

Hệ thống điện toán đám mây nguồn mở của Eucalyptus

Daniel Nurmi, Rich Wolski, Chris Grzegorzczak
Diễn viên: Graziano ObertelliSunil SomanLamia YouseffDmitrii Zagorodnov

Khoa Khoa học Máy tính
Đại học California, Santa Barbara
Santa Barbara, California 93106

trường

Các hệ thống điện toán đám mây về cơ bản cung cấp nguồn năng lượng cho các nhóm dữ liệu và tài nguyên tính toán lớn thông qua một loạt các giao diện tương tự như tinh thần để tồn tại lưu trữ điện và hệ thống kết hợp chương trình và quản lý tài nguyên HPC. Các loại hệ thống này cung cấp một mục tiêu về đồ thị chuyên nghiệp mới cho các nhà phát triển ứng dụng có thể mở rộng và đã trở nên phổ biến trong vài năm qua. Tuy nhiên, hầu hết các hệ thống điện toán đám mây đang hoạt động ngày nay đều là hệ thống cơ bản chuyên nghiệp, dựa trên cơ sở hạ tầng không thể nhìn thấy đối với cộng đồng nghiên cứu, hoặc không được thiết kế rõ ràng để trở thành được thiết kế và sửa đổi bởi các nhà nghiên cứu hệ thống.

Trong công việc này, chúng tôi giới thiệu EUCALYPTUS - một khung phần mềm mã nguồn mở cho điện toán đám mây đáp ứng những gì thường được gọi là Cơ sở hạ tầng dịch vụ (IaaS); hệ thống cung cấp cho người dùng khả năng chạy và kiểm soát toàn bộ phiên bản máy ảo được triển khai trên nhiều tài nguyên vật lý khác nhau. Chúng tôi thảo luận các nguyên tắc cơ bản của thiết kế EUCALYPTUS, chi tiết các khía cạnh hoạt động quan trọng của hệ thống và thảo luận về sự đánh đổi kiến trúc lưu trữ mà chúng tôi đã thực hiện để cho phép Eucalyptus có thể di động, mở rộng và sử dụng đơn giản trên cơ sở hạ tầng thường thấy trong môi trường học thuật. Cuối cùng, chúng tôi cung cấp bằng chứng cho thấy EUCALYPTUS cho phép người dùng quen thuộc với các hệ thống Grid và HPC hiện có để khám phá chức năng điện toán đám mây mới trong khi duy trì quyền truy cập vào sự phát triển ứng dụng quen thuộc, hiện có phần mềm và Grid middle-ware.

1. Giới thiệu

Có nhiều cách mà sức mạnh tính toán và các cơ sở lưu trữ dữ liệu được cung cấp cho người dùng, được chuyển từ một người dùng truy cập vào một máy tính xách tay duy nhất đến hàng nghìn nút máy tính được phân phối xung quanh thế giới. Người dùng thường xác định vị trí tài nguyên dựa trên nhiều đặc điểm, bao gồm kiểm tra lưu trữ phần cứng, bộ nhớ và dung lượng lưu trữ, kết nối mạng và, đôi khi, vị trí địa lý. Thông thường, quy trình định vị lại nguồn này bao gồm sự kết hợp của nguồn tài nguyên

khả năng, hồ sơ hiệu suất ứng dụng, yêu cầu dịch vụ phần mềm và kết nối quản trị. Trong khi những bước tiến lớn đã được thực hiện trong các cộng đồng như HPC và Grid Com [15, 7] hướng tới việc tạo ra tài nguyên cung cấp các tiêu chuẩn [14, 18, 33, 38], quá trình này hơi rườm rà đối với người dùng với các yêu cầu phức tạp về nguồn.

Ví dụ: một người dùng yêu cầu một số lượng lớn tài nguyên tính toán có thể phải liên hệ với một số các nhà cung cấp tài nguyên khác nhau để đáp ứng các yêu cầu của họ. Khi nhóm tài nguyên cuối cùng được phân phối, nó thường không đồng nhất, làm cho nhiệm vụ lập hồ sơ hiệu suất và sử dụng hiệu quả các nguồn lực trở nên khó khăn. Trong khi một số người dùng có kiến thức chuyên môn cần thiết để khai thác tính không đồng nhất của tài nguyên, thì nhiều người lại thích một môi trường nơi tài nguyên phần cứng, ngăn xếp phần mềm và môi trường kết hợp chương trình là thống nhất. Sự đồng nhất như vậy làm cho nhiệm vụ phát triển ứng dụng quy mô lớn và triển khai dễ tiếp cận hơn.

Gần đây, một số hệ thống đã phát sinh ra cảm giác dễ dàng chuyển đổi những gì về cơ bản là một quy mô lớn thủ công cung cấp tài nguyên và vấn đề lập trình thành một khái niệm trường học hơn thường được gọi là tính đàn hồi, tiện ích hoặc điện toán đám mây (chúng tôi sử dụng thuật ngữ “điện toán đám mây” để chỉ các hệ thống này trong phần còn lại của tài liệu này. công việc). Khi số lượng và quy mô của hệ thống điện toán đám mây tiếp tục phát triển, cần phải có nghiên cứu quan trọng để xác định các hướng mà chúng ta có thể theo đuổi nhằm hướng tới mục tiêu thành công các nền tảng điện toán đám mây trong tương lai. Tuy nhiên, hầu hết các dịch vụ điện toán đám mây hiện có đều là độc quyền hoặc phụ thuộc vào phần mềm không thể sửa chữa được để thử nghiệm hoặc thiết bị. Các nhà nghiên cứu quan tâm đến việc theo đuổi cơ sở hạ tầng điện toán đám mây có rất ít công cụ để hoạt động.

Thật không may, việc thiếu các công cụ nghiên cứu cho rằng ngay cả những câu hỏi cơ bản nhất vẫn chưa được trả lời: kiến trúc phân tán phù hợp cho hệ thống điện toán đám mây là gì? Những đặc điểm tài nguyên phải Bộ lập lịch phiên bản VM xem xét để làm cho hiệu quả nhất sử dụng các nguồn lực? Làm thế nào để chúng tôi xây dựng phiên bản VM

mạng linh hoạt, hoạt động tốt và an toàn?
Ngoài ra, các câu hỏi liên quan đến lợi ích của dịch vụ đặt com trên đám mây vẫn còn khó giải quyết. Ứng dụng nào mà nguồn điện có thể đư ợc hưởng lợi nhiều nhất từ hệ thống điện toán đám mây và những gì giao diện là thích hợp? Những loại dịch vụ các thỏa thuận cấp độ mà điện toán đám mây nên cung cấp? Làm sao hệ thống điện toán đám mây có thể đư ợc hợp nhất với nhiều hệ thống cung cấp tài nguyên khác đã đư ợc triển khai không?

Hệ thống điện toán đám mây cung cấp nhiều loại giao diện và trườ u ợng khác nhau, từ khả năng để cung cấp động toàn bộ máy ảo (tức là, Hệ thống cơ sở hạ tầng như một dịch vụ như Amazon EC2 và những ngư ời khác [4, 12, 27, 9, 30]) để truy cập linh hoạt vào máy chủ lư u trữ dịch vụ phần mềm (nghĩa là các hệ thống Phần mềm đư ới dạng Dịch vụ chẳng hạn như salesforce.com và những trang khác [37, 20, 21, 29]). Tất cả các, tuy nhiên, hãy chia sẻ quan điểm rằng các tài nguyên đư ợc phân phối phải đư ợc xác định rõ ràng, cung cấp hiệu quả xác định hợp lý và có thể đư ợc phân bổ và hủy phân bổ theo yêu cầu.

