**Tóm lược- Mạng Wifi lớn đã gặp phải một số vấn đề nghiêm trọng của việc quản trị điểm truy cập (AP) như việc cấu hình thủ công, nhiễu kênh truyền và không cân tải. Những vấn đề trên cần phải giải quyết một cách cẩn thận để đảm bảo hiệu quả hiệu năng hệ thống. Vì hầu hết sản phẩm wifi thương mại bị độc quyền và phụ thuộc phần cứng, một số nghiên cứu gần đây nhắm đến việc giới thiệu giải pháp mở và có thể lập trình được. Không may là những nghiên cứu yêu cầu những giao thức thêm vào và phần mềm cần được quản trị nhưng không cung cấp giải pháp hoàn hảo. Cho đến nay, bài báo về kinh nghiệm sẽ trình bày thiết kế, nguyên mẫu triển khai và đánh giá SAMF- là framework mở, có thể lập trình được và phổ biến cho việc quản trị AP trong mạng Wifi lớn. Việc chấp nhận khái niệm công nghệ SDN và giao thức OpenFlow, SAM có thể nhanh chóng được triển khai trên những AP chi phí phần cứng thấp và trên Controller đám mây, đồng thời cho phép những dịch vụ mạng mới được tích hợp nhanh chóng. Hơn nữa, những kết quả thí nghiệm nhận định rằng framework có thể kéo giảm đáng kể chi phí vận hành vì nó tăng tốc tiến trình cấu hình AP xấp xỉ 15 lần. Bên cạnh đó, SAMF có thể tăng thông lượng hệ thống đến 26,5% và cải thiện độ cân bằng của hệ thống khoảng 40%.**

**- Từ khóa-- Gán kênh, IEEE 802.11 WLAN, OpenFlow, Quản trị Wi-Fi AP, Cân bằng tải Wi-fi**

GIỚI THIỆU

Wi-fi đã trở thành thiết bị thống trị nhất ở đầu cuối trong mạng, cung cấp sự thuận tiện hơn cho việc truy cập internet cho người dùng so với các thành phần có dây đắt tiền. Tuy nhiên, một số lượng lớn AP Wi-fi yêu cầu phải đáp ứng được việc phủ sóng kết nối cho một mạng lớn như khuôn viên trường hay mạng công ty, nơi mà có những vấn đề quản trị AP. Đầu tiên là cấu hình thủ công AP nơi chúng được triển khai với những yêu cầu cài đặt khác nhau và nơi phải cài đặt thủ công từng cái một có thể trở thành công việc đầy thách thức và tốn thời gian. Vấn đề thứ hai là việc nhiễu kênh truyền AP phát sinh từ thực tế rằng chỉ có một lượng nhỏ kênh không chồng cheo cho những AP lân cận. Điểm truy cập vận hành trên cùng hoặc các kênh lân cận có thể chịu ảnh hưởng từ vấn đề nhiễu phổ. Những vấn đề đó là nguyên nhân của sự tắc nghẽn mạng và thường làm suy giảm thông lượng hệ thống. Vấn đề cuối cùng là đa số người dùng wi-fi có xu hướng kết nối với AP có RSSI mạnh nhất (tín hiệu). Đây có thể là nguyên nhân không cân bằng tải trên AP giữa những AP trong cùng một vùng phủ sóng như là ESS thường làm giảm sút hiệu năng của toàn mạng.

1. Wi-fi AP: Thin và Fat (gầy và béo)

Để giải quyết những vấn đề quản trị AP trên, thông thường mạng Wi-fi sử dụng AP béo như là AP tự động, có thể hiệu chỉnh toàn bộ tiến trình mạng và chức năng trong mỗi cái. Những AP này được tích hợp nâng cao sự thông minh để nâng cao hiệu suất và bảo mật vượt qua chuẩn IEEE cung cấp. Giải pháp này tương đối đắt tiền vì AP béo cần phải tích hợp với phần cứng mạnh mẽ và yêu cầu phần mềm tinh vi. Hơn nữa, nó chỉ hỗ trợ giới hạn vài khả năng quản trị như khởi tạo và tiếp tục cấu hình. Bên cạnh đó, việc tùy chỉnh mạng và quản trị là những nhiệm vụ đầy thách thức cho giải pháp AP béo. Với những nhược điểm nghiêm trọng đó, AP béo không phù hợp với mạng Wi-fi lớn cần số lượng lớn AP và có những thay đổi trạng thái mạng liên tục.

