

Maciej Roszkowski

Migracja maszyn wirtualnych w zastosowaniu organizacji infrastruktury technicznej

Ekonomiczne Problemy Usług nr 113, 341-349

2014

Artykuł został opracowany do udostępnienia w internecie przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego. Artykuł jest umieszczony w kolekcji cyfrowej bazhum.muzhp.pl, gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.

MACIEJ ROSZKOWSKI

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny¹

MIGRACJA MASZYN WIRTUALNYCH W ZASTOSOWANIU ORGANIZACJI INFRASTRUKTURY TECHNICZNEJ

Streszczenie

W pracy zostały zaprezentowane trzy systemy wykorzystujące migrację maszyn: system wirtualny wysokiej dostępności (wysokiej niezawodności), system wirtualny odporny na wystąpienie awarii, system wirtualny równoważenia obciążenia i alokacji zasobów. Zaproponowano środowisko migracji maszyn wirtualnych w zastosowaniu organizacji infrastruktury technicznej.

Słowa kluczowe: wirtualizacja, migracja, klaster HA, FT, DRS

Wprowadzenie

Funkcjonowanie społeczeństwa informacyjnego jest możliwe na podstawie technologii informacyjnych. Rozwój społeczeństwa informacyjnego jest efektem ciągle rozwijanej infrastruktury technicznej. Zastosowanie wirtualizacji środowisk fizycznych (konwersja serwerów fizycznych na ich postać wirtualną) bardzo ułatwia właściwą organizację infrastruktury technicznej. Powstaje infrastruktura techniczna, która na podstawie technologii migracji maszyn wirtualnych jest w stanie zagwarantować ciągłość świadczenia usług bez przestoju.

Wirtualizacja serwerów jest możliwa poprzez instalację systemu operacyjnego hipernadzorcy na serwerze fizycznym (Roszkowski 2012). Hipernadzorca nadzoruje tworzenie, migrację i komunikację maszyn wirtualnych oraz sprawuje nadzór nad dostępem maszyn wirtualnych do fizycznych zasobów sprzętowych serwera (Halet-

¹ Wydział Informatyki, Katedra Inżynierii Systemów Informacyjnych.

hy 2011). Przykładami hipernadzorców są serwery ESXi (wchodzące w skład produktu VMware vSphere 5.5), serwery Hyper-V (wchodzące w skład produktu Microsoft Server 2012 R2). W środowisku każdego hipernadzorcy uruchamia się wiele serwerów wirtualnych, które funkcjonują podobnie do serwerów fizycznych, jednakże mają postać maszyn wirtualnych.

Maszyna wirtualna to dokładna kopia fizycznego sprzętu (Tanenbaum 2003). Na maszynie wirtualnej można zainstalować dowolny system operacyjny, który zdolny jest uruchamiać się na komputerze fizycznym.

1. Migracja maszyn wirtualnych

Migracja maszyny wirtualnej jest procesem przeniesienia:

- stanu rejestrów procesora (przechowujących dane do obliczeń i wyniki),
- stanu sterowników urządzeń (przechowujących dane na temat komunikacji z urządzeniami),
- stanu pamięci ulotnej RAM (przechowującej aktualnie uruchomione programy, ich dane oraz wyniki ich pracy),
- stanu pamięci dyskowej (przechowującej w postaci plików, obszar wirtualnego dysku twardego z zainstalowanym system operacyjnym i oprogramowaniem),
- komunikacji sieciowej (przełączenie kart sieciowych odpowiedzialnych za komunikację systemu operacyjnego maszyny wirtualnej z otoczeniem).

Aktualny stan rejestrów procesora, sterowników urządzeń, pamięci ulotnej RAM, pamięci dyskowej oraz komunikacji sieciowej jest zapisywany w postaci plików maszyny wirtualnej (Guthrie, Lowe, Saidel-Keesing 2011). W praktyce proces przenoszenia jest realizowany jako kopiowanie oryginału, a następnie zniszczenie oryginału w momencie wykonania identycznej kopii. Dlatego też bardzo często proces migracji jest określany mianem klonowania.

Oprogramowanie do wirtualizacji bardzo często różnicuje rodzaje migracji ze względu na stan maszyny wirtualnej oraz określone operacje wykonywane na zasobach maszyn wirtualnych. Rodzaje migracji maszyn wirtualnych wyróżnione ze względu na stan maszyny wirtualnej:

- migracja na zimno (ang. *Cold Migration*) – przy wyłączonym systemie operacyjnym na maszynie wirtualnej dokonywane jest przeniesienie stanu maszyny wirtualnej na inny serwer fizyczny i/lub przeniesienie dysków maszyny wirtualnej na inną pamięć masową;
- migracja na żywo (ang. *Live Migration*) – przy uruchomionym systemie operacyjnym na maszynie wirtualnej dokonywane jest przeniesienie stanu maszyny wirtualnej na inny serwer fizyczny i/lub przeniesienie dysków maszyny wirtualnej na inną pamięć masową.

Migracja stanu maszyn wirtualnych i migracja dysków maszyn wirtualnych może być wykonywana oddzielnie lub wspólnie podczas jednej operacji. Łączenie dwóch typów migracji jest możliwe w produkcie VMware vSphere 5.1. Dotychczas warunkiem koniecznym migracji był współdzielony zasób dyskowy (macierz dyskowa). Obecnie większość hipernadzorców wspiera również migrację bez współdzielonej przestrzeni pamięci dyskowej. W Microsoft Windows Server 2012, rola Hyper-V 3.0 została wyposażona w mechanizm „Shared Nothing Live Migration” (Microsoft 2014) umożliwiający migrację bez współdzielonej infrastruktury w ramach tej samej domeny Active Directory, przy spełnieniu warunku szybkiego połączenia sieciowego (1Gb/s). Podobny mechanizm w produkcie VMware vSphere 5.0 nosi nazwę „VMware vSphere Storage Appliance”.

Często pod pojęciem migracji rozumie się proces konwersji do postaci maszyny wirtualnej. Można wyróżnić dwa rodzaje konwersji do postaci maszyny wirtualnej:

- konwersja serwerów fizycznych (ang. P2V, *physical to virtual*),
- konwersja maszyn wirtualnych utworzonych przy użyciu innego oprogramowania wirtualizacyjnego (ang. V2V, *virtual to virtual*).

W praktyce administratora systemów wirtualnych można wykorzystać konwersję V2V przy zmianie parametrów maszyny wirtualnej (na przykład wielkości dysku).

W pracy zostały zaprezentowane trzy systemy wykorzystujące migrację maszyn: system wirtualny wysokiej dostępności (wysokiej niezawodności), system wirtualny odporny na wystąpienie awarii, system wirtualny równoważenia obciążenia i alokacji zasobów.

2. System wirtualny wysokiej dostępności (wysokiej niezawodności)

System wirtualny wysokiej dostępności (ang. *High Availability*) to system wirtualny, który zapewnia dostępność usług w przypadku wystąpienia awarii komponentów sprzętowych serwera fizycznego automatycznie po krótkookresowej niedostępności. Niedostępność usług świadczonych na danym serwerze może być zamierzona (spowodowana pracami serwisowymi, instalacją aktualizacji, aktualizacją sprzętu) lub też niezamierzona (braki w dostawie energii elektrycznej, różnego rodzaju incydenty). Awaria serwera fizycznego wysokiej dostępności powoduje, że wszystkie maszyny wirtualne zostają automatycznie poddane migracji na inne serwery fizyczne wysokiej dostępności (posiadające rezerwę wydajności), a systemy operacyjne wirtualnych maszyn są automatycznie uruchamiane. Awaria w samym systemie operacyjnym wirtualnej maszyny również zostanie wykryta poprzez system wirtualny wysokiej dostępności i taki system operacyjny maszyny wirtualnej zostanie ponownie uruchomiony na tym samym serwerze fizycznym.

Przykładami rozwiązań systemu wirtualnego wysokiej dostępności jest rozwiązanie VMware High Availability w produkcji VMware vSphere 5.5 (VMware 2014) oraz rozwiązanie Microsoft Failover Clustering (Microsoft 2014) w produkcji Windows Server 2012 R2. Funkcjonalność systemu wirtualnego wysokiej dostępności zostanie zaprezentowana na przykładzie rozwiązania VMware High Availability.

Dodanie serwera ESXi do klastra HA, powoduje instalację na serwerze ESXi oprogramowania agenta, które jest odpowiedzialne za komunikację z innymi serwerami ESXi w klastrze HA. Jeden z serwerów ESXi jest serwerem typu Master (serwer nadrzędny), a pozostałe są serwerami typu Slave (serwery podrzędne). Serwer typu Master jest odpowiedzialny za monitorowanie i zarządzanie listą serwerów typu Slave oraz wszystkich maszyn wirtualnych chronionych przez klastr HA. Serwer typu Master musi również raportować do centrum zarządzania serwerami ESXi (VMware vCenter Server) stan klastra HA.

Jeżeli któraś z maszyn wirtualnych jest niedostępna, serwer typu Master restartuje ją. Jeżeli któryś z serwerów typu Slave jest niedostępny, serwer typu Master wybiera maszyny wirtualne, które poddaje procesowi migracji oraz wybiera serwery typu Slave, na których to serwerach maszyny wirtualne będą migrowane, a następnie zostaną uruchomione. Dostępność maszyny wirtualnej jest sprawdzana poprzez mechanizm sygnału życia (Heartbeat). Komunikacja serwera typu Master z każdym serwerem typu Slave zachodzi za pomocą protokołu PPP (ang. *Point to Point Protocol*) poprzez bezpieczny kanał SSL w wydzielonej sieci zarządzającej (Management). W przypadku braku łączności poprzez sieć zarządzającą serwer typu Master i serwer typu Slave mogą się komunikować poprzez mechanizm sygnału życia podsystemu dyskowego (Heartbeat Datastores). Każdy serwer typu Slave jest odpowiedzialny za monitorowanie i zarządzanie listą wirtualnych maszyn (uruchomionych w swoich zasobach) oraz za raportowanie stanu maszyn wirtualnych do serwera typu Master. Serwer typu Slave monitoruje stan serwera typu Master, a w przypadku niedostępności serwera typu Master, bierze udział w wyborze nowego serwera typu Master (spośród wszystkich serwerów typu Slave).

Wybór serwera typu Master jest uwarunkowany dostępem do jak największej liczby wolumenów dyskowych, a w przypadku remisu wybór jest uzależniony od nazwy serwera ESXi (na podstawie mechanizmu Managed Object ID).

3. System wirtualny odporny na wystąpienie awarii

System wirtualny odporny na wystąpienie awarii (ang. *Fault Tolerance*) to system wirtualny, który zapewnia nieprzerwaną dostępność usług w przypadku wystąpienia awarii komponentów sprzętowych serwera wirtualnego. System wirtu-

alny jest odporny na wystąpienie awarii, ponieważ posiada identyczną kopię maszyny wirtualnej na drugim serwerze fizycznym.

Przykładami rozwiązań systemu wirtualnego odpornego na wystąpienie awarii jest rozwiązanie VMware Fault Tolerance w produkcie VMware vSphere 5.5 (VMware 2014). Funkcjonalność systemu wirtualnego odpornego na wystąpienie awarii zostanie zaprezentowana na przykładzie rozwiązania VMware Fault Tolerance.

Mechanizm VMware Fault Tolerance musi być uruchomiony w ramach rozwiązań VMware High Availability. Włączenie rozwiązania VMware Fault Tolerance dla podstawowej maszyny wirtualnej (Primary VM), tworzy jednocześnie dodatkową maszynę wirtualną (Secondary VM) na drugim serwerze ESXi. Wybór serwera fizycznego, na którym ma powstać dodatkowa maszyna wirtualna, jest dokonywany automatycznie przez mechanizm VMware Distributed Resource Scheduler, a jeżeli mechanizm VMware DRS nie jest włączony – przez serwer ESXi. Obydwie maszyny wirtualne pracują w trybie jednoczesnego wykonywania tych samych instrukcji w identycznej kolejności (mechanizm VMware vLockstep). Instrukcje i kolejność jest rejestrowana dla maszyny podstawowej, a następnie powtarzana z pewnym opóźnieniem na maszynie dodatkowej. Jednakże tylko maszyna podstawowa generuje wynikowy ruch sieciowy, czy też inicjuje zapis na dysku, ponieważ wynik działań maszyny dodatkowej jest przechwytywany przez serwer ESXi. Mechanizm VMware vLockstep jest uruchomiony równocześnie z mechanizmem sygnału życia (Heartbeat). Obydwie maszyny wirtualne potwierdzają, że funkcjonują bez awarii, w odpowiedzi na zapytanie wysłane przez serwery ESXi. Jeżeli któraś z maszyn wirtualnych przestanie funkcjonować i nie wyśle sygnału życia, natychmiast druga z maszyn staje się maszyną podstawową i na wybranym serwerze ESXi tworzy maszynę dodatkową.

4. System wirtualny równoważenia obciążenia i alokacji zasobów

System wirtualny równoważenia obciążenia i alokacji zasobów to system wirtualny, który umożliwia monitorowanie obciążenia serwerów fizycznych i inteligentny podział dostępnych zasobów pomiędzy maszyny wirtualne.

Przykładami rozwiązań systemu wirtualnego równoważenia obciążenia i alokacji zasobów jest rozwiązanie VMware Distributed Resource Scheduler (Troy, Helmke 2012) w produkcie VMware vSphere 5.5 oraz rozwiązanie Microsoft Performance and Resource Optimization w produkcie Windows Server 2012 R2. Funkcjonalność systemu wirtualnego równoważenia obciążenia i alokacji zasobów zostanie zaprezentowana na przykładzie rozwiązania VMware Distributed Resource Scheduler.

Grupa serwerów fizycznych ESXi nadzorowanych przez mechanizm VMware DRS posiada określone zasoby sprzętowe. Mechanizm VMware DRS stale monitoruje uruchamiane maszyny wirtualne. Jeżeli następuje wzrost obciążenia maszyny wirtualnej to, w zależności od ważności wirtualnej maszyny (ustawionego priorytetu) i obowiązujących reguł alokacji zasobów, mechanizm VMware DRS przydzieli tej maszynie dodatkowe zasoby na serwerze ESXi. Alokacja dodatkowych zasobów jest możliwa poprzez migrację tej maszyny wirtualnej na serwer ESXi o większej ilości wolnych zasobów lub poprzez zwolnienie zasobów zajętych przez inne maszyny wirtualne (migrację pozostałych maszyn wirtualnych ze wspólnego serwera ESXi na inne serwery ESXi).

Mechanizm alokacji zasobów może pracować w trzech trybach: ręcznym (mechanizm DRS przedstawia propozycje optymalnej migracji maszyn wirtualnych), częściowo automatycznym (początkowe umiejscowienie maszyn wirtualnych jest tworzone przez mechanizm DRS, ale migracje maszyn wirtualnych podczas pracy są sugerowane przez VMware DRS), w pełni automatycznym (migracja maszyn jest wykonywana automatycznie przez VMware DRS).

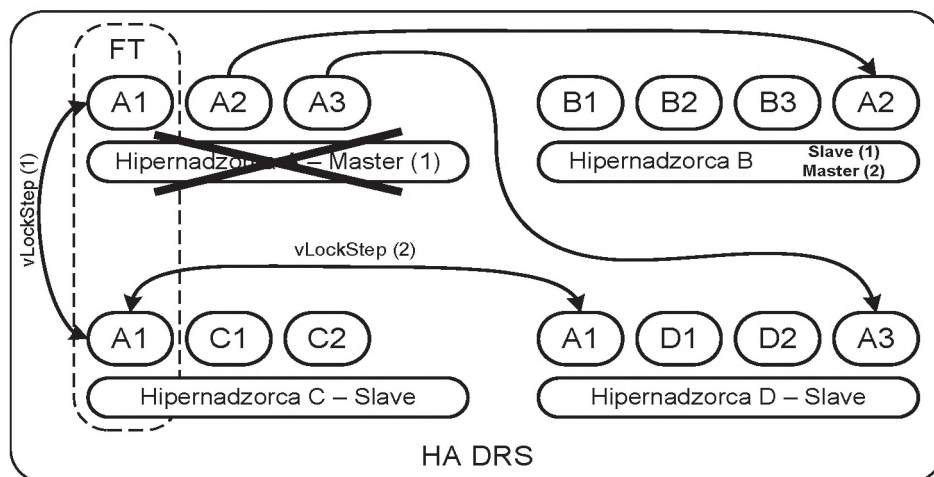
Wybranie trybu konserwacji serwera fizycznego ESXi spowoduje automatyczną migrację (lub sugestią migracji) wirtualnych maszyn na inne serwery fizyczne ESXi.

5. Propozycja środowiska migracji maszyn wirtualnych

Spółeczeństwo informacyjne komunikuje się na podstawie usług udostępnianych przez infrastrukturę techniczną. Zapewnienie ciągłej dostępności usług i minimalizacja możliwych przestoju jest możliwa poprzez zastosowanie migracji maszyn wirtualnych.

Proponowane środowisko stosuje wszystkie omawiane wcześniej systemy wykorzystujące migrację maszyn: system wirtualny wysokiej dostępności (HA), system wirtualny odporny na wystąpienie awarii (FT), system wirtualny równoważenia obciążenia i alokacji zasobów (DRS) (rysunek 1). Na czterech oddzielnych serwerach fizycznych zostało zainstalowane oprogramowanie VMware vSphere ESXi 5.5. Poszczególne hipernadzorcy zainstalowani na serwerach fizycznych oznaczeni są przez kolejne litery alfabetu (hipernadzorca A, B, C, D). Maszyny wirtualne uruchamiane w środowisku konkretnego hipernadzorcy posiadają literę alfabetu odpowiadającą literze hipernadzorcy i kolejny numer (na przykład A1, A2, A3). Oznaczenia (1) i (2) na rysunku 1 symbolizują następujące po sobie sytuacje, pokazują zdarzenie występujące najpierw (1) – przed wystąpieniem awarii serwera fizycznego z uruchomionym hipernadzorcą A, a następnie kolejne zdarzenie (2) – po wystąpieniu awarii serwera fizycznego z uruchomionym hipernadzorcą A. Wszystkie maszyny wirtualne uruchamiane w ramach czterech serwerów ESXi

znajdują się w klastrze HA i DRS. Jedna maszyna wirtualna A1 jest dodatkowo chroniona przez mechanizm FT i technologię vLockStep na dwóch serwerach A i C. W sytuacji przed awarią, serwer hipernadzorcy A jest serwerem typu Master, a pozostałe serwery są serwerami typu Slave.



Rys. 1. Propozycja środowiska migracji maszyn wirtualnych w zastosowaniu organizacji infrastruktury technicznej

Źródło: opracowanie własne.

Awarii sprzętowej ulega serwer A z uruchomionym hipernadzorcą A, w ramach którego są uruchomione maszyny wirtualne A1, A2, A3. Nie jest dostępny jednocześnie serwer typu Master (serwer A), dlatego dochodzi do elekcji, w ramach której zostaje wybrany nowy serwer typu Master (serwer B). Serwer B dokonuje natychmiastowej migracji maszyn wirtualnych A2 i A3 na serwery B i D (technologia HA). Podstawowa maszyna wirtualna A1 jest niedostępna (nie odpowiada na sygnał heartbeat), dlatego też dodatkowa maszyna A1 uruchomiona na serwerze C staje się maszyną podstawową, a na serwerze D tworzona jest maszyna dodatkowa. Wybór serwera D jest dokonany za pomocą technologii DRS. Usługi świadczone przez A1 są cały czas dostępne (technologia FT).

Podsumowanie

Zapisanie wszystkich informacji potrzebnych do funkcjonowania systemu operacyjnego w plikach binarnych maszyny ułatwia proces przeniesienia tego systemu operacyjnego na inny serwer fizyczny. Możliwe jest jednocześnie przeniesienie wszystkich danych maszyny wirtualnej lub też kopiowanie danych maszyny

wirtualnej z danej chwili, a następnie dogrywanie różnic w plikach danych. Tak przeprowadzony proces uniemożliwia wystąpienie problemu w dostępie do zasobów jeszcze nieprzeniesionych, co mogłoby skutkować awarią systemu operacyjnego na maszynie wirtualnej. Jeżeli proces migracji mógłby nie dojść do skutku (na przykład wskutek bardzo dużej zmiany danych wewnątrz systemu operacyjnego maszyny wirtualnej podczas procesu migracji), to zawsze istnieje oryginał maszyny wirtualnej, który jest niszczone dopiero w ostatnim momencie migracji.

W ramach migracji za pomocą mechanizmu FT przenoszony jest cały stan poszczególnych elementów systemu operacyjnego zainstalowanego na maszynie wirtualnej z zachowaniem ciągłości komunikacji. Dzięki temu można przenieść maszynę wirtualną świadczącą usługi (na przykład serwer online gry internetowej lub serwer multimediów strumieniowych) bez potrzeby ponownego nawiązywania połączenia przez klientów aktualnie korzystających z usług umiejscowionych na maszynie wirtualnej.

Organizacja infrastruktury technicznej na podstawie technologii wirtualizacji daje bardzo duże możliwości. System wirtualny wysokiej dostępności umożliwia zminimalizowanie czasu nieplanowanych przestojów serwerów fizycznych oraz niedostępności usług maszyn wirtualnych, poprzez podtrzymanie funkcjonalności i powrót do pracy po awarii serwera fizycznego lub awarii systemu operacyjnego maszyny wirtualnej. System wirtualny odporny na wystąpienie awarii zapewnia nieprzerwaną dostępność usług w przypadku wystąpienia awarii komponentów sprzętowych serwera wirtualnego. System wirtualny równoważenia obciążenia i alokacji zasobów umożliwia optymalne wykorzystanie zasobów serwerów fizycznych niezależnie od zmieniających się warunków.

Literatura

- Guthrie F., Lowe S., Saidel-Keesing M. (2011), *VMware vSphere design*, Wiley Publishing, Canada.
- Halethy E.L. (2011), *VMware ESX and ESXi in the Enterprise, Planning Deployment of Virtualization Servers*, Pearson Education.
- Roszkowski M., (2012), *Zastosowanie wirtualizacji do organizacji środowiska informacyjnego w przedsiębiorstwie*, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego nr 763, Ekonomiczne Problemy Usług nr 105, s. 69–77.
- Tanenbaum A.S. (2010), *Systemy operacyjne*, Helion, Gliwice.
- Troy R., Helmke M. (2012), *VMware Cookbook*, O'Reilly Media.
- Microsoft (2014): *Windows Server 2012 Hyper-V Component Architecture Poster*, www.microsoft.com/en-us/download/details.aspx?id=29189.
- VMware (2014): *What's New in VMware vSphere 5.0 – Availability*, www.vmware.com/resources/techresources/10193.

VIRTUAL MACHINES MIGRATION USED FOR ORGANIZATION OF TECHNICAL INFRASTRUCTURE OF INFORMATION SOCIETY

Summary

In the article were presented three systems uses for migration of virtual machines: High Availability, Fault Tolerance and Distributed Resource Scheduler systems. There is proposed an environment of Virtual machines migration used for organization of technical infrastructure of information society.

Keywords: virtualization, cluster HA, FT, DRS

Translated by Maciej Roszkowski