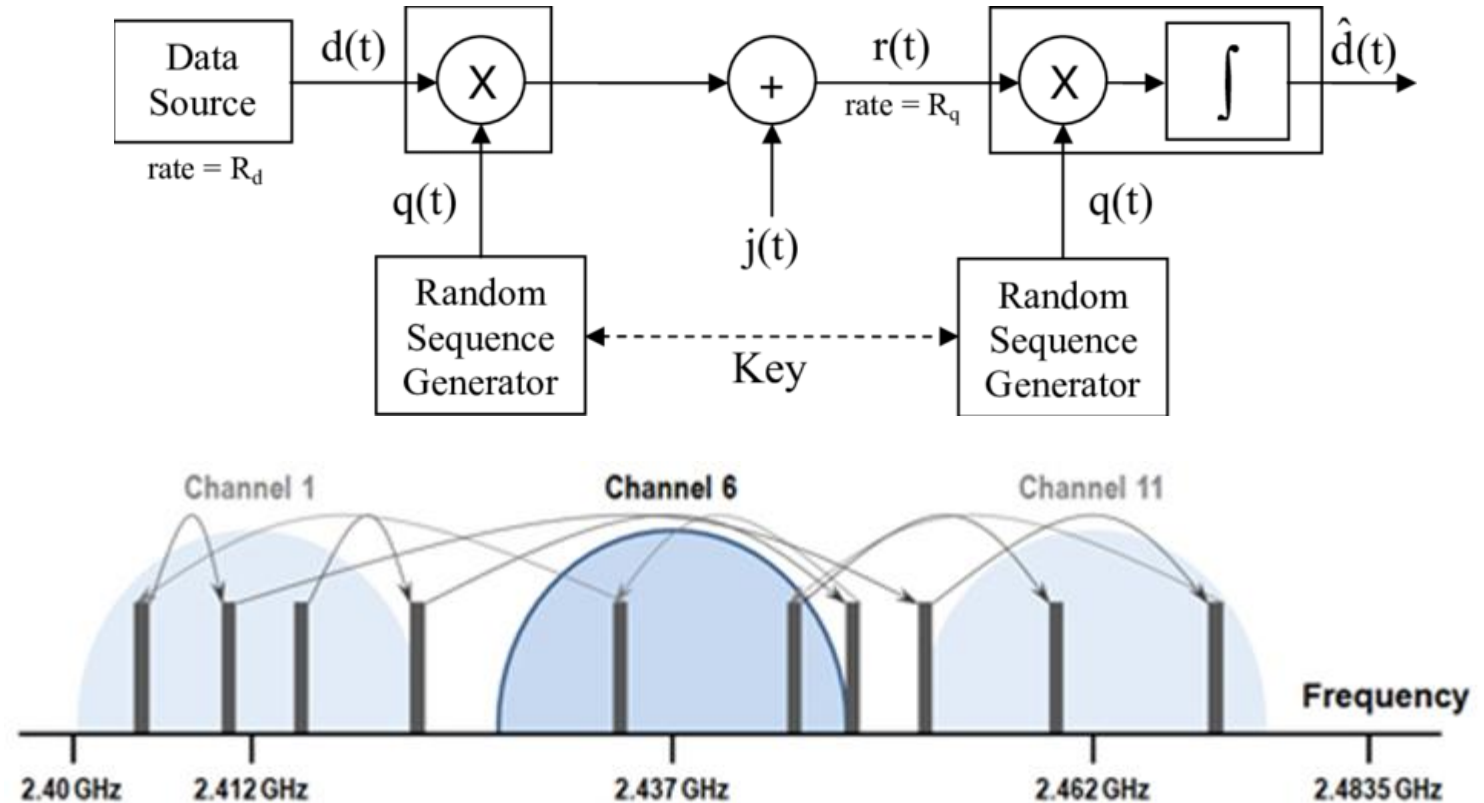
WLAN - Pulskodsmodulering

- ✦ **Pulse Code Modulation** är ett sätt att konvertera analog till digital.
- ✦ Den analoga signalen "**samplas**" (stickprov) i regelbundna intervaller och sedan översätts till symboler inom den digitala koden.
- ✦ Omvandlingen:
 - Sampling
 - Kvantisering
 - Kodning
- ✦ Hur ofta samplas?
- ✦ Sample rate = 32
- ✦ Sampling är 32 Hz
- ✦ 8000 ggr = 8 kHz
- ✦ Multiplexering
 - 64 kbps upp till 2 Mbps



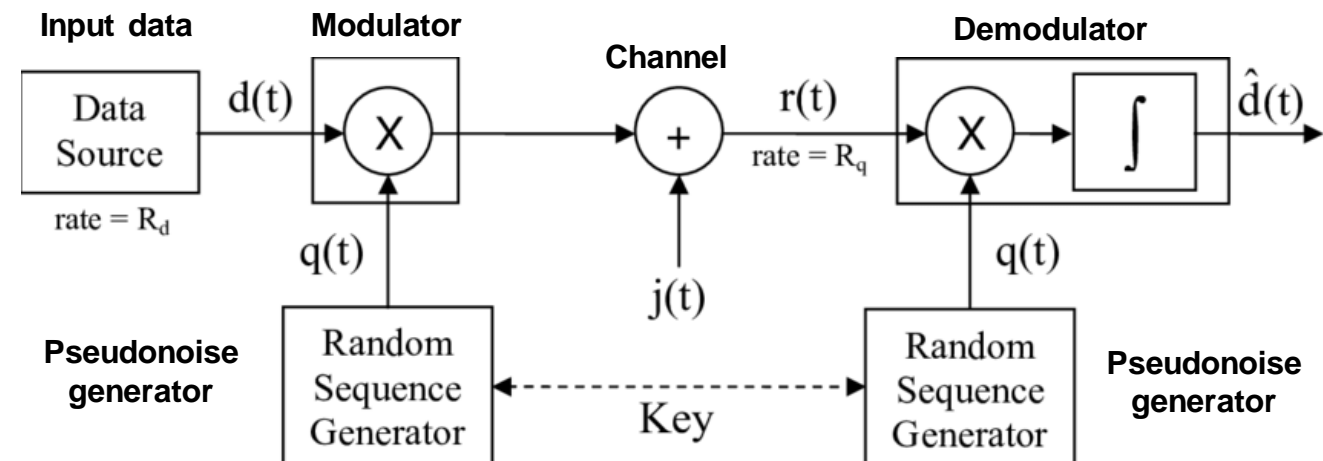
WLAN - Spread Spectrum teknik

- ✚ Hur ska radiosignaler bredda ut sig?
- ✚ Detta kallas *spread spectrum* och det finns några kända metoder:
 - Direct Sequence Spread Spectrum - DSSS
 - Frequency Hopping Spread Spectrum - FHSS



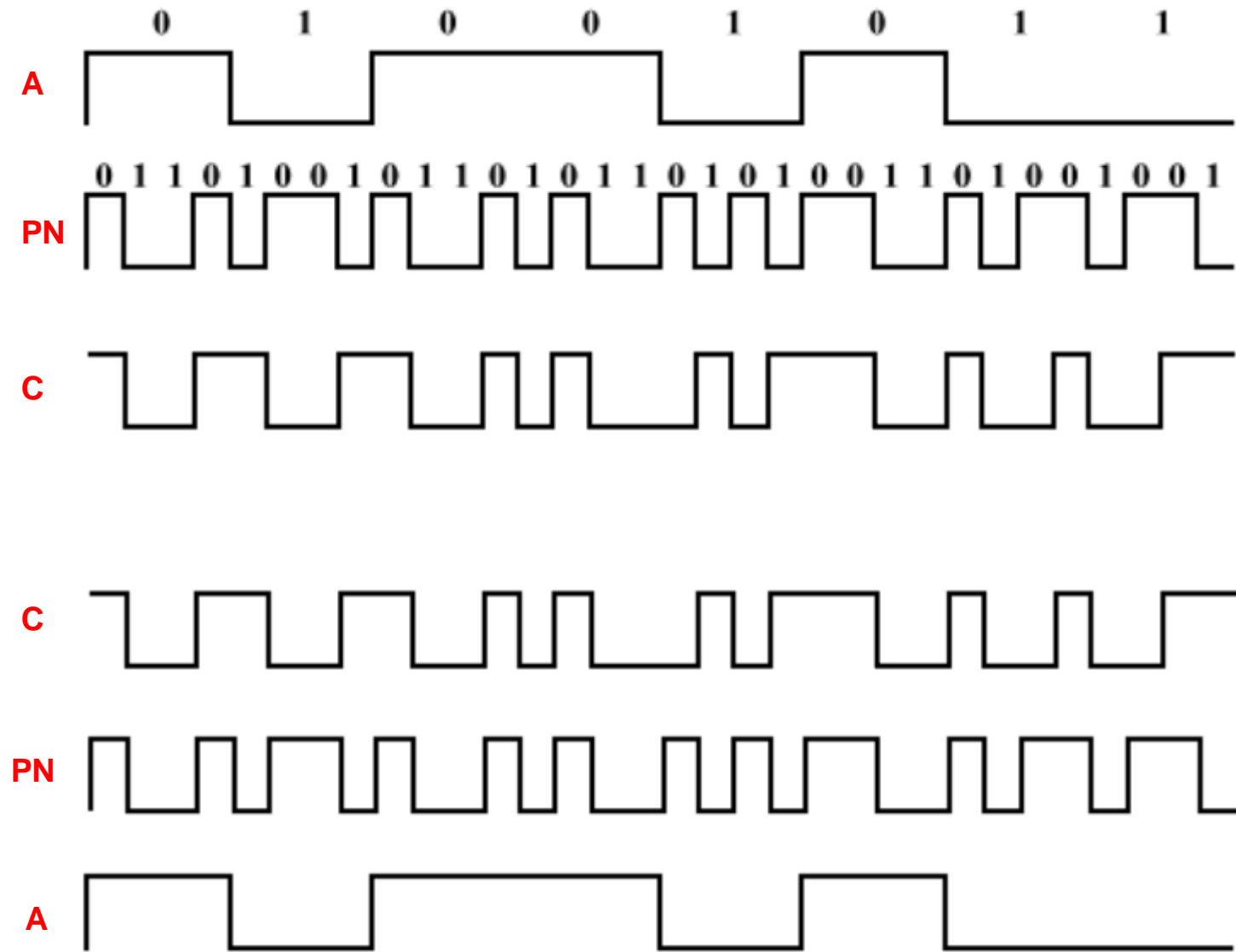
Direct Sequence Spread Spectrum - DSSS

- ✚ DSSS innebär att informationen "multipliceras" med en så kallade chip-sekvens, exempelvis tio bitar.
- ✚ Detta gör att informationen ökar med en faktor tio, vilket gör att signalen innehåller en massa extra, redundanta bitar, som kan gå förlorade över radioförbindelsen utan att informationen störs.
- ✚ Dessutom kan signalen inte avlyssnas om inte den avlyssnande parten har tillgång till samma chipsekvens; en slags kryptering således.



