# PHÁT TRIỂN GIẢI PHÁP TỐI ƯU HÓA TÀI NGUYÊN MẠNG CHO WIFI 6G SỬ DỤNG AI

Dàn ý dự kiến trình bày

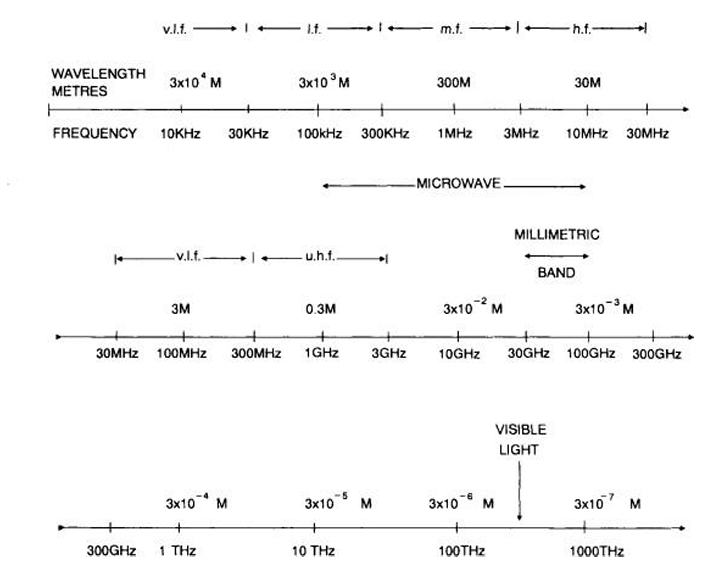
# CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN VỀ ĐỀ TÀI

## 1.1 Công nghệ không dây

### 1.1.1 Nguyên lý Hoạt động của Công nghệ Không Dây

Mạng không dây hoạt động dựa trên công nghệ tần số vô tuyến (RF). Sóng điện từ được tạo ra khi tần số vô tuyến được truyền đến ăng-ten, giúp tín hiệu có thể di chuyển qua không gian. Tần số vô tuyến được đo bằng hertz (Hz), thể hiện tốc độ dao động của sóng điện từ, với dải tần số có thể dao động từ 9 kHz đến 300 GHz.

Mối quan hệ giữa tần số và bước sóng được xác định theo công thức, trong đó λ đại diện cho bước sóng và f là tần số. Vì sóng vô tuyến truyền với tốc độ của ánh sáng trong không gian tự do, công thức này phản ánh giá trị vận tốc ánh sáng.



Hình: Minh họa dải tần số vô tuyến

Phương trình biểu thị mối quan hệ giữa tần số và bước sóng được viết là λ × f = 3 × 10⁸, trong đó λ là bước sóng (đơn vị là mét) và f là tần số (đơn vị là hertz, tức số chu kỳ mỗi giây). Phương trình này thể hiện vận tốc ánh sáng trong không gian tự do, với giá trị xấp xỉ 300.000 kilômét mỗi giây (hay 3 × 10⁸ mét mỗi giây). Đây là một hằng số áp dụng cho mọi loại sóng điện từ, bao gồm sóng radio, khi truyền qua không gian không có vật cản. Điều thú vị ở đây là bước sóng và tần số có mối quan hệ nghịch đảo: khi bước sóng tăng lên thì tần số giảm xuống, và ngược lại. Nguyên lý này rất quan trọng trong việc giải thích cách hoạt động của sóng điện từ và được ứng dụng rộng rãi trong các lĩnh vực như viễn thông, phát thanh, hoặc mạng không dây.

Tần số radio (RF) đóng vai trò quan trọng trong việc truyền năng lượng từ thiết bị gửi đến thiết bị nhận, hoặc đôi khi là một thiết bị thu phát (transceiver)—một thiết bị có khả năng vừa gửi vừa nhận tín hiệu. Trong công nghệ không dây ngày nay, các Điểm Truy cập (Access Points - APs) hoạt động như những thiết bị thu phát. Chúng là thành phần không thể thiếu trong mạng Wi-Fi, giúp kết nối các thiết bị không dây như điện thoại thông minh, máy tính xách tay với mạng có dây. APs thực hiện nhiều chức năng: chúng nhận dữ liệu từ người dùng, lưu tạm thời (gọi là đệm) để điều phối luồng dữ liệu, sau đó phân phối lại đến các thiết bị khác trong mạng. Một AP đơn lẻ thường hoạt động hiệu quả trong phạm vi từ vài mét đến khoảng 100 mét, tùy thuộc vào cường độ tín hiệu, sự nhiễu sóng, và các yếu tố môi trường như tường hoặc đồ vật cản trở. Ngoài ra, mỗi AP chỉ hỗ trợ một số lượng người dùng nhất định, thường từ 20 đến 50 thiết bị, tùy thuộc vào thiết kế và nhu cầu sử dụng của mạng. Việc hiểu rõ chức năng cũng như giới hạn của APs rất cần thiết khi thiết kế mạng không dây hiệu quả, đặc biệt ở những nơi như trường học, văn phòng, hay nhà ở, nơi mà kết nối ổn định là yếu tố quan trọng.