Trái với giải phá AP béo, AP gầy dựa vào controller tập trung (cho việc giải quyết) nâng cao và phức tạp trong quản trị, việc tăng hiệu năng và đảm bảo bảo mật. Mặt khác, những tính năng đều bị trục xuất sang controller thay vì bị bỏ lại trên AP. Với cách tiếp cận này, AP gầy thông thường có chi phí thấp hơn vì chúng không trang bị nhiều hơn so với những tính năng truyền thông điệp mạng. Nó có thể giảm đáng kể chí phí triển khai mạng Wi-fi, đặc biệt là một mạng lớn. Hơn nữa, giải pháp AP gầy có thể cung cấp 1 giao diện quản lý tập trung thực thi tùy chỉnh mạng và quản trị thông thường một cách hiệu quả. Nó cũng cho phép tiết kiệm chi phí nâng cấp và chuyển sang công nghệ ở tương lai. Tóm lại, giải pháp AP gầy với bộ điều khiển tập trung đang hứa hẹn giải quyết những yêu cầu đặt ra của mạng wi-fi cỡ lớn.

Ý tưởng về AP gầy với bộ điều khiển tập trung gần đây được giới thiệu vào học viện cũng như ngành công nghiệp [1] - [9]. Tuy nhiên, nghiên cứu hiện tại [1] - [5] chỉ giải quyết vấn đề quản trị cá nhân, không đề nghị một giải pháp hoàn thiện cho mạng wi-fi cỡ lớn. Hơn nữa, những giao thức bổ sung và các tác nhân phần mềm thì cần thiết trong những giải pháp như vậy. Mặc dù những sản phẩm công nghiệp [6] - [9] có thể cung cấp giải pháp hoàn thiện cho những vấn đề quản trị wi-fi AP, thiết bị chuyên dụng và phần mềm phụ thuộc phần cứng như nó phải được áp dụng cho sản phẩm

1. Giải pháp của chúng tôi

Trong bài báo kinh nghiệm này, chúng tôi nhắm đến cung cấp 1 giải pháp chung mở, có thể lập trình được cho việc quản trị Wi-fi AP bằng trình bày một framework được gọi là SDN-based AP Management Framework (SAMF) dựa trên khái niệm SDN và giao thức OpenFlow. Chúng tôi chia hệ thống thành 3 lớp có tên là Mặt phẳng Management, Control và Data vì thế Framework không chỉ quản trị AP một cách hiệu quả mà còn cho phép những dịch vụ mạng mới có thể nhanh chóng được tích hợp vào. Thêm vào đó, giao thức OpenFlow được mở rộng để chuyển các API được đề xuất của chúng tôi trong các thành phần hệ thống vì thế loại bỏ sự cần thiết của những giao thức bổ sung và các tác nhân phần mềm. Bằng việc khai thác sự thuận lợi của SAMF, chúng tôi phát triển xa hơn 3 dịch vụ vận hành, *Per-subnet auutomatic configuaration (PAC), Dynamic channel assignment (DCA) và Dynamic AP load balancing (ALB),*  để giải quyết những vấn đề của việc cấu hình thủ công AP, nhiễu kênh truyền AP và không cân bằng tải AP một cách tương đối.