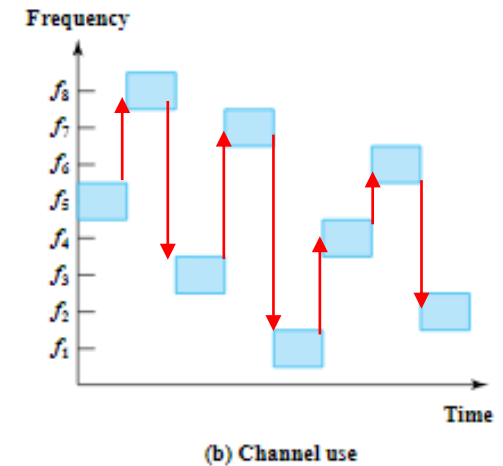
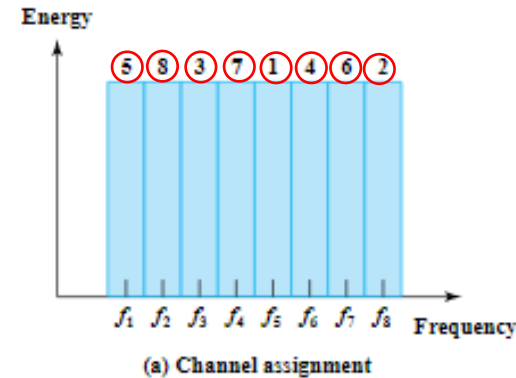
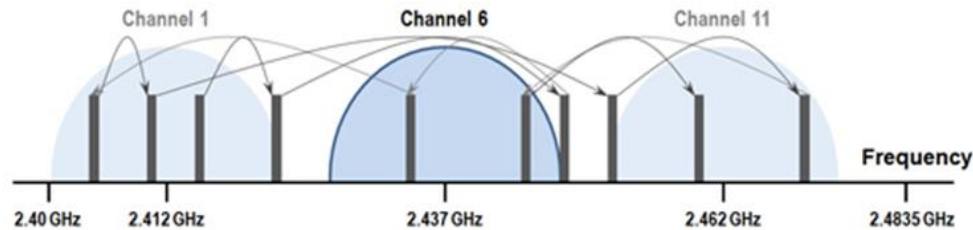
Direct Sequence Spread Spectrum - DSSS

- ✚ Digital insignal A
- ✚ Hög signal = 0
- ✚ Låg signal = 1
- ✚ Med en generator genereras PN bit-flöde
- ✚ Digital utsignal
- ✚ $C = A \oplus B$
- ✚ Digital insignal C
- ✚ PN bit-flöde
- ✚ Digital mottagen signal A
- ✚ XOR
 - 0 || 0 = 0
 - 0 || 1 = 1
 - 1 || 0 = 1
 - 1 || 1 = 0



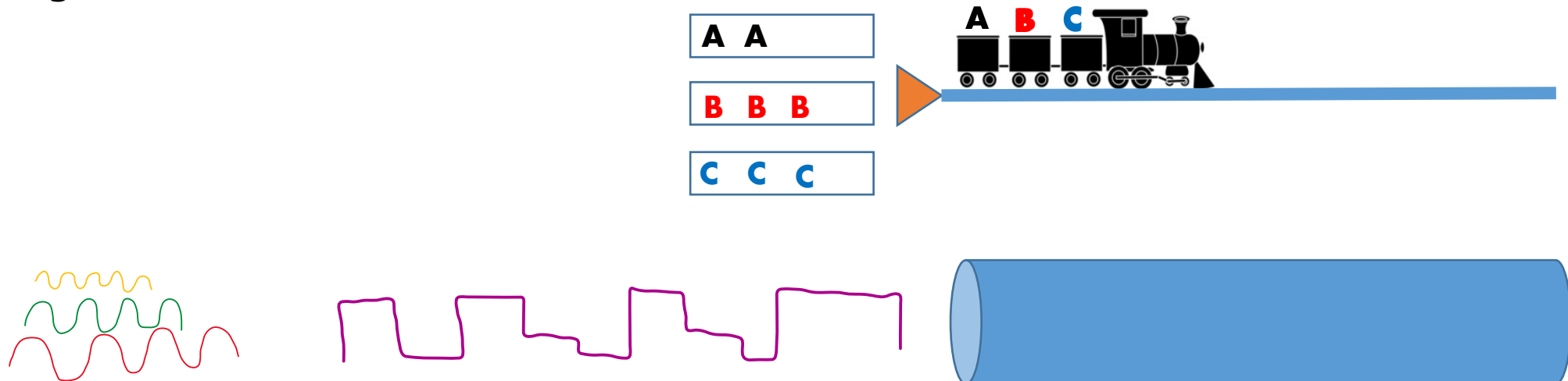
Frequency Hopping Spread Spectrum - FHSS

- ✦ Frekvenshoppning innebär att *data tidsmässigt delas upp i mindre paket som sedan överförs på olika frekvenser*.
- ✦ Frekvenser signaler hoppar mellan inom en viss tidsmoment kallas hoppsekvens.
- ✦ Om en frekvens störs eller avlyssnas endast en del av informationen kommer att fördärvas (bitfel).
- ✦ Bitfelen kan oftast korrigeras med hjälp av olika *algoritmer*.
- ✦ I exemplet nedan delas bandbredden upp till 8 kanaler.
- ✦ Signalen hoppar därefter i en viss ordning.
- ✦ I exemplet $f_5, f_8, f_3, f_7, f_1, f_4, f_6, f_2$



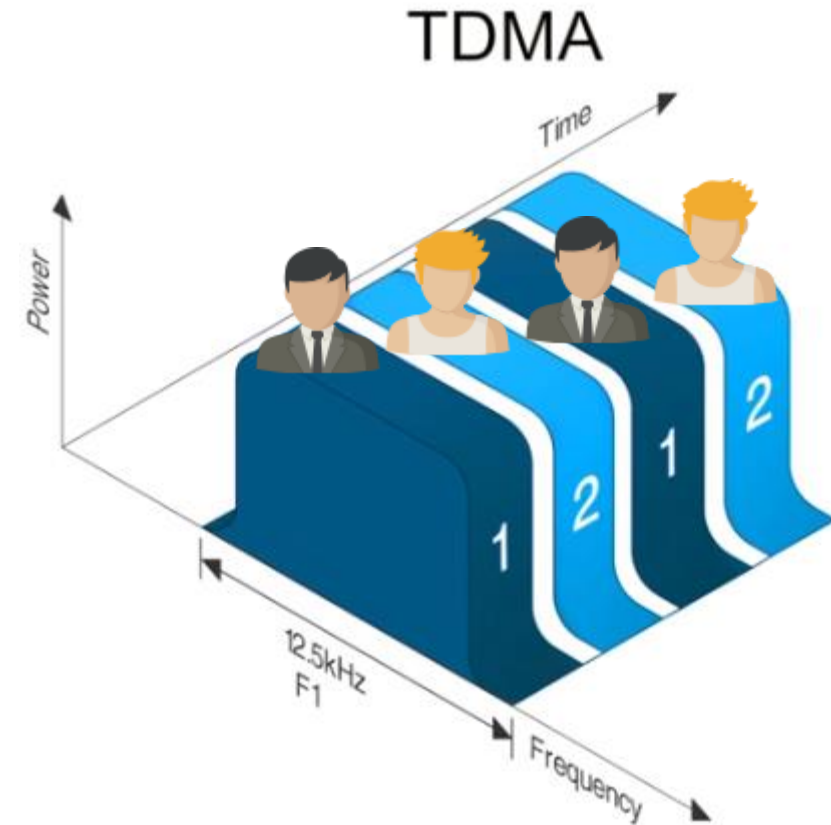
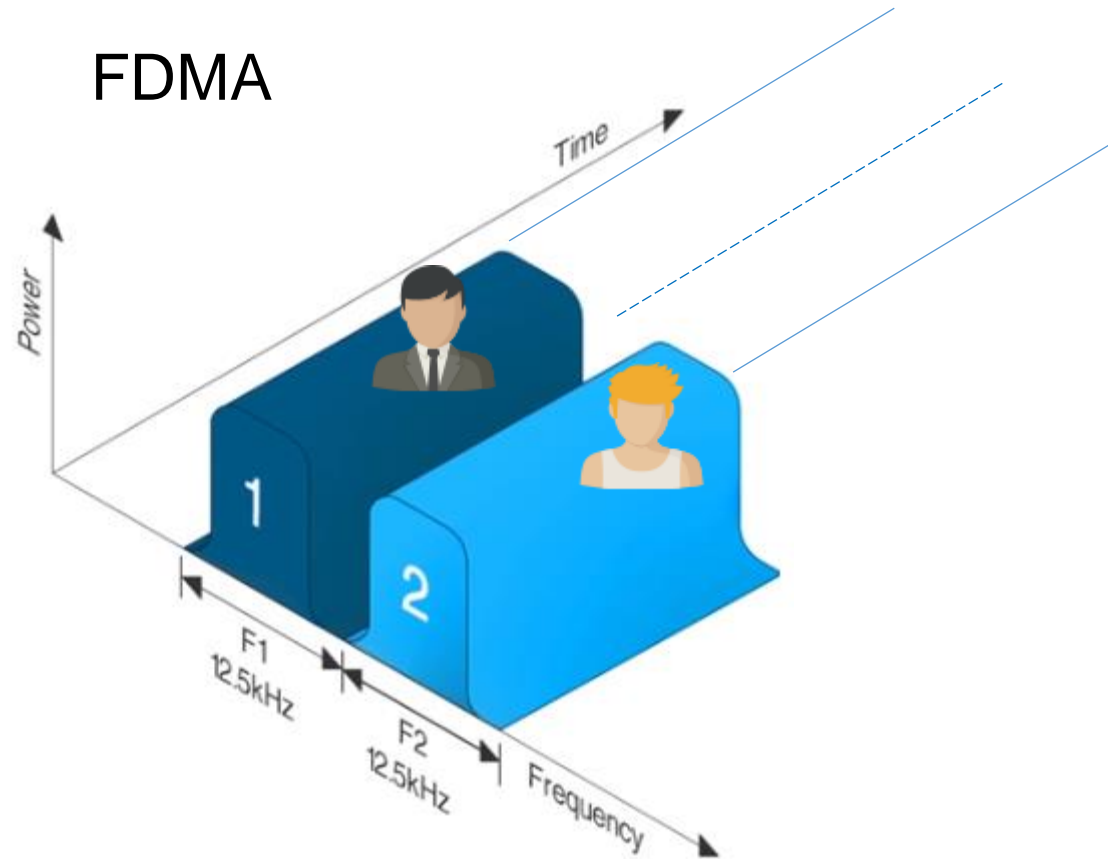
Multiplexering - MA

- ✚ Flera sätt att överföra flera signaler genom en och samma kommunikationskanal.
- ✚ Time Division Multiplexing (*TDM*) → TDMA
- ✚ Statistical Time Division Multiplexing (*STDM*) → STDMA
- ✚ Frequency Division Multiplexing (*FDM*) → FDMA
- ✚ Vilken överföringsmetod?
- ✚ Baseband eller broadband?
- ✚ *Baseband* en signal åt gång
- ✚ *Broadband* flera signaler samtidigt



