

NGHIÊN CỨU VỀ SỰ HÌNH THÀNH VÀ PHÁT TRIỂN ĐIỆN TOÁN BIÊN (EDGE COMPUTING) TRONG 10 NĂM TRỞ LẠI

Trần Thị Thùy¹⁸, Phạm Đình Quốc¹⁹, Đặng Thanh Khang²⁰

Tóm tắt: Điện toán đám mây đã tạo ra một sự thay đổi căn bản trong việc mở rộng phạm vi sử dụng ứng dụng và đã nổi lên như một phương pháp phi thực tế để cung cấp chi phí thấp và các dịch vụ máy tính có khả năng mở rộng cao cho người dùng. Cơ sở hạ tầng đám mây hiện tại là một thành phần của mạng lưới trung tâm dữ liệu quy mô lớn trải rộng toàn cầu. Các trung tâm dữ liệu này được cài đặt cẩn thận ở các vị trí biệt lập và được quản lý chặt chẽ bởi các nhà cung cấp đám mây để đảm bảo hiệu suất đáng tin cậy cho người dùng của nó. Trong những năm gần đây, các ứng dụng mới, chẳng hạn như Internet-of-Things, thực tế tăng cường, phương tiện tự hành, v.v..., đã phổ biến Internet. Đa số các ứng dụng như vậy được coi là quan trọng về thời gian và thực thi các yêu cầu về độ trễ tính toán nghiêm ngặt để có hiệu suất có thể chấp nhận được. Các kỹ thuật giảm tải đám mây truyền thống không hiệu quả để xử lý các ứng dụng như vậy do kết hợp thêm độ trễ mạng đã gặp phải trong khi tải dữ liệu tiên quyết lên các trung tâm dữ liệu ở xa. Hơn nữa, như các phép tính liên quan đến các ứng dụng như vậy thường dựa vào dữ liệu cảm biến từ nhiều nguồn, tải dữ liệu đồng thời lên đám mây cũng dẫn đến tình trạng nghẽn mạng đáng kể. Điện toán biên (Edge Computing) đã ra đời để khắc phục được tình trạng nêu trên. Bài viết dưới đây sẽ phân tích thông tin chi tiết về điện toán biên.

Từ khóa: Điện toán đám mây, Edge Computing, IoT, Cloud.

Abstract: Cloud computing has made a radical change in scaling application use and has emerged as an unrealistic approach to provide affordable computing services. Existing cloud infrastructure is part of a large scale data center network covering the globe. These data centers are carefully installed in isolated locations and tightly managed by the cloud providers to ensure reliable performance for its users. In recent years, new applications which are the Internet-of-Things, augmented reality, autonomous vehicles have been well-known in the Internet. The majority of such applications are considered to be timely critical and enforce strict computational latency requirements for acceptable performance. Traditional cloud offloading techniques are ineffective for handling such applications due to adding network latency while uploading prerequisite data to remote data centers. Furthermore, computations related to such applications often rely on sensor data from multiple sources. Uploading data simultaneously to the cloud also leads to significant network congestion. Edge Computing was born to overcome this problem. The following article will analyze detailed information about Edge Computing.

Keywords: Cloud computing, Edge Computing, IoT, Cloud.

¹⁸ Tiến sĩ, Giảng viên Khoa Kỹ thuật Công nghệ, Trường Đại học Nam Cần Thơ

¹⁹ Thạc sĩ, Giảng viên Anh văn, Trường Đại học Nam Cần Thơ

²⁰ Sinh viên Ngành Công nghệ thông tin, Trường Đại học Nam Cần Thơ

1. Đặt vấn đề

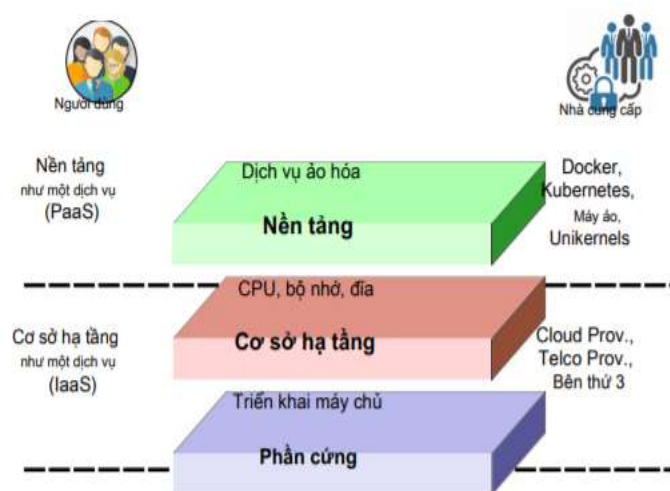
Sự gia tăng của các thiết bị IoT ở phần rìa mạng đang tạo ra lượng lớn dữ liệu được tính toán tại các trung tâm, đây yêu cầu băng thông mạng đạt đến giới hạn. Bất chấp tiến bộ trong công nghệ mạng, trung tâm dữ liệu không thể đảm bảo tốc độ truyền tải và thời gian phản hồi nhanh được, đây có thể là một yêu cầu quan trọng đối với nhiều ứng dụng. Hơn nữa, các thiết bị ở rìa liên tục tiêu thụ dữ liệu đến từ đám mây, buộc các công ty phải xây dựng mạng phân phối nội dung để phân cấp dữ liệu và cung cấp dịch vụ, tận dụng sự gần gũi với người dùng.

Tương tự, mục đích của điện toán biên (Edge Computing) là di chuyển các dữ liệu ra khỏi trung tâm dữ liệu và đi về phía rìa của mạng, khai thác các đối tượng, điện thoại di động hoặc công mạng để thực hiện các tác vụ và di chuyển các dịch vụ sang phần rìa, bộ nhớ đệm, có thể đạt được việc cung cấp dịch vụ, lưu trữ và quản lý IoT, dẫn đến thời gian và tốc độ phản hồi tốt hơn.

1.1. Điện toán biên (Edge Computing) là gì?

Điện toán biên là một mô hình điện toán phân tán mang tính chất tính toán và lưu trữ thông tin dữ liệu đến gần với vị trí cần thiết nhất, để cải thiện hiệu suất, thời gian phản hồi và tiết kiệm lưu lượng băng thông. Điện toán biên là một phương pháp tốt nhất giúp hệ thống được tối ưu đến mức tối đa xử lý dữ liệu nhanh chóng và tiết kiệm chi phí [SmartFactory, 2021].

Điện toán biên là một kiến trúc mở, phân tán, có khả năng xử lý tập trung, cho phép công nghệ điện toán trên di động và IoT. Trong Điện toán biên, tất cả các dữ liệu được xử lý bởi chính các thiết bị của mình, một máy tính hoặc máy chủ cục bộ, thay vì được truyền đến một trung tâm dữ liệu. Điện toán biên mang các ứng dụng doanh nghiệp đến gần hơn với các nguồn dữ liệu như thiết bị IoT hoặc máy chủ biên cục bộ. Sự gần gũi với dữ liệu tại nguồn của nó có thể mang lại lợi ích kinh doanh mạnh mẽ, bao gồm thông tin chi tiết nhanh hơn, thời gian phản hồi được cải thiện và khả năng cung cấp băng thông tốt hơn [Tạp chí ngân hàng, 2021].



Hình 1. Kiến trúc dịch vụ điện toán biên

1.2. Tại sao phải sử dụng điện toán biên?

Sự phát triển bùng nổ và sức mạnh tính toán ngày càng tăng của các thiết bị IoT đã dẫn đến khối lượng dữ liệu chưa từng có. Và khối lượng dữ liệu sẽ tiếp tục tăng lên khi mạng 5G tăng số lượng thiết bị di động được kết nối.

Trước đây, lời hứa của đám mây và AI là tự động hóa và tăng tốc độ đổi mới bằng cách thúc đẩy thông tin chi tiết có thể hành động từ dữ liệu. Nhưng quy mô và độ phức tạp chưa từng có của dữ liệu được tạo ra bởi các thiết bị được kết nối đã vượt xa khả năng mạng và cơ sở hạ tầng.

Việc gửi tất cả dữ liệu do thiết bị tạo ra đến trung tâm dữ liệu tập trung hoặc lên đám mây gây ra các vấn đề về băng thông và độ trễ mạng. Điện toán biên cung cấp một giải pháp thay thế hiệu quả hơn; dữ liệu được xử lý và phân tích gần hơn với điểm được tạo. Do dữ liệu không truyền qua mạng tới đám mây hoặc trung tâm dữ liệu để xử lý, độ trễ được giảm đáng kể. Điện toán biên và điện toán biên di động trên mạng 5G cho phép phân tích dữ liệu nhanh hơn và toàn diện hơn, tạo cơ hội cho thông tin chi tiết sâu hơn, thời gian phản hồi nhanh hơn và cải thiện trải nghiệm của khách hàng [*Vantino Hoang, 2020*].

1.3. Lợi ích khi sử dụng điện toán biên

1.3.1. Độ tin cậy

Quản lý chuyển đổi dự phòng là rất quan trọng để duy trì một dịch vụ tồn tại. Nếu một nút duy nhất gặp sự cố và không thể truy cập được, người dùng vẫn có thể truy cập dịch vụ mà không bị gián đoạn. Hơn nữa, các hệ thống tính toán biên phải cung cấp các cách để khôi phục lỗi và cảnh báo người dùng về sự cố. Để đạt được mục đích này, mỗi thiết bị phải duy trì cấu trúc liên kết mạng của toàn bộ hệ thống phân tán để việc phát hiện và khôi phục lỗi trở nên dễ dàng áp dụng. Các yếu tố khác có thể ảnh hưởng đến khía cạnh này là công nghệ kết nối đang được sử dụng, có thể cung cấp các mức độ tin cậy khác nhau và độ chính xác của dữ liệu được tạo ra ở rìa có thể không đáng tin cậy [*Anh Ngọc, 2021*].

1.3.2. Tốc độ

Điện toán biên mang các tài nguyên tính toán phân tích đến gần hơn với người dùng và tăng tốc độ băng thông. Một nền tảng biên được thiết kế tốt sẽ vượt trội hơn đáng kể so với hệ thống dựa trên đám mây truyền thống. Một số ứng dụng dựa vào thời gian phản hồi ngắn khiến điện toán biên trở thành sự lựa chọn khả thi hơn đáng kể so với điện toán đám mây truyền thống. Dữ liệu truyền tải nhanh chóng được xử lý ngay tại bộ xử lý cục bộ [*FPT Tech, 2019*].

1.3.3. Hiệu quả

Do sự gần gũi của tài nguyên phân tích với người dùng, các công cụ phân tích phức tạp và công cụ AI có thể chạy ở rìa hệ thống. Việc bố trí ở rìa này giúp tăng hiệu quả hoạt động và góp phần mang lại nhiều thuận lợi cho hệ thống [*Davited, 2020*].

Ngoài ra, việc sử dụng điện toán biên như một giai đoạn trung gian giữa các thiết bị người dùng và internet rộng hơn dẫn đến việc tiết kiệm hiệu quả.

1.3.4. Khả năng mở rộng

Không giới hạn mở rộng, không như đám mây truyền thống, Điện toán biên cho phép mở rộng bao nhiêu tùy thích mà không bị giới hạn [FPT Digital, 2020].

1.3.5. Giảm chi phí

Các dịch vụ, ứng dụng cần rất nhiều tài nguyên để xử lý và truyền tải dữ liệu,... nhưng với Điện toán biên vấn đề lưu lượng truy cập, khoảng cách dữ liệu được di chuyển sẽ được cắt giảm, điều đó sẽ làm giảm tối đa chi phí truyền dữ liệu và độ trễ mạng [FPT Digital, 2020].

1.3.6. Bảo mật

Bản chất của mô hình này là dẫn đến sự thay đổi trong các sơ đồ bảo mật được sử dụng trong đám mây. Trong điện toán biên, dữ liệu có thể di chuyển giữa các nút phân tán khác nhau được kết nối thông qua Internet và do đó yêu cầu các cơ chế mã hóa đặc biệt độc lập với đám mây. Các nút cạnh cũng có thể là thiết bị giới hạn tài nguyên, hạn chế sự lựa chọn phương pháp bảo mật của bạn. Hơn nữa, cần có sự chuyển đổi từ cơ sở hạ tầng tập trung từ trên xuống sang mô hình ủy thác phi tập trung. Mặt khác, bằng cách giữ cho dữ liệu được tối ưu, quyền sở hữu đối với dữ liệu đã thu thập có thể được chuyển từ nhà cung cấp dịch vụ đến người dùng [Thông tin và truyền thông, 2020].

2. Sự phát triển của điện toán biên

Lĩnh vực điện toán biên đã phát triển nhanh chóng trong những năm gần đây kể từ năm 2014. Quá trình phát triển này phân thành thành ba giai đoạn: giai đoạn chuẩn bị, giai đoạn tăng trưởng nhanh và giai đoạn phát triển ổn định. Trước năm 2015, điện toán biên đang trong giai đoạn chuẩn bị công nghệ. Kể từ năm 2015, số lượng bài viết liên quan đến “điện toán biên” đã tăng gấp 10 lần. Điện toán biên đã bước vào thời kỳ phát triển nhanh chóng. Theo như dự đoán sau năm 2020, điện toán biên sẽ bước vào thời kỳ phát triển ổn định. Trong giai đoạn này, điện toán biên sẽ hiện thực hóa sự tích hợp giữa học thuật và công nghiệp, đưa sản phẩm vào hoạt động kinh doanh và cuối cùng tạo điều kiện thuận lợi cho cuộc sống hàng ngày của con người.

2.1. Giai đoạn chuẩn bị

Trong giai đoạn chuẩn bị về công nghệ, điện toán biên đã trải qua quá trình phát triển nhưng không hoạt động. Điện toán biên được bắt nguồn từ mạng phân phối nội dung (CDN) do Akamai đề xuất năm 1998 [A. Vakali, 2003]. CDN là mạng bộ nhớ đệm dựa trên Internet, dựa trên các máy chủ được lưu trong bộ nhớ đệm được triển khai ở các nơi khác nhau và hướng quyền truy cập của người dùng đến với máy chủ trong bộ nhớ đệm gần nhất thông qua cân bằng tải, phân phối nội dung, lập lịch và các mô-đun chức năng khác của nền tảng trung tâm. Do đó, CDN có thể giảm tắc nghẽn mạng và cải thiện tốc độ phản hồi truy cập của người dùng và tỷ lệ truy cập. CDN nhấn mạnh đến việc sao lưu và lưu vào bộ nhớ đệm của dữ liệu, trong khi ý tưởng cốt lõi của điện toán biên tập trung nhiều hơn vào bộ nhớ đệm chức năng và áp dụng nó cho các dịch vụ quản lý hộp thư được cá nhân hóa để tiết kiệm độ trễ và băng thông [Ravi, 2021]. Cloudlet còn được gọi là “đám mây nhỏ” vì nó có thể cung cấp các dịch vụ cho người dùng,

tương tự như máy chủ đám mây. Tại thời điểm này, điện toán biên nhấn mạnh vào hạ lưu, tức là nó hạ cấp các chức năng từ máy chủ đám mây xuống máy chủ biên để giảm băng thông và độ trễ [Satyanarayanan, 2009].

Cơ sở lý luận của điện toán biên là tính toán phải xảy ra ở vị trí gần nguồn dữ liệu với “biên” cấu thành bất kỳ tài nguyên mạng và điện toán nào dọc theo đường dẫn giữa nguồn dữ liệu và đám mây [Symeonides, 2019]. Trong bối cảnh này, dữ liệu cảm quan được chuyển đổi từ các tín hiệu thô thành thông tin phù hợp theo ngữ cảnh ở gần nguồn dữ liệu. Sau đó, dữ liệu biên đã mở ra một sự tăng trưởng bùng nổ trong bối cảnh của IoT. Để giải quyết những thách thức về giảm tải tính toán và truyền dữ liệu, các nhà nghiên cứu bắt đầu khám phá cách tăng khả năng xử lý dữ liệu ở gần nơi sản xuất dữ liệu. Các mô hình điện toán đại diện là điện toán biên di động (MEC), điện toán sương mù và điện toán biên đám mây. MEC là cấu trúc mạng cung cấp các dịch vụ thông tin và khả năng điện toán đám mây trong mạng truy cập không dây gần người dùng di động [Yu, 2016]. Vì MEC nằm trong mạng truy cập không dây và gần với người dùng di động nên MEC có thể đạt được độ trễ thấp hơn và băng thông cao hơn để cải thiện chất lượng dịch vụ và trải nghiệm người dùng. MEC nhấn mạnh việc thiết lập các máy chủ biên giữa máy chủ đám mây và các thiết bị biên để thực hiện tính toán, tương tự như kiến trúc và phân cấp của một máy chủ điện toán biên, vì vậy MEC được coi là một phần quan trọng của điện toán biên.

Cisco đã giới thiệu điện toán sương mù vào năm 2012 và định nghĩa điện toán sương mù là một nền tảng điện toán ảo hóa cao để chuyển các nhiệm vụ của trung tâm điện toán đám mây sang các thiết bị biên mạng [Puzhevich, 2020]. Nó giảm tải băng thông và áp lực tiêu thụ năng lượng của các liên kết chính bằng cách giảm số lượng liên lạc giữa các trung tâm điện toán đám mây và người dùng di động. Điện toán sương mù và điện toán biên có những điểm tương đồng lớn, nhưng điện toán sương mù tập trung nhiều hơn vào việc tối ưu hóa giao tiếp ở cấp cơ sở hạ tầng, trong khi điện toán biên chú ý đến nhu cầu tính toán và nhu cầu mạng của cả thiết bị đầu cuối và cơ sở hạ tầng, bao gồm sự cộng tác giữa các thiết bị đầu cuối, các cạnh và những đám mây.

Vào năm 2013, Ryan LaMothe đã đề xuất thuật ngữ “điện toán biên” trong một báo cáo nội bộ dài hai trang, đây là lần đầu tiên “điện toán biên” hiện đại được phát triển [Lamothe, 2013]. Tại thời điểm này, khái niệm điện toán biên bao gồm cả phần hạ lưu của các dịch vụ đám mây và phần thượng lưu của IoT.

2.2. Thời kỳ tăng trưởng nhanh

Kể từ năm 2015, điện toán biên đã trong giai đoạn phát triển nhanh chóng, thu hút sự chú ý sâu sắc từ giới học thuật và ngành công nghiệp.

Vào tháng 5 năm 2016, Quỹ Khoa học Quốc gia (NSF) của Hoa Kỳ đã liệt kê điện toán biên là một trong những lĩnh vực được chú ý trong nghiên cứu hệ thống máy tính.

Vào tháng 8 năm 2016, NSF và Intel đã hợp tác thành lập mạng trung tâm thông tin trong mạng biên không dây (ICN-WEN).

Vào tháng 10 năm 2016, NSF đã tổ chức Hội thảo NSF về Những thách thức lớn trong điện toán biên [Chiang 2016]. Hội thảo tập trung vào ba chủ đề: tầm nhìn của điện toán biên trong 5 đến 10 năm tới; những thách thức lớn để đạt được tầm nhìn; và các cơ chế tốt nhất cho giới học thuật, ngành công nghiệp và chính phủ để tấn công những thách thức này một cách hợp tác. Điều này chỉ ra rằng sự phát triển của điện toán biên đã thu hút được sự quan tâm lớn ở cấp chính phủ.

Trong giới học thuật, đã đưa ra một định nghĩa chính thức về điện toán biên, họ đã định nghĩa điện toán biên là các công nghệ cho phép thực hiện tính toán ở rìa mạng, dữ liệu hạ nguồn thay mặt cho các dịch vụ đám mây và dữ liệu ngược dòng thay mặt cho các dịch vụ IoT [Shi, 2016]. Bài báo cáo này đã chỉ ra những thách thức của điện toán biên và đã được trích dẫn hơn 1000 lần trong ba năm.

Vào tháng 10 năm 2016, ACM và IEEE đã cùng nhau tổ chức Hội nghị chuyên đề ACM /IEEE đầu tiên về Symposium on Edge Computing (SEC). Kể từ đó, ICDCS, INFOCOM, MiddleWare, và các hội nghị quốc tế quan trọng khác đã thêm một đường dẫn điện toán biên vào các hội nghị chính của họ.

Vào tháng 1 năm 2018, cuốn sách giáo khoa đầu tiên trên thế giới về điện toán biên đã được Science Press xuất bản. Đồng thời, nhiều lĩnh vực công nghiệp đã tích cực thúc đẩy sự phát triển của điện toán biên.

Vào tháng 9 năm 2015, Viện Tiêu chuẩn Viễn thông Châu Âu (ETSI) đã xuất bản sách về MEC.

Vào tháng 11 năm 2015, Cisco, ARM, Dell, Intel, Microsoft và Đại học Princeton đã cùng nhau thành lập OpenFog Consortium, tổ chức dành riêng cho việc phát triển Kiến trúc tham chiếu sương mù [OpenFog Consortium, 2016].

OpenFog Consortium đã hợp nhất thành Công nghiệp Internet-of-Things (IIoT) vào tháng 1 năm 2019.

Vào tháng 11 năm 2016, Huawei, Viện Tự động hóa Thẩm Dương của Học viện Khoa học Trung Quốc, Học viện Công nghệ Thông tin và Truyền thông Trung Quốc (CAICT), Intel, ARM, và iSoftStone đã thành lập Edge Computing Consortium (ECC) tại Bắc Kinh, nhằm thúc đẩy sự hợp tác giữa các nguồn lực trong ngành từ các khu vực chính phủ, nhà cung cấp, học thuật, nghiên cứu và khách hàng, đồng thời thúc đẩy sự phát triển bền vững của ngành công nghiệp điện toán biên.

Vào tháng 3 năm 2017, Nhóm Công tác Đặc tả Công nghiệp MEC đã chính thức được đổi tên thành Điện toán biên đa truy cập, nhằm mục đích đáp ứng tốt hơn yêu cầu của tính toán biên và các tiêu chuẩn liên quan.

Linux EdgeX Foundry cũng được xây dựng vào năm 2017; là một dự án mã nguồn mở trung lập với nhà cung cấp được tổ chức bởi Quỹ Linux nhằm mục đích xây dựng một khuôn khổ mở chung cho điện toán biên IoT.

Vào tháng 1 năm 2018, Automotive ECC (AECC) được thành lập để thúc đẩy nhu cầu cơ sở hạ tầng điện toán và mạng của dữ liệu lớn trên ô tô [AECC, 2020], điều này cho thấy rằng điện toán biên có giá trị trong lĩnh vực xe. Cùng năm đó, Tổ chức Cloud Native Computing Foundation (CNCF) và Quỹ Eclipse đã hợp tác để đưa Kubernetes, vốn đã được sử dụng rộng rãi trong môi trường điện toán đám mây quy mô siêu lớn, vào bối cảnh điện toán tiên tiến của IoT.

Sau đó, KubeEdge, một khuôn khổ điện toán biên bản địa của Kubernetes, đã được chấp nhận vào hộp cát CNCF vào tháng 3 năm 2019.

Vào tháng 4 năm 2019, Bio-World Conference and Expos đã bổ sung theo dõi Edge, điều đó có nghĩa là tính toán biên cũng quan trọng đối với lĩnh vực sức khỏe.

III. Các phương pháp tiếp cận

Xem xét các vấn đề gây ra các nhà nghiên cứu đề xuất một số kiến trúc đến điện toán biên. Mặc dù các đề xuất khác nhau về quản lý tài nguyên và kiểm tra tài nguyên, nhưng tất cả chúng đều nhằm đáp ứng các yêu cầu chính sau: hỗ trợ độ trễ thấp cho các dịch vụ ứng dụng nhạy cảm với độ trễ, hỗ trợ tổng hợp dữ liệu để kết hợp các bài đọc từ nhiều IoT để giảm băng thông sử dụng, và hỗ trợ cho các dịch vụ phụ thuộc vào vị trí nhận biết ngữ cảnh.

III.1. Các dịch vụ liên quan

III.1.1. Cloudlets

Cloudlets là một tập hợp các máy chủ có khả năng tài nguyên được triển khai gần người dùng cuối trong cơ sở hạ tầng được quản lý do các nhà cung cấp như Nokia, Elisa, Deutsche Telekom, v.v... Được các tác giả của nó mô tả ban đầu là “trung tâm dữ liệu trong một hộp”, Cloudlets giả định một kết nối mạnh mẽ lên đám mây và hoạt động như phần mở rộng của nó. Cloudlets được thiết kế và quản lý với mục đích hỗ trợ các công nghệ / giao thức ảo hóa đám mây và được lên kế hoạch triển khai bởi một nhà cung cấp đám mây hiện có. Lợi thế cốt lõi của Cloudlet nằm ở chỗ triển khai nhỏ hơn, cho phép nó giảm đáng kể độ trễ truy cập của người dùng vào dịch vụ được lưu trữ trên đám mây. Trang bị những khả năng xử lý cao, Cloudlets phù hợp nhất cho các ứng dụng yêu cầu tính toán độ trễ thấp nhưng tốn nhiều tài nguyên, ví dụ như giám sát video thời gian thực, phân tích dữ liệu lớn IoT, v.v...

III.1.2. Fog Clouds

Là một nền tảng ảo hóa dành cho các tài nguyên máy tính được quản lý được định vị với các thiết bị được triển khai trong mạng truy cập, ví dụ như bộ định tuyến, bộ chuyển mạch, điểm truy cập, v.v... Không giống như Cloudlets, các Fog Clouds được quản lý và triển khai chủ yếu bởi các nhà cung cấp di động hoạt động trong khu vực (hợp tác với các nhà cung cấp đám mây) và nhằm mục đích tích hợp các công nghệ không dây để truy cập người dùng/cảm biến, ví dụ như WiFi, LTE, 5G, v.v... Mục tiêu chính của Fog Clouds là cung cấp tính toán

trong mạng trên dữ liệu khi nó di chuyển tới các đám mây tập trung để xử lý rộng rãi. Vì phần cứng dành cho Fog Clouds yêu cầu ít không gian vật lý hơn, nó có thể được triển khai gần hơn với người dùng và các cảm biến IoT mà không cần quản lý chi phí đáng kể. Thiết kế triển khai của họ làm cho các Fog Clouds phù hợp nhất với các ứng dụng giám sát video thời gian thực và thành phố thông minh.

III.1.3. Mobile Clouds Computing

Còn được gọi là Mobile Clouds (MC) trong cộng đồng các nhà nghiên cứu, Mobile Clouds Computing đại diện cho một nền tảng rộng hơn, nơi các máy chủ tính toán chuyên biệt được triển khai ở rìa của mạng di động, chẳng hạn như các cơ sở, hoạt động cùng với một đám mây tập trung để hỗ trợ các ứng dụng trên thiết bị di động. Không giống như Fog Clouds, Mobile Clouds về cơ bản dựa trên các công nghệ truy cập di động như LTE, 5G, để người dùng truy cập. Thay vì mở rộng đám mây ra rìa, mục tiêu chính của Mobile Clouds là cung cấp phương tiện tính toán một bước cho các thuê bao di động. Điều này cho phép các thiết bị di động cơ bản hỗ trợ các dịch vụ ứng dụng yêu cầu khả năng tính toán vượt xa khả năng của các thiết bị di động trên bo mạch. Điều đó cho thấy các Mobile Clouds nhắm đến để hỗ trợ các công nghệ ảo hóa đám mây cho phép chúng tích hợp với các đám mây tập trung nếu cần thiết.

III.1.4. Edge Clouds

Các Edge Clouds là sự hợp nhất của các nguồn lực cộng đồng tự nguyện do con người vận hành với các mức năng lực tính toán khác nhau. Còn được gọi là Mobile Edge Clouds (MEC), các Edge Clouds mở rộng điện toán đám mây di động đến các tài nguyên không di động. Một vài ví dụ về tài nguyên cạnh là máy tính để bàn, máy tính bảng và trung tâm dữ liệu nano như Cloudlets do các nhà cung cấp độc lập thiết lập. Vì các Edge Clouds kết hợp nhiều loại tài nguyên có khả năng tính toán và cũng có thể đảm bảo độ trễ thấp do sự gần gũi về mặt vật lý của chúng với người dùng cuối và cảm biến, mô hình này thường được coi là kiến trúc đại diện cho tính toán biên. Không giống như Fog, tài nguyên biên bị giới hạn bởi khả năng mạng của chúng vì chúng chủ yếu dựa vào kết nối không dây được chia sẻ công khai để tương tác với người dùng và đám mây.

III.2. Triển khai

Vì vẫn còn trong giai đoạn phát triển, các bước tiến đều có khả năng ảnh hưởng đến việc áp dụng điện toán biên trong thế giới thực. phần này cung cấp giải pháp sau để triển khai điện toán biên.

III.2.1. Edge - Fog Clouds

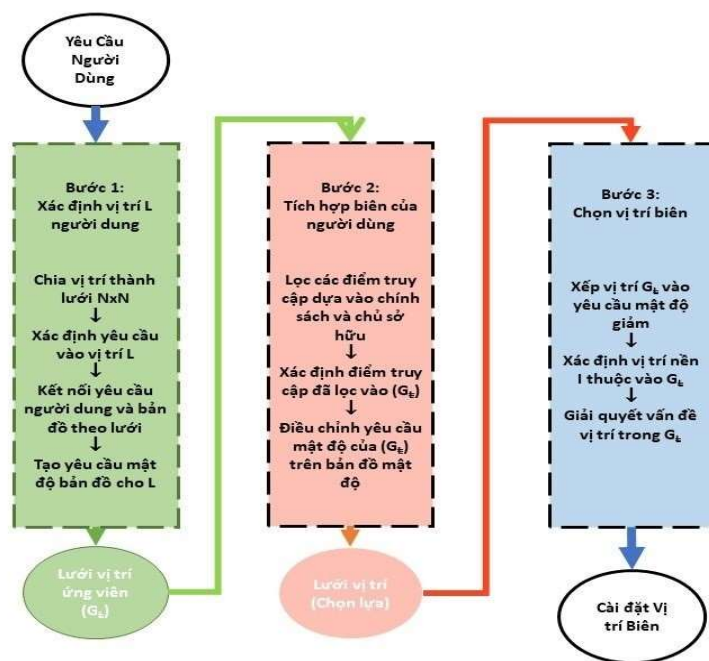
Edge - Fog Clouds là một kiến trúc đám mây cạnh được kết hợp với đám mây sương mù do thiết kế tập trung vào cạnh độc đáo, hỗ trợ phần lớn các loại ứng dụng với các yêu cầu QoS khác nhau.



Hình 2. Mô hình Edge - Fog Clouds

III.2.2. Triển khai mô hình vật lý Edge - Fog Clouds

Để triển khai ta cần mô hình Anveshak như một module threephase trong đó mỗi giai đoạn chịu trách nhiệm xử lý một nhiệm vụ cụ thể. Thiết kế module cho phép các nhà cung cấp đám mây hoán đổi và thêm các giai đoạn vào giao thức phù hợp với sự phức tạp bổ sung của khu vực. Hình 3 sẽ minh họa cho các các bước sau đây.



Hình 3. Mô hình Anveshak

- Giai đoạn 1: Xác định các vùng giao tiếp cao của khu vực vì chúng có thể sẽ dẫn đến việc sử dụng máy chủ cao hơn. Để xác định các vùng ta bắt đầu bằng việc chia khu vực địa lý thành các lưới cách đều nhau một cách hợp lý. Sau đó, hệ thống sử dụng dữ liệu lịch sử của việc truy cập liên kết di động của các thuê bao của nhà cung cấp dịch vụ di động bắt nguồn từ

mỗi lưới. Vào cuối giai đoạn đầu tiên, trình bày danh sách các khu vực lưới, được xếp hạng theo mật độ yêu cầu giảm dần của người dùng, cho nhà cung cấp đám mây.

- Giai đoạn 2: Ước tính tính khả dụng trong tương lai của Edge máy chủ trong mọi khu vực lưới bằng cách ngoại suy mật độ của các AP WiFi hiện đang hoạt động trong khu vực. Sau đó, hệ thống sẽ điều chỉnh tiêu cực các khu vực lưới có mật độ AP cao. Bản đồ nhiệt được cập nhật là một tập hợp các vị trí lưới có mật độ yêu cầu của người dùng cao và tính khả dụng thấp của các thiết bị cạnh để đáp ứng những yêu cầu đó. Giới thiệu danh sách này cho nhà cung cấp đám mây trong giai đoạn cuối. Tuy nhiên, nếu có nhiều hơn một ô hoạt động trong lưới đó, hệ thống phải cung cấp mức ưu tiên cho từng vị trí tùy thuộc vào mức độ có thể truy cập của nó để đáp ứng các yêu cầu tối đa của người dùng bắt nguồn từ vùng lân cận.

- Giai đoạn 3: Được thiết kế để giải quyết vấn đề trên giai đoạn 2. Sau khi xác định vị trí chính xác của các trạm gốc của nhà cung cấp dịch vụ di động trong lưới, máy chủ sẽ tính toán xác suất độ trễ một bước từ mỗi trang web cho phần lớn yêu cầu của người dùng. Mô hình sử dụng kỹ thuật xấp xỉ độ trễ mạng dựa trên tọa độ [90] và tính toán khoảng cách mạng tối đa được dung nạp (R^{max}) và chi phí mạng ($n_{(S,u)}$) giữa những người dùng U trong lưới G_i đến máy chủ S được cài đặt tại trạm gốc trong lưới $L^{G_i} = \{l_1, \dots, l_x\}$. Về mặt hình thức, các biến được định nghĩa như sau:

$$R_{(u_i, S_i)}^{max} = \max[u - S_i] \quad \forall u \in U \quad (3.1)$$

$$n_{(S,u)} = \alpha * R_{(S,u)} \quad (3.2)$$

Biến α trong Công thức 3.2 biểu thị chi phí truy cập máy chủ tối đa cho người dùng trong lưới. Dựa trên tiện ích mạng của từng trạm gốc, xác định vị trí máy chủ tối ưu cho người dùng tùy ý lưới bằng cách giải phương trình sau.

$$S_u = \min \sum_{l \in L^{G_i}} \{S_l | S_l \in S, n_{(S_l, u)} < n_{max}\} x_l \quad (3.3)$$

Phương trình 3.3 gần giống với Bài toán về vị trí cơ sở được biết là NP-cứng. Ước tính giải pháp cho vấn đề bằng cách giới hạn kích thước lưới trong giai đoạn I sao cho ngay cả trường hợp xấu nhất lặp lại giải pháp hoàn thành trong thời gian hợp lý.

IV. Ứng dụng của điện toán biên trong công nghiệp

Mặc dù các đám mây truyền thống tự thể hiện mình như một kho lưu trữ các máy chủ có khả năng tính toán cao, nhưng nhu cầu của các ứng dụng mới nổi trên internet sẽ khác xa với các tính năng mà các DC điển hình cố gắng cung cấp. Internet-of-Things (IoT) là một trong những trường hợp sử dụng như vậy. Các thiết bị và cảm biến IoT đã gia tăng mạng lưới và việc triển khai chúng theo xu hướng tăng theo cấp số nhân. Tuy nhiên, phần lớn các ứng dụng IoT (và các ứng dụng tương tự) yêu cầu xử lý quan trọng về độ trễ mà các đám mây truyền thống không thể hỗ trợ do độ trễ mạng quá mức và tắc nghẽn băng thông giữa cảm biến IoT và DC. Dưới đây là một số lĩnh vực ứng dụng công nghệ điện toán biên.

IV.1. Ứng dụng điện toán biên

IV.1.1. Tự động hóa

Nhu cầu kết nối các nhà máy với nhau và tự động hóa các thực thể trong nhà máy hoặc không có sự tham gia của con người đã dẫn đến Công nghiệp 4.0. Cung cấp thời gian phát triển ngắn hơn bằng cách cho phép các máy được kết nối tương tác và chia sẻ các tác vụ và kết hợp khả năng hoạt động để hiệu chuẩn lại tác vụ có thể được thực hiện ngay lập tức. Các nhà sản xuất đã thiết kế các robot tinh vi, chẳng hạn như Bosch APAS, để làm việc song song với các công nhân con người trong nhà máy. Những chiếc máy như vậy tạo ra vô số dữ liệu từ các cảm biến và máy ảnh gắn liền (vượt quá 100.000 GB một ngày) với thời hạn xử lý nhanh hơn thời gian phản ứng của con người. Các yêu cầu dịch vụ được áp dụng rất nghiêm ngặt và vi phạm có khả năng ảnh hưởng đến sự an toàn của con người và làm trật bảnh toàn bộ quy trình sản xuất.

IV.1.2. Xe tự lái

Lái xe tự động đang trở thành hiện thực do các quỹ đạo điện tử hoạt động trong ba thập kỷ qua từ các học viện và ngành công nghiệp. Động lực chính không chỉ là giảm tai nạn đường bộ do lỗi của con người (chiếm 94% tổng số vụ tai nạn được báo cáo), mà còn giảm chi phí nhân lực trong ngành giao thông do sử dụng nhiên liệu kém hiệu quả, sử dụng điểm đỗ xe,... Tương tự như tự động hóa nhà máy, các phương tiện được kết nối dựa trên nhiều cảm biến và camera nhúng tạo ra dữ liệu vượt quá 100GB cho mỗi xe. Các ứng dụng trong lĩnh vực này yêu cầu xử lý dữ liệu nhanh chóng để các quyết định kết quả được nhanh chóng và chính xác.

IV.1.3. Game

Ngành công nghiệp trò chơi cạnh tranh đã cho thấy sự phát triển nhanh chóng trong những năm gần đây và đã thu hút được sự đầu tư đáng kể từ các thương hiệu thể thao lớn vào các giải đấu và phát triển trò chơi. Các nhà sản xuất phần cứng tiếp tục tìm cách giảm thiểu độ trễ của màn hình và thiết bị ngoại vi trên thiết bị, sao cho nó không vượt quá thời gian nhận thức của con người (<10ms).

IV.1.4. Y tế

Chăm sóc sức khỏe năng động và đáp ứng tốt là một trong những ưu thế các ứng dụng trong miền IoT. Ngoài việc cung cấp hỗ trợ bệnh nhân từ xa và theo dõi sức khỏe (như giảm thiểu đột quỵ, theo dõi điện tâm đồ,...), phẫu thuật từ xa được thực hiện từ các nơi xa là một trong nhiều nhu cầu ngày càng tăng của thị trường chăm sóc sức khỏe hiện nay. Các tình huống như vậy không chỉ yêu cầu băng thông mạng cao và truy cập không bị gián đoạn mà còn cần độ trễ xử lý cực thấp để kiểm soát tối ưu.

Thành phố thông minh, kiểm soát giao thông, thực tế tăng cường, phân phối dựa trên máy bay không người lái,... là một vài ví dụ khác về các trường hợp sử dụng yêu cầu xử lý tới hạn về độ trễ mà đám mây dựa trên DC (Data Center) truyền thống không thể hỗ trợ.

IV.2. Các vấn đề quan trọng

Mặc dù điện toán biên rất hứa hẹn nhưng vẫn còn nhiều thách thức mà cộng đồng phải đối mặt, từ các công nghệ cơ bản đến các kịch bản ứng dụng mới lạ và các mô hình kinh doanh tiềm năng. Để giúp cộng đồng máy tính hiểu rõ hơn về vị trí của chúng ta và cách tận dụng tính toán biên trong các lĩnh vực của riêng họ, điều quan trọng là phải phát triển một phần đặc biệt trình bày hiện trạng của tính toán biên. Con người đã chứng kiến một loạt các tiến bộ, đặc biệt là trong năm năm qua, bao gồm các chủ đề sau: hệ thống và công cụ, cung cấp nền tảng cho tính toán biên; mạng biên sáng tạo; các ứng dụng điện toán biên trong nhiều lĩnh vực, chẳng hạn như thành phố thông minh, an toàn công cộng và lái xe tự hành, IoT công nghiệp, v.v.; và các mối đe dọa bảo mật và quyền riêng tư mới.

Mặc dù điện toán biên đưa việc tính toán gần hơn với các dịch vụ nhạy cảm với độ trễ, những thách thức hạn chế mô hình đám mây vẫn còn khi tốc độ dữ liệu được tạo tiếp tục tăng. Các nút biên có thể di động và những thay đổi nhanh chóng có thể xảy ra bất kỳ lúc nào trong các mạng động (ví dụ: lỗi kết nối và biến động băng thông); do đó, việc điều phối các dịch vụ biên trở nên khó khăn hơn. Cụ thể, khám phá dịch vụ, điều phối tài nguyên, đối phó với sự không đồng nhất của tài nguyên, quản lý vòng đời và giảm tải nhiệm vụ là những thách thức nghiên cứu mở. Hơn nữa, việc lập lịch các tác vụ quản lý và xử lý dữ liệu để thu được thông tin chi tiết về phân tích đòi hỏi sự cân nhắc “thông minh”.

Cùng với những lợi ích mà điện toán biên mang lại, có rất nhiều thách thức mà chúng ta nên tính đến, đặc biệt là liên quan đến bảo mật dữ liệu và quyền riêng tư. Khả năng xử lý hạn chế của các thiết bị được kết nối có thể hạn chế việc sử dụng các biện pháp bảo mật, khiến chúng đặc biệt dễ bị tấn công mạng và tấn công vật lý, trong khi tính di động và việc cung cấp nhanh chóng các nút biên đòi hỏi các cơ chế hiệu quả để thiết lập và chứng thực sự tin tưởng vào biên.

Điện toán biên kết hợp IoT, dữ liệu lớn và điện toán di động thành một nền tảng điện toán tích hợp và phổ biến. Khả năng được cung cấp để cung cấp sức mạnh tính toán theo yêu cầu ở biên và khả năng xử lý lượng dữ liệu khổng lồ đến từ vô số thiết bị / cảm biến mang lại động lực to lớn cho các công nghệ trí tuệ nhân tạo (AI).

5. Kết luận

Với tốc độ phát triển nhanh chóng của các thiết bị IoT được giới thiệu hàng năm, sự ra đời của điện toán biên sẽ mang lại những bước tiến nhảy vọt trong việc tăng tốc xử lý và vận chuyển dữ liệu, cũng như bảo mật. Tuy nhiên, điện toán biên không phải là sự thay thế cho điện toán đám mây, vì điện toán đám mây có những lợi ích riêng, chúng là những kiến trúc bổ sung kết hợp với nhau để tạo ra những nền tảng mạnh mẽ cho ngành công nghiệp IoT. Điều này sẽ tác động và thúc đẩy quá trình chuyển đổi của các ngành kinh tế từ nay đến những năm sau.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Xuân, Linh (2020). Điện toán đám mây là gì? Phân loại, ưu nhược điểm của điện toán đám mây. [online] Quantrimang. Available at: URL: <https://quantrimang.com/tim-hieu-ve-dien-toan-dam-may-118375> [Accessed 22 Jan. 2021]
- [2] smartfactoryvn.com, (2021). SmartFactory. [online] Available at: <https://smartfactoryvn.com/technology/internet-of-things/edge-computing-dien-toan-ranh-gioi-la-gi-vai-tro-cua-edge-computing-trong-cong-nghiep-4-0/> [Accessed 19 Jan. 2021]
- [3] tapchinganhang.gov.vn, (2020). Tạp chí ngân hàng. [online] Available at: <http://tapchinganhang.gov.vn/edge-computing-dien-toan-bien-xu-huong-cong-ngho-tro-dich-vu-cho-ngan-hang.html> [Accessed 22 Jan. 2021]
- [4] Vantino, Hoang (2021). Điện toán biên - Edge Computing là gì?. [online]. NCT Blog. Available at: URL: <https://www.thegioimaychu.vn/blog/ai-deep-learning/dien-toan-bien-edge-computing-la-gi-p7836/> [Accessed 23 Jan. 2021]
- [5] Điện toán biên - xu hướng công nghệ được mong đợi năm 2021. [online] Available at: URL: <https://nhandan.com.vn/thong-tin-so/dien-toan-bien-xu-huong-cong-ngho-duc-mong-doi-nam-2021-631645/> [Accessed 21 Jan. 2021]
- [6] techinsight.com.vn, (2019). FPT Tech. [online] Available at: <https://techinsight.com.vn/edge-computing-dien-toan-bien-cong-ngho-moi-trong-thoi-dai-iot/> [Accessed 22 Jan. 2021]
- [7] daviteq.com, (2020). Davited. [online] Available at: <https://www.daviteq.com/blog/vi-dien-toan-bien-tuong-lai-va-thach-thuc/> [Accessed 23 Jan. 2021]
- [8] digital.fpt.com.vn, (2020). FPT Digital. [online] Available at: [https://digital.fpt.com.vn/dien-toan-bien-giai-phap-hua-hen-cho-tuong-lai/#:~:text=%C4%90i%E1%BB%87n%20to%C3%A1n%20bi%C3%AAn%20\(Edge%20Computing,\(c%C3%A1c%20thi%E1%BA%B Ft%20b%E1%BB%8B%20IoT\).](https://digital.fpt.com.vn/dien-toan-bien-giai-phap-hua-hen-cho-tuong-lai/#:~:text=%C4%90i%E1%BB%87n%20to%C3%A1n%20bi%C3%AAn%20(Edge%20Computing,(c%C3%A1c%20thi%E1%BA%B Ft%20b%E1%BB%8B%20IoT).) [Accessed 24 Jan. 2021]
- [9] ictvietnam.vn, (2020). Thông tin và truyền thông. [online]. Available at: <https://ictvietnam.vn/bao-mat-cho-kien-truc-iot-dua-tren-dien-toan-bien-20200525101658378.htm> [Accessed 24 Jan. 2021]
- [10] A, Vakali (2003). Content delivery networks: Status and trends. [online] Available at: URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1250586/> [Accessed 24 Jan. 2021]
- [11] J, Ravi (2005). Personalized email management at network edges. [online] Available at: URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1405975> [Accessed 24 Jan. 2021]
- [12] Mahadev, Satyanarayanan (2009). The Case for VM-Based Cloudlets in Mobile Computing. [online] Available at: URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5280678> [Accessed 24 Jan. 2021]
- [13] Moysis, Symeonides (2019). Query-Driven Descriptive Analytics for IoT and Edge Computing. [online] Available at: URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8790179> [Accessed 24 Jan. 2021]
- [14] Yifan, Yu (2016). Mobile edge computing towards 5G: Vision, recent progress, and open challenges. [online] Available at: URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7833463> [Accessed 24 Jan. 2021]

-
- [15] Victoria, Puzhevich (2020). Fog Computing and Its Role in the Internet of Things. [online] Available at: <https://readwrite.com/author/victoria-puzhevich/> [Accessed 24 Jan. 2021]
- [16] R, LaMothe (2013). Edge Computing - Pacific Northwest National Laboratory. [online] Available at: URL: https://moam.info/edge-computing-pacificnorthwest-national-laboratory_59d648481723dd08e35b7b77.html [Accessed 25 Jan. 2021]
- [17] M. Chiang (2016). NSF workshop report on grand challenges in edge computing. [online] Available at: URL: <http://iot.eng.wayne.edu/edge/NSF%20Edge%20Workshop%20Report.pdf> [Accessed 25 Jan. 2021]
- [18] Weisong, Shi (2016). Edge Computing: Vision and Challenges. [online] Available at: URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7488250> [Accessed 25 Jan. 2021]
- [19] openfogconsortium.org, (2016).). Introduction of OpenFog Consortium.[online] Available at: <https://www.openfogconsortium.org/> [Accessed 19 Jan. 2021]
- [20] aecc.org, (2016). Automotive Edge Computing Consortium. [online] Available at: URL: <https://aecc.org/> [Accessed 25 Jan. 2021]
- [21] Fog Computing - Điện toán sương mù là gì?. [online] Available at: URL: <https://quantrimang.com/fog-computing-dien-toan-suong-mua-la-gi-151572> [Accessed 25 Jan. 2021]
- [22] vi.wikipedia.org, (2020). Mobile Computing - Điện toán di động là gì?. [online] Available at: URL: https://vi.wikipedia.org/wiki/%C4%90i%E1%BB%87n_to%C3%A1n_di_%C4%91%E1%BB%99ng [Accessed 25 Jan. 2021]
- [23] Quantrimang.com, (2020). Quản trị mạng. [online] Available at: URL: <https://quantrimang.com/edge-computing-dien-toan-ranh-gioi-bien-gioi-moi-cua-web-145052> [Accessed 25 Jan. 2021]
- [24] Iptp.net, (2020). IPTP. [online] Available at: URL: <https://www.iptp.net/vi/business-solutions/managed-services/edge-computing/> [Accessed 25 Jan. 2021]
- [25] giaiphap.mctt.com.vn, (2020). MC&TT. [online] Available at: URL: <https://giaiphap.mctt.com.vn/edge-computing-la-gi-ung-dung-cua-edge-computing-la-gi/> [Accessed 25 Jan. 2021]
- [26] vnreview.vn, (2020). VnReView. [online] Available at: URL: https://vnreview.vn/tu-van-may-tinh/-/view_content/content/2485589/edge-computing%E2%80%8A-khai-niem-ban-nen-biet [Accessed 25 Jan. 2021]
- [27] bio-itworldexpo.com, (2019). Bio-IT World Edge Track. [Online]. Available at: <https://www.bio-itworldexpo.com/edge#> [Accessed 25 Jan. 2021]
- [28] kubeedge.io, (2019). KubeEdge—A Kubernetes Native Edge Computing Framework. [Online]. Available at: <https://kubeedge.io/en/blog/cncf-sandboxannouncement/> [Accessed 25 Jan. 2021]
- [29] The Linux Foundation (2018). Kernel virtual machine. [online] Available at: URL: <http://www.linux-kvm.org> [Accessed 25 Jan. 2021]
- [30] Blue.social, 2020, “What is NFC? The Near Field Communications Guide”. [online] Available at: <https://blue.social/nfc/> [Accessed 25 Jan. 2021]
-

- [31] Vrplus, 2020, “Giai pháp ứng dụng thực tế ảo và thực tế tăng cường trong tổ chức sự kiện”, 01/22/2021, <https://vrplus.vn/y-tuong-su-dung-thuc-te-ao-va-thuc-te-tang-cuong-trong-to-chuc-su-kien> [Accessed 25 Jan. 2021]
- [32] Vietnamtourism, 2020, “Công nghệ thực tế tăng cường (AR - Augmented Reality) và thực tế ảo (VR - Virtual Reality) - Ngọn lửa nhỏ “sưởi” Du lịch đỡ “đóng băng” bởi đại dịch Covid- 19”, 01/22/2021, <https://vietnamtourism.gov.vn/index.php/items/33666> [Accessed 25 Jan. 2021]
- [33] Tourzy, 2019, “Ứng dụng thực tế tăng cường trong ngành du lịch”, <https://tourzy.vn/chia-se/ung-dung-thuc-te-tang-cuong-trong-du-lich> [Accessed 25 Jan. 2021]
- [34] Co, 2020, “Thực tế ảo tăng cường AR”, 01/22/2021, https://co-well.vn/rd-2/ar_vn/ [Accessed 25 Jan. 2021]
- [35] Vrplus, 2019, “Thực tế ảo tăng cường AR sẽ thay đổi tương lai của thế giới”, 01/22/2021, <https://vrplus.vn/cong-nghe-thuc-te-ao-tang-cuong-ar-se-thay-doi-tuong-lai-cua-the-gioi> [Accessed 25 Jan. 2021]
- [36] Thucteao, 2020, “Tầm quan trọng của Thực tế tăng cường (AR) trong doanh nghiệp”, 01/22/2021, <https://www.thucteao.top/tam-quan-trong-cua-thuc-te-tang-cuong-ar-trong-doanh-nghiep/> [Accessed 25 Jan. 2021]
- [37] Vietnetco, 2020, “Thực tế ảo tăng cường (Augmented Reality) là gì? Các ứng dụng”, 01/22/2021, <https://vietnetco.vn/thuc-te-ao-tang-cuong-ar/10655.html> [Accessed 25 Jan. 2021]
- [38] Medinet, 2019, “Giới thiệu sản phẩm bình chọn Giải thưởng Y tế thông minh của Viện Y Dược học dân tộc: “Ứng dụng thực tế ảo tăng cường AR trong giới thiệu vị thuốc và thuốc y học cổ truyền”, 01/22/2021, <http://www.medinet.hochiminhcity.gov.vn/cai-cach-hanh-chinh-y-te-thong-minh/gioi-thieu-san-pham-binh-chon-giai-thuong-y-te-thong-minh-cua-vien-y-duoc-hoc-d-cmobile4714-19681.aspx> [Accessed 25 Jan. 2021]
- [39] Quangtriv, 2020, “Ứng dụng công nghệ thực tế ảo tăng cường trong giáo dục”, 01/22/2021, <http://quangtriv.vn/tin-tuc-n9825/ung-dung-cong-nghe-thuc-te-ao-tang-cuong-trong-giao-duc.html> [Accessed 25 Jan. 2021]
- [40] Adtgroup, 2020, “AR - THỰC TẾ TĂNG CƯỜNG LÀ GÌ?”, 01/22/2021, <https://adtgroup.vn/vi/ar-thuc-te-tang-cuong/> [Accessed 25 Jan. 2021]
- [41] Tourzy, 2020, “Ứng Dụng Thực Tế Tăng Cường Hiệu Quả Nhất”, 01/22/2021, <https://tourzy.vn/tin-tuc-chung/ung-dung-ar-hieu-qua-nhat> [Accessed 25 Jan. 2021]
- [42] bkaii.com.vn, (2020). Công nghệ xe tự hành: những điều cần lưu ý. [online] Available at: URL: <https://bkaii.com.vn/tin-tuc/451-cong-nghe-xe-tu-hanh-nhung-dieu-can-luu-y> [Access 25 Jan. 2021]
- [43] wri.vn, (2020). Ứng dụng công nghệ máy bay không người lái vào điều tra tài nguyên nước. [online] Available at: URL: <http://wri.vn/pages/ung-dung-cong-nghe-may-bay-khong-nguoi-lai-va-dieu-tra-tai-nguyen-nuoc.aspx> [Accessed 25 Jan. 2021]
- [44] nexcom.vn, (2020). Điện toán biên là gì?. [online] Available at: URL: <https://nexcom.vn/dien-toan-bien-la-gi-n279.html> [Accessed 25 Jan. 2021]

- [45] thuatngumarketing.com, (2020). Edge Computing. [online] Available at: URL: <https://www.thuatngumarketing.com/edge-computing/> [Accessed 25 Jan. 2021]
- [46] dlapplications.github.io, (2019). Khi Deep learning gặp Edge computing. [online] Available at: URL: <https://dlapplications.github.io/2018-07-25-dl-edge-1/> [Accessed 25 Jan. 2021]
- [47] viettelidc.com.vn, (2020). Edge Computing - Giải pháp xử lý dữ liệu nhanh chóng, tối ưu trong thời đại số. [online] Available at: URL: <https://www.viettelidc.com.vn/tin-tuc/edge-computing-giai-phap-xu-ly-du-lieu-nhanh-chong-toi-uu-trong-thoi-dai-so> [Accessed 25 Jan. 2021]
- [48] vi.phhsnews.com, (2020). Máy tính sương mù là gì?. [online] Available at: URL: <https://vi.phhsnews.com/articles/howto/what-is-fog-computing.html> [Accessed 25 Jan. 2021]
- [49] octopus.vn, (2020). Fog Computing - Điện toán sương mù là gì ?. [online] Available at: URL: <http://www.octopus.vn/news/fog-computing-dien-toan-suong-mu-la-gi.html> [Accessed 25 Jan. 2021]
- [50] ichi.pro, (2020). Edge Computing là gì. [online] Available at: URL: <https://ichi.pro/vi/edge-computing-la-gi-14464667583550> [Accessed 25 Jan. 2021].