Chúng tôi đã tập trung nỗ lực vào lớp "thấp nhất" của đám mây hệ thống máy tính (IaaS) vì ở đây chúng tôi có thể cung cấp một nền tảng vững chắc trên đó ngôn ngữ-, dịch vụ-, và các hệ thống điện toán đám mây cấp ứng dụng có thể đư ợc quan tâm và phát triển.

Trong công việc này, chúng tôi giới thiệu EUCLYPTUS: một mã nguồn mở khung điện toán đám mây sử dụng tính toán và cơ sở hạ tầng lư u trữ thư ờng có sẵn cho các nhóm tìm kiếm học thuật lại để cung cấp một nền tảng mô-đun và mở cho thiết bị thử nghiệm và nghiên cứu. Với EU CALYPTUS, chúng tôi dự định giải quyết các câu hỏi mở trên đám mây tính toán trong khi cung cấp một khung mã nguồn mở chung hoạt động mà chúng tôi hy vọng một cộng đồng phát triển sẽ nảy sinh. EUCLYPTUS bao gồm một số nent compo tư ợng tác với nhau thông qua

giao diện, mời các nhà nghiên cứu thay thế triển khai của chúng tôi bằng giao diện của họ hoặc sửa đổi các mô-đun hiện có. Nơi đây, chúng tôi giải quyết một số câu hỏi quan trọng về điện toán đám mây, bao gồm lập lịch phiên bản máy ảo, máy ảo và dữ liệu ngư ời dùng, giao diện quản trị điện toán đám mây, cấu tạo của mạng ảo, định nghĩa và thực thi các thỏa thuận cấp phó (đám mây / ngư ời dùng và đám mây / đám mây), và giao diện ngư ời dùng điện toán đám mây. Trong công việc này, chúng tôi sẽ thảo luận chi tiết hơn về từng chủ đề này và cung cấp mô tả đầy đủ về các triển khai ban đầu của chúng tôi đối với các cảnh báo như vậy trong khuôn khổ phần mềm EUCLYPTUS .

2 Công việc liên quan

Các dự án ảo hóa máy sản xuất phần mềm ảo hóa Virtual Ma chine (VM) [5, 6, 25, 40] đã kích hoạt các cơ chế mới để cung cấp tài nguyên cho ngư ời dùng.

Đặc biệt, những nỗ lực này đã ảnh hưởng đến dấu hiệu phần cứng [3, 22, 26] để hỗ trợ hệ thống lư u trữ hoạt động minh bạch. Kiến trúc ảo hóa “đúng” tạo ra một lĩnh vực nghiên cứu mở [2]): phân tích, tối ưu hóa và hiểu hiệu suất của hệ thống ảo hóa [23, 24, 31, 32, 41] là một lĩnh vực nghiên cứu tích cực.

EUCLYPTUS triển khai điện toán đám mây “điều hành

hệ thống ”có nghĩa là, theo thiết kế, bất khả tri hypervisor. Tuy nhiên, việc triển khai hiện tại của hệ thống sử dụng dựa trên Xen ảo hóa làm siêu giám sát mục tiêu ban đầu của nó.

Điện toán lư ới phải đư ợc thừa nhận là anh em ruột của intellection, nếu không phải là tổ tiên của điện toán đám mây [7, 15, 33, 38]. Phép ẩn dụ ban đầu cho một tiện ích tính toán, trên thực tế, đặt tên cho điện toán lư ới. Mặc dù đặt mạng lư ới com và điện toán đám mây chia sẻ một dịch vụ theo định hướng ap proach [16, 17] và có thể thu hút một số ngư ời dùng giống nhau (ví dụ: các nhà nghiên cứu và nhà phân tích thực hiện tính toán song song), chúng khác nhau theo hai cách chính. Ngày thứ nhất, hệ thống lư ới đư ợc kiến trúc sao cho các yêu cầu của ngư ời dùng cá nhân có thể (và nên) sử dụng phần lớn tổng tài nguyên [34]. Hệ thống đám mây thư ờng giới hạn kích thước của một yêu cầu cá nhân chỉ bằng một phần nhỏ so với dung lư ợng khả dụng [4] và thay vào đó, hãy tập trung vào việc mở rộng quy mô thành hỗ trợ số lư ợng lớn ngư ời dùng.

Sự khác biệt chính thứ hai liên quan đến liên đoàn. Từ nó Khi mới thành lập, điện toán lư ới đã sử dụng phương pháp ap dựa trên phần mềm trung gian như một cách để thúc đẩy liên kết tài nguyên giữa các các lĩnh vực hành chính hợp tác, nhưng riêng biệt [14]. Cho đến nay, các địa điểm cung cấp dịch vụ đám mây vẫn chứ a đư ợc liên kết. Đó là một hệ thống đám mây thư ờng đư ợc vận hành bởi một hệ thống duy nhất (có khả năng lớn) thực thể với cơ quan hành chính ủy quyền cấu hình thống nhất, chính sách lập lịch, v.v. Trong khi EUCLYPTUS đư ợc thiết kế để quản lý và kiểm soát các tập hợp lớn các tài nguyên phân tán, nó phù hợp với thiết kế các ràng buộc quản lý các hệ thống đám mây liên quan đến việc đư ợc cung cấp quyền quản trị và phân bổ tài nguyên chính sách.

Một phần nhờ các cơ sở vật chất mới đư ợc cung cấp bởi các nền tảng alu hóa kỹ thuật, một số lư ợng lớn các hệ thống đã đư ợc đư ợc xây dựng bằng cách sử dụng các công nghệ này để cung cấp các dịch vụ Trong mạng ternet có thể mở rộng [4, 1, 8, 10, 11, 19, 37], có chung nhiều đặc điểm hệ thống: chúng phải có khả năng nhanh chóng tăng và giảm quy mô khi khối lư ợng công việc dao động, hỗ trợ một số lư ợng lớn ngư ời dùng yêu cầu tài nguyên “theo yêu cầu”, và cung cấp quyền truy cập ổn định vào các tài nguyên đư ợc cung cấp qua Internet công cộng. Trong khi các chi tiết về các kiến trúc nguồn lại cơ bản mà các hệ thống này hoạt động là không đư ợc xuất bản phổ biến, EUCLYPTUS gần như chắc chắn chia sẻ một số đặc điểm kiến trúc với các tem hệ thống này do các mục tiêu chung và mục tiêu thiết kế.

Ngoài điện toán đám mây thư ợng mại của các dự án đư ợc đề cập ở trên (Amazon EC2 / S3, Google Ap pEngine, Salesforce.com, v.v.), duy trì cơ sở hạ tầng đạo đức độc quyền với giao diện mở, có các dự án nguồn mở nhằm cung cấp tài nguyên với

trợ giúp của ảo hóa. Usher [30] là một khung quản lý máy ảo mã nguồn mở mô-đun từ học viện. Enomalism [12] là một cơ sở hạ tầng phần mềm đám mây mã nguồn mở của một công ty mới thành lập. Áo Không gian làm việc [27] là hệ thống [14] dựa trên Globus dành cho không gian làm việc có tầm nhìn chuyên nghiệp (tức là máy ảo), hệ thống này tận dụng một số giải pháp đã có từ trư ớc đư ợc phát triển trong điện toán lư ới

đầu tư ờng ỉng. Dự án Cluster-on-demand [9] tập trung vào việc cung cấp các máy ảo cho các ứng dụng đũa com khoa học. oVirt [35] là một bảng điều khiển quản lý ma chine ảo dựa trên Web.