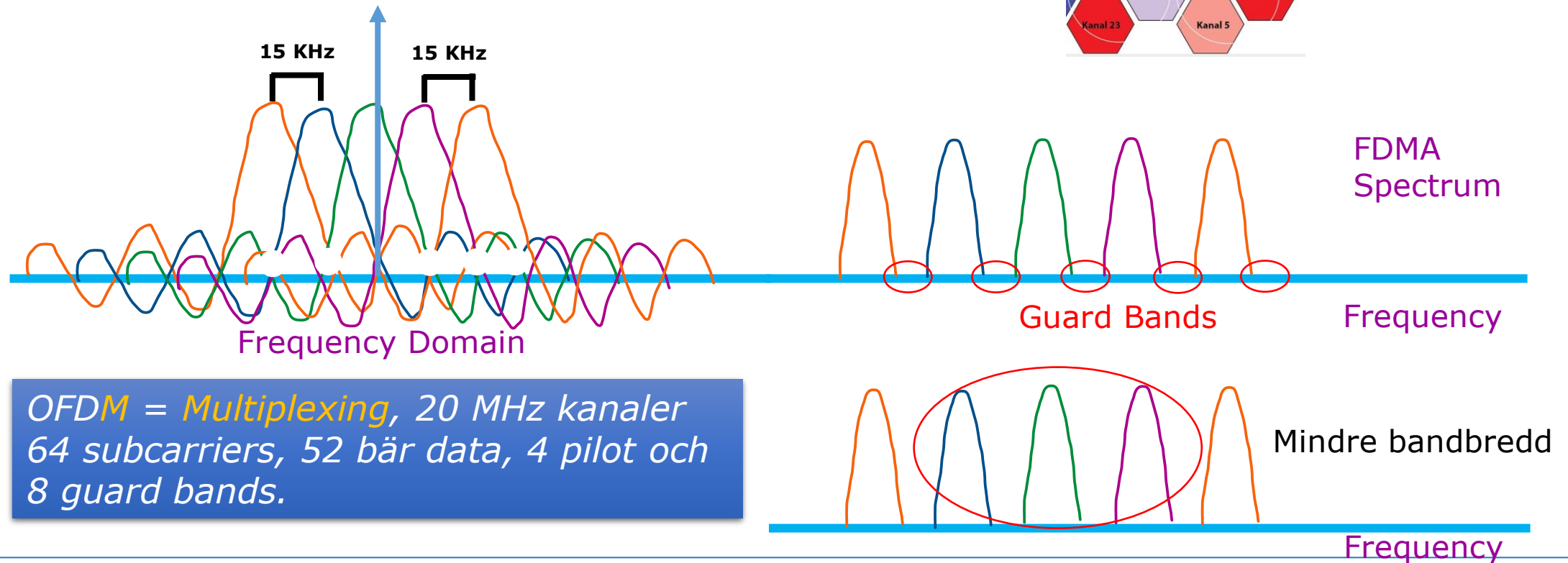
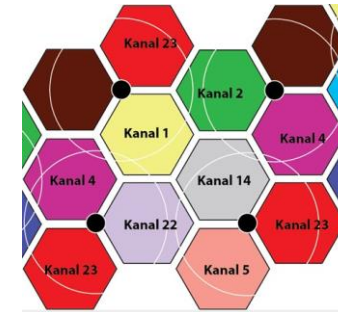
Multiplexering - MA

- ✚ Separerade frekvenskanaler eller radiokanaler, FDM
- ✚ En användare per radiokanal, FDMA
- ✚ Fler användare per radiokanal, TDMA



Multiplexering - OFDMA

- ✚ Orthogonal Frequency Division Multiple Access är ett speciellt fall av FDMA
- ✚ OFDMA signaler är ortogonala mot varandra vilket betyder att signalerna kan
 - placeras bredvid och ändå inte interferera
 - Överförs inom en och samma frekvensband



*OFDM = Multiplexing, 20 MHz kanaler
64 subcarriers, 52 bär data, 4 pilot och
8 guard bands.*

Digital kommunikation

The background features a series of overlapping, wavy lines in shades of purple, green, yellow, and red, creating a sense of motion and digital connectivity. The lines are thin and numerous, forming a complex, flowing pattern that suggests data transmission or signal processing.

802.11 revideringar

Gonzalo Rivera ©

802.11 standarder – 802.11a och 802.11b

+ Båda standarder publicerades nästan samtidigt, år 1999

+ 802.11a

- Ny modulationsteknik, **OFDM**.
- Frekvensband 5 GHz
- Bandbredd 54 Mbps. 20 MHz
- Räckvidd inomhus 30 m, utomhus 120 m
- Dataström (spacial stream) 1

+ 802.11b

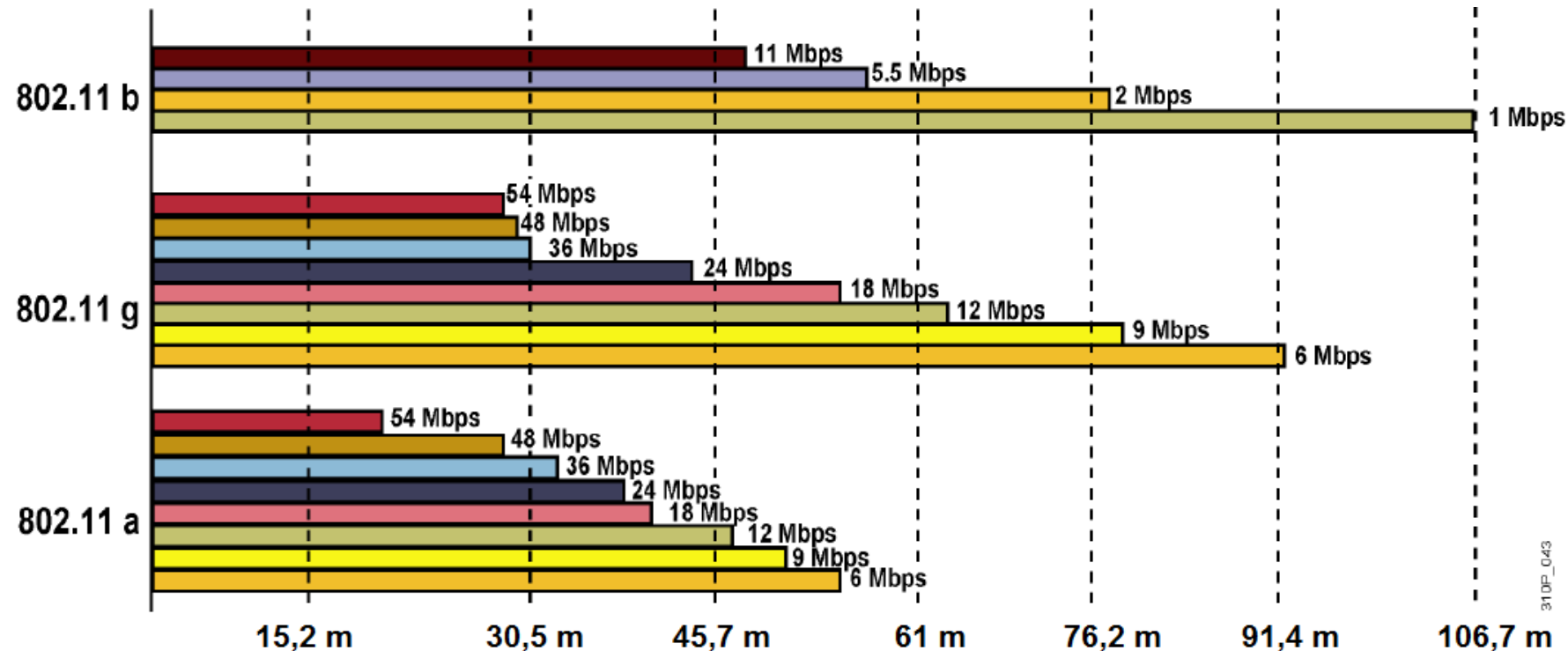
- DSSS modulation
- Frekvensband 2.4 GHz
- Bandbredd 11 Mbps. 20 MHz
- Räckvidd inomhus 38 m, utomhus 140 m
- Känd som WiFi



802.11 standarder – 802.11g

Publicerades år 2003

- OFDM modulation.
- Frekvensband 2.4 GHz och bandbredd 54 Mbps. 20 MHz
- Räckvidd 25-30 m (räckvidden varierar beroende på bandbredden till exempel 6 Mbps når upp till 91 m)



802.11 standarder – 802.11n

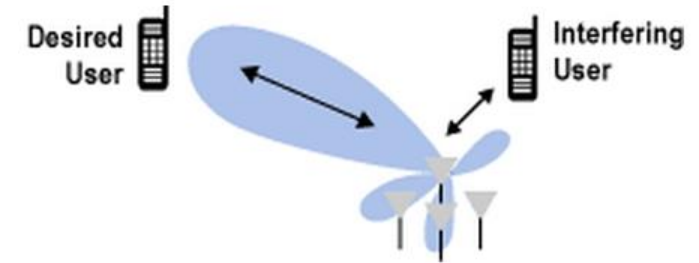
- + Publicerades år 2009
 - OFDM modulation, stödjer QAM-16 och QAM-64
 - Frekvensband 2.4 GHz och 5 GHz
 - Bandbredd upp till 600 Mbps (4 ss)
 - 3 till upp 4 spatial stream
 - Räckvidd inomhus 70 m, utomhus 250 m
 - Bakomkompatibel med alla äldre standarder
 - Använder flera antenner och SIMO teknik
 - 20 och 40 MHz kommunikationskanaler
 - Stödjer paket-aggregation (en header för flera paket)
 - Kan stödja dubbelband och beamforming
 - Selective Dual Band, antingen 2,4 eller 5 GHz
 - True Dual Band, både och samtidigt.

802.11 standarder – 802.11n

- ✚ Flera tillverkare använder en delvis inofficiell namnstandard eller *rating* på sina produkter för att försöka tydliggöra vad produkterna har stöd för och vilka överföringshastigheter som gäller.
- ✚ N150 – 150 Mbps (2,4 GHz)
- ✚ N300 – 300 Mbps (2,4 GHz)
- ✚ N450 – 450 Mbps (2,4 GHz)
- ✚ N600 – 300 Mbps (2,4 GHz) och 300 Mbps (5 GHz)
- ✚ N750 – 300 Mbps (2,4 GHz) och 450 Mbps (5 GHz)
- ✚ N900 – 450 Mbps (2,4 GHz) och 450 Mbps (5 GHz)

802.11 standarder – 802.11ac ([MCS 9](#))

- ✚ WIFI 5, **wave 1** 2014 (egentligen från 2008 till 2013 IEEE)
- ✚ Wave 1 använder channel bonded in 5 GHz
- ✚ 20, 40, **80** MHz kanaler (alternativ 160 MHz)
- ✚ Kombinerad ibland med 2.4 GHz 802.11n
- ✚ Teoretiskt upp till 4 spatial streams
- ✚ 1 ss, 256 QAM, 80 MHz kanal ger upp till 433,3 Mbps
- ✚ 3 ss, 256 QAM, 80 MHz kanal ger upp till 1,3 Gbps
- ✚ **256-QAM 5/6** modulering och kodning
- ✚ **Beamforming**
- ✚ 1 ss på 160 MHz, 256-QAM modulering = 866,7 Mbps
- ✚ 8 ss på 160 MHz med 256-QAM modulering = 6933,3 Mbps
- ✚ Men i verkligheten upp till 3 ss på 80 MHz som ger 1,3 Gbps
- ✚ Bakåtkompatibel med 802.11n

