

Wielowymiarowe pośrednictwo zasobów danych środowiskowych w sieciach obliczeniowych i chmurach naukowych

Przetwarzanie w sieciach ewoluowało w ciągu ostatnich lat, a jego możliwości znalazły zastosowanie nawet w produktach biznesowych i nie są już ograniczane do zastosowań naukowych. Obecnie technologia przetwarzania siatkowego nie ogranicza się do zestawu określonych produktów typu open source lub przemysłowych produktów gridowych, ale raczej składa się z zestawu możliwości praktycznie dowolnego rodzaju oprogramowania do tworzenia współdzielonych i wysoce opartych na współpracy środowisk produkcyjnych. Środowiska te koncentrują się na możliwościach obliczeniowych (obciążenia pracą) oraz integracji informacji (danych) z tymi możliwościami obliczeniowymi. Aktywnym obszarem zastosowań przetwarzania siatkowego jest pełna wirtualizacja instrumentów naukowych w celu zwiększenia ich dostępności oraz obniżenia kosztów operacyjnych i utrzymania. Siatki obliczeniowe i informacyjne pozwalają na zarządzanie obiektami świata rzeczywistego w sposób zorientowany na usługi przy użyciu rozpowszechnionych na całym świecie standardów przemysłowych. Wzmocnione szybkim postępem w technologii wielordzeniowej, podejście do obliczeń siatkowych zmieniło się i ewoluowało w kierunku właściwej konwergencji między stabilnością, efektywnością, łatwością zarządzania, wygodnym zachowaniem, a przede wszystkim lepszym stosunkiem kosztów do korzyści. Technologia ta doprowadziła świat przetwarzania rozproszonego do trzeciej generacji siatek charakteryzujących się wzrostem mocy obliczeniowej wewnątrz lokacji dzięki technologii wielordzeniowej oraz dostępności pamięci masowej w terabajtach do petabajtów. Takie podejście ułatwia rozwój technik wirtualizacji i pozwala na efektywną eksploatację ogromnych fabryk serwerów. Zaawansowane oprogramowanie maszyny wirtualnej ma niewielki wpływ na wydajność, m.in. wykorzystanie technik jako parawirtualizacji oraz umożliwia wdrażanie, uruchamianie, wstrzymywanie, przenoszenie, zatrzymywanie i cofanie wdrożenia maszyn wirtualnych w wydajnym, bezpiecznym i opartym na współpracy środowisku. Technologie oprogramowania leżące u podstaw tego podejścia gridowego, zwykle określane jako przetwarzanie w chmurze (Foster i in., 2006), są dość podobne do tych opracowanych dla drugiej generacji gridów oferujących funkcje w postaci oprogramowania jako usługi. Prawdziwą nowością jest dynamiczne wdrażanie pełnych maszyn wirtualnych spakowanych wokół oprogramowania działającego w lokalizacji lokalnej lub zdalnej. Użytkownik prosi brokera zasobów o usługę. Ta usługa mogłaby nawet nie zostać wdrożona, ale dostępna w katalogu, a następnie spakowana na odpowiednią maszynę wirtualną i ostatecznie gotowa do użycia. Ponadto szybki spadek kosztów wysoce zintegrowanych klastrów spowodował pojawienie się centrów danych jako podstawowej platformy dla rosnącej klasy aplikacji intensywnie korzystających z danych. W tym scenariuszu dane wzbogacone o metadane, zarówno przechowywane, jak i wytwarzane przez system akwizycji online, odgrywają kluczową rolę w przewyciężaniu tego, czym w przeszłości były staromodne siatki obliczeniowe i siatki danych. W szczególności w środowisku chmury zasób jest postrzegany jako jednostka wysokiego poziomu, podczas gdy pośrednictwo w zakresie potrzeb aplikacji odbywa się automatycznie przy użyciu podejścia samoopisującego usługi. Opracowaliśmy komponent obsługujący siatkę w oparciu o usługę Brokera zasobów, implementującą protokół dostępu do danych naukowych OpenDAP (Projekt Open Source dla protokołu dostępu do danych sieciowych) oraz zapewniający efektywną i wydajną dystrybucję treści na siatce. W poprzedniej pracy opisaliśmy zachowanie Grads Data Distribution Service (GDDS), którą można uznać za przodka Five Dimension Data Distribution Service (FDDDS) przedstawionej w tej pracy. Ta usługa opiera się na innym starszym silniku OpenDAP i zapewnia szersze możliwości formatu danych środowiskowych oraz lepszą wydajność. Większość implementacji oprogramowania pośredniczącego typu grid zakłada instrumenty jako źródła danych. Przyrządy można uznać za off-line i zwykle publikowane są tylko przetworzone dane, wykorzystujące powszechnie używane urządzenia pamięci masowej, takie jak lokalizacja replik, niezawodne przesyłanie plików i technologie GridFTP. Dzięki takiemu podejściu

pozyskiwane dane są skoncentrowane, a nie rozproszone, z niewielkimi korzyściami w zakresie dynamicznego dostępu z równoważeniem obciążenia. W zakresie pozyskiwania danych środowiskowych ta ostatnia kwestia może mieć kluczowe znaczenie, gdy duża liczba użytkowników potrzebuje dostępu do danych podczas ekstremalnych zjawisk pogodowych, takich jak huragany, powódzie czy klęski żywiołowe, takie jak erupcje wulkanów, trzęsienia ziemi czy tsunami. Wyzwanie, jakim jest zintegrowanie instrumentów ze środowiskiem sieciowym, jest strategicznie istotne i może prowadzić do bardziej wydajnego i efektywnego wykorzystania samych instrumentów, zmniejszenia ogólnych kosztów ogólnych i poprawy przepustowości. Zwykle instrumenty wytwarzają ogromne ilości danych, które można przechowywać elastycznie przy użyciu usług przechowywania dostępnych w chmurze, zmniejszając koszty zarządzania i obciążając użytkowników tylko za zasoby, z których korzystają. Z tego punktu widzenia dane wytwarzane przez przyrządy i przechowywane w usługach przetwarzania w chmurze mogą być reklamowane w indeksie gridowym obsługiwany i udostępniany na żądanie za pomocą usług opartych na OpenDAP. Poniżej omawiamy implementację i integrację w Globus Toolkit 4 FDDDS oraz opisujemy, jak działają usługi FDDDS i Resource Broker (RBS). Skupiamy się również na implementacji komponentu mapującego wśród zasobów eksponowanych przez usługę indeksu GT4 i reprezentację Condor ClassAd oraz podajemy kilka przykładów związanych z oceną modelu prognozy pogody. Nasz RB może odpowiedzieć na pytania takie jak następujące (poszukiwanie najlepszego zestawu danych środowiskowych 5D spełniającego określone wymagania):

```
[  
Rank=other.ConnectionSpeed;  
Requirements=other.Type="dataset";  
other.Time>='03:07:2008 00:00:00' &&  
other.Time<='09:07:2008 00:00:00' &&  
other.Lat>=36 &&  
other.Lat<=42 &&  
other.Lon>=8 &&  
other.Lon<=20 &&  
other.Variables=u10m,v10m; &&  
other.DataOrigin=="wrf"  
]
```

