

Spis treści

1	Wstęp	1
1.1	Problematyka i zakres pracy	2
1.2	Założenia wstępne	3
1.3	Układ pracy	4
2	Analiza jakościowa i wydajnościowa aplikacji	5
2.1	Analiza wydajności serwera WWW	6
2.2	Analiza wydajności frontendu	11
2.3	Analiza wydajności bazy danych	13
3	Wymagania i budowa aplikacji	15
3.1	Zakres funkcjonalny	15
3.2	Budowa aplikacji	18
3.3	Projekt bazy danych	20
3.4	Organizacja kodu	20
4	Architektura aplikacji	22
4.1	Rodzaje chmur	22
4.2	Nie relacyjne bazy danych NoSQL	23
4.3	Aplikacja zorientowana na usługi	23
5	Optymalizacja aplikacji	24
6	Optymalizacja kodu klienta	25
7	Metody rozproszenia aplikacji i usług	26
	Bibliografia	27
	Spis rysunków	28
	Spis listingów	29
	Płyta CD	30

Abstract

Nowadays Internet has been used as a wide range marketing and business tool. Most people is using Internet in various fields of life. For this reason sites and web applications becomes crowded and overloaded. Some times they can even stop working which will result in loss of money. That is why creating of high performance and stable applications is so important today. Also giving possibility to access page by huge amount of users can be cost-effective, when we put some commercials.

Last but not least web application architecture needs to be considered. It is very common that companies are using expensive hosting solutions, that doesn't actually fit their needs. On the another hand, when periodically massive traffic comes, their servers cannot handle this. Thats why cloud service providers are considered to be a good alternative in this situations, because companies are paying only for resources actually used and nothing more.

This thesis will cover the topic of efficiency optimization of web applications. It will be splitted into 3 main areas of optimizations. Firstly optimization of application architecture will be considered and then other issues like frontend optimization as well as database and webserver tuning will be discussed. Also this thesis needs to provide some useful tools and techniques that need to be used for mesuring of actual application performance and availability. Without this knowledge we cannot even start the main part of optimization, because we do not find the typical bottlenecks.

Rozdział 1

Wstęp

Niniejsza praca dyplomowa dotyczy zagadnień inżynierii oprogramowania oraz technologii baz danych wykorzystanych w dziedzinie *e-commerce*. Główny cel badań stanowi przedstawienie realnych korzyści biznesowych wynikających z zastosowania szerokiego spektrum usprawnień aplikacji internetowych.

W treści pracy przedstawiona jest analiza technik optymalizacji aplikacji internetowych z uwzględnieniem wykonywanych po stronie serwera (*server side*) oraz szeregu usprawnień po stronie przeglądarki *client side*. Równie istotny jest wybór metod dających najlepsze rezultaty w świetle obecnych technologii. Dodatkowo ważne jest wyróżnienie wszystkich pośrednich czynników, które mogą w jakimkolwiek stopniu wpłynąć na działanie aplikacji.

Do implementacji systemu wykorzystano technologie skryptowe PHP oraz Python. Pierwsza z nich pozwoli na szybkie przedstawienie obrazu typowej aplikacji e-commerce (olbrzymi odsetek takich aplikacji w internecie jest napisanych właśnie w tym języku). Python z kolei pozwoli wykorzystać zalety platformy Google Application Engine (GAE), która zapewnia skalowalną architekturę do późniejszych testów.

Obserwacja zostanie przeprowadzona na przykładzie aplikacji z dziedziny *e-commerce* - księgarni elektronicznej. Wybór takiej tematyki jest celowy, ponieważ najczęściej właśnie w takich aplikacjach występują problemy natury optymalizacyjnej. Spowodowane jest to najczęściej koniecznością obsłużenia wielu klientów, transakcji bazodanowych, czy przede wszystkim generowanie rozbudowanego wizualnie interfejsu użytkownika. Podczas generowania obrazów, wykonywania kodu serwera, czy interpretowania rozbudowanych struktur dokumentu *HTML*, czas oczekiwania na wynik może się zauważalnie wydłużyć.

Praca ma również na celu prezentację narzędzi badawczych umożliwiających znalezienie wąskich gardeł aplikacji. Tylko sukcesywne łączenie różnych

narzędzi oraz ciągle monitorowanie działania zapewni oprogramowaniu stabilność oraz wysoką dostępność.

1.1 Problematyka i zakres pracy

Wraz ze wzrostem popularności Internetu jako medium informacyjnego, istotnym problemem stało się obsłużenie napływającego ruchu sieciowego ze strony użytkowników. Pojęcie czas to pieniądz ma tutaj kluczowe znaczenie, ponieważ umiejętność przetworzenia jak największej ilości użytkowników w jak najkrótszym czasie będzie przekładała się na realne zyski.

Innym ważnym problemem dotyczącym stron jest zapewnienie wysokiej dostępności usługi, czyli wyeliminowanie do minimum wszelkiego rodzaju przerw wynikających z błędów aplikacji. Temat ten związany jest jednak głównie z odpowiednią konfiguracją sprzętową czyli wykorzystaniem równoległe działających instancji sprzętowych, które będą wykorzystywane w celu zrównoważenia ruchu, lub awaryjnie w wypadku uszkodzenia nośnika danych na jednym z urządzeń.

W internecie istnieje stosunkowo dużo publikacji związanych z tematyką optymalizacji aplikacji webowych, jednakże w większości wypadków omawiany jest tylko nikły procent wszystkich zagadnień. Zazwyczaj pomijane są aspekty związane z kodem po stronie klienta, a także studium narzędzi i metod badawczych. Najpopularniejsze na rynku są publikacje dotyczące optymalizacji samego kodu lub zapytań bazodanowych w zależności od użytego języka aplikacji lub bazy danych.

Praca ma na celu przedstawienie możliwie najszerszego wachlarza technik optymalizacji. Należy przy tym zaznaczyć, że statystycznie tylko 20% czasu przetwarzania strony przez przeglądarkę, jest poświęcane na oczekiwanie na odpowiedź serwera. Implikuje to olbrzymie znaczenie optymalizacji kodu po stronie klienta w celu znacznego przyspieszenia odpowiedzi. Nie bez znaczenia są też czynniki takie jak lokalizacja geograficzna strony oraz konfiguracja serwera.

Obecnie Internet przestał już być tylko wojskowym eksperymentem, czy zaledwie miejscem na prezentację własnej strony domowej. Wyewoluował on do medium globalnej komunikacji z gigantyczną ilością klientów docelowych. Większość firm, instytucji czy organizacji rządowych czuje się w obowiązku posiadania i utrzymywania strony internetowej, zazwyczaj spełniającej określone cele biznesowe. Pokazuje to jak bardzo powszechnym narzędziem codziennego użytku jest dzisiaj globalna pajęczyna.

Ze względu na niekwestionowaną popularność języka PHP oraz jego ol-

brzymią prostotę - w stosunkowo krótkim czasie od powstania języka, zaczęły pojawiać się proste strony, następnie aplikacje internetowe a kończąc na portalach i usługach sieciowych. Język PHP stał się narzędziem na tyle uniwersalnym, że zagadnienia modelowane przy jego użyciu, można z powodzeniem przenieść na inne platformy takie jak *Java Enterprise* czy *.NET*. W sieci istnieje ponadto wiele gotowych implementacji systemów e-commerce: sklepów (np. Magento), systemów CRM (SugarCRM) czy np. platforma edukacyjna Moodle będąca częścią infrastruktury edukacyjnej Politechniki Łódzkiej np. dla Wydziału FTIMS. Wymienione przykłady zostały w całości zaimplementowane w języku PHP, a o ich popularności świadczą miliony ściągnięć i wdrażeń.

