

به نام خداوند بخشنده و مهربان



بررسی لایه‌ی فیزیکی و سیگنال‌دهی در Wi-Fi با استانداردهای IEEE 802.11



ارائه‌ی درس مدارهای واسط - پائیز ۱۴۰۳

استاد: دکتر امین فصحتی

گردآورنده: سعید فراتی کاشانی

فهرست مطالب

3.....	مقدمه
3.....	استاندارد و فرمت‌های IEEE 802.11
5.....	بررسی استانداردهای کلیدی
5.....	استاندارد IEEE 802.11 (سال 1997)
5.....	استاندارد IEEE 802.11b (سال 1999)
5.....	استاندارد IEEE 802.11a (سال 1999)
6.....	استاندارد IEEE 802.11g (سال 2003)
6.....	استاندارد IEEE 802.11n (سال 2009)
6.....	استاندارد IEEE 802.11ac (سال 2014)
6.....	استاندارد IEEE 802.11ax (سال 2019)
6.....	استاندارد IEEE 802.11be (سال 2024، در حال تصویب)
7.....	ساختار قالب لایه فیزیکی
7.....	لایه‌های مرتبط در استاندارد 802.11
7.....	1. لایه لینک داده
7.....	2. لایه فیزیکی
8.....	باندهای فرکانسی و کانال‌ها در Wi-Fi
8.....	فرمت‌های مازولاسیون لایه فیزیکی
9.....	انواع فریم‌ها در استاندارد 802.11
9.....	فریم‌های مدیریت
9.....	فریم‌های کنترل
10.....	فریم‌های داده
10.....	تکنیک‌های مدولاسیون و نرخ‌های کدگذاری در لایه فیزیکی
10.....	مدولاسیون گسترده طیف مستقیم - DSSS
11.....	مدولاسیون چندگانه تقسیم فرکانسی متعامد - OFDM
11.....	فرآیند عملیاتی WLAN
11.....	مراحل عملیاتی شبکه‌های WLAN
11.....	اسکن
12.....	همگام‌سازی

12.....	احراز هویت
13.....	اتصال
13.....	تبادل داده
14.....	روش‌های کاهش خطا در انتقال داده‌ها
14.....	کدگذاری تصحیح خطا
14.....	استفاده از MCS (Modulation and Coding Scheme)

مقدمه

فناوری Wi-Fi یکی از پرکاربردترین روش‌های ارتباط بی‌سیم است که امکان تبادل داده و اتصال به اینترنت را بدون نیاز به کابل‌کشی فراهم می‌کند. این فناوری بر اساس مجموعه استانداردهای IEEE 802.11 توسعه یافته و در باندهای فرکانسی 2.4 گیگاهرتز، 5 گیگاهرتز و اخیراً 6 گیگاهرتز فعالیت می‌کند.

Wi-Fi به دلیل نصب آسان، هزینه پایین و انعطاف‌پذیری بالا، به انتخاب اصلی برای شبکه‌های محلی بی‌سیم (WLAN) در محیط‌های خانگی، اداری، صنعتی و عمومی تبدیل شده است. با پیشرفت‌های صورت‌گرفته در استانداردهای مختلف 802.11، سرعت انتقال داده، پایداری اتصال و امنیت ارتباطات بی‌سیم بهبود یافته است.

علاوه بر این، یکی از چالش‌های مهم در توسعه Wi-Fi، همزیستی و سازگاری بین نسل‌های مختلف دستگاه‌ها در یک شبکه مشترک است. این چالش، مدیریت طیف فرکانسی، جلوگیری از تداخل و بهینه‌سازی عملکرد شبکه را ضروری می‌سازد. در این مستند، جنبه‌های مختلف استاندارد IEEE 802.11، از جمله معماری، پروتکل‌ها، مزایا، محدودیت‌ها و آینده این فناوری بررسی خواهد شد.

