اليوم 55 - أساسيات الشبكات اللاسلكية (Wireless Fundamentals)

الشبكات اللاسلكية أصبحت جزءاً أساسياً من حياتنا اليومية، سواء في المنازل أو المكاتب أو المقاهي أو المطارات. تعتمد هذه الشبكات على معايير IEEE 802.11 التي تحدد كيفية عمل الاتصالات اللاسلكية في شبكات WLAN (Wireless Local Area Network). فهم أساسيات الشبكات اللاسلكية أمر ضروري لكل مهندس شبكات، لأن معظم الأجهزة اليوم تتصل بالشبكة لاسلكياً بدرجة أولى. في هذا الدرس، سنغطي المعايير المختلفة لشبكات Wi-Fi، وخصائص الترددات المستخدمة، وكيفية إدارة الوصول إلى الوسيط (Medium Access)، والمفاهيم الأساسية مثل SSID والقنوات (Channels).

تطورت معايير IEEE 802.11 على مر السنين لتحقيق سرعات أعلى وأداء أفضل. بدأنا بمعيار 802.11b الذي أُطلق في عام 1999 ويوفر سرعة تصل إلى 11 Mbps في نطاق 2.4 GHz. تبعه 802.11g الذي يوفر سرعة تصل إلى 54 Mbps في نفس نطاق 2.4 GHz. ثم جاء 802.11n والذي يُعرف أيضاً باسم Wi-Fi 4، ويوفر سرعات تصل إلى 600 Mbps باستخدام تقنية MIMO (Multiple Input Multiple Output) التي تستخدم هوائيات متعددة للإرسال والاستقبال في وقت واحد. يعمل Wi-Fi 4 في كلا النطاقين 2.4 GHz و 5 GHz. بعد ذلك، ظهر 802.11ac أو Wi-Fi 5 الذي يعمل فقط في نطاق 5 GHz ويوفر سرعات تصل إلى 3.5 Gbps باستخدام MIMO متعدد المستخدمين (MU-MIMO). أحدث معيار هو 802.11ax أو Wi-Fi 6 و Wi-Fi 6E، الذي يعمل في النطاقات 2.4 GHz و 5 GHz و 6 GHz، ويوفر سرعات تصل إلى 9.6 Gbps بكفاءة أعلى بكثير في البيئات المزدحمة. كل جيل جديد من Wi-Fi يحسن السرعة والسعة وكفاءة استخدام الطيف الترددي.

نطاقات التردد المستخدمة في الشبكات اللاسلكية هي من أهم المفاهيم التي يجب فهمها. النطاق الأول هو 2.4 GHz، وهو النطاق الأقدم والأكثر استخداماً. ميزته الرئيسية هي المدى الأطول وقدرته على اختراق الجدران والعوائق بشكل أفضل، وذلك لأن الموجات ذات التردد المنخفض تنتشر لمسافات أطول وتخترق العوائق بسهولة أكبر. لكن العيب الكبير هو الازدحام والتداخل، حيث أن العديد من الأجهزة تستخدم هذا النطاق مثل أجهزة Bluetooth وأفران الميكروويف والهواتف اللاسلكية وأجهزة التحكم عن بعد. النطاق الثاني هو 5 GHz، ويوفر سرعات أعلى وتداخلاً أقل، لكن مداه أقصر وقدرته على اختراق العوائق أقل. النطاق الثالث والأحدث هو 6 GHz الذي أُضيف مع معيار Wi-Fi 6E، وهو نطاق نظيف وخالٍ من الازدحام لأن الأجهزة القديمة لا تعمل عليه، مما يوفر أداءً ممتازاً للتطبيقات الحديثة التي تتطلب سرعات عالية وزمن انتقال منخفض.