W tym zapytaniu ClassAd zorientowanym na dane użytkownik szuka zestawu danych zawierającego składnik wschodni i składnik północny wektora wiatru na wysokości 10 m nad poziomem morza (odpowiednio u10m i v10m). Żądane dane muszą pochodzić z modelu pogody i prognozy i dotyczyć obszaru domeny południowych Włoch, wyrażonego jako zakresy szerokości i długości geograficznej. Najlepszy dostawca zestawu danych jest wybierany przez ranking szybkości połączenia hostów tworzących usługę sieciową. W związku z tym, jeśli zostanie wykrytych dwóch lub więcej dostawców danych, wybierany jest najskuteczniejszy. Na koniec użytkownik przesyła do FDDDS określone żądanie dotyczące podzbioru (tj. wyodrębnienia podkosteł z kostek danych) żądanych danych. Biorąc pod uwagę lokalne zasady zarządzania danymi, podzbiór danych mógłby zostać udostępniony jako zareklamowany zasób, rozproszony, replikowany, buforowany lub nawet usunięty, jeśli nie zostanie

wykorzystany w określonym przedziale czasowym. W siatce opartej na środowisku chmury instancje FDDDS mogą być dynamicznie wdrażane w celu dostosowania do rzeczywistych potrzeb użytkowników. Jeśli dane są wytwarzane bezpośrednio przez przyrządy i przechowywane przy użyciu magazynu udostępnianego lokalnie lub dostępnego w chmurze, opracowana usługa Instrument Service (InS) reklamuje źródła danych w usłudze indeksowania siatki, dzięki czemu możliwe jest zapytanie ClassAd w następujący sposób:

```
[
Type="DataConsumer";
Rank=1/gis.getDistance(
14.22,40.85,other.Longitude,other.Latitude
);
Requirements=
other.Type=="Instrument" &&
other.Desc=="WeatherStation" &&
other.Sensor=="windDir,windSpeed"
]
```

W tym zapytaniu użytkownik szuka instrumentu stacji pogodowej dostarczonego przez kanał danych, który pobiera kierunek i prędkość wiatru możliwie najbliższej punktu znajdującego się na długości 14,22° i szerokości 40,85°.

Wykrywanie i wybór zasobów za pomocą usługi brokera zasobów

Usługa Resource Broker Service (Montella, 2007) jest kluczowym elementem naszej infrastruktury usług sieciowych sieci grid. Opiera się na natywnym algorytmie dobierania graczy Latent Semantic Indices. Zintegrowaliśmy usługę brokera zasobów z kontekstem GT4, gdzie każdy zasób jest publikowany w usłudze indeksowania, identyfikowany przez EPR (odwołanie do punktu końcowego) i wybierany za pomocą standardowych narzędzi wiersza poleceń GT4, takich jak wsrfr-query i zapytania xpath. W architekturze RBS najważniejszym elementem jest proces kolektora. Kolektor generyczny analizuje elementy wpisu usługi indeksowania i przechowuje je w formacie zorientowanym na hosta (element siatki) odpowiednim dla natywnego algorytmu pośrednictwa zasobów. Kolektor jest odpowiedzialny za zarządzanie w najbardziej odpowiedni sposób różnymi rodzajami zasobów, takimi jak usługa domyślnego indeksowania, usługa zarządzanej fabryki zadań i usługa niezawodnej fabryki transferu plików, które są analizowane i mapowane na Globus.Service.Index, Globus. odpowiednio właściwości Service.GRAM i Globus.Service.RTF. Kolektor wyszukuje właściwości i wykonuje mapowanie między jedną lub większą liczbą właściwości na nowe, a następnie przechowuje wyniki w lokalnej strukturze danych. Kolektor jest w pełni rozszerzalny i konfigurowalny za pomocą udokumentowanego interfejsu API. Po załadowaniu usługi Broker zasobów do kontenera usług sieci Web GT4 tworzona jest instancja komponentu zbierającego, która wykonuje zapytania do usługi głównego indeksu obiektu VO. RBS akceptuje zapytania w notacji natywnej; każde kryterium wyboru używa wyrażen takich jak „równy”, „różny”, „większy niż”, „większy lub równy”, „mniejszy niż”, „mniejszy lub równy” i „maksymalnie”/„min”, aby zmaksymalizować lub zminimalizować właściwość i „dontcare”, aby zignorować wstępnie ustawiony warunek. Broker zwraca dopasowanie, kierując konsumenta bezpośrednio do wybranego zasobu za pomocą odwołania do punktu końcowego (EPR).

Wybrany zasób jest oznaczony jako zadeklarowany, aby uniemożliwić innym zapytaniu brokera zasobów wybranie tego samego zasobu, aby uniknąć potencjalnego przeksięgowania. Zasób pozostaje przejęty do momentu wystąpienia nowego zdarzenia aktualizacji, a stan zasobu odzwierciedla jego rzeczywiste zachowanie. Komunikaty powiadomień są filtrowane, aby uniknąć pogorszenia wydajności z powodu zarządzania zdarzeniami odnawiania danych. Aby automatycznie kontrolować czas życia zasobu, efektywna dostępność aktualizacji nie jest trwała, ale jest odnawiana za każdym razem, gdy zdarzenie zmiany stanu przekracza określony próg.

