

Integracja obliczeń o wysokiej wydajności z usługami przetwarzania w chmurze

Projekty High-Performance Computing (HPC) obejmują spektrum wdrożeń sprzętu komputerowego, począwszy od superkomputerów peta-flop, wysokiej klasy obiektów tera-flop z różnymi systemami operacyjnymi i aplikacjami, po średnie i mniejsze klastry obliczeniowe wykorzystywane do tworzenia aplikacji HPC, przebiegi pilotażowe i klastry pomostowe prototypów. Ich wspólną cechą jest to, że działają jako samodzielny system, a nie jako skalowalny i współdzielony zasób, który można rekonfigurować przez użytkownika. Pojawienie się chmury obliczeniowej zmieniło tradycyjne wdrożenie HPC. W tym artykule omówimy bardzo udaną architekturę na poziomie produkcyjnym i ramy polityki wspierające usługi HPC w ramach bardziej ogólnej infrastruktury przetwarzania w chmurze. To zintegrowane środowisko, nazwane Virtual Computing Lab (VCL), działa w NC State od jesieni 2004 roku. Prawie 8 500 000 godzin pracy procesora HPC zostało dostarczone przez to środowisko wykładowcom NC State i studentom w 2009 roku. Ponadto przedstawiamy i omawiamy operacyjne dane, które pokazują, że integracja usług HPC i innych niż HPC (lub ogólne VCL) w chmurze może znacznie obniżyć koszty świadczenia usług w chmurze (do centów za godzinę pracy procesora).

Wstęp

Koncepcja przetwarzania w chmurze zmienia sposób, w jaki infrastruktura informatyczna (IT) jest rozważana pod kątem wdrożenia w przedsiębiorstwach, edukacji, badaniach i administracji. Ogólne zainteresowanie tą technologią wzrosło w ciągu ostatnich kilku lat, co widać na wykresie porównawczym trendów Google, pokazującym liczbę cytowań i referencji w wyszukiwarkach między obliczeniami siatkowymi, obliczeniami o wysokiej wydajności i przetwarzaniem w chmurze. Tendencja ta gwałtownie wzrosła po około październiku 2007 r., kiedy Google i IBM ogłosiły kierunki badań „przetwarzania w chmurze”, a IBM ogłosił swoją inicjatywę w zakresie przetwarzania w chmurze. Ten poziom zainteresowania sprawił, że „przetwarzanie w chmurze” stało się popularnym terminem, który ogólnie opisuje elastyczny system zapewniający użytkownikom dostęp do sprzętu, oprogramowania, aplikacji i usług. Ponieważ jednak nie ma jednego ogólnego użytkownika, a sprzęt, oprogramowanie i usługi mogą być pogrupowane w różne kombinacje, ta koncepcja przetwarzania w chmurze szybko podzieliła się na wiele zindywidualizowanych opisów i perspektyw. W rezultacie bardzo trudno jest uzgodnić jedną wspólną definicję przetwarzania w chmurze, która opisuje liczbę i rodzaje wdrażanych systemów przetwarzania w chmurze. W kontekście tej części uważamy, że „przetwarzanie w chmurze” odnosi się do bezproblemowej architektury opartej na komponentach, która może zapewnić zintegrowany, zaaranżowany i bogaty zestaw zarówno luźno, jak i ściśle powiązanych funkcji i usług technologii informacyjnej na żądanie, znacznie redukując koszty ogólne oraz całkowity koszt posiadania i usług, a jednocześnie dają użytkownikowi końcowemu możliwość kontroli. Niektóre bardziej oczywiste zalety przetwarzania w chmurze to konsolidacja serwerów, abstrakcja sprzętu poprzez wirtualizację, lepsze zarządzanie i wykorzystanie zasobów, niezawodność i dostępność usług, większe bezpieczeństwo i efektywność kosztowa. Podczas gdy niektóre organizacje wciąż debatuje, czy i jak można zastosować tę technologię, pierwsi użytkownicy, tacy jak NC State University, od 2004 roku z wielkim sukcesem świadczą usługi oparte na chmurze swoim studentom, wykładowcom i pracownikom wdrożenia, które są zwykle utożsamiane z dostarczaniem jednego typu lub kategorii usług pulpitu, określonych funkcji serwera, aplikacji lub środowisk aplikacji, wdrożenie chmury obliczeniowej NC State (Virtual Computing Laboratory lub VCL, <http://vcl.ncsu.edu>) oferuje możliwości, które są bardzo elastyczne i zróżnicowane, od sprzętu jako usługi po wysoce złożoną chmurę jako usługę. Możliwości te można łączyć i oferować jako indywidualne i grupowe usługi IT, w tym prawdziwe usługi obliczeń o wysokiej wydajności (HPC). Wdrożenie VCL HPC bardzo skutecznie integruje HPC z paradygmatem przetwarzania w chmurze, zarządzając nie tylko możliwościami i

pojemnością zasobów, ale także topologią zasobów, czyli odpowiednim poziomem sprzężenia sieci/komunikacji między zasobami.

Implementacja chmury obliczeniowej na Uniwersytecie Stanowym NC<r>

System przetwarzania w chmurze powinien być zaprojektowany w oparciu o architekturę zorientowaną na usługi (SOA), która może alokować zasoby na żądanie w sposób niezależny od lokalizacji i urządzenia. System powinien uwzględniać wydajność techniczną i skalowalność poprzez odpowiedni poziom centralizacji, w tym współdzielenie zasobów w chmurze i funkcji kontrolnych, oraz poprzez jawne lub niejawne samodzielne dostarczanie zasobów i usług przez użytkowników w celu zmniejszenia kosztów administracyjnych. Jedną z głównych różnic między konfiguracją „tradycyjną” a konfiguracją chmury obliczeniowej jest poziom kontroli delegowany na użytkownika. Na przykład w tradycyjnym środowisku kontrola wykorzystania zasobów i zarządzanie nimi spoczywa głównie na miejscu świadczenia usług i dostawcy, podczas gdy w środowisku chmury kontrola ta jest w większości przenoszona na użytkowników poprzez opcje samoobsługi oraz odpowiednie uprawnienia i dostęp delegowane przez użytkowników. Podobnie inne tradycyjne funkcje, takie jak specyfikacje systemu operacyjnego i środowiska oraz tryb dostępu i ustalanie priorytetów, stają się teraz jawnymi wyborami użytkowników. Chociaż może to zwiększyć wydajność zarządzania i obniżyć koszty udostępniania, początkowa podstawowa konfiguracja systemu przetwarzania w chmurze jest bardziej złożona. Na NC State University VCL to wysokowydajna, wielokrotnie nagradzana technologia przetwarzania w chmurze typu open source, pierwotnie stworzona i prototypowana w 2004 r. przez NC State College of Engineering, Office of Information Technology i Department of Computer Science. Od tego czasu rozwój VCL szybko postępował we współpracy z przemysłem, szkolnictwem wyższym i partnerami K-12 do tego stopnia, że dziś jest to system na dużą skalę, sprawdzony w produkcji, który wyłania się jako dominująca siła w powstającym i potencjalnie ogromnym otwartym -źródłowy rynek chmury prywatnej. Doświadczenie zdobyte na NC State University pokazało, że w edukacji i badaniach wdrożeń chmury obliczeniowej potrzebne jest elastyczne i wszechstronne środowisko, aby zapewnić szereg zróżnicowanych usług, od sprzętu jako usługi aż po chmurę jako usługę i Bezpieczeństwo jako usługę. W kontekście VCL NC State wyróżniamy każdą z tych usług w następujący sposób

- Sprzęt jako usługa (HaaS) - dostęp na żądanie do określonych produktów obliczeniowych, pamięci masowych i sieciowych i/lub konfiguracji sprzętu prawdopodobnie w określonej lokalizacji
- Infrastruktura jako usługa (IaaS) - dostęp na żądanie do określonych przez użytkownika możliwości sprzętowych, wydajności i usług, które mogą działać na różnych produktach sprzętowych
- Platforma jako usługa (PaaS) - dostęp na żądanie do określonej przez użytkownika kombinacji hipernadzorców (wirtualizacji), systemu operacyjnego i oprogramowania pośredniczącego, które umożliwiają uruchamianie wymaganych przez użytkownika aplikacji i usług w systemie HaaS i/lub IaaS
- Aplikacja jako usługa (AaaS) - dostęp na żądanie do aplikacji i treści określonych przez użytkownika. Oprogramowanie jako usługa (SaaS) może obejmować wszystko, od PaaS do AaaS
- Usługi wyższego poziomu - szereg możliwości chmury oferujących połączenie HaaS, IaaS, PaaS i AaaS w ramach określonych zasad, takich jak zasady bezpieczeństwa — na przykład Security-as-a-Service. Innym przykładem są kompozyty i agregaty usług niższego poziomu, takich jak „Cloud-as-a-Service” — usługa, która pozwala użytkownikowi zdefiniować sub-clouds (klastry zasobów), które w pełni kontroluje.