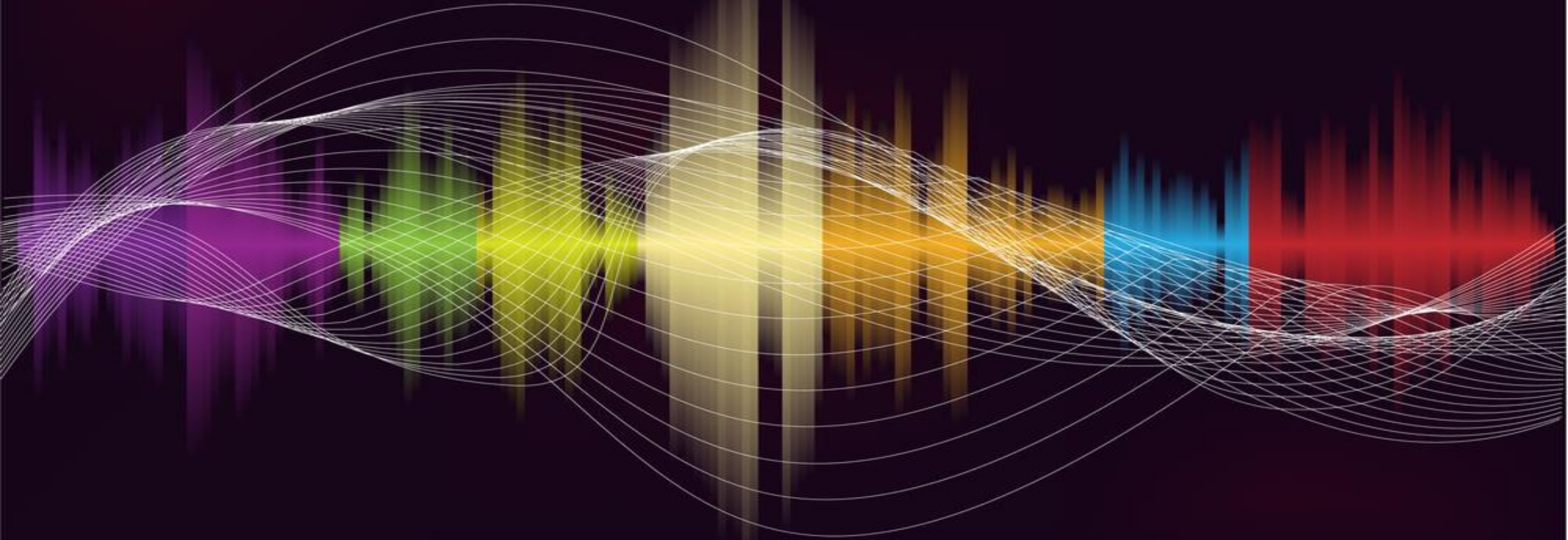


802.11 standarder – 802.11ac

- + Wave 2-produkter flyttar från 80-MHz till 160-MHz bundna kanaler.
- + Att flytta upp till 160 MHz är bra för bandbredd eftersom det liknar att lägga till fler körfält på en motorväg.
- + Teoretiskt med användning av 160 MHz bandbredd innebär att fler användare kan stöds med bättre prestanda.
- + Vad menas exakt med [wave 1 och wave 2](#)?



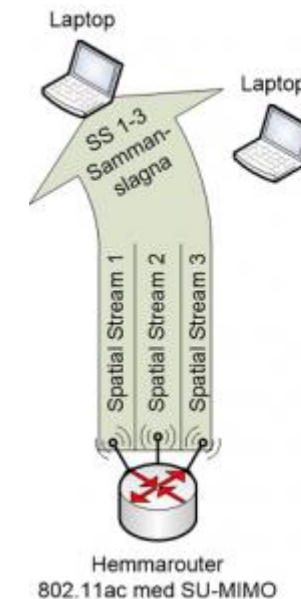
Digital kommunikation



MIMO teknik

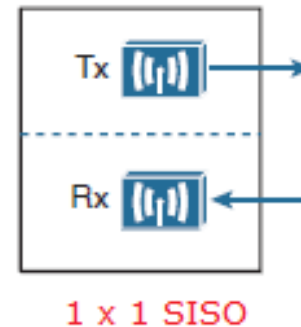
MIMO

- ✚ Innan 802.11n standarden använde man trådlösa utrustningar som hade en enda antenn.
- ✚ En sådan teknik är känd som SISO, single-in single-out.
- ✚ Detta ändrades med 802.11n till flera antenner, det vill säga flera sändare och flera mottagare därmed flera dataströmmar.
- ✚ Tekniken kallas MIMO och används inom- och utomhus.
- ✚ MIMO står för Multiple Input, Multiple Output.
- ✚ MIMO-tekniken använder flera antenner för överföringar av flera dataströmmar samtidigt.
- ✚ SU MIMO
- ✚ MU MIMO



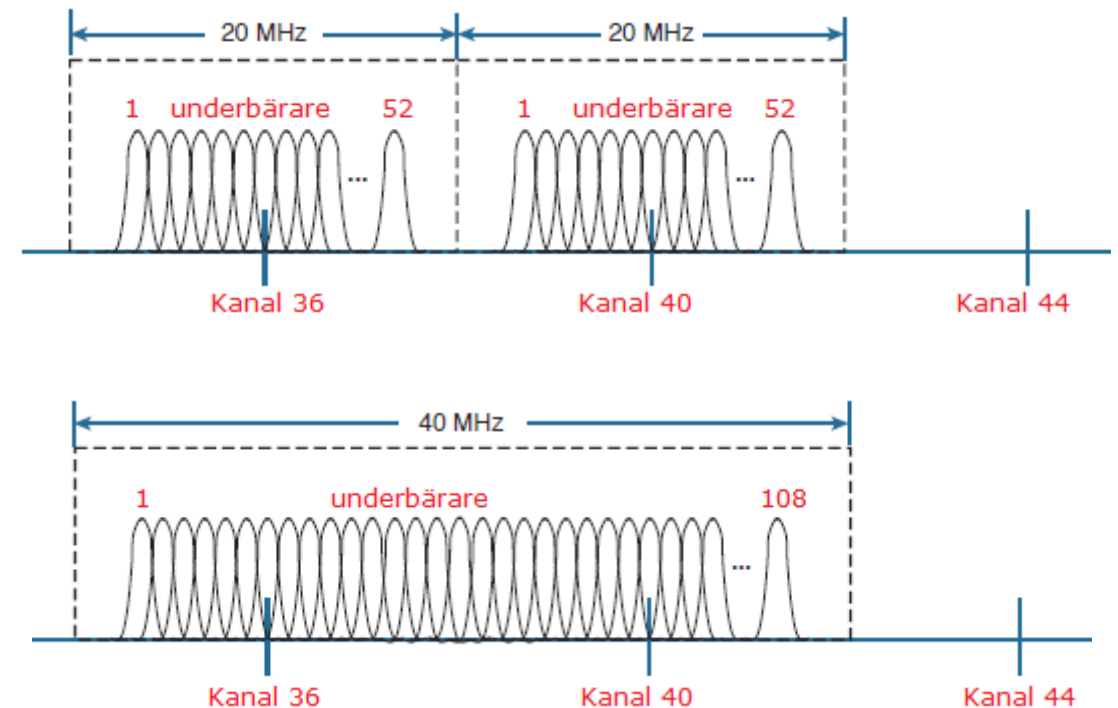
MIMO

- ✚ Fram till 802.11n använde vi en sändarantenn och en mottagartenn, SISO
- ✚ Att sända eller ta emot flera dataströmmar kallas för Spatial Multiplexering.
- ✚ Dessa Spatial Streams skickas med en sådan precision som gör att de inte stör varandra alls trots att överföringen sker genom samma transmissionskanal.
- ✚ Den största fördelen med att skicka flera dataströmmar på en gång är att den totala bandbredden kan ökas.
- ✚ MIMO antenner finns i olika varianter exempelvis SISO eller 1 x 1, MIMO eller 2 x 1, MIMO eller 2 x 3



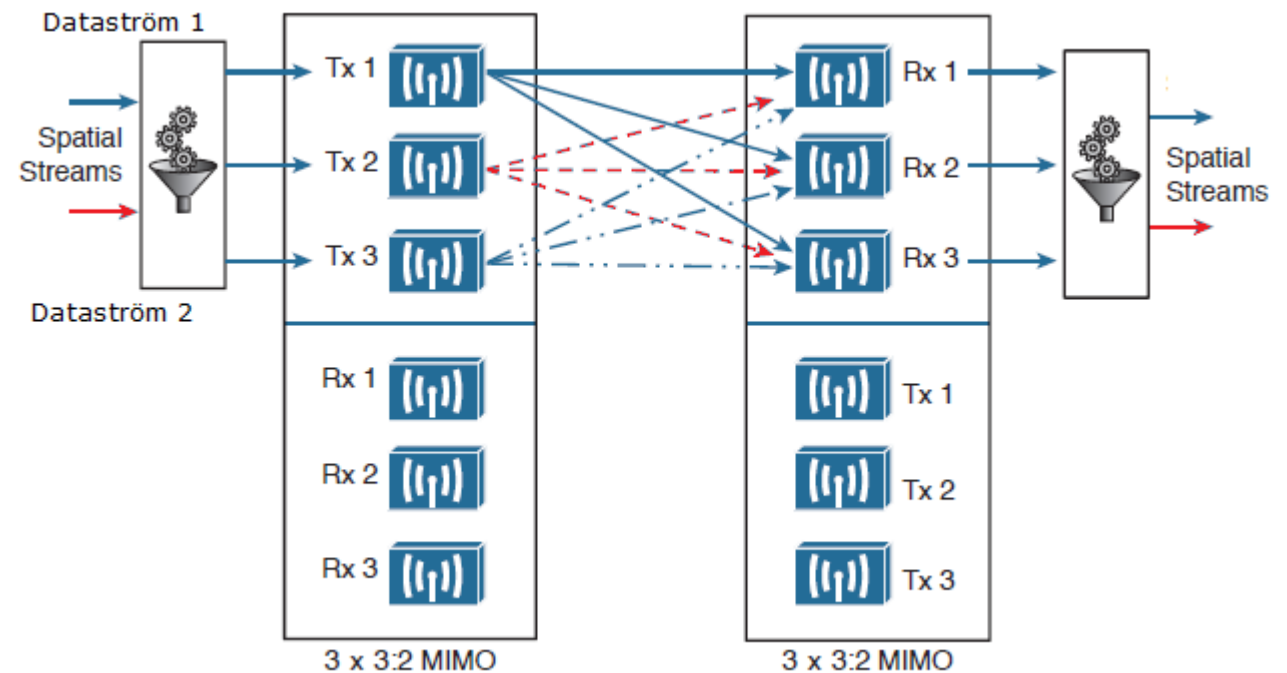
MIMO – Channel bonding

- ✚ Trådlösa enheter som stödjer 802.11n kan binda ihop ett antal kanaler.
- ✚ Detta möjliggörs med OFDM modulering på kanaler med 20 MHz bredd och att varje kanal har upp till 52 bärare.
- ✚ Dessutom möjliggör tekniken att aggregera intill närliggande kanaler exempelvis två 20 MHz kanaler till en på 40 MHz med 108 bärare:
- ✚ Observera att när kanaler aggregeras minskar det totala antalet ursprungliga kanaler i ett band.



MIMO – Spatial multiplexering

- ✚ Hur kan flera trådlösa utrustningar sända på samma kanal utan att störa varandra?
- ✚ Varje dataström (radio chain) eller spatial stream har sin egen antenn.
- ✚ Varje antenn är åtskild något avstånd från de andra så att signalerna anländer till mottagarens antenner (även de åtskilda från varandra) troligen i olika fas och amplituder.
- ✚ Detta är särskilt sant när dataströmmarna studsar på några objekt längs vägen till mottagaren.
- ✚ Antalet dataströmmar som en trådlös utrustning kan hantera brukar betecknas genom att lägga till ett kolon och ett nummer till MIMO-specifikationen.
- ✚ Till exempel $3 \times 3: 2$ MIMO betyder att enheten har 3 sändare (Tx), 3 mottagare (Rx) och 2 dataströmmar.