### 1.1.2 Lịch sử của công nghệ không dây

Công nghệ không dây đã xuất hiện trên thế giới từ hơn hai thế kỷ trước, bắt đầu từ khi hệ thống điện báo không dây đầu tiên được Guglielmo Marconi phát triển vào năm 1896. Đây là một bước ngoặt quan trọng, đánh dấu sự ra đời của việc truyền tín hiệu mà không cần dây dẫn. Đến năm 1927, công nghệ không dây thương mại đầu tiên được đưa vào hoạt động dưới dạng điện thoại vô tuyến, kết nối giữa Vương quốc Anh và Hoa Kỳ. Đây là lần đầu tiên con người có thể liên lạc qua khoảng cách xa mà không cần dây cáp vật lý, mở ra một kỷ nguyên mới cho viễn thông. Hai năm 1946 và 1947 là những cột mốc đáng chú ý trong lịch sử công nghệ không dây. Vào năm 1946, dịch vụ điện thoại thương mại đầu tiên được giới thiệu tại Mỹ bởi các công ty AT&T và Southwestern Bell, nhắm đến khách hàng cá nhân. Đến năm 1947, bóng bán dẫn (transistor) được phát minh, thay thế cho các ống chân không cồng kềnh trước đó. Bóng bán dẫn nhỏ gọn và hiệu quả hơn, giúp cải thiện đáng kể chất lượng và kích thước của các thiết bị liên lạc.

Trong những năm 1950, hệ thống viễn thông vi sóng mặt đất đầu tiên được lắp đặt để hỗ trợ các mạch điện thoại. Đây là công nghệ sử dụng sóng vi ba để truyền tín hiệu qua các trạm trên mặt đất, rất hữu ích trong việc kết nối các khu vực xa xôi. Cuối thập niên 1950, hệ thống nhắn tin PACE đầu tiên ra đời, cho phép gửi các thông báo ngắn đến người dùng. Cùng thời điểm, các bộ đàm “ấn để nói” (push-to-talk) được giới thiệu, chủ yếu phục vụ cảnh sát và tài xế taxi, mang lại sự tiện lợi trong liên lạc tức thời. Sang thập niên 1960, hệ thống điện thoại di động cho phép người dùng cuối giao tiếp đồng thời được phát triển, đánh dấu bước tiến lớn so với các hệ thống trước đó chỉ hỗ trợ liên lạc một chiều. Năm 1962, vệ tinh truyền thông đầu tiên, Telstar, được phóng lên quỹ đạo Trái Đất, mở ra khả năng liên lạc toàn cầu qua không gian. Trong thập niên này, một số vệ tinh khác cũng được phóng, củng cố nền tảng cho viễn thông vệ tinh hiện đại. Năm 1968, ARPANET—tiền thân của internet ngày nay—được DARPA (Cơ quan Quản lý Dự án Nghiên cứu Tiên tiến Quốc phòng Mỹ) phát triển, đặt nền móng cho mạng máy tính toàn cầu. Cuối những năm 1970, mạng di động tự động thương mại đầu tiên (thế hệ 1G) được Nippon Telegraph and Telephone triển khai tại Tokyo, Nhật Bản, mang đến khái niệm điện thoại di động thực sự cho công chúng.

Trong thập niên 1980, giao thức TCP/IP được giới thiệu và trở thành chuẩn chính thức cho ARPANET. Đây là nền tảng quan trọng cho hoạt động của internet hiện đại, đảm bảo dữ liệu được truyền đi một cách đáng tin cậy giữa các máy tính. Đến thập niên 1990, các công ty công nghệ hàng đầu như Ericsson, IBM, Intel, Nokia và Toshiba công bố hợp tác phát triển công nghệ Bluetooth, một giải pháp không dây tầm ngắn dùng để kết nối các thiết bị như tai nghe, loa, hoặc điện thoại. Năm 1997, ủy ban 802.11 được thành lập, và mạng Wi-Fi chính thức ra mắt dành cho người tiêu dùng. Wi-Fi được xây dựng dựa trên các tiêu chuẩn IEEE 802.11, tạo ra mạng không dây cục bộ (WLAN) tiện lợi cho gia đình và văn phòng. Đến năm 2000, các mạng dựa trên tiêu chuẩn 802.11 trở nên phổ biến rộng rãi nhờ tốc độ và sự tiện ích. Tuy nhiên, nhu cầu ngày càng tăng cũng đặt ra thách thức về bảo mật, vì giao thức bảo mật ban đầu WEP (Wired Equivalent Privacy) không còn đủ an toàn trước các nguy cơ tấn công mạng. Điều này thúc đẩy sự phát triển của các tiêu chuẩn bảo mật mới như WPA và WPA2, được sử dụng rộng rãi ngày nay.