Jedną z wad gotowych rozwiązań jest fakt, że nie zawsze są one dostosowane do wszystkich stawianych przed projektem wymagań. Powoduje to, że, projekt docelowy w rezultacie otrzyma więcej funkcjonalności niż jest to wymagane. Z drugiej jednak strony możliwe jest, że gotowe rozwiązanie będzie wymagało szeregu usprawnień lub dodania nowych funkcjonalności. W większości wypadków, rozwiązania gotowe nie są jednak od początku dostosowane do bardziej zaawansowanych zastosowań lub wymagań wydajnościowych. Dlatego ważne jest by wykorzystując istniejące narzędzia skalować aplikacje do konkretnych potrzeb lub przewidzieć przyszłe obciążenie.

Projektowana w ramach pracy aplikacja stanowi studium przypadku analizy wydajnościowej aplikacji działającej w ściśle określonej architekturze. W ramach analizy omówione zostaną następujące zagadnienia:

- metody badawcze
- dobór odpowiedniej technologii,
- wybór właściwej architektury sprzętowej,
- projekt i optymalizacja bazy danych,
- optymalizacja kodu klienta,
- rozproszenie usług

1.2 Założenia wstępne

Treść pracy dyplomowej stanowi wypadkową informacji zawartych w dokumentacjach dotyczących użytych technologii, jak również wiedzy autora zdobytej podczas implementacji wielu zróżnicowanych aplikacji internetowych. Bardzo istotne dla publikacji były również informacje pochodzące ze sprawdzonych źródeł takich jak np. oficjalny blog programistyczny Yahoo. Serwis Yahoo ze względu na olbrzymie doświadczenie w kwestii skalowania aplikacji internetowych postanowił podzielić się tą wiedzą na łamach swoich

stron internetowych oraz kilku specjalistycznych książek.

W kolejnych rozdziałach omawiane będą kolejne etapy drogi, jaką pokonuje żądanie od rozpoczęcia do zwrócenia i zinterpretowania przez przeglądarkę użytkownika. Często kolejne etapy są prawie niezauważalne ze względu na małe różnice czasowe, jednak podczas wnikliwej analizy każdy z etapów trzeba rozpatrywać indywidualnie.

Analiza wydajnościowa przeprowadzana w wypadku prostych aplikacji, które nie będą w przyszłości podlegały intensywnemu obciążeniu nie ma w zasadzie sensu. Publikacja zyskuje na wartości w wypadku kiedy projekt jest bardziej rozbudowany, a my potrzebujemy szybkiego i rzetelnego sposobu na wykrycie potencjalnych elementów do optymalizacji.

1.3 Układ pracy

Praca została podzielona na następujące rozdziały:

- **Rozdział pierwszy** opisuje narzędzia badawcze, a także wyjaśnia teorię działania aplikacji opartych o protokół HTTP
- **W drugim rozdziale** przedstawiono wymagania stawiane przed aplikacją oraz jej budowę.
- **Trzeci rozdział** dotyczy optymalizacji związanych z wyborem odpowiedniej architektury.
- **Rozdział czwarty** dotyczy optymalizacji związanej z implementacją aplikacji
- **Rozdział piąty** dotyczy optymalizacji kodu klienckiego
- **Rozdział szósty** metody rozproszenia aplikacji i usług
- **Rozdział siódmy** podsumowanie i wnioski końcowe

Rozdział 2

Analiza jakościowa i wydajnościowa aplikacji

Projektując aplikacje, już w fazie projektowej, należy myśleć o zapewnieniu wysokiej wydajności, a także o potencjalnych problemach, które mogą się pojawić po wdrożeniu oprogramowania. W celu zapewnienia tworzonej aplikacji najwyższej skuteczności pracy, należy wziąć pod uwagę wiele cech, wśród których najważniejsze zdefiniowane są poniżej.

Skalowalność (ang. *Scalability*)

cecha aplikacji, określana jako zdolność do wzrostu wydajności aplikacji. Wraz ze zwiększeniem ilości dostępnych zasobów sprzętowych (serwery WWW, bazy danych, wydajniejsze procesory).

Niezawodność (ang. *High availability*)

stanowi projekt, jak i odpowiednią implementację systemu, zapewniającą określony poziom ciągłości wykonywania operacji w czasie. Polega to na zapewnieniu jak największej dostępności usługi.

Wydajność (ang. *Performance*)

przekłada się na możliwość faktycznego obsłużenia dużego ruchu sieciowego, przy jednoczesnym utrzymaniu czasu odpowiedzi aplikacji na stosownym poziomie.

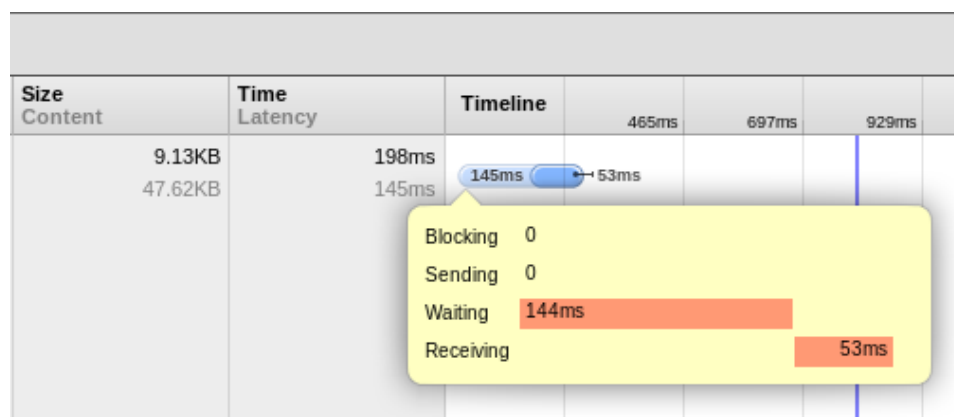
Często skalowalność jest mylona z wydajnością, jednak przekładając to na bardziej życiowy przykład, wydajność aplikacji można porównać do szybkiego samochodu. Z drugiej strony, bez zapewnienia odpowiednich dróg, ten szybki samochód lub ich grupa, nie jest w stanie rozwinąć maksymalnej prędkości. W najgorszym wypadku może nawet utknąć w korku, blokowany przez inne pojazdy. Skalowalność jest więc zapewnieniem **odpowiedniej infrastruktury** gwarantującej właściwy rozrost systemu.

W celu zapewnienia możliwie najlepszej jakości tworzonej aplikacji, należy stale monitorować aktualny poziom wydajności aplikacji. Należy jednak mieć na uwadze, że na wydajność aplikacji składa się czas przetwarzania poszczególnych węzłów systemu. Należy więc testować każde z nich osobnymi metodami, omówionymi w dalszej części pracy.

Szukając przyczyn błędów, warto rozpocząć analizę od najbardziej ogólnego komponentu czyli serwera WWW odpowiedzialnego za wysyłanie odpowiedzi na żądanie użytkownika. Następnie należy dokonać dekompozycji, wyróżniając kolejne węzły systemu, takie jak dalsze instancje serwera WWW czy serwery bazodanowe.

2.1 Analiza wydajności serwera WWW

Zadaniem serwera WWW jest wysłanie do inicjatora żądania wyniku przetwarzania zasobu określonego adresem URL. W najprostszym wypadku, analiza wydajności serwera, polega na odpytaniu go o określony zasób i zmierzenie czasu od rozpoczęcia tej akcji, do odebrania rezultatu. Taki proces można prześledzić i przeanalizować w większości popularnych przeglądarek np. Google Chrome, które jest wyposażone w wiele przydatnych narzędzi analitycznych (Rys. 2.1).



