

Piotr BAJERSKI, Dariusz R. AUGUSTYN, Małgorzata BACH, Robert BRZESKI,
Adam DUSZEŃKO, Aleksandra WERNER
Politechnika Śląska, Instytut Informatyki

BAZY DANYCH A CHMURY OBLICZENIOWE

Streszczenie. Przetwarzanie w chmurach obliczeniowych szybko zyskuje na popularności, powodując opracowywanie i adaptację metod przechowywania danych. Z jednej strony dostępne są wydajne, proste i skalowalne rozwiązania typu NoSQL, z drugiej – bardziej funkcjonalnie zaawansowane, choć mniej wydajne, rozwiązania relacyjne. W artykule przedstawiono najpopularniejsze produkty firm Oracle, Microsoft, IBM, Amazon, Google oraz środowiska otwartego oprogramowania, należące do obu klas rozwiązań. Został omówiony zakres zastosowań przedstawionych produktów bazodanowych.

Słowa kluczowe: bazy danych, chmury obliczeniowe, NoSQL, Exalogic, Exadata, Azure

DATABASES VS. CLOUD COMPUTING

Summary. Cloud computing popularity is growing quickly, driving data storage methods development and adoption. On the one hand efficient, simple, and scalable NoSQL solutions are available, on the other – more functionally advanced, but less efficient, relational-based ones. The paper describes the most popular database solutions from Oracle, Microsoft, IBM, Amazon, Google and open source community in both categories. The scope of application of these solutions was discussed.

Keywords: Databases, cloud computing, NoSQL, Exalogic, Exadata, Azure

1. Wstęp

Niniejszy artykuł jest próbą syntetycznego ujęcia relacji zachodzących pomiędzy bazami danych a chmurami obliczeniowymi oraz próbą przedstawienia bazodanowej oferty dla różnych rodzajów chmur największych producentów baz danych, wybranych dostawców usług

w chmurach oraz środowiska wolnego oprogramowania. W ramach prac nad bazami danych przez ostatnie pół wieku wypracowano standardy przechowywania, zarządzania i udostępniania danych, które stały się fundamentem większości aplikacji dla przedsiębiorstw i administracji.

W ostatnich latach koncepcja tzw. chmury obliczeniowej (ang. *cloud computing*) stała się bardzo modnym podejściem do tworzenia systemów przetwarzania danych. O ile koncepcja udostępniania mocy obliczeniowej na podobnych zasadach, na jakich sprzedawany jest prąd elektryczny lub woda, jest rewolucyjna, to wykorzystywane do tego celu technologie często wydają się być ewolucją wcześniejszych rozwiązań.

2. Chmury obliczeniowe

Chmury obliczeniowe pojawiły się w wyniku wymagań w zakresie powszechnego udostępnienia nowych technologii przetwarzających dane i potrzeby globalnej standaryzacji, stając się mechanizmem pozwalającym na zapanowanie nad rozwojem zasobów sprzętowych i programowych dzięki wprowadzeniu idei wirtualizacji. Zgodnie z definicją NIST (ang. *National Institute of Standards and Technology*) [15] obliczenia w chmurach są modelem umożliwiającym wygodny, realizowany na żądanie dostęp przez sieć do współdzielonej puli konfigurowalnych zasobów (np. sieci, serwerów, magazynów danych, aplikacji i serwisów), które mogą być szybko przygotowywane i udostępniane przy minimalnym wysiłku związanym z zarządzaniem lub minimalną interakcją z dostawcą serwisu. Definicja ta jest bardzo ogólna i obejmuje wiele różnych rozwiązań architektoniczno-organizacyjnych, w tym cztery modele wdrożenia:

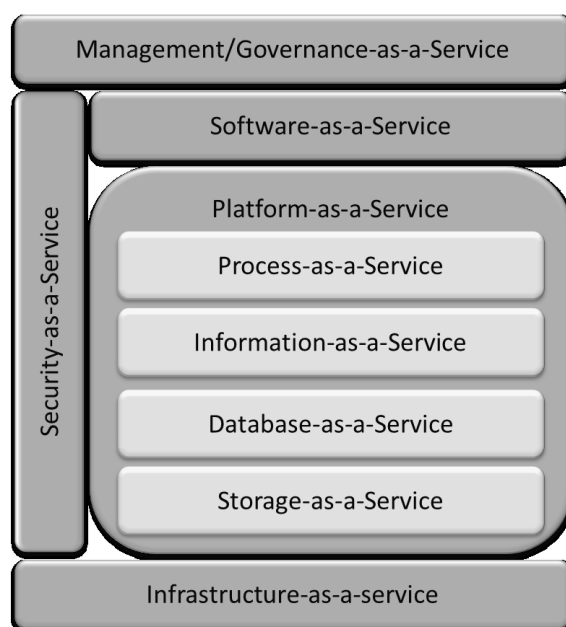
- Chmura publiczna (ang. *public cloud*) – infrastruktura chmury jest ogólnie dostępna, znajduje się na terenie dostawcy chmury.
- Chmura prywatna (ang. *private cloud*) – infrastruktura chmury jest na wyłączny użytek pojedynczej organizacji, obejmującej wielu konsumentów (np. jej jednostki organizacyjne); nie ma tu znaczenia czy jest to chmura zarządzana przez tę organizację oraz czy „znajduje się” w jej siedzibie. Najistotniejszymi czynnikami uruchomienia chmury prywatnej wydają się być: ograniczenia prawne, bezpieczeństwo danych, niezawodność oraz (wbrew pozorom) niższe koszty w przypadku dużych organizacji i dedykowanych rozwiązań.
- Chmura społecznościowa (ang. *community cloud*) – infrastruktura chmury jest udostępniana do wyłącznego użytku społeczności konsumentów z organizacji współdzielących wspólne cele i/lub podlegających wspólnym ograniczeniom prawnym.