Chúng tôi phối hợp OpenWrt [12] và Open vSwitch [13] để xây dựng sự cho phép OpenFlow đồng thời RYU SDN framework [14] được dùng để triển khai điều khiển và quản trị sự vận hành. Bằng cách đó, SAMF có thể được triển khai dùng AP phần cứng chi phí thấp và bộ điều khiển trên đám mây giảm thiểu đáng kể chi phí triển khai. Thiết kế và triển khai của chúng tôi được đánh giá sử dụng 1 thử nghiệm đánh giá SAMF xử lí vấn đề quản trị AP tốt thế nào. Kết quả thí nghiệm cho thấy răng framework giảm đáng kể chi phí vận hành vì nó tăng tốc công việc cấu hình AP lên đến 15 lần. Còn nữa, SAMF có thể cải thiện thông lượng hệ thống với 26,5% đồng thời thực hiện cân bằng tải AP một cách hiệu quả dưới các tình trạng tải AP khác nhau.

Chúng tôi muốn nhấn mạnh lại rằng những đóng góp của bài báo này tập trung vào giới thiệu việc chứng minh khái niệm framework cho quản trị Wi-fi AP trong mạng cỡ lớn hơn là phát triển những thuật toán mới. May mắn là bởi vì framework cung cấp những giao diện mở và có thể lập trình được nên nó có thể trở thành 1 nền tảng hữu dụng cho công việc tương lai mà những mục tiêu của nó là nghiên cứu những thuật toán để giải quyết những vấn đề quản trị AP.

Phần còn lại của bài báo được tổ chức như sau. Phần 2 tóm tắt trình bày những sản phẩm công nghiệp và những nghiên cứu sẵn có của quản trị Wi-fi AP. Sau đó chúng tôi thảo luận về thiết kế của SAMF và cách triển khai của nó trong phần 3. Tiếp đó, đánh giá nghiên cứu và kết quả thử nghiệm được trình bày trong phần 4. Cuối cùng, phần 5 đưa ra kết luận cho công việc này.

II. CÔNG VIỆC LIÊN QUAN

Trong phần này đầu tiên sẽ cho một cái nhìn tổng quan về những sản phẩm công nghiệm và những nghiên cứu về những vấn đề trong việc quản trị Wi-fi AP đã có. Sau đó chúng tôi cung cấp một khảo sát trên Wi-fi mở rộng cho giao thức OpenFlow.

1. *Những sản phẩm quản trị Wi-fi và những nghiên cứu*

Bảng I so sánh giữa SAMF với vài sản phẩm thương mại phổ biến của Quản trị Wi-fi AP. Những sản phẩm này cũng dùng một bộ điều khiển tập trung để quản lí AP thông qua CAPWAP [15] hoặc giao thức OpenFlow. Không may, chúng bị độc quyền và phụ thuộc phần cứng và có thể không được triển khai trên thiết bị mạng hàng hóa cũng không hỗ trợ dịch vụ tích hợp của bên thứ 3. Trái ngược với những sản phẩm đó, thiết SAMF của chúng tôi cung cấp một framework thông dụng cho quản trị Wi-fi AP dùng phần cứng giá rẻ và thiết bị kim loại trần. Hơn nữa, SAMF cho phép những dịch vụ mới để được tích hợp nhanh chóng bởi việc giới thiệu giao diện mở và có thể lập trình.