Rys. 2.1: Analiza czasu wykonywania strony <http://ftims.edu.p.lodz.pl/> wykonana w przeglądarce Google Chrome

Taki sposób analizy, jest jednak przydatny jedynie w wypadku znacznych problemów z wydajnością aplikacji, ponieważ testowanie czasu odpowiedzi dla pojedynczego użytkownika, wykonującego pojedyncze żądanie, nie jest w żadnym stopniu miarodajne.

W celu zapewnienia bardziej rzetelnego testu, należy skorzystać z dedykowanych rozwiązań takich jak **ab** oraz **siege**. Są to typowe narzędzia

przeznaczone do sprawdzania jak dobrze serwer radzi sobie z obsługą bardziej złożonego ruchu sieciowego. Przykładowo, dla wcześniej użytej strony, można zasymulować ruch równy wykonaniu 10 jednoczesnych żądań przez 10 niezależnych użytkowników. W tym celu należy wydać komendę `ab -n 10 -c 10 http://ftims.edu.p.lodz.pl/`. Rezultat działania komendy widoczny jest na listingu 2.1.

Listing 2.1: Analiza strony z wykorzystaniem narzędzia `ab`

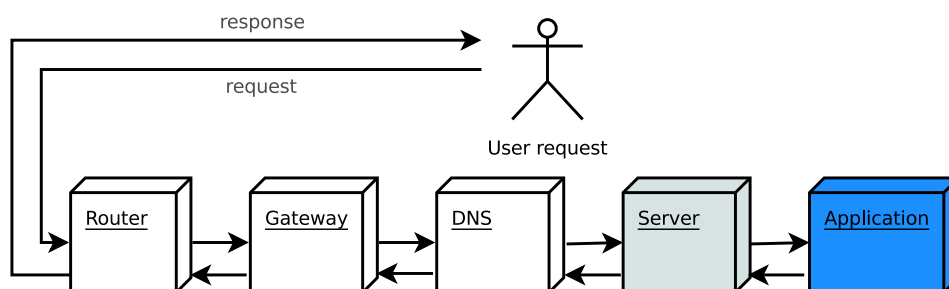
```
1 Server Software:      Apache/2.2.14
2 Server Hostname:      ftims.edu.p.lodz.pl
3 Server Port:          80
4
5 Document Path:        /
6 Document Length:      48759 bytes
7
8 Concurrency Level:     10
9 Time taken for tests:  0.695 seconds
10 Complete requests:    10
11 Failed requests:      0
12 Write errors:         0
13 Total transferred:    492510 bytes
14 HTML transferred:     487590 bytes
15 Requests per second:  14.38 [#/sec] (mean)
16 Time per request:     695.270 [ms] (mean)
17 Time per request:     69.527 [ms] (mean, across all concurrent
    requests)
18 Transfer rate:        691.77 [Kbytes/sec] received
19
20 Connection Times (ms)
21      min      mean[+/-sd] median   max
22 Connect:    52      63    7.4     63    74
23 Processing: 300    503   90.9    532   632
24 Waiting:    127    233   62.8    235   381
25 Total:      354    565   92.9    593   695
26
27 Percentage of the requests served within a certain time (ms)
28  50%      593
29  66%      612
30  75%      625
31  80%      628
32  90%      695
33  95%      695
34  98%      695
35  99%      695
36 100%      695 (longest request)
```

Jak można wywnioskować z powyższych danych, narzędzie wykonuje wiele przydatnych analiz, a także wyświetla informacje o badanym zasobie. Wiadą przede wszystkim, że czas oczekiwania na stronę przy 10 użytkownikach jest prawie trzykrotnie dłuższy, niż podczas jednego żądania wykonanego w przeglądarce (2.1).

Oczywiście na wyniki pomiarów ma także wpływ prędkość połączenia internetowego, dlatego w celu pominięcia dodatkowych czynników, testy docelowej aplikacji będą wykonywane przede wszystkim na lokalnym serwerze. Najbardziej miarodajną jednostką określającą wydajność aplikacji w wypad-

ku narzędzia *ab* jest liczba zapytań na sekundę (*req/s*). Określa ona maksymalną ilość żądań w jednostce czasu, jaką aplikacja jest w stanie obsłużyć. Oczywiście im większa wartość, tym lepsza ogólna wydolność aplikacji.

Na rysunku 2.2 przedstawiono cykl życia żądania od użytkownika je inicjującego, kończąc na odebraniu odpowiedzi serwera. Jak można zauważyć żądanie przebywa stosunkowo długą drogę, nim trafi do faktycznej aplikacji. Wynikiem tego są dodatkowe opóźnienia zależne od stopnia skomplikowania architektury trzech pierwszych węzłów. Dlatego też należy mieć na uwadze, że problemy z szybkością działania aplikacji nie muszą leżeć wyłącznie po stronie aplikacji lub serwera. Do najbardziej popularnych należą: niska przepustowość łącza internetowego klienta, wolny serwer DNS, daleka lokalizacja geograficzna serwera WWW, źle skonfigurowany router lub bardzo obciążona sieć lokalna.



Rys. 2.2: Cykl życia żądania

Nawiązując do listingu 2.1, wartościami związanymi ze wspomnianymi w poprzednim akapicie węzłami są **Connect** oraz **Waiting**, czyli odpowiednio czas oczekiwania na połączenie z zasobem i czas pobierania odpowiedzi z zasobu. Istnieje 5 głównych czynników wpływających na czas odpowiedzi serwera.

Położenie geograficzne i problemy z siecią komputerową.

Nie bez znaczenia dla czasu odpowiedzi, jaki użytkownik odczuwa jest też lokalizacja serwerów stron. Jeśli serwery są zlokalizowane w USA, a użytkownicy odwiedzający stronę są np. z Europy, dystans jaki musi pokonać żądanie od momentu dotarcia do zasobu, oczekiwania, aż do jego pobrania jest nie współmiernie większy niż w wypadku stron hostowanych dla tego samego położenia geograficznego. Stopień opóźnienia jest zazwyczaj uzależniony od ilości routerów, serwerów pośrednich, a nawet oceanów, które pokonuje żądanie od punktu początkowego do odbiorcy i z powrotem.

Wielkość dokumentu odpowiedzi serwera.

Zależność między wielkością dokumentu, a czasem odpowiedzi serwera jest

oczywista, łatwo więc sprawdzić, że im większy dokument trzeba pobrać, tym więcej czasu potrzeba na zakończenie tego procesu.

Wykonywanie kodu aplikacji.

Najczęstsza przyczyna wolnego działania aplikacji wynika właśnie z braku optymalizacji kodu klienta. Długi czas wykonywania kodu aplikacji implikuje, długi czas łączny oczekiwania na odpowiedź serwera. Problem ten zostanie szczegółowiej poruszony w rozdziale 5.

Rodzaj użytej przeglądarki.

Nie bez znaczenia dla ogólnego czasu ładowania strony jest również rodzaj użytej przeglądarki. Często wbudowane w przeglądarkę wewnętrzne mechanizmy buforowania zasobów pozwalają w znaczny sposób zredukować ilość zapytań wysyłanych do serwera. Dotyczy to zwłaszcza danych statycznych takich jak arkusze CSS, pliki JavaScript czy zasoby graficzne, które nie zmieniają się zbyt często.

Konfiguracja serwera WWW.