استاندارد و فرمت‌های IEEE 802.11

IEEE 802 به مجموعه‌ای از استانداردهای IEEE اطلاق می‌شود که به شبکه‌های محلی (LAN) و شبکه‌های منطقه‌ای شهری (MAN) مربوط است. خانواده استانداردهای IEEE 802 توسط کمیته استانداردهای LAN/MAN IEEE 802 نگهداری می‌شود. هر گروه کاری به‌طور خاص روی یک حوزه خاص تمرکز دارد.

استانداردهای IEEE 802	
802.1	Bridging & Management
802.2	Logical Link Control
802.3	Ethernet - CSMA/CD Access Method
802.4	Token Passing Bus Access Method
802.5	Token Ring Access Method

802.6	Distributed Queue Dual Bus Access Method
802.7	Broadband LAN
802.8	Fiber Optic
802.9	Integrated Services LAN
802.10	Security
802.11	Wireless LAN
802.12	Demand Priority Access
802.14	Medium Access Control
802.15	Wireless Personal Area Networks
802.16	Broadband Wireless Metro Area Networks
802.17	Resilient Packet Ring

IEEE 802.11 مجموعه‌ای از مشخصات کنترل دسترسی به رسانه (MAC) و لایه فیزیکی (PHY) برای پیاده‌سازی ارتباطات شبکه محلی بی‌سیم (WLAN) است. خانواده 802.11 شامل مجموعه‌ای از تکنیک‌های مدولاسیون بی‌سیم است که از پروتکل پایه یکسانی استفاده می‌کنند. این استانداردها مبنای محصولات شبکه بی‌سیم تحت برند Wi-Fi را فراهم می‌کنند. بخش طیف فرکانس رادیویی که توسط 802.11 استفاده می‌شود، بسته به کشورها متفاوت است.

IEEE 802.11 PHY Standards						
Release Date	Standard	Frequency Band	Bandwidth	Modulation	Advanced Antenna Technologies	Maximum Data Rate
1997	802.11	GHz 2.4	MHz 20	DSSS, FHSS	N/A	Mbits/s 2
1999	802.11b	GHz 2.4	MHz 20	DSSS	N/A	11 Mbits/s
1999	802.11a	GHz 5	MHz 20	OFDM	N/A	54 Mbits/s

2003	802.11g	20 MHz	2.4 GHz	DSSS, OFDM	N/A	542 Mbits/s
2009	802.11n	2.4 GHz, 5	20 MHz, 40 MHz	OFDM	MIMO, up to 4 spatial streams	600 Mbits/s
2013	802.11ac	5 GHz	40 MHz, 80 MHz, 160 MHz	OFDM	MIMO, MU-MIMO, up to 8 spatial streams	6.93 Gbits/s

بررسی استانداردهای کلیدی

استاندارد IEEE 802.11 (سال 1997)

اولین نسخه از این استاندارد در سال 1997 منتشر شد و از باند فرکانسی 2.4 گیگاهرتز برای انتقال داده استفاده می‌کرد. این استاندارد دارای حداکثر سرعت 1 تا 2 مگابیت بر ثانیه بود که برای کاربردهای اولیه شبکه‌های بی‌سیم مناسب اما بسیار محدود بود.

استاندارد IEEE 802.11b (سال 1999)

802.11b نخستین نسخه پرکاربرد این استاندارد محسوب می‌شود که حداکثر سرعت 11 مگابیت بر ثانیه را ارائه می‌داد. استفاده از باند 2.4 گیگاهرتز باعث افزایش برد و کاهش هزینه شد، اما به دلیل استفاده گسترده از این باند، مشکلاتی مانند تداخل فرکانسی با دستگاه‌هایی مانند تلفن‌های بی‌سیم و مایکروویو داشت.