Usługa dystrybucji danych GrADS oparta na Anagram

OpenDAP to inicjatywa społecznościowa, której celem jest stworzenie rozwiązania typu open source do obsługi rozproszonych danych naukowych i umożliwienia badaczom oceanów i atmosfery dostępu do danych środowiskowych w dowolnym miejscu w Internecie z szerokiej gamy nowych i istniejących programów. Projekt OpenDAP może wykorzystać lata opracowywania pakietów do analizy i wyświetlania danych, które korzystają z tych interfejsów API, umożliwiając użytkownikom dalsze korzystanie z programów, które już znają, oraz opracowywanie sieciowych wersji powszechnie używanych bibliotek interfejsu programowania aplikacji (API), takich jak NetCDF, HDF, JGOFS i inne. Architektura OpenDAP opiera się na modelu klient/serwer, z klientem, który wysyła żądania danych do sieci do serwera, który odpowiada na żądane dane. Jest to dokładnie model stosowany w sieci WWW, w którym klienci przesyłają swoje żądania do serwerów internetowych o dane składające się na strony internetowe, mimo że nadal brakuje wsparcia dla technologii usług sieciowych i siatek danych obliczeniowych. Wcześniej opracowaliśmy usługę sieciową opartą na GT4, aby zapewnić dostęp do danych środowiskowych w formie usługi sieciowej, wykorzystując funkcje sieci, takie jak infrastruktura bezpieczeństwa sieci i niezawodny transfer plików, w celu bezpiecznego i wydajnego zarządzania danymi. Nasz początkowy projekt koncentrował się na dostarczaniu danych dostarczonych przez system analizy i wyświetlania siatki (GrADS) (Doty i Kinter, 1995). To narzędzie programowe jest darmowym i interaktywnym narzędziem typu open source, opracowanym w ANSI C i przeniesionym na różne platformy i systemy operacyjne, które jest szeroko stosowane do łatwego dostępu, manipulacji i wizualizacji danych naukowych o Ziemi przechowywanych w różnych formatach w postaci binarnej, GRIB, NetCDF lub HDF-SDS (zestawy danych naukowych). GrADS wykorzystuje 5-wymiarowe środowisko danych: długość geograficzną, szerokość geograficzną, poziom pionowy, czas i parametry (zmienne). Plik deskryptora zwykłego tekstu działa jako metadane zarówno dla danych stacji, jak i danych siatkowych, rozłożonych na siatki regularne, nieliniowo rozmieszczone, gaussowskie lub siatki o zmiennej rozdzielczości. Różne zestawy danych można integrować i nakładać graficznie, z ich prawidłową rejestracją przestrzenną i czasową, za pomocą wielu różnych technik graficznych, a ponadto dane wyjściowe można eksportować w formacie postscriptowym lub graficznym. GrADS-DODS Server (GDS) łączy GrADS i OpenDAP, tworząc rozwiązanie open-source do obsługi rozproszonych danych naukowych. GDS zapewnia szerokiej gamie klientów zdalny dostęp do zbiorów danych za pośrednictwem protokołu OpenDAP oraz narzędzia analitycznego, które zostało włączone do OpenDAP. Metadane i podzbiory są w razie potrzeby pobierane z serwera w sposób przezroczysty. Ekstrakcja danych i ustawianie podrzędne to główne cechy GDS, ale GDS zapewnia również potężne i wieloetapowe złożone narzędzia analityczne, wykorzystujące oprogramowanie GrADS jako komponent silnika obliczeniowego. Aby wykorzystać jak najwięcej ze standardowej dystrybucji GDS, opracowaliśmy framework dostosowujący się do silnika Anagram, komponentu oprogramowania, na którym oparty jest GDS (Wielgosz, 2004). Nasz GDS implementuje „ten sam binarny” konserwatywny sposób, w jaki postępowaliśmy w sieci, umożliwiając proces tworzenia zestawu modeli środowiskowych, jak na przykład model badań i prognoz pogody (WRF) (Giunta, Laccetti i Montella, 2008). Ponieważ silnik Anagram mocno opiera się na późnym wiązaniu modułów w czasie wykonywania i głębokiej integracji zarządzania serwetami z implementacją usługi, opracowaliśmy

framework adaptera, aby uzyskać lepsze zachowanie podczas używania go jako komponentu, bez modyfikowania starszej dystrybucji. To rozwiązanie dziedziczy po GDS-ie konieczność wywoływania zewnętrznego procesu, czyli m.in. plik wykonywalny GraDS, dla każdego dostępu do danych. W tłumaczeniu na wersję z obsługą sieci oznacza to, że przy każdym wywołaniu dostawcy operacji maszyna hosta musi skonfigurować katalog zapasowy, w którym ma pracować z lokalną instancją GraDS. Powoduje to utratę wydajności, zwłaszcza w stresujących warunkach pracy, w których wielu konsumentów prosi o wyodrębnienie danych z ogromnego zestawu danych, oraz brak możliwości przenoszenia ze względu na konieczność ponownej kompilacji źródła GraDS dla konkretnego systemu operacyjnego i architektury. Ponadto liczba typów danych dostępnych przez GraDS jest ograniczona. Na przykład tylko kilka rodzajów plików NetCDF (zgodnie z zastrzeżonymi konwencjami) jest dostępnych bezpośrednio.