Đã có vài nghiên cứu nhắm đến giải quyết vấn đề quản trị Wi-fi AP. Trong [1], một nền tảng mã nguồn mở được gọi là OpenRoads được đề xuất cho sự kết hợp của những công nghệ không dây khác nhau như là Wi-fi anh WiMAX. Nền tảng này khai thác OpenFlow và SNMP protocol để điều khiển đường dẫn dữ liệu (Data path) và cấu hình thiết bị một cách tương đối. Một giải pháp đám mây để giảm thiểu việc tranh chấp kênh giữa các AP trong một môi trường sống được giới thiệu trong framework COAP [2]. Nói cách khác, COAP cho phép những AP chia sẻ thông tin của chúng thông qua controller - nơi cung cấp việc gán kênh khác nhau tập trung. Khác với COAP, Odin [3] tập trung và công ty và nhà cung cấp mạng bằng việc giới thiệu khả năng lập trình cho AP. Nghiên cứu giới thiệu khái niệm về Light Virtual Access Point (LVAP) là một chương trình trừu tượng để giải quyết những yêu cầu cụ thể của mạng Wi-fi. Thêm nữa đối với OpenFlow, giao thức Odin và những tác nhân phần mềm của nó phải được triển khai trên AP và bộ điều khiển để xử lí yêu cầu của những mạng Wi-fi trong như là một giải pháp. OpenSDWN [4] và EmPower [5] cũng khai thác khái niệm LVAP và mở rộng thiết kế Odin. Để cụ thể hơn, OenSDWN sử dụng chức năng ảo hóa mạng để hỗ trợ tính liền mạch người dùng di động và phân bổ chức năng một cách linh hoạt đồng thời EmPower trình bày một bộ phát triển phần mềm để cho phép những nhà phát triển có thể tạo ra những dịch vụ chức năng mới. Tóm lại, những vấn đề quản trị Wi-fi AP đã điợc giải quyết riêng lẻ trong những nghiên cứu gần đây nhưng chúng yêu cầu những giao thức bổ sung và những tác nhân phần mềm

1. *Tiện ích mở rộng Wi-fi cho giao thức OpenFlow*

Giao thức OpenFlow hiện đang tập trung vào cung cấp khả năng lập trình cho Ethernet switch đồng thời nó không hỗ trợ công nghệ không dây. Ví dụ, giao thức không thể đáp ứng việc trao đổi thông tin thống kê hay cập nhật cấu hình từ bộ điều khiển đến AP. Đã có những nổ lực để giải quyết một số hạn chế có thể được phân vào 2 nhóm. Odin [3] thuộc về nhóm 1, nơi phát triển một giao thức phân chia cho mạng không dây đồng thời cung cấp OpenFlow cho phần có dây. Trong nhóm thứ 2, COAP [2] giới thiệu tiện ích mở rộng Wi-fi cho OpenFlow dùng những tính năng Switch liên quan để triển khai giao tiếp giữa bộ điều khiển và AP.

Thiết kế SAMF của chúng tôi theo kỹ thuật thứ 2 bởi về chúng tôi nhắm tới đề xuất một giải pháp thuần túy, chỉ có giao thức OpenFlow được liên quan trong framework. Sự khác biệt cơ bản giữa giải pháp của chúng tôi và COAP là chúng tôi cung cấp thông điệp thí nghiệm (Experimenter message - EXPs) của OpenFlow cho việc giao tiếp giữa mặt phẳng điều khiển và dữ liệu thay vì sử dụng tính năng switch liên quan hiện tại như SOAP. Vì đặc điểm kỹ thuật OpenFlow khai báo EXPs cho nhà phát triển để triển khai những chức năng bổ sung hoặc sửa đổi trong tương lai, chúng không có vấn đề về khả năng tương thích trong tiện ích mở rộng Wi-fi của chúng tôi cho giao thức OpenFlow.

III. QUẢN TRỊ WI-FI ACCESS POINT QUA SAMF

Trong phần này đầu tiên trình bày kiến trúc phần mềm của SAMF. Thứ hai là thiết kế của 3 đề xuất tính năng giải quyết những vấn đề quản trị Wi-fi AP được thảo luận

1. *Kiến trúc phần mềm*

Hình 1 minh họa kiến trúc phần mềm của SAMF, nơi những mặt phẳng quản trị, điều khiển và dữ liệu được phân tác để quản lý tập trung và hỗ trợ đa bộ điều khiển. Bằng việc phân tách điều khiển và đường dữ liệu, cách tiếp cận này cũng cho phép những tính năng dịch vụ mới được tích hợp một cách nhanh chóng.

1. *Mặt phẳng quản trị SAMF:* Trong thiết kế của chúng tôi, mặt phẳng quản trị có trách nhiệm đảm bảo rằng mạng của nó vận hành tối ưu và đáp ứng những yêu cầu Quality of Service (QoS). Nói cách khác, những dịch vụ tính năng cấu hình và quản lý hệ thống như là PAC, DCA, ALB nên được triển khai trong lớp này. Những tính năng này giao tiếp với các thành phần trong mặt phẳng điều khiển thông qua thông điệp RESTful bằng việc trao đổi requests và responses HTTP. Thiết kế của chúng tôi cũng cung cấp một điểm quản trị tập trung cho người quản trị mạng bằng việc giới thiệu một giao diện web trong mặt phằng này
2. *Mặt phẳng điều khiển SAMF:* Thông điệp RESTful được giao đến từ mặt phẳng quản trị được xử lý bởi dịch vụ chức năng RESTful (RSF) được triển khai trong mặt phẳng này. Để chi tiết hơn, RSF đáp ứng cho việc phân tích thông điệp và bẫy hoạt động tương ứng. Nếu hoạt động dành cho quản trị AP, thông điệp RESTful sẽ được dịch sang EXPs bao gồm những tham số quan trọng cho thi hành hoạt động. Sau đó EXPs được gửi đến AP thích hợp trong mặt phẳng dữ liệu. Ở hướng ngược lại, thông điệp EXP phản hồi từ mặt phẳng dữ liệu cũng được biến đổi sang thông điệp RESTful bằng RSF và sau đó chuyển hướng đến mặt phẳng quản trị.

Mặt phẳng này cũng đáp ứng cho duy trì view toàn cục của toàn bộ mạng thông qua Infomation Synchronization function (ISF) định kỳ gửi truy vấn đến những thiết bị mạng trong mặt phẳng dữ liệu bằng việc sử dụng dịch vụ của RSF. Nó nên được lưu ý rằng đa bộ điều khiển có thể được triển khai trong mạng để loại bỏ vấn đề nghẽn cổ chai bộ điều khiển phát sinh từ một lượng lớn AP trong mạng cỡ lớn.

1. *Mặt phẳng dữ liệu SAMF:* thông điệp từ mặt phẳng điều khiển hầu hết được chuyển tiếp đến AP cho phép OpenFlow trong mặt phẳng này. Bởi vì AP hỗ trợ giao thức OpenFlow, chúng có thể phân tích nội dung thông điệp EXP, và sau đó mang chúng đến hoạt động tương ứng của chúng. Khi AP báo cáo trạng thái của chúng hoặc bẫy một tính năng của lớp trên, thông điệp EXP cũng được sinh ra và trả về mặt phẳng này.

Ảnh 2 cho thấy một ví dụ của RESTful và thông điệp EXP của framework của chúng tôi. Như đã thấy, thông điệp RESTful là những request và response HTTP được dùng để liên lạc giũa PAC và RSF functions. Dữ liệu của chúng định dạng trong cú pháp JSON chứ những thông số quan trọng và trả về kết quả của việc thi hành của PAC như IP bộ điều khiển, MAC của AP và IP. Chức năng RSF giao tiếp với AP bằng việc trao đổi thông điệp EXP. Nói cách khác, RSF hành động như một thông dịch viên giữa PAC và các thành phần trong mặt phẳng dữ liệu. Định dạng của thông điệp EXP được khai báo bởi API SAMF của chúng tôi được miêu tả chi tiết hơn trong phần triển khai

1. *Functions quản trị AP*

Chúng tôi đang khai thách lợi ích của SAMF bằng việc tiến xa hơn lập trình 3 chức năng giải quyết những vấn đề căn bản của quản trị AP trong mạng cỡ lớn

1. *Tự động cấu hình mỗi subnet (PAC):* Chức năng này giải quyết vấn đề triển khai AP thủ công có thể cấu hình một cách tự động AP mới mà không cần cài đặt thủ công. Theo kết quả đạt được, nó không chỉ giảm đáng kể sự cần thiết cho quản trị nhân lực mà còn đảm bảo tính chính xác và cấu hình có hiệu lực cho APs.