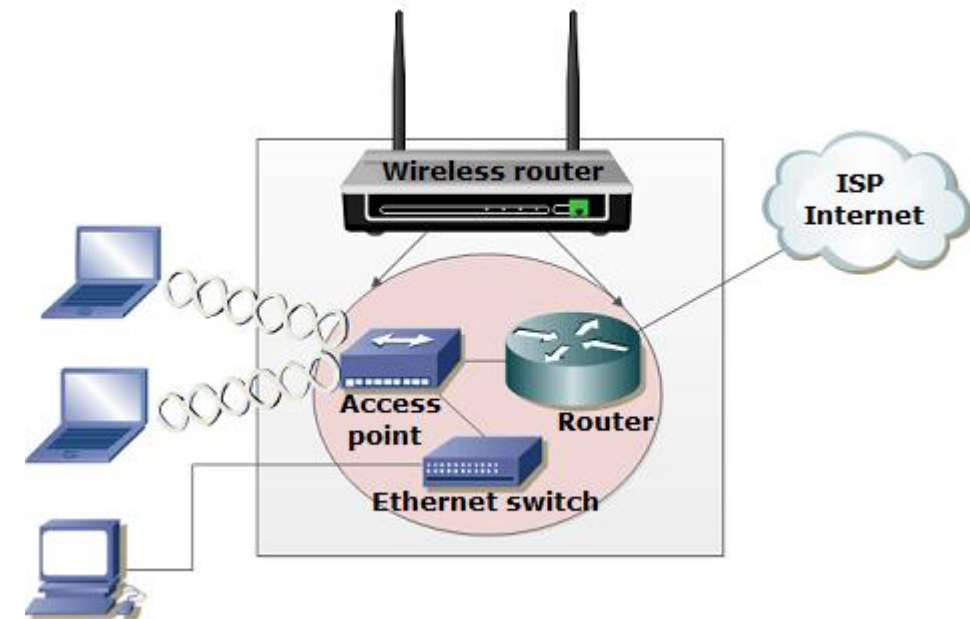
Digital kommunikation

An abstract graphic representing digital communication. It features a series of overlapping, wavy lines in various colors (purple, green, yellow, orange, blue, red) that create a sense of motion and data flow. The lines are set against a dark background with vertical light streaks, giving it a futuristic and dynamic appearance.

AP och WLC

Accesspunkt

- ✚ En åtkomstpunkt eller accesspunkt använder halv-duplex kommunikationsmetod.
- ✚ Åtkomstpunkter kan också ha intelligenta switch-funktioner, dock inte alla.
- ✚ AP som har switch-funktioner och router-funktioner brukar kallas multifunktionella routrar eller bara "fett" AP eller integrerade routrar.
- ✚ Dessa åtkomstpunkter definieras också som självständiga (autonomuos eller standalone) i den meningen att de kan konfigureras enskilda.



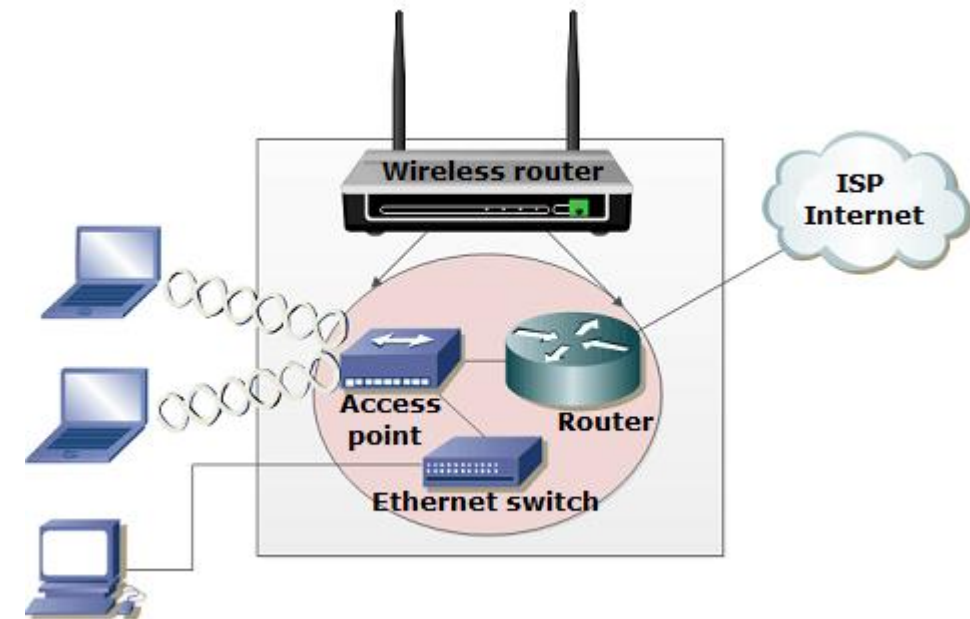
Access Point or router?

- ✦ The Cisco WAP4410N Access Point has *three detachable 2dBi omni-directional* antennas.
- ✦ These antennas are located on the back of the device.
- ✦ The three antennas have a base that can rotate 90 degrees when in the standing position.
- ✦ The three antennas support *3X3* “multiple in, multiple out” (*MIMO*) *diversity* in wireless-N mode.
- ✦ The Cisco WAP4410N access point allows you to connect the wireless network to a wired environment.
- ✦ It also supports the Wi-Fi Protected Setup (WPS).
- ✦ The Cisco WAP4410N offers the convenience of Power over Ethernet (PoE).
- ✦ The Cisco WAP4410N supports the 802.11n Draft 2.0 Specification by IEEE.



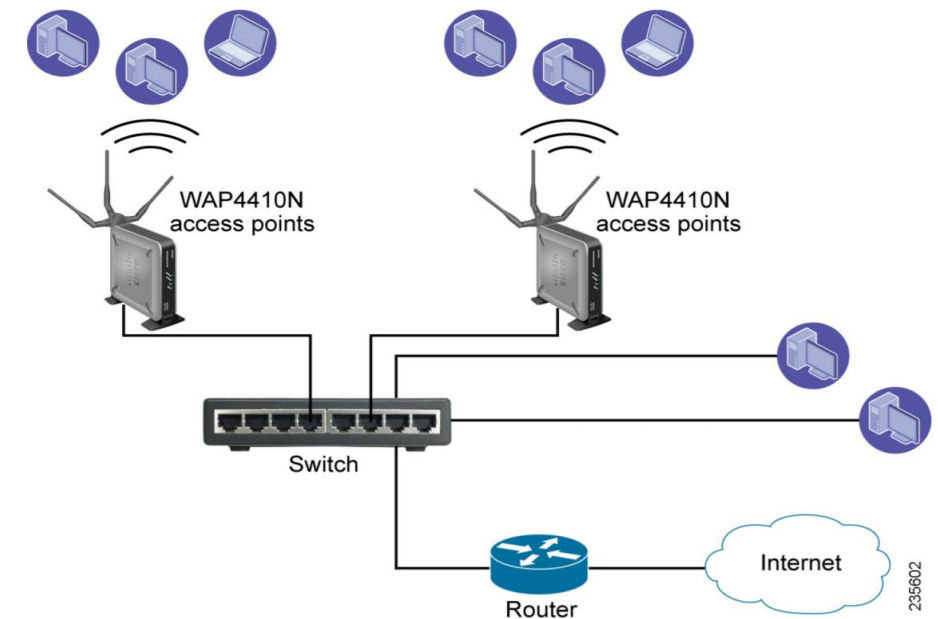
Network topology

- ✦ Computers in a wireless network must be configured to share the same radio channel to talk to each other.
- ✦ Several computers equipped with wireless cards or adapters can communicate with each other to form an *ad-hoc network* without the use of an access point.
- ✦ An integrated wireless and wired network is called an *infrastructure network*.
- ✦ Each wireless computer in an infrastructure network can talk to any computer in a wired or wireless network via the access point or wireless router.
- ✦ An infrastructure configuration extends the accessibility of a wireless computer to a wired network and may double the effective wireless transmission range two wireless adapter computers.



Roaming

- ✦ Roaming means that you can move your wireless computer within your network and the access points will pick up the wireless computer's signal, providing that they both share the same wireless network (SSID) and wireless security settings.
- ✦ Choose a feasible radio channel and optimum access point position.
- ✦ In this illustration, the switch connects to a router that connects to the Internet.
- ✦ The network provides connectivity among wireless network devices and computers that have a wired connection to the switch.
- ✦ The wireless access points connect to a Cisco switch that provides them with power.
- ✦ Each access point connects multiple wireless devices to the network.



WLC – Wireless Controller

- ✚ När klientstationer befinner sig utanför åtkomstpunktens räckvidden kan flera AP läggas till nätverket så att alla enheter kan kommunicera med varandra.
- ✚ Men med flera AP blir deras konfigurationer tidskrävande om inte en WLC eller WLAN controller används.
- ✚ Det är här som visar sig fram en annan typ av AP, en som är känd som "lätt" eller på engelska thin AP eller Light Weight AP.
- ✚ Alla konfigurationer som ska göras på åtkomstpunkter görs på WLAN kontrollanter och därefter skickas konfigurationerna till varje AP.
- ✚ För att uppnå detta måste all trafik skickas till/från åtkomstpunkterna genom tunnlar som heter CAPWAP (Kontroll och tillhandahållande av trådlösa åtkomstpunkter).



WiFi Alliance

- ✚ Wi-Fi Alliance, som ursprungligen heter Wireless Ethernet Compatibility Alliance (WECA), grundades i augusti 1999. Namnet ändrades till Wi-Fi Alliance i oktober 2002.
- ✚ Wi-Fi Alliance är en global, icke-professionell branschorganisation som ägnar sig åt att främja tillväxten av WLAN.
- ✚ En av Wi-Fi Allians främsta uppgifter är att marknadsföra Wi-Fi-varumärket och öka konsumentens medvetenhet om nya 802.11-tekniker när de blir tillgängliga.
- ✚ Wi-Fi Alliansens huvuduppgift är *att säkerställa driftskompatibiliteten hos WLAN-produkter genom att tillhandahålla certifieringstestning.*
- ✚ Produkter som passerar WiFi-certifieringsprocessen får ett WiFi-interoperability certifikat.