استاندارد IEEE 802.11a (سال 1999)

802.11a نخستین نسخه‌ای بود که در باند 5 گیگاهرتز فعالیت می‌کرد. استفاده از مدولاسیون OFDM سرعت انتقال داده را به 54 مگابیت بر ثانیه افزایش داد. با این حال، به دلیل هزینه بالاتر تجهیزات و برد کمتر در مقایسه با 802.11b، استقبال کمتری از آن شد.

استاندارد IEEE 802.11g (سال 2003)

802.11g ترکیبی از ویژگی‌های 802.11a و 802.11b بود که امکان دستیابی به حداکثر سرعت 54 مگابیت بر ثانیه را در باند 2.4 گیگاهرتز فراهم کرد. این استاندارد با دستگاه‌های قدیمی‌تر سازگار بود، اما همچنان مشکل تداخل فرکانسی در باند 2.4 گیگاهرتز را داشت.

استاندارد IEEE 802.11n (سال 2009)

802.11n یک تحول بزرگ در شبکه‌های بی‌سیم محسوب می‌شود. این استاندارد از فناوری MIMO (چند آنتن برای ارسال و دریافت همزمان داده‌ها) بهره می‌برد که باعث افزایش بهره‌وری و کاهش اختلالات شد. همچنین، استفاده از کانال‌های 40 مگاهرتزی باعث افزایش سرعت انتقال داده تا 600 مگابیت بر ثانیه شد.

استاندارد IEEE 802.11ac (سال 2014)

802.11ac که به عنوان Wi-Fi 5 نیز شناخته می‌شود، تنها از باند 5 گیگاهرتز استفاده می‌کند و دارای ویژگی‌هایی مانند MU-MIMO (ارسال همزمان داده به چندین دستگاه) و کانال‌های 160 مگاهرتزی است. این استاندارد امکان انتقال داده با حداکثر سرعت 6.9 گیگابیت بر ثانیه را فراهم می‌کند.

استاندارد IEEE 802.11ax (سال 2019)

802.11ax، که تحت عنوان Wi-Fi 6 و Wi-Fi 6E شناخته می‌شود، برای افزایش بهره‌وری شبکه‌های پرتراکم طراحی شده است. این استاندارد از باندهای 2.4، 5 و 6 گیگاهرتز پشتیبانی می‌کند و با بهره‌گیری از OFDMA و BSS Coloring، تأخیر را کاهش داده و عملکرد شبکه را در محیط‌های پرتراکم بهبود می‌بخشد. حداکثر سرعت این استاندارد 9.6 گیگابیت بر ثانیه است.

استاندارد IEEE 802.11be (سال 2024، در حال تصویب)

802.11be که به عنوان Wi-Fi 7 شناخته می‌شود، استانداری است که با افزایش پهنای باند کانال‌ها به 320 مگاهرتز و پشتیبانی از فناوری‌های پیشرفته مانند Multi-Link Operation - MLO و پخش بسته‌های همزمان در چندین باند فرکانسی، سرعت انتقال داده را به 46 گیگابیت بر ثانیه افزایش می‌دهد. این استاندارد به طور خاص برای کاربردهایی مانند استریم ویدئوی 8K، بازی‌های ابری و واقعیت مجازی طراحی شده است.

ساختار قالب لایه‌ی فیزیکی

مدل OSI (Open Systems Interconnection) یک چارچوب استاندارد برای درک نحوه انتقال داده‌ها در شبکه‌های کامپیوتری است. این مدل شامل هفت لایه است که هر یک نقش خاصی در ارتباطات شبکه ایفا می‌کنند. در شبکه‌های بی‌سیم، استانداردهای 802.11 که مربوط به Wi-Fi هستند، عمدتاً بر روی لایه لینک داده (Data Link Layer) و لایه فیزیکی (Physical Layer) تأثیر دارند.