Mặc dù các dự án này tạo ra các tạo phẩm phần mềm tư ờng tự như EUCALYPTUS, nhưng vẫn có một số điểm khác biệt. Đầu tiên, EUCALYPTUS đợc thiết kế ngay từ đầu để dễ cài đặt và không xâm phạm nhất có thể, không yêu cầu các trang web dành riêng tài nguyên cho nó (thậm chí người ta có thể cài đặt nó trên máy tính xách tay để thử nghiệm.) Thứ hai, khung phần mềm EUCALYPTUS có tính mô-đun cao, với các cơ chế thông tin liên lạc theo tiêu chuẩn ngành, ngôn ngữ bất khả tri, mà chúng tôi hy vọng sẽ khuyến khích các phần mở rộng của bên thứ ba cho hệ thống và phát triển cộng đồng. Thứ ba, giao diện bên ngoài của EUCALYPTUS dựa trên một API đã phổ biến do Amazon phát triển.

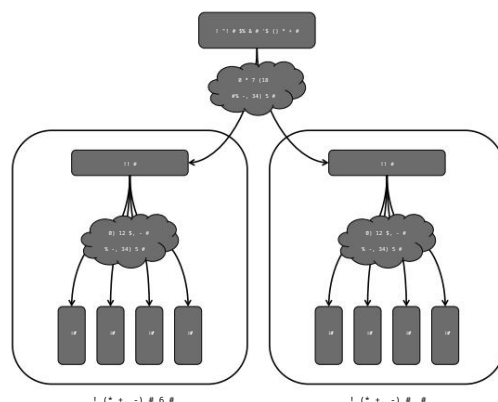
Cuối cùng, EUCALYPTUS là duy nhất trong số các dịch vụ mã nguồn mở trong việc cung cấp lớp phủ mạng ảo vừa cách ly lưu lượng mạng của những người dùng khác nhau vừa cho phép hai hoặc nhiều cụm hơn để đợc ờng như thuộc cùng một Mạng cục bộ (LAN).

Nhìn chung, chúng tôi thấy rằng ngày nay có rất nhiều hệ thống điện toán đám mây trong thiết kế và vận hành, ví dụ như giao diện với phần mềm độc quyền và đóng cũ ng như các nguồn cung cấp lại, một số lưu ợng nhỏ hơn cung cấp tính toán đám mây nguồn mở thư ờng đòi hỏi nỗ lực đáng kể và / hoặc dành nguồn lực để sử dụng và không có hệ thống nào là phụ thuộc vào EUCALYPTUS đợc thiết kế đặc biệt với sự hỗ trợ khám phá học thuật và sự tham gia của cộng đồng làm mục tiêu thiết kế cơ bản.

3 Thiết kế EUCALYPTUS

Kiến trúc của hệ thống EUCALYPTUS đơn giản, linh hoạt và có tính mô-đun với thiết kế phân cấp phản ánh các môi trường học tài nguyên chung đợc tìm thấy trong nhiều môi trường học thuật. Về bản chất, hệ thống cho phép người dùng khởi động, điều khiển, truy cập và kết thúc toàn bộ máy ảo bằng cách sử dụng mô phỏng SOAP của Amazon EC2 và "Truy vấn" trong các mặt bằng. Nghĩa là, người dùng EUCALYPTUS tương tác với hệ thống bằng chính các công cụ và giao diện mà họ sử dụng để tương tác với Amazon EC2. Hiện tại, chúng tôi hỗ trợ các máy ảo chạy trên đỉnh siêu giám sát Xen [5], nhưng có kế hoạch thêm hỗ trợ cho KVM / QEMU [6], VMware [40] và các máy khác trong tương lai gần.

Chúng tôi đã chọn triển khai từng thành phần hệ thống cấp cao như một dịch vụ Web độc lập. Điều này có những lợi ích sau: đầu tiên, mỗi dịch vụ Web hiển thị một API bất khả tri ngôn ngữ đợc xác định rõ ràng đợc ờng dạng một tài liệu WSDL chứa cả hai hoạt động mà dịch vụ có thể thực hiện và cấu trúc dữ liệu đầu vào / đầu ra. Thứ hai, chúng tôi có thể tận dụng các tính năng của dịch vụ Web hiện có như các chính sách Bảo mật của WS để liên lạc an toàn giữa những người cùng tham gia. Có bốn thành phần cấp cao, mỗi thành phần có giao diện dịch vụ Web riêng, bao gồm cài đặt EUCALYPTUS :



Hình 1. EUCALYPTUS sử dụng dấu hiệu phân cấp để phản ánh cấu trúc liên kết tài nguyên cơ bản.

- Bộ điều khiển Node kiểm soát việc thực thi, kiểm tra và kết thúc các phiên bản VM trên máy chủ nơi nó chạy.
- Bộ điều khiển cụm thu thập thông tin về và lên lịch thực thi VM trên các bộ điều khiển nút cụ thể, cũ ng như quản lý mạng phiên bản ảo.
- Bộ điều khiển lưu trữ (Walrus) là một dịch vụ lưu trữ đũa / lấy triển khai giao diện S3 của Amazon, cung cấp cơ chế lưu trữ và truy cập hình ảnh máy ảo và dữ liệu người dùng.
- Bộ điều khiển đám mây là điểm vào đám mây cho người dùng và quản trị viên. Nó truy vấn người quản lý nút để biết thông tin về tài nguyên, đũa ra quyết định lập lịch trình cấp cao và thực hiện chúng bằng cách đũa ra yêu cầu cho bộ điều khiển cụm.

Các mối quan hệ và vị trí triển khai của từng thành phần trong một thiết lập cụm nhỏ điển hình đợc thể hiện trong Hình 1.

Bộ điều khiển nút

Bộ điều khiển nút (NC) thực thi trên mọi nút đợc chỉ định để lưu trữ các phiên bản máy ảo. Một NC truy vấn và điều khiển phần mềm hệ thống trên nút của nó (nghĩa là hệ điều hành máy chủ và trình ảo hóa) để phản hồi các truy vấn và yêu cầu điều khiển từ Bộ điều khiển cụm của nó.

Một NC thực hiện các truy vấn để khám phá tài nguyên vật lý của nút - số lưu ợng lõi, kích thước bộ nhớ, dung lượng đĩa khả dụng - cũ ng như để tìm hiểu về trạng thái của các phiên bản VM trên nút (mặc dù NC theo dõi các phiên bản nó kiểm soát, các cá thể có thể đợc bắt đầu và dừng lại thông qua các cơ chế ngoài tầm kiểm soát của NC). Do đó, thông tin thu thập đợc sẽ đợc truyền tới Bộ điều khiển cụm trong các phản hồi để mô tả Nguồn và mô tả các yêu cầu Phiên bản.