W zależności od użytej technologii, istnieje wiele różnych serwerów HTTP. Wśród najczęściej używanych, prym wiodzie serwer HTTP *Apache*. Dla rozwiązań napisanych w technologii Java często wykorzystywane są serwery *GlassFish*, *Tomcat*, *Jetty*. W większości wypadków zaraz po instalacji, oprogramowanie serwera nie nadaje się jeszcze do wykorzystania w produkcji. Należy wyważyć ustawienia serwera do bieżących potrzeb, ponieważ w większości wypadków domyślne ustawienia mogą znacznie obniżyć ogólną wydajność. Innym ważnym działaniem jest dostosowywanie serwera do konkretnych zastosowań - do serwowania plików statycznych lepszym rozwiązaniem jest wykorzystanie bardziej oszczędnego pamięciowo i operacyjnie serwera *Ngnix*, natomiast do bardziej zaawansowanych zastosowań, w tym wykonywanie kodu aplikacji, serwera *Apache* lub osobnej instancji serwera *Ngnix*.

Administratorzy serwerów WWW mają bezpośredni dostęp do statystyk odwiedzalności stron, przez co pozwala to zaobserwować pewne trendy odwiedzin użytkowników. Często jest tak, że dane zasoby są dużo intensywniej odpytywane przez użytkowników np. w czasie 10 minut stronę odwiedza 100 użytkowników. Łatwo to sobie wyobrazić np. w wypadku premiery jakiejś nowej gry, lub publikacji wyników egzaminu na uczelni. Taki periodyczny, lecz bardzo wzmożony ruch może powodować pewne trudne do ustalenia problemy z działaniem aplikacji. Dlatego też twórcy narzędzia *ab*, zaimplementowali również możliwość testów czasowych (ang. *timed tests*). W ten sposób można zasymulować jak strona będzie się zachowywała również w takich nagłych wypadkach.

Wydając komendę `ab -c 10 -t 30 http://ftims.edu.p.lodz.pl/`, można sprawdzić, jak zachowa się aplikacja odwiedzana przez 10 użytkowników jednocześnie w czasie 30 sekund. Ta komenda pozbawiona jest parametru *-t ilość*

żądań, oznacza to że symulacja zakończy się po 30 sekundach lub po osiągnięciu limitu 50 000 żądań.

Listing 2.2: Test obciążenia czasowego

```
1 Benchmarking ftims.edu.p.lodz.pl (be patient)
2 Finished 504 requests
3
4 Server Software:      Apache/2.2.14
5 Server Hostname:      ftims.edu.p.lodz.pl
6 Server Port:          80
7
8 Document Path:        /
9 Document Length:      48759 bytes
10
11 Concurrency Level:    10
12 Time taken for tests:  40.180 seconds
13 Complete requests:    504
14 Failed requests:      0
15 Write errors:         0
16 Total transferred:    24822504 bytes
17 HTML transferred:     24574536 bytes
18 Requests per second:  12.54 [#/sec] (mean)
19 Time per request:     797.213 [ms] (mean)
20 Time per request:     79.721 [ms] (mean, across all requests)
21 Transfer rate:        603.31 [Kbytes/sec] received
22
23 Connection Times (ms)
24      min      mean [+/-sd]  median    max
25 Connect:      48       65   14.3      61    145
26 Processing:   284     436  288.9     376   2957
27 Waiting:     119     199  281.5     151   2660
28 Total:       333     500  287.8     439   3007
29
30 Percentage of the requests served within a certain time (ms)
31  50%    439
32  66%    458
33  75%    477
34  80%    493
35  90%    563
36  95%    666
37  98%   1420
38  99%   2142
39 100%   3007 (longest request)
```

Listing 2.2 przedstawia wynik testów czasowych. Najważniejszą informacją z punktu widzenia optymalizacji jest ilość żądań na sekundę, która w tym wypadku wynosi 12.54. Narzędzie **ab** pozwala również zdiagnozować potencjalne błędy aplikacji pod wpływem zbyt dużego ruchu. Pola takie jak **Failed requests** oraz **Write errors** ułatwiają określenie prawidłowości wykonywania żądań. W powyższym przykładzie, wartości są akceptowalne (średni czas żądania to 0.5 sekundy), co najważniejsze nie występują błędy na poziomie serwera WWW i z dużym prawdopodobieństwem również na poziomie aplikacji. Oczywiście zauważalny jest spadek wydajności, w porównaniu z pierwszym testem, co prawda wartości średnie są zbliżone, jednak widać większe rozbieżności między wartościami minimalnymi a maksymalnymi. Najdłuższe zapytanie zajęło ponad 3 sekundy.

W dokumentacji aplikacji **ab**, można znaleźć informację, że niektóre serwery mogą blokować wysyłane przez niego nagłówki HTTP. W tym celu można wykorzystać przełącznik umożliwiający podanie się za inną przeglądarkę. Np. chcąc zasymulować odwiedzinę przy użyciu przeglądarki Chrome należy wykonać poniższą komendę. `ab -n 100 -c 5 -H "Mozilla/5.0 (Windows; U; Windows NT 5.1; en-US) AppleWebKit/534.2 (KHTML, like Gecko) Chrome/6.0.447.0 Safari/534.2" http://www.example.com.`

Pomimo wielu zalet wynikających z korzystania z narzędzia **ab**, istnieje jedna zasadnicza wada. Aplikacja nie daje możliwości przetestowania pewnego scenariusza lub jest to bardzo niewygodne, a przypadku aplikacji z wykorzystaniem technologii *JavaScript* i *AJAX* wręcz niewykonalne.

Dlatego też na przełomie lat wyspecjalizowały się bardziej zaawansowane narzędzia przeznaczone do prześledzenia logicznej kolejności działań wykonywanych na stronie (pewnego przypadku użycia) i wykonywanie analiz właśnie w ramach logicznego zbioru akcji. W ten sposób możliwe jest przeprowadzenie tzw. *testów funkcjonalnych*, a także sprawdzenie w jakim stopniu są one wrażliwe na zwiększony ruch sieciowy.

Jednym z przykładów takiego narzędzia o naprawdę olbrzymich możliwościach jest *Apache JMeter*. Z jego pomocą możliwe jest nagranie pewnego ciągu akcji wykonanych przy pomocy przeglądarki, a następnie przeprowadzenie ciągu analiz i testów na tak wyodrębnionym zbiorze. Tabela 2.1 pokazuje wynik działania przykładowego scenariusza polegającego na symulowaniu wejścia na stronę `http://www.wp.pl`, a następnie kliknięciu jednego z linków wiadomości, po czym kliknięciu na kolejny link z dostępnych na bieżącej stronie. Ostatnim elementem łańcucha akcji jest wysłanie komentarza do artykułu. JMeter podobnie jak **ab** umożliwia wykonywanie równoległych połączeń użytkowników określanych jako wątki (*threads*).

W zdefiniowanym przypadku użycia 5 użytkowników wykonuje jednocześnie tą logikę 500 razy. Na zakończenie dane możliwe są do wyeksportowania do formatu *CSV* lub wyświetlone bezpośrednio na ekranie. JMeter jest narzędziem bardzo rozbudowanym, przez co idealnie nadaje się do testowania zaawansowanych scenariuszy zarówno pod kątem poprawności działania, jak również ogólnej wydajności.

2.2 Analiza wydajności frontendu

W poprzednim podrozdziale została omówiona tematyka testowania czasu działania zasobów serwowanych przez serwer WWW. Wykorzystując wspomniane wcześniej narzędzia można jednoznacznie ustalić czy aplikacja funkcjonuje w sposób prawidłowy, czy nie występują błędy w pracy oraz jak dobrze oprogramowanie radzi sobie ze wzmożonym obciążeniem.