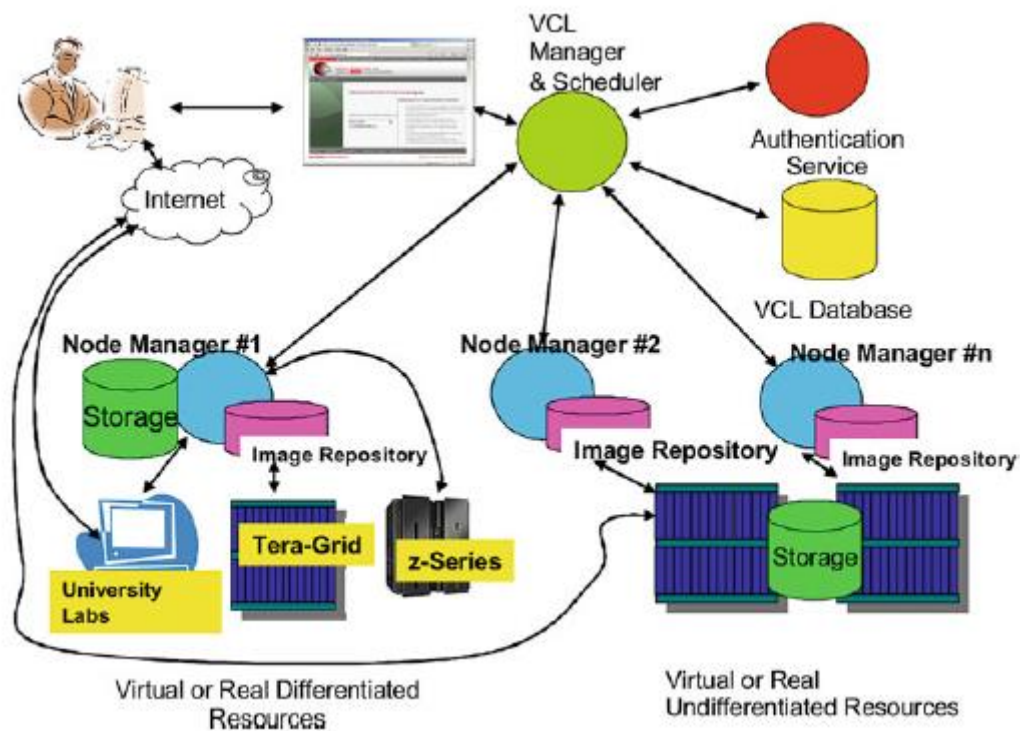
Na pewnym poziomie wszystkie powyższe usługi są dostępne dla użytkowników NC State VCL, proporcjonalnie do poziomu i typu uprawnień nadanych użytkownikowi. Jeśli ktoś chce budować usługi

obliczeń o wysokiej wydajności (HPC) w ramach VCL o określonej topologii lub mieć możliwość zapewnienia określonej jakości usług od końca do końca, w tym wydajności aplikacji, konieczne jest przyznanie użytkownikom zarówno HaaS, jak i Dostęp IaaS. Uważamy, że starannie skonstruowana implementacja przetwarzania w chmurze oferująca podstawowe usługi wymienione powyżej może skutkować dobrą wydajnością techniczną i zwiększoną produktywnością, niezależnie od tego, czy system przetwarzania w chmurze służy klientom komercyjnym, instytucjom edukacyjnym czy funkcji współpracy badawczej. Wykorzystanie VCL w kampusach rozszerzyło się wykładniczo w ciągu ostatnich pięciu lat. Obecnie mamy ponad 30 000 użytkowników i dostarczamy ponad 100 000 rezerwacji w semestrze w ponad 800 środowiskach usług (co daje około 500 000 godzin pracy procesora rocznie). Ponadto dostarczamy rocznie ponad 8 500 000 godzin pracy procesora HPC. Inicjatywy krajowe obejmują poszczególne uniwersytety systemu UNC (np. ECU, NCCU, UNC-CH, UNCG, WCU - technicznie wszystkie kampusy systemu UNC, które wdrażają uwierzytelnianie Shibboleth, mają dostęp do VCL), system NC Community College (produkcja i pilotaż w 15 uczelni: hrabstwo Beaufort, Brunswick, Cape Fear, Catawba Valley, Central Piedmont, Cleveland, Edgecombe, Fayetteville Tech, Forsyth Tech, Guilford Tech, Nash, Sandhills, Surry, Wake Tech) oraz kilka pilotów K-12 i inicjatyw STEM. Oprócz wielu wdrożeń VCL w stanie Karolina Północna, regionalne, krajowe i międzynarodowe zainteresowanie VCL znacznie wzrosło po tym, jak VCL została zaakceptowana jako technologia inkubacyjna i opublikowana jako implementacja open source za pośrednictwem Apache Software Foundation (Apache VCL, 2010). Instytucje edukacyjne, takie jak George Mason University (GMU), stały się liderem i innowatorem VCL dla konsorcjum Virginia VCL Consortium, ostatnio zdobywając nagrodę gubernatora stanu Virginia w 2009 r. za innowacje technologiczne, szkoły takie jak Southern University Baton Rouge i California State University East Bay są w proces wdrażania chmur opartych na VCL. Oprócz licznych wdrożeń w Stanach Zjednoczonych, wdrożenia chmury obliczeniowej VCL, w tym konfiguracje HPC, zostały teraz wdrożone na całym świecie i zapewniają bogatą mieszankę doświadczeń w pracy z HPC w środowisku chmury obliczeniowej. Typowa infrastruktura podstawowa VCL (preferowana, ale nie wymagana) to system kasetowy HPC. Ten typ architektury systemu zapewnia możliwości dostarczania HPC jako całości lub „pokrojonego w kostkę” dynamicznie na mniejsze jednostki/klastry. Pozwala to na odpowiednie „spakowanie” chmury VCL w celu oddzielenia klastrów badawczych i podchmur oraz prawdziwie wysokowydajnych obliczeń od innych zestawów wysoce zindywidualizowanych wymagań, takich jak usługi pojedynczego komputera stacjonarnego, grupy „miejsc” w salach lekcyjnych, serwery i farmy serwerów. Te elastyczne konfiguracje umożliwiają jednoczesne dostarczanie infrastruktury sprzętowej i platform jako usług do użytkowników w ramach ogólnej cyberinfrastruktury chmury obliczeniowej VCL, przy czym każda z tych usług jest w stanie dostosować oprogramowanie i aplikację jako usługę. Liczba rezerwacji VCL ma tendencję do zmniejszania się w nocy, wakacji studenckich i świąt. Z drugiej strony, jeśli spojrzymy na zapotrzebowanie stanu NC na cykle HPC, zobaczymy, że rośnie, ale jest znacznie mniej podatne na sezonowe wahania. Dogłębna analiza ekonomiki przetwarzania w chmurze pokazuje, że jednym z kluczowych czynników jest średni poziom wykorzystania zasobów. Wszystkie nasze zasoby, które są w trybie VCL-HPC, są w pełni wykorzystywane (przy kolejkach zaległych zadań o dwu- lub trzykrotnej liczbie zadań uruchomionych w klastrach). W 2009 roku (z uwzględnieniem przestoju konserwacyjnych) VCL-HPC odnotował prawie 8,5 miliona godzin pracy procesora HPC, co stanowi ponad 95-procentowy poziom wykorzystania, podczas gdy rozbudowa pulpitu i podobne użycie innych niż HPC odnotowało 550 000 godzin pracy procesora (ponad 220 000 indywidualnych rezerwacji) dając około 10-15% wykorzystania. Aby zaspokoić wysokie zapotrzebowanie na HPC, VCL ma na celu przeniesienie zasobów sprzętowych z komputerów stacjonarnych innych niż HPC do HPC. Aby zrównoważyć obciążenia w okresach, w których użycie urządzeń innych niż HPC jest mniejsze, na przykład podczas wakacji letnich, VCL może automatycznie przenieść zasoby do trybu HPC, w którym są one łatwo używane. Gdy ponownie zajdzie potrzeba użycia innych niż HPC, zasoby te są ponownie automatycznie przenoszone z powrotem do tej puli użytkownika. W rezultacie łączne wykorzystanie