Bộ điều khiển cụm kiểm soát các phiên bản VM trên một nút bằng cách thực hiện các yêu cầu runInstance và endInstance đối với NC của nút. Sau khi xác minh ủy quyền - ví dụ: chỉ chủ sở hữu của một phiên bản hoặc quản trị viên được phép chấm dứt nó - và sau khi xác nhận tính khả dụng của tài nguyên, NC thực hiện yêu cầu với sự hỗ trợ của giám sát viên hy. Để bắt đầu một phiên bản, NC tạo một nút cục bộ bản sao của các tệp hình ảnh cá thể (hạt nhân, tệp gốc hệ thống và hình ảnh đĩa ram), từ một kho lưu trữ định tuổi từ xa hoặc từ bộ đệm ẩn cục bộ, tạo ra một điểm kết thúc mới trong lớp phủ mạng ảo và hướng dẫn người dùng giám sát hy khởi động phiên bản. Để dừng một phiên bản, NC hướng dẫn hypervisor kết thúc VM, rời lệ điểm cuối của mạng ảo và xóa các tệp được kết hợp với phiên bản (hệ thống tệp gốc không được cung cấp trừ sau khi phiên bản kết thúc).

Bộ điều khiển cụm

Bộ điều khiển cụm (CC) thường thực thi trên máy đầu cuối của cụm hoặc bất kỳ máy nào có kết nối công việc mạng với cả các nút đang chạy NC và với máy chạy Bộ điều khiển đám mây (CLC). Nhiều các hoạt động của CC tương tự như các toán hạng của NC như ng nói chung là số nhiều thay vì số ít (ví dụ: runInstances, descriptionInstances, terminstances, de scribeResources). CC có ba chức năng chính: lên lịch các yêu cầu chạy phiên bản đến của phiên bản đến cho các NC cụ thể, kiểm soát lớp phủ mạng ảo phiên bản và thu thập/báo cáo thông tin về một tập NC. Khi một CC nhận được một tập hợp các thể hiện để chạy, nó liên hệ với từng thành phần NC thông qua hoạt động descriptionResource của nó và gửi runInstances yêu cầu NC đầu tiên có đủ dung lượng trống tài nguyên để lưu trữ phiên bản. Khi CC nhận được yêu cầu de scribeResources, nó cũng nhận được danh sách tài nguyên đặc điểm (lỗi, bộ nhớ và đĩa) mô tả các yêu cầu tài nguyên cần thiết của một phiên bản (được gọi là VM "loại"). Với thông tin này, CC tính toán có bao nhiêu trữ ứng hợp đồng thời của "loại" cụ thể có thể thực thi trên bộ sưu tập NC của nó và báo cáo số đó trở lại CLC.

Lớp phủ mạng ảo

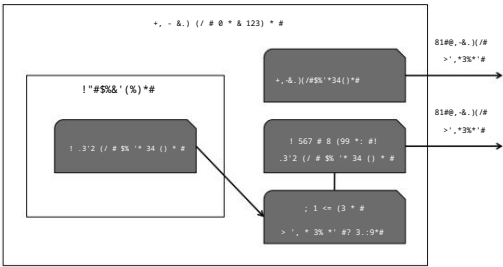
Có lẽ một trong những thách thức thú vị nhất trong cơ sở hạ tầng điện toán đám mây là VM sự liên kết ví dụ. Khi thiết kế EUCLYP TUS, chúng tôi nhận thấy rằng mạng phiên bản VM do đó cần thận trọng giải quyết khả năng kết nối, cách ly và tính năng cây chùy.

Trước hết, mọi máy ảo mà EUCLYP TUS điều khiển phải có kết nối mạng với từng máy ảo. khác, và ít nhất là một phần vào Internet công cộng (chúng tôi sử dụng từ "một phần" để biểu thị rằng ít nhất một máy ảo trong tư thế trong một "tập hợp" các trữ ứng hợp phải được hiển thị bên ngoài để chủ sở hữu tập hợp cá thể có thể đăng nhập và tương tác với cá thể của họ). Bởi vì người dùng được cấp quyền truy cập tài khoản siêu người dùng cho các máy ảo được cấp phép của họ, họ có thể có siêu người dùng

truy cập vào các giao diện mạng bên dưới. Khả năng này có thể gây ra các lo ngại về bảo mật, trong đó, một máy ảo người dùng ví dụ có thể có khả năng lấy IP hệ thống hoặc địa chỉ MAC và gây nhiễu trên hệ thống mạng hoặc với một máy ảo khác được đồng phân bổ trên cùng một nguồn tài nguyên vật lý. Do đó, trong một đám mây được chia sẻ bởi nhiều người dùng khác nhau, các máy ảo thuộc một phân bổ đám mây duy nhất phải có khả năng giao tiếp, nhưng các máy ảo thuộc phân bổ separate phải được cách ly. Cuối cùng, một trong những lý do quan trọng khiến các công nghệ ảo hóa hiện nay trở nên phổ biến như vậy là chi phí hiệu suất ảo hóa đã giảm đáng kể trong quá khứ vài năm, bao gồm cả chi phí của mạng ảo hóa giữa các mặt. Thiết kế của chúng tôi cố gắng duy trì mạng liên VM hiệu suất gần với bản địa nhất có thể.

Trong EUCLYP TUS, CC hiện xử lý tập hợp dỡ bỏ các giao diện mạng ảo ví dụ trong ba "chế độ" riêng biệt, do quản trị viên xác định, tương ứng với ba môi trường phổ biến mà chúng tôi hiện đang hỗ trợ. Cấu hình đầu tiên hướng dẫn EUCLYP TUS đính kèm giao diện của máy ảo trực tiếp với cầu nối Ethernet phần mềm được kết nối với mạng của máy vật lý thực, cho phép quản trị viên nhập các nhiệm vụ DHCP mạng VM giống như cách họ xử lý các yêu cầu DHCP không phải EUCLYP TUS component. Cấu hình thứ hai cho phép quản trị viên để xác định Kiểm soát truy cập phương tiện tính (MAC) và bộ địa chỉ IP. Trong chế độ này, mỗi cái mới phiên bản do hệ thống tạo được gán MAC/IP miễn phí tuple, được phát hành khi phiên bản kết thúc. Trong các chế độ này, hiệu suất của cation giao tiếp giữa các máy ảo là gần nguyên bản, khi các máy ảo đang chạy trên cùng một cụm (bất kỳ chi phí hiệu suất nào được áp đặt bởi triển khai hypervisor cơ bản), nhưng không có cách ly mạng liên VM. Cuối cùng, chúng tôi hỗ trợ một chế độ trong đó EUCLYP TUS quản lý và kiểm soát hoàn toàn Mạng máy ảo, cung cấp cách ly lưu lượng máy ảo, quy tắc xâm nhập xác định (tương lửa có thể định cấu hình) giữa các tập hợp máy ảo logi và sự phân công động của IP công cộng địa chỉ đến máy ảo khi khởi động và thời gian chạy.