Wi-Fi CERTIFIED™ Interoperability Certificate

This certificate lists the features that have successfully completed Wi-Fi Alliance interoperability testing.
Learn more: www.wi-fi.org/certification/programs



Certification ID: WFA62684

Page 1 of 2

Date of Last Certification	January 28, 2016
Company	Arcadyan Technology Corporation
Product	Singtel WiFi Gigabit Router AC1900
Model Number	AC1900
Product Identifier(s)	
Category	Access Point for Home or Small Office (Wireless Router)
Hardware Version	Product: R01, Wi-Fi Component: BCM43217KMLG+BCM4366KMLG
Firmware Version	Product: v1.00.01_build12, Wi-Fi Component: v1.00.01_build12
Operating System	Linux, version: 3.4.11-rt19
Frequency Band(s)	2.4 GHz, 5 GHz - Concurrent

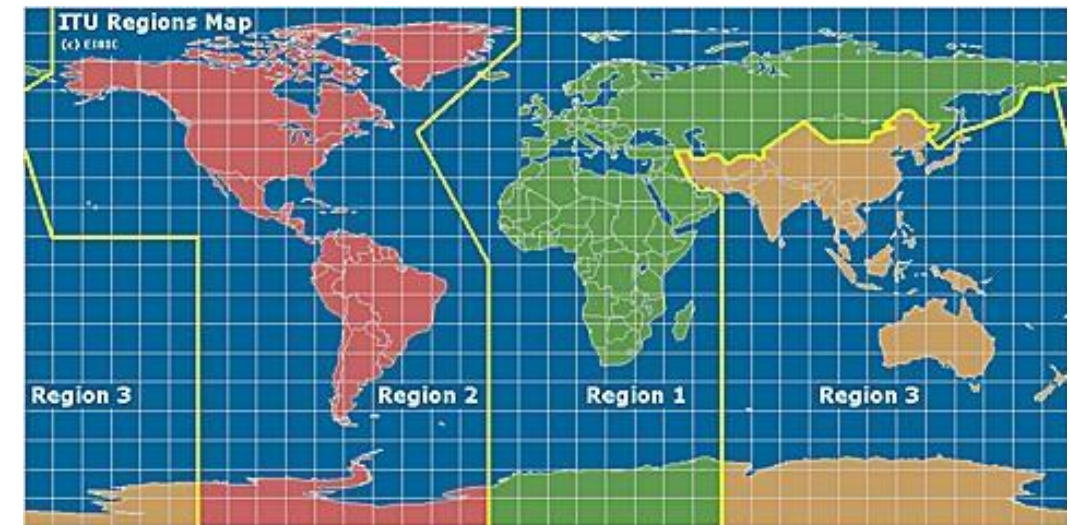
Digital kommunikation



ISM band

ISM band

- ✚ ISM står för Industrial, Scientific, and Medical Bands.
- ✚ Namnet speglar den ursprungliga definitionen av frekvensbanduppdelning:
 - 900 MHz Industrial band (inkluderas 1.8 GHz)
 - 2.4 GHz Scientific band
 - 5.8 GHz Medical band
- ✚ 802.11 standarder grundas i den frekvensplan definierad av ITU Telecommunication Standardization Sector.
- ✚ Världen är indelad i radioregioner (ITU-regioner) och frekvensband.
 - Europa och Ryssland, inklusive Afrika och Mellanöstern (ITU-region 1)
 - Amerika (ITU-region 2)
 - Asien (ITU-region 3).

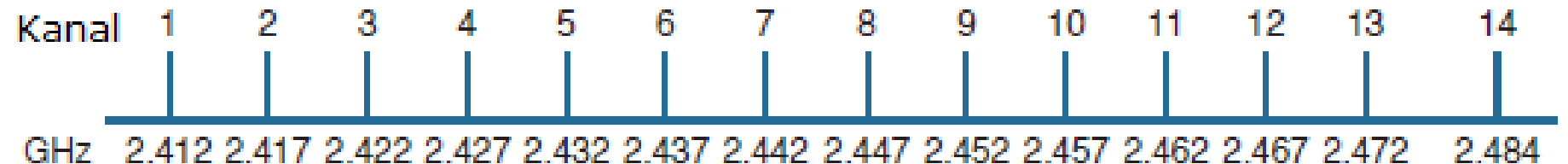


ISM Frekvensband

- + Den mest använt frekvensbandet inom trådlös kommunikation är utan tvekan 2,4 GHz och numera 5 GHz.
- + Men det är en frekvensband och inte en frekvens, vilket innebär ett intervall av frekvenser exempelvis WLAN.
- + Enligt Post- och telestyrelsens (PTS) Inriktningsplan för spektrumhantering WLAN regleras i intervallen:
 - 2400 – 2438,50 MHz (38,50 MHz bandbredd, WLAN)
 - 5150 – 5250 MHz (100 MHz bandbredd, Radar luftfart Trådlösa nätverk)
 - 5250 – 5350 MHz (100 MHz bandbredd, Trådlösa nätverk MIL)
 - 5470 – 5570 MHz (100 MHz bandbredd, Radionavigering sjöfart, Trådlösa nätverk MIL)
 - 5570 – 5650 MHz (80 MHz bandbredd, Radionavigering sjöfart, radiolokalisering, trådlösa nätverk, meteorologisk radar MIL)
 - 5650 – 5725 MHz (75 MHz bandbredd, Trådlösa nätverk, Amatörradio MIL)

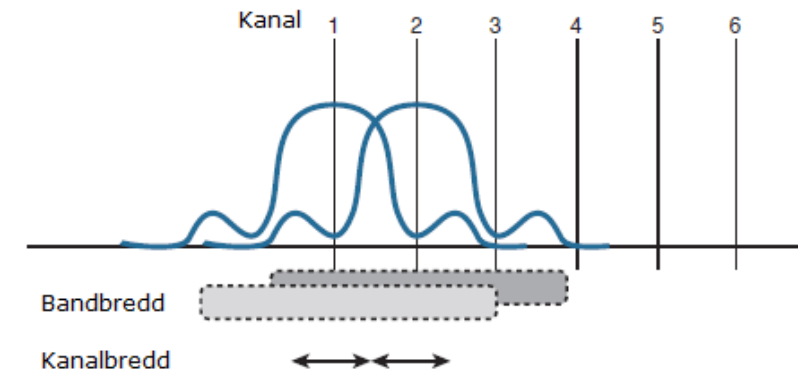
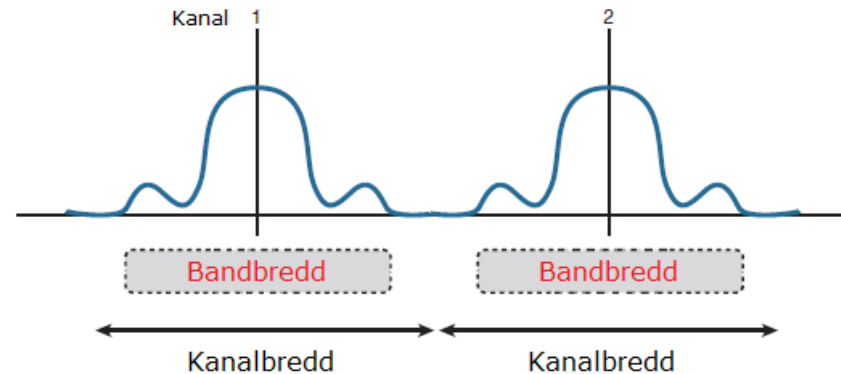
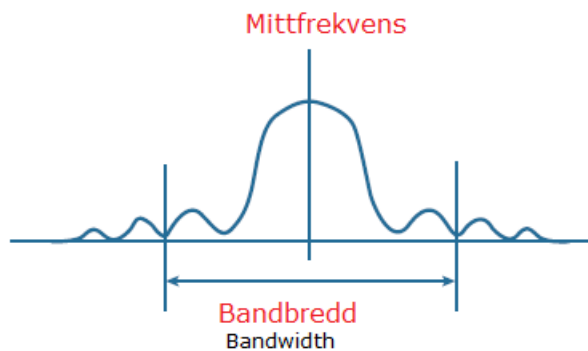
Frekvensband och kanaler

- ✚ En frekvensband (en samling av flera frekvenser) kan delas upp i flera kanaler.
- ✚ Varje kanal identifieras med ett nummer och tilldelas ett frekvensintervall inom samma band.
- ✚ Till exempel 2.4 GHz band delas i 14 kanaler och varje kanal får ett visst frekvensintervall.
- ✚ Observera att varje kanal tilldelas en specifik frekvens ifrån varandra, varför det mellanrum? Signalerna är som starkast just i mitten av mellanrummet och inte i kanterna.
- ✚ Även om ISM 2,4 GHz bandet delas upp i 14 kanaler, används olika antal kanaler i olika länder.
- ✚ Till exempel begränsar FCC användning till 11 kanaler medan ETSI tillåter 13 kanaler och Japan tillåter att alla 14 kanaler.
- ✚ Det vanligaste arrangemanget är att endast använda kanalerna 1, 6 och 11, som inte överlappar varandra alls.



Frekvensband och kanaler

- ✚ Ideellt ska signalens bandbredd bredda sig mindre än själva kanalen så att signalerna inte trampar på varandra.
- ✚ Men i verkligheten överlappar trådlösa signaler med varandra eftersom varje signal egentligen utsträcker sig genom fyra kanaler!
- ✚ Användning av kanalerna avgörs bland annat moduleringssteknik såsom DSSS eller OFDM.
- ✚ DSSS kräver att varje kanal är 22 MHz bred och OFDM kräver 20 MHz.
- ✚ Kanalerna placeras 5 MHz från varandra vilket resulterar i att kanalerna överlappar varandra. Det resulterar i störningar och signaldeformeringar.



Digital kommunikation

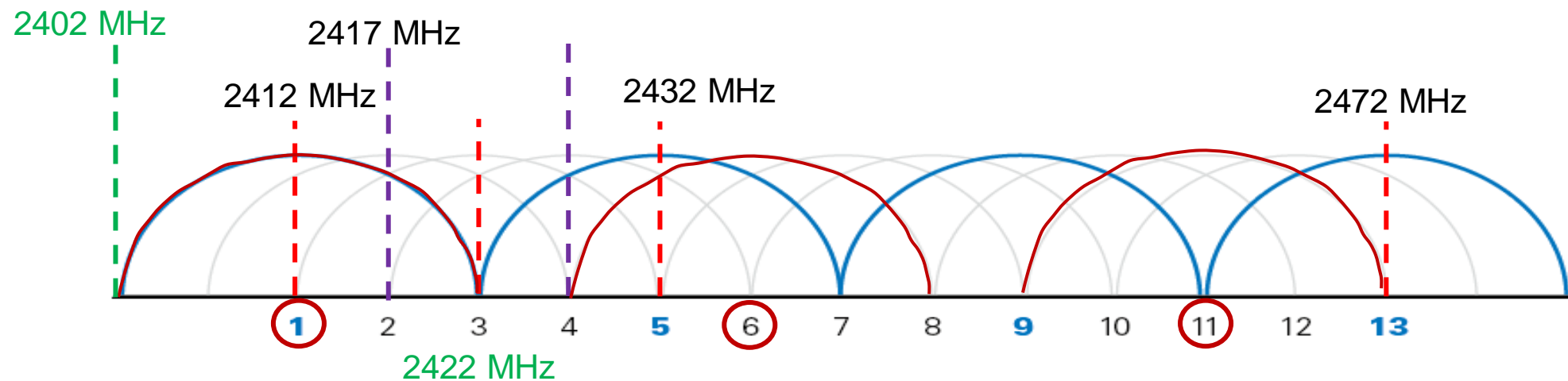
A digital signal waveform is shown against a dark background. The waveform consists of multiple overlapping white lines that create a sense of depth and movement. The signal is color-coded with a gradient: it starts with purple on the left, transitions through green and yellow in the middle, and ends with blue and red on the right. The overall effect is that of a digital signal being transmitted or processed.

