

Kiến trúc hướng dịch vụ INT3505

Bài tập lớn số một

Tìm hiểu các mô hình của điện toán đám mây

Nguyễn Việt Minh Nghĩa
nvmnghia@gmail.com

11/03/2020

1 Định nghĩa

1.1 Tiền đề

”Cloud computing” là chủ đề nhận được rất nhiều sự quan tâm trong ngành công nghệ thông tin. Từ khóa này thậm chí vượt ra khỏi chuyên ngành, trở thành một buzzword thông dụng. Giống với nhiều thuật ngữ lớn khác như AI, Big data, điện toán đám mây không có một định nghĩa cụ thể và thống nhất.

Với lập trình viên, điện toán đám mây được hiểu đơn giản là việc *cung cấp tài nguyên tính toán và lưu trữ qua mạng*. Để hiểu phần nào định nghĩa này, ta cần so sánh cách điện toán đám mây với cách sử dụng truyền thống tài nguyên máy tính.

Trước đây, hai loại tài nguyên này thường được đặt *tại địa điểm* phát triển hoặc sử dụng (on-premise). Việc đặt tài nguyên máy tính tại địa điểm xuất phát từ nhu cầu thiết yếu về mặt quản trị, bảo mật (giữ quyền kiểm soát vật lý), nhưng cũng có lí do về giới hạn công nghệ (tài nguyên đặt ở xa thì sử dụng chậm hơn). Điều này dẫn tới việc đến hai hậu quả:

- Công ty phải trả phí cho rất nhiều dịch vụ đi kèm, chủ yếu gồm lắp đặt và bảo trì.
- Người dùng trực tiếp (người lập trình, người vận hành) phần nào vẫn phải bận tâm đến những vấn đề ngoài chuyên môn (bảo trì, sử dụng).

Cả công ty và người sử dụng đều mất tiền và thời gian, công sức không cần thiết. Nói ngắn gọn, bài toán thực tế đặt ra là tài nguyên cần được cung cấp mà người dùng chỉ cần sử dụng trực tiếp, không phải lo việc bảo trì. Điện toán đám mây là một lời giải cho nhu cầu này.

Điện toán đám mây bắt nguồn từ ý tưởng rằng vị trí và các hoạt động bảo trì của tài nguyên cần *trong suốt với người dùng*, bằng cách đặt chúng trên máy chủ [6]. Ý tưởng này giải quyết được cả hai vấn đề đề cập ở trên:

- Người dùng chỉ cần kết nối đến máy chủ để truy cập và sử dụng tài nguyên, không cần quan tâm đến các công việc bảo trì như trước.
- Công ty chỉ cần trả chi phí định kì; phí này bao gồm tất cả chi phí mua sắm, vận hành, nâng cấp.

Với ý tưởng này, tài nguyên tính toán và lưu trữ trở thành một loại dịch vụ thuê bao, giống với nước, điện và sóng điện thoại. Tổng chi phí sở hữu (total cost of ownership - TCO) của doanh nghiệp được cắt giảm hoàn toàn, thay vào đó là phí thuê bao. Cùng với điện, nước, điện toán đám mây có chi phí sử dụng không quá đắt, do nhà cung cấp đã tối ưu được chi phí đầu tư thông qua việc mua sắm hạ tầng với số lượng lớn.

Vấn đề với cách hiểu trên là sự thiếu chính xác, thể hiện ở một số điểm sau:

- Thiếu tính hàn lâm
- Không phân biệt rõ ràng điện toán đám mây với một số dịch vụ đã từng tồn tại trước đó như máy chủ riêng ảo (VPS), điện toán lưới (grid computing)
- Khó tránh bị lạm dụng trong quảng cáo
 - Nhiều công ty, chủ yếu trong ngành dịch vụ máy chủ và ERP, trong đó có Dell, IBM, Oracle, dán mác "đám mây" cho các sản phẩm cũ của họ (cloudwashing) [5].
 - Dell từng cố đăng kí bản quyền cụm từ "điện toán đám mây".