Trong chế độ này, người dùng được phép đính kèm máy ảo, tại thời gian khởi động, vào "mạng" do người dùng đặt tên. Mỗi mạng đó được EUCLYP TUS gán một thẻ VLAN duy nhất, được mô tả trong Hình 2, cũng như một mạng con IP duy nhất từ một dải do quản trị viên của EUCLYP TUS chỉ định trước (thường là dải IP riêng). Trong này theo cách, mỗi tập hợp các máy ảo trong một mạng được đặt tên nhất định là cách ly với các máy ảo trên một mạng được đặt tên khác mà chúng tôi sử dụng VLAN và tiếp tục sử dụng mạng con IP. CC hành động làm bộ định tuyến giữa các mạng con VM, với chính sách mặc định chặn tất cả lưu lượng IP giữa các mạng VM. Nếu người dùng mong muốn, họ có thể liên kết các quy tắc xâm nhập với mạng, cho phép ví dụ: lưu lượng ping ICMP đến và từ Internet công cộng, nhưng chỉ cho phép kết nối SSH giữa các máy ảo mà chúng kiểm soát. CC sử dụng Hệ thống lọc gói iptables của Linux để triển khai và



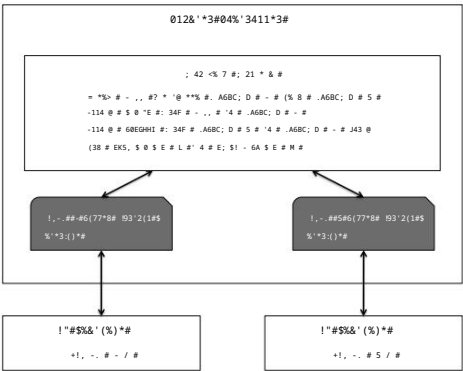
Hình 2. Mỗi phiên bản EUCALYPTUS VM được gán một giao diện ảo được kết nối với cầu nối ernet phần mềm Eth trên máy vật lý, giao diện này được gán thẻ VLAN được kết nối thêm.

kiểm soát các quy tắc xâm nhập mạng VM. Cuối cùng, lưu ý rằng tất cả các máy ảo trong chế độ này thường được gán tạo thành một nhóm địa chỉ IP riêng và do đó các hệ thống bên ngoài không thể liên lạc được. Để quản lý tình huống này, CC al cấp cho quản trị viên chỉ định danh sách các trang phục quảng cáo IPv4 công khai không được sử dụng và cung cấp khả năng cho người dùng yêu cầu động một IP từ tập hợp này được chỉ định cho một máy ảo khi khởi động hoặc chạy. ; một lần nữa sử dụng các tính năng của Linux iptables Network Address Translation (NAT) để xác định quy tắc NAT đích động (DNAT) và NAT nguồn (SNAT) cho bản dịch quảng cáo IP công cộng sang IP riêng tư (xem Hình 3 để biết chi tiết).

Từ góc độ hiệu suất, giải pháp mà chúng tôi triển khai thể hiện tốc độ gần như nguyên bản khi hai máy ảo trong một mạng được đặt tên nhất định trong một liên kết cụm duy nhất với nhau. Khi các máy ảo trên các mạng được đặt tên khác nhau cần giao tiếp, giải pháp của chúng tôi áp dụng thêm một bước nhảy thông qua máy CC hoạt động như một bộ định tuyến IP. Do đó, chúng tôi cung cấp cho người dùng khả năng lựa chọn, dựa trên các yêu cầu ứng dụng cụ thể của họ, giữa hiệu suất gốc mà không có yêu cầu nào về giao tiếp giữa các máy ảo, hoặc phải chịu thêm một bước nhảy như họ có được khả năng tái giao tiếp giữa các máy ảo một cách nghiêm ngặt.

Khi các máy ảo được phân phối trên các cụm, chúng tôi cung cấp một cơ chế thủ công để liên kết các giao diện người dùng của cụm thông qua một đường hầm (ví dụ: VTUN [28]). Tại đây, tất cả các gói Ethernet được gán thẻ VLAN từ một cụm này được truyền qua đường hầm đến một cụm khác qua kết nối TCP hoặc UDP. Hiệu suất của giao tiếp VM xuyên cụm có thể được quyết định, chủ yếu, bởi tốc độ của liên kết diện rộng. Tuy nhiên, tác động hiệu suất của đường hầm này có thể đáng kể nếu liên kết giữa các cụm có đủ hiệu suất cao.

Nghiên cứu đánh giá hiệu suất đáng kể hơn của hệ thống này và các hệ thống mạng đám mây khác đang được thực hiện, nhưng nằm ngoài phạm vi của công việc này.



Hình 3. CC sử dụng hệ thống lọc gói iptables của Linux để cho phép người dùng xác định các quy tắc xâm nhập mạng giữa các máy ảo và gán các địa chỉ IP công cộng được đặt tên tại thời điểm khởi động hoặc thời gian chạy.

Bộ điều khiển lưu trữ (Walrus)

EUCALYPTUS bao gồm Walrus, một dịch vụ lưu trữ dữ liệu tận dụng các công nghệ dịch vụ web tiêu chuẩn (Axis2, Mule) và giao diện tương thích với Dịch vụ Lưu trữ Đơn giản của Amazon (S3) [36]. Walrus triển khai REST (qua HTTP), đôi khi được gọi là giao diện "Truy vấn", cũng như các giao diện SOAP tương thích với S3.

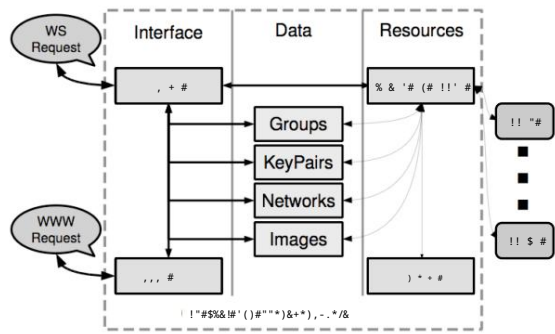
Walrus cung cấp hai loại chức năng.

- Người dùng có quyền truy cập vào EUCALYPTUS có thể sử dụng Walrus để truyền dữ liệu vào / ra khỏi đám mây cũng như từ các phiên bản mà chúng đã bắt đầu trên các nút.
- Ngoài ra, Walrus hoạt động như một dịch vụ lưu trữ hình ảnh VM. Hệ thống tệp gốc cũng như các hình ảnh hạt nhân và đĩa ram được sử dụng để khởi tạo máy ảo trên các nút có thể được tải lên Walrus và được truy cập từ các nút.

Người dùng sử dụng các công cụ S3 tiêu chuẩn (bên thứ ba hoặc những công cụ do Amazon cung cấp) để truyền dữ liệu vào và ra khỏi Walrus. Hệ thống chia sẻ thông tin đăng nhập của người dùng với cơ sở dữ liệu người dùng chuẩn của Cloud Controller.

Giống như S3, Walrus hỗ trợ truyền dữ liệu đồng thời và nối tiếp. Để hỗ trợ khả năng mở rộng, Walrus không cung cấp khóa cho ghi đối tượng. Tuy nhiên, như trữ hợp của S3, người dùng được đảm bảo rằng một bản sao nhất quán của đối tượng sẽ được lưu nếu có các lần ghi đồng thời vào cùng một đối tượng. Nếu một thao tác ghi vào một đối tượng gặp phải trong khi có một thao tác ghi trước đó vào cùng một đối tượng đang diễn ra, thao tác ghi trước đó sẽ bị vô hiệu. Walrus phản hồi với tổng kiểm tra MD5 của đối tượng đã được lưu trữ. Khi yêu cầu đã được xác minh, người dùng đã được xác thực là người dùng EUCALYPTUS hợp lệ và được kiểm tra đối với danh sách kiểm soát truy cập đối với đối tượng đã được yêu cầu, ghi và đọc được truyền trực tuyến qua HTTP.

Walrus cũng hoạt động như một dịch vụ lưu trữ và quản lý hình ảnh VM. Hệ thống tệp tin gốc máy ảo, hạt nhân và đĩa ram



Hình 4. Tổng quan về các dịch vụ Cloud Controller. Các đường tối biểu thị luồng yêu cầu của người dùng trong khi các đường sáng các dòng tự động ứng với các tín hiệu hệ thống liên dịch vụ.