Usługa dystrybucji danych w pięciu wymiarach oparta na Hyrax

Usługa dystrybucji danych pięciowymiarowych opiera się na serwerze Hyrax OpenDAP. Hyrax to serwer danych, który łączy wysiłki UCAR/HAO w celu zbudowania wysokowydajnego serwera danych zgodnego z DAP dla projektu Earth System Grid II z istniejącym oprogramowaniem opracowanym przez OpenDAP. Serwer ten jest oparty na mechanizmie serwetów Java do zarządzania żadaniami WWW z oprogramowania specyficznego dla formatu DAP. Takie podejście poprawia wydajność w przypadku małych żądań danych. Front end serwetu, zamiast uruchamiać zewnętrzny lokalny proces, jak w GDS, analizuje każde żądanie i formułuje zapytanie do drugiego serwera, Back End Server (BES), który może znajdować się na tej samej maszynie lub nie. BES obsługuje odczytywanie wybranych danych z magazynu danych i zwraca odpowiedzi zgodne z DAP do interfejsu użytkownika, który z kolei może wysłać te odpowiedzi z powrotem do żądającego lub przetwarzać je w celu tworzenia bardziej złożonych odpowiedzi. Zauważamy, że ta architektura umożliwia lepszą integrację z ekosystemem usług sieci web. Wdrażając FDDDS, musieliśmy rozszerzyć interfejsy API klasy OpenDAP klienta, aby całkowicie odłączyć je od frontendu i zapewnić potrzebne interfejsy do sieci grid. Całkowicie zintegrowaliśmy usługę Back End Service ze środowiskiem usług internetowych, ponownie wykorzystując wszelkiego rodzaju pliki konfiguracyjne w ramach architektury usługi GT4. W ten sposób migracja z klasycznej architektury klient-serwer opartej na protokole OpenDAP do aplikacji środowiska gridowego zorientowanego na usługi odbywa się w bardzo miękki sposób. FDDDS ma samodekorujące się metadane zestawu danych, które zapewniają zorientowaną na siatkę reprezentację danych i wymuszają interakcję i współpracę między różnymi i geograficznie rozproszonymi komponentami, takimi jak instrumenty i brokerzy zasobów. Natywny BES zapewnia narzędzia bezpieczeństwa oparte na certyfikatach X509. W naszej implementacji polegaliśmy na tej funkcji, aby zapewnić dostęp do BES tylko z lokalnego komputera hosta i z FDDDS, delegując do tego komponentu i bazowego GSI zadanie uwierzytelniania, autoryzacji i szyfrowania. Dzięki temu tylko certyfikaty, które zostały uwierzytelnione przez użytkowników sieci grid, mogą wykonywać operacje OpenDAP, w tym przesyłanie nowych zestawów danych i zarządzanie administracją. Po załadowaniu FDDDS do kontenera kontaktuje się z BES w celu pobrania listy zestawów danych. Dla każdego zestawu danych tworzony jest zasób usługi sieci Web, którego właściwości są wyodrębniane z metadanych zestawu danych, a następnie publikowane w określonej usłudze indeksowania. Następnie komponent zbierający RBS może przeprowadzić reprezentację ClassAd zasobu zaangażowanego w proces kojarzenia. Jeśli zostanie znaleziony odpowiedni zasób zestawu danych, broker zasobów zwraca EPR odwołujący się do najlepszej instancji usługi FDDDS, która jest wybierana z uwzględnieniem zachowania sieci między punktami końcowymi konsumenta i producenta. Następnie konsument wywołuje getData, getDAS lub getDDX w celu pobrania metadanych zbioru danych, podczas gdy getData pobiera dane w formacie binarnym. Dostawca operacji getData akceptuje wybór danych i parametry podzbiorów za pośrednictwem standardowego ciągu zapytania OpenDAP, określając nazwę zmiennej, wymiary

działania i interwały kroków. W ten sam sposób dostawca operacji `getData` pozwala na dokonanie pewnego rodzaju zdalnej analizy przy użyciu silnika BES i określenie zbiorów danych oraz wyrażeń, a także wybór formatu danych (do zwrócenia) (DAP lub NetCDF). FDDDS wykorzystuje komunikaty SOAP tylko do wywoływania dostawcy operacji i do zwracania obliczonych wyników, natomiast do przesyłania danych wywoływana jest dedykowana usługa przesyłania. Zapobiega to spadkowi wydajności, który może być spowodowany przez protokół transportowy, zwłaszcza gdy żądany rozmiar danych jest bardzo duży, jak w przypadku domen o dużej przestrzeni i czasowych z wieloma zmiennymi. Dostawca operacji `getData` zwraca EPR do zasobu powiązanego z wynikiem podustawienia i przydzielonego do tymczasowego obszaru przechowywania. Wynika z tego, że wydajne protokoły przesyłania plików zorientowane na siatkę, takie jak GridFTP, mogą być wykorzystywane do poprawy wydajności systemu dystrybucyjnego. Dane podzbioru mogą być udostępnione na żądanie poprzez ogłoszenie ich w usłudze Index. Śledząc dziennik dla żądanych danych, RB powiadamia FDDDS o dystrybucji popularnego w zapytaniach podzbioru danych w sieci. FDDDS zarządza takim dynamicznie tworzonym zbiorem danych, opróżniając pamięci podręczne i niszcząc go w razie potrzeby.

Korzystanie z protokołu OpenDAP jest bardzo powszechne w społeczności naukowców zajmujących się środowiskiem ze względu na dużą liczbę zgodnych aplikacji. FDDDS wyklucza bezpośrednie korzystanie z danych rozproszonych, chyba że zaktualizowane wersje takich aplikacji zapewniłyby pełny dostęp do usług sieciowych sieci grid zgodnych z WSRF. Można to jednak osiągnąć za pomocą serwera lokalnego, opartego na oryginalnym interfejsie Hyrax działającym jako interfejs proxy między aplikacjami zgodnymi z serwerem OpenDAP (takimi jak IDL, Matlab, GrADS, Ferret i inne) a reprezentowanym światem grid przez usługę brokera zasobów, usługę FDDDS i infrastrukturę bezpieczeństwa sieci. Ten działający na zasadzie proxy serwer lokalny akceptuje połączenia tylko z interfejsu sieciowego pętli zwrotnej i tłumaczy standardowy ciąg zapytań OpenDAP na bezpośrednią lub pośredniczoną w zasobach interakcję z siecią. Lokalny serwer OpenDAP implementuje klienta FDDDS, który w pełni transparentnie obsługuje żądania certyfikatów, EPR i brokera zasobów. W analizie wydajności porównaliśmy usługę dystrybucji danych Grads z usługą dystrybucji danych w pięciu wymiarach, tworząc stanowisko testowe rzeczywistych danych generowanych przez przebiegi operacyjne prognoz pogody. W obecnej konfiguracji każde uruchomienie modelu WRF tworzy plik danych o wielkości 11 gigabajtów, w którym przechowywane są wyniki prognozy zgrubnej domeny. Rozmiar zbioru danych w domenie fine wynosi 2 gigabajty na przebieg każdego modelu. Plik wyjściowy domeny zgrubnej przechowuje pięciowymiarowy zestaw danych, składający się z 19 poziomów pionowych, komórek 655×594 , 27 zmiennych 2D i 3D oraz 144 przedziałów czasowych. W celu przetestowania usług, dostawca operacji `getData` jest wywoływany, żądając zmiennej `u10m` dla wszystkich przedziałów czasowych (144, sześć dni, jeden przedział czasowy na godzinę) i podstawiając obszar $2n$ kwadratowych komórek na $3 \leq n \leq 9$. Czas wywołania obejmuje podzbiór i transfer danych przez gridFTP. W tych warunkach, dla małych podzbiorów wydajność obu usług jest porównywalna, podczas gdy dla bardziej wymagających zadań podzbiorów FDDDS wykazuje wyższą wydajność.