## 1.2 Phương pháp truyền thống trong việc quản lý tài nguyên mạng

Trước khi AI phổ biến, đã có nhiều phương pháp truyền thống hiệu quả để quản lý tài nguyên và tối ưu hiệu năng mạng Wi-Fi. **Điều khiển truy cập kênh** tiêu biểu là cơ chế DCF/EDCA (CSMA/CA) với chiến lược b ACKOFF nhị phân, tuy đơn giản nhưng đảm bảo chia sẻ kênh công bằng. Các thuật toán lập lịch (**scheduling**) cổ điển thường được áp dụng trong Wi-Fi 6 (802.11ax) để phân bổ tài nguyên OFDMA: ví dụ **Round Robin, Ưu tiên tỷ lệ tối đa (Max-Rate)** hay **Công bằng theo tỷ lệ (Proportional Fair)** – tương tự như trong mạng di động – nhằm cân bằng giữa thông lượng và công bằng.

Những thuật toán này cho phép **phối hợp nhiều người dùng đồng thời** trên các đơn vị tài nguyên (RU) của Wi-Fi 6 một cách hiệu quả. Ngoài ra, các phương pháp tối ưu cổ điển dựa trên mô hình toán học cũng được nghiên cứu, như giải **bài toán tối ưu tuyến tính/sử dụng Lagrange** để gán kênh cho các điểm truy cập sao cho giảm thiểu giao thoa, hoặc dùng **thuật toán duyệt đồ thị (graph coloring)** để phân kênh trong mạng Wi-Fi dày đặc. Một số giải pháp heuristic khác gồm **điều chỉnh CW theo hàm cố định** (ví dụ: tăng giảm CW dựa trên ngưỡng va chạm) hay cơ chế **đa tầng dịch vụ QoS** trong 802.11e (ấn định ưu tiên và khoảng cách liên khung cho lưu lượng khác nhau). Mặc dù những phương pháp truyền thống này không có khả năng “học” từ dữ liệu, chúng thường có ưu điểm là **đơn giản, độ trễ thấp** và dễ triển khai phần cứng. Chẳng hạn, cơ chế **Proportional Fair** có thể nâng cao thông lượng tổng thể trong khi vẫn duy trì công bằng giữa các người dùng, và **thuật toán nước dâng (water-filling)** được áp dụng để phân bổ công suất trên các subcarrier OFDMA tối ưu băng thông. Tuy nhiên, khi môi trường mạng trở nên quá phức tạp (ví dụ hàng trăm tham số cấu hình, nhiều nút và nhiễu đồng kênh), các giải pháp **tối ưu cổ điển** bắt đầu bộc lộ hạn chế, khó tìm được cấu hình tối ưu do tính phi tuyến cao của hệ thống.

Điều này thúc đẩy việc áp dụng AI để vượt qua giới hạn của phương pháp truyền thống trong những kịch bản phức tạp

## 1.3 Phương pháp quản lý tài nguyên mạng sử dụng AI

Các mạng Wi-Fi thế hệ mới (Wi-Fi 6 – 802.11ax và hướng tới 6G) ngày càng phức tạp với nhiều tham số cấu hình đòi hỏi tối ưu đồng thời. Trong bối cảnh đó, trí tuệ nhân tạo – đặc biệt là **học máy (ML)** và **học sâu (DL)** – được áp dụng để quản lý tài nguyên mạng nhằm nâng cao thông lượng, giảm độ trễ. Nhiều nghiên cứu đã sử dụng **học tăng cường sâu (Deep RL)** để điều chỉnh tham số MAC như cửa sổ chờ (CW) hay kênh truyền. Chẳng hạn, thuật toán học tăng cường sâu được đề xuất để cấu hình **ghép kênh (channel bonding)** cho nhiều điểm truy cập Wi-Fi nhằm **tối thiểu hóa độ trễ** toàn mạng.

Kết quả cho thấy việc tự động thu hẹp băng thông kênh của AP tải thấp giúp giảm tranh chấp truy cập và cải thiện **độ trễ** mạng. Bên cạnh đó, các mô hình học máy giám sát cũng được áp dụng: một thuật toán cây quyết định đã được huấn luyện để điều chỉnh tham số CW trong Wi-Fi, đem lại **thông lượng tăng 153.9% và độ trễ giảm 64%** so với chuẩn 802.11ac.