بروتوكول الوصول إلى الوسيط في الشبكات اللاسلكية يختلف تماماً عن الشبكات السلكية. في شبكات الإيثرنت السلكية، نستخدم CSMA/CD أو Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection. في هذا البروتوكول، يستمع الجهاز إلى الوسيط قبل الإرسال، وإذا كان خالياً يبدأ الإرسال، وعند حدوث تصادم (Collision)، يتم اكتشافه وإعادة الإرسال بعد فترة عشوائية. أما في الشبكات اللاسلكية، فنستخدم CSMA/CA أو Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance. الفرق الأساسي هو أننا لا نستطيع اكتشاف التصادمات في الشبكات اللاسلكية بشكل موثوق، لأن الجهاز لا يستطيع الإرسال والاستماع في نفس الوقت على نفس التردد (half-duplex). لذلك، نستخدم آلية تجنب التصادم بدلاً من اكتشافه. تعتمد CSMA/CA على إرسال إطار RTS (Request to Send) و CTS (Clear to Send) قبل إرسال البيانات الفعلية. ترسل المحطة RTS إلى نقطة الوصول، فترد نقطة الوصول بـ CTS تخبر جميع الأجهزة الأخرى بأن القناة محجوزة لفترة زمنية محددة. هذه الآلية تقلل بشكل كبير من احتمالية التصادمات لكنها تضيف overhead إضافية مقارنة بـ CSMA/CD.

مقارنة CSMA/CA vs CSMA/CD:

CSMA/CD: يستخدم في Ethernet السلكي، يكتشف التصادمات ويعيد الإرسال. CSMA/CA: يستخدم في Wi-Fi اللاسلكي، يتجنب التصادمات باستخدام RTS/CTS قبل الإرسال.

SSID أو Service Set Identifier هو اسم الشبكة اللاسلكية الذي يظهر عند البحث عن شبكات Wi-Fi على جهازك. نقطة الوصول (Access Point) تبث إطارات Beacon بشكل دوري (عادة كل 100 مللي ثانية) تحتوي على SSID ومعلومات أخرى عن الشبكة مثل نوع الأمان والقنوات المدعومة. يمكن إخفاء SSID بحيث لا يظهر في قائمة الشبكات المتاحة، لكن إخفاء SSID ليس حلاً أمنياً فعالاً، لأن أي برنامج لالتقاط الحزم يمكنه اكتشاف SSID من الإطارات التي ترسلها الأجهزة المتصلة بالشبكة. SSID يمكن أن يصل طوله إلى 32 حرفاً، وهو حساس لحالة الأحرف (Case Sensitive). في بيئات المؤسسات الكبيرة، يتم استخدام نفس SSID عبر جميع نقاط الوصول لتوفير تجربة تجوال سلسة (Seamless Roaming)، حيث ينتقل الجهاز تلقائياً بين نقاط الوصول دون الحاجة لإعادة الاتصال.

القنوات (Channels) هي تقسيمات للطيف الترددي إلى نطاقات أصغر، كل منها يمثل قناة اتصال منفصلة. في نطاق 2.4 GHz، ينقسم الطيف إلى 13 قناة في معظم دول العالم (القنوات من 1 إلى 13)، وكل قناة عرضها 20 MHz. لكن المشكلة هي أن المسافة بين مركز كل قناة هي 5 MHz فقط، مما يعني أن القنوات تتداخل مع بعضها البعض بشكل كبير. القنوات غير المتداخلة (Non-Overlapping Channels) في نطاق 2.4 GHz هي ثلاث قنوات فقط: القناة 1 والقناة 6 والقناة 11. هذا يعني أنه في أي منطقة، يمكن استخدام ثلاث نقاط وصول فقط دون تداخل إذا استخدمت هذه القنوات الثلاث. في نطاق 5 GHz، الوضع أفضل بكثير حيث يوجد 23 قناة غير متداخلة (بعرض 20 MHz لكل منها)، مما يسمح بنشر كثافة أعلى من نقاط الوصول دون تداخل. اختيار القنوات الصحيحة هو خطوة أساسية في تصميم أي شبكة لاسلكية لتجنب التداخل وضمان أفضل أداء.