Như đã thấy ở hình 1, chúng cần có ít nhất 1 AP đã được cấu hình nâng cao bở người quản trị mạng trong mạng con. AP hành động như một proxy chuyển tiếp yêu cầu và đáp ứng cấu hình từ những AP chưa cấu hình đến controller. Chi tiết hơn, khi một AP tham gia vào mạng con, nó sẽ thực hiện việc quảng bá để tìm xem có AP nào đã cấu hình có thể giúp chuyển tiếp yêu cầu cấu hình của nó đến chức năng PAC. Sau khi PAC nhận được yêu cầu, nó sẽ đáp ứng với cấu hình chính xác được tải từ hệ thống cơ sở dữ liệu. Khi những đáp ứng cấu hình đến AP mới, nó sẽ thực hiện tự cài đặt. Theo đó, AP có thể kết nối đến hệ thống mạng thành công.

1. *Gán kênh tự động (DCA):* Vấn đề của nhiễu kênh được giải quyết bằng tính năng này. Chức năng này điều chỉnh tự động kênh không dây được dùng bở AP để tránh vấn đề nhiễu kênh càng nhiều càng tốt. Theo đó, DCA có thể cải thiện chất lượng truyển tin, tăng hiệu suất hệ thống một cách đáng kể.

Để cung cấp sơ đồ gán kênh phù hợp, DCA duy trì cơ sở dữ liệu của kênh AP trong mạng bằng việc định kỳ gửi truy vấn đến mặt phẳng SAMF, sử dụng dịch vụ của ISF. Sau đó chức năng này quyết định AP nào nên thay đổi kênh bằng việc xây dựng một vấn đề gán kênh. Trong bài báo này chúng tôi chấp nhận một thuật toán tham ăn như đã phát triển trong [17] để giải quyết vấn đề. Lưu ý rằng nó phức tạp hơn và tối ưu thuật toán gán kênh như [18], [19] có thể cũng được triển khai bằng DCA. Cuối cùng, DCA gửi yêu cầu tinh chỉnh kênh đến AP sẽ thay đổi kênh của chúng. Mặc dùng chức năng này được bẫy định kỳ để tránh nhiễu kênh nhưng quản trị viên mạng có thể bẫy DCA thủ công khi có yêu cầu.

1. *Cân bằng tải AP động (ALB):* Chức năng này xử lí vấn đề không cân bằng tải AP bằng việc phát sinh một thuật toán cân bằng tải 2 tầng được phát triển trong [20]. Mỗi khi AP bị quá tải trong cùng vùng phủ sóng ví dụ như chung ESS, ALB được gọi tự động để phân bổ lại kết nối người dùng của AP trong ESS, do đó cân bằng trạng thái tải của AP. Chúng tôi định nghĩa *trạng thái tải* của AP là giá trị tối đa của mức sử dụng CPU, bộ nhớ và trung bình tỉ lệ gói tin bị lỗi của nó. Vì AP trong một ESS có mức tải khác nhau nên chúng tôi tiếp tục định nghĩa *mức trung bình tải* của một ESS là giá trị trung bình của trạng thái tải của toàn bộ AP. Mức độ được sử dụng để phân lớp AP thành *quá tải và dưới tải* do đó ALB có thể chuyển vài kết nối client từ AP quá tải đến AP dưới tải để duy trì trạng thái cân bằng tải cho ESS.

Khi một AP vừa kết nối hệ thống mạng thành công, nó báo cáo thông lượng của nó cho ALB, sau đó nó sẽ nhận 1 lượng kết nối client từ function. Mỗi khi số lượng **kết nối gợi ý client** của AP chọn đến ngưỡng, nó sẽ gửi thông điệp chú ý đến bẫy ALB. Sau đó chức năng sẽ thu thập những thông tin quan trọng của những AP khác trong ESS. Tiếp theo một phân nhánh **kết nối client chính xác** được quyết định cho ESS. Cuối cùng, AP sẽ liên kết lại client của chúng dựa trên danh sách tái liên kết nhận được từ ALB function.

Thay vì gánh vác ALB với rất nhiều yêu cầu tái liên kết client, chúng tôi định nghĩa một tham số tên là *mức độ điều khiển* là tỉ số giữa số lượng kết nối gợi ý client cho AP và số lượng kết nối tối đa client mà AP đố hỗ trợ. Giá trị của mức độ từ 0.0 tức là không có điều khiển cân bằng cho đến 1.0 là mức tối đa điều khiển cân bằng tải tập trung. Nói cách khác, giá trị càng cao thì tầng số ALB được bẫy càng thấp. Nhưng càng có nhiều trạm client, AP quá tải có thể sẽ chuyển sang AP dưới tải để duy trì trạng thái cân bằng tải ESS.

1. *Chi tiết triển khai*
2. *OpenFlow-enable AP Firmware:*  Để giao tiếp thành công giữa mặt phẳng dữ liệu và mặt phẳng điều khiển SAMF, chúng tôi phối hợp giữa OpenWrt và Open vSwitch để phát triển OpenFlow-enable firmware cho AP. Hơn nữa, để quản lí AP một cách hiệu quả, chúng tôi định nghĩa một bộ SAMF API được tổng hợp trong bản II. Chúng tôi thêm vài shell scripts vào Open vSwitch để cho phép AP hỗ trợ SAMF API của chúng tôi.

Chúng tôi triển khai SAMF API bằng việc tận dụng thông điệp EXP OpenFlow. Thông điệp bao gồm 2 trường chính là *of p\_experimenter\_header* và *of p\_experimenter\_data*. Hai 4 byte sub-field cơ bản *experimenter\_ID* và *exp\_type* trong trường đầu tiên. Biểu mẫu chứa experimenter ID của chúng tôi trông khi cái sau biểu thị phân loại tầng thứ nhất của API chúng tôi. Trong triển khai của chúng tôi, trường thứ 2 *of\_experimenter\_data*  của thông điệp EXP được thông dịch bởi tiến trình OpenFlow chuẩn tiếp tục chia thành trường phụ exp*\_subtype và exp\_payload .* Chúng tôi định nghĩa 1-byte *exp\_subtype* để biểu thị phân loại tầng 2 của API để sắp xếp tốt hơn. Sub-field sau *exp\_payload*  là một chuỗi tập hợp của những tham số SAMF API tương ứng.

Chú ý rằng giá trị của *experimenter\_ID*  được phân bố bở Open Flow Network Foundation (ONF) [21], nên nhà phát triển OpenFlow cần phải liên hệ đến tổ chức để nhận được ID của họ. ID thí nghiệm của chúng tôi là “0xFF000008” có thể thấy ở ONF registry.

1. *SAMF controller:* RYU SDN framework được dùng để phát triển toàn bộ dịch vụ chức năng như PAC, DCA, ALB, RSF, ISF. Chức năng này được triển khai bằng RYU modules sử dụng ngôn ngữ lập trình Python có thể hỗ trợ SAMF API. Một cơ sở dữ liệu cũng được đặt trong controller của chúng tôi để lưu trữ những thông tin quan trọng của hệ thống cho phép dịch vụ chức năng có thể quyết định chính xác.
2. *SAMF web-based user interface:* chúng tôi giới thiệu giao diện người dùng web để cho phép người quản trị quản lí AP qua mạng một cách hiệu quả. Giao diện cung cấp tất cả/ từ trạng thái riêng của AP như phần cứng, phần mềm, mức sử dụng CPU/bộ nhớ, lưu lượng mạng, cấu hình và flow table. Hơn nữa, việc cài đặt AP như firmware/patch upgrade, dịch vụ được cho phép/vô hiệu hóa và reboot thiết bị cũng có thể hoàn tất tập trung thông qua giao diện.

IV. ĐÁNH GIÁ HIỆU NĂNG