URL	Średnia	Min	Max	Błąd (%)	Req/Min
..14543704,wiadomosc.html	2299	415	94329	2.2	43.7
...1028235,wiadomosci.html	2485	335	94434	2.8	43.7
...14545325,wiadomosc.html	2023	394	94285	1.8	43.7
Łącznie	2269	335	94434	2.27	131.1

Tab. 2.1: Tabela z rezultatem działania aplikacji JMeter

Wydawać by się mogło, że problem testowania wydajności aplikacji został jednoznacznie omówiony. Nic bardziej mylnego, jedynie w idealnym świecie, strona WWW składała by się wyłącznie z tekstu, a użytkownicy do przeglądania internetu, korzystali wyłącznie z terminali.

Obecnie wszyscy użytkownicy korzystają przynajmniej z jednej przeglądarki internetowej, dlatego dla większej precyzji, konieczne jest wyszczególnienie pewnego kluczowego komponentu jakim jest front-end aplikacji. W przypadku aplikacji internetowych, front-end to graficzna nakładka służąca do komunikacji z użytkownikiem i prezentacji danych opracowanych przez architekturę systemu (back-end) w sposób przystępny i zrozumiały dla użytkowników. Odpowiednia optymalizacja frontendu jest o tyle ważna, że jest to pierwsza technologia z jaką użytkownik ma kontakt w momencie przeglądania aplikacji [1].

Frontend jest miejscem analizy i przetwarzania wyniku odpowiedzi serwera. W większości wypadków miejscem osadzenia frontendu jest przeglądarka WWW, natomiast językiem obowiązującej komunikacji jest język HTML. Od kilku lat w wyniku rozwoju trendu WEB 2.0 istotnym elementem każdej strony staje się przeniesienie części logiki aplikacji na stronę przeglądarki (frontendu). Cienkie do tej pory aplikacje webowe (thin client), zaczynają dzięki zdobyczom technologicznym takim jak AJAX stawać się grubymi klientami. Oznacza to, że przetwarzanie danych może mieć miejsce w przeglądarce internetowej.

Dlatego też istotnym elementem analizy wydajnościowej jest analiza frontendu. Wśród istniejących na rynku rozwiązań, najpopularniejszymi są te, które są wbudowane bezpośrednio w interfejs przeglądarki internetowej. Jednym z pierwszych rozwiązań tego typu była wtyczka Firebug napisana dla przeglądarki Firefox. Jest to obecnie najbardziej zaawansowane narzędzie tego typu, rywalizujące jednocześnie z natywnymi narzędziami deweloperskimi dla przeglądarki Chrome.

Interfejs Firebuga pozwala na szczegółową inspekcję kodu HTML wraz z możliwością dynamicznej podmiiany jego zawartości. Nie mniej ważnymi narzędziami, są: możliwość wykonywania i debugowania kodu JavaScript na

stronie, inspekcja związanego z dokumentem HTML obiektu DOM, edycja i rewizja kodu JavaScript oraz narzędzie do monitorowania ruchu sieciowego wykonywanego przez aplikację.

Ten ostatni moduł pełni podobną rolę do narzędzia **ab**, jednak wyświetla wszystkie zasoby, które mają bezpośrednie powiązanie z bieżącym dokumentem HTML. Omawiane wcześniej narzędzie pokazywał jedynie czas renderowania dokumentu HTML, jednak należy mieć na uwadze, że strona internetowa składa się z wielu różnych zasobów wśród których nie sposób pominąć: grafik, arkuszy CSS, dokumentów JavaScript, apletów Java, dokumentów Flash.

Każda strona może zawierać 0 lub więcej takich zasobów, dlatego na łączny czas ładowania strony składa się zarówno czas oczekiwania na dokument HTML, jak również czas konieczny na pobranie każdego z powiązanych z nim zasobów. Nawiązując do [2] istnieje zasada, która mówi, że w większości wypadków tylko 10-20% czasu odpowiedzi jest spędzane na oczekiwaniu na dokument HTML, natomiast pozostałe 80-90% to czas na pobieranie pozostałych zasobów.

Rysunek 2.3 jest najlepszym przykładem tej zasady. Strona wykonuje 32 zapytania do serwera, z czego tylko jedno to zapytanie o dokument HTML. Pobranie tego dokumentu zajęło około 400ms, tymczasem łączny czas wczytywania strony wyniósł 3.21 sekundy. Oznacza to, że generowanie dokumentu zajęło zaledwie 12% łącznego czasu oczekiwania. Na podstawie danych z Firebuga łatwo stwierdzić pewne nieprawidłowości, bowiem w ramach strony wczytywane są 2 stosunkowo duże (1,1 MB) dokumenty graficzne, które prawdopodobnie nie zostały zeskalowane do odpowiednich rozmiarów. **Firebug** stanowi, więc cenne narzędzie przy diagnostyce frontendu strony. Staje się jeszcze przydatniejszy przy pojawianiu się elementów dynamicznych JavaScript, ponieważ pozwala śledzić zarówno aktualnie wykonywany kod, jak również nasłuchiwać zapytań asynchronicznych wykonywanych przez AJAX. Narzędzie to może być również przydatne podczas śledzenia zmian dokonywanych w dokumencie HTML, za pomocą narzędzia inspekcji, umożliwia zbadanie każdego węzła.

2.3 Analiza wydajności bazy danych

Bardzo często ogólna wydajność aplikacji uzależniona jest od szybkości operacji odczytu / zapisu bazy danych. Pociąga to za sobą również testy tego węzła aplikacji.

Rozdział 2. Analiza jakościowa i wydajnościowa aplikacji

URL	Status	Rozmiar	Oś czasu
GET www.ftims.p.lodz.p	200 OK	30.8 KB	392ms
GET ufo.js	304 Not Modified	11.1 KB	181ms
GET top.gif	304 Not Modified	37 B	60ms
GET switch_minus.gif	304 Not Modified	155 B	77ms
GET swf.swf?path=http:	304 Not Modified	313.1 KB	68ms
GET styles.php	200 OK	99.3 KB	456ms
GET styles.php	200 OK	13 KB	322ms
GET square.jpg	304 Not Modified	13.7 KB	316ms
GET shadow.png	304 Not Modified	4.8 KB	204ms
GET plakat.jpg	200 OK	1.1 MB	2.08s
GET pdf.gif	304 Not Modified	897 B	59ms
GET overlib_cssstyle.js	304 Not Modified	8.6 KB	137ms
GET overlib.js	304 Not Modified	48.1 KB	129ms
GET link.png	304 Not Modified	552 B	214ms
GET javascript-static.js	304 Not Modified	18.2 KB	114ms
GET javascript-mod.php	200 OK	34 B	264ms
GET headermain.png	304 Not Modified	115.8 KB	54ms
GET header_separator.p	304 Not Modified	308 B	247ms
GET header_separator.g	304 Not Modified	900 B	196ms
GET forumolddiscuss_s	304 Not Modified	237 B	266ms
GET footer.jpg	304 Not Modified	26.3 KB	316ms
GET f2.jpg	200 OK	1.6 KB	188ms
GET f2.jpg	200 OK	1.7 KB	253ms
GET dropdown.js	304 Not Modified	2.5 KB	191ms
GET dotted.gif	304 Not Modified	49 B	111ms
GET cookies.js	304 Not Modified	2.4 KB	168ms
GET content_separator.i	304 Not Modified	904 B	256ms
GET bottom.gif	304 Not Modified	35 B	51ms
GET borders.png	304 Not Modified	230 B	163ms
GET belge_box.png	304 Not Modified	3.6 KB	141ms
GET baner_Lodz_duzy.gl	200 OK	1.1 MB	2.1s
GET baner_FTIMS.JPG	200 OK	36.1 KB	382ms
32 requests			2.9 MB (572.3 KB z bufora podręcznego) 3.21s (onload: 3.21s)

Rys. 2.3: Analiza ruchu sieciowego na stronie <http://ftims.p.lodz.pl>

Rozdział 3

Wymagania i budowa aplikacji

Aplikacja powinna spełniać wszystkie oczekiwane cele biznesowe, jak również zapewniać prawidłowe funkcjonowanie bez względu na aktualnie panujące warunki. Aplikacja demonstracyjna będzie księgarnią internetową oferującą wiele typowych funkcji, charakterystycznych dla tej branży.