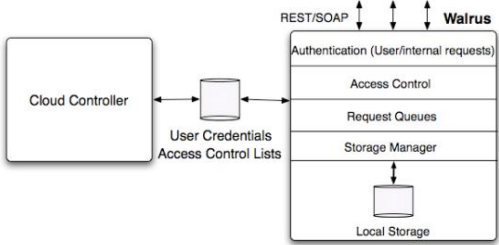
độ tuổi được đóng gói và tải lên bằng các công cụ EC2 tiêu chuẩn do Amazon cung cấp. Các công cụ này nên hình ảnh, mật mã chứng bằng thông tin đăng nhập của người dùng và chia chúng thành nhiều phần được mô tả trong tệp mô tả hình ảnh (được gọi là tệp kê khai theo cách nói của EC2). Hải mã được giao phó với nhiệm vụ xác minh và giải mã hình ảnh có được tải lên bởi người dùng. Khi bộ điều khiển nút (NC) truy vấn một hình ảnh từ Walrus trữ ở khi khởi tạo nó trên , nó sẽ gửi một yêu cầu tải xuống hình ảnh được xác thực bằng cách sử dụng một tập hợp thông tin đăng nhập nội bộ. Sau đó, hình ảnh được được xác minh và giải mã, và cuối cùng được chuyển giao. Là một tối ưu hóa theo hình thức và bởi vì hình ảnh VM thường khá lớn, Walrus duy trì một bộ nhớ cache các hình ảnh có đã được giải mã. Việc vô hiệu hóa bộ nhớ cache được thực hiện khi tệp kê khai hình ảnh bị ghi đè hoặc định kỳ sử dụng chương trình đơn giản ít được sử dụng gần đây.

Walrus được thiết kế theo mô-đun để các hệ thống phụ authentication, streaming và back-end lưu trữ có thể được các nhà nghiên cứu tùy chỉnh để phù hợp với nhu cầu của họ.

Bộ điều khiển đám mây

Các tài nguyên ảo hóa cơ bản bao gồm một Đám mây EUCALYPTUS được hiển thị và quản lý bởi, Bộ điều khiển đám mây (CLC). CLC là một tập hợp các dịch vụ web được nhóm tốt nhất theo vai trò của chúng thành ba Thể loại:

- Dịch vụ tài nguyên thực hiện phân xử trên toàn hệ thống phân bổ tài nguyên, cho phép người dùng thao tác với các mối quan hệ thích hợp của máy ảo và mạng, và monitor cả các thành phần hệ thống và tài nguyên ảo.
- Dịch vụ dữ liệu chỉ phối dữ liệu hệ thống và người dùng liên tục và cung cấp môi trường người dùng có thể định cấu hình cho hình thành các thuộc tính yêu cầu cấp phát tài nguyên.
- Dịch vụ giao diện trình bày các giao diện người dùng có thể nhìn thấy, xử lý xác thực & dịch giao thức, và hiển thị các công cụ quản lý hệ thống đang cung cấp.



Hình 5. EUCALYPTUS bao gồm Walrus, một dịch vụ quản lý lưu trữ S3 compatible để lưu trữ và xử lý dữ liệu người dùng cũ ng như hình ảnh.

Dịch vụ tài nguyên xử lý máy ảo người dùng kiểm soát các yêu cầu và tương tác với các CC để thực hiện phân bổ và phân bổ các nguồn lực vật chất. Một đại diện mô phỏng trạng thái tài nguyên của hệ thống (SRS) là được duy trì thông qua liên lạc với CCs (như là phụ trợ tiện trung gian để thăm vấn trạng thái của NCs) và được sử dụng để đánh giá khả năng thực hiện được các yêu cầu của người dùng (so với một thỏa thuận cấp độ dịch vụ hoặc SLA). vai trò của SRS được thực thi theo hai giai đoạn: khi có yêu cầu của người dùng, thông tin trong SRS được dựa vào để đưa ra quyết định kiểm soát nhiệm vụ quảng cáo liên quan đến người dùng do người dùng chỉ định mức độ dịch vụ kỳ vọng. Sau đó, việc tạo VM bao gồm bảo lưu tài nguyên trong SRS, truy vấn lại xuất dòng để tạo VM, theo sau là cam kết tài nguyên trong SRS khi thành công hoặc khôi phục trong trường hợp các lỗi.

SRS sau đó theo dõi trạng thái phân bổ tài nguyên và là nguồn thẩm quyền của những thay đổi đối với các mối quan hệ thích hợp của việc điều hành các bảo lưu. Thông tin SRS được sử dụng bởi một hệ thống quy tắc sản xuất cho phép xây dựng công thức của một lược đồ SLA dựa trên sự kiện. Áp dụng SLA là được kích hoạt bởi một sự kiện tương ứng (ví dụ: thuộc tính mạng thay đổi, hết thời gian hẹn giờ) và có thể đánh giá và sửa đổi yêu cầu (ví dụ: từ chối yêu cầu nếu nó không thỏa mãn) hoặc ban hành các thay đổi đối với trạng thái hệ thống (ví dụ: các vị trí có giới hạn thời gian). Trong khi biểu diễn của hệ thống trong SRS có thể không phải lúc nào cũng phản ánh các nguồn lực thực tế, đáng chú ý, Khả năng xảy ra và bản chất của sự không chính xác có thể được định lượng hóa và được xem xét khi xây dựng và áp dụng SLA. Hơn nữa, kiểm soát nhập học và các quy trình đáp ứng SLA thời gian chạy hoạt động cùng nhau để: đảm bảo tài nguyên không được cam kết quá mức và duy trì quan điểm thận trọng về tài nguyên tính sẵn sàng để giảm thiểu khả năng (mức dịch vụ) không thành công

nhỏ để tiêu

Một ví dụ cụ thể từ việc triển khai của chúng tôi cho phép người dùng kiểm soát cụm được sử dụng cho các vị trí VM bằng cách chỉ định "vùng" (theo thuật ngữ của Ama

zon). Hơn nữa, chúng tôi đã mở rộng khái niệm vùng thành siêu vùng quảng cáo các chính sách phân bổ trừu tượng. Ví dụ: meta-zone “bất kỳ” sẽ phân bổ số lượng VM được người dùng chỉ định cho cụm trống nhất, nhưng, trong đối mặt với tình trạng thiếu tài nguyên, làm tràn phân bổ sang nhiều cụm.

Tầng giữa của Dịch vụ dữ liệu xử lý việc tạo, sửa đổi, thăm vấn và lưu trữ hệ thống trạng thái và dữ liệu người dùng. Người dùng có thể truy vấn các dịch vụ này để khám phá thông tin tài nguyên sẵn có (hình ảnh và cụm) và thao tác các tham số trừu tượng (cặp khóa, nhóm bảo mật, và định nghĩa mạng) áp dụng cho máy ảo và phân bổ mạng. Dịch vụ tài nguyên tư vấn tác với

Dịch vụ dữ liệu để giải quyết các tham chiếu đến người dùng đã cung cấp các tham số (ví dụ: các khóa được liên kết với một phiên bản VM để được tạo). Tuy nhiên, các dịch vụ này không phải là các tham số điều chỉnh cấu hình tĩnh. Ví dụ: một người dùng có thể thay đổi, số tiền bao nhiêu, các quy tắc tư vấn lựa ảnh hưởng đến sự xâm nhập của giao thông. Các thay đổi có thể được thực hiện ngoại tuyến và được cung cấp dưới dạng đầu vào cho một yêu cầu phân bổ tài nguyên, nhưng, ngoài ra, chúng có thể được thao tác trong khi phân bổ đang chạy. Do đó, các dịch vụ quản lý mạng và sự bền bỉ của dữ liệu nhóm bảo mật cũng phải hoạt động như những tác nhân của thay đổi cho yêu cầu của người dùng để sửa đổi trạng thái của đang chạy bộ sưu tập các máy ảo và sự hỗ trợ của chúng trong mạng ảo.

Ngoài các giao diện lập trình (SOAP và “Truy vấn”), tầng Giao diện cũng cung cấp giao diện Web cho người dùng và quản trị viên đám mây. Sử dụng trình duyệt Web, người dùng có thể đăng ký quyền truy cập đám mây, tải xuống các thông tin xác thực mã hóa crypt cần thiết cho giao diện liên lập trình và truy vấn hệ thống, ví dụ: về tuổi của ổ đĩa có sẵn. Ngoài ra, quản trị viên có thể quản lý người dùng tài khoản, kiểm tra tính khả dụng của các thành phần hệ thống.

Cuối cùng, tập hợp các quảng cáo dịch vụ web giao diện kết thúc các điểm nhập cho các yêu cầu của người dùng bằng cách sử dụng nhiều thông số kỹ thuật về giao diện (ví dụ: SOAP của EC2 & “Truy vấn”, của S3 SOAP & REST) nơi xác thực đầu một lần được thực hiện theo các phương pháp hay nhất phổ biến giữa các nhà cung cấp dịch vụ đám mây. Người dùng có thể đưa ra yêu cầu bằng cách sử dụng EC2 SOAP hoặc giao thức “Truy vấn” EC2 [4]. Đặc biệt, điều này đã làm giảm nhiều loại công cụ tuần thủ Giao diện EC2 và S3 để hoạt động mà không cần sửa đổi. Các

mục tiêu thiết kế chính mà các dịch vụ giao diện đạt được là cách ly các kiểu dữ liệu truyền thông nội bộ bằng cách ánh xạ các yêu cầu từ các giao thức khác nhau này sang một giao thức bên trong hệ thống phụ thuộc. Do đó, các dịch vụ nội bộ không quan tâm đến các chi tiết của giao diện hướng ra bên ngoài được người dùng sử dụng trong khi có thể bắt buộc chức năng, cú pháp và cấu trúc của các nguyên mẫu trong giao diện để duy trì khoản đầu tư hiện có vào các công cụ và mã.

4.Kết luận

Hệ thống EUCALYPTUS được xây dựng để cho phép quản trị viên và các nhà nghiên cứu khả năng triển khai cơ sở hạ tầng

để tạo và kiểm soát máy ảo do người dùng kiểm soát khai thác tài nguyên hiện có. Mục tiêu thiết kế phân cấp của nó là nguồn thư ờng thấy trong phòng thí nghiệm và học thuật cài đặt, bao gồm nhưng không giới hạn ở các cụm Linux vừa và nhỏ, nhóm máy trạm và trang trại máy chủ.

Chúng tôi sử dụng giải pháp mạng ảo cung cấp VM cô lập, hiệu suất cao và chế độ xem mạng đó là đơn giản và bằng phẳng. Hệ thống này có tính mô-đun cao, với mỗi mô-đun được đại diện bởi một API được xác định rõ ràng, giúp các nhà nghiên cứu thay thế các thành phần để thử nghiệm bằng các giải pháp điện toán đám mây mới. cuối cùng hệ thống hiển thị bộ tính năng của nó thông qua một người dùng chung trong giao diện hiện do Amazon EC2 và S3 xác định. Đây cho phép người dùng quen thuộc với EC2 và S3 chuyển đổi liên tục sang cài đặt EUCALYPTUS bằng, trong hầu hết các trường hợp, một bộ sung đơn giản của đối số dòng lệnh hoặc biến môi trường, hướng dẫn ứng dụng khách nơi để gửi tin nhắn của nó.

Tóm lại, công việc này nhằm mục đích minh họa một thực tế là Hệ thống EUCALYPTUS đã lấp đầy một vị trí quan trọng trong không gian thiết kế điện toán đám mây bằng cách cung cấp một hệ thống dễ dàng triển khai trên các tài nguyên hiện có, cho vay để thử nghiệm bằng mô-đun và mã nguồn mở, đồng thời cung cấp các tính năng mạnh mẽ ngay lập tức thông qua giao diện tư vấn thích với Amazon EC2.

Hiện tại, chúng tôi và người dùng của chúng tôi đã triển khai thành công hệ thống hoàn chỉnh về các nguồn lực từ một máy tính xách tay (EC2 trên máy tính xách tay) sang các cụm Linux nhỏ (48 đến 64 điểm giao). Hệ thống đang được sử dụng để thử nghiệm với HPC và điện toán đám mây bằng cách cố gắng kết hợp các hệ thống nhập tính toán đám mây như EUCALYPTUS và EC2 với Teragrid (được trình bày dưới dạng bản demo tại SuperComputing'08 như một phần của Dự án VGrADS [39]), như một nền tảng để so sánh đám mây hiệu suất của hệ thống máy tính và bởi nhiều người dùng quan tâm đến việc thử nghiệm với điện toán đám mây hệ thống trên tài nguyên riêng của họ.

Ngoài ra, chúng tôi đã thực hiện cài đặt EUCALYPTUS có sẵn cho tất cả những ai muốn dùng thử hệ thống mà không có cài đặt bất kỳ phần mềm nào [13]. Kinh nghiệm của chúng tôi cho đến nay đã cực kỳ tích cực, dẫn chúng tôi đến kết luận rằng EUCALYPTUS đang giúp cung cấp cho cộng đồng nghiên cứu một khung phần mềm mã nguồn mở, rất cần thiết, xung quanh đó có thể phát triển cơ sở người dùng gồm các nhà tìm kiếm điện toán đám mây.

Người giới thiệu

[1] Trang chủ 3Tera. <http://www.3tera.com/>.
[2] K. Adams và O. Agesen. So sánh giữa phần mềm và kỹ thuật phần cứng cho ảo hóa x86. Trong ASPLOS XII: Kỷ yếu hội nghị quốc tế lần thứ 12 về Hỗ trợ kiến trúc cho các ngôn ngữ lập trình và hệ thống điều hành, trang 2-13, New York, NY, USA, 2006. ACM.
[3] Advanced Micro Devices, AMD Inc. Ảo hóa AMD Có tên mã là Công nghệ “Pacifica”, Sổ tay Tham khảo Kiến trúc Ma chine An toàn Ảo. Tháng 5 năm 2005.