Projekt i wdrożenie usługi instrumentalnej do akwizycji danych NetCDF

Naszym ostatecznym celem jest udostępnianie instrumentów w sieciach obliczeniowych. Aby wyodrębnić różne rodzaje instrumentów (takich jak stacje pogodowe, radary prądu powierzchniowego i profile wiatrowe) z szeroką gamą interfejsów sprzętowych i szybkościami pozyskiwania danych, potrzebny jest odpowiedni projekt wykorzystujący ramy oparte na wtyczkach. Opracowaliśmy Abstract Instrument Framework (AIF) w celu oddzielenia interfejsu akwizycji Java od technologii warstwy pośredniej i wprowadzenia protokołu strumieniowego po rozpoczęciu komunikacji przez interakcję SOAP. Instrumenty akwizycji danych środowiskowych wchodzi w interakcję ze sprzętem proxy na różne sposoby. Rejestratory danych stacji pogodowej mogą pracować w czasie rzeczywistym lub w

trybie wsadowym w zależności od typu łącza danych. Profilery wiatru i radary prądów powierzchniowych działają w podobny sposób, wykorzystując stację roboczą jako maszynę proxy. Stacje robocze wyposażenia profili wiatrowych są rodzajem bardzo wydajnego rejestratora danych, w którym przechowywane są zintegrowane wartości profili pionowych. Przyrządy do pomiaru prądu powierzchniowego morza wykorzystują stacje robocze działające jako węzeł automatycznej integracji i przetwarzania końcowego, generujący wartości całkowanych czasu powierzchniowego. Zastosowaliśmy podejście warstwowe oparte na wirtualizacji. Struktura przyrządu definiuje zachowanie generycznego przyrządu, który składa czujniki do akwizycji danych i siłowniki do obsługi przyrządu, wykorzystując technikę abstrakcji komponentów. Każdy abstrakcyjny komponent pozostawia niezaimplementowaną każdą interakcję sprzętową niskiego poziomu z instrumentem i zapewnia narzędzia do dostarczania danych w postaci wartości typu SOAP lub protokołów strumieniowych. Stacje pogodowe są zwykle wyposażone w autonomiczny prosty rejestrator danych z możliwością zdalnej interakcji w celu konfiguracji przyrządu, kalibracji czujników i pobierania danych zarówno w trybie wsadowym, jak i w czasie rzeczywistym. Obsługujemy różnego rodzaju stacje pogodowe zbudowane na różnych czujnikach i rejestratorach danych. Stacje pogodowe wprost wpisują się w ten model ramowy, ponieważ są zbiorem czujników. Kanały danych mogą być obsługiwane na dwa sposoby, w zależności od czujnika sprzętowego i wymaganego pomiaru. Komponenty czujników rzeczywistych realizują dostęp do rzeczywistych danych albo za pomocą żądania w czasie rzeczywistym, albo pobierając je z rejestratora danych, który określa typ i charakter zebranych danych. Zazwyczaj stacje kontroli radarowej prądów powierzchniowych są potężnymi stacjami roboczymi, w których wszystkie operacje na danych i czujnikach (zdalne anteny) są zarządzane przez zastrzeżone oprogramowanie o zamkniętym kodzie źródłowym. W tym przypadku nie ma bezpośredniego dostępu do czujnika, a jedynie do automatycznie przetworzonych danych. Owijki czujnika radarowego prądów powierzchniowych dostarczają dane powierzchniowe uśrednione w czasie i zlokalizowane na matrycy georeferencyjnej. Wirtualizacja jest uzyskiwana poprzez bezpośrednie połączenie komponentów rzeczywistych czujników związanych z prędkością i kierunkiem prądu morskiego z danymi generowanymi przez standardowe wyposażenie. Instrument profilu wiatru działa w bardzo podobny sposób, a profilowane dane, uśrednione w czasie i rozłożone wzdłuż osi pionowej, są przechowywane przez stację roboczą proxy działającą jako rozbudowany rejestrator danych, który zapewnia narzędzia do przesyłania danych oparte na standardowych protokołach. Usługa instrumentu naraża dostawców operacji na uruchamianie i zatrzymywanie przesyłania strumieniowego danych przy użyciu określonego protokołu (opublikowanego, dla każdego czujnika, w usłudze indeksowania jako pole metadanych) z interfejsem wtyczki protokołu zaprojektowanym w celu łatwego dostosowania dystrybucji danych. W tym przypadku standardowa wymiana komunikatów SOAP pomiędzy konsumentem usługi sieciowej a producentem usługi sieciowej odbywa się wyłącznie w celu sterowania transmisją danych, podczas gdy rzeczywisty transfer danych odbywa się za pomocą wydajniejszego protokołu. Usługa Instrument Service automatycznie publikuje metadane instrumentów, czujników i programów obsługi – a nawet dane – w usłudze indeksowania GT4, dzięki czemu użytkownik usługi sieciowej może wykorzystać funkcję powiadomień WRSRF do interakcji z urządzeniem do gromadzenia danych. Komponent RBS współdziela z usługą indeksowania i umożliwia każdemu instrumentowi współużytkowanemu w sieci udział w dynamicznym procesie alokacji zasobów. Instrument, jak każde FDDDS współdzielone źródło danych w siatce, jest wykrywalny i wybieralny za pomocą zapytań ClassAd.