ISM 2,4 GHz kanaler

Gonzalo Rivera ©

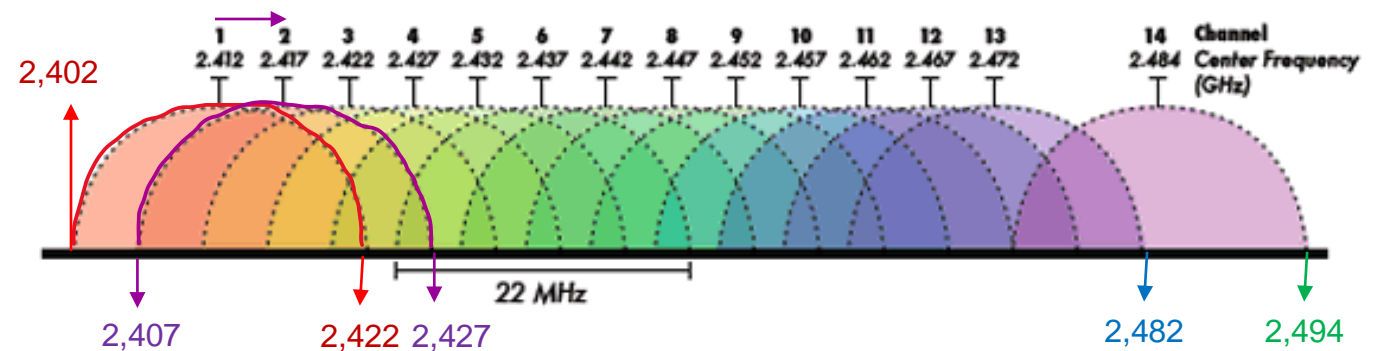
2,4 GHz kanaler

- ✚ ISM (1947) är ett licensfritt frekvensband på 2,4 GHz med max uteffekt på 100 mW i Sverige.
- ✚ Utöver trådlöst nätverk används frekvensbandet också för Bluetooth, tangentbord, möss, audio, video, mikrovågsugnar och mycket mer.
- ✚ Frekvensbandet delas upp i ett antal kanaler eller frekvensintervaller
- ✚ Varje kanal är 20 MHz bredd (om OFDM används, annars 22 MHz).
- ✚ WiFi-kanalerna separeras med mellanrum på 5 MHz
- ✚ Kanalplanering krävs så att accesspunkter inte överlappar varandra.
- ✚ De facto branschstandard kanaler 1, 6 och 11.



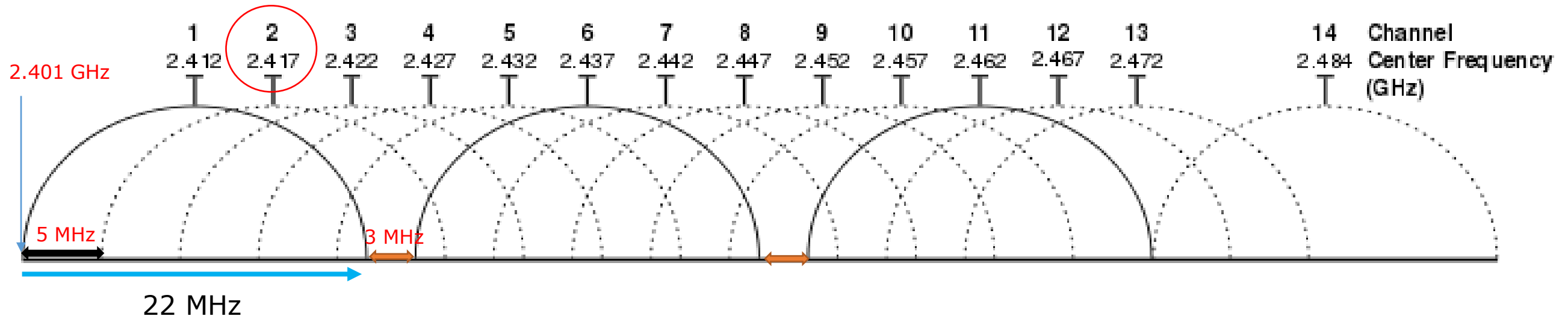
2,4 GHz kanaler

- ✦ Sedan i slutet av 1990-talet blev kanalbredden 22 MHz i 802.11b standard med 11 Mbps överföringshastighet.
- ✦ 22 MHz bredd reducerar antal överlappsfria kanaler till 3 (USA).
- ✦ Denna begränsning gäller fortfarande idag, oavsett om du använder äldre 802.11b/g/n (2.4GHz) WiFi-utrustningen.
- ✦ Om vi delar varje kanal från mitten, $10 + 10 = 20$ MHz:
- ✦ $2412 - 10 = 2402$ och $2412 + 10 = 2422$
- ✦ $2412 + 5 = 2417$; $2417 - 10 = 2407$ och $2417 + 10 = 2427$
- ✦
- ✦ Från 2402 till 2482 MHz
- ✦ Eller från 2402 till 2494 MHz



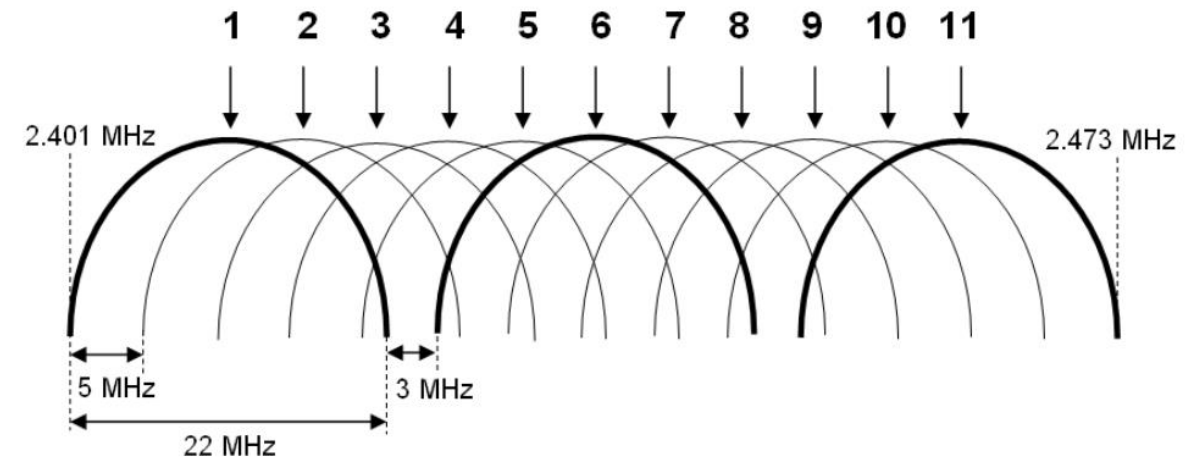
2.4 GHz kanaler

- ✚ Bredden på kanalerna varierar beroende på modulationsmetoden.
- ✚ 22 MHz \pm 11 MHz, om DSSS och HR-DSSS modulationer används.
- ✚ 20 MHz, om modulationsmetoden OFDM används.
- ✚ Kanal 1:
 - 2412 - 11 MHz = 2.401 GHz
 - 2412 + 11 MHz = 2.423 GHz
- ✚ Men kanal 2 är på 2.417 GHz vilket är en tydligt överlappning.
- ✚ 802.11 standarden delar upp frekvensområdet 2.4 GHz i 14 kanaler.



2.4 GHz kanaler

- ✚ Vad händer med kanalerna 12, 13 och 14?
- ✚ Endast Japan tillåter användning av kanal 14
- ✚ Är 2.4 GHz kanaler på väg att ersättas med 5 GHz kanaler?
- ✚ 802.11b = WiFi-1
- ✚ 802.11a = WiFi-2
- ✚ 802.11g = WiFi-3
- ✚ 802.11n = WiFi 4
- ✚ 802.11ac = WiFi 5
- ✚ 802.11ax = WiFi-6



The screenshot shows a wireless network configuration interface. The main menu includes "Wireless", "Setup", "Wireless", "Security", "Access Restrictions", "Applications & Gaming", and "Advanced Settings". The "Wireless" menu is selected, and the "Basic Wireless Settings" sub-menu is active. The "Wireless Network" section is expanded, showing the following settings:

- Wireless Configuration: Protected Setup
- Wireless Network Mode: []
- Wireless Network Name (SSID): []
- Wireless Channel: []
- Wireless SSID Broadcast: []

A dropdown menu is open for the "Wireless Channel" setting, showing the following options:

- 1 - 2.412GHz
- 2 - 2.417GHz
- 3 - 2.422GHz
- 4 - 2.427GHz
- 5 - 2.432GHz
- 6 - 2.437GHz
- 7 - 2.442GHz
- 8 - 2.447GHz
- 9 - 2.452GHz
- 10 - 2.457GHz
- 11 - 2.462GHz

The "Save Settings" and "Cancel Changes" buttons are visible at the bottom of the interface.

Digital kommunikation



ISM 5,0 GHz kanaler

Gonzalo Rivera ©

5 GHz kanaler

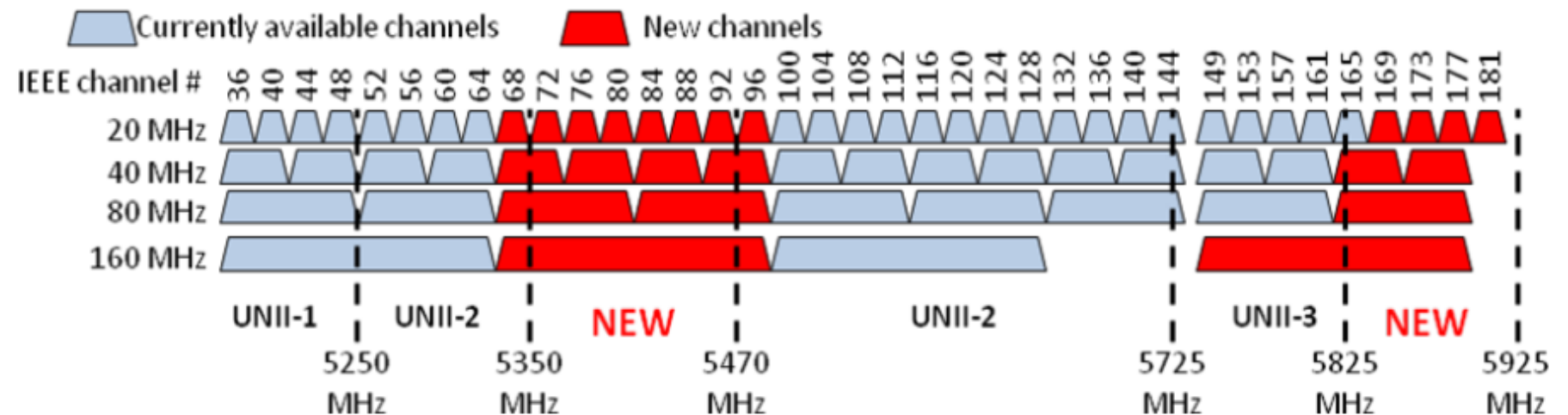
- ✚ Frekvensbandet indelas i flera band:
 - U-NII Unlicensed National Information Infrastructure
 - U-NII-1, WiFi 802.11a/n/ac, LTE-U, 50 mW
 - U-NII-2, U-NII-2e, 250 mW
 - U-NII-3, WiFi 802.11a/n/ac, LTE-U, 1 W
 - U-NII-4 under utveckling
- ✚ Kanalerna separeras med 20 MHz ifrån varandra:
 - $5160 + 20 = 5180$ -- 36
 - $5180 + 20 = 5200$ -- 40
 - $5200 + 20 = 5220$ -- 44
 - $5220 + 20 = 5240$ -- 48
 - $5240 + 20 = 5260$ -- 52
 - $5260 + 20 = 5280$ -- 56
 - $5280 + 20 = 5300$ -- 60
 - $5280 + 20 = 5320$ -- 64

Range	Channel	Frequency (MHz)
U-NII-1	36	5180
	40	5200
	44	5220
	48	5240
U-NII-2 DFS required	52	5260
	56	5280
	60	5300
	64	5320
U-NII-2e DFS required	100	5500
	104	5520
	108	5540
	112	5560
	116	5580
	120	5600
	124	5620
	128	5640
	132	5660
	136	5680
U-NII-3	140	5700
	149	5745
	153	5765
	157	5785
	161	5805
	165	5825

5 GHz kanaler

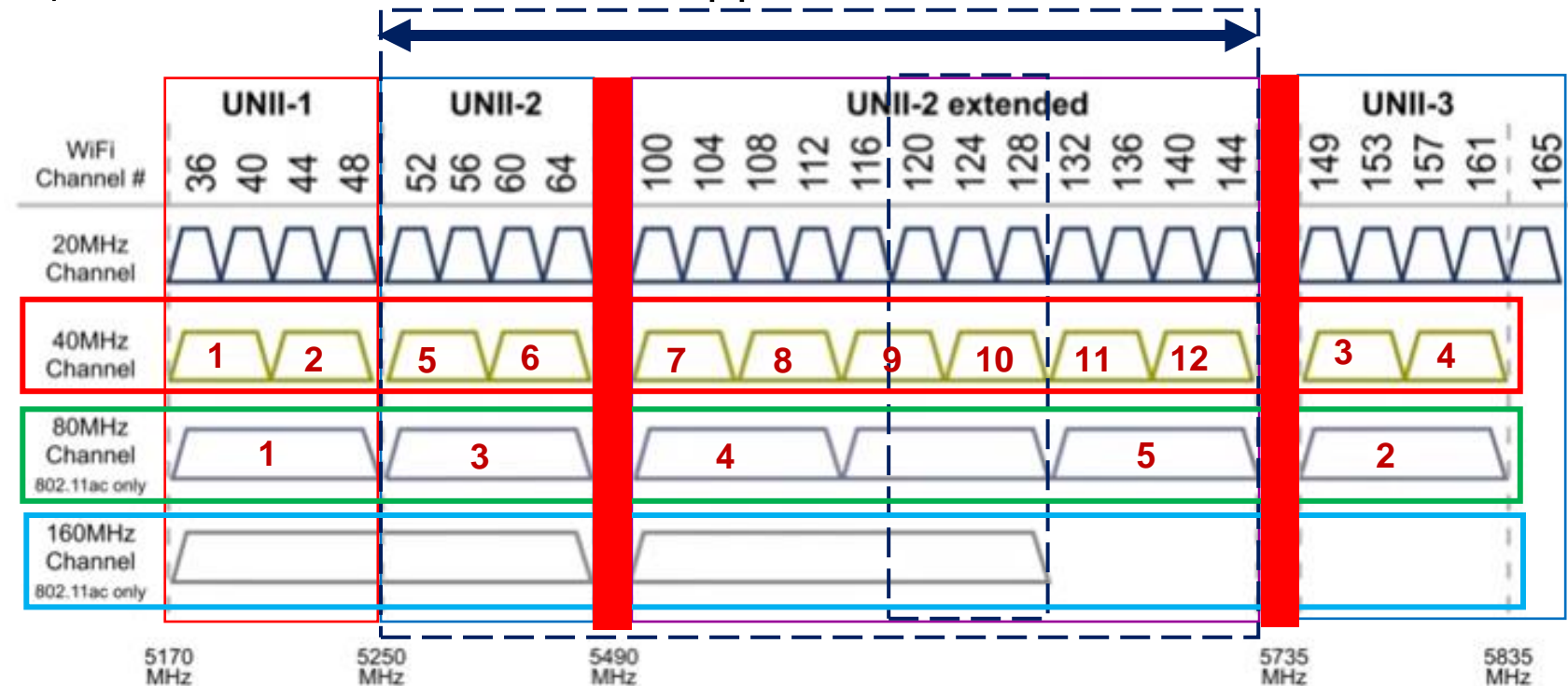
- ✚ Flera nya kanaler i olika frekvensintervaller
- ✚ Varierar land till land, bilden nedan illustrerar USA 5 GHz där nya kanaler godkänns av FCC i samarbete med IEEE.
- ✚ Det sträcker sig 5 170 MHz till 5 835 MHz, men vissa frekvensspann inom området är reserverade.
- ✚ På 5 GHz-bandet är det inga problem att använda 40 MHz och 80 MHz breda kanaler.
- ✚ Men kortare räckvidd
- ✚ Kanaler i 20 MHz:

- 36, 5180
- 40, 5200
- 44, 5220
- 48, 5240



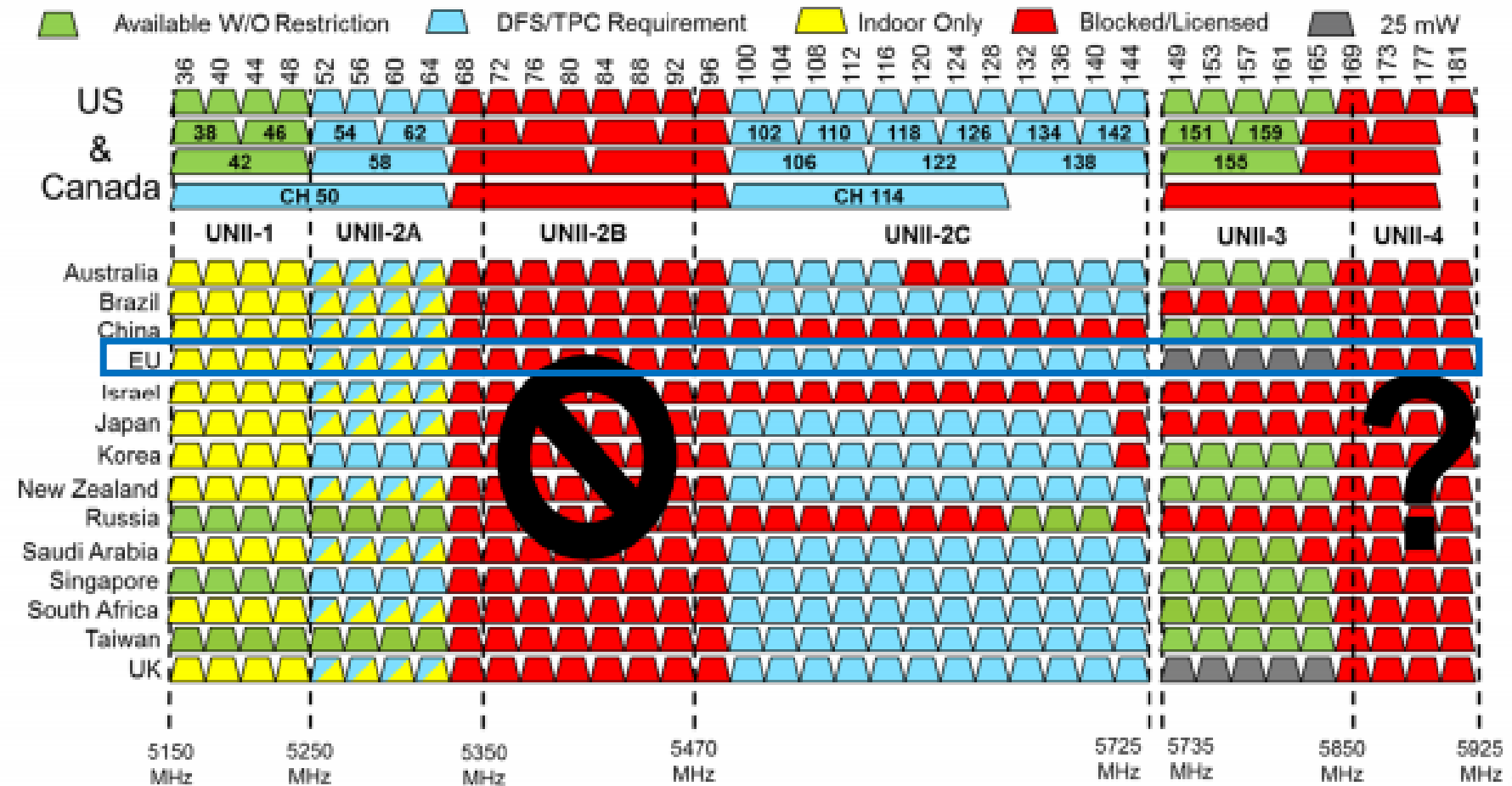
5 GHz kanaler

- UNII-1 kanaler 36, 40, 44, 48 stöds av de flesta länder.
- Väder, radar och DFS-kanaler (Dynamic Frekvens Selection) samt TPC
- Om DFS används finns 25 kanaler på 5 GHz band.
- 25 kanaler ger möjlighet att sammanfoga kanalerna för att få dubbel så snabba överföringshastigheter.
- Detta implementeras i 802.11n och 802.11ac, "**bonding channel**"
- Två 20 MHz blir en 40 MHz kanal, men endast 4 icke överlappande kanaler eller 12 om DFS används.
- Endast i 802.11ac kan två 40 MHz kanaler sammanfogas till en på 80 MHz.
- Endast 2 kanaler eller 5 om DFS och TCP används.
- Endast en 160 MHz kanal ifall DFS och TCP används.



6 GHz kanaler

- ✚ Sedan 2003 har inte gjorts någon ny allokering på ISM licensierad frekvensband.
- ✚ Det finns flera organisationer i olika länder som blockerar 6 GHz utveckling.
- ✚ 6 GHz i standarden 802.11ax kan gå upp till 9,6 Gbps.



6 GHz kanaler

- ✚ RF-spektrum kontrolleras av nationella organisationer.
- ✚ Det brukar ta ca. 9 år innan det öppnas ett nytt band.
- ✚ Det krävs minst 80 MHz kanal för att uppnå Gbps överföringshastigheter.
- ✚ Normalt är idag 40 och 20 MHz kanaler.
- ✚ 5 GHz används idag mellan 60% till 80% av mobildatatrafik.
- ✚ *In 2020, we will finally get it: A big chunk of new wireless spectrum in the 6 Gigahertz (GHz) band – potentially from 5.925 GHz up to 7.125 GHz.*
- ✚ *In 2020, for the first time in 17 years, we expect that Wi-Fi will get additional airspace.*
- ✚ *While we don't know all the conditions that regulators will require for use of the 6 GHz band, we do expect access to a broad swath of spectrum.*

802.11ac Data Rates

Spatial Streams	80 MHz	160 MHz
1SS	433 Mbps	867 Mbps
2SS	867 Mbps	1.7 Gbps
3SS	1.3 Gbps	2.7 Gbps
4SS	1.7 Gbps	3.4 Gbps

802.11ax Data Rates

Spatial Streams	80 MHz	160 MHz
1SS	600 Mbps	1.2 Gbps
2SS	1.2 Gbps	2.4 Gbps
4SS	2.4 Gbps	4.8 Gbps
6SS	3.6 Gbps	7.2 Gbps
8SS	4.8 Gbps	9.6 Gbps

DIGINTO

The background features a series of overlapping, wavy lines in various colors including purple, green, yellow, orange, blue, and red, creating a sense of digital motion and data flow.

Digital kommunikationsteknik

Gonzalo Rivera ©