لایه‌های مرتبط در استاندارد 802.11

1. لایه لینک داده (MAC - Medium Access Control Layer)

لایه MAC در مدل OSI وظیفه کنترل دسترسی به رسانه را بر عهده دارد و شامل موارد زیر است:

- پروتکل‌های انتقال داده که مشخص می‌کنند چگونه دستگاه‌ها در یک شبکه بی‌سیم ارتباط برقرار می‌کنند.
- تشخیص خطا برای بررسی صحت داده‌های ارسال‌شده و دریافت‌شده.
- مدیریت ترافیک برای جلوگیری از ازدحام در شبکه و کنترل ارسال داده‌ها.
- مدیریت امنیت و جابجایی (Roaming) که شامل روش‌های احراز هویت و تغییر نقطه دسترسی (AP) در هنگام حرکت دستگاه‌ها می‌شود.

2. لایه فیزیکی (Physical Layer - PHY)

این لایه ویژگی‌های فیزیکی و الکتریکی رسانه بی‌سیم را تعیین می‌کند و شامل سه زیرلایه اصلی است:

- PLCP (Physical Layer Convergence Procedure):
 - مسئول تشکیل بسته‌های داده و آماده‌سازی آن‌ها برای ارسال در شبکه.
 - انجام فرآیند ارزیابی کانال (Clear Channel Assessment - CCA) برای بررسی امکان ارسال داده‌ها.
- PMD (Physical Medium Dependent):
 - مشخص‌کننده تکنیک‌های مدولاسیون (Modulation) که برای تبدیل داده‌ها به سیگنال‌های رادیویی استفاده می‌شود.
 - تعیین روش‌های کدگذاری (Coding) برای بهبود دقت انتقال داده‌ها.

- مدیریت PHY:
- شامل تنظیم کانال‌های فرکانسی و سایر جنبه‌های مدیریتی مانند قدرت سیگنال و بهینه‌سازی کیفیت ارتباط.

باند‌های فرکانسی و کانال‌ها در Wi-Fi

استاندارد 802.11 از دو باند اصلی فرکانسی برای ارتباطات بی‌سیم استفاده می‌کند:

1. باند 2.4 گیگاهرتز (ISM - Industrial, Scientific, and Medical)
 - این باند برای استانداردهای 802.11b/g/n استفاده می‌شود.
 - شامل 14 کانال است که هرکدام پهنای باند 5 MHz دارند.
 - به دلیل همپوشانی کانال‌ها، تداخل سیگنالی در این باند رایج است.
 - معمولاً کانال‌های 1، 6 و 11 در 802.11b به عنوان "غیر همپوشان" شناخته می‌شوند، اما به دلیل گسترش انرژی RF، همچنان مقداری تداخل ممکن است رخ دهد.
2. باند 5 گیگاهرتز (UNII - Unlicensed National Information Infrastructure)
 - این باند برای استانداردهای 802.11a/n/ac استفاده می‌شود.
 - دارای کانال‌های بیشتر و تداخل کمتر نسبت به باند 2.4 GHz است.
 - برخی از کانال‌های این باند دارای محدودیت‌های نظارتی هستند که ممکن است بر استفاده آن‌ها در برخی کشورها تأثیر بگذارد.

فرمت‌های مازولاسیون لایه فیزیکی

لایه فیزیکی در استاندارد 802.11 از بسته‌های داده (Packets) یا انتقال‌های انفجاری (Burst Transmissions) برای ارسال اطلاعات استفاده می‌کند. هر بسته شامل سه بخش اصلی است:

- پیش‌علامت (Preamble): این بخش برای کمک به گیرنده در همزمان‌سازی زمان و فرکانس و تخمین ویژگی‌های کانال استفاده می‌شود.
- هدر (Header): شامل اطلاعاتی مانند قالب بسته و نرخ داده‌ها است که گیرنده برای پردازش فریم از آن استفاده می‌کند.

- داده بار (Payload): شامل اطلاعات واقعی است که توسط کاربر ارسال می‌شود. این ساختار به گیرنده اجازه می‌دهد که بتواند داده‌های دریافتی را به درستی پردازش کرده و از وجود خطا در انتقال جلوگیری کند.