Algorytm swatania może dopasować ClassAds do różnych rodzajów jednostek w określony sposób: Wyrażenie `other.Type=Instrument` jest oceniane jako prawda, jeśli dopasowana ClassAd zawiera właściwość o nazwie `Type` z wartością ciągu równą `Instrument`. W protokole matchmakingu dwie ClassAds dopasują, jeśli każdy z nich ma wymaganie atrybutu, którego wynikiem jest prawda w

kontekście innego ClassAd; następnie dopasowane elementy sieci aktywują oddzielny protokół zgłaszania w celu potwierdzenia dopasowania i ustalenia alokacji zasobów. Reprezentacja przyrządu jako zasobu siatki jest automatycznie wykonywana przez RBS i uważana za rodzaj dynamicznie zmieniających się przechowywanych danych. Poniższy przykład przedstawia reprezentację ClassAd stacji pogodowej:

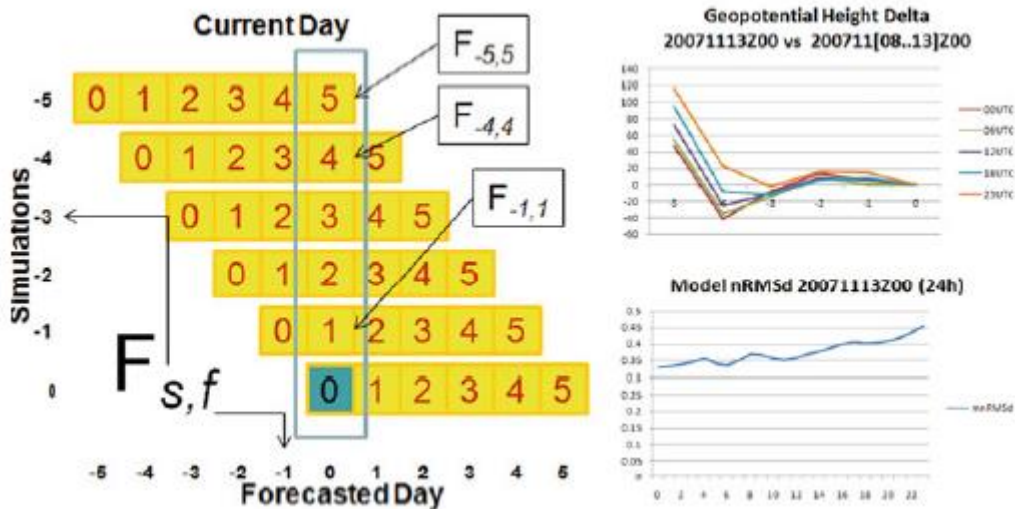
```
[  
Type="Instrument";  
Desc="WeatherStation";  
Area="Napoli";  
Longitude="14.32";  
Latitude="40.50";  
TimeStamp="23-12-2007 03:30:00";  
Sensor="windDir,windSpeed,airTemp,airPressure";  
Values="335,3.280,14,1013";  
Units="°N,ms-1,°K,HPa";  
Rank=1;  
Requirements=other.Type=="DataConsumer"  
]
```

Instrument ten jest zdefiniowany jako zasób stacji meteorologicznej w rejonie Neapolu położony na długości 14,32°, szerokości geograficznej 40,50°. Framework Instrument Service publikuje metadane czujnika, następnie zbiera cechy instrumentu i ostatecznie publikuje w serwisie indeksu siatki pozycję geograficzną instrumentu, dane aktualnie pozyskiwane przez każdy czujnik i parametry sprzężenia zwrotnego siłowników.

Scenariusz oceny jakości prognoz pogody

Ocena jakości operacyjnego modelu prognozowania pogody jest kluczowym procesem dla stwierdzenia wiarygodności całego operacyjnego systemu prognozowania. Prognoza to oszacowanie przyszłego stanu atmosfery. Powstaje poprzez oszacowanie aktualnego stanu atmosfery na podstawie obserwacji, a następnie obliczenie, jak ten stan będzie ewoluował w czasie za pomocą komputerowego modelu numerycznego prognozowania pogody. Ponieważ atmosfera jest układem chaotycznym, bardzo małe błędy w stanie początkowym mogą prowadzić do dużych błędów w prognozie. Oznacza to, że nie można stworzyć idealnego systemu prognozowania, ponieważ nie da się zaobserwować każdego szczegółu stanu początkowego atmosfery. Drobne błędy w stanie początkowym zostaną wzmacnione, więc zawsze istnieje granica tego, jak daleko możemy przewidzieć każdy szczegół. W scenariuszu operacyjnym prognozy pogody, metodologia zespołowa jest powszechną techniką oceny zachowania modelu za pomocą analizy wrażliwości na warunki początkowe i brzegowe. Aby sprawdzić, jak małe rozbieżności w warunkach początkowych mogą wpłynąć na wynik prognozy, można użyć systemu zespołowego do stworzenia wielu prognoz. Kompletny zestaw prognoz jest określany jako zespół, a każda indywidualna prognoza jako członek zespołu. Prognozy zespołowe dają dużo lepsze wyobrażenie o tym, jakie zdarzenia pogodowe mogą wystąpić w określonym czasie. Porównując