Những cách tiếp cận dùng **học sâu phân tán** (như học liên kết – federated learning) hoặc **học chuyển giao** cũng bắt đầu xuất hiện nhằm tận dụng dữ liệu lớn phân tán của mạng Wi-Fi.

Nhìn chung, AI cho phép mạng **tự tối ưu** cấu hình (ví dụ: tự điều chỉnh CW, chọn kênh, điều khiển công suất phát) dựa trên quan sát môi trường để **tăng thông lượng, giảm thiểu va chạm và độ trễ.**

Xu hướng này còn mở rộng sang mạng 6G di động, nơi các thuật toán **ML tiên tiến** được triển khai để **dự đoán và ngăn ngừa tắc nghẽn** trước khi xảy ra, tối ưu **phân bổ động tài nguyên** theo thời gian thực và thậm chí hình thành mạng tự phục hồi (self-healing).

Các thử nghiệm hiện tại cho thấy việc tích hợp AI có thể **tăng 30% hiệu năng mạng** và **giảm đáng kể độ trễ**, mở ra một giai đoạn mạng thông minh tự thích ứng.

## 1.4 Nguyên nhân tài nguyên mạng Wifi 6G được phân bổ không hiệu quả

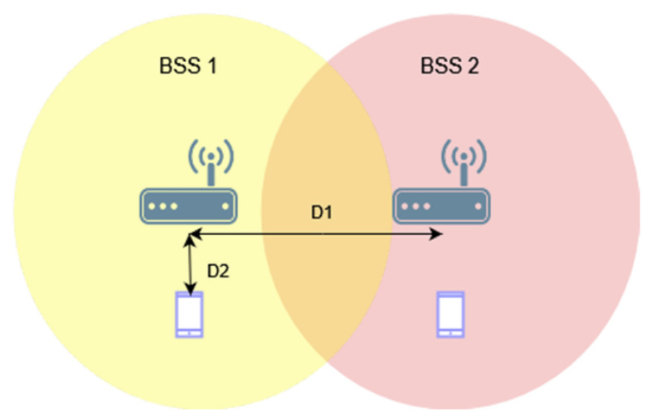
Tài nguyên mạng Wi-Fi 6 (tức thế hệ Wi-Fi 6, chuẩn IEEE 802.11ax) có thể bị phân bổ không hiệu quả do nhiều nguyên nhân. Ba nguyên nhân chính thường được nghiên cứu là **nhiễu sóng, tắc nghẽn mạng**, và **vấn đề phần mềm**.

### 1.4.1 Nhiễu sóng

Nhiễu sóng do **các thiết bị lân cận và môi trường** gây ra có thể làm giảm hiệu quả phân bổ kênh của Wi-Fi 6. Khi nhiều thiết bị phát cùng lúc trên cùng một kênh, tín hiệu sẽ chồng lấn và “xáo trộn” nhau, dẫn đến mất gói tin và phải truyền lại dữ liệu. Điều này làm **sụt giảm thông lượng nghiêm trọng** trong môi trường dày đặc thiết bị.

Một nghiên cứu chỉ ra rằng trong môi trường đông đúc, các gói tin va chạm và phải truyền lại liên tục có thể khiến thông lượng mạng **“sụp đổ”** nếu không có biện pháp chống nhiễu.

Ngoài ra, việc các router/AP tăng công suất phát để mở rộng vùng phủ sóng vô tình **làm tệ hơn nhiễu** – công suất cao gây nhiễu cả kênh lân cận (tín hiệu “rò” sang kênh bên cạnh), khiến **toàn bộ băng tần bị suy giảm dung lượng.** Nói cách khác, **nhiễu đồng kênh** giữa các mạng Wi-Fi gần nhau làm tài nguyên vô tuyến bị lãng phí vào các lần truyền lại và khoảng thời gian tránh sóng (backoff), giảm hiệu suất sử dụng kênh.



Hình: Hình minh họa: Hai mạng Wi-Fi chồng lấn (BSS1 và BSS2) trên cùng kênh tần số. Vùng phủ sóng giao nhau (màu vàng và hồng) gây nhiễu lẫn nhau – các gói tin đụng độ, buộc phải truyền lại. Thử nghiệm cho thấy khi hai mạng Wi-Fi trùng kênh như vậy, thông lượng (throughput) của mỗi mạng giảm gần một nửa so với trường hợp không giao thoa vùng phủ sóng

Wi-Fi 6 có bổ sung cơ chế **BSS Coloring** (tô màu BSS) nhằm phân biệt tín hiệu “ngoại mạng” để thiết bị có thể **bỏ qua** một số nhiễu từ mạng Wi-Fi lân cận. Cơ chế này giúp các mạng chồng lấn truyền song song hiệu quả hơn nếu tín hiệu nhiễu đủ yếu. Mô phỏng cho thấy trong mạng dày đặc, kích hoạt BSS Coloring có thể **tăng thông lượng đến 43%**​ .

Tuy nhiên, **thiết bị Wi-Fi đời cũ (legacy)** không hiểu BSS Coloring sẽ khiến cơ chế này bị vô hiệu – chúng vẫn coi tín hiệu khác màu là bận kênh, làm mạng Wi-Fi 6 phải quay lại chế độ tránh nhiễu thụ động. Thí nghiệm cho thấy sự hiện diện của thiết bị legacy **làm suy giảm hiệu quả** của BSS Coloring, kéo hiệu năng mạng hỗn hợp đi xuống

Nói cách khác, tín hiệu nhiễu từ các thiết bị không hỗ trợ kỹ thuật mới vẫn buộc mạng Wi-Fi 6 hoạt động kém hiệu quả hơn mong đợi.

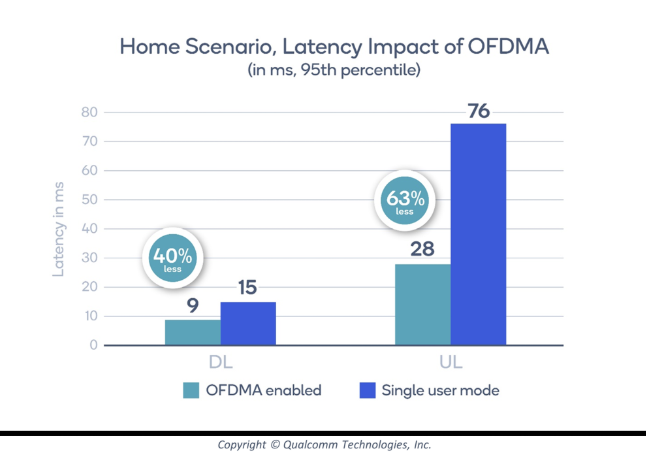
Bên cạnh nhiễu giữa các mạng Wi-Fi với nhau, **nhiễu xuyên công nghệ** cũng được quan tâm. Wi-Fi 6 thường hoạt động ở băng tần 5 GHz (và 6 GHz với Wi-Fi 6E), trùng với một số băng tần mà mạng 5G NR có thể sử dụng (ví dụ trong chế độ 5G unlicensed). Nghiên cứu về **sự đồng tồn tại của 5G và Wi-Fi 6** chỉ ra rằng nếu không có cơ chế điều phối, hai hệ thống sẽ cạnh tranh và gây nhiễu lẫn nhau, làm giảm thông lượng và tăng lỗi bit. Một nhóm nghiên cứu đã đề xuất cơ chế chia sẻ phổ dựa trên chu kỳ trực/tắt (duty cycle) để 5G và Wi-Fi 6 thay phiên sử dụng kênh. Kết quả mô phỏng cho thấy phương pháp này giúp **tăng 40% thông lượng và 14% dung lượng** hệ thống so với kịch bản không điều phối. Điều này nhấn mạnh rằng nhiễu xuyên mạng (ví dụ 5G phát gần Wi-Fi) có thể dẫn đến phân bổ tài nguyên Wi-Fi 6 không hiệu quả, và cần các giải pháp phối hợp tần số để giảm thiểu nhiễu.

Ngoài ra, **nhiễu từ môi trường** (các thiết bị phi Wi-Fi) cũng ảnh hưởng. Ví dụ, lò vi sóng, điện thoại không dây, Bluetooth… hoạt động trên 2.4 GHz có thể nâng mức nền nhiễu và làm giảm **SNR** của Wi-Fi. Ngược lại, băng 6 GHz mới của Wi-Fi 6E ít bị chiếm dụng nên **nhiễu nền thấp**, hiệu năng Wi-Fi cao hơn . Nhìn chung, nhiễu sóng – dù từ mạng Wi-Fi lân cận, từ thiết bị không dây khác, hay từ công nghệ khác – đều làm Wi-Fi 6 phân bổ kênh kém hiệu quả do phải **dành nhiều thời gian tránh sóng, xử lý va chạm và truyền lại gói tin** thay vì truyền dữ liệu hữu ích.

### 1.4.2 Tắc nghẽn mạng

Trong môi trường **nhiều người dùng, tải cao**, Wi-Fi 6 cũng có thể gặp tình trạng tắc nghẽn dẫn đến phân bổ tài nguyên không tối ưu. Dù Wi-Fi 6 được thiết kế cho **mạng dày đặc thiết bị**, khi số lượng thiết bị và lưu lượng tăng vượt khả năng điều phối, **độ trễ sẽ tăng và thông lượng trung bình mỗi thiết bị giảm**. Vấn đề cốt lõi là cơ chế truy cập cạnh tranh: các máy khách phải **tranh chấp kênh truyền. Càng nhiều trạm cạnh tranh, xác suất đụng độ gói càng cao, thông lượng càng giảm.**

Cisco dự báo lưu lượng và thiết bị không dây sẽ bùng nổ trong những năm tới, với các ứng dụng như thực tế ảo, video 4K/8K yêu cầu băng thông lớn và độ trễ thấp. Nếu nhiều thiết bị cùng hoạt động (như trong văn phòng, khu dân cư đông đúc hoặc thành phố thông minh), **mạng Wi-Fi có thể bị quá tải**: mỗi thiết bị phải xếp hàng chờ truyền, các gói tin xung đột rồi truyền lại, dẫn đến **độ trễ cao và thông lượng thực tế thấp.** Nguyên nhân là với nhiều thiết bị, các lần cảm biến sóng và hậu thoái (backoff) nối tiếp nhau, thậm chí gói tin va chạm phải gửi lại, kéo dài thời gian chờ. Ngược lại, khi bộ lập lịch Wi-Fi 6 sử dụng OFDMA để điều phối uplink, độ trễ tăng chậm hơn nhiều (chỉ cỡ vài ms thêm) trong cùng điều kiện tải. Điều này chứng tỏ **tắc nghẽn làm hiệu suất giảm mạnh nếu không có cơ chế thích ứng**, và Wi-Fi 6 đã cải thiện phần nào tình trạng này nhờ OFDMA phân chia tài nguyên



Hình: Ví dụ về lợi ích của OFDMA trong Wi-Fi 6 khi mạng tải cao: Biểu đồ độ trễ 95th percentile ở **nhà thông minh nhiều thiết bị** cho thấy bật OFDMA (cột xanh) giúp giảm độ trễ đáng kể so với chế độ Wi-Fi thông thường (cột xanh dương). Cụ thể, độ trễ xuống (DL) giảm ~40% (còn 9ms so với 15ms) và độ trễ lên (UL) giảm ~63% (còn 28ms so với 76ms) khi kích hoạt OFDMA

Tóm lại, tắc nghẽn mạng khiến **tài nguyên Wi-Fi 6 bị sử dụng kém hiệu quả** do thời gian kênh bị lãng phí cho việc điều phối truy cập và xử lý xung đột. Wi-Fi 6 đã đưa ra các công cụ (OFDMA, MU-MIMO, TWT…) để giảm thiểu tắc nghẽn, nhưng hiệu quả thực tế còn phụ thuộc vào **mức độ triển khai các tính năng này** trên thiết bị và cách chúng được **điều chỉnh bởi phần mềm quản lý.**

### 1.4.3 Lỗi phần mềm

Mặc dù chuẩn Wi-Fi 6 cung cấp nhiều cải tiến kỹ thuật, **vấn đề phần mềm và thuật toán** có thể cản trở việc phân bổ tài nguyên hiệu quả. Các lỗi trong firmware của router/AP hoặc chiến lược điều phối không tối ưu sẽ khiến mạng không đạt hiệu năng mong đợi. Những nghiên cứu và thử nghiệm sau đã nêu bật vài vấn đề phần mềm tiêu biểu:

**+** Thuật toán lập lịch chưa tối ưu: Hiệu suất Wi-Fi 6 phụ thuộc rất lớn vào cách AP phân bổ tài nguyên OFDMA và MU-MIMO cho các thiết bị. Nếu thuật toán lịch trình kém, các khung đa người dùng có thể không được tận dụng tối đa, gây lãng phí kênh. Thử nghiệm thực tế của Weller et al. cho thấy OFDMA downlink trên một hệ thống thử nghiệm không cải thiện đáng kể độ trễ so với Wi-Fi cũ khi thuật toán tại điểm truy cập chưa tốt. Nói cách khác, **Wi-Fi 6 chỉ phát huy hiệu quả khi trình quản lý lịch của AP được thiết kế và tinh chỉnh hợp lý**. Qualcomm cũng nhấn mạnh điều này: hiệu năng mạng Wi-Fi 6 phản ánh trực tiếp chất lượng bộ lập lịch – đây là **yếu tố quyết định hàng đầu** của thông lượng và độ trễ trong mạng Wi-Fi 6 hiện đại. Nếu phần mềm điều phối có lỗi (ví dụ tính toán sai phân bổ Resource Unit, ưu tiên kém hợp lý), tài nguyên kênh sẽ không được dùng hết hoặc bị cấp phát sai chỗ, dẫn đến hiệu suất thấp dù phần cứng và chuẩn giao thức cho phép cao hơn.

+ **Vấn đề tương thích và lỗi firmware:** Thực tế triển khai Wi-Fi 6 ban đầu cho thấy nhiều **router Wi-Fi 6 phải tạm thời tắt một số tính năng** do lỗi phần mềm hoặc để tương thích thiết bị cũ. Ví dụ, nhiều router Wi-Fi 6 đời đầu **không kích hoạt OFDMA** dù quảng cáo hỗ trợ – các hãng phải chờ cập nhật firmware để bật tính năng này. Trong một thử nghiệm, chỉ 4/20 mẫu router Wi-Fi 6 có OFDMA hoạt động đầy đủ cuối năm 2019; thậm chí sau khi đạt chứng nhận Wi-Fi 6, một số thiết bị vẫn **tắt OFDMA trên băng tần 2.4 GHz do “vấn đề tương thích với thiết bị legacy”** . Điều này nghĩa là **lỗi phần mềm/firmware** đã khiến các tính năng mới (OFDMA, MU-MIMO…) không được sử dụng, buộc mạng Wi-Fi 6 hoạt động theo chế độ cũ kém hiệu quả hơn. Ngoài ra, lỗi trong driver Wi-Fi (như trên card Intel AX201) cũng gây mất kết nối, thông lượng thấp không rõ lý do – những trường hợp này phản ánh **sự chưa hoàn thiện của phần mềm Wi-Fi 6** trong giai đoạn đầu. Các nhà nghiên cứu lưu ý rằng **việc tối ưu bộ điều khiển MAC và lịch trình cần tiếp tục cải tiến**; nếu không, **hiệu năng Wi-Fi 6 thực tế có thể thấp hơn nhiều so với lý thuyết** do các lỗi ẩn trong phần mềm quản lý mạng.

Nhìn chung, **lỗi phần mềm** – từ thuật toán phân bổ tài nguyên chưa tối ưu cho đến bug tương thích – đều có thể dẫn đến việc **phân bổ tài nguyên Wi-Fi 6G không hiệu quả**. Dù phần cứng và giao thức Wi-Fi 6 cho phép dung lượng và độ trễ tốt hơn, **yếu tố hiện thực hóa nằm ở lớp phần mềm điều khiển**. Các thử nghiệm thực tế nhấn mạnh cần **tinh chỉnh và cập nhật firmware liên tục** để khắc phục lỗi, cũng như áp dụng các thuật toán thông minh hơn nhằm tận dụng hết các cải tiến của Wi-Fi 6.

Chỉ khi phần mềm quản lý hoạt động đúng và hiệu quả, mạng Wi-Fi 6 mới phân bổ phổ tần, thời gian và công suất truyền một cách tối ưu, đạt hiệu suất cao như kỳ vọng.

## 1.5 Tối ưu hóa tài nguyên mạng dựa trên AI

**Quản Lý Băng Thông và Kênh Động (Wi-Fi)**

Mạng Wi-Fi thế hệ mới sử dụng AI/ML để **tinh chỉnh việc sử dụng tài nguyên vô tuyến liên tục**. Ví dụ, các điểm truy cập Wi-Fi 6 có thể sử dụng thuật toán ML để **chọn kênh tối ưu** và **điều chỉnh độ rộng kênh** dựa trên các mẫu nhiễu thu được theo thời gian.

Thay vì sử dụng kênh cố định, một điểm truy cập (AP) được hỗ trợ bởi AI sẽ **phân tích lịch sử sử dụng phổ tần, lưu lượng mạng theo thời gian trong ngày và khả năng thiết bị** để chọn kênh có mức độ xung đột thấp nhất.

AI cũng có thể hỗ trợ trong việc thiết lập tham số **cửa sổ tranh chấp (CW)** một cách động. Trước đây, Wi-Fi điều chỉnh CW dựa trên quy tắc đơn giản khi xảy ra xung đột. Với AI, AP có thể **học cách xác định kích thước CW tối ưu** theo số lượng người dùng đang hoạt động và tải lưu lượng, giúp giảm va chạm và độ trễ.

Một tính năng quan trọng khác của Wi-Fi 6 là **lập lịch đa người dùng (MU-MIMO và OFDMA)**. Các thuật toán AI được sử dụng để quyết định nhóm người dùng nào nên được xếp chung với nhau và cách phân bổ tài nguyên tần số. Theo báo cáo của **IEEE 802.11 AI/ML committee, ML có thể cải thiện việc quản lý lưu lượng đa người dùng**, giúp phân phối băng thông hiệu quả hơn và giảm độ trễ.