انواع فریم‌ها در استاندارد 802.11

استاندارد 802.11 شامل سه نوع اصلی از فریم‌ها است:

فریم‌های مدیریت (Management Frames)

این فریم‌ها برای مدیریت ارتباطات بی‌سیم بین دستگاه‌های متصل به شبکه استفاده می‌شوند. برخی از مهم‌ترین فریم‌های مدیریت عبارتند از:

- فریم تأیید هویت (Authentication Frame): برای احراز هویت و تعیین اینکه یک دستگاه می‌تواند به شبکه متصل شود یا خیر.
- فریم درخواست اتصال (Association Request Frame): برای اتصال یک دستگاه جدید به نقطه دسترسی (Access Point - AP).
- فریم اشاره‌گر (Beacon Frame): توسط نقاط دسترسی ارسال می‌شود تا اطلاعات مربوط به شبکه (SSID، نرخ داده‌های پشتیبانی‌شده و غیره) را در اختیار دستگاه‌های دیگر قرار دهد.
- فریم پایان ارتباط (Deauthentication Frame): برای قطع دسترسی یک دستگاه از شبکه مورد استفاده قرار می‌گیرد.

فریم‌های کنترل (Control Frames)

این فریم‌ها برای مدیریت ارسال داده‌ها در شبکه استفاده می‌شوند و به کاهش برخورد (Collision) بین فریم‌های مختلف کمک می‌کنند. برخی از فریم‌های مهم در این دسته عبارتند از:

- فریم تأیید دریافت (ACK - Acknowledgment Frame): برای تأیید دریافت موفقیت‌آمیز داده‌ها توسط گیرنده استفاده می‌شود.
- فریم درخواست ارسال (RTS - Request to Send): برای رزرو کانال قبل از ارسال داده در شبکه‌های شلوغ.
- فریم اجازه ارسال (CTS - Clear to Send): توسط گیرنده ارسال می‌شود تا تأیید کند که کانال برای ارسال داده آماده است.

این فریم‌ها به بهینه‌سازی مصرف پهنای باند و جلوگیری از تداخل کمک می‌کنند.

فریم‌های داده (Data Frames)

فریم‌های داده شامل اطلاعات واقعی کاربران هستند که از طریق شبکه ارسال می‌شوند. این فریم‌ها می‌توانند در دو حالت زیر استفاده شوند:

- حالت مبتنی بر رقابت (Contention-Based Services): در این روش، ایستگاه‌ها باید برای ارسال داده‌ها در شبکه رقابت کنند.
- حالت بدون رقابت (Contention-Free Services): در این روش، یک نقطه کنترل مرکزی تخصیص منابع را مدیریت می‌کند تا از برخورد داده‌ها جلوگیری شود.

فریم‌های داده را می‌توان از فریم‌های مدیریت که برای برقراری ارتباطات استفاده می‌شوند، متمایز کرد.

تکنیک‌های مدولاسیون و نرخ‌های کدگذاری در لایه فیزیکی (PHY)

لایه فیزیکی در استاندارد 802.11 از تکنیک‌های مدولاسیون مختلف برای ارسال داده‌ها استفاده می‌کند. این روش‌ها تعیین می‌کنند که داده‌ها چگونه به امواج الکترومغناطیسی تبدیل شده و از طریق هوا ارسال شوند. دو تکنیک اصلی مورد استفاده عبارتند از:

مدولاسیون گسترده طیف مستقیم (DSSS - Direct Sequence Spread Spectrum)

- در استانداردهای اولیه 802.11 و 802.11b از این روش استفاده می‌شد.
- در این تکنیک، سیگنال داده با یک سیگنال نویز که شامل یک دنباله از اعداد تصادفی است، ضرب می‌شود.
- این فرآیند باعث گسترش طیف سیگنال اصلی می‌شود، که به کاهش تداخل و افزایش پایداری سیگنال در محیط‌های شلوغ کمک می‌کند.
- گیرنده با استفاده از همان دنباله تصادفی می‌تواند داده‌های اصلی را بازیابی کند.
- این روش در باند 2.4 GHz مورد استفاده قرار می‌گیرد و به دلیل ویژگی‌های آن، در برابر تداخل‌های محیطی مقاوم است.