Do vậy, cần thiết có một định nghĩa chính xác về điện toán đám mây. Phần tiếp theo trình bày một định nghĩa như vậy của NIST, được công nhận và trích dẫn rộng rãi, ra đời 5 năm sau khi điện toán đám mây trở nên phổ biến.

1.2 Định nghĩa của NIST

NIST định nghĩa điện toán đám mây như sau [4]:

Điện toán đám mây là mô hình cho phép truy cập một cách thuận tiện, theo yêu cầu vào một bể tài nguyên dùng chung. Tài nguyên đó có thể là mạng, máy chủ, thiết bị lưu trữ, ứng dụng, dịch vụ. Tài nguyên này có thể được cấu hình, có thể được cung cấp và hoàn trả nhanh chóng mà không cần can thiệp từ nhà cung cấp dịch vụ. Mô hình này gồm năm đặc tính:

- Tự phục vụ theo nhu cầu: Người dùng có thể sử dụng tài nguyên theo nhu cầu mà không cần liên hệ trước với nhà cung cấp dịch vụ.
- Truy cập qua mạng: Tài nguyên có thể được sử dụng qua mạng, bằng các thiết bị đầu cuối thông thường, từ điện thoại đến máy tính.
- Tài nguyên dùng chung: Tài nguyên của nhà cung cấp được gộp lại và cho mọi người dùng chung, sao cho sự riêng tư vẫn được đảm bảo. Dịch vụ cần đạt được sự trong suốt về vị trí, theo nghĩa là người dùng không cần kiểm soát hay biết vị trí địa lý của tài nguyên, nhưng có thể chỉ định vị trí ở mức cao hơn (quốc gia, địa điểm, trung tâm dữ liệu,...).

- Cung cấp tài nguyên linh hoạt: tài nguyên có thể được cung cấp cho người dùng một cách tự động, không cần người dùng biết, tùy theo mức tải. Với người dùng, dịch vụ trông gần như vô tận.
- Dịch vụ được điều tiết: Hệ thống tự động điều khiển và tối ưu việc sử dụng tài nguyên bằng các công cụ đo lường. Chi phí sử dụng được tính theo các thông số đo đạc này. Các thông số có thể là số server sử dụng, giống như nhiều dịch vụ trước đó, nhưng cũng có thể là những thông số kỹ thuật như số CPU, IOPS,... Thông tin sử dụng có thể được theo dõi, báo cáo cho cả người dùng và nhà cung cấp dịch vụ.

2 Phân loại điện toán đám mây

Tiếp nối phần một, phần này trình bày hai cách phân loại theo định nghĩa của NIST.

2.1 Phân loại theo mô hình dịch vụ

Phân loại theo mô hình dịch vụ là cách phân loại điện toán đám mây phổ biến hơn cả. Cách phân loại này chia điện toán đám mây ra ba mô hình:

- Phần mềm dạng dịch vụ (SaaS)
- Nền tảng dạng dịch vụ (PaaS)
- Hạ tầng dạng dịch vụ (IaaS)

Hiểu đơn giản, XaaS - X dạng dịch vụ - nghĩa là dịch vụ đó cung cấp X, và X chạy trên hạ tầng nhà cung cấp. Ví dụ, một dịch vụ được phân loại vào SaaS nghĩa là dịch vụ đó cung cấp phần mềm, và phần mềm đó chạy trên hạ tầng máy tính của nhà cung cấp, chứ không phải nhà cung cấp đó bán phần mềm, rồi cho phép người dùng tự chọn nơi chạy. Từ "dịch vụ" là từ khóa quan trọng để hiểu XaaS. Thứ được cung cấp không phải hàng hóa nói chung, vì nó không hoàn toàn thuộc sở hữu của người mua.

Cách phân loại này dựa trên điểm nhìn của người sử dụng dịch vụ. Cụ thể hơn, nó dựa vào việc phân mức các quyền người dùng được làm với dịch vụ (gồm cả phần mềm và hạ tầng phần cứng) của nhà cung cấp dịch vụ điện toán đám mây. Nói cách khác, đây vừa là kiểu phân loại, vừa là kiểu phân cấp. Hình 1 cho thấy mức độ quyền của người dùng với ba mô hình.