zasobów HPC/innych niż HPC działa na poziomie około 70%. Jest to zarówno pożądana, jak i opłacalna strategia, wymagająca aktywnej współpracy podstawowych komponentów (chmury).

Architektura chmury VCL

Architekturę pierwszego poziomu VCL pokazano

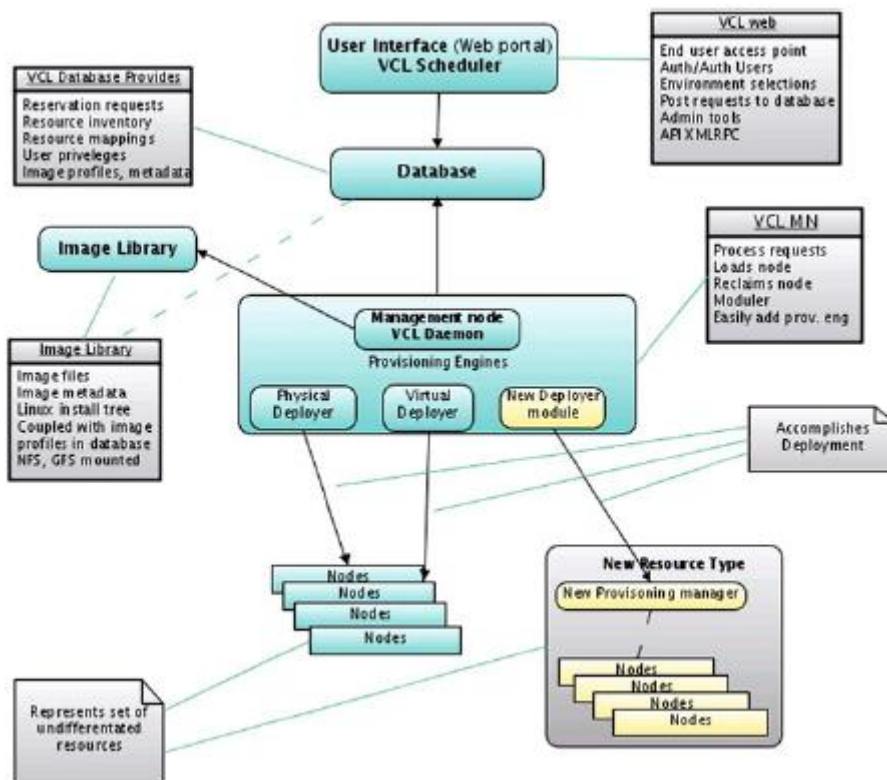


Użytkownik uzyskuje dostęp do VCL poprzez interfejs sieciowy, wybierając kombinację aplikacji, systemów operacyjnych i usług. Te kombinacje są dostępne w repozytoriach obrazów. Obrazy mogą być środowiskiem bare-metal lub środowiskiem usług maszyny wirtualnej, składającym się z systemu operacyjnego (ewentualnie z hiperwizorem), oprogramowania pośredniczącego, stosu aplikacji wraz z zarządzaniem bezpieczeństwem oraz narzędzi i agentów dostępu i przechowywania. Jeśli określona kombinacja usług i aplikacji nie jest dostępna jako „obraz”, użytkownik z odpowiednimi uprawnieniami może skonstruować dostosowany obraz z komponentów biblioteki VCL. Oprogramowanie zarządzające VCL następnie mapuje żądanie użytkownika na dostępne obrazy aplikacji oprogramowania i dostępne zasoby sprzętowe. Kierownik następnie planuje żądanie użytkownika do natychmiastowego użycia (na żądanie) lub do późniejszego wykorzystania. Oprogramowanie menedżera VCL zostało opracowane przez NCSU przy użyciu kombinacji gotowych produktów (takich jak IBM xCAT3) oraz opracowanego przez nas oprogramowania typu open source „klej” (około 50 000+ linii kodu – teraz dostępnego za pośrednictwem Apache). Wszystkie komponenty VCL mogą być (i są) dystrybuowane. Instalacja lokacyjna będzie zazwyczaj miała jeden węzeł zarządzania zasobami (Menedżer węzłów na rysunku) dla około 100 fizycznych serwerów kasetowych. Zapewnia to odpowiednie czasy ładowania obrazu, a także nadmiarowość zasobów w przypadku przełączenia awaryjnego. W kontekście naszej architektury rozróżniamy zasoby niezróżnicowane i zróżnicowane. Niezróżnicowane zasoby są całkowicie plastyczne i mogą być załadowane dowolnym środowiskiem usług zaprojektowanym dla tej platformy. Zróżnicowanych zasobów można używać tylko w stanie, w jakim są, bez żadnych modyfikacji wykraczających poza skonfigurowane uprawnienia dostępu użytkownika. Na przykład, w nocy użytkownicy VCL mogą zdalnie korzystać z laboratoryjnych maszyn Linux do obliczeń NC State, ale nie mogą modyfikować swoich obrazów, ponieważ maszyny

laboratoryjne są uważane za zróżnicowany zasób. W przeciwieństwie do tego, kiedy dokonują „standardowej” rezerwacji VCL Linux lub Windows, studenci uzyskują pełne uprawnienia roota/administratora i mogą modyfikować obraz tak bardzo, jak chcą. Jednak po ich zakończeniu (zazwyczaj nasze rezerwy studenckie trwają 1–2 godziny), zasób jest „czyszczony” do czysta, a świeży obraz jest ponownie ładowany. Uczniowie zapisują swoje dane na naszej firmowej pamięci masowej podłączonej do sieci lub na własnych laptopach. W ten sposób VCL zapewnia możliwość dostarczania zaplanowanych i na żądanie, zwirtualizowanych i „bare-metal” infrastruktur oraz zróżnicowanych i niezróżnicowanych usług zgodnych z ustaloną polityką stanu NC i wymaganiami bezpieczeństwa, które mogą się różnić w zależności od użytkownika i/lub aplikacji. VCL dynamicznie konstruuje i dekonstruuje środowiska komputerowe, umożliwiając w ten sposób niemal ciągłe korzystanie z zasobów. Środowiska te, składające się z inteligentnych obrazów stosu oprogramowania i specyfikacji metadanych do budowania środowiska, mogą być tworzone, modyfikowane i przesyłane zgodnie z zasadami i autoryzacją. Funkcje bezpieczeństwa VCL zapewniają dużą swobodę w przypisywaniu tych uprawnień wykładowcom, pracownikom i studentom. Kod VCL w wersji 2.x jest dostępny od około roku w ramach oferty Apache (Apache VCL, 2010). Wersja 2.x VCL stanowi poważne przepisanie kodu podstawowego i przenosi VCL do modułowej struktury oprogramowania, w której elementy funkcjonalne mogą być modyfikowane, zastępowane lub opcjonalne bez towarzyszących zmian w kodzie w innym miejscu. To znacznie zwiększa zarówno wkład społeczności, jak i bezproblemową personalizację. Ponadto, jego i tak już doskonały profil bezpieczeństwa jest stale ulepszany poprzez finansowaną z funduszy federalnych inicjatywę Secure Open Source (<http://sosi.ncsu.edu>). Środowiska VCL są przechowywane w repozytoriach on-line, zapewniając niedrogie możliwości przechowywania dużych wolumenów, które nie tylko obsługują ekstremalne skalowanie dostępu i ponownego wykorzystania, ale także umożliwiają powiew skali i zakresu wymaganego do inteligentnego sekwencjonowania wieloetapowych przepływów pracy w czasie rzeczywistym. Korzyści z tego postępu różnią się w zależności od ograniczeń użytkownika nałożonych przez umowy licencyjne oprogramowania. Bez tych ograniczeń VCL umożliwia nowy paradygmat budowania, gdy jest dobrze i wszechstronnie ponownie używany. W rzeczywistości jedną ze szczególnych cech VCL jest to, że jego pochodzenie i gromadzenie metadanych są wystarczająco szczegółowe i dokładne, aby umożliwić bardzo szczegółowe pomiary wykorzystania oprogramowania – według użytkownika, działu, czasu trwania, lokalizacji itp. To samo w sobie daje możliwość wdrożenia modelu zarządzania licencjami opartego na pomiarach, który, biorąc pod uwagę odpowiednie umowy z dostawcami, umożliwia przenoszenie i wymianę środowisk usług między/ wśród chmur.

Struktura wewnętrzna

Rysunek pokazuje więcej elementów wewnętrznych architektury VCL.



Sercem rozwiązania są (a) interfejs użytkownika (w tym GUI i zdalny interfejs API), (b) baza danych autoryzacji, pochodzenia i śledzenia usług, (c) biblioteka „obrazów” środowiska usług oraz d) mechanizm zarządzania i udostępniania środowiska usług. Silnik aprowizacji wdraża środowiska usługowe na żądanie albo w warstwie fizycznej (obciążenia samej maszyny są zwykle wykonywane przy użyciu xCAT, ale można użyć innych programów ładujących, w tym IBM Director) lub w warstwie wirtualnej (np. obrazy VMWare, Xen, KVM) lub poprzez specjalnie zdefiniowany mechanizm, np. nowy interfejs usługi, usługę zdalną, API usługi do innej chmury. Wdrożone środowiska usługowe mogą składać się z pojedynczego obrazu „bare-metal” lub „obrazu” wirtualnego stosu oprogramowania, takiego jak pulpit Windows lub Linux, załadowanego do niezróżnicowanych zasobów lub może składać się z kolekcji obrazów (w tym ich topologii połączeń) załadowanych do zestaw (ewentualnie) zasobów hybrydowych lub może składać się z zestawu obrazów HPC załadowanych do zasobów VCL przenoszonych do trybu zróżnicowanego komputera PC i tak dalej. W implementacji NC 11 Integration of High-Performance State menedżer serwera fizycznego ładuje obrazy na dysk lokalny przez kickstart (tylko środowiska Linux), kopiuje obrazy na dysk lokalny (Linux i Windows) lub ładuje obrazy do pamięci lokalnej (bezstanowe). Do ładowania obrazów maszyn wirtualnych VCL wykorzystuje narzędzia do zarządzania wiersza polecenia, które są dostarczane z hipernadzorcami.

Magazynowanie

Miejsce przechowywania informacji w chmurze jest bardzo ważne. Bezpieczne przechowywanie obrazów jest częścią podstawowej architektury VCL, jednak pamięć masowa dla użytkowników końcowych jest bardziej elastyczna. Może obejmować przechowywanie w fizycznym zasobie VCL,

zabezpieczanie serwera NAS lub SAN dostępnego za pośrednictwem narzędzi dostępu do pamięci masowej na samym obrazie, przechowywanie w stacji dostępowej użytkownika końcowego (np. pamięć laptopa lub pamięć klucza pamięci) itp. W stanie NC większość naszych obrazów jest wyposażona w agentów, którzy mogą łączyć się w bezpieczny sposób z naszą firmową pamięcią masową (opartą na AFS), a tym samym uzyskiwać dostęp do kopii zapasowej przestrzeni dyskowej przypisanej studentom i wykładowcom, a także narzędzia (takie jak wizualne sftp), które mogą uzyskać dostęp do innych Magazyn online. Nasze obrazy HPC są skonstruowane tak, aby wszystkie miały dostęp do HPC scratch i trwałego przechowywania za pośrednictwem NFS.

Program Partnerski

Badacze NC State mają możliwość zakupu sprzętu kompatybilnego z VCL-HPC oraz wszelkich specjalistycznych lub branżowych licencji na oprogramowanie. NC State Office of Information Technology (OIT) zapewnia miejsce w odpowiednim i bezpiecznym środowisku operacyjnym, całą niezbędną infrastrukturę (stelaż, obudowa, zasilanie, chłodzenie, sieć itp.) oraz administrację systemem i obsługę serwerów. W zamian za infrastrukturę i usługi świadczone przez OIT, gdy partnerskie zasoby obliczeniowe nie są używane przez partnera, są one dostępne dla ogólnej społeczności użytkowników NC State HPC. Ten program bardzo dobrze sprawdził się zarówno dla nas, jak i dla naszych badaczy.

Dostęp

W ramach naszych usług HPC w chmurze dysponujemy zarówno pamięcią rozproszoną (zwykle klastry IBM BladeCenter), jak i zasobami obliczeniowymi pamięci współdzielonej (zwykle 4-procesorowymi czterordzeniowymi serwerami Opteron z co najmniej 2 GB pamięci na rdzeń). Zapewniamy również takie elementy, jak menedżer zasobów/programowanie harmonogramu, kompilatory, debugery, oprogramowanie użytkowe, szkolenia użytkowników i wsparcie, doradztwo, pomoc przy przenoszeniu kodu i optymalizacji, wsparcie w zakresie opracowywania algorytmów i ogólna współpraca. Istnieją dwa sposoby dotarcia do tych zasobów - poprzez rezerwację własnego węzła logowania opartą na VCL lub poprzez użycie wspólnego węzła logowania. Osobiste węzły logowania mają sens, jeśli użytkownicy końcowi chcą monitorować swoje przebiegi w czasie rzeczywistym. Zlecenia wysyła się w zwykły sposób, korzystając z kolejek zleceń, w naszym przypadku kontrolowanych przez LSF. Priorytet kolejki zależy od żądanych zasobów i uprawnień partnerstwa. Partnerzy uzyskują bezwzględny i natychmiastowy priorytet w stosunku do posiadanych zasobów (lub równoważnego zestawu zasobów) oraz dodatkowy priorytet w zakresie dodawania wspólnych zasobów poza to, co posiadają.

Standard

Wszystkie zasoby VCL-HPC działają w tym samym środowisku usług HPC (zazwyczaj opartym na RedHat) i mają dostęp do wspólnej biblioteki aplikacji i oprogramowania pośredniczącego. Użytkownicy mogą jednak dodawać własne aplikacje do zasobów obliczeniowych, do których mają dostęp. Wszystkie nasze standardowe węzły VCL-HPC są obciążone gołym metalem, aby można je było stosować wyłącznie w ostrzach VCL. Są one zarządzane jako zróżnicowane zasoby, tj. użytkownicy mają nad nimi pełną kontrolę, ale nie mogą ich ponownie ładować ani zmieniać (z wyjątkiem oprogramowania w katalogach domowych użytkownika) i muszą być używane z harmonogramem utrzymywany przez stan NC i system plików. Większość naszych węzłów HPC działa w tym trybie i jako takie są bardzo podobne do każdego innego klastra HPC. Węzły są ściśle połączone z interkonektami 1 Gb/s lub lepszymi. Użytkownik z wystarczającymi uprawnieniami może wybrać odpowiednie kolejki uruchamiania, które następnie mapują zadania na tę samą obudowę BladeCenter lub tę samą szafę, jeśli jest to pożądane, lub na połączenia o niskim opóźnieniu (np. połączone węzły Infiniband).

Specjalne potrzeby

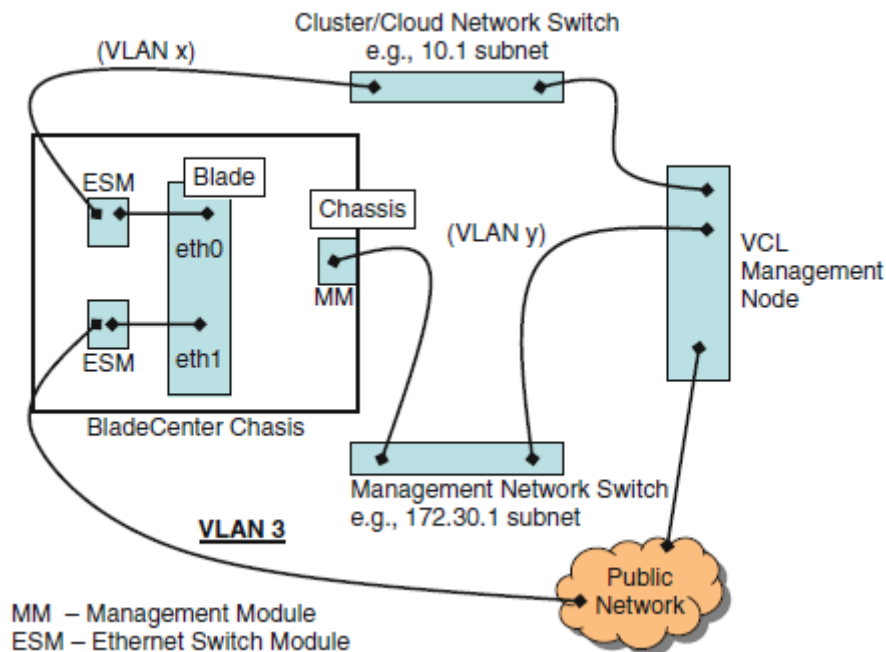
Jeśli użytkownik nie chce dostosować się do „standardowego” środowiska NC State HPC, ma możliwość zażądania od chmury VCL dostępu do niestandardowego klastra. Aby to zrobić, użytkownik musi mieć uprawnienia do „tworzenia obrazu” , a użytkownik musi przejąć na własność ten podklastery lub środowisko usługi podchmury. Najpierw użytkownik tworzy „obraz podrzędny” – węzeł danych lub obraz węzła obliczeniowego – z uruchomionym systemem operacyjnym według własnego wyboru oraz narzędziami umożliwiającymi komunikację z kontrolerem klastra i dostępem do wybranej przez siebie szyny wymiany danych, np. NFS- oparte na dostarczaniu katalogów i plików. Użytkownik zapisuje ten obraz. Następnie użytkownik tworzy „obraz nadrzędny” w trybie agregacji chmury VCL. Ponownie użytkownik wybiera podstawowy system operacyjny i dodaje do niego kontroler klastra, taki jak wybrany harmonogram HPC, np. PBS, lub kontroler chmury, taki jak kontroler Hadoop lub podobny. Teraz użytkownik dołącza do tego dowolną liczbę „obrazów podrzędnych”. Zazwyczaj obrazy potomne są tego samego typu, np. obraz obliczeniowy HPC Linux, jeśli użytkownik chce obsługiwać jednorodny klastery. Ale użytkownik może również dołączyć różne obrazy podrzędne, powiedzmy 20 obrazów obliczeniowych Linux, jeden obraz bazy danych oparty na Linuksie, jeden obraz usług internetowych Windows i tak dalej. Następnie użytkownik zapisuje „obraz nadrzędny”. Od teraz, gdy użytkownik ładuje „obraz nadrzędny lub kontrolny”, wszystkie dzieci są również ładowane do gniazd zasobów wirtualnych lub samych maszyn, w zależności od tego, jak zdefiniowano obrazy podrzędne. Wszystkie obrazy podrzędne oparte na systemie Linux, które są częścią takiego agregatu VCL, znają nawzajem swoje numery IP za pośrednictwem pliku umieszczonego/itd. VCL. Oprogramowanie sterujące „obrazem rodzica” musi wiedzieć, jak uzyskać dostęp do tych informacji i komunikować się z dziećmi. Domyślna topologia niestandardowa jest losowa i luźno powiązana, tj. VCL mapuje obraz „nadrzędny” lub zakotwiczony oraz jego elementy podrzędne na zasoby, na których obrazy mogą być uruchamiane, ale nie zwraca uwagi na opóźnienia między węzłami ani topologię. Jeżeli pożądana jest określona topologia, taka jak ciasne sprzężenie komunikacji międzyobrazowej o niskim opóźnieniu odpowiednie dla HPC, a właściciel obrazu ma odpowiednie uprawnienia, możliwe jest mapowanie obrazów na węzły, które są zgodne z określoną topologią lub opóźnieniem połączenia.

Sieć węzłów obliczeniowych/danych

Istnieje kilka ważnych różnic między „standardową” ofertą VCL-HPC w trybie wsadowym opartym na kolejce a konstruowaną przez użytkownika chmurą lub klastrem HPC.

Jedną z kluczowych cech niezróżnicowanych zasobów VCL jest ich konfiguracja sieci. Pozwala na bezpieczną dynamiczną rekonfigurację, ładowanie obrazów oraz izolację pojedynczych obrazów i grup obrazów. Każdy niezróżnicowany zasób musi mieć co najmniej dwa interfejsy sieciowe. Jeden w sieci prywatnej, a drugi w sieci publicznej lub prywatnej, w zależności od trybu działania zasobu. Również za pełną funkcjonalność, niezróżnicowane zasoby muszą mieć sposób zarządzania stanem sprzętu za pośrednictwem kanału zewnętrznego — na przykład za pośrednictwem modułu zarządzania obudową BladeCenter™ (MM).

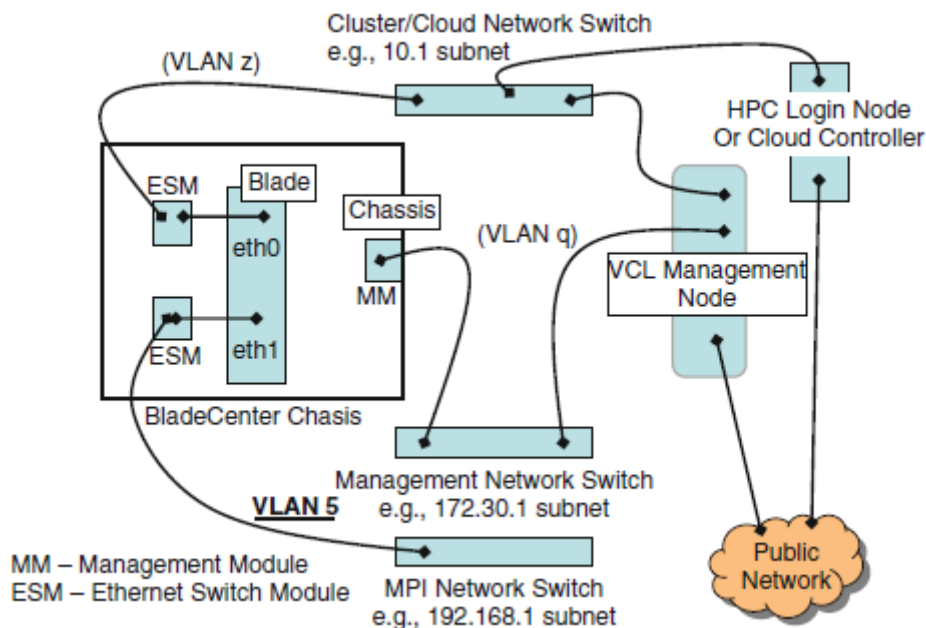
Rysunek ilustruje konfigurację, w której stanowiska/usługi są przypisywane indywidualnie lub w zsynchronizowanych grupach, lub gdy chcemy przypisać/zbudować agregat obrazu użytkownika końcowego lub środowisko, w którym każdy węzeł w środowisku jest dostępny z sieci publicznej (np. obraz serwera WWW plus obraz bazy danych oraz obraz aplikacji lub klastery względnie niezależnych węzłów).



Zazwyczaj interfejs eth0 modułu kasetowego jest podłączony do sieci prywatnej (w przykładzie 10,1 podsieci), która służy do ładowania obrazów. Zarządzanie serwerami kasetowymi poza pasmem (np. odyskiwanie energii) odbywa się za pośrednictwem sieci zarządzania (w przykładzie 172.30.1) podłączonej do interfejsu MM. Sieć publiczna jest zazwyczaj podłączona do interfejsu eth1. Menedżer węzłów VCL (którym może być jeden z serwerów kasetowych w klastrze lub komputer zewnętrzny) w lokacji VCL ma dostęp do wszystkich trzech łączy, co oznacza, że musi mieć trzy interfejsy sieciowe. Jeśli jest to samodzielny serwer, oznacza to trzy karty sieciowe. Jeśli węzłem zarządzania jest moduł typu blade, trzeci interfejs jest wirtualny i prawdopodobnie znajduje się w oddzielnej sieci VLAN. Warto zauważyć, że zewnętrzny (publiczny) interfejs znajduje się w sieci VLAN, aby zapewnić izolację (np. VLAN 3 dla interfejsu publicznego na rysunku). Ta izolacja może mieć kilka poziomów. Jednym z nich jest po prostu oddzielenie zasobów, innym jest indywidualne odizolowanie każdego użytkownika końcowego w grupie poprzez nadanie każdemu indywidualnemu zasobowi lub grupie zasobów oddzielnej sieci VLAN - i w rzeczywistości izolacja end-to-end poprzez dodanie kanałów VPN. Ta izolacja może dotyczyć zarówno rzeczywistych, jak i wirtualnych zasobów sprzętowych, ale izolacja sprzętu fizycznego może wymagać dodatkowego zewnętrznego sprzętu do przełączania i routingu. W wysoce bezpiecznych instalacjach zaleca się również, aby zarówno sieć prywatna (eth0), jak i łączy MM znajdowały się w oddzielnych sieciach VLAN. Obecnie jeden menedżer węzłów może efektywnie zarządzać około 100 serwerami kasetowymi działającymi w trybie innym niż HPC.

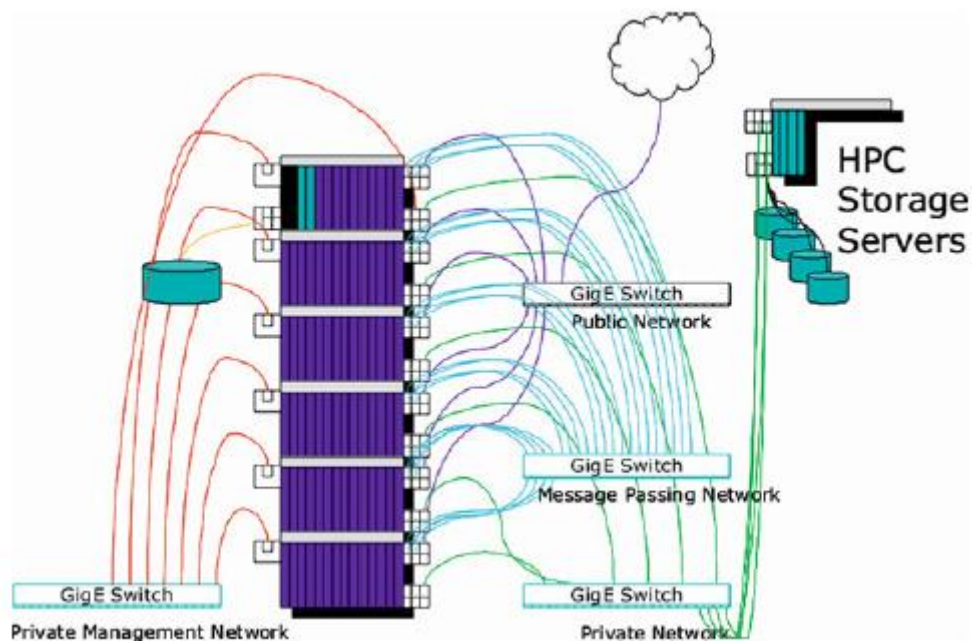
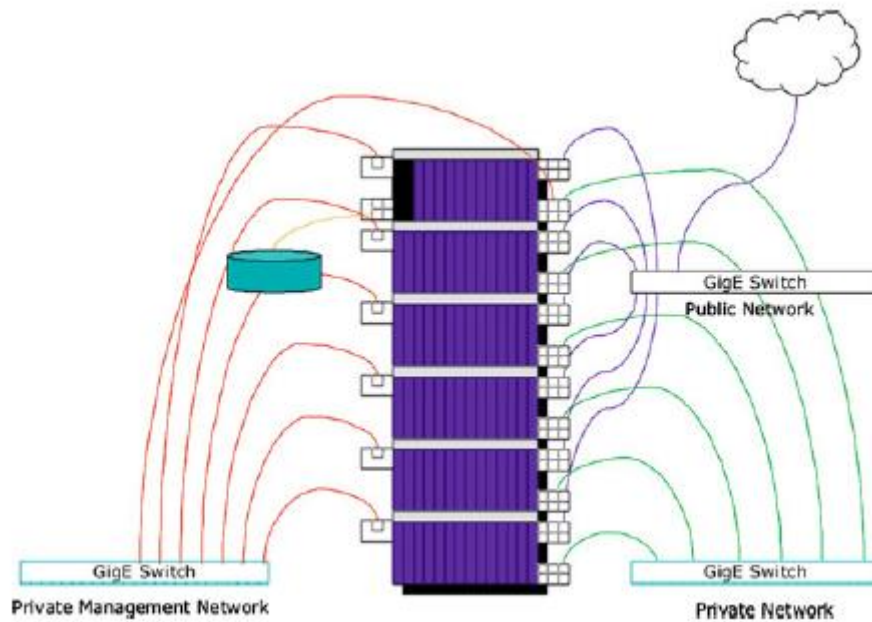
Integracja obliczeń o wysokiej wydajności z architekturą chmury VCL

„Rysunek ilustruje konfigurację VCL, gdy serwery kasetowe są przypisane do ściśle powiązane środowiska klastrowego VCL-HPC lub do dużej nakładkowej (wirtualnej) „chmury”, która ma stosunkowo scentralizowany dostęp publiczny i zarządzanie obliczeniowe.



W tym przypadku menedżer węzłów jest nadal połączony ze wszystkimi trzema sieciami (tj. publiczną, zarządzającą oraz ładującą i przygotowującą obrazy siecią prywatną), ale teraz eth1 jest podłączony do tego, co stało się przełącznikiem sieciowym interfejsu przekazywania komunikatów (MPI) (VLAN 5 na rysunku). Sieć ta obsługuje teraz komunikację wewnątrz klastra, niezbędną do wykonywania ściśle powiązanych zadań obliczeniowych, które zwykle są wykonywane w chmurze HPC. Przełączanie między trybem innym niż HPC i tym trybem HPC odbywa się elektronicznie, poprzez manipulację VLAN i wpisy w tabeli; rzeczywista konfiguracja fizyczna nie ulega zmianie. Używamy różnych sieci VLAN do eth1, aby oddzielić dostęp sieci publicznej (zewnętrznej) do poszczególnych serwerów kasetowych, gdy te są w trybie Individual-Seat (VLAN 3 na rysunku wcześniej), od komunikacji MPI do tego samego serwera blade, gdy jest on w trybie HPC (VLAN 5 na ostatnim rysunku).”

Kod VCL do skonstruowania tej konfiguracji HPC w środowisku chmury obliczeniowej jest dostępny na Apache.or. Chociaż obecna wersja VCL może działać na dowolnym sprzęcie X86, używamy głównie IBM BladeCenters ze względu na ich niezawodność, oszczędność energii, łatwość konserwacji i kompaktowe rozmiary. Podczas budowania „startowej” wersji VCL innej niż HPC można ograniczyć instalację tylko do środowisk wirtualnych, np. wszystkie zasoby działają jako serwery VMWare, a VCL kontroluje i udostępnia tylko obrazy wirtualne przy użyciu wirtualnej wersji konfiguracji VCL non-HPC. Jest to szybkie i działa dobrze, ale prawdopodobnie jest mniej atrakcyjne dla tych, którzy chcą mieć opcję HPC. Społeczność HPC nadal nieufnie podchodzi do tego, aby obliczenia oparte na prawdziwych HPC były uruchamiane na zasobach zwirtualizowanych. Co więcej, niektóre aplikacje inżynierskie o dużej pojemności pamięci i procesora mogą nie zachowywać się najlepiej w środowisku zwirtualizowanym. W takich przypadkach zaleca się instalację funkcji ładowania na samej maszynie VCL (poprzez XCat). Dwa poniższe rysunki przedstawiają stelaż obudów BladeCenter z dodatkowymi stelażami połączonymi w podobny sposób.



Różnice między dwoma obrazami są logiczne, tj. przełączanie z jednego trybu na drugi odbywa się elektronicznie w oprogramowaniu firmy VCL na podstawie charakterystyki obrazu. Można mieszać konfiguracje inne niż HPC i HPC na ziarnistość podwozi. Ważną rzeczą, na którą należy zwrócić uwagę, jest to, że aby zachować dobre parametry wydajności, nie chcemy łączyć łańcuchowo wewnętrznych przełączników obudowy. Zamiast tego zapewniamy przełącznik zewnętrzny, taki jak Cisco 6509e (lub odpowiednik dowolnego dostawcy), który służy do łączenia różnych obudów w trzech oddzielnych sieciach i sieciach VLAN. W trybie innym niż HPC jedna sieć zapewnia dostęp publiczny, jedna sieć służy do zarządzania ładowaniem obrazów i dostępu do pamięci obrazów zaplecza, a trzecia służy do bezpośredniego zarządzania sprzętem (np. włączanie/wyłączanie zasilania, ponowne uruchamianie). W trybie HPC sieć publiczna staje się siecią MPI, a specjalne węzły logowania są używane do

uzyskiwania dostępu do klastra z zewnątrz. Chociaż możemy korzystać z jednego serwera internetowego VCL i bazy danych dla tysięcy serwerów kasetowych, w skalowalnym środowisku potrzebujemy jednego węzła zarządzania zasobami na każde około 100 obliczeniowych serwerów typu blade, aby zapewnić dobre czasy reakcji rezerwacji obrazu – zwłaszcza podczas ładowania klastrów obrazów. Potrzebujemy również fizycznego połączenia z macierzą pamięci masowej – zwykle uruchamiamy współdzielony system plików (taki jak GFS4 lub GPFS5) dla wielu węzłów zarządzania w jednej lokalizacji. Gdy VCL zapewnia usługę obliczeniową pamięci rozproszonej i współdzielonej dla HPC, odbywa się to poprzez ściśle powiązaną agregację zasobów obliczeniowych z odpowiednią wydajnością procesora, pamięci i połączeń. W naszym przypadku usługi obliczeniowe pamięci rozproszonej przyjmują formę logicznego klastra Linux o różnych rozmiarach z połączeniami Gigabit lub 10 Gigabit Ethernet. Podzbiór naszych węzłów ma dodatkowe połączenia międzysieciowe Myrinet lub InfiniBand o niskim opóźnieniu. Węzły, które można przydzielić do obliczeń pamięci współdzielonej, mają dużą liczbę rdzeni i dużą ilość pamięci. Do obsługi VCL w trybie HPC dedykujemy jedną prywatną sieć do przekazywania komunikatów – w tym celu wykorzystujemy interfejs sieci typu blade, który byłby używany do publicznego dostępu użytkowników w trybie standardowym VCL. Również na obudowie HPC BladeCenter konfigurujemy dwie sieci VLAN w jednym module przełącznika, jedną dla publicznego Internetu i dla interfejsu przekazywania komunikatów. Węzeł zarządzania VCL wprowadza te zmiany automatycznie na podstawie metadanych obrazu. Obraz środowiska usługowego HPC „wie” poprzez swoje metadane, że wymaga konfiguracji sieci VCL-HPC i te działania są inicjowane przed załadowaniem. Środowisko VCL-HPC składa się z co najmniej jednego węzła logowania oraz dowolnej liczby węzłów obliczeniowych. Menedżer zasobów LSF6 jest częścią węzła logowania. Zarówno węzły logowania, jak i węzły obliczeniowe otrzymują rezerwacje stałe (aż do anulowania) – w przeciwieństwie do ograniczonych czasowo rezerwacji zasobów, które zwykle występują po stronie innej niż HPC. Obraz węzła obliczeniowego HPC składa się z minimalnego klienta Linux z LSF, który, gdy stanie się dostępny, automatycznie rejestruje się w menedżerze LSF. Wszystkie obrazy obliczeniowe HPC również automatycznie łączą się z katalogiem domowym użytkownika i współdzieloną pamięcią masową do użytku podczas obliczeń. Obraz węzła logowania HPC zawiera pełny serwer Linux i LSF. Zwykle istnieją od dwóch do trzech węzłów logowania, przez które wszyscy użytkownicy uzyskują dostęp do funkcji HPC w celu uruchomienia swoich zadań. Istnieje jednak również możliwość tymczasowego zarezerwowania „osobistego” węzła logowania za pomocą strony internetowej VCL. Na tych „osobistych” węzłach użytkownicy mogą uruchamiać intensywną wizualizację i analizy bez wpływu na innych użytkowników. Wszystkie węzły logowania mają dostęp zarówno do magazynów HPC scratch, jak i katalogów domowych HPC użytkowników (z odpowiednimi uprawnieniami), a także do długoterminowego przechowywania danych HPC. Podczas gdy węzły obliczeniowe są zgodne z konfiguracją – dwie sieci prywatne, jedna dla ruchu MPI, druga do ładowania i zarządzania obrazami, węzły logowania są zgodne z topologią z rysunku wcześniejszego i mają publiczny interfejs umożliwiający dostęp z zewnątrz, oraz prywatna strona umożliwiająca dostęp do węzłów obliczeniowych i kontrolowanie ich. Jeśli chcemy dodać połączenia międzysieciowe o niskim opóźnieniu dla obciążeń HPC, musimy wprowadzić dodatkowe zmiany w obudowach i serwerach, które będą do tego wykorzystywane. Moduły sieciowe w obudowie dla połączeń o niskich opóźnieniach (Myrinet, InfiniBand) wymagają optycznego przejścia i odpowiedniego przełącznika zewnętrznego (np. InfiniBand). Serwery kasetowe muszą być wyposażone w karty-córki połączeń o małych opóźnieniach.

Wydajność i koszt

VCL świadczy usługi informatyczne dla wykładowców i studentów w klasach, laboratoriach i badaniach. Z jednej strony, jeśli użytkownicy mają polegać na VCL, system VCL musi mieć wystarczające dostępne zasoby, aby zaspokoić szczytowe obciążenia. Z drugiej strony, jeśli VCL ma działać efektywnie kosztowo, ważne jest, aby nie było nadmiernie alokowane do punktu, w którym wdrożenie systemu

jest nieekonomiczne. W celu zapewnienia możliwości VCL użytkownikom przy bardzo zróżnicowanym obciążeniu zapotrzebowania, NC State zdecydowało się zainwestować kapitał, aby zapewnić, że poziom usług „na żądanie” jest dostępny w razie potrzeby. Zapotrzebowanie użytkowników na te usługi obliczeniowe jest regulowane kalendarzem akademickim uczelni. Obecne wdrożenie VCL zapewnia dostępność usług przekraczającą 99%. Jednym ze sposobów zapewnienia wysokiego poziomu dostępności użytkownika, tj. obsługi obciążeń szczytowych, jest utrzymywanie przez uniwersytet puli sprzętu w trybie czuwania lub bezczynności przez długi czas. Konsekwencją tej polityki jest jednak ogólnie niskie lub średnie wykorzystanie zasobów. Jest to kosztowna i nieoptymalna opcja całkowitego kosztu posiadania dla uczelni. Dlatego jednym z kluczowych aspektów projektowania VCL innych niż HPC — HPC jest współużytkowanie zasobów. Na uniwersytecie badawczym, takim jak NC State, HPC jest bardzo użytecznym i potrzebnym obciążeniem pracą. Ponieważ zadania HPC są głównie zadaniami wsadowymi, HPC może działać jako doskonałe obciążenie „wypełniające” dla bezczynnych cykli obliczeniowych, zapewniając w ten sposób opcję znacznego obniżenia całkowitego kosztu posiadania obu systemów.

Analiza wzorca wykorzystania HPC w NC State pokazuje, że naukowcy, którzy aktywnie korzystają z systemów obliczeniowych HPC, robią to przez cały rok i nie mają silnych wahań obciążenia obliczeniowego w kalendarzu akademickim. Ponieważ zadania HPC zwykle mają duże wymagania dotyczące cykli obliczeniowych, stanowią doskonałe uzupełnienie wykorzystania zasobów, pod warunkiem, że chmura może dynamicznie przenosić zasoby między trybami jednostanowiskowym a trybem HPC. Co więcej, okazuje się, że zapotrzebowanie na cykle HPC wzrasta w okresie wakacyjnym i poza zajęciami lekcyjnymi, od tego czasu wydaje się, że zarówno studenci wydziałów, jak i doktoranci mają więcej czasu na pracę obliczeniową. W przypadku NC State, kolokacja komplementarnych obciążeń obliczeniowych, tj. rozszerzanie pulpitu na żądanie i obliczenia HPC, skutkuje wyższym i bardziej spójnym wykorzystaniem oraz ogólnymi oszczędnościami. W tym kontekście należy zrozumieć, że chociaż w większości HPC działa w trybie „wsadowym”, żądania HPC są tak samo wymagające, jak żądania użytkowników komputerów stacjonarnych „na żądanie”. Użytkownicy HPC oczekują, że ich klastry będą miały bardzo małe opóźnienia między połączeniami, wystarczającą ilość pamięci i najnowszy sprzęt obliczeniowy. Niezbędna jest możliwość wykorzystania obciążenia samej maszyny do obrazów HPC, podobnie jak zdolność mapowania na odpowiednią topologię połączeń międzysieciowych. Dlatego uruchamianie HPC na zasobach zwirtualizowanych nie jest tak naprawdę opcją. Potrzeba ta została ostatnio potwierdzona poprzez szczegółowe porównanie NAS Parallel Benchmarks uruchomionych w chmurze Amazon EC2 i klastrach NCSA. Wyniki wykazały duże różnice w poziomach obniżonej wydajności, gdy kody HPC były ładowane do zasobów Amazon EC2. Podczas gdy konkretne wyniki zależały od konkretnej aplikacji i używanej konfiguracji przetwarzania w chmurze, ogólna lekcja była taka, że trzeba mieć zarówno kontrolę nad tym, na czym się działa (maszyny wirtualne lub rzeczywiste), jak i niskie czasy opóźnień między węzłami klastra. VCL został zaprojektowany, aby umożliwić współdzielenie zasobów przy jednoczesnym zachowaniu pełnej wydajności dla HPC. Statystyki operacyjne VCL z ostatnich kilku lat zdecydowanie wspierają ten wybór projektu i sugerują, że budując spójną zintegrowaną warstwę informatyczną kampusu dla wydziałów i studentów akademickich i badawczych potrzeby pozwalają uczelni na elastyczność w obsłudze obu tych funkcji uczelni. Pozwala także samej instytucji edukacyjnej zmaksymalizować zwrot z inwestycji kapitałowej w sprzęt i urządzenia IT oraz obniżyć całkowity koszt posiadania. Pracownicy IT obsługujący VCL również dostrzegają zalety, ponieważ systemy są skalowalne i serwisowalne przy mniejszej liczbie żądań dostosowywania i mniejszej liczbie personelu (NC State wykorzystuje 2 FTE do obsługi systemu typu blade 2000). Ponieważ sprzęt VCL może znajdować się zdalnie poza salą lekcyjną lub laboratorium, istnieje również lepsze fizyczne zabezpieczenie sprzętu i bardziej zorganizowany program do komputerowego zabezpieczenia systemów.

Komercyjne firmy zajmujące się przetwarzaniem w chmurze zaczynają zapuszczać się w przestrzeń edukacyjną i badawczą, korzystając z modelu pay-per-use. Przykładami są usługi Amazon EC2, a ostatnio Microsoft Azure. Jednak żadna z nich (naszym zdaniem) nie oferuje obecnie realnej integracji wysokiej klasy usług HPC o niskim opóźnieniu w swoich chmurach. „W przypadku Amazon Web Services swoją ofertę chmurową EC2 umieścili w sposób silnie skoncentrowany na marketingowym wynajmie sprzętu fizycznego, pamięci masowej i komponentów sieciowych. Chociaż EC2 firmy Amazon umożliwia użytkownikom pozyskiwanie zasobów obliczeniowych na żądanie, zwykle w postaci maszyn wirtualnych, użytkownik musi skonfigurować ten sprzęt w działający klaster w czasie wdrażania, w tym załadować i połączyć odpowiednie aplikacje. Korzystając z usługi internetowej Amazon, użytkownicy mogą tworzyć i przechowywać obrazy zawierające ich aplikacje, biblioteki, dane i powiązane ustawienia konfiguracyjne lub ładować wstępnie skonfigurowane obrazy szablonów z biblioteki obrazów. Amazon wdraża „strefy dostępności”, aby umożliwić użytkownikom pewien stopień kontroli nad umieszczaniem instancji w chmurze. W szczególności użytkownicy EC2 mogą wybrać hostowanie obrazów w różnych strefach dostępności, jeśli chcą spróbować zapewnić niezależne wykonanie kodów i ochronę przed globalną awarią w przypadku problemów z załadowanym obrazem. Mają też wybór, kiedy uruchamiać swoje obrazy, ile serwerów wybrać i jak przechowywać swoje dane. Amazon rozlicza klientów na zasadzie „pay-as-you-go” za czas wynajęty na każdym składniku ich infrastruktury chmurowej”. Istnieje wiele możliwych rozwiązań open source. Bardzo niewiele, jeśli w ogóle, z wyjątkiem VCL, oferuje pełny pakiet usług przetwarzania w chmurze HaaS to CaaS. Jednym z przykładów jest Eucalyptus. Eucalyptus ma interfejs zgodny z chmurą obliczeniową Amazon Web Services, ale nieco inaczej traktuje strefy dostępności. W przypadku Eucalyptus każda strefa dostępności odpowiada osobnemu klasterowi w chmurze Eucalyptus. W Eucalyptus każda strefa dostępności jest ograniczona do jednej „maszyny” (np. klastra), gdzie w Amazon strefy są znacznie szersze.

Streszczenie

Implementacja chmury typu open source Virtual Computing Laboratory została pierwotnie opracowana i wdrożona na NC State University w 2004 roku. Od tego czasu udokumentowano, że ta połączona architektura chmury obliczeniowej innych niż HPC i HPC może zapewnić oba te typy usług w chmurze w opłacalny sposób. Ta odnosząca sukcesy architektura przetwarzania w chmurze szybko się rozwija i od tego czasu została przyjęta na szczeblu regionalnym, krajowym i międzynarodowym, a obecnie zapewnia użytkownikom na całym świecie najnowocześniejsze usługi przetwarzania w chmurze.