Głównym celem tworzonego oprogramowania jest odpowiednie wyważenie pracy wykonanej po stronie serwera, jak również po stronie przeglądarki. Dlatego też duży nacisk pracy został położony na utworzenie usług udostępniających interfejs dostępowy do bazy danych. W ten sposób wykorzystując architekturę REST kod JavaScript może dokonywać modyfikacji modelu, przy najmniejszym udziale serwera WWW.

3.1 Zakres funkcjonalny

Projektowana aplikacja stanowi wirtualną księgarnię, podobnie jak w wypadku jej realnego odpowiednika, zapewnia możliwość przeglądania zasobów, podzielonych na kategorie lub oznaczonych określonymi słowami kluczowymi. W odróżnieniu od prawdziwej księgarni, w internetowych aplikacjach konieczne jest zdefiniowanie pewnej tożsamości, która będzie później podstawą do zakupu książki, lub sprawdzenia stanu zamówienia.

Dlatego też istotne jest stworzenie spójnego systemu uwierzytelniania, zapewniającego zarówno bezpieczeństwo, jak również łatwość ewentualnego przypomnienia zapomnianego hasła.

Ponieważ oferta książkowa, ciągle się zmienia, na rynek trafiają nowe książki, a nawet tworzą się nowe gatunki, istotną rolę w tworzonej aplikacji stanowi współlistnienie zarówno części przeznaczonej dla zwykłego użytkownika, jak również części administracyjnej (*backend*). Sekcja ta powinna być również zabezpieczona przed potencjalnym włamaniem lub złośliwym atakiem ze strony intruzów.

Część Administracyjna	Sekcja użytkownika
Dodawanie książek	Rejestracja
Edycja książek	Edycja i podgląd konta
Usuwanie książek	Ocenianie książek
Moderacja wpisów	Komentowanie książek
Dodawanie kategorii	Przeglądanie kategorii
Dodawanie plików do książek	Pobieranie streszczeń książek
Nadzorowanie kont użytkowników	Wyszukiwanie książek w wyszukiwarce

Tab. 3.1: Tabela z wykazem funkcjonalności

Ponieważ obecnie w dobie ery WEB 2.0 strony oferują dużo większą interakcję, niż było to możliwe na początku ery Internetu. Dlatego też projektowana aplikacja daje również możliwość oceny i komentowania istniejących zbiorów. Jest to bardzo ważne z punktu widzenia biznesu i sprzedaży, ponieważ popularność i przychylne noty, z pewnością napędzą chętnych do kupna.

Wymagania podzielono na część administracyjną i część użytkownika, natomiast zbiór funkcjonalności przedstawiony jest w tabeli 3.1.

Diagram komponentów dla tworzonej aplikacji został uwzględniony na rysunku 3.1. Jak można wywnioskować z diagramu, aplikacja wykorzystuje mapowanie obiektowo relacyjne w celu ułatwienia komunikacji z bazą danych. Jest to bardzo wygodne rozwiązanie dające wiele swobody i elastyczności tworzonemu oprogramowaniu.

Aplikacja powinna w jak największym stopniu odciążać serwer WWW od niepotrzebnych zapytań, w tym celu, akcje usuwania, oceniania i komentowania książek będą realizowane przez kod JavaScript. Dodatkowo część walidacji danych będzie w pierwszej fazie wykonywana również przy użyciu frontendu, dopiero w wypadku wyłączenia wykonywania skryptów, wykonane zostanie żądanie do sprawdzenia przez serwer. Takie podejście powinno znacznie zredukować obciążenie np. podczas rejestracji użytkowników, ponieważ serwer wykonuje tylko minimum swojej pracy (*Lazy Loading*).

Należy jednak mieć na uwadze bezpieczeństwo oprogramowania, dlatego nie należy polegać w 100% na walidacji wykonywanej przez JavaScript, ponieważ użytkownik może bez problemu wyłączyć działanie skryptów. Dlatego też podczas tworzenia tego typu rozwiązań walidacja po stronie klienta powinna iść zawsze w parze z walidacją po stronie serwera.

Ze względu na konserwację i rozwój tworzonej aplikacji, jest ona zarządzana przy pomocy systemu kontroli wersji git. W ten sposób tworzony kod

jest pod ścisłą kontrolą, może być potem rozwijany przez więcej niż jednego programistę, eliminując konflikty podczas pracy na wspólnych zasobach.

Aplikacja wykorzystuje język HTML5, który staje się powoli standardem tworzenia kodu po stronie klienta. Zawiera bowiem wiele nowoczesnych mechanizmów i udogodnień w stosunku do poprzedniej wersji np. HTML4 oraz XHTML 1.0. Mając na uwadze prawidłowe funkcjonowanie w poszczególnych przeglądarkach i różną implementację nowego standardu, aplikacja wykorzystuje dodatek **HTML5 Boilerplate** oraz **Twitter Bootstrap** jako metodę na otrzymanie podobnych rezultatów w szerokiej gamie urządzeń (w tym urządzenia mobilne).

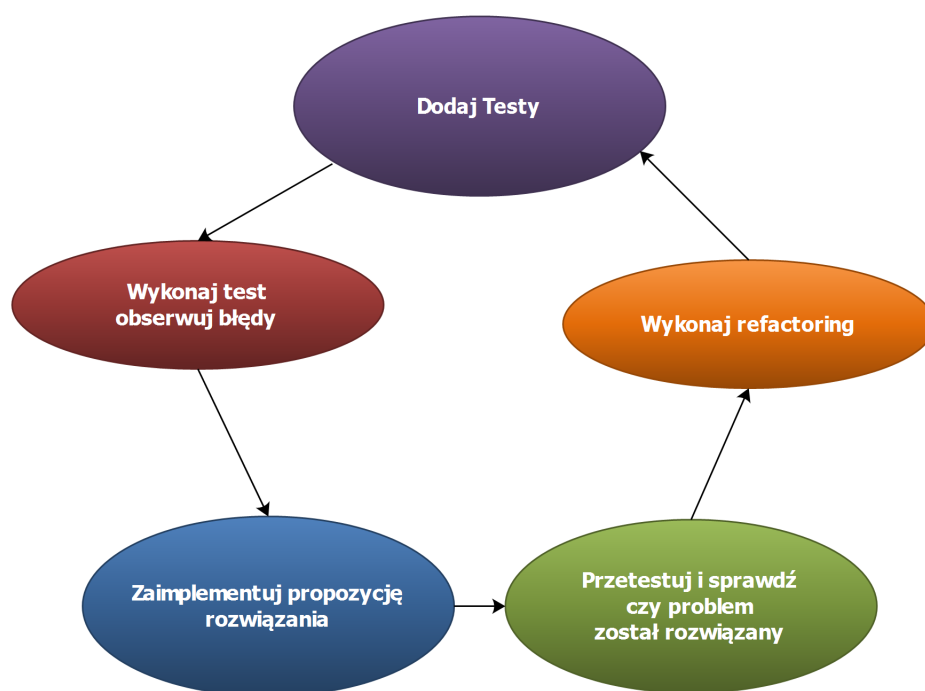
Projektowana aplikacja wykorzystuje technologię AJAX (ang. Asynchronous JavaScript and XML, asynchroniczny JavaScript i XML), dzięki czemu możliwa jest symulacja zachowania aplikacji desktopowej. Reakcja na akcje użytkownika następuje bez potrzeby przeładowania strony. Pozwala to na dużą oszczędność przepustowości i czasu koniecznego do przetworzenia całej strony. Dzięki zastosowaniu frameworka jQuery dla języka JavaScript, możliwe jest stosowanie bardziej przyjaznego interfejsu użytkownika, przy jednoczesnym zapewnieniu kompatybilności wstecz z istniejącymi wersjami przeglądarek internetowych.