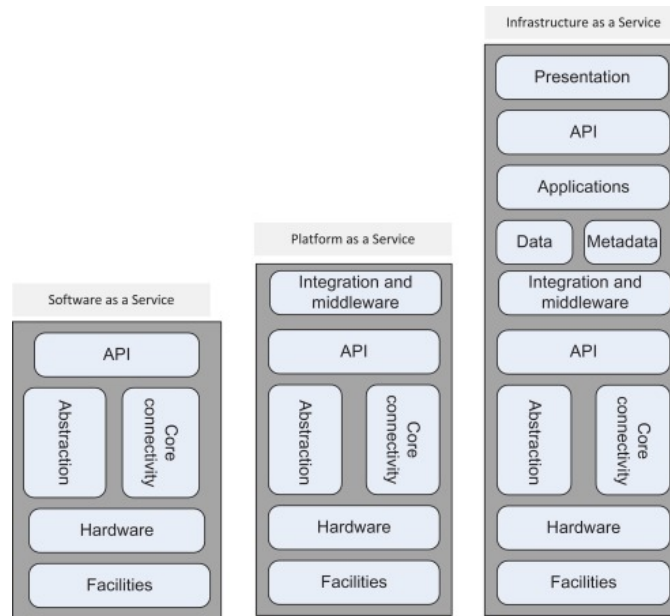


Figure 1: Bậc tự do của ba mô hình dịch vụ [1].

2.1.1 Phần mềm dạng dịch vụ

Trong mô hình phần mềm dạng dịch vụ (Software as a Service - SaaS), người dùng được truy cập phần mềm của nhà cung cấp, chạy trên hạ tầng của nhà cung cấp. Người dùng không phải quan tâm về hạ tầng và phần mềm, chỉ đơn thuần sử dụng dịch vụ. Ví dụ điển hình của loại dịch vụ này là Office 365, Google Apps (dù được cung cấp miễn phí, Google có cách kiếm tiền riêng).

Phần mềm được cung cấp không chỉ là phần mềm viết riêng của nhà cung cấp dịch vụ, mà còn có thể là phần mềm từ một hãng thứ ba. Ví dụ cho trường hợp này là dịch vụ chạy SAP HANA trên AWS.

Dịch vụ dạng SaaS thường có khả năng truy cập nhanh bằng đại đa số các thiết bị có kết nối mạng. Điều này nhìn chung là đúng với cả ba mô hình dịch vụ (do việc xử lý nặng nề được chuyển về máy chủ), tuy nhiên SaaS có lợi thế là giảm tối đa can thiệp của người dùng, chỉ tập trung vào trải nghiệm, do đó số loại thiết bị có thể truy cập thuận tiện tăng lên đáng kể, bao gồm cả điện thoại thông minh.

Các loại dịch vụ SaaS có thể chia tiếp làm hai loại:

- Dịch vụ cho tập đoàn: CRM, quản lý tài chính/thuế,...
- Ứng dụng Web 2.0: mạng xã hội, blog,...

2.1.2 Hạ tầng dạng dịch vụ

Ở thái cực ngược lại với SaaS, hạ tầng dạng dịch vụ (Infrastructure as a Service - IaaS) cho phép người dùng can thiệp khá sâu vào hạ tầng phần mềm (hệ điều hành). Hạ tầng phần cứng vẫn do phía nhà cung cấp kiểm soát, do đặc tính ở xa, và đặc thù về cài đặt bên dưới (buộc phải sử dụng máy ảo, dẫn đến truy cập từ xa vào phần cứng bị giới hạn).

Cụ thể hơn, người dùng được quyền chuẩn bị/cấp phát (provisioning) CPU, RAM, lưu lượng mạng, và các tài nguyên cơ bản khác [3], có thể chạy bất kì phần mềm nào, bao gồm việc tùy chọn hệ điều hành để sử dụng. Quyền sử dụng ở mức sâu này là điểm đặc thù của IaaS, giúp thu hút những công ty không muốn đầu tư quá nhiều vào hạ tầng. Khả năng truy cập sâu này cũng cho phép người dùng cài đặt tính năng tự động tăng giảm quy mô tính toán (auto-scaling).

Ví dụ đáng chú ý nhất của mô hình này là Amazon Web Service. Ra đời vào năm 2006, đồng thời là dịch vụ kích hoạt cuộc đua đám mây, đây luôn là dịch vụ đi đầu, giúp thúc đẩy sự phát triển của điện toán đám mây. Người dùng có rất nhiều dịch vụ chuyên biệt để lựa chọn, trong đó quan trọng nhất là Elastic Compute Cloud (EC2). EC2 cho phép người dùng chọn trước cấu hình của từng đơn vị máy chủ (instance), cho phép chọn và cài lại hệ điều hành (machine image), và cung cấp mọi quyền cấp hệ điều hành cho người dùng. EC2 có tính năng tự động tăng giảm quy mô phần cứng (auto-scaling group, bằng việc tăng giảm số lượng instance). Tính mềm dẻo, thể hiện cả trong auto-scaling lẫn việc tính toán thời gian dùng ở mức chi tiết rất cao (thời gian sử dụng có thể tính theo giây), là điểm khiến EC2 là dịch vụ khác biệt với các công nghệ trước đó, tại thời điểm ra mắt.

2.1.3 Nền tảng dạng dịch vụ

Ở mức giữa của IaaS và SaaS là nền tảng dạng dịch vụ (Platform as a Service). Mô hình này cho phép người dùng chạy phần mềm và mã nguồn của riêng mình, nhưng bị giới hạn một số cài đặt về môi trường. Tùy theo nhà cung cấp mà các giới hạn có thể được nới lỏng hay thắt chặt, tuy nhiên một điểm chung đó là các dịch vụ PaaS không cho phép tùy ý lựa chọn hệ điều hành. Thông thường, người dùng được tải ứng dụng/mã nguồn của mình lên, và nó phải tương thích với môi trường (hệ điều hành,...) đã chọn trước. Nhà cung cấp thường cung cấp một số thư viện riêng để ứng dụng có thể làm việc tốt với môi trường đã chọn thay vì cho phép người dùng cài đặt tùy thích các phần mềm bên thứ ba.

Ví dụ cho mô hình này là Google App Engine. App Engine cho phép người dùng tải lên mã nguồn ở nhiều ngôn ngữ, có thư viện để lưu dữ liệu vào BigTable/BigQuery (thay cho các ứng dụng cơ sở dữ liệu OLTP/OLAP truyền thống), dùng ngôn ngữ truy vấn riêng, và hạn chế truy cập vào hệ điều hành.

IaaS thường chính là nền tảng đầu tiên để các mô hình còn lại trong kiểu phân loại này hoạt động.

2.1.4 Mở rộng: FaaS và DBaaS

Mở rộng định nghĩa XaaS, ta có thêm Function-aaS và Database-aaS. Hai loại hình này không nằm trong phân loại của NIST (do không thể hiện tính phân quyền), nhưng gần đây được nhắc đến nhiều do sự dễ dàng sử dụng. Cả hai đều ít nhiều liên quan đến và/hoặc hay bị nhầm với PaaS.

”Hàm” trong hàm ở dạng dịch vụ có ý so sánh với hàm - khối logic nhỏ nhất trong lập trình. FaaS chỉ chấp nhận mã nguồn nhỏ gọn, cho phép kiểm soát môi trường ít hơn cả PaaS, nhưng do đó cho phép thời gian xử lý nhanh, có thể auto-scaling mà gần như không cần cấu hình. Một khác biệt quan trọng nữa là FaaS không có process chờ kết nối mà được môi trường của nhà cung cấp kích hoạt khi cần. Các đặc điểm trên dẫn đến cách tính phí đặc biệt, chỉ tính lúc chương trình đang chạy (không tính ở chế độ chờ) và có độ chính xác đến phần trăm giây, hoặc tính theo số lần sử dụng [2]. Ví dụ tiêu biểu cho mô hình này là Amazon Lambda, Azure Function. Gần đây, FaaS bắt đầu phổ biến, gắn với kiến trúc serverless.

Cơ sở dữ liệu ở dạng dịch vụ là việc sử dụng cơ sở dữ liệu trên hạ tầng điện toán đám mây. Đây có thể coi là một kiểu SaaS hơn là PaaS. Các dịch vụ DBaaS mới (không đơn thuần là SaaS với phần mềm cơ sở dữ liệu có sẵn) như Google Bigtable có khả năng auto-scaling mà cơ sở dữ liệu thông thường không có, hoặc phải cấu hình thủ công, đồng thời cung cấp các tính năng nâng cao truyền thống như sao lưu.

2.2 Phân loại theo mô hình triển khai

Tiếp tục cách phân loại của NIST, có bốn mô hình triển khai, phân loại dựa theo độ riêng tư của môi trường.

2.2.1 Điện toán đám mây dùng riêng

Đây là mô hình có mức độ riêng tư, hiệu năng và bảo mật cao nhất. Trong mô hình này, toàn bộ hạ tầng được dùng để phục vụ một tổ chức duy nhất. Hạ tầng có thể được quản lý bởi một bộ phận hoặc bên thứ ba, có thể đặt tại công ty hoặc ở một địa điểm khác, có thể là công ty tự mua và cài đặt hoặc thuê trọn gói một phần của các nhà cung cấp dịch vụ lớn. Do chi phí đầu tư và quản lý quá lớn (kể cả trong trường hợp dùng dịch vụ của các công ty lớn), một mạng đám mây riêng thường yêu cầu chặt chẽ về mặt quy trình, được tích hợp tốt, dự đoán được các mở rộng trong tương lai, thì mới có hiệu quả về mặt chi phí tổng thể so với việc thuê thông thường.

Ví dụ về điện toán đám mây dùng riêng là Amazon Virtual Private Cloud - Amazon cho thuê riêng các instance, cho người dùng nhiều quyền hơn cả gói IaaS thông thường, tính bảo mật (cả phần mềm, phần cứng, vật lý) cao hơn, thậm chí cho phép tùy biến. Bộ Quốc phòng Mỹ có gói thầu JEDI giá 10 tỉ USD để xây dựng nền tảng điện toán đám mây dùng riêng mà Microsoft vừa thắng thầu. Nếu không có đủ chi phí để tự thiết kế một hệ thống đám mây, tổ chức có thể tùy biến lại phần mềm từ các dự án mã nguồn mở như OpenStack.

2.2.2 Điện toán đám mây công cộng

Trái ngược với mô hình riêng tư, mô hình công cộng cho phép mọi người cùng truy cập vào bể tài nguyên chung. Khác biệt chính so với mô hình riêng tư chủ yếu là ở độ bảo mật của dữ liệu.

Ví dụ về công ty theo mô hình điện toán đám mây công cộng là ba dịch vụ lớn: Amazon Web Service, Microsoft Azure, Google Cloud Platform.

2.2.3 Điện toán đám cộng đồng

Đây là mô hình trung hòa giữa mô hình cộng đồng và mô hình riêng tư. Ở mô hình này, một số tổ chức cùng nhau thuê hoặc mua thiết bị, cùng nhau quản lý hạ tầng mạng. Ngoài việc nâng số tổ chức được dùng của mô hình riêng tư lên lớn hơn 1, hai mô hình này cũng không khác gì nhau về mặt kĩ thuật.

2.2.4 Điện toán đám mây lai

Trong dạng này, hạ tầng đám mây có thể được kết hợp từ nhiều hơn một mô hình kể trên. Tuy nhiên, hạ tầng đám mây không được gộp lại quản lí chung, mà "lai" ở đây hiểu theo nghĩa các mạng thành phần có khả năng giao tiếp, chia sẻ với nhau. Từng hạ tầng vẫn do tổ chức riêng quản lí, tuy nhiên trong trường hợp cần thiết có thể chia sẻ tài nguyên cho nhau. Hạ tầng giao tiếp giữa các mạng thường rất phức tạp, và có thể yêu cầu sự tương thích từ các phần mềm cốt lõi hệ thống. Một ví dụ cho khả năng của mô hình này là việc cân bằng tải giữa hai mô hình hạ tầng khác nhau (sau cùng, hạ tầng đám mây cũng vẫn cung cấp tài nguyên tính toán và lưu trữ).

3 Phân tích khả năng sử dụng điện toán đám mây của Đại học Quốc gia Hà Nội

3.1 Bối cảnh

Đại học Quốc gia Hà Nội có các cơ sở đào tạo tập trung trong nội thành Hà Nội, có số sinh viên mỗi khóa từ 8000-10000. Lấy trung bình là 9000 một khóa, nhân với 4 khóa, cộng thêm số học viên tốt nghiệp muộn, giảng viên, viên chức, hoặc học chương trình sau đại học sẽ là khoảng 45000 người, tính dư thừa tránh nghẽn là 50000. Trường có 10 khoa, 2 campus chính (Xuân Thủy và Nguyễn Trãi).

Hiện tại, ở Việt Nam đã có nhiều dịch vụ cung cấp hạ tầng điện toán đám mây IaaS, tiêu biểu có Viettel IDC. IDC có trung tâm dữ liệu đặt ở Hòa Lạc, không xa so với hai campus của trường. Tương lai trường sẽ chuyển hẳn lên Hòa Lạc, nếu sử dụng dịch vụ của Viettel thì càng tiện lợi. Tuy nhiên, Viettel IDC nói riêng và dịch vụ điện toán đám mây ở Việt Nam nói chung chưa có tính năng auto-scaling.

3.2 Thực trạng

Trong nhiều năm nay, nhu cầu sử dụng cao nhất của các học viên là hệ thống đăng kí học, hệ thống website môn học hệ thống báo điểm và hệ thống thông tin thư viện, với các kiểu tải khác nhau:

- Hệ thống đăng kí học
 - CCU ¹: 1000-5000 tùy trường
 - * Từng trường có thời gian đăng kí khác nhau, nên CCU không quá lớn, nhưng luôn ở mức tối đa tùy trường.
 - Thời lượng tải: 2-4 giờ mỗi học kì, vào một ngày xác định (tùy trường)
 - Đặc điểm phiên sử dụng:
 - * Dữ liệu ít, đơn giản (chỉ gửi request JSON nhẹ).
 - * Chất lượng dịch vụ có yêu cầu cao (không mất dữ liệu đã đăng kí).
 - **Thực trạng:** Luôn quá tải
 - * Thời gian tải lâu.
 - * Kết nối và dữ liệu thường xuyên bị mất.
- Hệ thống website môn học
 - CCU: 50-1000
 - Thời lượng tải: tập trung vào 1h cuối ngày (deadline nộp bài)
 - Đặc điểm phiên sử dụng:
 - * Tải xuống không nhiều (tải tài liệu PDF nhẹ rải rác cả ngày).
 - * Tải lên tập trung vào cuối ngày (sinh viên nộp bài tập).
 - **Thực trạng:** Ổn định, hơi chậm
- Hệ thống thông tin thư viện
 - CCU: 50-5000 mỗi thư viện (có hai thư viện chính)
 - Thời lượng tải: tăng dần trong kì học, đạt đỉnh vào một tháng diễn ra kì thi
 - Đặc điểm phiên sử dụng:
 - * Phiên phức tạp (tìm kiếm trong cơ sở dữ liệu lớn).
 - * Dữ liệu nặng (file PDF khá nặng, chưa kể PDF scan).
 - **Thực trạng:** Chậm
- Hệ thống báo điểm

¹CCU: Concurrent users - Số người dùng cùng lúc.

- CCU: 2000-5000 (thời gian báo điểm của các trường sát nhau)
- Thời lượng tải: một tháng sau thi
- Đặc điểm phiên sử dụng:
 - * Nhiều người cùng chờ điểm.
 - * File PDF điểm khá nhẹ.
- **Thực trạng:** Chậm

Đặc biệt, trong mùa dịch (tình huống đặc biệt, rất hiếm khi xảy ra), nhu cầu sử dụng website môn học tăng, nhưng không tăng đột biến, với hai lí do như sau:

- Nhiều kênh liên lạc khác phổ biến hơn (Facebook, Zalo).
- Chức năng đặc biệt tốn tài nguyên là stream bài dạy thì không được ưa chuộng (dùng Skype/Zoom).

Các hệ thống còn lại của trường chỉ có hệ thống quản lí sinh viên là có tầm quan trọng đáng kể. Hệ thống này chỉ dành cho một số cán bộ quản lí.

3.3 Phân tích

3.3.1 Hệ thống đăng kí học và Hệ thống báo điểm

Do đặc điểm tải tăng mạnh nhưng lại dự đoán được thời điểm, đây là hệ thống lí tưởng để triển khai trên hạ tầng điện toán đám mây. Với nguồn thu tăng (tăng học sinh, tăng học phí, có chương trình thông tư 32), tải có sự phân cực rõ rệt, đồng thời thời gian đạt đỉnh rất ngắn, việc đưa hệ thống này lên mây là nhu cầu bức thiết của sinh viên. Nhìn chung đây cũng là vấn đề của đại đa số đại học trên cả nước, nếu thực hiện tốt sẽ tạo hình ảnh tích cực về trường.

3.3.2 Hệ thống thông tin thư viện

Hệ thống này có nhu cầu cao vào khoảng cuối kì, có thể nói là dự đoán được thời điểm, nhưng số CCU vẫn khó dự đoán. Lượng dữ liệu lớn, truy vấn không đơn giản. Hệ thống này có thể được đưa lên mây, tuy nhiên cần cân nhắc kĩ chi phí.

3.4 Hệ thống website môn học

Hệ thống này không có tải cao rõ rệt. Với chất lượng ổn định, hệ thống này không cần thiết phải đưa lên mây.

3.5 Hệ thống quản lí sinh viên

Hệ thống quản lí sinh viên có đặc thù chỉ dành cho các cán bộ quản lí, đồng thời yêu cầu cao về bảo mật. Hiện tại, hệ thống được đặt trong máy chủ ở trường, vừa đảm bảo tính bảo mật, vừa đảm bảo tốc độ truy cập nhanh cho công tác quản lí. Hệ thống này không cần đưa lên mây vì hiện tại đủ tốt, tuy nhiên cần có hệ thống sao lưu dữ liệu thường xuyên, một số nhà cung cấp dịch vụ điện toán đám mây ở Việt Nam đã hỗ trợ dịch vụ lưu trữ lâu dài cần thiết cho sao lưu.

References

- [1] Cloud Security Alliance. *Security guidance for critical areas of focus in cloud computing V3.0*. 2011. URL: <https://web.archive.org/web/20160613043220/https://cloudsecurityalliance.org/guidance/csaguide.v3.0.pdf> (visited on 03/20/2020).
- [2] *How are serverless computing and Platform-as-a-Service different?* URL: <https://web.archive.org/web/20190520034637/https://www.cloudflare.com/learning/serverless/glossary/serverless-vs-paas/> (visited on 03/20/2020).
- [3] Dan C. Marinescu. “Chapter 2 - Cloud Service Providers and the Cloud Ecosystem”. In: *Cloud Computing (Second Edition)*. Ed. by Dan C. Marinescu. Second Edition. Morgan Kaufmann, 2018, pp. 13–49. ISBN: 978-0-12-812810-7. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812810-7.00002-9>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128128107000029>.
- [4] Peter M. Mell and Timothy Grance. *SP 800-145. The NIST Definition of Cloud Computing*. Tech. rep. Gaithersburg, MD, USA, 2011.
- [5] Antonio Regalado. *Who Coined 'Cloud Computing'?* Oct. 2011. URL: <https://www.technologyreview.com/s/425970/who-coined-cloud-computing/> (visited on 03/12/2020).
- [6] Eric Schmidt. *Conversation with Eric Schmidt hosted by Danny Sullivan, Search Engine Strategies Conference*. Aug. 2006. URL: <https://web.archive.org/web/20191030190155/https://www.google.com/press/podium/ses2006.html> (visited on 03/11/2020).