مدولاسیون چندگانه تقسیم فرکانسی متعامد (OFDM - Orthogonal Frequency Division Multiplexing)

- OFDM یک تکنیک مدولاسیون است که در استانداردهای جدیدتر 802.11a، 802.11g، 802.11n و 802.11ac استفاده می‌شود.
- در این روش، داده‌ها به چندین زیرکانال فرکانسی تقسیم می‌شوند که در باندهای مختلف به صورت موازی ارسال می‌شوند.
- این تکنیک برای کاهش اثرات تداخل و بازتاب‌های چند مسیری طراحی شده است.
- در این روش، هر زیرکانال با نرخ انتقال پایین‌تر کار می‌کند تا مشکلاتی مانند تداخل بین نمادها (Inter-Symbol Interference - ISI) کاهش یابد.
- از ویژگی‌های کلیدی این روش می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:
 - افزایش کارایی طیفی، زیرا چندین سیگنال می‌توانند به‌طور همزمان در فرکانس‌های مختلف ارسال شوند.
 - استفاده از فاصله محافظ (Guard Interval) برای مقابله با تداخل سیگنال‌ها.
 - کاهش اثرات نویز و بهبود عملکرد شبکه‌های بی‌سیم در محیط‌های پر از موانع.

فرآیند عملیاتی WLAN

شبکه‌های محلی بی‌سیم (WLAN) برای برقراری ارتباط بین دستگاه‌های مختلف، مجموعه‌ای از مراحل عملیاتی را طی می‌کنند. این فرایند شامل اسکن، همگام‌سازی، احراز هویت، اتصال و تبادل داده است. همچنین، برای افزایش پایداری ارتباط، از روش‌های کدگذاری خطا استفاده می‌شود.

مراحل عملیاتی شبکه‌های WLAN

اسکن (Scanning)

در این مرحله، دستگاه کلاینت (مانند لپ‌تاپ یا تلفن همراه) شبکه‌های بی‌سیم موجود را شناسایی می‌کند. دو روش برای اسکن وجود دارد:

- اسکن غیرفعال (Passive Scanning)
 - در این روش، دستگاه کلاینت منتظر دریافت سیگنال‌های بیکن (Beacon Frames) از نقاط دسترسی (APs) می‌ماند.
 - Beacon Frame شامل اطلاعات مربوط به AP مانند SSID، نرخ‌های داده پشتیبانی‌شده و زمان‌بندی است.
 - این روش کم‌مصرف‌تر است اما شناسایی شبکه ممکن است زمان بیشتری طول بکشد.

- اسکن فعال (Active Scanning)
 - در این روش، دستگاه کلاینت یک درخواست پروب (Probe Request Frame) ارسال کرده و منتظر پاسخ پروب (Probe Response Frame) از AP می‌ماند.
 - این روش سریع‌تر از اسکن غیرفعال است اما به دلیل ارسال فریم‌های اضافی، مصرف باتری بیشتری دارد.

همگام‌سازی (Synchronization)

- نقطه دسترسی (AP) در بازه‌های زمانی مشخص (معمولاً هر 100 میلی‌ثانیه) یک Beacon Frame ارسال می‌کند.
- این بازه زمانی (Target Beacon Transmission Time) TBTT نامیده می‌شود.
- Beacon Frame اطلاعات زیر را شامل می‌شود:
 - SSID (Service Set Identifier): نام شبکه
 - نرخ‌های داده پشتیبانی‌شده
 - زمان‌سنج (Timestamp) برای همگام‌سازی

هدف از همگام‌سازی این است که دستگاه‌های کلاینت بتوانند زمان‌بندی خود را با AP تنظیم کنند و بهترین شبکه موجود را انتخاب نمایند.