3.2 Budowa aplikacji

Aplikacja została zbudowana przy pomocy frameworka symfony wykorzystując wzorzec projektowy MVC. W ten sposób możliwa jest separacja warstw logiki, modelu oraz widoku. Zapewnia to łatwość w utrzymaniu oprogramowania, przez co kod jest bardziej zrozumiały i mniej podatny na błędy.

Każdy element w systemie posiada szereg zależności, których nieprawidłowe działanie pociąga wiele daleko idących konsekwencji. Dlatego ważne jest, by kod aplikacji był spójny i podzielony na mniejsze jednostki budulcowe. Umożliwi to łatwiejsze wykrywanie problematycznych aspektów aplikacji, istotnych dla prawidłowego działania całego projektu. Ręczne testowanie całego projektu jest procesem żmudnym, trudnym, a niekiedy nawet niemożliwym. Dlatego istotne jest, by w rozbudowanych systemach z obszernym drzewem zależności, móc łatwo testować wprowadzane zmiany i przewidywać możliwe skutki uboczne.

W rozbudowanych aplikacjach zazwyczaj tylko osoba architekta oprogramowania ma całościowe pojęcie o tworzonej aplikacji. Dlatego też zwykły programista tworzący dany fragment aplikacji, może nie być świadom skutków ubocznych opracowywanej implementacji w stosunku do całego projektu. Ciągła konsultacja tworzonego kodu z architektem jest nie tylko nieekonomiczna, ale także może się okazać nieskuteczna. Dzieje się tak, bowiem



Rys. 3.2: Cykl wytwarzania w metodyce TDD

pewne detale działania aplikacji można omyłkowo pominąć lub zlekceważyć.

Rozwiązanie omawianego problemu polega na wykorzystaniu techniki tworzenia oprogramowania TDD (ang. *Test-driven Development*). Technika *programowania sterowanego testami* jest zaliczana do metodyk zwinnych *Agile*. Na rysunku 3.2, pokazano typowy cykl wytwarzania aplikacji. Każdy mechanizm wytwarzanego oprogramowania zakłada *pokrycie testami*, a same testy pisane są przed faktycznym kodem aplikacji.

Bardzo często aplikacja musi ulec modyfikacją polegającym na relokacji pewnych fragmentów kodu, przenosząc je w bardziej odpowiednie dla nich miejsce. Podczas takich zmian funkcjonalność kodu nie ulega zmianie, natomiast można narzucić realizację pewnych standardów, określanych mianem *konwencji kodowania*. Technika zmian określana jako *refactoring*, jest sposobem na zwiększenie czytelności kodu i polepszenie jego logicznej konstrukcji. Istnieje jednak ryzyko błędów wynikających z zależności pomiędzy modyfikowanymi fragmentami kodu a całą aplikacją. Stosując metodykę *TDD*, można uniknąć za każdym razem prawdopodobieństwa wystąpienia błędów wynikających z braku spójności.

3.3 Projekt bazy danych

Rysunek 3.3 przedstawia projekt bazy danych wykorzystanej przy okazji projektu. Diagram ERD przedstawia jednak bazę w podejściu relacyjnym, w późniejszej części pracy pokazana zostanie baza NoSQL, oraz proces denormalizacji, który musiał zostać dokonany.

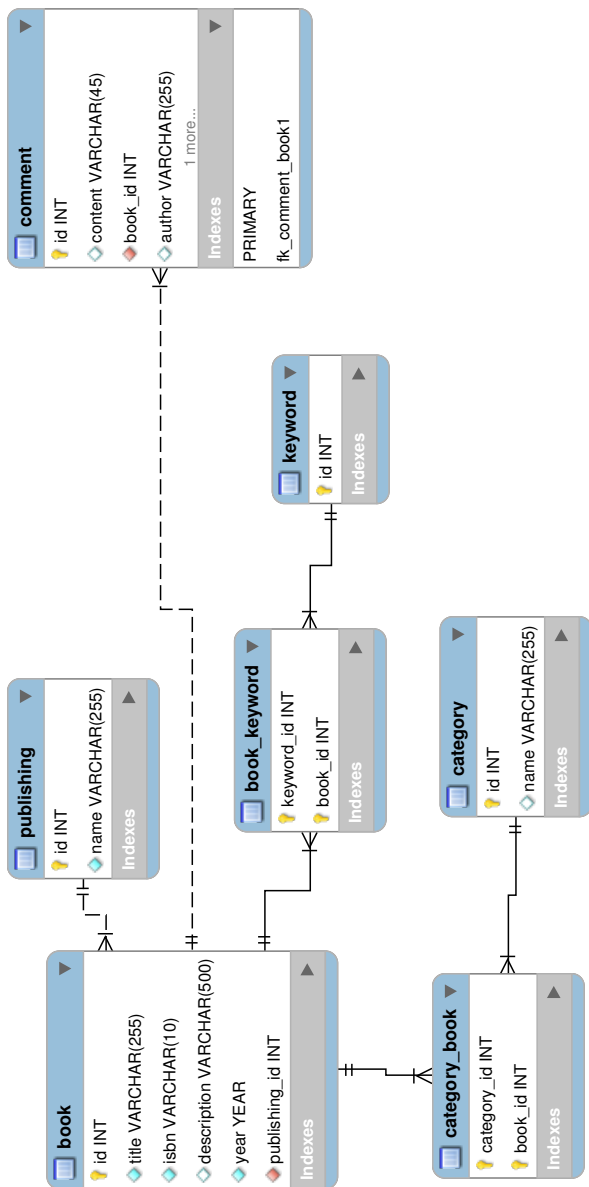
3.4 Organizacja kodu

Pewnym ułatwieniem w implementacji projektu będzie stworzenie mapy organizacji kodu, która umożliwi umiejscowienie elementów budulcowych projektu w kontekście całej aplikacji. Wyróżniono podział aplikacji, modułów oraz najbardziej atomowej części projektu, czyli akcji. Każdy z modułów wydziela charakterystyczną dla siebie dziedzinę przetwarzania, w większości wypadków ograniczaną przez docelową klasę modelu. W ten sposób moduł `school` dla aplikacji `frontend`.

Dzięki zastosowaniu technologii tworzenia prototypów modułów na podstawie istniejącego schematu bazy (*scaffolding*), większość modułów wchodzących w skład aplikacji `backend`, mogła zostać utworzona w sposób zautomatyzowany. W ten sposób implementacja modułów dla tej aplikacji została znormalizowana do interfejsu *CRUD*, a dzięki systemowi obsługi zdarzeń, można nadać dla każdego z modułów uniwersalne restrykcje. Budowa i działanie *generatorów*, wykorzystanych do osiągnięcia wspomnianego rozwiązania, zostało omówione w rozdziale ??.

