Helion

Charlie Hunt, Binu John

Wydajność JAVY

Poznaj i wykorzystaj
optymalne sposoby na regulowanie
wydajności oprogramowania Java!

Tytuł oryginału: Java Performance on Multi-Core Platforms, First Edition

Tłumaczenie: Lech Lachowski

Projekt okładki: proj: Studio Gravite / Olsztyn
Obarek, Pokoński, Pazdrijowski, Zaprucki

ISBN: 978-83-246-4380-6

Wydawnictwo HELION
ul. Kościuszki 1c, 44-100 GLIWICE
tel. 32 231 22 19, 32 230 98 63
e-mail: helion@helion.pl
WWW: http://helion.pl (księgarnia internetowa, katalog książek)

Pliki z przykładami omawianymi w książce można znaleźć pod adresem:
ftp://ftp.helion.pl/przyklady/wydjav.zip

Drogi Czytelniku!
Jeżeli chcesz ocenić tę książkę, zajrzyj pod adres
http://helion.pl/user/opinie/wydjav
Możesz tam wpisać swoje uwagi, spostrzeżenia, recenzję.

Printed in Poland.

Spis treści

4

Monitorowanie wydajności maszyny wirtualnej Javy

W tym rozdziale opisane zostały elementy, które powinny być monitorowane na poziomie stosu programowego maszyny wirtualnej Javy (ang. *Java Virtual Machine* — JVM). Ponadto przedstawione zostały narzędzia służące do monitorowania JVM oraz najbardziej typowe, powtarzające się wzorce, na które należy zwracać uwagę. Szczegóły dotyczące podejmowania na podstawie zebranych informacji decyzji dotyczących regulacji JVM znajdziesz w rozdziale 7. Na końcu rozdziału zamieszczony został również krótki podrozdział na temat monitorowania aplikacji.

Monitorowanie maszyny wirtualnej Javy jest czynnością, która zawsze powinna być wykonywana z aplikacją typu produkcyjnego. Ponieważ JVM jest kluczowym elementem stosu programowego, powinna być monitorowana w tym samym stopniu, co sama aplikacja oraz system operacyjny. Analiza informacji uzyskanych w procesie monitorowania maszyny wirtualnej Javy pozwala stwierdzić, kiedy niezbędna jest regulacja JVM. Taka regulacja maszyny wirtualnej Javy powinna być przeprowadzana za każdym razem, kiedy zmienia się wersja JVM, dochodzi do zmian w systemie operacyjnym (zmiana konfiguracji lub wersji), zmienia się wersja aplikacji lub wykonywane są aktualizacje oraz gdy dochodzi do znaczących zmian w zakresie danych wejściowych dla aplikacji. Do zmiany danych wejściowych aplikacji może dochodzić dość często w wielu aplikacjach Java, co może mieć wpływ na wydajność JVM. Dlatego też monitorowanie maszyny wirtualnej Javy jest tak istotną czynnością.

Istnieje kilka podstawowych obszarów JVM, które powinny być monitorowane. Należą do nich procesy odzyskiwania pamięci, działanie kompilatora JIT oraz ładowanie klas. Dostępnych jest wiele narzędzi umożliwiających monitorowanie maszyny wirtualnej Javy. Niektóre z nich są dystrybuowane z pakietami JDK, inne są darmowe, a jeszcze inne to wersje komercyjne (płatne).

Opisane w tym rozdziale narzędzia do monitorowania należą do grupy dystrybuowanych z pakietami Oracle JDK, do grupy narzędzi darmowych lub też do aplikacji typu open source. Ponadto wszystkie prezentowane tu narzędzia dostępne są dla systemów operacyjnych Windows, Linux oraz Oracle Solaris (zwanego dalej Solaris).

Aby właściwie zrozumieć materiał przedstawiony w tym rozdziale, pomocna będzie wiedza na temat najważniejszych komponentów oraz głównych operacji nowoczesnej maszyny wirtualnej Javy. Informacje na temat Java HotSpot VM i jej komponentów zostały przedstawione w rozdziale 3.

Definicje

Zanim zagłębimy się w szczegóły dotyczące elementów, które należy monitorować, przydatne może okazać się przypomnienie pojęć „monitorowanie wydajności" oraz „profilowanie wydajności" wprowadzonych na początku rozdziału 2. **Monitorowanie wydajności** (ang. *performance monitoring*) polega na nieinwazyjnym zbieraniu i obserwowaniu danych dotyczących wydajności działającej lub uruchomionej aplikacji. Jest to zazwyczaj działanie typu prewencyjnego lub zapobiegawczego, może więc być przeprowadzane w środowisku produkcyjnym, kwalifikacyjnym lub programistycznym. Monitorowanie wydajności jest również pierwszym etapem reagowania w sytuacji, kiedy interesariusze danej aplikacji zgłaszają występowanie problemów z wydajnością, a nie zapewniają przy tym wystarczających informacji lub wskazówek na temat potencjalnej przyczyny takiego stanu rzeczy. W takim przypadku prawdopodobne jest, że po fazie monitorowania wydajności nastąpi faza profilowania wydajności. Monitorowanie wydajności pozwala również zidentyfikować lub wyizolować potencjalne problemy bez istotnego wpływania na czasy reakcji oraz przepustowość aplikacji.

Z kolei **profilowanie wydajności** (ang. *performance profiling*) jest czynnością zbierania danych dotyczących wydajności działającej lub uruchomionej aplikacji, która to czynność może wpływać na przepustowość lub reakcje aplikacji. Profilowanie wydajności jest z reguły działaniem reakcyjnym lub działaniem, które ma stanowić odpowiedź na problemy z wydajnością zgłaszane przez zainteresowane osoby. Koncentruje się ono zazwyczaj na węższym obszarze niż monitorowanie wydajności. Profilowanie jest rzadko przeprowadzane w środowiskach produkcyjnych. Najczęściej wykonywane jest w środowisku kwalifikującym, testującym lub programistycznym i nierzadko następuje po monitorowaniu wydajności.

W odróżnieniu od monitorowania wydajności i profilowania wydajności, **regulacja wydajności** (ang. *performance tuning*) polega na zmianie wartości parametrów regulowanych, kodu źródłowego lub atrybutów konfiguracji w celu poprawy przepustowości i reakcji. Regulacja wydajności często następuje po monitorowaniu lub profilowaniu wydajności.

Odzyskiwanie pamięci

Monitorowanie procesów odzyskiwania pamięci JVM jest istotnym czynnikiem, ponieważ może mieć głęboki wpływ na przepustowość i opóźnienia aplikacji. Nowoczesne maszyny wirtualne Javy, takie jak Java HotSpot VM (zwana dalej HotSpot VM), zapewniają możliwość obserwacji statystyk odzyskiwania pamięci dla każdego procesu odzyskiwania. Statystyki dostarczane są w formie tekstowej, zapisywane bezpośrednio do pliku dziennika (ang. *log file*) lub publikowane w interfejsie graficznym (GUI) systemu monitorującego.

Podrozdział ten rozpoczyna się od przedstawienia listy danych, które są istotne dla procesu odzyskiwania pamięci. Następnie zaprezentowany został zestaw opcji wiersza poleceń HotSpot VM

służący do raportowania statystyk odzyskiwania pamięci. Zamieszczono przy tym objaśnienie znaczenia raportowanych danych. Dodatkowo przedstawione zostało narzędzie graficzne, które można wykorzystać do analizy uzyskanych danych. I co najważniejsze, znajduje się tutaj również opis konkretnych wzorców czy układów danych, na które należy zwracać uwagę, oraz sugestie dotyczące tego, kiedy trzeba wykonać regulację mechanizmu odzyskiwania pamięci JVM.

Dane istotne dla procesu odzyskiwania pamięci

W statystykach procesu odzyskiwania pamięci istotne są następujące dane:

- stosowany mechanizm odzyskiwania pamięci;
- rozmiar sterty Java;
- rozmiary przestrzeni młodego i starego pokolenia;
- rozmiar przestrzeni stałego pokolenia;
- czasy trwania procesów mniejszego odzyskiwania pamięci;
- częstotliwość uruchamiania procesu mniejszego odzyskiwania pamięci;
- ilość przestrzeni odzyskiwanej w procesach mniejszego odzyskiwania pamięci;
- czasy trwania procesów pełnego odzyskiwania pamięci;
- częstotliwość uruchamiania procesu pełnego odzyskiwania pamięci;
- ilość przestrzeni odzyskiwanej w cyklach równoczesnego odzyskiwania pamięci;
- zapełnienie sterty Java przed procesem odzyskiwania pamięci i po nim;
- zapełnienie przestrzeni młodego i starego pokolenia przed procesem odzyskiwania pamięci i po nim;
- zapełnienie przestrzeni stałego pokolenia przed procesem odzyskiwania pamięci i po nim;
- określenie, kiedy proces pełnego odzyskiwania pamięci wywoływany jest przez zapełnienie przestrzeni starego pokolenia, a kiedy przez zapełnienie przestrzeni stałego pokolenia;
- ustalenie, kiedy aplikacja korzysta z wyraźnych wywołań metody `System.gc()`.

Raportowanie danych procesu odzyskiwania pamięci

Raportowanie danych statystycznych dla procesów odzyskiwania pamięci nie stanowi dużego obciążenia dla maszyny wirtualnej HotSpot. Obciążenie to jest w rzeczywistości tak znikome, że zaleca się gromadzenie danych odzyskiwania nawet w środowisku produkcyjnym. W tym punkcie opisano kilka różnych opcji wiersza poleceń HotSpot VM służących do generowania statystyk działania mechanizmu odzyskiwania pamięci oraz objaśniono znaczenie tych statystyk.

Zasadniczo istnieją dwa typy odzyskiwania pamięci: mniejsze odzyskiwanie pamięci (ang. *minor garbage collection*), zwane również odzyskiwaniem pamięci z młodego pokolenia (ang. *young generation garbage collection*), oraz pełne odzyskiwanie pamięci (ang. *full garbage collection*), zwane również głównym odzyskiwaniem pamięci (ang. *major garbage collection*). Ogólnie rzecz biorąc, pełne odzyskiwanie pamięci obejmuje, oprócz usuwania obiektów „śmieciowych", także kompaktowanie przestrzeni starego i stałego pokolenia. Istnieje jednak kilka wyjątków od tej reguły. W maszynie wirtualnej HotSpot domyślnym zachowaniem przy pełnym odzyskiwaniu pamięci jest usuwanie śmieci z przestrzeni młodego, starego i stałego pokolenia. Ponadto w tym procesie kompaktowane są przestrzenie starego i stałego pokolenia, a wszystkie żywe obiekty z młodego pokolenia są promowane do starego pokolenia. Dlatego też na koniec procesu pełnego odzyski-

wania pamięci przestrzeń młodego pokolenia jest pusta, a przestrzenie starego i młodego pokolenia są skompaktowane i przechowują jedynie żywe obiekty. Sposoby działania każdego z mechanizmów odzyskiwania pamięci maszyny wirtualnej HotSpot zostały szczegółowo opisane w rozdziale 3.

Jak już wcześniej wspominaliśmy, mniejsze odzyskiwanie pamięci uwalnia obszary pamięci zajmowane przez nieosiągalne obiekty znajdujące się w przestrzeni młodego pokolenia. Z kolei domyślnym zachowaniem dla pełnego odzyskiwania pamięci w HotSpot VM jest uwalnianie obszarów pamięci zajmowanych przez nieosiągalne obiekty z przestrzeni młodego, starego i stałego pokolenia. Można skonfigurować maszynę wirtualną HotSpot tak, aby przy pełnym odzyskiwaniu pamięci obiekty „śmieciowe" z przestrzeni młodego pokolenia nie były zbierane, zanim nie zostaną zebrane obiekty „śmieciowe" z przestrzeni starego pokolenia. Służy do tego opcja wiersza poleceń `-XX:-ScavengeBeforeFullGC`. Znak `-` umieszczony przed `ScavengeBeforeFullGC` oznacza wyłączenie odzyskiwania pamięci w młodym pokoleniu dla procesu pełnego odzyskiwania pamięci. Z kolei zastosowanie znaku + przed tą opcją oznaczałoby włączenie odzyskiwania pamięci w przestrzeni młodego pokolenia dla procesu pełnego odzyskiwania pamięci. Jak już pisaliśmy, domyślnym zachowaniem dla HotSpot VM jest włączenie odzyskiwania w młodym pokoleniu dla pełnego odzyskiwania pamięci. Zalecane jest stosowanie ustawień domyślnych i niewyłączanie przestrzeni młodego pokolenia z procesu pełnego odzyskiwania. Zbieranie obiektów „śmieciowych" w przestrzeni młodego pokolenia przed wykonaniem tej samej czynności dla przestrzeni starego pokolenia zazwyczaj przysparza mniej pracy mechanizmowi odzyskiwania pamięci oraz powoduje, że więcej obiektów „śmieciowych" jest usuwanych, ponieważ obiekty w przestrzeni starego pokolenia mogą posiadać referencje do obiektów w przestrzeni młodego pokolenia. Jeśli nie zostanie przeprowadzone odzyskiwanie pamięci dla przestrzeni młodego pokolenia, żaden obiekt starego pokolenia, który posiada referencje do obiektów młodego pokolenia, nie może być usunięty.

-XX:+PrintGCDetails

Mimo iż `-verbose:gc` jest najczęściej stosowaną opcją wiersza poleceń dla raportowania statystyk procesu odzyskiwania pamięci, opcja `-XX:+PrintGCDetails` dostarcza dodatkowych i bardziej istotnych informacji w tym zakresie. W tej podsekcji zaprezentowano przykładowy listing z `-XX:+PrintGC ↪Details` dla przepustowościowego oraz równoczesnego mechanizmu odzyskiwania pamięci wraz z wyjaśnieniem dostarczonych danych. Opisane są również pewne wzorce, których należy szukać w listingu tej opcji.

Warto zwrócić uwagę, że dodatkowe informacje dostarczane przez opcję `-XX:+PrintGCDetails` mogą różnić się w zależności od wersji maszyny wirtualnej HotSpot.

Poniżej znajduje się przykład listingu dla opcji `-XX:+PrintGCDetails` przy przepustowościowym mechanizmie odzyskiwania pamięci w Java 6 Update 25. Przepustowościowy mechanizm odzyskiwania pamięci może być włączony za pomocą opcji `-XX:+UseParallelGC` lub `-XX:+Use ↪ParallelOldGC`. Układ listingu został podzielony na kilka wierszy w celu uzyskania lepszej przejrzystości.

```
[GC
    [PSYoungGen: 99952K->14688K(109312K)]
    422212K->341136K(764672K), 0.0631991 secs]
    [Times: user=0.83 sys=0.00, real=0.06 secs]
```

Oznaczenie `GC` wskazuje na proces mniejszego odzyskiwania pamięci. Fragment `[PSYoungGen: 99952K>14688K(109312K)]` dostarcza informacji na temat przestrzeni młodego pokolenia. `PSYoungGen` oznacza, że stosowane odzyskiwanie dla młodego pokolenia jest wielowątkowym procesem przepustowościowego mechanizmu odzyskiwania pamięci włączonego opcją wiersza poleceń `-XX:+Use ↪ParallelGC` lub automatycznie uruchomionego przez `-XX:+UseParallelOldGC`. Inne dostępne

mechanizmy odzyskiwania pamięci dla młodego pokolenia to: `ParNew`, czyli wielowątkowy proces odzyskiwania pamięci dla młodego pokolenia stosowany przez równoczesny mechanizm odzyskiwania pamięci starego pokolenia znany jako CMS, oraz `DefNew`, czyli jednowątkowy proces odzyskiwania pamięci dla młodego pokolenia stosowany przez szeregowy mechanizm odzyskiwania pamięci, który jest uruchamiany opcją wiersza poleceń `-XX:+UseSerialGC`. Opcja `-XX:+UseSerialGC` (`DefNew`) może być również stosowana w połączeniu z równoczesnym mechanizmem odzyskiwania pamięci starego pokolenia (CMS), co zapewnia jednowątkowe odzyskiwanie pamięci dla młodego pokolenia. Obecnie mechanizm odzyskiwania pamięci G1, nad którym nadal trwają prace, nie stosuje identyfikatora do identyfikacji danych wyjściowych w taki sposób, jak pozostałe trzy mechanizmy odzyskiwania pamięci.

Wartość `99952K` znajdująca się po lewej stronie strzałki `->` to zapełnienie przestrzeni młodego pokolenia przed uruchomieniem procesu odzyskiwania pamięci. Wartość `14688K` po prawej stronie strzałki `->` to zapełnienie przestrzeni młodego pokolenia po przeprowadzeniu procesu odzyskiwania pamięci. Przestrzeń młodego pokolenia podzielona jest na przestrzeń zwaną edenem oraz dwie przestrzenie ocalałych. Ponieważ po mniejszym odzyskiwaniu pamięci eden jest zawsze pusty, `14688K` oznacza zapełnienie przestrzeni ocalałych. Wartość podana w nawiasach, czyli `(109312K)`, to całkowity rozmiar (nie mylić z zapełnieniem) przestrzeni młodego pokolenia, na którą składa się eden oraz dwie przestrzenie ocalałych.

W następnym wierszu listingu znajdują się wartości `422212K->341136K(764672K)`, które dostarczają informacji na temat wykorzystania sterty Java (łączna zajętość przestrzeni młodego i starego pokolenia) przed odzyskiwaniem pamięci i po nim. Ponadto znajduje się tu informacja o rozmiarze sterty Java, który jest równy sumie przestrzeni młodego i starego pokolenia. Wartość `422212K` po lewej stronie strzałki to zajętość sterty Java przed uruchomieniem procesu odzyskiwania pamięci, a wartość `341136K` po prawej stronie strzałki to zajętość sterty po przeprowadzeniu procesu odzyskiwania pamięci. Ujęta w nawiasach wartość `(764672K)` to całkowity rozmiar sterty Java.

Korzystając z uzyskanych informacji na temat rozmiaru przestrzeni młodego pokolenia oraz rozmiaru sterty Java, możesz obliczyć rozmiar przestrzeni starego pokolenia. Jeśli przykładowo rozmiar sterty Java wynosi `764672K`, a rozmiar przestrzeni młodego pokolenia jest równy `109312K`, to rozmiar przestrzeni starego pokolenia wynosi `764672K - 109312K = 655360K`.

Wartość `0.0631991 secs` określa w sekundach czas trwania procesu odzyskiwania pamięci.

Kolejny wiersz listingu `[Times: user=0.06 sys=0.00, real=0.06 secs]` to informacja na temat wykorzystania CPU oraz czasu, jaki upłynął. Wartość dla pola `user` to czas CPU wykorzystany przez mechanizm odzyskiwania pamięci na wykonanie instrukcji poza systemem operacyjnym. W tym przykładzie mechanizm odzyskiwania pamięci wykorzystał 0,06 s czasu użytkownika dla CPU. Wartość dla pola `sys` to czas CPU wykorzystany przez system operacyjny na obsługę mechanizmu odzyskiwania pamięci. W naszym przykładzie mechanizm odzyskiwania pamięci w ogóle nie wykorzystał czasu CPU na wykonanie instrukcji systemu operacyjnego. Wartość dla pola `real` to podany w sekundach czas, jaki upłynął od momentu rozpoczęcia do momentu zakończenia procesu odzyskiwania pamięci. W tym przypadku zajęło to 0,06 s. Czasy dla `user`, `sys` i `real` są zaokrąglane do setnych sekundy.

W poniższym przykładzie przedstawiono listing z opcji `-XX:+PrintGCDetails` dla procesu pełnego odzyskiwania pamięci. Dla lepszej przejrzystości listing został podzielony na kilka wierszy.

```
[Full GC
    [PSYoungGen: 11456K->0K(110400K)]
    [PSOldGen: 651536K->58466K(655360K)]
    662992K->58466K(765760K)
    [PSPermGen: 10191K->10191K(22528K)],
    1.1178951 secs]
    [Times: user=1.01 sys=0.00, real=1.12 secs]
```

Nagłówek `Full GC` wskazuje, że mamy do czynienia z pełnym odzyskiwaniem pamięci. `[PSYoung ↪Gen: 11456K->0K(110400K)]` oznacza to samo, co w przypadku opisanego wcześniej mniejszego odzyskiwania pamięci.

Wiersz `[PSOldGen: 651536K->58466K(655360K)]` dostarcza informacji na temat przestrzeni starego pokolenia. `PSOldGen` oznacza, że stosowany mechanizm odzyskiwania pamięci dla starego pokolenia jest wielowątkowym procesem przepustowościowego mechanizmu odzyskiwania pamięci włączonego opcją wiersza poleceń `XX:+UseParallelOldGC`. Wartość `651536K` po lewej stronie strzałki to zapełnienie przestrzeni starego pokolenia przed uruchomieniem odzyskiwania pamięci, a wartość `58466K` po prawej stronie strzałki to zapełnienie tej przestrzeni po zakończeniu procesu odzyskiwania pamięci. Ujęta w nawiasach wartość `(655360K)` to rozmiar przestrzeni starego pokolenia.

Wiersz `662992K->58466K(765760K)` informuje o wykorzystaniu sterty Java. Jest tu podane łączne zapełnienie przestrzeni młodego i starego pokolenia przed wykonaniem i po wykonaniu odzyskiwania pamięci. Wartość po prawej stronie strzałki może być również traktowana jako ilość żywych obiektów, które pozostały w aplikacji po przeprowadzeniu pełnego odzyskiwania pamięci. Posiadanie informacji o ilości żywych obiektów w aplikacji, szczególnie kiedy aplikacja jest w stanie równowagi, jest istotne przy ustalaniu rozmiaru sterty Java maszyny wirtualnej oraz dostosowywaniu ustawień mechanizmu odzyskiwania pamięci w JVM.

Kolejny wiersz `[PSPermGen: 10191K->10191K(22528K)]` zawiera dane dotyczące przestrzeni stałego pokolenia. `PSPermGen` oznacza, że stosowany mechanizm odzyskiwania pamięci dla stałego pokolenia jest wielowątkowym procesem przepustowościowego mechanizmu odzyskiwania pamięci uruchomionego opcją wiersza poleceń `-XX:+UseParallelGC` lub `-XX:+UseParallelOldGC`. Wartość `10191K` znajdująca się po lewej stronie strzałki określa zapełnienie przestrzeni stałego pokolenia przed uruchomieniem procesu odzyskiwania pamięci, a wartość `10191K` znajdująca się po prawej stronie strzałki to zapełnienie tej przestrzeni po zakończeniu pracy przez mechanizm odzyskiwania pamięci. Ujęta w nawiasach wartość `(22528K)` to rozmiar przestrzeni stałego pokolenia.

W pełnym odzyskiwaniu pamięci istotne jest, by zwrócić uwagę na to, jaka część stery jest zajęta przez przestrzenie starego i stałego pokolenia przed uruchomieniem mechanizmu odzyskiwania pamięci. Powodem tego jest fakt, że pełne odzyskiwanie pamięci może być uruchamiane w przypadku zbliżania się limitu zapełnienia zarówno dla przestrzeni starego, jak i stałego pokolenia. Z naszego listingu wynika, że zapełnienie przestrzeni starego pokolenia przed odzyskiwaniem pamięci (`651536K`) jest bliskie całkowitemu rozmiarowi tej przestrzeni (`655360K`). Z kolei zapełnienie przestrzeni stałego pokolenia przed odzyskiwaniem pamięci (`10191K`) nie jest nawet blisko całkowitego rozmiaru tej przestrzeni (`22528K`). Stąd też wiemy, że uruchomienie pełnego odzyskiwania pamięci zostało spowodowane osiągnięciem limitu zapełnienia przestrzeni starego pokolenia.

Wartość `1.1178951 secs` określa w sekundach czas trwania procesu odzyskiwania pamięci.

Wiersz `[Times: user=1.01 sys=0.00, real=1.12 secs]` dostarcza informacji na temat wykorzystania CPU i czasu, jaki upłynął. Jego znaczenie jest takie samo, jak w przypadku opisanego wcześniej procesu mniejszego odzyskiwania pamięci.

Przy zastosowaniu równoczesnego mechanizmu odzyskiwania pamięci (CMS) listing dla opcji `-XX:+PrintGCDetails` nieco się różni, szczególnie w przypadku raportowania danych dotyczących przeważnie-równoczesnego odzyskiwania pamięci dla starego pokolenia. Równoczesny mechanizm odzyskiwania pamięci (CMS) uruchamiany jest opcją wiersza poleceń `-XX:+UseConcMarkSweepGC`. Uruchamia on również automatycznie opcję `-XX:+UseParNewGC`, czyli wielowątkowe odzyskiwanie pamięci dla młodego pokolenia. Poniżej znajduje się przykład dla mniejszego odzyskiwania pamięci wykorzystującego równoczesny mechanizm odzyskiwania pamięci CMS:

```
[GC
    [ParNew: 2112K->64K(2112K), 0.0837052 secs]
    16103K->15476K(773376K), 0.0838519 secs]
    [Times: user=0.02 sys=0.00, real=0.08 secs]
```

Listing z mniejszego odzyskiwania pamięci dla równoczesnego mechanizmu odzyskiwania pamięci jest zbliżony do listingu z mniejszego odzyskiwania pamięci dla przepustowościowego mechanizmu odzyskiwania pamięci. Aby zapewnić kompleksowość informacji, został on opisany poniżej.

Nagłówek `GC` wskazuje, że mamy do czynienia z mniejszym odzyskiwaniem pamięci. Wiersz `[ParNew: 2112K->64K(2112K)]` zawiera informacje na temat przestrzeni młodego pokolenia. `ParNew` wskazuje, że stosowane odzyskiwanie pamięci dla młodego pokolenia jest wielowątkowym procesem równoczesnego mechanizmu odzyskiwania pamięci CMS. Jeśli zostałoby zdefiniowane użycie z CMS szeregowego odzyskiwania pamięci dla młodego pokolenia, mielibyśmy oznaczenie `DefNew`.

Wartość `2112K` znajdująca się po lewej stronie strzałki określa zapełnienie przestrzeni młodego pokolenia przed uruchomieniem mechanizmu odzyskiwania pamięci, a wartość `64K` po prawej stronie strzałki oznacza zapełnienie tej przestrzeni po zakończeniu działania mechanizmu odzyskiwania pamięci. Przestrzeń młodego pokolenia dzieli się na eden oraz dwie przestrzenie ocalałych. Ponieważ eden zawsze pozostaje pusty po mniejszym odzyskiwaniu pamięci, `64K` oznacza zapełnienie przestrzeni ocalałych. Ujęta w nawiasach wartość `(2112K)` jest rozmiarem przestrzeni młodego pokolenia, na którą składa się eden i dwie przestrzenie ocalałych. `0.0837052 secs` to wyrażony w sekundach czas, jaki był potrzebny na usunięcie nieosiągalnych obiektów z przestrzeni młodego pokolenia.

Kolejny wiersz listingu — `16103K->15476K(773376K)` — przedstawia dane na temat wykorzystania sterty Java (łączne zapełnienie przestrzenie młodego i starego pokolenia) przed wykonaniem i po wykonaniu procesu odzyskiwania pamięci. Ponadto dostarcza również informacji dotyczącej rozmiaru sterty Java, która jest równa sumie rozmiarów przestrzeni młodego i starego pokolenia. Wartość `16103K` znajdująca się po lewej stronie strzałki oznacza zapełnienie sterty Java przed uruchomieniem mechanizmu odzyskiwania pamięci, a wartość `15476K` po prawej stronie strzałki oznacza zapełnienie sterty po zakończeniu działania mechanizmu odzyskiwania pamięci. Ujęta w nawiasach wartość `(773376K)` stanowi całkowity rozmiar sterty Java.

Korzystając z uzyskanych informacji na temat rozmiaru przestrzeni młodego pokolenia oraz rozmiaru sterty Java, możesz obliczyć rozmiar przestrzeni starego pokolenia. Jeśli przykładowo rozmiar sterty Java wynosi `773376K`, a rozmiar przestrzeni młodego pokolenia jest równy `2112K`, to rozmiar przestrzeni starego pokolenia wynosi `773376K - 2112K = 771264K`.

`0.0838519 secs` oznacza wyrażony w sekundach czas trwania procesu mniejszego odzyskiwania pamięci, włącznie z usuwaniem „śmieciowych" obiektów z przestrzeni młodego pokolenia i promowaniem obiektów do przestrzeni starego pokolenia oraz końcowymi procesami oczyszczania.

W wierszu `[Times: user=0.02 sys=0.00, real=0.08 secs]` znajdują się informacje na temat wykorzystania CPU oraz czasu, jaki upłynął. Wartość dla pola `user` to czas CPU wykorzystany przez mechanizm odzyskiwania pamięci na wykonanie instrukcji poza systemem operacyjnym. W tym przykładzie mechanizm odzyskiwania pamięci wykorzystał 0,02 s czasu użytkownika dla CPU. Wartość dla pola `sys` to czas CPU wykorzystany przez system operacyjny na obsługę mechanizmu odzyskiwania pamięci. W naszym przykładzie mechanizm odzyskiwania pamięci w ogóle nie wykorzystał czasu CPU na wykonanie instrukcji systemu operacyjnego. Wartość dla pola `real` to podany w sekundach czas, jaki upłynął od momentu rozpoczęcia do momentu zakończenia procesu odzyskiwania pamięci. W tym przypadku zajęło to 0,08 s. Czasy dla `user`, `sys` i `real` są zaokrąglane do setnych sekundy.

Jak pewnie wiesz z opisu mechanizmu CMS zamieszczonego w rozdziale 3., istnieje cykl przeważnie-równoczesnego odzyskiwania pamięci, który może być wykorzystywany w starym

pokoleniu. Opcja `-XX:+PrintGCDetails` raportuje również aktywność odzyskiwania pamięci dla każdego cyklu równoczesnego odzyskiwania pamięci. W poniższym przykładzie przedstawiono listing z odzyskiwania pamięci, który raportuje cały cykl równoczesnego odzyskiwania pamięci. Aktywność równoczesnego odzyskiwania pamięci jest przeplatana z procesami mniejszego odzyskiwania pamięci, aby wykazać, że procesy mniejszego odzyskiwania pamięci mogą wystąpić podczas cyklu równoczesnego odzyskiwania pamięci. Dla uzyskania lepszej przejrzystości dane dotyczące równoczesnego odzyskiwania pamięci zostały oznaczone wytłuszczonym drukiem. Pamiętaj również, że listing z opcji `-XX:+PrintGCDetails` dla mechanizmu CMS może różnić się w zależności od wersji JVM.

```
[GC
    [1 CMS-initial-mark: 13991K(773376K)]
    14103K(773376K), 0.0023781 secs]
    [Times: user=0.00 sys=0.00, real=0.00 secs]
[CMS-concurrent-mark-start]
[GC
    [ParNew: 2077K->63K(2112K), 0.0126205 secs]
    17552K->15855K(773376K), 0.0127482 secs]
    [Times: user=0.01 sys=0.00, real=0.01 secs]
[CMS-concurrent-mark: 0.267/0.374 secs]
    [Times: user=4.72 sys=0.01, real=0.37 secs]
[GC
    [ParNew: 2111K->64K(2112K), 0.0190851 secs]
    17903K->16154K(773376K), 0.0191903 secs]
    [Times: user=0.01 sys=0.00, real=0.02 secs]
[CMS-concurrent-preclean-start]
[CMS-concurrent-preclean: 0.044/0.064 secs]
    [Times: user=0.11 sys=0.00, real=0.06 secs]
[CMS-concurrent-abortable-preclean-start]
[CMS-concurrent-abortable-clean]  0.031/0.044 secs]
    [Times: user=0.09 sys=0.00, real=0.04 secs]
[GC
    [YG occupancy: 1515 K (2112K)
    [Rescan (parallel) , 0.0108373 secs]
    [weak refs processing, 0.0000186 secs]
    [1 CMS-remark: 16090K(20288K)]
    17242K(773376K), 0.0210460 secs]
    [Times: user=0.01 sys=0.00, real=0.02 secs]
[GC
     [ParNew: 2112K->63K(2112K), 0.0716116 secs]
     18177K->17382K(773376K), 0.0718204 secs]
     [Times: user=0.02 sys=0.00, real=0.07 secs]
[CMS-concurrent-sweep-start]
[GC
     [ParNew: 2111K->63K(2112K), 0.0830392 secs]
     19363K->18757K(773376K), 0.0832943 secs]
     [Times: user=0.02 sys=0.00, real=0.08 secs]
[GC
     [ParNew: 2111K->0K(2112K), 0.0035190 secs]
     17527K->15479K(773376K), 0.0036052 secs]
     [Times: user=0.00 sys=0.00, real=0.00 secs]
[CMS-concurrent-sweep: 0.291/0.662 secs]
   [Times: user=0.28 sys=0.01, real=0.66 secs]
[GC
     [ParNew: 2048K->0K(2112K), 0.0013347 secs]
     17527K->15479K(773376K), 0.0014231 secs]
     [Times: user=0.00 sys=0.00, real=0.00 secs]
[CMS-concurrent-reset-start]
```

```
[CMS-concurrent-reset: 0.016/0.016 secs]
     [Times: user=0.01 sys=0.00, real=0.02 secs]
[GC
     [ParNew: 2048K->1K(2112K), 0.0013936 secs]
     17527K->15479K(773376K), 0.0014814 secs]
     [Times: user=0.00 sys=0.00, real=0.00 secs]
```

Cykl CMS rozpoczyna się przestojem dla fazy znaku początkującego (ang. *initial mark*) i kończy po wykonaniu fazy równoczesnego resetu (ang. *concurrent reset*). W powyższym listingu każda z faz cyklu CMS została zaznaczona wytłuszczonym drukiem i rozpoczyna się od `CMS-initial-mark`, a kończy na `CMS-concurrent-reset`. Pozycja `CMS-concurrent-mark` oznacza zakończenie fazy równoczesnego znakowania. Z kolei pozycja `CMS-concurrent-sweep` wskazuje na zakończenie fazy równoczesnego zamiatania. Pozycje `CMS-concurrent-preclean` oraz `CMS-concurrent-abortable-preclean` określają zadania, które mogą być wykonywane równocześnie w ramach przygotowań do fazy ponownego zaznaczania (ang. *remark phase*) oznaczonej jako `CMS-remark`. Faza zamiatania oznaczona `CMS-concurrent-sweep` jest fazą, w której uwalniana jest przestrzeń zajmowana przez obiekty zaznaczone jako nieosiągalne. Końcową fazę wskazuje pozycja `CMS-concurrent-reset`. Jest to faza przygotowania do rozpoczęcia kolejnego cyklu równoczesnego mechanizmu odzyskiwania pamięci.

Znak inicjujący to z reguły relatywnie krótki przestój w stosunku do czasu, jaki jest potrzebny na wykonanie procesu mniejszego odzyskiwania pamięci. Czas, jaki jest niezbędny na wykonanie faz równoczesnych (równoczesnego zaznaczania, równoczesnego czyszczenia wstępnego oraz równoczesnego zamiatania), może być relatywnie długi (tak jak w powyższym przykładzie) w porównaniu do przestoju dla mniejszego odzyskiwania pamięci, jednak w trakcie wykonywania faz równoczesnych wątki aplikacji Java nie są zatrzymywane. Długość przestoju dla fazy ponownego zaznaczania jest zależna od charakterystyki aplikacji (np. wysoki współczynnik modyfikacji obiektów może wydłużać czas przestoju) oraz od czasu, jaki upłynął od momentu przeprowadzenia mniejszego odzyskiwania pamięci (duża liczba obiektów w przestrzeni młodego pokolenia może wydłużyć przestój).

Wzorcem, na który powinieneś zwrócić uwagę w tym listingu, jest stopień redukcji zapełnienia przestrzeni starego pokolenia podczas cyklu CMS. Przyjrzeć się powinieneś szczególnie temu, w jaki sposób spada zapełnienie sterty Java pomiędzy rozpoczęciem a zakończeniem fazy równoczesnego zamiatania CMS, co w listingu oznaczone zostało odpowiednio pozycjami `CMS-concurrent-sweep-start` oraz `CMS-concurrent-sweep`. Zapełnienie sterty Java możesz obserwować, śledząc procesy mniejszego odzyskiwania pamięci. Dlatego też powinieneś zwracać uwagę na mniejsze odzyskiwania pamięci pomiędzy rozpoczęciem a zakończeniem fazy równoczesnego zamiatania CMS. Jeśli w tym przedziale następuje niewielki spadek zapełnienia sterty Java, to albo zostało usuniętych niewiele obiektów (co oznacza, że cykle odzyskiwania pamięci CMS odnajdują niewiele nieosiągalnych obiektów do usunięcia, więc marnują wykorzystanie CPU), albo liczba obiektów promowanych do starego pokolenia jest równa lub wyższa niż współczynnik, z jakim faza równoczesnego zamiatania CMS jest w stanie je usuwać. Każdy z tych dwóch powyższych przypadków stanowi istotne wskazanie, że powinna zostać przeprowadzona regulacja maszyny wirtualnej Javy. Więcej informacji dotyczących regulacji mechanizmu odzyskiwania pamięci CMS znajdziesz w rozdziale 7.

Kolejnym artefaktem, który należy monitorować przy korzystaniu z CMS, jest dystrybucja zatrudnienia obiektów (ang. *tenuring distribution*) włączana opcją wiersza poleceń `-XX:+Print` `↪TenuringDistribution`. Dystrybucja zatrudnienia to histogram przedstawiający wiek obiektów w przestrzeniach ocalałych młodego pokolenia. Kiedy wiek obiektu przekroczy określony próg zatrudnienia (ang. *tenuring threshold*), jest promowany z młodego do starego pokolenia. Próg zatrudnienia oraz sposób monitorowania dystrybucji zatrudnienia wraz ze wskazówkami dotyczą-

cymi elementów, na które należy zwracać uwagę, zostały opisane w punktach „Objaśnienie progu zatrudnienia" i „Monitorowanie progu zatrudnienia", w rozdziale 7.

Jeśli obiekty są zbyt szybko promowane do starego pokolenia, a CMS nie jest w stanie zapewnić odpowiedniej ilości wolnej przestrzeni w stosunku do liczby obiektów promowanych z młodego do starego pokolenia, prowadzi to do wyczerpania dostępnej przestrzeni starego pokolenia. Sytuacja taka określana jest jako **niewydolność trybu równoczesnego** (ang. *concurrent mode failure*). Niewydolność trybu równoczesnego może również wystąpić, kiedy przestrzeń starego pokolenia zostanie pofragmentowana do tego stopnia, że nie będzie w niej już odpowiednio dużego miejsca na przyjęcie obiektu promowanego z przestrzeni młodego pokolenia. Opcja `-XX:+PrintGCDetails` raportuje niewydolność trybu równoczesnego w listingu z odzyskiwania pamięci, podając informację tekstową `(concurrent mode failure)`. Kiedy występuje niewydolność trybu równoczesnego, przeprowadzane jest odzyskiwanie pamięci w przestrzeni starego pokolenia w celu odzyskania wolnej przestrzeni. Przeprowadzane jest również kompaktowanie starego pokolenia, aby wyeliminować fragmentację. Cała ta operacja wymaga zatrzymania wątków aplikacji Java i może wymagać dość dużej ilości czasu. Dlatego też, jeśli zaobserwujesz powtarzające się przypadki niewydolności trybu równoczesnego, powinieneś wykonać regulację JVM według wskazówek zamieszczonych w rozdziale 7., szczególnie tych, które dotyczą dostrajania aplikacji w celu osiągnięcia małych opóźnień.

Znaczniki daty i czasu

Maszyna wirtualna HotSpot posiada opcje wiersza poleceń umożliwiające dołączenie znaczników daty i czasu w każdym raporcie dotyczącym odzyskiwania pamięci. Opcja wiersza poleceń `-XX:+Print`
`↪GCTimeStamps` drukuje znacznik czasu będący liczbą sekund, które upłynęły od momentu uruchomienia JVM. Znacznik ten zamieszczany jest dla każdego procesu odzyskiwania pamięci. W poniższym przykładzie przedstawiono listing dla mniejszego odzyskiwania pamięci z opcji `-XX:+Print`
`↪GCTimeStamps` w połączeniu z opcją `-XX:+PrintGCDetails` i przepustowościowym mechanizmem odzyskiwania pamięci. Listing został podzielony na kilka wierszy w celu uzyskania lepszej przejrzystości.

```
77.233: [GC
    [PSYoungGen: 99952K->14688K(109312K)]
    422212K->341136K(764672K), 0.0631991 secs]
    [Times: user=0.83 sys=0.00, real=0.06 secs]
```

Zwróć uwagę, że listing dla opcji `-XX:+PrintGCDetails` jest poprzedzony znacznikiem czasu reprezentującym liczbę sekund, które upłynęły od momentu uruchomienia JVM. Listing dla pełnego odzyskiwania pamięci również zawiera prefiks ze znacznikiem czasu. Znacznik ten jest dodawany także w przypadku stosowania równoczesnego mechanizmu odzyskiwania pamięci.

Od czasu ukazania się Java 6 Update 4 dostępna jest opcja wiersza poleceń `-XX:+PrintGCDate`
`↪Stamps`. Wstawia ona znacznik daty i czasu zgodny z normą ISO 860. Data i czas podawane są w formie *YYYY*`-`*MM*`-`*DD*`-T-`*HH*`-`*MM*`-`*SS*`.`*mmm*`-TZ`, gdzie:

- *YYYY* to czterocyfrowy format roku;
- *MM* to dwucyfrowe określenie miesiąca, wartości jednocyfrowe poprzedzane są cyfrą `0`;
- *DD* to dwucyfrowe określenie dnia miesiąca, wartości jednocyfrowe poprzedzane są cyfrą `0`;
- `T` jest znacznikiem informującym, że po jego lewej stronie znajduje się data, a po prawej określenie czasu dnia;
- *HH* to dwucyfrowe określenie godziny, wartości jednocyfrowe poprzedzane są cyfrą `0`;
- *MM* to dwucyfrowe określenie minuty, wartości jednocyfrowe poprzedzane są cyfrą `0`;

- *SS* to dwucyfrowe określenie sekundy, wartości jednocyfrowe poprzedzane są cyfrą 0;
- *mmm* to trzycyfrowe określenie milisekundy, wartości jednocyfrowe i dwucyfrowe poprzedzane są odpowiednio cyframi 00 oraz 0;
- TZ oznacza przesunięcie strefy czasowej względem czasu uniwersalnego GMT.

Mimo że listing zawiera informacje na temat przesunięcia strefy czasowej względem czasu GMT, to data i czas dnia nie są podawane według GMT, tylko dostosowywane do czasu lokalnego. Poniższy listing wykorzystuje opcję -XX:+PrintGCDateStamps wraz z opcją -XX:+PrintGCDetails przy zastosowaniu przepustowościowego mechanizmu odzyskiwania pamięci. Listing został podzielony na kilka wierszy w celu uzyskania lepszej przejrzystości.

```
2010-11-21T09:57:10.518-0500:[GC
    [PSYoungGen: 99952K->14688K(109312K)]
    422212K->341136K(764672K), 0.0631991 secs]
    [Times: user=0.83 sys=0.00, real=0.06 secs]
```

Przy pełnym odzyskiwaniu pamięci dla przepustowościowego mechanizmu odzyskiwania również dostępny jest przy zastosowaniu opcji -XX:+PrintGCDateStamps prefiks zawierający znacznik daty i czasu. Ponadto znaczniki daty i czasu drukowane są także przy korzystaniu z równoczesnego mechanizmu odzyskiwania pamięci.

Użycie znacznika daty i (lub) czasu umożliwia zmierzenie czasu trwania zarówno procesu mniejszego, jak i pełnego odzyskiwania pamięci łącznie z częstotliwością uruchamiania tych procesów. Na podstawie daty i czasu możesz obliczyć oczekiwaną częstotliwość przeprowadzania mniejszego i pełnego odzyskiwania pamięci. Jeśli czasy trwania lub częstotliwości uruchamiania procesów odzyskiwania pamięci przekraczają dopuszczalne normy dla aplikacji, powinieneś rozważyć regulację JVM według wskazówek zamieszczonych w rozdziale 7.

-Xloggc

Opcja wiersza poleceń HotSpot VM -Xloggc:*<nazwa_pliku>* ułatwia przeprowadzenie analizy offline statystyk odzyskiwania pamięci dzięki bezpośredniemu zapisaniu danych z raportu do pliku. Parametr *<nazwa_pliku>* pozwala zdefiniować dowolną nazwę dla pliku, w którym chcesz przechowywać dane dotyczące procesów odzyskiwania pamięci. Analiza offline tych danych może dotyczyć szerokiego przedziału czasu, co umożliwia identyfikację wzorców kształtowania się określonych statystyk bez konieczności obserwacji danych na bieżąco przy uruchomionej aplikacji.

Przy zastosowaniu opcji -XX:+PrintGCDetails w kombinacji z -Xloggc:*<nazwa_pliku>* listing jest automatycznie poprzedzany znacznikiem czasu nawet bez konieczności określania opcji -XX:+PrintGCTimeStamps. Znacznik czasu jest drukowany w ten sam sposób jak w przypadku -XX:+PrintGCTimeStamps. Poniżej znajduje się przykład dla opcji -Xloggc:*<nazwa_pliku>* w połączeniu z opcją -XX:+PrintGCDetails dla przepustowościowego mechanizmu odzyskiwania pamięci. Listing został podzielony na kilka wierszy w celu uzyskania lepszej przejrzystości.

```
77.233: [GC
    [PSYoungGen: 99952K->14688K(109312K)]
    422212K->341136K(764672K), 0.0631991 secs]
    [Times: user=0.83 sys=0.00, real=0.06 secs]
```

Ponieważ opcja -Xloggc dołącza do listingu znacznik czasu automatycznie, łatwo można określić, kiedy przeprowadzane są procesy mniejszego i pełnego odzyskiwania. Ponadto możesz również obliczyć częstotliwość uruchamiania tych procesów. Na podstawie daty i czasu możesz obliczyć oczekiwaną częstotliwość przeprowadzania mniejszego i pełnego odzyskiwania pamięci. Jeśli czasy trwania lub częstotliwości uruchamiania procesów odzyskiwania pamięci przekraczają dopusz-

czalne normy dla aplikacji, powinieneś rozważyć regulację JVM według wskazówek zamieszczonych w rozdziale 7.

Czas zatrzymania i czas równoczesny aplikacji

HotSpot VM może dostarczać informacji na temat ilości czasu, przez jaki aplikacja działa pomiędzy operacjami punktów bezpieczeństwa, oraz ilości czasu, przez jaki HotSpot VM blokuje wykonywanie wątków Java. Służą do tego opcje wiersza poleceń `-XX:+PrintGCApplicationConcurrentTime` oraz `-XX:+PrintGCApplicationStoppedTime`. Obserwacja operacji punktów bezpieczeństwa za pomocą tych dwóch opcji może dostarczyć informacji, które mogą być użyteczne dla zrozumienia i ilościowego określenia wpływu opóźnień generowanych przez JVM. Może to również pomóc w zdefiniowaniu, czy konkretne opóźnienie wynika z zachowania JVM spowodowanego operacją punktu bezpieczeństwa, czy jest związane z działaniem aplikacji.

Wskazówka

Operacje punktów bezpieczeństwa zostały opisane bardziej szczegółowo w rozdziale 3.

Poniżej znajduje się przykład zastosowania opcji `-XX:+PrintGCApplicationConcurrentTime` oraz `-XX:+PrintGCApplicationStoppedTime` dla `-XX:+PrintGCDetails`:

```
Application time: 0.5291524 seconds
[GC
    [ParNew: 3968K->64K(4032K), 0.0460948 secs]
    7451K->6186K(32704K), 0.0462350 secs]
    [Times: user=0.01 sys=0.00, real=0.05 secs]
Total time for which application threads were stopped: 0.0468229 seconds
Application time: 0.5279058 seconds
[GC
    [ParNew: 4032K->64K(4032K), 0.0447854 secs]
    10154K->8648K(32704K), 0.0449156 secs]
    [Times: user=0.01 sys=0.00, real=0.04 secs]
Total time for which application threads were stopped: 0.0453124 seconds
Application time: 0.9063706 seconds
[GC
    [ParNew: 4032K->64K(4032K), 0.0464574 secs]
    12616K->11187K(32704K), 0.0465921 secs]
    [Times: user=0.01 sys=0.00, real=0.05 secs]
Total time for which application threads were stopped: 0.0470484 seconds
```

Z listingu można wyczytać, że aplikacja działała w przybliżeniu od 0,53 do 0,91 sekundy z przestojami na mniejsze odzyskiwanie pamięci w przybliżeniu od 0,045 do 0,047. Stanowi to około 5 – 8% obciążenia na procesy mniejszego odzyskiwania pamięci.

Zwróć też uwagę, że nie ma żadnych dodatkowych punktów bezpieczeństwa pomiędzy każdym z procesów mniejszego odzyskiwania pamięci. Gdyby punkty bezpieczeństwa wystąpiły pomiędzy procesami odzyskiwania pamięci, w listingu pojawiłyby się następujące informacje dla każdego z tych punktów bezpieczeństwa: czas aplikacji (`Application time:`) oraz całkowity czas zatrzymania wątków aplikacji (`Total time for which application threads were stopped:`).

Wyraźne procesy odzyskiwania pamięci

Wyraźne procesy odzyskiwania pamięci mogą być łatwo zidentyfikowane na listingu. Listing z odzyskiwania pamięci zawiera informację tekstową wskazującą, że pełne odzyskiwanie pamięci jest

wynikiem wyraźnego wywołania metody `System.gc()`. W poniższym przykładzie przedstawiono listing z opcji wiersza poleceń `-XX:+PrintGCDetails` dla procesu pełnego odzyskiwania pamięci wywołanego metodą `System.gc()`. Listing został podzielony na kilka wierszy w celu uzyskania lepszej przejrzystości.

```
[Full GC (System)
    [PSYoungGen: 99608K->0K(114688K)]
    [PSOldGen: 317110K->191711K(655360K)]
    416718K->191711K(770048K)
    [PSPermGen: 15639K->15639K(22528K)],
    0.0279619 secs]
    [Times: user=0.02 sys=0.00, real=0.02 secs]
```

Zwróć uwagę, że pozycja `(System)` poprzedzona została oznaczeniem `Full GC`. Wskazuje to, że mamy do czynienia z procesem pełnego odzyskiwania pamięci wywołanym przez `System.gc()`. Jeśli odnajdziesz wyraźny proces odzyskiwania pamięci w logach odzyskiwania pamięci, powinieneś odszukać przyczynę jego zastosowania, a następnie zdecydować, czy wywołanie `System.gc()` powinno być usunięte z kodu źródłowego, czy też powinno zostać wyłączone.

Opcje wiersza poleceń polecane do monitorowania procesów odzyskiwania pamięci

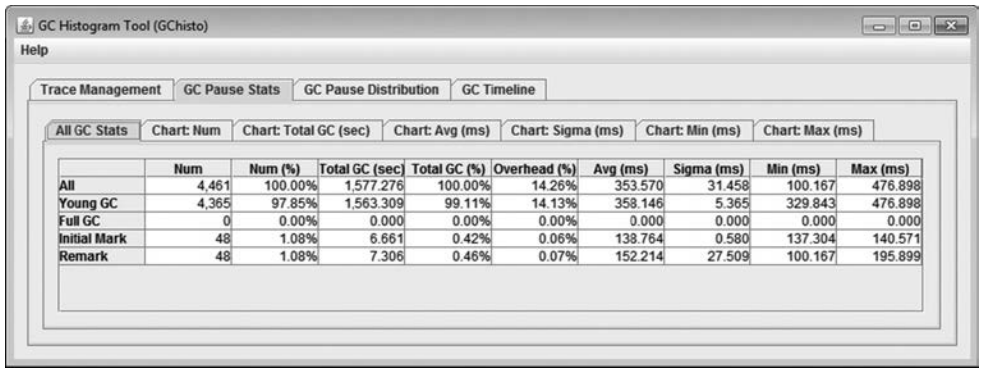
Podstawowy zestaw opcji wiersza poleceń HotSpot VM służący do monitorowania procesów odzyskiwania pamięci to `-XX:+PrintGCDetails` wraz z opcją `-XX:+PrintGCTimeStamps` lub `-XX:+Print`
`↪GCDateStamps`. Użyteczna może być też opcja `-Xloggc:<nazwa_pliku>`, która umożliwia zapisanie danych do pliku w celu późniejszej analizy offline.

Analiza offline danych z procesów odzyskiwania pamięci

Celem przeprowadzania analizy offline jest podsumowanie danych dotyczących odzyskiwania danych oraz szukanie wzorców w układach danych. Analiza offline danych z procesów odzyskiwania pamięci może być przeprowadzana na szereg różnych sposobów, takich jak np. import danych do arkusza kalkulacyjnego lub skorzystanie z narzędzia do tworzenia wykresów. Jednym z narzędzi przeznaczonych do przeprowadzania analizy offline jest GCHisto. Jest to bezpłatne narzędzie, które możesz pobrać ze strony *http://gchisto.dev.java.net*. GCHisto odczytuje zapisane w pliku dane z odzyskiwania pamięci i prezentuje je zarówno w formie tabelarycznej, jak i w postaci graficznej. Na rysunku 4.1 przedstawiono tabelaryczne podsumowanie z zakładki *GC Pause Stats* (statystyki przestojów mechanizmów odzyskiwania pamięci).

Zakładka *GC Pause Stats* dostarcza informacji, takich jak liczba, obciążenie i czas trwania procesów odzyskiwania pamięci. Dodatkowe opcje w tej zakładce służą do zawężenia obszaru analizy do jednej z wyżej wymienionych kategorii.

Wszystkie procesy odzyskiwania pamięci oraz fazy tych procesów, które powodują przestoje typu „stop-the-world", zostały wyszczególnione w osobnym wierszu w tabeli, a w pierwszym wierszu podana została ich wartość całkowita. Na rysunku 4.1 przedstawiono dane dla równoczesnego mechanizmu odzyskiwania pamięci. Jak sobie pewnie przypominasz z rozdziału 3., równoczesny mechanizm odzyskiwania pamięci poza mniejszym (młodego pokolenia) i większym odzyskiwaniem pamięci generuje również dwa przestoje typu „stop-the-world". Są to znak inicjujący CMS oraz ponowne zaznaczanie CMS. Jeśli zaobserwujesz, że przestoje dla fazy znaku inicjującego oraz fazy ponownego zaznaczania są dłuższe niż przestoje dla procesu mniejszego odzyskiwania pamięci, jest to sugestia, że należy wykonać regulację JVM. Przestój wywołany przez każdą z tych dwóch faz powinien trwać krócej niż mniejsze odzyskiwanie pamięci.



	Num	Num (%)	Total GC (sec)	Total GC (%)	Overhead (%)	Avg (ms)	Sigma (ms)	Min (ms)	Max (ms)
All	4,461	100.00%	1,577.276	100.00%	14.26%	353.570	31.458	100.167	476.898
Young GC	4,365	97.85%	1,563.309	99.11%	14.13%	358.146	5.365	329.843	476.898
Full GC	0	0.00%	0.000	0.00%	0.00%	0.000	0.000	0.000	0.000
Initial Mark	48	1.08%	6.661	0.42%	0.06%	138.764	0.580	137.304	140.571
Remark	48	1.08%	7.306	0.46%	0.07%	152.214	27.509	100.167	195.899

Rysunek 4.1. Statystyki przestojów mechanizmów odzyskiwania pamięci w GCHisto

Ponieważ przepustowościowy mechanizm pamięci generuje przestoje „stop-the-world" tylko dla procesów odzyskiwania pamięci, w zakładce *GC Pause Stats* narzędzia GCHisto dla tego mechanizmu znajdziesz tylko dane dotyczące mniejszego i pełnego odzyskiwania pamięci.

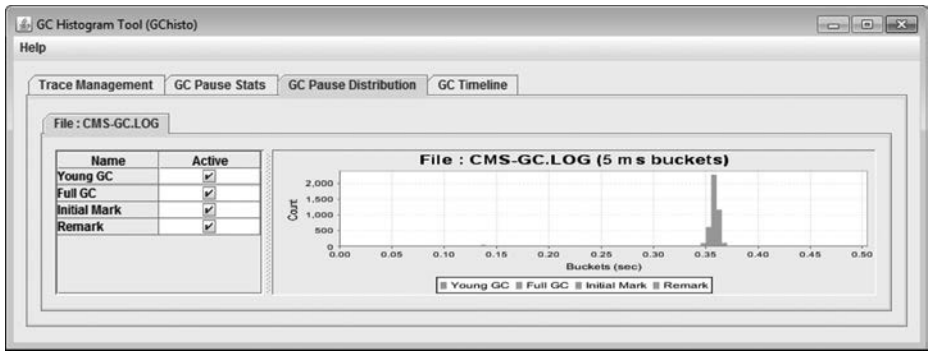
Liczba procesów mniejszego odzyskiwania pamięci w porównaniu z liczbą procesów pełnego odzyskiwania pamięci daje wyobrażenie o częstotliwości uruchamiania procesów pełnego odzyskiwania pamięci. Ta informacja wraz z danymi na temat długości przestojów na pełne odzyskiwanie pamięci może być oceniana pod względem wymagań aplikacji dotyczących czasu trwania procesów pełnego odzyskiwania pamięci.

Obciążenie, jakie powoduje działanie mechanizmu odzyskiwania pamięci (kolumna `Overhead (%)`), jest wskaźnikiem tego, jak dobrze mechanizm został wyregulowany. Zasadniczo obciążenie dla równoczesnego mechanizmu odzyskiwania pamięci powinno wynosić mniej niż 10%. Teoretycznie możliwe jest osiągnięcie wartości z przedziału 1 – 3%. Z kolei dla przepustowościowego mechanizmu odzyskiwania pamięci obciążenie w okolicach 1% wskazuje na dobrze wyregulowany mechanizm. Wartość obciążenia 3% i więcej dla tego mechanizmu jest wskazaniem, że regulacja mechanizmu odzyskiwania pamięci może poprawić wydajność aplikacji. Ważne jest, aby zdawać sobie sprawę, że istnieje zależność pomiędzy obciążeniem mechanizmu odzyskiwania pamięci a rozmiarem sterty Java. Im większa sterta Java, tym większe możliwości do zmniejszenia obciążenia generowanego przez mechanizm odzyskiwania pamięci. Uzyskanie najmniejszego możliwego obciążenia dla określonego rozmiaru sterty Java wymaga regulacji JVM.

Na rysunku 4.1 obciążenie dla mechanizmu odzyskiwania pamięci wynosi nieco ponad 14%. Stosując się do ogólnych wskazówek opisanych wyżej, możemy przyjąć, że regulacja JVM prawdopodobnie zredukuje to obciążenie.

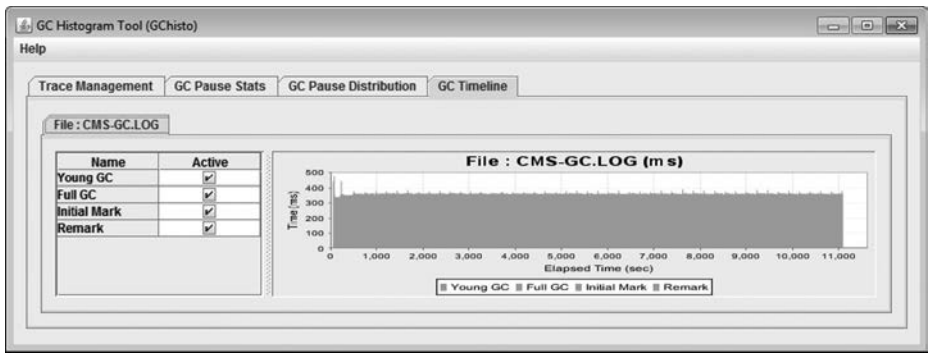
Maksymalne czasy przestojów umieszczone w ostatniej kolumnie po prawej stronie mogą być analizowane pod względem wymagań aplikacji dotyczących najgorszych zakładanych opóźnień wywoływanych przez procesy odzyskiwania pamięci. Jeśli którykolwiek z maksymalnych czasów przestojów przekracza wymagania aplikacji, należy rozważyć regulację JVM. To, w jak dużym stopniu wymagania aplikacji zostały przekroczone oraz ile z przedstawionych wartości przekracza te wymagania, determinuje, czy regulacja JVM jest koniecznością.

Wartości minimalne (kolumna `Min(ms)`), maksymalne (kolumna `Max(ms)`), średnie (kolumna `Avg(ms)`) oraz odchylenie standardowe (kolumna `Sigma(ms)`) dostarczają informacji na temat dystrybucji czasu przestojów. Dystrybucja czasu przestojów przedstawiona została w zakładce *GC Pause Distribution*, co pokazano na rysunku 4.2.



Rysunek 4.2. Dystrybucja przestojów dla mechanizmów odzyskiwania pamięci

Domyślny układ wykresu w zakładce *GC Pause Distribution* przedstawia rozkład przestojów dla wszystkich rodzajów procesów odzyskiwania pamięci. W oknie znajdującym się po lewej stronie wykresu możesz dodawać lub odejmować rodzaje procesów odzyskiwania pamięci, które mają być uwzględnione na wykresie. Oś y na wykresie reprezentuje liczbę przestojów, a oś x to czas trwania przestoju dla danego zdarzenia. Zasadniczo najwygodniej przeglądać osobno dane dotyczące procesów pełnego odzyskiwania pamięci, ponieważ są to zazwyczaj najdłuższe przestoje. Z kolei osobna analiza danych dla procesów mniejszego odzyskiwania pamięci daje możliwość zaobserwowania szerokiej różnorodności czasu przestojów. Szeroka dystrybucja czasu przestojów może wskazywać na duże wahania współczynnika alokacji oraz promocji obiektów. Jeśli zaobserwujesz szeroką dystrybucję czasu przestojów, powinieneś przejść do zakładki *GC Timeline* i odnaleźć najwyższe wartości dla aktywności procesów odzyskiwania pamięci. Przykład zamieszczono na rysunku 4.3.



Rysunek 4.3. Linia czasu w zakładce GC Timeline

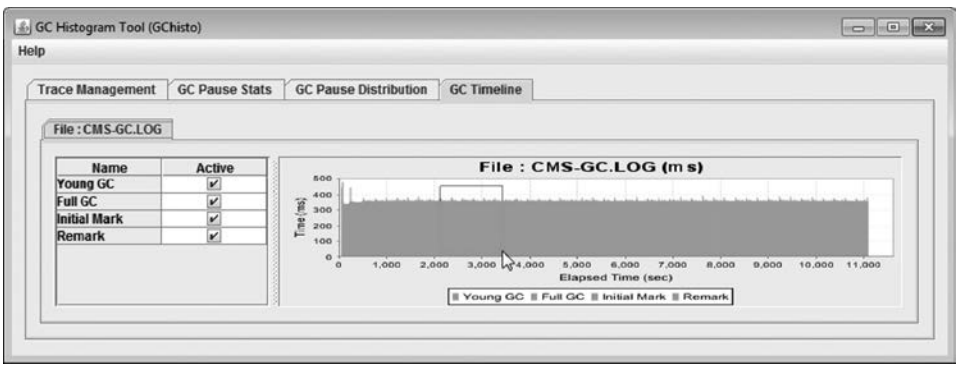
Domyślny widok zakładki *GC Timeline* przedstawia przestoje dla wszystkich procesów odzyskiwania pamięci w funkcji czasu dla całego badanego okresu. Aby na dole wykresu na osi x widoczna była podziałka czasowa, musisz korzystać ze statystyk zawierających opcje `-XX:+PrintGCTimeStamps` i `-XX:+PrintGCDateStamps` lub skorzystać z opcji `-Xloggc`. Każdy z przestojów odzyskiwania pamięci został na wykresie zaznaczony „tickiem", aby zilustrować czas trwania przestoju (na osi y) oraz sytuację, kiedy przestój jest spowodowany uruchomieniem JVM (na osi *x*).

Istnieje kilka wzorców, których należy poszukiwać na wykresie z zakładki *GC Timeline*. Powinieneś np. zwrócić uwagę, kiedy mają miejsce procesy pełnego odzyskiwania pamięci i z jaką częstotliwością są przeprowadzane. Dla tej analizy warto ustawić jako rodzaj przestoju jedynie

pełne odzyskiwanie pamięci. Na wykresie czasu możesz zaobserwować, kiedy uruchamianie pełnego odzyskiwania pamięci jest związane z uruchamianiem JVM, co daje pogląd na to, w jakich momentach jest uruchamiane pełne odzyskiwane.

Ustawienie na wykresie jedynie przestojów dla procesów mniejszego odzyskiwania pamięci pozwala obserwować najwyższe i być może powtarzające się wartości dla czasu trwania odzyskiwania pamięci w danym przedziale czasu. Każde zaobserwowane szczyty wartości lub powtarzające się wzorce mogą zostać odwzorowane z powrotem w dzienniku zdarzeń aplikacji, aby zorientować się, co dzieje się w systemie w momencie, kiedy te zdarzenia mają miejsce. Przypadki użycia mechanizmu odzyskiwania pamięci w tych przedziałach czasu mogą stanowić sygnał do głębszego przyjrzenia się możliwościom redukcji alokacji oraz przechowywania obiektów. Zmniejszenie poziomu alokacji obiektów oraz ilości przechowywanych obiektów dla okresów największej aktywności mechanizmu odzyskiwania pamięci redukuje częstotliwość mniejszego odzyskiwania pamięci i potencjalnie może również zredukować częstotliwość pełnego odzyskiwania pamięci.

Interesujący Cię obszar wykresu dla linii czasu może zostać powiększony poprzez zaznaczenie za pomocą myszy wybranego fragmentu, co pokazano na rysunku 4.4.



Rysunek 4.4. Powiększanie obszaru wykresu w zakładce GC Timeline

Powiększenie umożliwia zawężenie obserwacji do obszaru określonego przedziału czasu, dzięki czemu możesz odczytać z wykresu czas każdego przestoju dla odzyskiwania pamięci. Aby przywrócić normalne proporcje wykresu, należy kliknąć prawym przyciskiem dowolne miejsce na obszarze wykresu i z menu kontekstowego wybrać opcję *Auto Range/Both Axes*.

Narzędzie GCHisto pozwala również na jednoczesne zaimportowanie kilku plików dziennika zdarzeń dla odzyskiwania pamięci. Służy do tego zakładka *Trace Management*. Przy załadowaniu wielu plików dziennika dla każdego pliku tworzona jest indywidualna zakładka, która umożliwia proste przełączanie pomiędzy danymi zawartymi w tych plikach. Jest to użyteczne, kiedy chcesz porównać dzienniki odzyskiwania zdarzeń dla różnych konfiguracji sterty Java lub dla różnych poziomów obciążenia aplikacji.

Narzędzia graficzne

Odzyskiwanie pamięci może być również monitorowane za pomocą narzędzi graficznych, które w porównaniu z analizą danych tekstowych mogą nieco ułatwić identyfikację trendów lub wzorców. Do monitorowania HotSpot VM można zastosować następujące narzędzia graficzne: JConsole, VisualGC oraz VisualVM. Narzędzie JConsole jest dystrybuowane z pakietem JDK dla Javy w wersji 5. oraz wersji kolejnych.

Narzędzie VisualGC zostało pierwotnie zaprojektowane i było dostarczane łącznie z jvmstat. Możesz je pobrać bezpłatnie ze strony *http://java.sun.com/performance/jvmstat*.

VisualVM jest projektem typu open source, który łączy w pojedynczym narzędziu kilka istniejących już wcześniej prostych funkcji służących do monitorowania i profilowania aplikacji Java. VisualVM jest dostępny w JDK dla Java 6 Update 6 i wersji późniejszych. Możesz go również pobrać bezpłatnie ze strony *http://visualvm.dev.java.net*.

JConsole

JConsole jest zgodnym z technologią JMX (ang. *Java Management Extensions*) narzędziem GUI, które podłącza się do działającej maszyny wirtualnej Javy dla wersji 5. Javy i nowszych. Aplikacje Java uruchomione na JVM dla Javy w wersji 5. muszą posiadać właściwość `-Dcom.sun.management.jmxremote`, aby umożliwić podłączenie JConsole. Tej właściwości nie wymagają aplikacje uruchomione na JVM dla Javy w wersji 6. i wersjach późniejszych. Poniższy przykład jest ilustracją, jak podłączyć JConsole do aplikacji demo o nazwie Java2Demo, która jest dostarczana z pakietem JDK. W przypadku Java 5 JDK aplikacja Java2Demo może być uruchomiona za pomocą następującej komendy wiersza poleceń.

W systemach Solaris i Linux:

```
$ <JDK_katalog_instalacji>/bin/java -Dcom.sun.management.jmxremote -jar <JDK_
katalog_instalacji>/demo/jfc/Java2D/Java2Demo.jar
```

`<JDK_katalog_instalacji>` to ścieżka do katalogu, w którym zainstalowany został pakiet Java 5 JDK.

W systemach Windows:

```
<JDK_katalog_instalacji>\bin\java -Dcom.sun.management.jmxremote -jar <JDK_
katalog_instalacji>\demo\jfc\Java2D\Java2Demo.jar
```

Do uruchomienia JConsole z JVM dla Javy w wersji 6. lub wersji późniejszych właściwość `-Dcom.sun.management.jmxremote` nie jest wymagana jako argument.

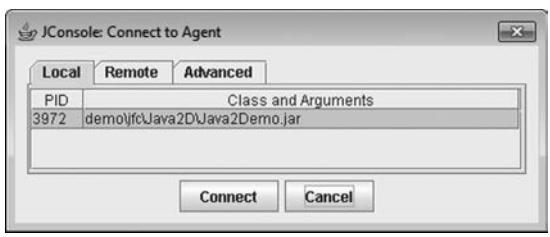
W systemach Solaris i Linux:

```
$ <JDK_katalog_instalacji>/bin/jconsole
```

W systemach Windows:

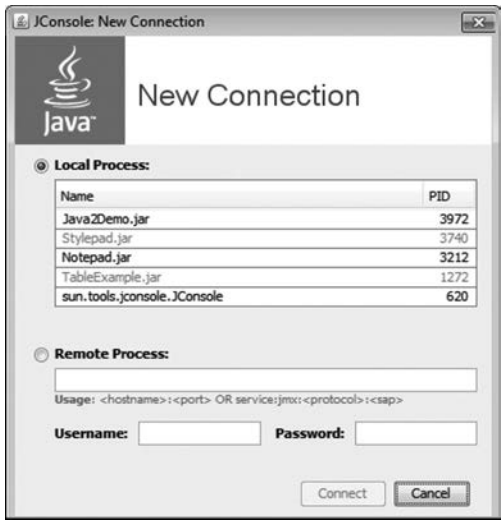
```
<JDK_katalog_instalacji>\bin\jconsole
```

Kiedy narzędzie JConsole zostanie uruchomione, automatycznie wykrywa i oferuje możliwości podłączenia do aplikacji Java działającej lokalnie lub zdalnie. Okno dialogowe połączenia różni się nieco w wersjach JConsole dostarczanych z Javą w wersji 5. i 6., co pokazano odpowiednio na rysunkach 4.5 i 4.6.



Rysunek 4.5. Okno dialogowe połączenia JConsole dla 5. wersji Javy

W JConsole dla Javy w wersji 5. monitorować można aplikacje znajdujące się na liście okna dialogowego połączenia, które zostały uruchomione za pomocą właściwości `-Dcom.sun.management.jmxremote`. Drugą kategorią aplikacji należących do tej grupy są aplikacje posiadające takie dane logowania użytkownika, co użytkownik, który uruchomił narzędzie JConsole.



Rysunek 4.6. Okno dialogowe połączenia JConsole dla 6. wersji Javy

Przy użyciu JConsole dla Javy w wersji 6. monitorować można aplikacje znajdujące się na liście okna dialogowego połączenia, które są aplikacjami Javy w wersji 6. oraz wersji 5. uruchomionymi za pomocą właściwości `-Dcom.sun.management.jmxremote`. Obie te grupy aplikacji muszą posiadać te same dane logowania użytkownika, co użytkownik, który uruchomił JConsole. Aplikacje Javy w wersji 5., które posiadają te same dane logowania użytkownika, a nie zostały uruchomione za pomocą właściwości `-Dcom.sun.management.jmxremote`, znajdują się na liście, ale są zaznaczone szarą czcionką i niedostępne.

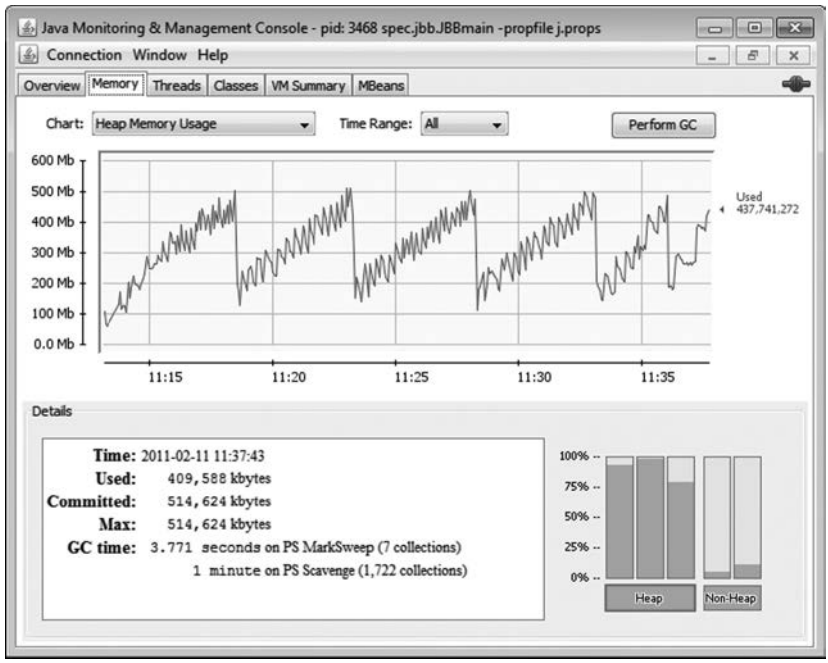
Aby rozpocząć monitorowanie aplikacji w systemie lokalnym, należy wybrać parametry *Name* (nazwa aplikacji) oraz *PID* (identyfikator procesu aplikacji), a następnie kliknąć przycisk *Connect* (połącz). Monitoring zdalny (ang. *remote monitoring*) może być użyteczny, kiedy chcesz wyizolować z monitorowanego systemu wykorzystanie zasobów systemowych przez aplikację JConsole. Aplikacja monitorowana w zdalnym systemie musi zostać uruchomiona z włączoną funkcją zarządzania zdalnego (ang. *remote management*). Włączenie funkcji zarządzania zdalnego wiąże się z określeniem numeru portu służącego do komunikacji z monitorowaną aplikacją. Opcjonalnie można też ze względów bezpieczeństwa uruchomić protokół szyfrowania SSL. Informacje na temat sposobu uruchamiania funkcji zarządzania zdalnego znajdziesz w przewodnikach dotyczących zarządzania i monitorowania dla platform Java 5 SE i Java 6 SE:

- Java SE 5 — *http://java.sun.com/j2se/1.5.0/docs/guide/management/index.html*;
- Java SE 6 — *http://java.sun.com/javase/6/docs/technotes/guides/management/toc.html*.

Wskazówka

Za pomocą narzędzia JConsole można równocześnie monitorować więcej niż jedną aplikację Java. W celu nawiązania połączenia z kolejną aplikacją wybierz menu *Connection/New Connection*, a następnie określ parę parametrów *Name* i *PID* dla tej aplikacji.

Po nawiązaniu przez narzędzie JConsole połączenia z aplikacją uzyskasz dostęp do sześciu zakładek przedstawiających różne statystyki. Domyślny widok okna JConsole różni się w wersjach dla Javy 5. i 6. W przypadku Javy w wersji 6. JConsole wyświetla graficzną reprezentację dla pamięci sterty, wątków, klas oraz wykorzystania procesora. Z kolei JConsole dla 5. wersji Javy podaje te same informacje, ale w formie tekstowej. Dla celów monitorowania procesów odzyskiwania pamięci w JVM najbardziej użyteczna jest zakładka *Memory* (pamięć). Zakładka ta wygląda tak samo zarówno w przypadku Javy w wersji 5., jak i 6. Na rysunku 4.7 przedstawiono zakładkę *Memory* narzędzia JConsole.



Rysunek 4.7. Zakładka Memory w JConsole

Zakładka Memory wykorzystuje wykresy w celu graficznego przedstawienia wykorzystania pamięci JVM w określonym przedziale czasu. Stosowane w JConsole nazwy przestrzeni, które składają się na stertę Java oraz nazwy pul pamięci, mogą różnić się w zależności od wersji JVM oraz stosowanego mechanizmu odzyskiwania pamięci. Nazwy te można jednak łatwo przyporządkować do następujących nazw przestrzeni HotSpot VM.

- **Eden** (ang. *eden space*). Pula pamięci, w której alokowane są prawie wszystkie obiekty Javy.
- **Przestrzeń ocalałych** (ang. *survivor space*). Pula pamięci zawierająca obiekty, które przetrwały przynajmniej jedno odzyskiwanie pamięci dla edenu.
- **Przestrzeń starego pokolenia lub przestrzeń zatrudnionych obiektów** (ang. *old space*, *tenured space*). Pula pamięci zawierająca obiekty, które przetrwały pewien próg wieku dla procesów odzyskiwania pamięci.
- **Przestrzeń stałego pokolenia** (ang. *permanent generation space*). Pula pamięci zawierająca wszystkie dane refleksyjne JVM, takie jak obiekty klas i metod. Jeśli monitorowana maszyna wirtualna Javy obsługuje udostępnianie danych klas, ta przestrzeń będzie podzielona na obszar tylko do odczytu oraz obszar z możliwością zapisu.

- **Pamięć podręczna kodu** (ang. *code cache*). Dotyczy HotSpot VM i zawiera pulę pamięci, która jest wykorzystywana przez kompilator JIT oraz służy do przechowywania skompilowanego kodu.

JConsole definiuje pamięć sterty jako kombinacje edenu, przestrzeni ocalałych oraz przestrzeni starego pokolenia. Pamięć nienależąca do sterty jest zdefiniowana jako kombinacja przestrzeni stałego pokolenia oraz pamięci podręcznej kodu. Możesz wyświetlać wykresy wykorzystania pamięci sterty (ang. *heap memory usage*) lub wykorzystania pamięci nienależącej do sterty (ang. *non-heap memory usage*), wybierając jedną z opcji rozwijanego menu *Chart* (wykres). Możesz również przeglądać wykresy dla wybranych przestrzeni. Ponadto klikając słupki opisane *Heap* (sterta) oraz *Non-Heap* (przestrzeń nienależąca do sterty), które znajdują się w prawym dolnym rogu, możesz przełączać się pomiędzy wykresami określonych przestrzeni *Heap* i *Non-Heap*. Nazwa przestrzeni lub puli pamięci, którą reprezentuje dany słupek, wyświetli się po najechaniu na słupek kursorem myszy.

Wzorzec, na który powinieneś zwrócić uwagę, to ten wzorzec, kiedy przestrzeń ocalałych pozostaje zapełniona przez dłuższy czas. Wskazuje on sytuację, w której przestrzenie ocalałych są przepełnione, a obiekty promowane do starego pokolenia, zanim będą miały możliwość osiągnięcia odpowiedniego wieku. Wyregulowanie rozmiaru przestrzeni młodego pokolenia może rozwiązać problemy z przepełnianiem się przestrzeni ocalałych.

Zakres czasowy wykresu wykorzystania pamięci można zmieniać, wybierając jedną z dostępnych opcji w rozwijanym menu *Time Range* (zakres czasowy).

W lewym dolnym rogu okna zakładki *Memory* wyświetlane są następujące bieżące metryki pamięci dla maszyny wirtualnej Javy.

- ***Used*** (pamięć wykorzystana). Ilość pamięci wykorzystywanej w danym momencie, włącznie z pamięcią zajętą przez obiekty Javy zarówno te osiągalne, jak i nieosiągalne.
- ***Committed*** (pamięć przydzielona). Gwarantowana ilość pamięci dostępnej dla JVM. Wartość ta może się zmieniać wraz z upływem czasu. Maszyna wirtualna Javy może uwalniać do systemu część przydzielonych zasobów pamięci, więc jej ilość może się zmniejszać w stosunku do wartości początkowej. Ilość pamięci przydzielonej jest zawsze większa lub równa ilości pamięci wykorzystanej.
- ***Max*** (pamięć maksymalna). Maksymalna ilość pamięci, która może być wykorzystana dla mechanizmu zarządzania pamięcią. Ilość tej pamięci może się zmieniać lub być niezdefiniowana. Alokacja pamięci może się nie powieść, jeśli JVM spróbuje wykorzystać więcej pamięci, niż określa to ilość pamięci przydzielonej, nawet jeśli ilość pamięci wykorzystanej jest mniejsza lub równa pamięci maksymalnej (np. kiedy w systemie zaczyna brakować pamięci wirtualnej).
- ***GC time*** (czas odzyskiwania pamięci). Łączny czas, który został przeznaczony na procesy odzyskiwania pamięci typu „stop-the-world", oraz całkowita liczba wywołań procesów odzyskiwania pamięci łącznie z bieżącym cyklami odzyskiwania pamięci. Każdy wiersz informacji w tym polu dotyczy osobnego mechanizmu odzyskiwania pamięci w JVM.

Narzędzie JConsole wyposażone zostało w jeszcze inne funkcje dotyczące monitorowania procesów odzyskiwania pamięci. Wiele z nich zostało opisanych w dokumentacji JConcole, którą możesz znaleźć na stronach:

- Java SE 5 — *http://java.sun.com/j2se/1.5.0/docs/guide/management/jconsole.html*;
- Java SE 6 — *http://java.sun.com/javase/6/docs/technotes/guides/management/jconsole.html*.

VisualVM

VisualVM jest graficznym narzędziem typu open source, które zostało opracowane w 2007 roku, wprowadzone w JDK dla Java 6 Update 7 i jest traktowane jako druga generacja narzędzia JConsole. VisualVM łączy kilka istniejących narzędzi programowych JDK oraz proste narzędzia monitorowania pamięci, takie jak JConsole. Ponadto w VisualVM znajdziesz funkcje profilowania znane z popularnego NetBeans Profiler. VisualVM zostało zaprojektowane do stosowania zarówno w środowiskach programistycznych, jak i środowiskach produkcyjnych. Poszerza ono zakres możliwości monitorowania oraz analizy wydajności dla platformy Java SE. VisualVM wykorzystuje również architekturę pluginów (wtyczek) NetBeans, co pozwala na proste dodawanie komponentów i wtyczek oraz daje możliwość zastosowania istniejących komponentów i wtyczek tego narzędzia do monitorowania i profilowania dowolnej aplikacji.

Do uruchomienia VisualVM wymagana jest platforma Java 6, ale samo narzędzie może być wykorzystane do monitorowania zdalnego lub lokalnego aplikacji Java 1.4.2, Java 5 lub Java 6. Istnieją jednak pewne ograniczenia dotyczące możliwości VisualVM w zależności od wersji Javy wykorzystywanej przez monitorowaną aplikację oraz tego, czy aplikacja działa lokalnie, czy zdalnie w stosunku do VisualVM. W tabeli 4.1 przedstawiono funkcje VisualVM dostępne dla określonej aplikacji Java działającej z konkretną wersją pakietu JDK.

Tabela 4.1. Zestawienie funkcji VisualVM

Funkcja	JDK 1.4.2 lokalnie i zdalnie	JDK 5.0 lokalnie i zdalnie	JDK 6.0 (zdalnie)	JDK 6.0 (lokalnie)
Przegląd	•	•	•	•
Właściwości systemu (przegląd)				•
Monitor	•	•	•	•
Wątki		•	•	•
Profilowanie				•
Zrzut wątku				•
Zrzut sterty				•
Włączenie zrzutu sterty na OOME				•
Przeglądarka MBean				•
Wrapper dla wtyczek JConsole (plugin)		•	•	•
VisualGC (plugin)	•	•	•	•

Jak już wspominaliśmy, VisualVM posiada również funkcje umożliwiające profilowanie. Chociaż profilowanie zostało opisane w rozdziale 5., funkcje zdalnego profilowania VisualVM zostały zawarte w tym rozdziale, ponieważ nie są skomplikowane i doskonale łączą się z czynnościami monitorowania.

Narzędzie VisualVM może być uruchomione w systemach operacyjnych Windows, Linux oraz Solaris za pomocą następującej komendy wiersza poleceń (zwróć uwagę, że nazwa polecenia to `jvisualvm`, a nie `visualvm`).

```
<JDK_katalog_instalacji>\bin\jvisualvm
```

(`<JDK_katalog_instalacji>` to ścieżka do katalogu, w którym zainstalowany został pakiet JDK 6 Update 6 lub nowszy).

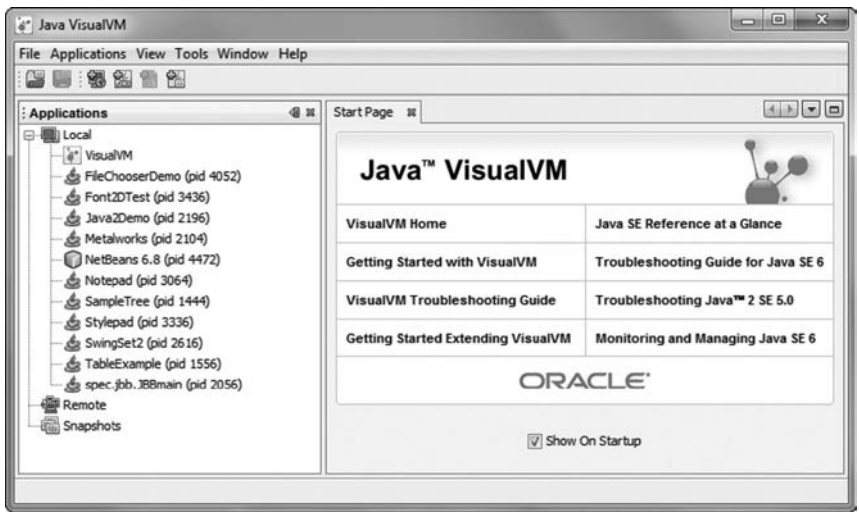
Jeśli posiadasz samodzielną wersję VisualVM pobraną ze strony *java.net*, jej uruchomienie w systemach Windows, Linux oraz Solaris odbywa się za pomocą następującej komendy wiersza poleceń (zwróć uwagę, że uruchomienie wersji samodzielnej VisualVM wymaga zastosowania polecenia `visualvm`, a nie `jvisualvm`, jak to ma miejsce dla VisualVM dostarczanego z pakietem JDK).

```
<VisualVM_katalog_instalacji>\bin\visualvm
```

(`<VisualVM_katalog_instalacji>` to ścieżka do katalogu, w którym zainstalowana została aplikacja VisualVM).

Alternatywnie możesz uruchomić VisualVM, korzystając z przeglądarki środowiska graficznego (np. Windows Explorer) poprzez dwukrotne kliknięcie pliku wykonywalnego aplikacji (*exe*), znajdującego się w katalogu instalacyjnym.

Początkowy widok okna VisualVM przedstawiono na rysunku 4.8. Okno to zostało podzielone na dwa obszary: *Applications* (aplikacje) oraz obszar wyświetlania monitorowanych statystyk.



Rysunek 4.8. VisualVM

Panel *Applications* ma postać drzewa, które posiada trzy podstawowe gałęzie. Gałąź *Local* zawiera listę lokalnych aplikacji Java, które mogą być monitorowane za pomocą VisualVM. Druga gałąź nazwana *Remote* przedstawia listę hostów zdalnych. Dla każdego zdalnego hosta wyświetlana jest lista aplikacji, które mogą być monitorowane za pomocą VisualVM. Gałąź *Snapshot* zawiera listę dostępnych plików zrzutów ekranu. VisualVM umożliwia robienie zrzutów ekranu dla określonego stanu aplikacji Java. Są one później zapisywane do plików i umieszczane na tej liście. Zrzuty ekranu mogą być użyteczne, kiedy chcesz zapisać ważne informacje dotyczące stanu aplikacji lub porównać ze sobą kilka zaobserwowanych sytuacji.

Lokalne aplikacje Java są automatycznie identyfikowane przez VisualVM w momencie ich uruchomienia lub w momencie uruchomienia VisualVM. Jak pokazano przykładowo na rysunku 4.8, VisualVM wykrył automatycznie aplikacje Java, które zostały pokazane w gałęzi *Local*. Kiedy uruchamiane są kolejne aplikacje Java, VisualVM również wykrywa je automatycznie i dodaje do listy w tej gałęzi. Gdy aplikacje są zamykane, zostają usunięte z listy.

Do monitorowania zdalnych aplikacji wymagana jest odpowiednia konfiguracja systemu, w którym te aplikacje działają. W zdalnym systemie musi być uruchomiona aplikacja jstatd daemon. Jest ona dystrybuowana w pakietach JDK Java 5 i Java 6, ale nie jest częścią pakietu JRE Java 5 czy

Java 6. Aplikację jstatd daemon znajdziesz w tym samym katalogu, w którym znajdują się jvisualvm oraz java launcher.

Jstatd daemon uruchamia aplikację Java RMI server, która monitoruje uruchamianie i zamykanie HotSpot VM oraz oferuje interfejs umożliwiający podłączenie i zdalne monitorowanie aplikacji Java takim narzędziom jak VisualVM. Jstatd daemon musi zostać uruchomiona z takimi samymi parametrami logowania użytkownika, co aplikacja Java, która ma być monitorowana. Ponieważ jstatd może ujawnić instrumentalizację JVM, musi posiadać menedżera zabezpieczeń i wymaga przy tym pliku polityki bezpieczeństwa. Powinieneś więc mieć na uwadze poziom dostępu zapewniany użytkownikom, aby nie narażać bezpieczeństwa monitorowanej maszyny wirtualnej Javy. Plik polityki bezpieczeństwa wykorzystywany przez jstatd musi być zgodny ze specyfikacją polityki bezpieczeństwa Javy. Poniżej podany został przykład pliku polityki bezpieczeństwa, który może być zastosowany z jstatd:

```
grant codebase "file:${java.home}/../lib/tools.jar" {
   permission java.security.AllPermission;
};
```

Wskazówka

Zwróć uwagę, że powyższy przykład pliku polityki bezpieczeństwa dopuszcza uruchamianie jstatd bez żadnych wyjątków bezpieczeństwa. Ta polityka jest mniej liberalna niż przyznanie wszelkich uprawnień każdej bazie kodów, ale jest bardziej liberalna niż polityka przyznająca minimalne uprawnienia do uruchomienia serwera jstatd. W celu dalszego ograniczenia dostępu można zdefiniować bardziej restrykcyjną politykę niż pokazano w tym przykładzie. Jeśli jednak nie ma możliwości spełnienia założeń bezpieczeństwa w pliku polityki bezpieczeństwa, najlepszym wyjściem jest stosowanie narzędzi monitorujących lokalnie zamiast monitorowania zdalnego i uruchamiania jstatd.

Zakładając, że polityka bezpieczeństwa jest zapisana w pliku *jstatd.policy*, możesz wykorzystać powyższy przykład polityki i uruchomić jstatd daemon za pomocą następującej komendy wiersza poleceń:

```
jstatd -J-Djava.security.policy=<ścieżka_do_pliku_polityki_bezpieczeństwa>/jstatd.policy
```

Wskazówka

Więcej szczegółów dotyczących konfiguracji jstatd znajdziesz na stronie *http://java.sun.com/javase/6/docs/technotes/tools/share/jstatd.html*.

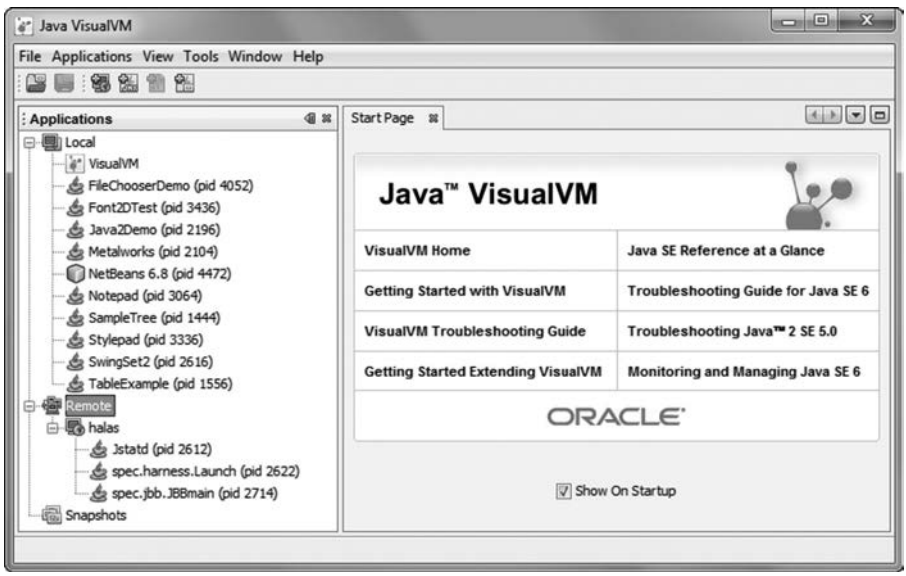
Kiedy już jstatd daemon zostanie uruchomiony, na zdalnym systemie możesz zweryfikować, czy system lokalny może podłączyć się do jstatd daemon, stosując komendę `jps` z określeniem nazwy hosta zdalnego systemu. Komenda `jps` standardowo powoduje wyświetlenie aplikacji Java, które mogą być monitorowane. Użycie tej komendy z podaniem nazwy hosta powoduje próbę połączenia z jstatd daemon systemu zdalnego i wykrycie aplikacji Java, które mogą być monitorowane zdalnie. Jeśli nie podasz nazwy hosta dla komendy `jps`, otrzymasz listę aplikacji Java, które mogą być monitorowane lokalnie.

Załóżmy, że skonfigurowany przez Ciebie system zdalny, na którym uruchomiony został jstatd daemon, nazywa się „halas”. Aby zweryfikować w systemie lokalnym połączenie z systemem zdalnym, powinieneś wykonać komendę `jps` w następujący sposób:

```
$ jps halas
2622 Jstatd
```

Jeśli komenda `jps` zwraca wartość `Jstatd`, oznacza to, że jstatd daemon dla systemu zdalnego został skonfigurowany prawidłowo. Liczba znajdująca się przed wartością `Jstatd` w listingu określa id procesu dla jstatd daemon. Id procesu nie jest istotne dla weryfikacji zdalnego połączenia.

Aby monitorować zdalną aplikację za pomocą VisualVM, musisz skonfigurować dla tego narzędzia nazwę zdalnego hosta lub adres IP. W tym celu należy kliknąć prawym przyciskiem myszy gałąź *Remote* w panelu *Applications* i wpisać informacje dotyczące zdalnego hosta. Jeśli chcesz monitorować aplikacje Java na kilku hostach zdalnych, musisz dla każdego hosta skonfigurować jstatd daemon według procedury opisanej wcześniej. Następnie należy dodać w VisualVM informacje na temat każdego zdalnego hosta, który został skonfigurowany. VisualVM automatycznie wykrywa aplikacje Java, które mogą być monitorowane, i umieszcza je na liście. Pamiętaj, że każda zdalna aplikacja musi posiadać dane logowania użytkownika, takie same jak dane użytkownika, który uruchomił VisualVM oraz jstatd. Musi także posiadać uprawnienia określone w pliku polityki bezpieczeństwa jstatd. Na rysunku 4.9 przedstawiono VisualVM ze skonfigurowanym systemem zdalnym i listą aplikacji, które mogą być monitorowane.

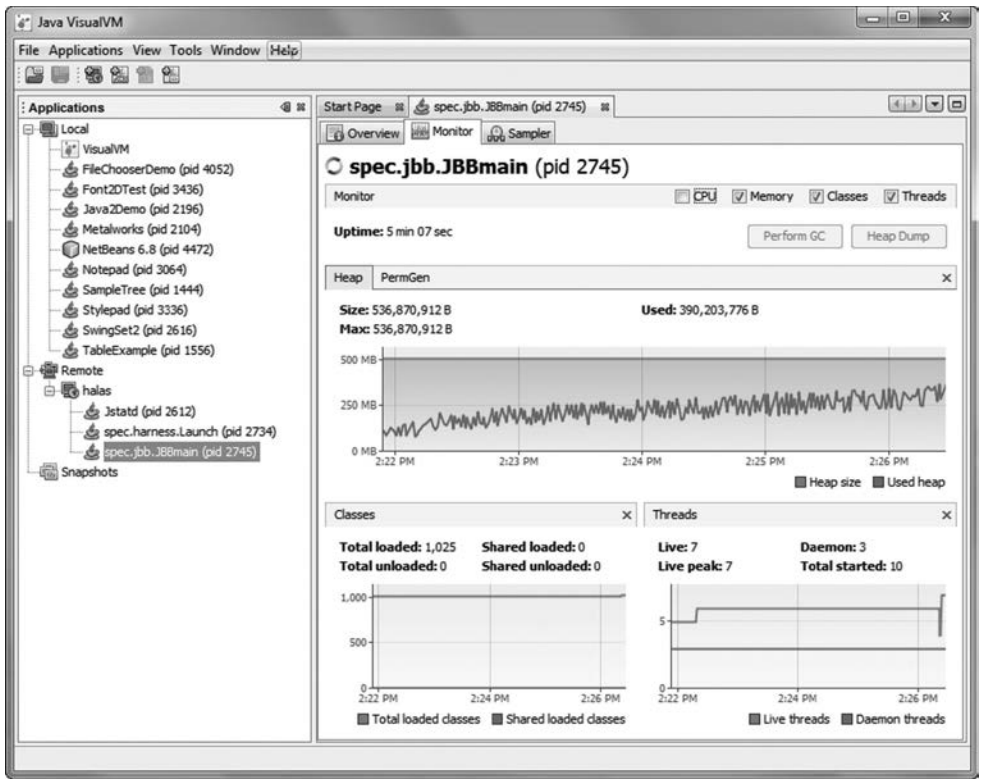


Rysunek 4.9. VisualVM skonfigurowany do monitorowania zdalnych aplikacji

Aby rozpocząć monitorowanie wybranej aplikacji, należy dwukrotnie kliknąć lewym przyciskiem myszy nazwę aplikacji lub reprezentującą ją ikonę w gałęziach *Local* lub *Remote*. Możesz również w tym samym miejscu kliknąć prawym przyciskiem myszy i wybrać z menu kontekstowego polecenie *Open* (otwórz). Każda z tych czynności spowoduje otwarcie w prawym panelu VisualVM okna zakładki dla wybranej aplikacji. W przypadku aplikacji lokalnych uruchomionych na platformie Java 6 (lub nowszej) widoczne będą również dodatkowe podzakładki.

Liczba okien podzakładek wyświetlanych w prawym panelu VisualVM zależy od wersji platformy Java aplikacji, od tego, czy jest to aplikacja zdalna, czy lokalna, oraz od tego, czy w VisualVM zainstalowane zostały jakiekolwiek dodatkowe wtyczki. W najgorszym razie dostępne są tylko dwie podzakładki: *Overview* (przegląd) oraz *Monitor* (monitor). Okno *Overview* zawiera wysokiego po-

ziomu przegląd monitorowanych aplikacji. Podawane są takie informacje jak: identyfikator procesu (ang. *process id*), nazwa hosta (ang. *host name*), na którym uruchomiona jest aplikacja, nazwa głównej klasy Java, argumenty przekazane do aplikacji, nazwa JVM, ścieżka do JVM, zastosowane flagi JVM, informacje, czy włączony jest zrzut sterty dla błędu *out of memory*, liczba wykonanych zrzutów wątku lub zrzutów sterty oraz właściwości systemu monitorowanej aplikacji, jeśli takie są dostępne. Okno *Monitor* wyświetla wykorzystanie sterty, wykorzystanie przestrzeni stałego pokolenia, informacje o załadowanych klasach oraz liczbę wątków. Przykład okna *Monitor* przedstawiającego monitorowaną aplikację działającą zdalnie na platformie Java 6 został pokazany na rysunku 4.10.



Rysunek 4.10. Okno Monitor w VisualVM

Jeśli dla zdalnej aplikacji zostało skonfigurowane połączenie JMX, możesz z poziomu okna *Monitor* uruchomić proces odzyskiwania pamięci lub wykonać zrzut sterty. Aby skonfigurować JMX dla zdalnej aplikacji, musi ona zostać uruchomiona co najmniej z poniższymi właściwościami systemu:

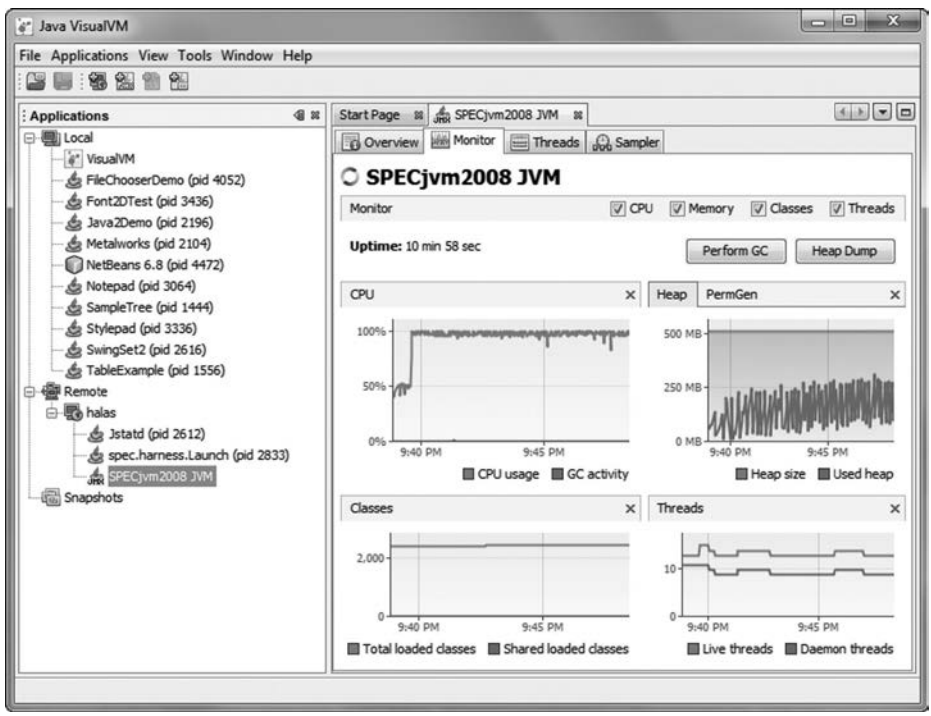
- `com.sun.management.jmxremote.port=<numer_portu>`;
- `com.sun.management.jmxremote.ssl=<true | false>`;
- `com.sun.management.jmxremote.authenticate=<true | false>`.

Żeby skonfigurować VisualVM tak, by łączył się ze zdalną aplikacją poprzez JMX, wybierz z menu *File* opcję *Add JMX Connection* (dodaj połączenie JMX). W oknie konfiguracji połączenia JMX trzeba w określonych polach wpisać poniższe informacje.

- W polu *Connection* należy wpisać `nazwa_hosta:<numer_portu>`. Jeśli np. zdalna aplikacja została uruchomiona na hoście *halas* i skonfigurowałeś właściwość `com.sun.management.jmxremote.port=4433`, to w polu *Connection* powinieneś wpisać `halas:4433`.
- Opcjonalnie możesz podać nazwę (ang. *display name*), która ma być wyświetlana w VisualVM w celu identyfikacji zdalnej aplikacji przez połączenie JMX. Domyślnie VisualVM używa jako nazwy wyświetlanej wartości z pola *Connection*.
- Jeśli włączyłeś uwierzytelnianie, konfigurując właściwość `com.sun.management.jmxremote.authenticate=true`, musisz w polach *Username* i *Password* podać odpowiednio nazwę użytkownika oraz hasło wymagane do połączenia zdalnego.

Więcej szczegółów na temat konfiguracji JMX dla zdalnego monitorowania aplikacji za pomocą VisualVM znajdziesz w dokumentacji VisualVM JMX na stronie *http://download.oracle.com/javase/6/docs/technotes/guides/visualvm/jmx_connections.html*.

Po skonfigurowaniu połączenia JMX dodatkowa ikona informująca o skonfigurowaniu zdalnego połączenia JMX do zdalnej aplikacji zostanie wyświetlona w panelu *Applications* narzędzia VisualVM. Skonfigurowanie połączenia JMX dla zdalnych aplikacji zwiększa możliwości monitorowania dla VisualVM. Przykładowo okno *Monitor* wyświetla dodatkowo wykorzystanie CPU przez aplikację oraz umożliwia inicjowanie procesu pełnego odzyskiwania pamięci i wykonywanie zrzutu sterty. Zostało to pokazane na rysunku 4.11.



Rysunek 4.11. Zdalny monitoring poprzez JMX

Poza zwiększeniem możliwości w oknie *Monitor* dostępna jest również dodatkowa podzakładka *Threads* (wątki). W oknie *Threads* pokazane są wątki aplikacji oznaczone różnymi kolorami, które określają ich status: działający, uśpiony, zablokowany, oczekujący lub rywalizujący o blokadę monitora. Standardowo okno *Threads* jest dostępne dla wszystkich aplikacji monitorowanych lokalnie.

Okno *Threads* oferuje informacje dotyczące najbardziej aktywnych wątków, które są w trakcie pozyskiwania i uwalniania blokad. Okno to może być użyteczne do obserwacji określonych zachowań wątków w aplikacji, szczególnie w sytuacji, kiedy statystyki z monitorowania systemu operacyjnego sugerują, że w aplikacji może dochodzić do rywalizacji o blokady.

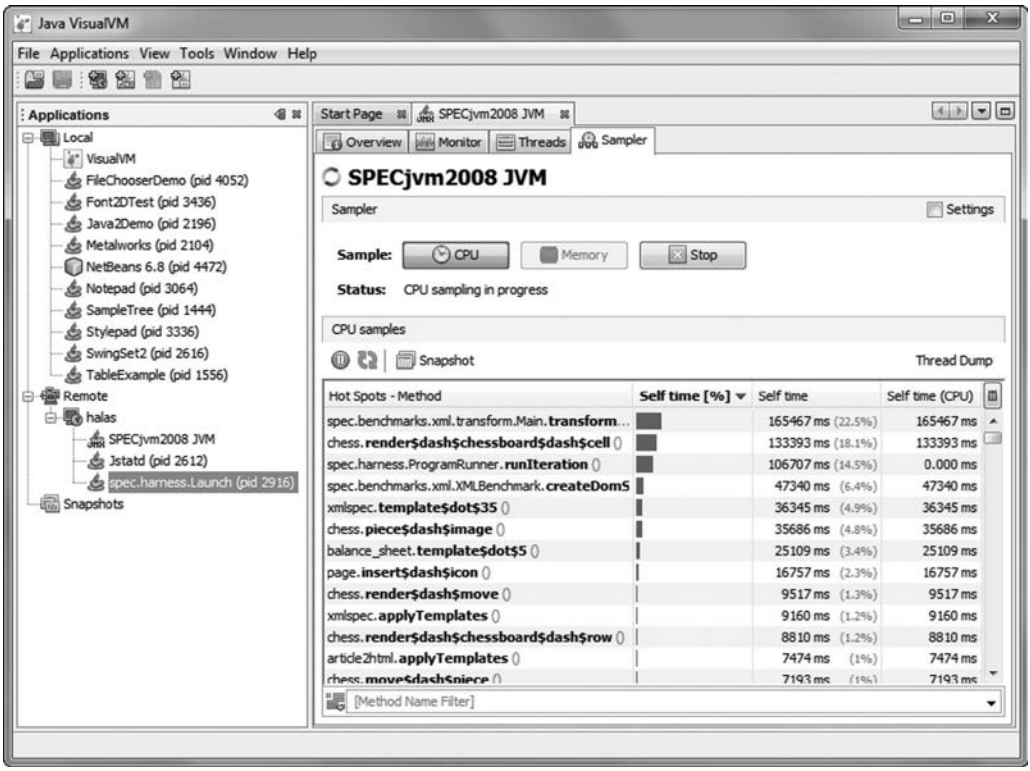
Dodatkową opcją dostępną w oknie *Threads* jest możliwość wykonywania zrzutu wątku za pomocą przycisku *Thread Dump*. Kiedy pojawia się żądanie zrzutu wątku, VisualVM otwiera w kolejnej zakładce okno wyświetlające zrzut wątku oraz w panelu *Applications* dodaje pod wpisem dotyczącym monitorowanej aplikacji wpis na temat tego zrzutu. Zwróć uwagę, że jeśli zrzuty wątku nie zostaną zapisane, nie będą przechowywane i dostępne po zamknięciu VisualVM. Zrzut wątku można zapisać, klikając prawym przyciskiem myszy ikonę lub etykietę zrzutu wątku znajdującą się pod nazwą aplikacji na liście w panelu *Applications*. Zapisane zrzuty wątku mogą być potem w dowolnym momencie załadowane do VisualVM poprzez wybranie z menu *File* opcji *Load* i wskazanie katalogu, w którym zrzut wątku został zapisany.

VisualVM oferuje również funkcje profilowania zarówno dla aplikacji zdalnych, jak i lokalnych. Funkcje lokalnego profilowania umożliwiają profilowanie CPU oraz pamięci dla aplikacji Java 6. Dla celów monitorowania użyteczne mogą być funkcje monitorowania wykorzystania CPU oraz wykorzystania pamięci w trakcie działania aplikacji. Musisz być jednak ostrożny, uruchamiając którąś z tych funkcji w systemie produkcyjnym, gdyż mogą one znacząco obciążyć działającą aplikację. Możliwość monitorowania wykorzystania CPU podczas pracy aplikacji pozwala uzyskać informacje na temat tego, które metody są najbardziej wykorzystywane podczas określonych zdarzeń. Przykładowo aplikacja GUI może doświadczać problemów z wydajnością tylko wtedy, kiedy otwarte jest określone okno tej aplikacji. Dlatego też możliwość monitorowania aplikacji GUI w momencie, w którym otwarte jest interesujące nas okno aplikacji, może być pomocna dla wyizolowania przyczyny problemu.

Profilowanie zdalne wymaga skonfigurowania połączenia JMX i jest ograniczone do profilowania CPU. Nie umożliwia ono natomiast profilowania pamięci. Możliwe jest za to wykonywanie zrzutów sterty z poziomu okna *Sampler* lub okna *Threads*. Zapisane uprzednio zrzuty sterty mogą zostać załadowane do VisualVM w celu przeprowadzenia analizy wykorzystania pamięci.

Aby rozpocząć zdalne profilowanie w VisualVM, wybierz i uruchom w panelu *Applications* zdalną aplikacje ze skonfigurowanym połączeniem JMX. Następnie przejdź do okna *Sampler* w prawym panelu i kliknij przycisk *CPU* w celu rozpoczęcia procesu profilowania. Na rysunku 4.12 przedstawiono wygląd okna *Sampler* po naciśnięciu przycisku *CPU*. W zestawieniu ilustrującym wykorzystanie CPU nazwa metody pochłaniającej najwięcej czasu umieszczona jest na szczycie listy. W drugiej kolumnie — *SelfTime %* (czas własny) — przedstawiony jest histogram czasu spędzonego w danej metodzie w stosunku do czasu poświęconego na inne metody. Następna kolumna — *SelfTime* — określa czas poświęcony na daną metodę wyrażony w milisekundach. Ostatnia kolumna — *Self Time (CPU)* — przedstawia czas CPU wykorzystany przez metodę. Każda z kolumn może być sortowana rosnąco lub malejąco poprzez kliknięcie nagłówka kolumny. Przy powtórnym kliknięciu nagłówka przełączasz się między sposobami sortowania (z rosnącego na malejący i odwrotnie).

Proces profilowania może być wstrzymany przyciskiem *Pause*, za pomocą którego również wznawia się wstrzymany proces. Do wykonywania zrzutów ekranu służy przycisk *Snapshot*. Po zrobieniu zrzut ekranu jest automatycznie wyświetlany przez VisualVM. Zrzut ekranu może zostać zapisany na dysk. Aby zapisać zrzut ekranu w celu podzielenia się informacjami z innym programistą, późniejszego załadowania pliku do programu lub porównania go z innymi zrzutami ekranu, należy wykonać eksport zrzutu do pliku, co pokazano na rysunku 4.13. Zapisany plik zrzutu ekranu może być załadowany do programów VisualVM lub NetBeans Profiler. W celu załadowania zrzutu ekranu do VisualVM należy z menu *File* wybrać opcję *Load*, a następnie uruchomić filtrowanie plików po typie *Profiler Snapshots (*.nps)*, aby odnaleźć zapisany profil.

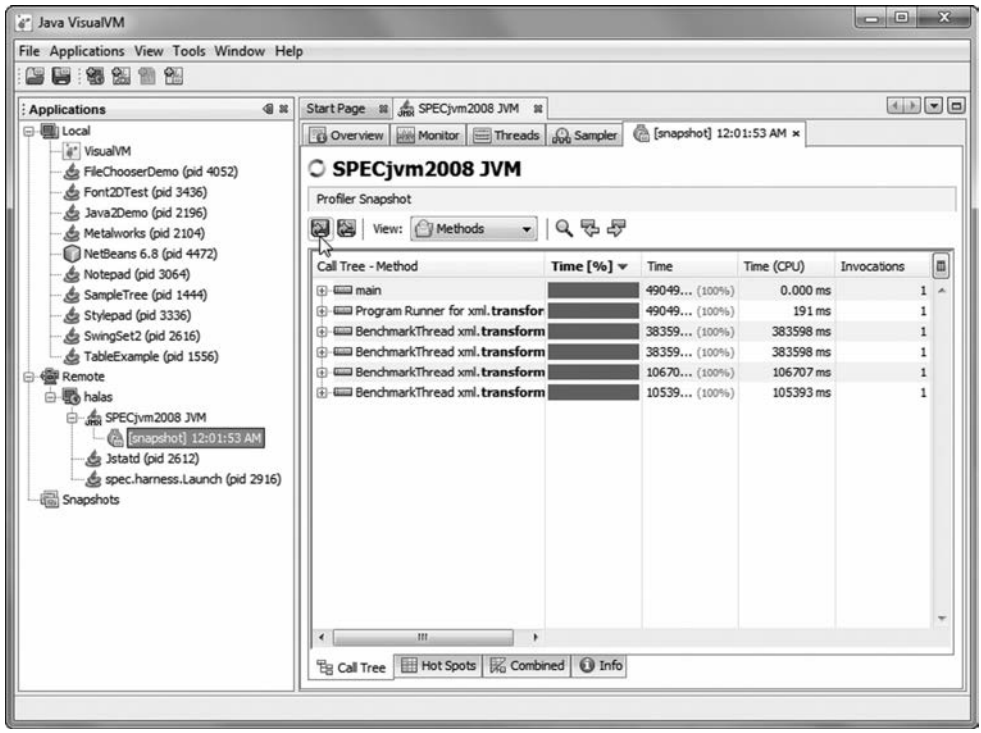


Rysunek 4.12. Zdalne profilowanie CPU

W oknie zrzutu ekranu wyświetlane jest drzewo wywołań, które przedstawia stosy wywołań (ang. *call stack*) dla wszystkich wątków przechwyconych w zrzucie ekranu. Każde drzewo wywołań można rozwinąć, by odczytać dane na temat stosu wywołań i metod, które pochłaniają najwięcej czasu oraz najbardziej wykorzystują procesor. Na dole okna znajduje się zakładka *Hot Spots*, która zawiera listę metod. Metoda pochłaniająca najwięcej czasu *Self Time* znajduje się na szczycie zestawienia. Możliwy jest również łączny podgląd zawartości zakładek *Call Tree* i *Hot Spots*. Jest on dostępny w zakładce *Combined*. Jeśli w zakładce *Combined* klikniesz wybrany stos wywołań w drzewie wywołań, tabela metod *Hot Spots* jest aktualizowana, tak aby pokazywać tylko metody dla wybranego stosu wywołań.

Dodatkowe informacje na temat profilowania aplikacji Java znajdziesz w rozdziale 5.

VisualVM umożliwia również ładowanie binarnych plików zrzutów sterty generowanych za pomocą jmap, JConsole lub w momencie wystąpienia błędu *OutOfMemoryError*, jeśli zastosowano opcję wiersza poleceń HotSpot VM `-XX:+HeapDumpOnOutOfMemoryError`. Binarny zrzut sterty to zrzut ekranu wszystkich obiektów w stercie JVM zrobiony w momencie generowania zrzutu sterty. Aby utworzyć binarny zrzut sterty za pomocą komendy `jmap` dla platformy Java 6, należy zastosować składnię `jmap -dump:format=b,file=<nazwa_pliku> <jvm pid>`, gdzie *<nazwa_pliku>* określa ścieżkę i nazwę pliku dla pliku binarnego zrzutu sterty, a *<jvm pid>* to identyfikator procesu dla JVM, na której uruchomiona została aplikacja. W przypadku platformy Java 5 komenda ta wygląda następująco: `jmap -heap:format=b <jvm pid>`, gdzie *<jvm pid>* to identyfikator procesu dla aplikacji Java. Komenda `jmap` dla Javy w wersji 5. zapisuje zrzut sterty do pliku o nazwie *heap.bin* w katalogu, w którym komenda `jmap` została wykonana. Narzędzie JConsole dla Javy w wersji 6.



Rysunek 4.13. Zapisywanie zrzutu ekranu

również umożliwia generowanie zrzutu stery za pomocą MBeana HotSpotDiagnostics. Utworzony plik binarny zrzutu sterty może być załadowany do VisualVM za pomocą opcji *Load* z menu *File* w celu przeprowadzenia analizy.

VisualGC

VisualGC jest wtyczką do narzędzia VisualVM, która umożliwia monitorowanie aktywności procesów odzyskiwania pamięci, ładowarki klas oraz kompilacji JIT. Pierwotnie VisualGC został zaprojektowany jako samodzielny program GUI. Obecnie może być stosowany samodzielnie lub jako wtyczka do VisualVM i pozwala monitorować maszyny wirtualne Javy dla platform Java 1.4.2, Java 5 oraz Java 6. Kiedy VisualGC został dostosowany jako wtyczka do VisualVM, dodano w nim kilka ulepszeń ułatwiających wykrywanie i podłączanie się do maszyn wirtualnych Javy. Przewagą wtyczki VisualGC nad wersją samodzielną GUI jest funkcja automatycznego wykrywania maszyn wirtualnych Javy, które mogą być monitorowane. Po wykryciu są one wyświetlane w VisualVM. W przypadku samodzielnej wersji GUI musisz określić identyfikator procesu aplikacji Java, którą chcesz monitorować i przekazać tę informację jako argument do *launchera* programu. Identyfikator procesu możesz sprawdzić za pomocą komendy `jps`. Przykład zastosowania komendy `jps` został opisany wcześniej w tym rozdziale jako element konfiguracji instalacyjnej jstatd daemon.

Wtyczka VisualGC jest dostępna w centrum wtyczek VisualVM, czyli w *Plug-in Center*. Centrum wtyczek otwiera się opcją *Plugins* w menu *Tools*. Wtyczka VisualGC powinna się znajdować na liście dostępnych wtyczek w zakładce *Available Plug-ins*.

Samodzielną wersję VisualGC GUI możesz pobrać ze strony *http://java.sun.com/performance/jvmstat/#Download*.

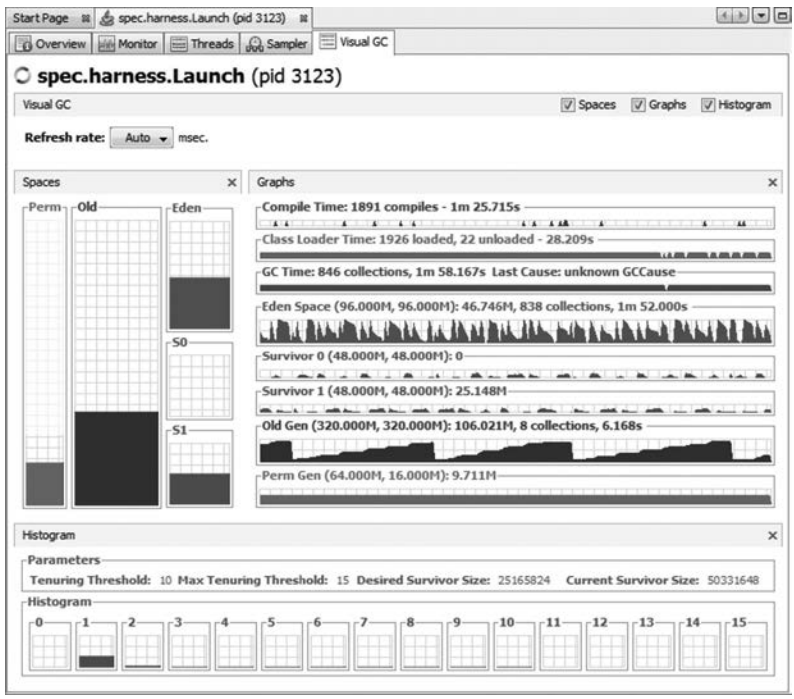
Bez względu na to, czy korzystasz z wersji samodzielnej VisualGC, czy z wtyczki, aplikacja monitorowana lokalnie musi posiadać te same dane logowania użytkownika, co VisualGC. W przypadku monitorowania aplikacji zdalnej te same dane użytkownika musi posiadać zarówno jstatd daemon, jak i monitorowana aplikacja. Sposób konfiguracji oraz uruchomienia jstatd daemon zostały opisane wcześniej w tym rozdziale.

Stosowanie VisualGC jako wtyczki do programu VisualVM jest opisane w tym podpunkcie, ponieważ jest prostsze niż korzystanie z wersji samodzielnej VisualGC. Ponadto VisualVM oferuje również inne zintegrowane funkcje monitorowania.

Po dodaniu wtyczki VisualGC do aplikacji VisualVM podczas monitorowania wybranej aplikacji z listy w panelu *Applications*, w prawym panelu dostępne jest dodatkowe okno z etykietą VisualGC (patrz rysunek 4.14).

Rysunek 4.14. Dodatkowa zakładka z oknem VisualGC

Zakładka VisualGC wyświetla dwa lub trzy panele w zależności od stosowanego mechanizmu odzyskiwania pamięci. Dla przepustowościowego mechanizmu odzyskiwania pamięci wyświetlane są dwa panele, *Spaces* (przestrzenie) oraz *Graphs* (wykresy). Jeśli stosowany jest równoczesny lub szeregowy mechanizm odzyskiwania pamięci pod panelami *Spaces* i *Graphs* umieszczony jest trzeci panel o nazwie *Histogram* (histogram). Na rysunku 4.15 przedstawiono okno VisualGC zawierające wszystkie trzy panele.



Rysunek 4.15. VisualGC

Każdy z tych trzech paneli może być dodany lub usunięty z okna zakładki VisulaGC poprzez zaznaczenie lub usunięcie zaznaczenia odpowiadających im pozycji umieszczonych w prawym górnym rogu.

Panel *Spaces* zawiera graficzne przedstawienie przestrzeni odzyskiwania pamięci oraz wykorzystania tych przestrzeni. Panel jest podzielony na trzy pionowe sekcje, z których każda symbolizuje jedną z przestrzeni odzyskiwania pamięci: *Perm* (przestrzeń stałego pokolenia), *Old* lub *Tenured* (przestrzeń starego pokolenia) oraz przestrzeń młodego pokolenia składającą się z edenu oraz dwóch przestrzeni ocalałych (*S0* i *S1*). Wielkość rozmiarów reprezentujących wymienione przestrzenie jest proporcjonalna do maksymalnych pojemności tych przestrzeni alokowanych przez maszynę wirtualną Javy. Bieżący poziom wykorzystania edenu w stosunku do maksymalnej pojemności symbolizowany jest stopniem wypełnienia jego obszaru określonym kolorem. Dla każdej przestrzeni odzyskiwania pamięci zastosowano indywidualny kolor wypełnienia, który jest wykorzystywany konsekwentnie również w panelach *Graphs* i *Histogram*.

System zarządzania pamięcią w HotSpot VM może zwiększyć lub zmniejszyć obszar sterty po odzyskiwaniu pamięci, jeśli wartości ustawione dla `-Xmx` i `-Xms` są różne. Osiąga się to przez zastrzeżenie pamięci dla żądanego maksymalnego rozmiaru sterty Java, ale przy jednoczesnym przydzieleniu pamięci rzeczywistej jedynie do wielkości aktualnie wymaganej. Stosunek pomiędzy pamięcią przydzieloną a pamięcią zarezerwowaną jest reprezentowany przez kolor siatki tła w obszarze każdej przestrzeni. Pamięć nieprzydzielona oznaczona jest jasnoszarym kolorem siatki tła, natomiast pamięć przydzielona — kolorem ciemnoszarym. W wielu przypadkach wykorzystanie przestrzeni może być niemal takie same jak ilość pamięci przydzielonej, co utrudnia dokładne określenie na siatce tła miejsca podziału przestrzeni na obszar pamięci przydzielonej i nieprzydzielonej.

Stosunek rozmiarów edenu i przestrzeni ocalałych dla obszaru młodego pokolenia w panelu *Spaces* jest z reguły stały. Obydwie przestrzenie ocalałych mają zazwyczaj ten sam rozmiar, a przestrzeń ich pamięci jest w pełni przydzielona. Obszar pamięci dla edenu może być tylko częściowo przydzielony, szczególnie we wczesnych cyklach życia aplikacji.

Kiedy uruchomiony za pomocą opcji `-XX:+UseParallelGC` lub `-XX:+UseParallelOldGC` przepustowościomy mechanizm odzyskiwania pamięci stosowany jest wraz z funkcją adaptacyjnego ustalania rozmiaru (włączoną domyślnie), wzajemny stosunek rozmiarów przestrzeni młodego pokolenia może zmieniać się z upływem czasu. Włączona funkcja adaptacyjnego ustalania rozmiaru może doprowadzić do sytuacji, w której rozmiary przestrzeni ocalałych nie będą identyczne, a całkowity rozmiar przeznaczony na przestrzeń młodego pokolenia zostanie dynamicznie rozlokowany pomiędzy jego trzema przestrzeniami składowymi. W przypadku takiej konfiguracji obszary reprezentujące w panelu *Spaces* przestrzenie ocalałych oraz wypełnienie symbolizujące wykorzystanie tych obszarów mają rozmiar relatywnie odpowiadający bieżącemu, a nie maksymalnemu rozmiarowi całej przestrzeni. Kiedy maszyna wirtualna Javy adaptacyjnie zmienia rozmiar przestrzeni młodego pokolenia, obszar reprezentujący tę przestrzeń w panelu *Spaces* jest odpowiednio aktualizowany.

Panel *Spaces* należy obserwować pod kątem występowania kilku określonych sytuacji. Przykładowo powinieneś zwracać uwagę na prędkość zapełniania się przestrzeni edenu. Każde zapełnienie tej przestrzeni oraz następujący po nim spadek zapełnienia reprezentują mniejsze odzyskiwanie pamięci. Częstotliwość występowania tego zdarzenia jest częstotliwością uruchamiania procesu mniejszego odzyskiwania pamięci. Obserwując przestrzenie ocalałych, możesz zauważyć, że przy każdym mniejszym odzyskiwaniu pamięci jedna z przestrzeni ocalałych jest zapełniona, a druga pusta. Ta obserwacja umożliwia zrozumienie sposobu, w jaki mechanizm odzyskiwania pamięci kopiuje żywe obiekty z jednej przestrzeni ocalałych do drugiej przy każdym procesie mniejszego odzyskiwania pamięci. Ważniejsze jednak jest monitorowanie przepełniania się przestrzeni ocalałych. Taką

sytuację można zidentyfikować, przyglądając się zapełnieniu przestrzeni ocalałych podczas mniejszego odzyskiwania pamięci. Jeśli przestrzenie ocalałych są w pełni lub prawie w pełni zapełnione po każdym mniejszym odzyskiwaniu pamięci oraz wzrasta zapełnienie przestrzeni starego pokolenia, przestrzenie ocalałych mogą się przepełniać. Zasadniczo wskazuje to, że obiekty są promowane z młodego do starego pokolenia. Jeśli jednak są one promowane zbyt wcześnie lub zbyt szybko, może to ostatecznie doprowadzić do uruchomienia pełnego odzyskiwania pamięci. Przy pełnym odzyskiwaniu pamięci możesz zaobserwować spadek zapełnienia przestrzeni starego pokolenia. Częstotliwość występowania spadków wykorzystania przestrzeni starego pokolenia określa częstotliwość uruchamiania procesów pełnego odzyskiwania pamięci.

Panel *Graphs* pokazany na rysunku 4.15 znajduje się po prawej stronie okna VisualGC. Przedstawia on wykresy statystyk wydajności w funkcji czasu i oferuje historyczny przegląd danych. Panel ten wyświetla statystyki procesów odzyskiwania pamięci wraz ze statystykami kompilatora JIT i ładowarki klas. Te dwie ostatnie statystyki zostaną omówione w dalszej części rozdziału. Rozdzielczość osi poziomej dla każdego ze znajdujących się w tym panelu wykresów definiowana jest parametrem *Refresh Rate* znajdującym tuż nad panelem *Spaces*. Każda próbka dla historycznego wykresu danych w panelu *Graphs* zajmuje dwa piksele rozdzielczości ekranu. Wysokość każdego wykresu zależy od ilustrowanych danych statystycznych.

Panel *Graphs* zawiera następujące wykresy.

- ***Compile Time*** (czas kompilacji). Omówiony w dalszej części rozdziału.
- ***Class Loader Time*** (czas ładowarki klas). Omówiony w dalszej części rozdziału.
- ***GC Time*** (czas odzyskiwania pamięci). Wykres ilustrujący ilość czasu poświęcanego na działania związane z procesami odzyskiwania pamięci. Wysokość tego wykresu, czyli oś pionowa, nie jest skalowana do żadnej konkretnej wartości. Wartość różna od zera wskazuje na wykresie na działania mechanizmu odzyskiwania pamięci w ostatnim interwale czasowym. Wąski impuls wskazuje na relatywnie krótki czas trwania procesu, natomiast impuls szeroki to długi czas trwania. W opisie wykresu podano całkowitą liczbę procesów odzyskiwania pamięci oraz łączny czas trwania tych procesów od momentu uruchomienia aplikacji. Jeśli monitorowana maszyna wirtualna Javy gromadzi statystyki dotyczące przyczyn uruchamiania procesów odzyskiwania pamięci, w opisie podawana jest również przyczyna uruchomienia ostatniego procesu odzyskiwania pamięci.
- ***Eden Space*** (przestrzeń eden). Wykres przedstawiający wykorzystanie przestrzeni edenu w funkcji czasu. Wysokość tego wykresu jest stała, a domyślnie dane są skalowane zgodnie z aktualnym rozmiarem tej przestrzeni. Rozmiar przestrzeni edenu może się zwiększać lub zmniejszać w zależności od stosowanego w danym momencie mechanizmu odzyskiwania pamięci. W opisie wykresu znajduje się nazwa przestrzeni, podany w nawiasach maksymalny i bieżący rozmiar przestrzeni oraz bieżące zapełnienie przestrzeni. Dodatkowo podana jest tu łączna liczba procesów mniejszego odzyskiwania pamięci oraz ich skumulowany czas.
- ***Survivor 0 and Survivor 1*** (przestrzenie ocalałych *S0* i *S1*). Na tych wykresach przedstawiono wykorzystanie dwóch przestrzeni ocalałych w funkcji czasu. Wysokość każdego z tych wykresów jest stała, a domyślnie dane są skalowane zgodnie z bieżącym rozmiarem obu przestrzeni. Rozmiar przestrzeni ocalałych może zmieniać się wraz z upływem czasu w zależności od stosowanego mechanizmu odzyskiwania pamięci. W opisie każdego z wykresów podano nazwę przestrzeni, maksymalny i aktualny rozmiar przestrzeni w nawiasach oraz bieżące wykorzystanie przestrzeni.
- ***Old Gen*** (przestrzeń starego pokolenia). Wykres przedstawia wykorzystanie przestrzeni starego pokolenia w funkcji czasu. Wysokość wykresu jest stała, a domyślnie dane są

skalowane zgodnie z aktualnym rozmiarem tej przestrzeni. Rozmiar przestrzeni starego pokolenia może się zmieniać w zależności od stosowanego mechanizmu odzyskiwania pamięci. W opisie wykresu znajduje się nazwa przestrzeni, podany w nawiasach maksymalny i bieżący rozmiar przestrzeni oraz bieżące zapełnienie przestrzeni. Dodatkowo podana jest tu łączna liczba procesów pełnego odzyskiwania pamięci oraz ich skumulowany czas.

- ***Perm Gen*** (przestrzeń stałego pokolenia). Wykres przedstawia wykorzystanie przestrzeni stałego pokolenia w funkcji czasu. Wysokość wykresu jest stała, a domyślnie dane są skalowane zgodnie z aktualnym rozmiarem tej przestrzeni. Rozmiar przestrzeni stałego pokolenia może się zmieniać w zależności od stosowanego mechanizmu odzyskiwania pamięci. W opisie wykresu znajduje się nazwa przestrzeni, podany w nawiasach maksymalny i bieżący rozmiar przestrzeni oraz bieżące zapełnienie przestrzeni.

Panel *Histogram* pokazany na rysunku 4.15 znajduje się pod panelami *Spaces* i *Graphs* i jest wyświetlany tylko w podczas stosowania równoczesnego lub szeregowego mechanizmu odzyskiwania pamięci. W przypadku przepustowościowego odzyskiwania pamięci nie przechowuje się danych na temat wieku obiektów ocalałych, ponieważ stosowany jest tu inny mechanizm do zarządzania obiektami w przestrzeniach ocalałych. Z tego powodu panel *Histogram* nie jest wyświetlany, kiedy monitorowana maszyna wirtualna Javy stosuje przepustowościowy mechanizm odzyskiwania pamięci.

W panelu *Histogram* wyświetlane są statystyki dotyczące ocalałych obiektów oraz wieku obiektów. Jest on podzielony na dwa obszary: *Parameters* (parametry) i *Histogram*. W obszarze *Parameters* podane są informacje na temat bieżącego rozmiaru przestrzeni ocalałych oraz parametrów, które kontrolują promowanie obiektów z przestrzeni młodego pokolenia do przestrzeni starego pokolenia. Po każdym mniejszym odzyskiwaniu wzrasta wiek obiektu, pod warunkiem że obiekt pozostaje żywy. Jeśli wiek obiektu przekroczy określony wiek dla progu zatrudnienia (ang. *tenuring threshold age*), obiekt zostaje promowany do starego pokolenia. Wiek dla progu zatrudnienia jest wyliczany przez JVM podczas każdego procesu mniejszego odzyskiwania pamięci i wyświetlany w obszarze *Parameters* pod nazwą *Tenuring Threshold*. Maksymalny próg zatrudnienia (ang. *Max Tenuring Threshold*) również wyświetlany w tym obszarze to maksymalny wiek dla obiektów przechowywanych w przestrzeniach ocalałych. Obiekty są promowane z młodego do starego pokolenia na podstawie wartości parametru *Tenuring Threshold*, a nie *Max Tenuring Threshold*.

Często powtarzająca się sytuacja, w której próg zatrudnienia jest niższy niż maksymalny próg zatrudnienia, wskazuje, że obiekty są promowane z młodego do starego pokolenia zbyt szybko. Jest to zazwyczaj spowodowane przepełnieniem przestrzeni ocalałych. Jeśli przestrzeń ocalałych jest przepełniona, najstarsze obiekty są promowane do starego pokolenia do momentu, aż wykorzystanie przestrzeni ocalałych nie spadnie poniżej wartości *Desired Survivor Size* (pożądany rozmiar przestrzeni ocalałych) wyświetlanej w obszarze *Parameters*. Jak wcześniej wspominaliśmy, przepełnienie przestrzeni ocalałych może powodować zapełnienie przestrzeni starego pokolenia i w rezultacie wywołać uruchomienie procesu pełnego odzyskiwania pamięci.

Obszar *Histogram* w panelu *Histogram* wyświetla zrzut ekranu dla dystrybucji wieku obiektów w aktywnej przestrzeni ocalałych po ostatnim procesie mniejszego odzyskiwania pamięci. Jeśli mamy do czynienia z JVM dla Java 5 Update 6 lub nowszą, obszar ten zawiera szesnaście regionów o identycznym rozmiarze, z których każdy reprezentuje jeden z możliwych wieków obiektów. We wcześniejszych wersjach monitorowanej maszyny wirtualnej Javy będziemy mieli w obszarze *Histogram* trzydzieści dwa regiony. Każdy region reprezentuje 100% aktywnego obszaru przestrzeni ocalałych. Poziom wypełnienia regionu kolorem wskazuje procentowy stopień zapełnienia przestrzeni ocalałych obiektami o określonym wieku.

Podczas działania aplikacji możesz obserwować, jak długo żyjące obiekty przechodzą przez każdy z regionów wieku. Im większa przestrzeń zajmowana jest przez długo żyjące obiekty, tym większa będzie migracja obiektów pomiędzy regionami wieku. Kiedy próg zatrudnienia jest mniejszy niż maksymalny próg zatrudnienia, regiony reprezentujące wartości wyższe niż próg zatrudnienia pozostaną puste, ponieważ obiekty z tych regionów zostaną promowane do przestrzeni starego pokolenia.

Kompilator JIT

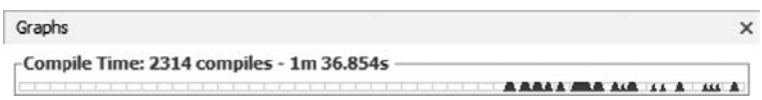
Istnieje kilka sposobów monitorowania aktywności kompilacji JIT dla maszyny wirtualnej HotSpot. Mimo że kompilacja JIT przyspiesza działanie aplikacji, wymaga określonych zasobów obliczeniowych, takich jak cykle CPU i pamięć. Z tego powodu użyteczne jest obserwowanie zachowania kompilatora JIT. Monitorowanie kompilacji JIT jest także użyteczne, kiedy chcesz zidentyfikować metody, które są optymalizowane, a w niektórych przypadkach deoptymalizowane lub optymalizowane ponownie. Metoda może być deoptymalizowana lub optymalizowana ponownie, jeśli kompilator JIT wykonał dla optymalizacji pewne wstępne założenia, które okazały się błędne. W takiej sytuacji kompilator JIT odrzuca taką optymalizację i ponownie wykonuje optymalizację metody na podstawie nowo pozyskanych informacji.

Do monitorowania kompilatora JIT HotSpot możesz wykorzystać opcję wiersza poleceń `-XX:+PrintCompilation`. Opcja ta generuje po jednej linii listingu dla każdej wykonanej kompilacji. Przykład listingu znajduje się poniżej:

```
 7       java.lang.String::indexOf (151 bytes)
 8% !    sun.awt.image.PNGImageDecoder::produceImage @ 960 (1920 bytes)
 9  !    sun.awt.image.PNGImageDecoder::produceImage (1920 bytes)
10       java.lang.AbstractStringBuilder::append (40 bytes)
11   n   java.lang.System::arraycopy (static)
12 s     java.util.Hashtable::get (69 bytes)
13   b   java.util.HashMap::indexFor (6 bytes)
14   made zombie  java.awt.geom.Path2D$Iterator::isDone (20 bytes)
```

Szczegółowe informacje dotyczące listingu dla opcji `-XX:+PrintCompilation` znajdziesz w dodatku A.

Istnieją też graficzne narzędzia do monitorowania aktywności kompilacji JIT, nie dostarczają one jednak tyle szczegółów, co opcja `-XX:+PrintCompilation`. Obecnie JConsole, VisualVM czy wtyczka VisualGC do VisualVM nie dostarczają informacji na temat tego, które metody są kompilowane przez kompilator JIT. Zapewniają one jedynie informacje o tym, kiedy kompilacja JIT ma miejsce. Najbardziej użytecznym narzędziem graficznym w tym przypadku może okazać się wykres *Compile Time* (czas kompilacji) z panelu *Graphs* okna VisualGC, pokazany na rysunku 4.16. Wykres ten przedstawia impulsy generowane aktywnością kompilacji JIT, które ułatwiają określenie miejsca występowania tych aktywności.



Rysunek 4.16. Wykres Compile Time w panelu Graphs wtyczki VisualGC

Wykres *Compile Time* w VisualGC pokazuje, jaka ilość czasu została przeznaczona na kompilację. Wysokość wykresu nie jest skalowana do żadnej konkretnej wartości. Impulsy na wykresie

reprezentują aktywności kompilacji JIT. Wąski impuls wskazuje na relatywnie krótki czas aktywności, a szeroki impuls — na długi czas aktywności. Obszary, na których nie ma żadnych impulsów, symbolizują brak aktywności kompilacji JIT. W opisie wykresu umieszczono całkowitą liczbę zadań kompilacji JIT oraz skumulowany czas, który upłynął na aktywnościach kompilacji.

Ładowanie klas

Wiele aplikacji korzysta ze zdefiniowanych przez użytkownika ładowarek klas zwanych *custom class loaders*. JVM ładuje klasy z ładowarki klas i może również zdecydować o wyładowaniu klasy. To, czy klasy są ładowane, czy rozładowywane, zależy od środowiska JVM Runtime oraz zastosowanych ładowarek klas. Monitorowanie aktywności ładowania klas może być użyteczne, szczególnie w aplikacjach, które korzystają z ładowarek klas zdefiniowanych przez użytkownika. Obecnie HotSpot VM ładuje wszystkie metadane klas do przestrzeni stałego pokolenia. Odzyskiwanie pamięci w przestrzeni stałego pokolenia przeprowadzane jest wtedy, kiedy przestrzeń ta się zapełni. Dlatego też monitorowanie zarówno aktywności ładowania klas, jak i wykorzystania przestrzeni stałego pokolenia może być istotne dla osiągnięcia przez aplikację wymagań dotyczących wydajności. Statystyki odzyskiwania pamięci wskazują, kiedy klasy są wyładowywane z przestrzeni stałego pokolenia.

Niewykorzystane klasy są wyładowywane z przestrzeni stałego pokolenia, kiedy wymagane jest dodatkowe miejsce na załadowanie innych klas. Do wyładowania klas z przestrzeni stałego pokolenia niezbędne jest pełne odzyskiwanie pamięci. W takim przypadku aplikacja może doświadczać problemów z wydajnością spowodowanych procesem pełnego odzyskiwania pamięci. Na poniższym listingu przedstawiono pełne odzyskiwanie pamięci, podczas którego przeprowadzone zostało wyładowywanie klas.

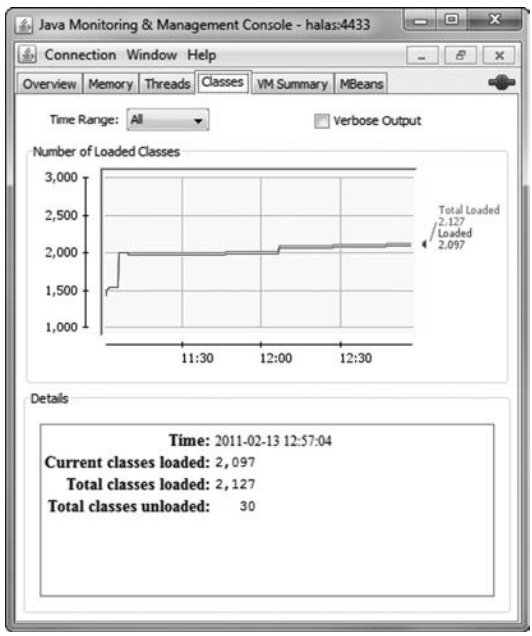
```
[Full GC[Unloading class sun.reflect.GeneratedConstructorAccessor3]
[Unloading class sun.reflect.GeneratedConstructorAccessor8]
[Unloading class sun.reflect.GeneratedConstructorAccessor11]
[Unloading class sun.reflect.GeneratedConstructorAccessor6]
 8566K->5871K(193856K), 0.0989123 secs]
```

Powyższy listing wskazuje, że zostały wyładowane cztery klasy: `sun.reflect.Generated`
`↪ConstructorAccessor3`, `sun.reflect.Generated ConstructorAccessor8`, `sun.reflect.Generated`
`↪ConstructorAccessor11` oraz `sun.reflect.GeneratedConstructorAccessor6`. Raportowanie klas, które są wyładowywane podczas pełnego odzyskiwania pamięci, może dowodzić, że rozmiar przestrzeni stałego pokolenia powinien być większy lub większy powinien być początkowy rozmiar tej przestrzeni. Jeśli zauważysz, że podczas pełnego odzyskiwania pamięci zostały wyładowane klasy, powinieneś zastosować opcje wiersza poleceń `-XX:PermSize` oraz `-XX:MaxPermSize`, żeby zdefiniować rozmiar przestrzeni stałego pokolenia. Aby uniknąć pełnego odzyskiwania pamięci, które może poszerzyć lub zmniejszyć przydzielony rozmiar przestrzeni stałego pokolenia, ustaw takie same wartości dla `-XX:PermSize` oraz `-XX:MaxPermSize`. Zwróć uwagę, że jeśli włączone jest równoczesne odzyskiwanie pamięci dla stałego pokolenia, możesz zaobserwować wyładowywanie klas podczas cyklu równoczesnego odzyskiwania pamięci dla stałego pokolenia. Ponieważ cykl równoczesnego odzyskiwania pamięci dla stałego pokolenia nie jest wykonywany metodą „stop-the-world", aplikacja nie odczuwa skutków przestoju wywoływanego procesem odzyskiwania pamięci. Równoczesne odzyskiwanie pamięci dla starego pokolenia może być stosowane jedynie przez przeważnie-równoczesny mechanizm odzyskiwania pamięci, zwany CMS.

Wskazówka

Dodatkowe wskazówki i porady na temat regulacji rozmiaru przestrzeni stałego pokolenia wraz z instrukcją, jak uruchomić równoczesne odzyskiwanie pamięci dla stałego pokolenia, znajdziesz w rozdziale 7.

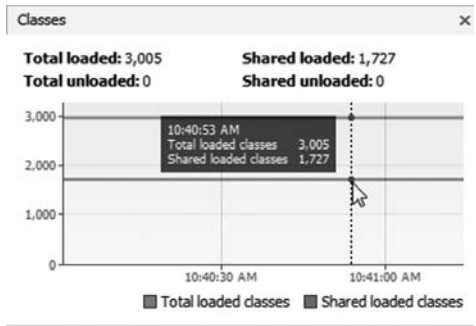
Monitorowanie ładowania klas umożliwiają takie narzędzia graficzne jak JConsole, VisualVM oraz wtyczka VisualGC dla VisualVM. Jednak aktualnie nie podają one nazw klas, które są ładowane lub wyładowywane. Jak pokazano na rysunku 4.17, zakładka *Classes* (klasy) w JConsole podaje liczbę aktualnie załadowanych klas, liczbę klas wyładowanych oraz całkowitą liczbę załadowanych klas.



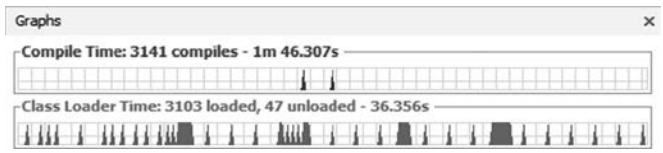
Rysunek 4.17. Całkowita liczba załadowanych klas i liczba aktualnie załadowanych klas

VisualVM również umożliwia monitorowanie aktywności ładowania klas w oknie *Classes* (klasy) zakładki *Monitor*. Okno to pokazuje całkowitą liczbę załadowanych klas oraz liczbę załadowanych klas współdzielonych. Możesz tutaj sprawdzić, czy w monitorowanie w maszynie wirtualnej Javy zostało włączone udostępnianie danych klas (ang. *class data sharing*). Funkcja udostępniania danych klas polega na współdzieleniu klas pomiędzy kilkoma maszynami wirtualnymi Javy działającymi na tym samym systemie. Pozwala to zmniejszyć wykorzystanie pamięci przez JVM-y. Jeśli monitorowana maszyna wirtualna Javy korzysta z udostępnianych klas, na wykresie poza poziomą linią symbolizującą całkowitą liczbę załadowanych klas pojawi się pozioma linia reprezentująca liczbę klas współdzielonych. Tego typu sytuację przedstawiono na rysunku 4.18.

Monitorowanie aktywności ładowania klas jest także możliwe na wykresie *Class Loader Time* w panelu *Graphs* wtyczki VisualGC, co pokazano na rysunku 4.19.



Rysunek 4.18. Zaobserwowane współdzielenie klas



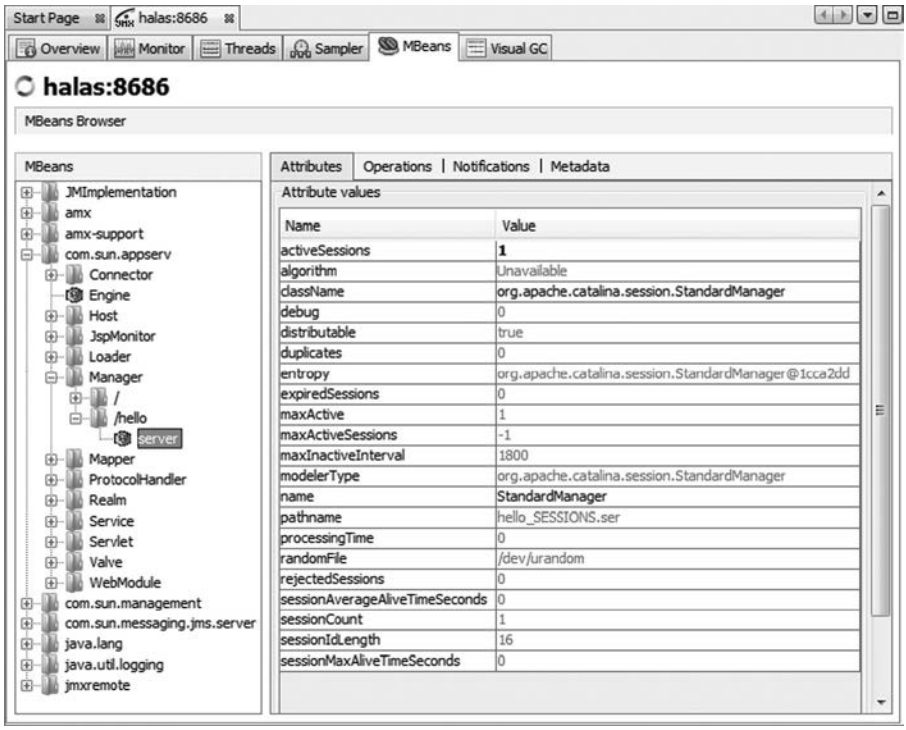
Rysunek 4.19. Aktywność ładowania klas w VisualGC

Impulsy na wykresie *Class Loader Time* symbolizują aktywność ładowania lub wyładowywania klas. Wąski impuls wskazuje na krótki czas aktywności, a szeroki impuls — na długi czas aktywności. Brak impulsu oznacza brak aktywności ładowania klas. W opisie wykresu podana została liczba załadowanych klas, liczba wyładowanych klas oraz łączny czas dla ładowania klas od momentu uruchomienia aplikacji. Obserwowanie na wykresie *Class Loader Time* impulsów, które bezpośrednio odpowiadają impulsom na znajdującym się poniżej w tym panelu wykresie *GC Time*, wskazuje na aktywność mechanizmu odzyskiwania pamięci w tym samym czasie. Może to być spowodowane przeprowadzaniem procesu odzyskiwania pamięci dla stałego pokolenia JVM.

Monitorowanie aplikacji Java

Monitorowanie na poziomie aplikacji z reguły wiąże się z obserwowaniem dziennika zdarzeń (logów), który zawiera interesujące nas zdarzenia lub instrumentalizację zapewniającą określony poziom informacji na temat wydajności aplikacji. Niektóre aplikacje mogą również posiadać wewnętrzne funkcje monitorowania i zarządzania wbudowane za pomocą MBeanów poprzez interfejsy monitorowania i zarządzania API dla Java SE. Te MBeany mogą być przeglądane i monitorowane za pomocą narzędzi zgodnych z technologią JMX, takich jak JConsole, lub za pomocą wtyczki VisualVM-MBeans dla VisualVM. Wtyczkę tę można znaleźć w centrum wtyczek w opcji *Plugins* dla menu *Tools*.

GlassFish Server Open Source Edition (zwany dalej GlassFish) posiada dużą liczbę atrybutów, które mogą być monitorowane za pomocą MBeanów. Korzystając z JConsole lub VisualVM do monitorowania instancji serwera aplikacji, GlassFish umożliwia przeglądanie MBeanów wraz z ich atrybutami i operacjami. Na rysunku 4.20 przedstawiono część z wielu MBeanów GlassFish w oknie *MBeans* narzędzia VisualVM korzystającego z wtyczki VisualVM-MBeans.



Rysunek 4.20. MBeany GlassFish

Po lewej stronie widać rozwiniętą listę MBeanów GlassFish w folderze *com.sun.appserv*.

Możliwości VisualVM mogą również zostać poszerzone o monitorowanie aplikacji Java, ponieważ narzędzie to zostało zbudowane na bazie architektury wtyczek NetBeans Platform. Wtyczki dla VisualVM mogą być tworzone, tak jakby były to wtyczki NetBeans. Przykładowo niestandardowa wtyczka do VisualVM umożliwiająca monitorowanie aplikacji Java może wykorzystać wiele bogatych funkcji NetBeans, włącznie z Visual Graph Library. Dla aplikacji, które mają udostępniać informacje dotyczące monitorowania wydajności, można przygotować odpowiednią wtyczkę VisualVM. Kilka istniejących już wtyczek jest dostępnych w centrum wtyczek VisualVM.

Aplikacje posiadające wtyczki JConsole mogą skorzystać z wtyczki VisualVM-JConsole, aby automatycznie zintegrować własne niestandardowe wtyczki JConsole z VisualVM.

Szybkie monitorowanie rywalizacji o blokady

Sztuczką często stosowaną przez autorów w celu uzyskania szybkiego poglądu na to, gdzie w aplikacji Java pojawia się rywalizacja o blokady, jest przechwycenie kilku zrzutów wątku za pomocą komendy JDK `jstack`. Takie podejście dobrze się sprawdza, kiedy wykonujesz wiele zadań monitorujących i potrzebujesz szybko przechwycić określone dane, bez konieczności poświęcania czasu na instalowanie i konfigurację aplikacji profilującej, która przeznaczona jest do bardziej szczegółowej analizy.

Poniższy listing z polecenia `jstack` pochodzi z aplikacji, która posiada zestaw wątków odczytu i zapisu dzielących jedną kolejkę. Wątki zapisu dodają zadania do kolejki, a wątki odczytu ujmują zadania z kolejki.

Zamieszczone zostały tylko istotne ślady stosu, aby zilustrować użyteczność komendy `jstack` do szybkiego odnajdywania blokad, o które toczy się rywalizacja. W listingu wątek `Read Thread-33` uzyskał z powodzeniem blokadę współdzielonej kolejki, która jest określona jako obiekt `Queue` o adresie `0x22e88b10`. Jest to zaznaczony wytłuszczonym drukiem fragment listingu **`locked <0x22e88b10> (a Queue)`**.

Wszystkie pozostałe przedstawione ślady stosu wątku czekają na uzyskanie tej samej blokady, którą posiada wątek `Read Thread-33`. Są to oznaczone wytłuszczonym drukiem fragmenty listingu **`waiting to lock <0x22e88b10> (a Queue)`**.

```
"Read Thread-33" prio=6 tid=0x02b1d400 nid=0x5c0 runnable
[0x0424f000..0x0424fd94]
   java.lang.Thread.State: RUNNABLE
      at Queue.dequeue(Queue.java:69)
      - locked <0x22e88b10> (a Queue)
      at ReadThread.getWorkItemFromQueue(ReadThread.java:32)
      at ReadThread.run(ReadThread.java:23)

"Writer Thread-29" prio=6 tid=0x02b13c00 nid=0x3cc waiting for monitor
entry [0x03f7f000..0x03f7fd94]
   java.lang.Thread.State: BLOCKED (on object monitor)
      at Queue.enqueue(Queue.java:31)
      - waiting to lock <0x22e88b10> (a Queue)
      at WriteThread.putWorkItemOnQueue(WriteThread.java:54)
      at WriteThread.run(WriteThread.java:47)

"Writer Thread-26" prio=6 tid=0x02b0d400 nid=0x194 waiting for monitor
entry [0x03d9f000..0x03d9fc94]
   java.lang.Thread.State: BLOCKED (on object monitor)
      at Queue.enqueue(Queue.java:31)
      - waiting to lock <0x22e88b10> (a Queue)
      at WriteThread.putWorkItemOnQueue(WriteThread.java:54)
      at WriteThread.run(WriteThread.java:47)

"Read Thread-23" prio=6 tid=0x02b08000 nid=0xbf0 waiting for monitor entry
[0x03c0f000..0x03c0fb14]
   java.lang.Thread.State: BLOCKED (on object monitor)
      at Queue.dequeue(Queue.java:55)
      - waiting to lock <0x22e88b10> (a Queue)
      at ReadThread.getWorkItemFromQueue(ReadThread.java:32)
      at ReadThread.run(ReadThread.java:23)

"Writer Thread-24" prio=6 tid=0x02b09000 nid=0xef8 waiting for monitor
entry [0x03c5f000..0x03c5fa94]
   java.lang.Thread.State: BLOCKED (on object monitor)
      at Queue.enqueue(Queue.java:31)
      - waiting to lock <0x22e88b10> (a Queue)
      at WriteThread.putWorkItemOnQueue(WriteThread.java:54)
      at WriteThread.run(WriteThread.java:47)

"Writer Thread-20" prio=6 tid=0x02b00400 nid=0x19c waiting for monitor
entry [0x039df000..0x039dfa14]
   java.lang.Thread.State: BLOCKED (on object monitor)
      at Queue.enqueue(Queue.java:31)
      - waiting to lock <0x22e88b10> (a Queue)
      at WriteThread.putWorkItemOnQueue(WriteThread.java:54)
      at WriteThread.run(WriteThread.java:47)
```

```
"Read Thread-13" prio=6 tid=0x02af2400 nid=0x9ac waiting for monitor entry
[0x035cf000..0x035cfd14]
   java.lang.Thread.State: BLOCKED (on object monitor)
      at Queue.dequeue(Queue.java:55)
      - waiting to lock <0x22e88b10> (a Queue)
      at ReadThread.getWorkItemFromQueue(ReadThread.java:32)
      at ReadThread.run(ReadThread.java:23)

"Read Thread-96" prio=6 tid=0x047c4400 nid=0xaa4 waiting for monitor
entry [0x06baf000..0x06bafa94]
   java.lang.Thread.State: BLOCKED (on object monitor)
      at Queue.dequeue(Queue.java:55)
      - waiting to lock <0x22e88b10> (a Queue)
      at ReadThread.getWorkItemFromQueue(ReadThread.java:32)
      at ReadThread.run(ReadThread.java:23)
```

Należy zwrócić uwagę, że wszystkie adresy blokady podane w nawiasach trójkątnych w zapisie szesnastkowym są takie same. W ten sposób blokady są unikatowo identyfikowane w listingu dla `jstack`. Jeśli adresy blokad w śladach stosu są różne, znaczy to, że reprezentują różne blokady. Innymi słowy, ślady stosu wątków, które mają inne adresy blokad, dotyczą wątków nierywalizujących o tę samą blokadę.

Kluczem do odnalezienia w listingu dla `jstack` blokad, o które toczy się rywalizacja, jest poszukiwanie tego samego adresu blokady dla kilku śladów stosu i odnalezienie wątków oczekujących na nabycie tego samego adresu blokady. Jeśli kilka śladów stosu wątków próbuje nabyć ten sam adres blokady, oznacza to, że w aplikacji zachodzi rywalizacja o blokady. Jeśli kilka listingów dla polecenia `jstack` daje podobne rezultaty w postaci obserwowanej rywalizacji o tę samą blokadę, jest to silne wskazanie, że w aplikacji istnieje blokada charakteryzująca się wysokim poziomem rywalizacji wśród wątków. Zwróć też uwagę, że ślad stosu podaje lokalizację kodu źródłowego takiej blokady aplikacji Java, a patrząc z perspektywy historycznej, uzyskanie tej informacji było zawsze dość trudnym zadaniem. Korzystanie z komendy `jstack` w sposób opisany powyżej może znacznie ułatwić odnajdywanie w aplikacji blokad, o które toczy się rywalizacja.

Bibliografia

„Monitoring and Management for the Java Platform”,
http://download.oracle.com/javase/1.5.0/docs/guide/management/.

„Java SE Monitoring and Management Guide”,
http://download.oracle.com/javase/6/docs/technotes/guides/management/toc.html.

„Connecting to JMX Agents Explicitly”,
http://download.oracle.com/javase/6/docs/technotes/guides/visualvm/jmx_connections.html.

VisualVM, *https://visualvm.dev.java.net/features.html*.

jvmstat 3.0, *http://java.sun.com/performance/jvmstat*.

Skorowidz

C

D

E

F

G

H

I

J

K

L

Ł

M

N

O

P

Q

R

S

Ś

T

U

V

W

X

Z

Ż

Wydajność JAVY

Na rynku znajduje się już kolejne wydanie języka Java, oznaczone numerem 7. Oto najlepszy dowód, że język ten ma się dobrze i wciąż jest na topie. Oczywiście to potwierdza, że programiści Javy są jedną z najbardziej rozchwytywanych grup na rynku pracy. Dlatego warto zainwestować w naukę tego języka. Do Javy przylgnęła krzywdząca opinia, że jest powolna i mało wydajna, ale to mit! W dzisiejszych czasach język ten ani na krok nie ustępuje innym, a jeżeli zastosujesz się do wskazówek zawartych w tej wyjątkowej książce, może je nawet prześcignąć!

Na początku lektury dowiesz się, jak wiarygodnie monitorować obciążenie systemu operacyjnego — zużycie pamięci, obciążenie procesora oraz sieci. Następnie przejdziesz do tego, na co czekasz najbardziej: do dostrajania Twojej aplikacji oraz wirtualnej maszyny Java. Poznasz szczegółowo zasady działania mechanizmów odzyskujących pamięć oraz dostępne przełączniki, które potrafią w znaczący sposób wpłynąć na wydajność środowiska. Ponadto zgłębisz tematykę wydajności aplikacji internetowych oraz technologii EJB i JPA. Jest to długo oczekiwana na polskim rynku pozycja, poświęcona zagadnieniom niezwykle istotnym z punktu widzenia programisty. To Twoja obowiązkowa lektura na najbliższe dni!

Przekonaj się, jak szybka może być Java dzięki:

- wykorzystaniu właściwych przełączników
- zastosowaniu narzędzi do profilowania
- wyborowi właściwej wersji 32- lub 64-bitowej
- optymalizacji wykorzystania sieci i pamięci

Wyciśnij siódme poty z wirtualnej maszyny Java!

ISBN 978-83-246-4380-6

Cena: 89,00 zł