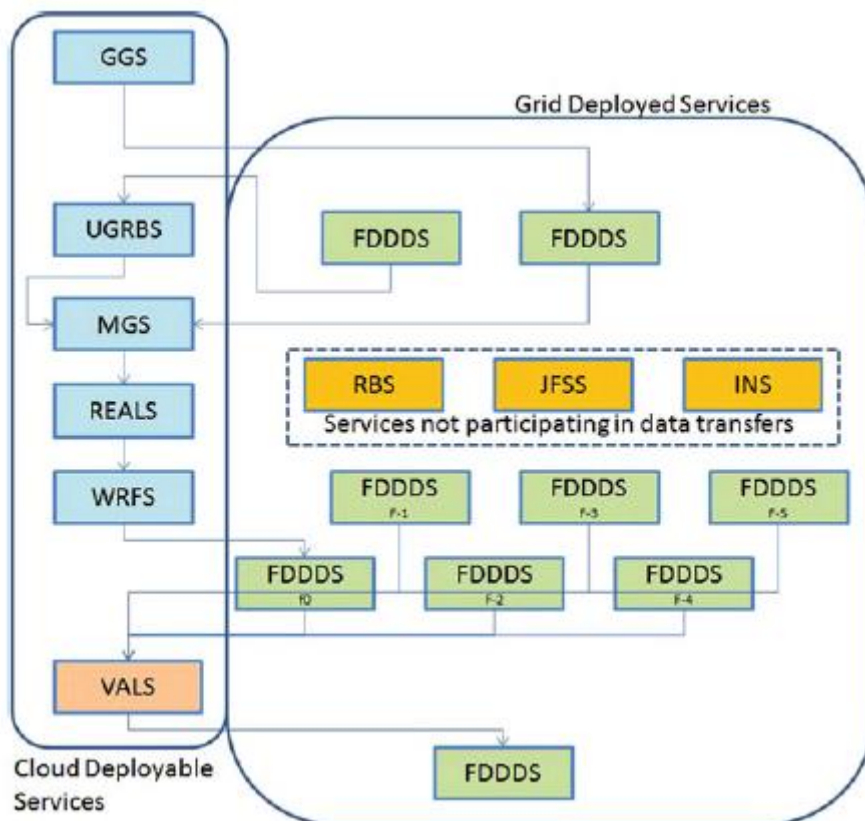
członków zespołu, prognostyk może zdecydować, jak prawdopodobne może być konkretne zdarzenie pogodowe. Krótko mówiąc, jeśli prognozy wykazują dużą rozbieżność, można wnioskować, że istnieje duża niepewność co do przyszłej pogody, a jeśli większość prognoz jest podobna, można mieć dużą pewność przewidywania konkretnego zdarzenia. Modelowanie zespołowe wymaga dużej mocy obliczeniowej, ponieważ duża liczba symulacji musi być wykonywana jednocześnie, tak więc technologia obliczeń siatkowych jest kluczowym i powszechnie stosowanym rozwiązaniem. Krótko mówiąc, usługa harmonogramu przepływu zadań (JFSS) koordynuje zachowanie aplikacji grid; opiera się na języku opisu przepływu pracy, który określa relacje między konsumentami usług internetowych i wykorzystuje RBS do dynamicznej alokacji zasobów, wykrywania i wyboru danych i instrumentów. Dzięki usłudze dystrybucji danych w pięciu wymiarach stworzyliśmy aplikację gridową, która integruje model pogodowy WRF obsługujący sieć z zestawem narzędzi do walidacji opartych na siatce, wykorzystujących FDDDS w scenariuszu operacyjnym. Opracowaliśmy algorytm kontroli jakości i walidacji prognoz pogody, mający na celu skrócenie czasu obliczeń i uniknięcie wielokrotnych przebiegów modelu, jak w standardowej symulacji zespołowej. Algorytm wykorzystuje podejście, które nazwaliśmy „Time Shift Ensemble”. Model WRF jest uruchamiany każdego dnia, a warunki początkowe i brzegowe zapewnia globalny model NCEP. Wynikiem dziennej symulacji jest prognoza na kolejne sześć symulowanych dni. Zatem pierwszy symulowany dzień (godziny w zakresie od 0 do 23) ma zestaw sześciu prognozowanych danych: zestaw danych 0 godz..23 godz. wygenerowany przez przebieg bieżącego dnia; zestaw danych 24h..47h zwrócony przez przebieg z poprzedniego dnia i tak dalej, aż do zestawu danych utworzonego przez przebieg szóstego dnia poprzedniego. Uznaliśmy wysokość geopotencjału (GpH) obliczoną przez model na poziomie 500 hPa jako dobry parametr deskryptorowy stanu atmosfery, jak zwykle w społeczności meteorologicznej. GpH to pionowa współrzędna „dostosowana grawitacyjnie”, która koryguje wysokość geometryczną (wysokość nad średnim poziomem morza) przy użyciu zmian grawitacji wraz z szerokością geograficzną i wysokością. GpH zwykle odnosi się do poziomu ciśnienia, który odpowiadałby GpH niezbędnym do osiągnięcia danego ciśnienia. W każdym punkcie domeny przestrzennej obliczamy różnicę między godzinową prognozą GpH wytworzoną w bieżącym przebiegu a wartościami GpH wytworzonymi w każdej z pięciu symulacji, które przeprowadziliśmy w poprzednich dniach. Ten zestaw wartości można uznać za rozbieżności wyników zespołu zbudowanego na 6 przejazdach modelu o różnych warunkach początkowych/granicznych. Jakość prognozy można wywnioskować z zachowania tych szeregów czasowych (Montella, Agrilo, Mastrangelo i Menna, 2008). Aby być bardziej precyzyjnym, niech F_s, f oznacza prognozę GpH stworzoną przez przebieg w dniu s ($s=0$ dla bieżącego dnia, $s=-1$ poprzedniego itd.) dla prognozowanego dnia f ($f = 0$ oznacza pierwszy dzień symulacji, a $f=5$ ostatni symulowany dzień, z całkowitym symulowanym czasem równym 144 godz.). Dzień bieżący prognozowany jest po raz pierwszy jako ostatni dzień biegu wykonanego w dniu -5 ($F-5,5$), drugi raz jako $F-4,4$ aż do symulacji $F-1,1$.



Rysunek (prawy górny) również przedstawia zachowanie pięciu szeregów czasowych obliczonych rozbieżności (dla danego symulowanego dnia i w określonym punkcie przestrzennym) w przypadku wiarygodnej symulacji, podczas gdy prawa dolna strona pokazuje powiązane szeregi czasowe znormalizowanego błędu średniokwadratowego (nRMSd) między $F_{-5..-1}$ a wartościami przebiegu bieżącego dnia F_0 .

Wdrożenie aplikacji grid

Tutaj dajemy wgląd w istotne szczegóły implementacji naszej aplikacji gridowej. Obieg aplikacji rozpoczyna się od wywołania FDDDS, który zbiera warunki początkowe i brzegowe potrzebne do inicjalizacji WRF. Dane są pobierane z serwera ftp NCEP przy użyciu automatycznego procesu. Ponieważ prognozy muszą być obliczane każdego dnia w tej samej domenie, kolejne wywołanie FDDDS pozwala na pobranie danych terenowych wcześniej wytworzonych przez usługę GeoGrid Service (GGS), która jest owinięciem modułu geosiatki WRF. Następnie wywoływana jest usługa Ungrib (UGRBS), aby przekonwertować warunki początkowe i brzegowe w formacie pliku odpowiednim dla modułu metgrid WRF. Proces jest kontynuowany z wywołaniem usługi theMetGrid (MGS), która interpoluje warunki początkowe i brzegowe w domenę, a na koniec do usługi Real Service (RS), która jest opakowana w moduł Real WRF i która przygotowuje dane do usługi WRF, powłoka serwisowa nad głównym modułem WRF. Główny model WRF generuje wyniki, które są przechowywane za pomocą FDDDS. Ten składnik udostępnia wytworzone dane w sieci, za pomocą RBS lub bezpośrednio przez EPR. Aby przeprowadzić nasze testy walidacyjne, skonfigurowaliśmy aplikację z tylko jedną domeną obejmującą całą Europę i część północnej Afryki, z kwadratowymi komórkami 256×120 (30×30 km²) wyśrodkowanymi na długości $14,22^\circ$ i szerokości $40,85^\circ$. Proces walidacji rozpoczyna zbieranie wstępnie przetworzonych danych związanych z tym samym bieżącym symulowanym dniem i wywołuje RBS i FDDDS, aby uzyskać informacje o tym, gdzie dane są dostępne. Dane te są wykorzystywane przez usługę walidacji (VALS), która otacza narzędzie implementujące algorytm oceny opisany w poprzedniej sekcji. Komponent VALS zwraca mapę wysokości geopotencjalnej nRMSd i przechowuje obliczone dane w usłudze FDDS wybranej przez RBS. Rysunek przedstawia architekturę aplikacji z punktu widzenia wdrożenia.



Usługi sklasyfikowane jako możliwe do wdrożenia w infrastrukturze chmury obliczeniowej to te, które charakteryzują się dużym zapotrzebowaniem na moc obliczeniową. Usługami tymi można wygodnie zarządzać poprzez wykonanie wsadowe przy użyciu maszyn wirtualnych, gdzie moc obliczeniowa wymagana przez usługi sieciowe leżące u podstaw modułów aplikacyjnych aplikacji gridowej (WRF: GGS, UGRBS, REALS, WRFS; Ocena: VALS, METS), jest dynamicznie przydzielana na żądanie i ostatecznie zwalniana. Wdrożyliśmy usługi wymagające mocy obliczeniowej w infrastrukturze publicznej jako chmurę obliczeniową zorientowaną na usługi. Usługi sklasyfikowane jako wdrożone w sieci są zorientowane na dane. W tym przypadku potrzeba elastyczności zapewnianej przez infrastrukturę chmury jest skierowana na intensywną obliczeniowo część aplikacji. Korzystanie z infrastruktury chmurowej jest wygodne, ponieważ zasoby, czyli maszyny wirtualne, muszą być instancja tylko na potrzebny czas. Wykorzystanie chmury do przechowywania danych jest technicznie możliwe, ale pewne wady mogą pojawić się, gdy duża ilość danych jest alokowana na stałe w chmurze bez potrzeby elastyczności przechowywania; zauważamy, że w naszej aplikacji można z góry oszacować potrzebną ilość miejsca. Algorytm oceny wymaga 6 plików po około 11 gigabajtów każdy. Po dowolnym uruchomieniu modelu najstarszy zestaw danych jest usuwany, a ostatni utworzony zestaw danych jest dodawany do magazynu. Jednak wymagania aplikacji dotyczące pamięci masowej skutkują całkowitym kosztem posiadania, który jest mniej krytyczny niż zapotrzebowanie na moc obliczeniową, dzięki czemu pamięć masowa z własnym hostowaniem okazuje się bardziej efektywna niż rozwiązanie do przechowywania w chmurze.

Wnioski i Dalsza Praca

Opisaliśmy niektóre ostatnie wyniki dystrybucji danych środowiskowych 5D przy użyciu narzędzi zgodnych z GT4 WSRF w środowisku siatki o wysokiej wydajności. Aplikacja została wdrożona w chmurze publicznej Infrastructure as a Service. Omówiliśmy pokrótce, w jaki sposób zasoby

obliczeniowe i magazynowe mogą zostać udostępnione w siatce obliczeniowej lub dynamicznie alokowane w chmurze obliczeniowej. W szczególności aplikacja, którą tutaj omawialiśmy, ma krytyczny problem w zakresie zapotrzebowania na moc obliczeniową, aby usługi związane z WRF mogły być wdrażane w chmurze. Z drugiej strony przechowywanie nie wymaga elastycznego rozwiązania, a hosting danych w chmurze wydawał się nieodpowiedni. Wykazaliśmy, że odpowiednia integracja starszego oprogramowania, tj. Back End Server pakietu serwerów Hyrax OpenDap i protokołu równoległego przesyłania plików gridFtp, może poprawić przepustowość operacyjną i umożliwić przydatne, na żądanie, podstawianie danych i gromadzenie danych proces. Usługa dystrybucji pięciu wymiarów opiera się na wcześniej zaprojektowanym kolektorze brokerów zasobów i algorytmie dopasowywania, który wykorzystuje notację siatki ClassAd automatycznie wyodrębnianą z metadanych. Takie podejście otwiera również szeroki zakres zastosowań w dziedzinie walidacji modeli środowiskowych, gdzie kwestie takie jak integracja komponentów i bezpieczeństwo mają kluczowe znaczenie, ponieważ algorytm walidacji musi obejmować kilka narzędzi społeczności, aby osiągnąć znaczenie naukowe. Zdajemy sobie sprawę, że należy przeprowadzić głębszą analizę wydajności aplikacji, na przykład pod kątem zachowania pamięci podręcznej w rzeczywistym środowisku gridowym i wpływu na ogólną wydajność dynamicznego wdrożenia FDDDS w systemie chmurowym. Naszym następnym celem jest opracowanie usługi internetowej zgodnej z GT4 WSRF, obejmującej narzędzie oceny modelu MET. TheMET oferuje techniki typu grid-to-point, grid-to-grid i zaawansowane techniki weryfikacji prognoz przestrzennych w zunifikowanym i modułowym zestawie narzędzi, który opiera się na możliwościach dostępnych w innych systemach weryfikacji. Narzędzia dostarczane przez MET można pogrupować według funkcji, aby opisać ogólną strukturę MET: przetwarzanie danych, obliczenia statystyczne i analiza danych. Ta architektura jest odpowiednia dla naszej infrastruktury usług internetowych, w której aplikacje gridowe są w prosty sposób rozmieszczane przy użyciu JFDL lub innych podobnych narzędzi. Pomysł polega na zbudowaniu podwójnego systemu oceny opartego na VALS i usłudze owiniętej w MET, który może działać z obserwowanymi danymi pobranymi z usług dystrybucyjnych lub bezpośrednio próbkowanymi przez InS oraz z danymi przechowywanymi za pomocą FDDDS. W scenariuszu operacyjnym, ocena modelu musi być wykonana automatycznie w celu dostarczenia map tematycznych dotyczących ufności prognozy. Ten wynik można osiągnąć za pomocą algorytmów uczenia maszynowego, które mogą zwracać reguły wspomaganie decyzji. Wybór najbardziej odpowiedniego algorytmu klasyfikacji oraz związane z nim kwestie jego dostrojenia i oceny zostaną omówione w przyszłej pracy.