التداخل (Interference) هو أحد أكبر التحديات في الشبكات اللاسلكية. هناك نوعان رئيسيان من التداخل: التداخل الداخلي (Co-Channel Interference) الذي يحدث عندما تستخدم نقطتا وصول أو أكثر نفس القناة في نفس المنطقة، مما يؤدي إلى تنافس الأجهزة على نفس الوسيط وانخفاض الأداء. النوع الثاني هو التداخل الخارجي (Adjacent Channel Interference) الذي يحدث عندما تستخدم نقاط الوصول قنوات متجاورة تتداخل مع بعضها، مما يسبب تشويشاً إضافياً. بالإضافة إلى ذلك، هناك مصادر تداخل خارجية غير Wi-Fi مثل أفران الميكروويف وأجهزة Bluetooth والهواتف اللاسلكية. لإدارة التداخل بشكل فعال، تستخدم أنظمة إدارة الطيف الترددي الحديثة مثل RRM (Radio Resource Management) من سيسكو تقنيات ذكية لاختيار أفضل القنوات وضبط طاقة الإرسال تلقائياً لتقليل التداخل وتحسين الأداء.

مصطلح مهم آخر هو dBm (Decibel-milliwatts) المستخدم لقياس قوة الإشارة اللاسلكية. كلما ارتفعت قيمة dBm، كانت الإشارة أقوى. عادةً، تعتبر الإشارة بقوة -30 dBm ممتازة، و -67 dBm جيدة، و -80 dBm ضعيفة وقد تسبب مشاكل في الاتصال. SNR (Signal-to-Noise Ratio) هو الفرق بين قوة الإشارة ومستوى الضوضاء الخلفية، ويعبر عن جودة الإشارة المستقبلة. كلما ارتفع SNR، كانت جودة الاتصال أفضل. في التصميم اللاسلكي المهني، يستخدم مهندسو الشبكات أدوات المسح الموقعي (Site Survey) لقياس هذه المعايير في جميع أنحاء المبنى وضمان تغطية كافية مع تداخل أدنى.

تقنية MIMO (Multiple Input Multiple Output) هي تقنية رئيسية في معايير Wi-Fi الحديثة. في الإصدارات القديمة (802.11b/g)، كان الجهاز يستخدم هوائياً واحداً للإرسال وهوائي واحد للاستقبال (SISO). مع MIMO، يمكن استخدام هوائيات متعددة للإرسال والاستقبال في وقت واحد، مما يسمح بإرسال تيارات بيانات متعددة في نفس القناة، مما يزيد السرعة بشكل كبير. على

سبيل المثال، نقطة وصول 4x4 يمكنها إرسال 4 تيارات بيانات في وقت واحد. MU-MIMO (Multi-User MIMO) الذي ظهر مع 802.11ac Wave 2 يسمح لنقطة الوصول بخدمة عدة أجهزة في نفس الوقت بدلاً من جهاز واحد، مما يحسن كفاءة الشبكة بشكل كبير في البيئات المزدحمة. في Wi-Fi 6، تم تحسين MU-MIMO لدعم الإرسال المتعدد للمستخدمين في الاتجاهين الصاعد والهابط.

في الختام، فهم أساسيات الشبكات اللاسلكية هو خطوة أولى مهمة قبل الانتقال إلى مواضيع أكثر تقدماً مثل تكوين نقاط الوصول وإدارة الشبكات اللاسلكية الكبيرة والأمان اللاسلكي. يجب على المهندس أن يتقن هذه الأساسيات: معايير 802.11 المختلفة وخصائص كل منها، نطاقات التردد ومزايا وعيوب كل نطاق، آلية CSMA/CA وكيف تختلف عن CSMA/CD، مفهوم القنوات والتداخل بينها، وأهمية SSID في تعريف الشبكة. هذه المعرفة ستشكل الأساس الذي تبنى عليه كل المفاهيم اللاسلكية المتقدمة في الدروس القادمة. تذكر دائماً أن الشبكات اللاسلكية تمثل تحدياً أكبر من الشبكات السلكية بسبب طبيعة الوسيط اللاسلكي المفتوح والمتغير، مما يتطلب فهماً أعمق وتخطيطاً أدق لضمان أداء وموثوقية عالية.