Trong thực tế, nhiều nhà cung cấp đã triển khai các ý tưởng này:

* Một số hệ thống Wi-Fi doanh nghiệp (ví dụ: Juniper Mist) sử dụng AI trên nền tảng đám mây để giám sát hiệu suất Wi-Fi liên tục và tự động điều chỉnh kênh, công suất phát và điều hướng thiết bị.
* Một hệ thống AI có thể phát hiện băng tần 5 GHz đang ít được sử dụng tại một khu vực nhất định và tự động di chuyển một số thiết bị từ 2.4 GHz sang 5 GHz, giúp tăng thông lượng tổng thể.

**Quản Lý Tài Nguyên Trong 6G Và Mạng Tương Lai**

Trong tương lai, **6G dự kiến sẽ tích hợp AI vào cốt lõi của mạng**. Các mạng thế hệ tiếp theo sẽ cực kỳ dị thể (**kết hợp mạng di động, Wi-Fi, vệ tinh, IoT**), tạo ra nhu cầu cao về **AI để điều phối tài nguyên theo thời gian thực.**

Nghiên cứu cho thấy trong 6G, AI sẽ đóng vai trò chủ chốt trong việc:

* Tối ưu hóa băng thông, beamforming, và chia sẻ phổ tần
* Dự báo và điều chỉnh tài nguyên theo ngữ cảnh

Ví dụ, một mạng 6G có thể sử dụng mô hình AI để **dự đoán tốc độ dữ liệu của một người dùng trong 5 phút tới** dựa trên **lịch sử di chuyển và ứng dụng đang chạy**, từ đó **dự trữ hoặc tái phân bổ tài nguyên trước khi cần thiết.**

Các nghiên cứu ban đầu cũng đang thử nghiệm **học tăng cường đa tác nhân (multi-agent RL)** để **tối ưu hóa đồng thời tài nguyên truy cập và điện toán biên**, giúp giảm độ trễ và tăng thông lượng so với các phương pháp tối ưu riêng lẻ.

**Triển Khai Thực Tế – Ứng Dụng Công Nghiệp**

Các triển khai AI trong quản lý mạng đang ngày càng phổ biến.

* Google B4 WAN đã sử dụng AI để dự đoán nhu cầu lưu lượng và định tuyến thích ứng, tối ưu hóa dung lượng kết nối giữa các trung tâm dữ liệu.
* Cisco DNA Center ứng dụng ML để phát hiện bất thường trong hiệu suất mạng và đề xuất các phương án khắc phục tự động.
* Juniper Mist Wi-Fi sử dụng AI để tự động điều chỉnh cài đặt điểm truy cập và hướng dẫn khắc phục lỗi, giúp nhận diện các vấn đề như trình điều khiển kém trên thiết bị gây ra kết nối chập chờn.
* AT&T và các nhà mạng khác triển khai AI để tự động khắc phục lỗi mạng, ví dụ: khi một trạm gốc bị lỗi, hệ thống AI có thể dự đoán tác động và tự động điều chỉnh ăng-ten, công suất truyền của các trạm lân cận để bù đắp vùng phủ sóng.

## 1.6 Tiểu kết chương

Chương 1 đã trình bày tổng quan về công nghệ không dây và sự phát triển của các thế hệ Wi-Fi, đặc biệt nhấn mạnh vai trò và những cải tiến nổi bật của Wi-Fi 6/6E trong bối cảnh nhu cầu kết nối ngày càng tăng. Các phương pháp quản lý tài nguyên mạng truyền thống tuy có hiệu quả nhất định nhưng dần bộc lộ hạn chế khi đối mặt với môi trường mạng phức tạp và mật độ thiết bị ca.

Chính vì vậy, trí tuệ nhân tạo (AI) được xem là hướng tiếp cận mới đầy tiềm năng trong việc tối ưu hóa hiệu năng mạng Wi-Fi, với khả năng học hỏi và thích ứng linh hoạt. Các kỹ thuật học máy và học sâu, đặc biệt là học tăng cường, đã chứng minh hiệu quả trong việc điều chỉnh tham số mạng, lập lịch truyền tải và phân bổ tài nguyên kênh .

Chương này cũng chỉ ra những nguyên nhân khiến tài nguyên mạng Wi-Fi 6 hiện nay vẫn chưa được sử dụng tối ưu, bao gồm: nhiễu sóng, tắc nghẽn mạng và lỗi phần mềm điều phối. Những vấn đề này đặt ra yêu cầu cấp thiết về các giải pháp thông minh, trong đó AI được kỳ vọng sẽ giúp cải thiện đáng kể hiệu suất, giảm độ trễ và nâng cao trải nghiệm người dùng .

Trong chương tiếp theo em sẽ đưa ra cơ sở lý thuyết của bài. Từ đó làm điều kiện để phát triển nghiên cứu.