- Chmura hybrydowa (ang. *hybrid cloud*) – opiera się na połączeniu dwóch lub więcej typów z wymienionych infrastruktur chmur. Na ogół umożliwia wykorzystywanie, w miarę potrzeb, zasobów chmury publicznej w celu zapewnienia ewentualnego zwiększonego zapotrzebowania na zasoby, tzw. *cloud bursting*.

Ponadto niektórzy dostawcy oferują wirtualne chmury prywatne (ang. *virtual private cloud*) [16], udostępniające funkcjonalność chmur prywatnych w infrastrukturze chmur publicznych.

Z punktu widzenia niniejszego artykułu istotne jest uznanie chmur prywatnych za rozwiązania chmurowe, co jest często kwestionowane. Wydaje się, że w chmurach prywatnych i hybrydowych największe zastosowanie mają klasyczne rozwiązania bazodanowe.

W celu zilustrowania usług związanych z przechowywaniem i przetwarzaniem danych w chmurach na rys. 1 przedstawiono najważniejsze (z punktu widzenia niniejszego artykułu) komponenty i kategorie usług udostępnianych w chmurach.



Rys. 1. Komponenty i kategorie usług udostępnianych w chmurach (na podstawie [5])

Fig. 1. Components and categories of cloud computing (based on [5])

Podstawą stosu usług dostarczanych w chmurach (rys. 1) jest warstwa Infrastructure-as-a-Service (IaaS), udostępniająca w postaci zwirtualizowanej podstawowe zasoby komputerowe, takie jak: moc obliczeniowa, pamięć operacyjna oraz przestrzeń przechowywania danych i przepustowość przesyłu danych przez sieć, umożliwiając w ten sposób wdrażanie i uruchamianie dowolnych aplikacji.

Platform-as-a-Service (PaaS) pozwala na tworzenie aplikacji na podstawie wielu usług. Z punktu widzenia niniejszego artykułu najważniejszymi są Storage-as-a-Service i Database-as-a-Service (DBaaS), stanowiące jedne z podstawowych kategorii usług dla warstw wyższych, szczególnie w przypadku aplikacji dla przedsiębiorstw i administracji.

DBaaS umożliwia wykorzystywanie przez daną aplikację wybranej bazy danych, bez konieczności instalacji i administracji tą bazą. Usługi bazy danych są udostępniane na żądanie, zgodnie z modelem samoobsługi (ang. *customer self-service*) na wybranym poziomie jakości, i rozliczane według faktycznego zużycia. Przez poziom jakości są rozumiane takie czynniki, jak: redundancja (liczba kopii), poziom dostępności (lustrzane serwery w tym samym lub w innych centrach danych), poziom zabezpieczeń, rodzaj kopii zapasowych. Dostępna jest pełna lub tylko nieznacznie ograniczona funkcjonalność bazy danych w zakresie tworzenia jej obiektów (takich jak tabele, indeksy, wyzwalacze itd.), kontroli uprawnień do tych obiektów oraz możliwości monitorowania bazy danych. DBaaS musi zapewnić bezpieczeństwo danych poprzez separację różnych dzierżawców. Dużą zaletą DBaaS jest ograniczenie kosztów obsługi przez eliminację konieczności aktualizacji oprogramowania we własnym zakresie.

W praktyce DBaaS w chmurach publicznych stwarza, podobnie jak Storage-as-a-Service, wiele problemów prawnych, związanych z fizycznym położeniem danych oraz ich bezpieczeństwem. O ile w drugim przypadku sytuację poprawia odpowiednie szyfrowanie danych, o tyle w pierwszym umieszczenie danych na serwerach w innym państwie może np. spowodować, że zgodnie z obowiązującym tam prawem dane zostaną udostępnione organom państwowym wbrew woli klienta.

W praktyce programistycznej dużym problemem DBaaS jest udostępnianie ograniczonego API w stosunku do rozwiązań klasycznych.

Należy podkreślić, że DBaaS różni się istotnie od bazy danych instalowanej na maszynie wirtualnej. W rozwiązaniu DBaaS zakładamy niejako, że to mechanizmy systemu zarządzającego bazą danych, wykorzystując mechanizmy chmury, dokonują odpowiedniej rezerwacji zasobów i ich przydziału do konkretnych systemów baz danych. W przypadku baz instalowanych na maszynach wirtualnych system bazy danych nie ma żadnej wbudowanej integracji z mechanizmami chmury.

3. Specyfika bazy danych w chmurach obliczeniowych

Aplikacje działające w chmurach obliczeniowych mogą bardzo różnić się ilością przechowywanych danych oraz wymaganiami co do zapewnienia przetwarzania transakcyjnego i spójności danych. Pojęcie dużej ilości danych jest względne i znacząco się zmieniło w przeciągu ostatnich kilku lat. W [17] duże dane (ang. *big data*) zdefiniowano jako zbiory danych, które przekraczają możliwości typowych aplikacji bazodanowych. W 2011 r. uznano, że w większości zastosowań jest to zakres od dziesiątek TB do pojedynczych PB. W [23] duże zasoby danych podzielono na:

- dane generowane maszynowo / dane z sensorów,
- dane społecznościowe (ang. *social data*),
- tradycyjne dane przedsiębiorstw i administracji (ang. *enterprise data*).

W przedstawionym wyliczeniu wymieniono je w kolejności wg ich rozmiaru, począwszy od największych. Podczas doboru rozwiązań bazodanowych istotne są również inne kryteria. Dla danych społecznych charakterystyczne jest dodawanie bardzo dużej liczby powiązań oraz komentarzy. Dane generowane maszynowo oraz dane społecznościowe charakteryzują się silną przewagą odczytów (nad zapisami), a wiele zbiorów danych nie podlega modyfikacjom lub dane są do nich tylko dopisywane. Ponadto dla danych społecznościowych oraz generowanych maszynowo występuje duża zmienność formatów. Wydaje się, że zachowanie pełnych własności ACID jest najważniejsze dla danych obsługiwanych w systemach tradycyjnych, a dla danych społecznościowych ważniejsza jest tzw. wysoka dostępność i wystarcza tzw. ostateczna spójność (ang. *eventual consistency*) [27]. Dane generowane maszynowo są używane głównie do odczytu, wymagają więc przede wszystkim dostępności i trwałości.

Duże ilości danych społecznościowych oraz moc obliczeniowa, wymagana do ich przetwarzania w ostatnich latach były jednymi z głównych motorów napędowych rozwoju baz typu NoSQL. Charakteryzują się one prostymi modelami danych, niezakładającymi – jak w klasycznych bazach relacyjnych – wcześniejszego zdefiniowania schematu bazy, oraz zastąpieniem własności ACID¹ jednym z kompromisów CAP² w celu zwiększenia wydajności [32]. Należy podkreślić, że chociaż zarówno we własnościach ACID, jak i w twierdzeniu CAP występuje termin spójność (ang. *consistency*), to ma on różne znaczenia. W klasycznych bazach danych oznacza on spełnianie przez dane, wprowadzane do bazy danych, zdefiniowanych reguł integralności (w tym integralności referencyjnej), a w bazach NoSQL jest synonimem połączenia atomowości i izolacji pojedynczych operacji.

W wielu przypadkach organizacje jednocześnie wykorzystują klasyczne rozwiązania bazodanowe, zapewniające własności ACID, oraz wysokowydajne rozwiązania NoSQL (zapewniające wybrany kompromis CAP). Przykładowo w bazach relacyjnych są przechowywane dane finansowo-księgowe, a w bazach NoSQL – dane z portali społecznościowych. Istnieje możliwość tworzenia aplikacji, które jednocześnie korzystają z takich hybrydowych metod dostępu do danych.

¹ ACID (*Atomicity, Consistency, Isolation, Durability*) – zbiór właściwości, które gwarantują poprawne przetwarzanie transakcji w relacyjnych bazach danych.

² Twierdzenie CAP mówi, że system rozproszony równocześnie może mieć tylko dwie z trzech właściwości: spójność (ang. *Consistency*), dostępność (ang. *Availability*) i tolerancję podziału (ang. *Partition tolerance*).

4. Bazodanowe rozwiązania dla chmur firmy Oracle

Firma Oracle oferuje całą gamę produktów adresowanych do modernizacji centrów przetwarzania danych zgodnie z duchem obliczeń w chmurach oraz – opierając się na tych produktach – oferuje usługi chmury publicznej. Sztandarowym rozwiązaniem w tej kategorii jest połączenie produktów Exadata Database Machine i Exalogic Elastic Cloud.

Oracle Exadata Database Machine jest rozwiązaniem sprzętowo-programowym zaprojektowanym w celu maksymalizacji wydajności bazy danych Oracle, stworzonym z myślą o wykorzystaniu w chmurach [26]. Produkt ten wykorzystuje architekturę równoległej pamięci masowej do istotnego zwiększenia przepustowości danych między serwerem bazy danych a pamięcią, co zapewnia liniową skalowalność w dużym zakresie przepustowości. Exadata pozwala na wykorzystanie technologii Data Guard, pozwalającej na tworzenie zapasowych instancji bazy danych i szybkie przełączanie się na nie w tle w przypadku awarii głównej instancji.

Oracle Exalogic Elastic Cloud to kombinacja sprzętu i oprogramowania, zaprojektowana specjalnie z myślą o przetwarzaniu w chmurze, która charakteryzuje się małymi opóźnieniami i wysoką przepustowością oraz wydajnością [25]. W platformie tej sprzęt i oprogramowanie warstwy pośredniej zaprojektowano łącznie, aby uzyskać maksymalną wydajność przy ograniczeniu czasu konfiguracji i kosztów użytkowania, dzięki czemu jest ona szczególnie przydatna do konsolidacji wielu aplikacji. Wiele produktów Oracle Fusion Middleware, w tym serwer aplikacji JEE WebLogic, zostało dostosowanych do architektury Exalogic.

Co prawda węzły Exalogic można traktować jak normalne, dwuprocessorowe komputery, jednak w celu osiągnięcia maksymalnej wydajności zalecane jest sprzęgnięcie maszyny Exalogic z Exadata przez Exabus – tj. bazujące na Quad Data Rate InfiniBand własne rozwiązanie Oracle, które ma za zadanie minimalizować wąskie gardła w podsystemie komunikacyjnym. Umożliwia to wykorzystanie prawie klasycznych rozwiązań w zakresie baz danych w dużej skali. Oczywiście nie pozwala to na osiągnięcie, przynajmniej w prosty sposób, wydajności rozwiązań opartych na podejściu MapReduce [32], ale nawet dla wymagających aplikacji bazodanowych wydaje się być wystarczające.

Szafa Exadata pozwala przechowywać ok. 220 TB danych użytkownika (bez kompresji). Dodatkowo można podłączać Exadata Storage Expansion Rack, mieszczący prawie 300 TB danych użytkownika. Przy możliwości połączenia razem do 8 szaf, takie rozwiązanie umożliwia przechowywanie do ok. 2 PB danych użytkownika przy zachowaniu wszystkich własności ACID, dostępie przy użyciu SQL, lustrzanych kopiach i dyskach rezerwowych. Taki rozmiar danych do niedawna był zastrzeżony dla rozwiązań NoSQL, wykorzystujących duże liczby komputerów. Zasoby Exadata mogą być rozliczane/sprzedawane w modelu DBaaS [4].

Oferta Oracle zapewnia dostęp do pełnej funkcjonalności obiektowo-relacyjnego systemu zarządzania bazą danych (ang. ORDBMS) (obecnie w wersji 11g Release2), tzn. jest dostępny „pełny” ACID oraz funkcjonalność Data Guard.

W kontekście opisanych rozwiązań ofertę firmy Oracle wzbogacają dwa produkty:

- Oracle TimesTen In-Memory Database 11g – certyfikowana baza pamięciowa dla Exalogic.
- Oracle Coherence – pamięciowy klaster danych (ang. *in-memory data grid*), tworzący rozproszony *cache* przechowujący dane w postaci klucz-wartość.

Przedstawiona oferta Oracle jest klasyfikowana jako PaaS. Firma Oracle wyróżnia w niej dwa główne komponenty:

- a) klaster bazy danych (ang. *Database Grid*), którego głównymi składowymi są: baza Oracle, RAC, Data Guard i Database Security,
- b) klaster aplikacji (ang. *Application Grid*), którego głównymi składowymi są: serwer aplikacyjny JEE WebLogic, cache Coherence oraz maszyna wirtualna Javy JRockit.

W zakresie usług Storage-as-a-Service firma Oracle oferuje produkt Oracle Cloud File System, będący uniwersalnym klastrowym system plików.

W ostatnim czasie firma Oracle zaoferowała usługi publicznej chmury obliczeniowej z dostępem do pełnej funkcjonalności Oracle 11g Release 2 (Database Cloud Services), w tym do przezroczystego szyfrowania oraz kontroli poziomów dostępu [10]. Usługi te są oparte na zastosowaniu w centrach danych produktów Exalogic + Exadata [11].

W ostatnim czasie firma Oracle zaoferowała również rozwiązanie NoSQL o nazwie Oracle NoSQL Database, ukierunkowane na bazy wielkości peta bajtów, dla zastosowań niewymagających własności ACID. W ramach inicjatywy Oracle Big Data Appliance, opierając się na Oracle NoSQL Database oraz systemie z otwartym kodem Hadoop HDFS, firma Oracle oferuje wsparcie dla przechowywania i przetwarzania bardzo dużych ilości danych na podstawie rozwiązań klucz-wartość i MapReduce [23].

Podsumowując, strategię produktową firmy Oracle w zakresie chmur obliczeniowych można podzielić na dwie, wzajemnie uzupełniające się oferty:

- Udostępnienie pełnej funkcjonalności bazy Oracle – w szczególności zapewnienie własności ACID, pełnej możliwości języków SQL i PL/SQL oraz mechanizmów wysokiej niezawodności (Data Guard); na szczególną uwagę zasługuje dostępność szyfrowania danych.
- Rozwiązania z NoSQL implementowane przez firmę Oracle we własnym zakresie oraz oparte na produktach z otwartym kodem źródłowym.

5. Bazodanowe rozwiązania dla chmur firmy Microsoft

Firma Microsoft Corp. udostępnia kompleksowe, płatne rozwiązanie – Windows Azure [33, 1] – pozwalające na tworzenie, eksploatację i zarządzanie aplikacjami działającymi w ramach tzw. chmury obliczeniowej. W ramach infrastruktury Azure udostępniane są usługi magazynowania danych, znane pod wspólną nazwą Windows Azure Storage [2], w skład których wchodzi: Azure Table, Azure Blob, Azure Queue i SQL Azure.

Azure Table działa na podstawie modelu danych klucz-wartość. Tablice składają się z enckcji, których struktura nie musi być identyczna. Klucz jest dwuelementowy (*PartitionKey*, *RowKey*); pierwszy człon klucza decyduje o sposobie wewnętrznego partycjonowania danych, wpływającego na wydajność rozwiązania. Azure Blob pozwala tworzyć i obsługiwać kontenery przechowujące tzw. duże pliki binarne. Azure Queue udostępnia mechanizm kolejowania (częściowo kompatybilny z FIFO). SQL Azure to usługa pozwalająca na korzystanie w chmurze z relacyjnej bazy danych typu SQL. Azure Table i Blob można zaliczyć do rozwiązań klasy NoSQL, charakteryzujących się prostotą, szybkością i dodatkowo niską (w porównaniu do SQL Azure) ceną eksploatacji.

SQL Azure [29, 30] to dostosowany do pracy w chmurze relacyjny SZBD, oparty na rozwiązaniu SQL Server. Podobieństwo do popularnego SZBD SQL Server sprawia, że tworzenie nowych systemów aplikacyjnych czy adaptacja już istniejących jest ułatwiona. W szczególności wykorzystanie protokołu TDS (ang. *tabular data stream*) i wsparcie dla Transact-SQL powodują, że wiele istniejących aplikacji, narzędzi, bibliotek stworzonych dla SQL Servera może być ponownie użytych przy tworzeniu rozwiązań przeznaczonych do przetwarzania w chmurze. Klientami usługi SQL Azure mogą być zarówno aplikacje tradycyjne, mające dostęp do Internetu, jak i aplikacje działające w chmurze (tzn. tzw. instancje WebRole i WorkerRole).

Architektura SQL Azure zakłada, że każda baza danych ma swoje dwie kopie bezpieczeństwa, których synchronizacja realizowana jest w sposób automatyczny. Oczywiście z wykorzystaniem usługi SQL Azure wiążą się pewne ograniczenia natury jakościowej (np. braki: autoryzacji Windows, replikacji, typów użytkownika, indeksów xml [31]) oraz ilościowej (np. maksymalny rozmiar bazy danych wynosi 50 GB).

SQL Azure umożliwia tworzenie baz sfederowanych [7]. Mechanizm ten, stworzony dla zapewnienia wydajności i skalowalności, przy okazji pozwala przekroczyć ograniczenie na rozmiar pojedynczej bazy danych. Rozwiązanie to opiera się na partycjonowaniu poziomym (nazywanym *sharding*), w którym wiersze wybranych tablic mogą być rozdystrybuowane na wiele baz danych (ang. *federation members*) na podstawie wartości klucza dystrybucyjnego (ang. *federation distribution key*). SQL Azure wspiera zmianę sposobu partycjonowania (me-

chanizm *online repartitioning*), co ma istotne znaczenie dla zapewnienia wydajności wraz z zmianą zawartości i zwiększeniem rozmiaru bazy danych.

Od niedawna firma Microsoft oferuje rozwiązania dla chmury prywatnej, których fundamentem jest platforma Windows Server z frameworkiem do obsługi tożsamości Windows Server Active Directory, wirtualizacją Hyper-V i pełnym dostępem do aplikacji przez System Center.

Hiperwizor Hyper-V jest dostępny jako komponent Microsoft Windows Server 2008 (oraz wersji R2) lub jako oddzielny produkt (Hyper-V Server 2008). Umożliwia instalowanie wirtualnej maszyny systemów z rodziny Windows, ale też Linux czy Solaris. Działa bezpośrednio na najwyższym poziomie sprzętu, co pozwala uzyskać wysoką wydajność podczas wirtualizowania oprogramowania [18, 19, 21].

Możliwości uruchamiania wielu serwerów wirtualnych na jednym serwerze fizycznym, zdolność automatycznego, ponownego uruchomienia systemów w razie awarii oraz przeniesienie systemów pomiędzy serwerami fizycznymi podczas pracy są zapewnione przez mechanizmy „Host Clustering” oraz „Live Migration” [20].

System Center z poziomu ujednoczonego interfejsu pozwala zarządzać zarówno prywatnymi chmurami, jak i usługami i aplikacjami działającymi w chmurach publicznych.

Najnowsza wersja System Center 2012 – której oficjalna premiera jest planowana na kwiecień bieżącego roku – skupia wiele wcześniej niezależnych narzędzi. Są to między innymi Virtual Machine Manager (narzędzie do zarządzania maszynami wirtualnymi), System Center Service Manager (ułatwiający wdrażanie usługi działającej w chmurze), Operations Manager (umożliwiający zarządzanie i monitorowanie chmur publicznych i prywatnych).

Cechą systemu Center 2012, na którą Microsoft zwraca szczególną uwagę, jest wieloplatformowość, rozumiana jako:

- możliwość instalacji na różnych konfiguracjach sprzętowych wielu dostawców,
- obsługa wielu systemów operacyjnych,
- wsparcie dla różnych hiperwizorów – współpraca nie tylko z rodzimym Hyper-V, ale również z rozwiązaniami konkurencyjnymi, takimi jak: Xen, Citrix, VMware ESX [6, 20].

6. Bazodanowe rozwiązania dla chmur firmy IBM

Firma IBM, w kontekście rozwiązań o architekturze chmury, skupiła się na warstwie PaaS, i to bezpośrednio na poziomie systemu operacyjnego. Wiele rozwiązań, takich jak: IBM Tivoli Service Automation, IBM Service Delivery Manager, IBM CloudBurst, przeznaczone

czonych jest do automatycznego tworzenia platform maszyn wirtualnych wraz z możliwością doinstalowywania do nich wskazanego oprogramowania. Tworzy to przestrzeń chmury, w której mogą działać na przykład systemy baz danych.

Realizacja chmury, jako zbioru automatycznie zarządzanych i redefiniowanych systemów pracujących na zasobach zwirtualizowanych, w naturalny sposób jest bazą do tworzenia systemów rozproszonych, redundantnych lub wielowęzłowych. W przypadku systemu zarządzającego bazą danych DB2 firmy IBM podstawową platformą rozwiązań profesjonalnych była platforma AS/400, dla której wirtualizacja zasobów i ich realokacja w trybie online były codziennością od lat osiemdziesiątych. Wersja systemu DB2 na platformy LUW (Linux, Unix, Windows) nie korzystała z tej funkcjonalności z powodu jej braku na tych systemach. Od początku jednak wspierana była możliwość tworzenia struktur rozproszonych. Zarówno redundancja, mająca na celu zwiększenie bezpieczeństwa danych i operacji, jak i rozproszenie dla dystrybucji obciążenia i zwiększania sumarycznej wydajności były wspierane w takich rozszerzeniach bazy danych, jak DPF (ang. *Database Partitioning Feature*) oraz HADR (ang. *High Availability Disaster Recovery*) [36]. Oba rozwiązania są przedstawicielami rozwiązań o charakterze klastrów aplikacyjnych, integrujących niezależne instancje lub bazy danych w logicznie spójną całość w celu uzyskania większej wydajności i/lub bezpieczeństwa danych.

W przypadku klastra wydajnościowego w postaci DPF istnieje możliwość stworzenia rozproszonej instancji bazy danych, na podstawie której można budować horyzontalnie lub wertykalnie rozproszone bazy danych. Jednocześnie każdy węzeł spięty w jednolite środowisko PDF stanowi punkt dostępu do całości zasobów bazodanowych. Korzystając ze środowiska chmury, możliwe jest multiplikowanie kolejnych węzłów systemu bazy danych, tworząc w miarę potrzeb odpowiednio wydajne środowisko. Ponieważ zapytania kierowane do tak rozproszonego środowiska są również realizowane – na ile to możliwe – w postaci rozproszonych podzapytań, rozwiązanie to umożliwia uzyskanie przyspieszenia nawet w przypadku, gdy rozmiar rezultatu zapytania jest bardzo duży i zapytania „sięgają” do danych znajdujących się na więcej niż jednym węźle DPF.

Funkcjonalność HADR umożliwia natomiast budowanie klastrów dwóch baz o charakterze wysokiej niezawodności w postaci systemów głównego i bliźniaczego zapasowego. System główny, obsługując całość przetwarzania transakcyjnego w zależności od przyjętego poziomu synchronizacji, z potwierdzeniem przesyła każdy wpis dziennika transakcji do systemu zapasowego. W ten sposób system zapasowy utrzymywany jest w stanie spójnym z dokładnością do ostatniej zatwierdzonej transakcji systemu głównego. W przypadku awarii następuje przełączenie użytkowników na system zapasowy. W środowiskach fizycznych taka sytuacja wymaga szybkiej interwencji sprzętowej w celu naprawy uszkodzonego systemu

głównego. Wykorzystując struktury chmury, uszkodzony system należy odtworzyć z obrazu źródłowego i ponownie przyłączyć do systemu aktualnie realizującego wszystkie operacje transakcyjne. Takie działanie może znacząco przyspieszyć czas ponownego odzyskania pełnego bezpieczeństwa danych, bo należy pamiętać, że przez czas awarii systemu, dotychczas głównego, dane nie mają zabezpieczenia w postaci gorącej kopii. Dodatkową korzyścią wykorzystania systemów zwirtualizowanych jest możliwość odpowiedniego przydzielenia zasobów do obu systemów. System zapasowy, choć powinien być bliźniaczą konfiguracją systemu głównego, to jednak jest jedynie znikomo obciążany operacjami synchronizacji dziennika transakcji.

7. Bazodanowe rozwiązania dla chmur firm Google i Amazon oraz otwarte rozwiązania NoSQL w chmurach

Można pokusić się o stwierdzenie, że wprowadzając gotową, łatwą do użycia infrastrukturę – Google App Engine (GAE) – Google zrewolucjonizowało obliczenia w chmurze, choć firma ta nie była pierwszym dostawcą chmury. Przykładowo Amazon Elastic Compute Cloud (EC2) było już uznanym rozwiązaniem na rynku, w czasie kiedy Google przedstawiło swoje usługi. Jednak model przyjęty przez Google okazał się być na tyle wygodny, że platforma chmury tej firmy w krótkim czasie rozprzestrzeniła się i przyjęła. Magazyn danych GAE (ang. *Google App Engine Data Store*) dostarcza środowisko dla aplikacji napisanych przy użyciu Pythona lub mogących być uruchomionych na JVM (ang. *Java Virtual Machine*). Google dostarcza też interfejs programowania aplikacji API (ang. *Application Programming Interface*) oraz zestaw narzędzi dla programistów SDK (ang. *Software Development Kit*) do budowania aplikacji na swoje środowisko GAE. GAE do przechowywania danych używa bazy Bigtable, która może być porównana do magazynu obiektów, gdzie każda encja jest obiektem [32, 12].

Magazyn danych GAE dostarcza gotową do użycia, w pełni zarządzaną bazę danych. Złożoność i obciążenie zarządzaniem jest całkowicie przerzucone na dostawcę. Użytkownik nie musi się martwić ani o administrowanie bazą, ani o zarządzanie indeksacją czy wydajnością. Dopóki taki magazyn danych działa, użytkownik może skoncentrować się na swojej aplikacji i logice danych [32].

Amazon SimpleDB – elastyczna i w pełni zarządzana baza w chmurze – jest gotową do uruchomienia alternatywą dla magazynu danych GAE. Podobnie jak GAE, jest w pełni skalowalnym, w razie potrzeby zwiększającym swoje możliwości, magazynem danych. Różni się jednak (w porównaniu do GAE) w zakresie stosowanego API oraz wewnętrznej konstrukcji.

Warto dodać, że Amazon SimpleDB jest oferowana jako część usługi Amazon Web Services (AWS) [32].

W wielu rzeczywistych rozwiązaniach w zakresie dostarczania chmur obliczeniowych – jak np. Amazon Elastic Compute Cloud (EC2) – istnieje wybór instalacji dowolnego produktu NoSQL. Jednak mimo iż istnieje tu tak duża wolność wyboru, to niektórzy dostawcy chmury dla ułatwienia obsługi dostarczają infrastrukturę już w pełni zainstalowaną i skonfigurowaną, gotową do użycia w zakresie wybranych produktów [32]. Takimi gotowymi rozwiązaniami są np.: Google Bigtable data store - Google App Engine, Amazon SimpleDB czy MongoHQ.

Amazon Relational Database Service (Amazon RDS) jest usługą sieciową, pozwalającą na łatwe uruchomienie, konfigurację i skalowanie systemów obsługi relacyjnych baz danych Informix, MySQL czy Oracle w chmurze obliczeniowej [9]. Amazon RDS realizuje m.in. funkcje konfiguracji, automatycznego zarządzania poprawkami oraz przydzielania uprawnień. Ma również wiele funkcji, które zwiększają niezawodność baz produkcyjnych, w tym tworzenie automatycznych kopii zapasowych czy migawek. Amazon RDS działa na tej samej, wysoce niezawodnej infrastrukturze wykorzystywanej przez inne usługi AWS. Amazon RDS dostarcza wiele mechanizmów kontroli dostępu do danych. Umożliwia izolowanie instancji bazy przez przypisywanie puli adresów IP czy stosowanie odpowiedniego szyfrowania. W Amazon RDS wszystkie czasochłonne czynności administracyjne są zautomatyzowane, dzięki czemu użytkownicy mogą się skupić na własnych aplikacjach realizujących funkcje biznesowe.

W ostatnich latach pojawiło się kilkadziesiąt baz NoSQL, których klasyfikacja została podana na stronie <http://nosql-database.org/>. O ile istnieje prosta możliwość wykorzystania klasycznych baz NoSQL w chmurach na podstawie maszyn wirtualnych i Storage-as-a-Service, o tyle w ostatnim czasie powstają rozwiązania dedykowane dla chmur. Wybrane rozwiązania firmowe NoSQL zostały zaprezentowane w poprzednich rozdziałach. W dalszej części przedstawiono dwa najciekawsze rozwiązania z tego nurtu, związane z otwartym oprogramowaniem.

MongoHQ jest platformą NoSQL udostępniającą dokumentową bazę danych MongoDB i jej zasoby w chmurze jako serwis – w modelu DBaaS [34, 35]. Umożliwia ona programistom budowanie skalowalnych aplikacji na platformie oferowanej bazy danych. Do interakcji z bazą MongoDB można wykorzystać MongoHQ REST API, z formatem wymiany danych JSON API, przez protokół HTTPS. Możliwa jest opcja wysokiej dostępności, w której wszystkie bazy danych zawierają pełną wielowęzłową replikę, dzięki temu uzyskując wysoką dostępność systemu mimo usterek i niedostępności pojedynczego węzła (lub nawet całego magazynu danych).

Apache CouchDB to dokumentowa baza, oferująca niespotykane w innych systemach NoSQL funkcjonalności, takie jak: rozbudowany mechanizm replikacji, pozwalający na tworzenie rozproszonych aplikacji, gdzie każdy klient ma własną kopię bazy czy framework MapReduce, umożliwiający tworzenie indeksów drugiego poziomu. Firma Cloudant oferuje usługę hostingową „CouchDB w Chmurze” (ang. *CouchDB Cloud*), która daje klientom dostęp do bazy „hostowanej” i zarządzanej przez firmę Cloudant na ich serwerach [13]. Na potrzeby tej usługi stworzono system o nazwie BigCouch, który pozwala na rozpraszanie CouchDB na wiele węzłów klastra. BigCouch dopuszcza, aby wszyscy użytkownicy współdzielili jego jedną instancję [14]. W porównaniu z rozwiązaniem, w którym na każdym kilku użytkowników przypada osobna, replikowana instancja systemu, znacznie redukuje to koszty administracji i równocześnie podnosi elastyczność i niezawodność.

8. Podsumowanie

Z porównania oferty czołowych producentów baz danych wynika, że (pomimo różnych strategii biznesowych) obecnie w zakresie rozwiązań chmurowych firmy starają się zaoferować produkty o podobnych funkcjonalnościach. O ile jeszcze niedawno firma Oracle nie oferowała chmury publicznej, a firma Microsoft – prywatnej, o tyle niedawno oferta ta została uzupełniona. Główna różnica polega na ofercie zintegrowanych rozwiązań sprzętowo-programowych, gdzie obecnie najbardziej zaawansowane wydają się być produkty Exadata Database Machine i Exalogic Elastic Cloud firmy Oracle. Środowisko wolnego oprogramowania koncentruje się głównie na rozwiązaniach NoSQL, które są bardzo wydajne i znacząco prostsze w implementacji niż rozwiązania relacyjne. Prowadzone są również prace nad dostosowaniem baz z otwartym kodem źródłowym do wymagań chmur obliczeniowych.

Nieskończona skalowalność chmur obliczeniowych jest oczywistym mitem i chwytem marketingowym. Trzeba jednak przyznać, że udostępniane zasoby oraz wydajnościowe możliwości ich wykorzystania są imponujące. Jednak w praktyce ważniejsze jest pytanie: jak duża wydajność, dla określonego zastosowania, będzie wystarczająca i jakim kosztem? W przypadku biznesowych aplikacji bazodanowych wydaje się, że w większości przypadków wymagania te są dużo mniejsze niż w przypadku serwisów społecznościowych, nie wspominając o usługach wyszukiwujących (np. Google). Natomiast krytyczne jest zachowanie klasycznych właściwości ACID. O dostrzeżeniu tych wymagań świadczy udostępnienie przez dostawców oprogramowania takich produktów, jak: Oracle Exalogic i Exadata z pełną funkcjonalnością bazy danych Oracle, Microsoft SQL Azure z nieznacznie ograniczoną funkcjonalnością bazy danych SQL Server, oferta IBM w zakresie DB2, prace nad Amazon Relational Database Service czy projekt Relational Cloud z MIT [3]. Chociaż rozwiązania te nie charakteryzują

się tak dobrą skalowalnością poziomą jak bazy NoSQL, to jednak wydaje się, że wystarczają w typowych zastosowaniach.

Dużą zaletą proponowanych rozwiązań jest wykorzystanie takiego samego sprzętu i takiego samego oprogramowania w chmurach publicznej i prywatnej, co umożliwi łatwą migrację oraz wykorzystanie modelu hybrydowego. Takie rozwiązanie – Exalogic + Exadata – proponuje firma Oracle. Wówczas szczególnie istotne jest zapewnienie pełnej funkcjonalności serwera bazy danych.

W literaturze na ogół wspomina się o migracji aplikacji do chmury publicznej. Prawdopodobne wydają się również migracje w przeciwnym kierunku, do chmury prywatnej lub społecznościowej, głównie spowodowane ograniczeniami prawnymi dotyczącymi miejsca przechowywania danych oraz niezawodnością.

W ocenie autorów klasyczne rozwiązania bazodanowe i rozwiązania NoSQL bardziej się uzupełniają niż rywalizują ze sobą. Przedsięwzięcia o bardzo dużej skali i tak wymagają dedykowanych rozwiązań sprzętowo-programowych – np. trudno sobie wyobrazić stworzenie w publicznie dostępnej infrastrukturze chmur obliczeniowych produktu, który osiągnąłby funkcjonalność i wydajność zbliżone do wyszukiwarki Google.

Z analizy ofert czołowych firm na rynku baz danych i obserwacji społeczności otwartego oprogramowania oraz badań naukowych wynika, że prywatne chmury obliczeniowe zostały zauważone i docenione. Znaczenie tych chmur wydaje się wynikać głównie z wymagań dotyczących bezpieczeństwa przechowywanych danych oraz wymagań prawnych. Do aplikacji charakterystycznych dla tych chmur głównie należą aplikacje przechowujące stosunkowo małe woluminy danych (rzędu TB), jednak wymagające spełnienia klasycznych własności ACID. W konsekwencji wydaje się, że najlepsze w tym przypadku są klasyczne rozwiązania baz danych, dostosowane do pracy w chmurach. W przypadku upowszechnienia się produktów klas Exalogic i Exadata można się spodziewać, że w dużych organizacjach rachunek kosztów może być korzystny dla chmur prywatnych i społecznościowych.

BIBLIOGRAFIA

1. Biesiada D., Cichocki P., Kopacz T., Zass B., Żarski A., Żyliński M.: Windows Azure. Platforma Cloud Computing dla programistów. APN Promise, Warszawa 2010.
2. Cloud Storage – Windows Azure (2012); <http://www.windowsazure.com/en-us/develop/net/fundamentals/cloud-storage>
3. Curino C., Jones E., Popa R., Malviya N., Wu E., Madden S., Balakrishnan H., Zeldovich N.: Relational Cloud: a Database Service for the Cloud. CIDR, 2011.

4. Database as a Service: Reference Architecture – An Overview. An Oracle White Paper on Enterprise Architecture, September 2011.
5. Linthicum D.S.: Cloud Computing and SOA Convergence in Your Enterprise: A Step-by-Step Guide. Addison-Wesley Professional, 2009.
6. E-seminarium dotyczące Microsoft System Center 2012 – 7.02.2012 r.
7. Federations in SQL Azure (SQL Azure Database) (2012); <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/windowsazure/hh597452.aspx>.
8. Getting Started with NoSQL Database 11g Release 2, Library Version 11.2.1.1, Oracle 2011.
9. <http://aws.amazon.com/rds/>.
10. http://cloud.oracle.com/mycloud/f?p=service:DATABASE_SPECS:0:......
11. <http://cloud.oracle.com/mycloud/f?p=5001:24:0:.....>.
12. <http://code.google.com/intl/pl/appengine/>.
13. <http://couchdb.apache.org/>.
14. <https://github.com/cloudant/bigcouch>.
15. <http://www.nist.gov/itl/cloud/>.
16. Mateos A., Rosenberg J.: Chmura obliczeniowa. Rozwiązania dla biznesu. Helion, Gliwice 2011.
17. Manyika J., Chui M., Brown B., Bughin J., Dobbs R., Roxburgh C., Byers A.: Big data: The next frontier for innovation, competition, and productivity. McKinsey Global Institute, June 2011.
18. Microsoft Server and Cloud Platform Blog; <http://blogs.technet.com/b/server-cloud/archive/2012/01/17/system-center-2012-a-true-private-cloud-builder.aspx>.
19. Microsoft Private Cloud. Sposób na automatyzację i obniżenie kosztów infrastruktury serwerowej; <http://www.microsoft.com/poland/wirtualnespotkania/film.aspx?id=33>.
20. Microsoft System Center 2012 da każdej firmie szansę na tanią prywatną chmurę; <http://webhosting.pl/Microsoft.System.Center.2012.da.kazdej.firmie.szanse.na.tania.prywatna.chmure>.
21. Kurs: Wprowadzenie do Private Cloud.
22. <http://www.microsoftvirtualacademy.com/tracks/wprowadzenie-do-private-cloud>.
23. Oracle: Big Data for the Enterprise. An Oracle White Paper, October 2011.
24. Oracle Exalogic Elastic Cloud: Software Overview. An Oracle White Paper, March 2011.
25. Oracle Exalogic Elastic Cloud: System Overview. An Oracle White Paper, September 2011.

26. A Technical Overview of the Oracle Exadata Database Machine and Exadata Storage Server. An Oracle White Paper, January 2012.
27. Silberschatz A., Korth H. F., Sudarshan S.: Database System Concepts, Sixth Edition. McGraw-Hill, 2010.
28. Sosinsky B.: Cloud Computing Bible, Wiley, 2011.
29. SQL Azure Database (2012); <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/windowsazure/ee336279.aspx>.
30. SQL Azure Architecture (2012); <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/windows-azure/ee336271.aspx>.
31. SQL Server Feature Limitations (SQL Azure Database) (2012); <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/windowsazure/ff394115.aspx>.
32. Tiwari S.: Professional NoSQL. Wrox, 2011.
33. Tour – Overview – Windows Azure (2012); <http://www.windowsazure.com/en-us/home/tour/overview>.
34. <https://mongohq.com/home>.
35. <http://support.mongohq.com/>.
36. Chong R. F., Liu C., Qi S. F., Snow D. R.: Zrozumieć DB2 ®. Nauka na przykładach. PWN, 2006.

Wpłynęło do Redakcji 31 stycznia 2012 r.

Abstract

Cloud computing popularity is growing quickly, driving development of data storage and access methods. There are available efficient, simple and scalable NoSQL solutions, which however are not so functionally advanced like relational-based ones.

The paper discusses in a concise way the relation between databases and cloud computing and presents database products for different cloud deployment models from Oracle, Microsoft, IBM, Amazon, Google, and open source community. A comparison of the products and services for cloud computing of the leading database vendors showed that – besides different business strategies – the companies try to offer similar functionality. For example lately Oracle has introduced a public cloud and Microsoft has proposed a private cloud. The main difference in business offer relays on integrated software-hardware solutions, in which Oracle Exadata Database Machine and Exalogic Elastic Cloud seems to be the most advanced for now.

It seems that business applications require significantly less storage and processing power than social applications however generally in business providing ACID properties is vital. Lately this problem has been noticed in cloud computing and fully featured or nearly fully featured relational databases have been made available, e.g. Oracle, SQL Server, DB2.

Analysis of the available cloud products and on-going research showed that in the context of database-centric applications private clouds has been noticed and appreciated, which may be mostly attributed to security and legal issues. For such clouds applications, storing relatively small amount of data (up to TBs) and requiring ACID properties is characteristic. As a consequence classical database products adjusted to cloud computing seems to be the best solution in such cases.

Adresy

Piotr BAJERSKI: Politechnika Śląska, Instytut Informatyki, ul. Akademicka 16,
44-100 Gliwice, Polska, piotr.bajerski@polsl.pl.

Dariusz AUGUSTYN: Politechnika Śląska, Instytut Informatyki, ul. Akademicka 16,
44-100 Gliwice, Polska, draugustyn@polsl.pl.

Małgorzata BACH: Politechnika Śląska, Instytut Informatyki, ul. Akademicka 16,
44-100 Gliwice, Polska, malgorzata.bach@polsl.pl.

Robert BRZESKI: Politechnika Śląska, Instytut Informatyki, ul. Akademicka 16,
44-100 Gliwice, Polska, robert.brzeski@polsl.pl.

Adam DUSZEŃKO: Politechnika Śląska, Instytut Informatyki, ul. Akademicka 16,
44-100 Gliwice, Polska, adam.duszenko@polsl.pl.

Aleksandra WERNER: Politechnika Śląska, Instytut Informatyki, ul. Akademicka 16,
44-100 Gliwice, Polska, aleksandra.werner@polsl.pl.