- [4] Trang chủ của Amazon Web Services. <http://aws.amazon.com/>.
- [5] P. Barham, B. Dragovic, K. Fraser, S. Hand, T. Harris, A. Ho, R. Neugebauer, I. Pratt, và A. Warfield. Xen và nghệ thuật biến ảo. Trong SOSP '03: Kỷ yếu hội nghị chuyên đề ACM lần thứ mười chín về Hệ điều hành Princeci ples, trang 164-177, New York, NY, USA, 2003. ACM.
- [6] F. Bellard. QEMU, Trình dịch động nhanh và di động. Kỷ yếu Hội thảo Kỹ thuật Thư ờng niên USENIX, FREENIX Track, trang 41-46, 2005.
- [7] F. Berman, G. Fox và T. Này. Điện toán lưu ới: Biến cơ sở hạ tầng toàn cầu thành hiện thực. Wiley và Sons, 2003.
- [8] F. Chang, J. Dean, S. Ghemawat, W. Hsieh, D. Wal lach, M. Burrows, T. Chandra, A. Fikes, và R. Gruber. Bigtable: Hệ thống lưu trữ phân tán cho dữ liệu có cấu trúc. Kỷ yếu Hội nghị chuyên đề lần thứ 7 về Thiết kế và Triển khai Hệ điều hành (OSDI), trang 205218, 2006.
- [9] J. Chase, D. Irwin, L. Grit, J. Moore và S. Sprenkle. Các cụm ảo động trong trình quản lý trang lưu ới. High Performance Distributed Computing, 2003. Kỷ yếu. 12th IEEE International Symposium on, trang 90-100, 2003.
- [10] J. Dean và S. Ghemawat. MapReduce: Xử lý dữ liệu đơn giản trên các cụm lớn. Kỷ yếu của Hội nghị chuyên đề lần thứ 6 về Thiết kế và Triển khai Hệ điều hành (OSDI), trang 137-150, 2004.
- [11] G. DeCandia, D. Hastorun, M. Jampani, G. Kakulapati, A. Lakshman, A. Pilchin, S. Sivasubramanian, P. Voshall, và W. Vogels. Dynamo: kho lưu trữ giá trị quan trọng có sẵn cao của amazon. Kỷ yếu của hội nghị chuyên đề ACM SIGOPS lần thứ 21 về Nguyên tắc hệ điều hành, trang 205-220, 2007.
- [12] Cơ sở hạ tầng tính toán đàn hồi theo chủ nghĩa dị thư ờng. <http://www.enomaly.com>.
- [13] Đám mây cộng đồng Eucalyptus (EPC). <http://eucalyptus.cs.ucsb.edu/wiki/EucalyptusPublicCloud/>.
- [14] I. Foster và C. Kesselman. Globus: Một bộ công cụ cơ sở hạ tầng siêu điện toán. Tạp chí quốc tế về các ứng dụng đặt Supercom, 1997.
- [15] I. Foster và C. Kesselman, biên tập viên. Lưu ới - Kế hoạch chi tiết cho cơ sở hạ tầng máy tính mới. Morgan Kaufmann, 1998.
- [16] I. Foster, C. Kesselman, J. Nick và S. Tuecke. Cơ sở vật lý của lưu ới điện: Kiến trúc dịch vụ lưu ới điện mở để tích hợp hệ thống phân tán, 2002.
- [17] I. Foster, C. Kesselman và S. Tuecke. Giải phẫu của lưu ới: Cho phép các tổ chức ảo có thể mở rộng. Int. J. Hiệu suất cao. Điện toán. Ứng dụng, 15(3):200-222, 2001.
- [18] D. Gannon. Lập trình lưu ới: Các thành phần phần mềm phân tán, 2002.
- [19] Google - <http://www.google.com/>.
- [20] D. Greschler và T. Mangan. Các bài học về mạng trong deliv ering 'phần mềm như một dịch vụ': phần i. Int. J. Mạng. Manag., 12 (5): 317-321, 2002.
- [21] D. Greschler và T. Mangan. Các bài học về mạng trong deliv ering 'phần mềm như một dịch vụ': phần ii. Int. J. Mạng. Manag., 12 (6): 339-345, 2002.
- [22] R. Hiremane. Công nghệ ảo hóa Intel cho nhập / xuất đư ợc hư ớng vào (Intel VT-d). Tạp chí Technology @ Intel, 4 (10), tháng 5 2007.
- [23] W. Huang, M. Koop, Q. Gao, và D. Panda. Thư viện giao tiếp nhận biết ma chine ảo để tính toán hiệu suất cao. Trong Kỷ yếu của Siêu máy tính 2007.
- [24] W. Huang, J. Liu, B. Abali, và DK Panda. Một thư ờng hợp cho tính toán hiệu suất cao với máy ảo. Trong ICS '06: Kỷ yếu trao tặng quốc tế hàng năm lần thứ 20 về Siêu máy tính, trang 125-134, New York, NY, Hoa Kỳ, 2006. ACM.
- [25] Trang chủ Hyper-v - <http://www.microsoft.com/hyperv>.
- [26] Intel. Ảo hóa nâng cao dựa trên kiến trúc Intel May chu . Sách trắng về Giải pháp của Intel, tháng 3 năm 2005.
- [27] K. Keahey, I. Foster, T. Freeman và X. Zhang. Không gian làm việc ảo: Đạt đư ợc chất lượng dịch vụ và chất lượng cuộc sống trong lưu ới điện. Khoa học. Chương trình., 13 (4): 265-275, 2005.
- [28] M. Krasnyansky. VTun-Đư ờng hầm ảo trên mạng TCP/IP hoạt động, 2003.
- [29] P. Laplante, J. Zhang, và J. Voas. Những gì trong một cái tên? phân biệt giữa saas và soa. Chuyên gia CNTT, 10 (3): 46-50, tháng 5 đến tháng 6 năm 2008.
- [30] M. McNett, D. Gupta, A. Vahdat, và GM Voelker. Usher: Khung mở rộng để quản lý cụm máy ảo. Trong Kỷ yếu của Hội nghị Quản trị Hệ thống Cài đặt Lớn (LISA) lần thứ 21, tháng 11 năm 2007.
- [31] A. Menon, A. Cox, và W. Zwaenepoel. Tối ưu hóa Ảo hóa công việc mạng trong Xen. Proc. Công nghệ hàng năm USENIX Hội nghị nical (USENIX 2006), trang 15-28, 2006.
- [32] MF Mergen, V. Uhlig, O. Krieger, và J. Xenidis. Virtualization cho máy tính hiệu suất cao. SIGOPS Oper. Syst. Rev., 40 (2): 8-11, 2006.
- [33] Dự án NSF TeraGrid. <http://www.teragrid.org/>.
- [34] JP Ostriker và ML Norman. Vũ trụ học của vũ trụ sơ khai nhìn qua cơ sở hạ tầng mới. Commun. ACM, 40 (11): 84-94, 1997.
- [35] Trang chủ oVirt. <http://ovirt.org/>.
- [36] Amazon api dịch vụ lưu trữ đơn giản (2006-03-01) - <http://docs.amazonwebservices.com/AmazonS3/2006-03-01/>.
- [37] Quản lý quan hệ khách hàng của Salesforce (CRM) hệ thống. <http://www.salesforce.com/>.
- [38] T. Tannenbaum và M. Litzkow. Hệ thống xử lý phân tán condor. Tạp chí Tiến sĩ Dobbs, tháng 2 năm 1995.
- [39] Dự án phần mềm phát triển ứng dụng lưu ới ảo. <http://vgrads.rice.edu/>.
- [40] Trang chủ của Vmware - <http://www.vmware.com>.
- [41] L. Youseff, K. Seymour, H. You, J. Dongarra, và R. Wol trư ợc tuyệt. Tác động của hệ thống phân cấp bộ nhớ đư ợc paravirtualized đối với hạt nhân và phần mềm tính toán đại số tuyến tính. Trong HPDC, trang 141-152. ACM, 2008.