احراز هویت (Authentication)

احراز هویت فرایندی است که طی آن دستگاه کلاینت مجوز ورود به شبکه را دریافت می‌کند. دو نوع روش احراز هویت وجود دارد:

- احراز هویت باز (Open System Authentication)

- در این روش، دستگاه کلاینت یک درخواست احراز هویت ساده ارسال می‌کند و AP بدون بررسی امنیتی آن را تأیید می‌کند.
- این روش برای شبکه‌های عمومی و بدون رمز عبور (مانند Wi-Fi رایگان) استفاده می‌شود.
- احراز هویت امن با استفاده از پروتکل 802.1X
 - در این روش، یک مکانیزم امنیتی قوی برای تأیید هویت دستگاه‌ها به کار می‌رود.
 - این روش از سه جزء اصلی تشکیل شده است:
 - نقطه دسترسی (AP) که به عنوان واسطه بین دستگاه کلاینت و سرور احراز هویت عمل می‌کند.
 - دستگاه کلاینت (STA - Station) که می‌خواهد به شبکه متصل شود.
 - سرور احراز هویت (Authentication Server) که اعتبار دستگاه را بررسی می‌کند.
 - اگر اعتبار کلاینت تأیید شود، دسترسی به شبکه داده می‌شود.

اتصال (Association)

پس از احراز هویت، دستگاه کلاینت یک درخواست اتصال (Association Request Frame) ارسال می‌کند. AP این درخواست را بررسی کرده و در صورت موفقیت، یک پاسخ اتصال (Association Response Frame) ارسال می‌کند.

در این مرحله، AP یک شناسه اتصال (Association ID - AID) به دستگاه اختصاص می‌دهد و آن را به پایگاه داده خود اضافه می‌کند.

تبادل داده (Data Exchange)

پس از اتصال، کلاینت می‌تواند شروع به ارسال و دریافت داده کند.

هر بسته داده نیاز به تأیید دریافت (Acknowledgment - ACK) دارد.

AP داده‌های دریافت‌شده را به مقصد هدایت می‌کند، چه آن مقصد در همان شبکه بی‌سیم باشد، چه در یک شبکه سیمی.

روش‌های کاهش خطا در انتقال داده‌ها

کدگذاری تصحیح خطا (Forward Error Correction - FEC)

- برای جلوگیری از ارسال مجدد داده‌ها و کاهش خطاهای انتقال، از تکنیک کدگذاری تصحیح خطا (FEC) استفاده می‌شود.
- در این روش، فرستنده اطلاعات اضافی را در بسته‌های داده قرار می‌دهد تا گیرنده بتواند بدون نیاز به درخواست ارسال مجدد، خطاهای احتمالی را تصحیح کند.
- مزایای FEC شامل کاهش تأخیر در شبکه، زیرا نیازی به ارسال مجدد داده‌های خراب نیست، و افزایش قابلیت اطمینان ارتباطات بی‌سیم، به‌ویژه در محیط‌های پرنویز است.

استفاده از MCS (Modulation and Coding Scheme)

- MCS (طرح مدولاسیون و کدگذاری) یک روش پویا برای تنظیم پارامترهای مدولاسیون و کدگذاری بر اساس شرایط شبکه است.
- این روش با در نظر گرفتن عواملی مانند کیفیت سیگنال، نرخ خطای بیت (BER) و فاصله بین کلاینت و AP، نرخ داده را بهینه‌سازی می‌کند.
- ویژگی‌های MCS عبارتند از:
 - اگر کیفیت سیگنال بالا باشد، از مدولاسیون پیچیده‌تر و نرخ داده بالاتر استفاده می‌شود.
 - اگر کیفیت سیگنال پایین باشد، نرخ داده کاهش می‌یابد تا احتمال بروز خطا کمتر شود.