Specyfika projektu zakłada konieczność komunikacji pomiędzy wieloma niezależnymi komponentami, które składają się na framework *Symfony*. Stwarza to konieczność utworzenia diagramu komponentów. Na podstawie rysunku 3.1 oraz przedstawionych w tym rozdziale przypadków użycia wiadać, że aplikacja wymaga zastosowania rozbudowanego systemu uprawnień *ACL* (*Access Control List*). Ponadto, konieczne jest przełożenie adresów URL, na odpowiednią logikę aplikacji. W tym celu wykorzystano komponent `EventDispatcher`, który dokona odpowiedniej interpretacji nadchodzących żądań.

Ponieważ projektowana aplikacja stawia wiele wymagań w stosunku do realizacji, konieczne będzie zastosowanie wzorca *Model-Widok-Kontroler* oraz narzędzi gwarantujących łatwy dostęp do bazy danych celem zapewnienia spójności implementacji.



Rys. 3.3: Projekt bazy danych

Rozdział 4

Architektura aplikacji

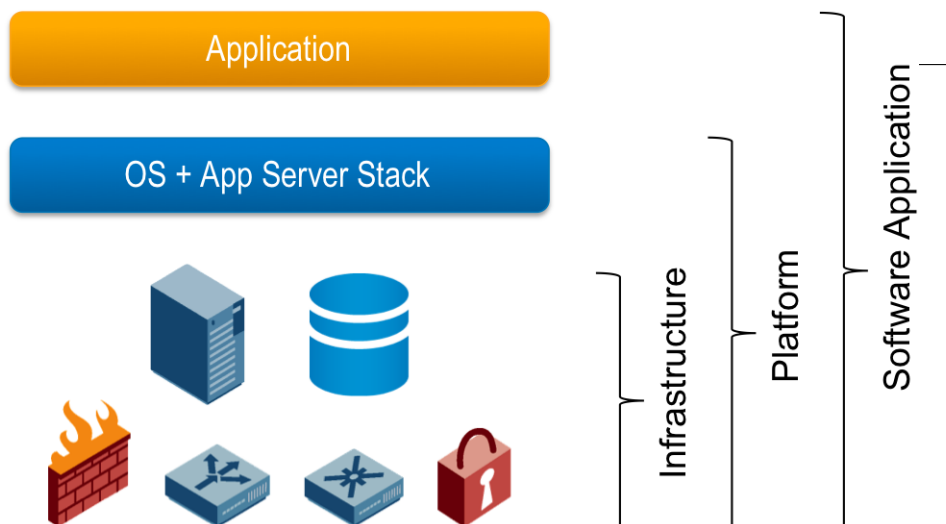
Istotnym celem pracy jest zapewnienie możliwie najlepszej w danej chwili wydajności. Twierdzenie to powinno być prawdziwe również wówczas, kiedy aplikacja znajduje się pod działaniem silnego ruchu sieciowego. Aby to zapewnić, konieczne jest wykorzystanie odpowiedniej architektury aplikacji.

Od kilku lat na rynku IT można zaobserwować duże zainteresowanie związane z chmurami obliczeniowymi. Jeszcze większe zamieszanie na rynku spowodowało udostępnienie przez Google oraz Microsoft ich produktów znanych jako *Google Application Engine* oraz *Windows Azure*. Są to usługi kwalifikowane jako *PaaS* czyli *Platform as a Service*. Oznacza to, że korzystając z ich produktów otrzymujemy kompletne środowisko uruchomieniowe aplikacji oraz zaplecze technologiczne umożliwiające uruchamianie aplikacji. W wypadku GAE możliwe jest programowanie aplikacji z wykorzystaniem udostępnionego przez usługę zbioru bibliotek, napisanych w trzech językach: Java, Python oraz Go. Następnie przy pomocy udostępnionych narzędzi możliwe jest wdrożenie aplikacji (*Deployment*).

Takie podejście do tworzenia aplikacji internetowych zyskało olbrzymią ilość zwolenników, ponieważ pozwoliło na całkowite przeniesienie ciężaru zarządzania skomplikowaną infrastrukturą na producentów rozwiązań *PaaS*. Innym ważnym powodem dla którego wielu ludzi zdecydowało się na wykorzystanie nowych usług, jest możliwość konfiguracji architektury do własnych potrzeb, a także (co było kluczowym powodem), do aktualnego obciążenia aplikacji.

4.1 Rodzaje chmur

Rysunek 4.1 pokazuje zasadnicze różnice między poszczególnymi rodzajami chmur. Chmura oferowana przez Google Application Engine, zapewnia wsparcie w zakresie architektury serwera, systemu plików, a także systemu bazodanowego. Dodatkowo GAE udostępnia również możliwość korzystania z usług w tle oraz serwerów mailowych.



Rys. 4.1: Zestawienie rodzajów chmury ze względu na udostępniane zasoby

Jak, więc wynika z zestawienia rodzajów chmur, oferuje ona dużo więcej ponad standardową infrastrukturę.

4.2 Nie relacyjne bazy danych NoSQL

Wraz z wykorzystaniem nie relacyjnych baz danych, zmienił się zupełnie pomysł na organizację danych. Siłą baz danych NoSQL jest brak ściśle określonej struktury, przez co schemat danych może się dowolnie zmieniać w trakcie rozwoju aplikacji. Innym ważnym powodem wykorzystania bazy Google Datastore oferowanej przez GAE jest szybkość i skalowalność. W odróżnieniu od zwykłego hostingu, baza danych w GAE może być rozproszona na dowolną ilość instancji.

4.3 Aplikacja zorientowana na usługi

Inną ważną cechą tworzonej aplikacji, jest wyszczególnienie usług (*webservicesów*), które pomogą w wykonywaniu operacji na modelu przy pomocy metod protokołu HTTP. Będą to więc popularne w dzisiejszych czasach usługi REST. Ze względu na specyfikę aplikacji i duży udział języka JavaScript w tworzonej logice, w większości wypadków usługi te będą zwracały w notacji JSON.

Rozdział 5

Optymalizacja aplikacji

Optymalizacja

Rozdział 6

Optymalizacja kodu klienta

Optymalizacja kodu klienta

Rozdział 7

Metody rozproszenia aplikacji i usług

Rozproszenie

Podsumowanie

Podsumowanie

Bibliografia

- [1] A. Padilla and T. Hawkins. *Pro PHP Application Performance Tuning PHP Web Projects for Maximum Performance*. Apress, 2010, address =.
- [2] S. Souders. *High Performance Web Sites*. O'Reily, 2007, address =.

Spis rysunków

2.1	Analiza czasu wykonywania strony http://ftims.edu.p.lodz.pl/ wykonana w przeglądarce Google Chrome	6
2.2	Cykl życia żądania	8
2.3	Analiza ruchu sieciowego na stronie http://ftims.p.lodz.pl . .	14
3.1	Diagram komponentów tworzonej aplikacji	17
3.2	Cykl wytwarzania w metodyce TDD	19
3.3	Projek bazy danych	21
4.1	Zestawienie rodzajów chmury ze względu na udostępniane za- soby	23

Spis listingów

2.1	Analiza strony z wykorzystaniem narzędzia ab	7
2.2	Test obciążenia czasowego	10

Płyta CD

Wraz z treścią pracy dyplomowej dołączono również płytę CD z kompletnym kodem źródłowym aplikacji. Dodatkowo kod można pobrać z poniższego repozytorium SVN: