



Politechnika Łódzka

Instytut Informatyki

INŻYNIERSKA PRACA DYPLOMOWA

MAPOWANIE OBIEKTOWO-RELACYJNE W JĘZYKU C++

Wydział: Fizyki Technicznej, Informatyki i Matematyki Stosowanej
Promotor: dr inż. Arkadiusz Tomczyk
Dyplomant: Marcin Maciaszczyk
Nr albumu: 165466
Kierunek: Informatyka
Specjalność: Inżynieria Oprogramowania i Analiza Danych

Łódź, 10 maja 2014r.

Instytut Informatyki

90-924 Łódź, ul. Wólczańska 215, **budynek B9**
tel. 042 631 27 97, 042 632 97 57, fax 042 630 34 14 email: office@ics.p.lodz.pl

Spis treści

1	Wstęp	4
1.1	Uzasadnienie wyboru tematu	4
1.2	Problematyka i zakres pracy	6
1.3	Cele pracy	7
1.4	Metoda badawcza	8
1.4.1	Studia literaturowe	8
1.4.2	Analiza istniejących rozwiązań	9
1.4.3	Stworzenie własnej aplikacji szkieletowej	9
1.4.4	Analiza porównawcza oraz testy	9
1.5	Przegląd literatury w dziedzinie	9
1.5.1	Literatura dotycząca języka C++ oraz Qt	9
1.5.2	Literatura dotycząca języka SQL	10
1.5.3	Literatura dotycząca mapowania obiektowo-relacyjnego	10
1.6	Układ pracy	10
2	Zagadnienia teoretyczne	12
2.1	Architektura warstwowa	12
2.2	Trwałość danych	13
2.3	Relacyjne bazy danych	13
2.4	Programowanie obiektowe	14
2.5	Wykorzystanie SQL w C++	14
2.6	Niedopasowanie paradygmatów	15
2.7	Koszt niedopasowania	16
2.8	Mapowanie obiektowo-relacyjne	16
3	Analiza istniejących rozwiązań	21
3.1	Kryteria analizy	21
3.2	Porównanie istniejących rozwiązań	22

4	Aplikacja szkieletowa Qubic	24
4.1	Moduły tworzonej aplikacji	24
4.2	Analiza wymagań	25
4.2.1	Wymagania funkcjonalne	25
4.2.2	Wymagania niefunkcjonalne	25
4.3	Projekt	26
4.3.1	Rodzaj aplikacji	26
4.3.2	Diagram klas	26
4.3.3	Wzorce projektowe	28
4.3.4	Środowisko programistyczne	28
4.3.5	System kontroli wersji	28
4.4	Implementacja	29
4.4.1	Interfejs CRUD	29
4.5	Konserwacja i inżynieria wtórna	37
4.6	Dokumentacja użytkownika	38
4.7	Przykładowa aplikacja wykorzystująca Qubica	39
4.8	Testy oraz ich wyniki	44
4.9	Perspektywy rozwoju Qubica	45
5	Podsumowanie	47
5.1	Dyskusja wyników	47
5.2	Perspektywy rozwoju pracy	48
	Bibliografia	48
	Spis rysunków	49
	Spis tabel	50
	Załączniki	51

Rozdział 1

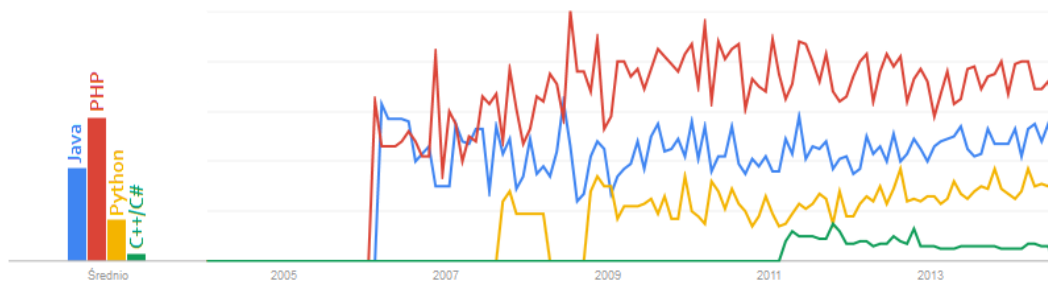
Wstęp

1.1 Uzasadnienie wyboru tematu

Wraz z rozwojem informatyki proces tworzenia oprogramowania wymaga od informatyków co raz większej wiedzy w poszczególnych dziedzinach takich jak na przykład bazy danych czy sieci komputerowe. Ciężko jest być specjalistą w każdej z nich, dlatego też podczas tworzenia oprogramowania programiści co raz częściej sięgają po różnego rodzaju narzędzia programistyczne, które mają za zadanie ułatwić im pracę, wykonując jej część za nich.

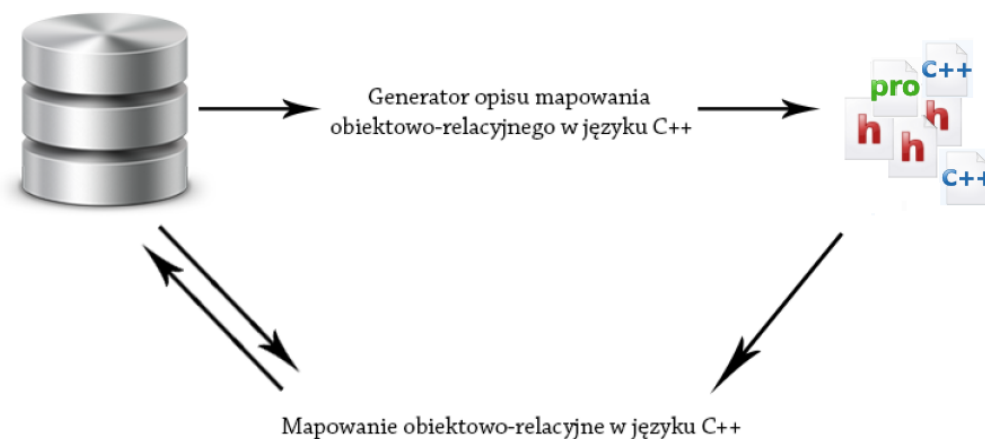
Przykładem wspomnianych narzędzi programistycznych są aplikacje szkieletowe wykorzystywane jako fundamenty dla tworzonych aplikacji czy też biblioteki programistyczne udostępniające zestawy funkcji związanych z wybranym zagadnieniem. Nie zawsze mamy możliwość skorzystania z nich, jednak jeśli taka istnieje warto to rozważyć, ponieważ podejmując decyzję o ich wykorzystaniu powstaje możliwość zaoszczędzenia sporej ilości czasu, który można poświęcić na rozwiązanie postawionego przed nami głównego problemu biznesowego, a także uniknąć wielu błędów związanych z niezajomością danej dziedziny.

Autor tej pracy wraz z kolegą z roku studiów – Sebastianem Florkiem, w ramach pisania pracy dyplomowej zdecydował się na współpracę przy tworzeniu wspólnej aplikacji szkieletowej, której zadaniem będzie realizowanie mapowania obiektowo-relacyjnego w języku C++. Wybór języka programowania autorzy tłumaczą dobrą jego znajomością nabytą w trakcie trwania studiów. Główny przedmiot pracy, czyli mapowanie obiektowo-relacyjne to obecnie zagadnienie co raz bardziej powszechne, szczególnie w językach programowania takich jak PHP czy Java. Programiści C++ nie mają już tak dużego wyboru wśród dostępnych narzędzi służących do mapowania obiektowo-relacyjnego, co także miało znaczenie podczas wyboru zagadnienia które niniejsza praca ma podejmować.



Rys. 1.1: Wykres przedstawiający popularność mapowania obiektowo-relacyjnego na przestrzeni czasu w wybranych językach programowania [9]

Podział pracy współautorów tworzonej aplikacji szkieletowej, dalej pojawiającej się także pod nazwą Qubic, był kluczową kwestią do ustalenia. Ostatecznie przyjęty został on w sposób następujący – tematem pracy Sebastiana jest „Generowanie opisu mapowania obiektowo-relacyjnego w języku C++” i to właśnie stworzenie generatora opisu mapowania jest głównym celem badawczym jego pracy. Zgodnie z tytułem tej pracy, jej autor będzie zajmował zrealizowaniem samego mapowania obiektowo-relacyjnego. Zadaniem generatora będzie wygenerowanie opisu mapowania w postaci plików nagłówkowych, klas oraz pliku projektu. Drugi moduł natomiast będzie implementował mapowanie obiektowo-relacyjne w wygenerowanych plikach oraz udostępnił interfejs dostępny dla użytkownika.



Rys. 1.2: Schemat współpracy modułów tworzonej aplikacji szkieletowej, dalej występującej też pod nazwą Qubic

1.2 Problematyka i zakres pracy

Programowanie obiektowe jest obecnie jednym z najpopularniejszych paradygmatów programowania, a pojęcia takie jak klasa czy obiekt znane są wszystkim programistom. Podobnie jest z relacyjnym modelem organizacji baz danych i terminami takimi jak relacja czy krotka. Chcąc wykorzystać oba te podejścia w jednej aplikacji musimy zadbać o obustronną konwersję pomiędzy danymi z tabel relacyjnej bazy danych a obiektami aplikacji. Tym właśnie zajmuje się mapowanie obiektowo-relacyjne, które wraz z tworzeniem aplikacji szkieletowych w języku C++ jest główną problematyką niniejszej pracy.

Tutaj powstaje pytanie czy na prawdę warto korzystać z bibliotek i aplikacji szkieletowych służących do mapowania obiektowo relacyjnego? Odpowiedź nie jest jednoznaczna w wszystkich przypadkach, ale warto wymienić jego podstawowe wady i zalety, których dokładniejsza analiza znajduje się w dalszej części pracy. Zaczniemy od zalet wykorzystania narzędzi ORM¹:

- Oszczędność – znacznie zredukowana zostaje ilość pracy wymagana na oprogramowanie dostępu do bazy danych.
- Uniezależnienie się od rodzaju systemu zarządzania bazą danych – możliwość korzystania z wielu rodzajów baz danych, a także możliwość jego zmiany w dowolnym momencie bez ponoszenia większych strat czasowych.
- Nieobowiązkowa znajomość języka SQL² – w celu tworzenia zapytań do bazy wykorzystywany jest udostępniany interfejs.
- Liczne funkcjonalności – aby skorzystać z transakcji, połączenia z bazą danych a także wielu innych funkcjonalności baz danych wystarczy zazwyczaj wywołać pojedynczą metodę.
- Model danych przechowywany w jednym miejscu – dzięki czemu łatwiej jest zarządzać kodem.

W parze z przedstawionymi zaletami pojawiają się także pewne wady:

- Konfiguracja jest najczęściej skomplikowana i wymaga sporo czasu.
- Aby efektywnie korzystać z narzędzi do mapowania obiektowo-relacyjnego wymagana jest ich dobra znajomość.

¹ mapowanie obiektowo-relacyjne (ang. Object-Relational Mapping)

² strukturalny język zapytań (ang. Structured Query Language)

- Proste zapytania są obsługiwane bardzo sprawnie, jednak gdy przetwarzamy duże ilości złożonych zapytań wydajność nie dorówna nigdy zapytaniom napisanym przez specjalistę znającego język SQL.
- Abstrakcja wprowadzona przez narzędzia ORM może okazać się uciążliwa, ponieważ nie zawsze zdajemy sobie sprawę z tego co dzieje się za kulisami w trakcie wykonywania poszczególnych operacji.

Głównym celem autorów Qubica jest sprawienie aby stał się on dobrą alternatywą dla nielicznych, ale istniejących już bibliotek oraz aplikacji szkieletowych realizujących mapowanie obiektowo-relacyjne w języku C++. Wszystkie znane rozwiązania są dostępne za darmo, jednak albo nie udostępniają one generatora opisu będącego w stanie wygenerować cały projekt aplikacji albo ich interfejsy nie należą do intuicyjnych. Wprowadzenie generatora oraz intuicyjnego interfejsu użytkownika powinno uczynić Qubica istotną alternatywą dla istniejących już narzędzi zakładając, że pozostała funkcjonalność mapowania obiektowo-relacyjnego zostanie zrealizowana poprawnie.

1.3 Cele pracy

Do najważniejszych celów niniejszej pracy dyplomowej należą:

- Analiza istniejących bibliotek oraz aplikacji szkieletowych realizujących mapowanie obiektowo-relacyjne w języku C++ – przeanalizowanie istniejących już narzędzi umożliwi dokładniejsze zapoznanie się z tematyką mapowania obiektowo-relacyjnego a także ze sposobem działania istniejących już rozwiązań, co umożliwi wykorzystanie najciekawszych pomysłów w Qubicu a także wskaże elementy, które mogą ulec w nim poprawie.
- Stworzenie własnej aplikacji szkieletowej realizującej mapowanie obiektowo-relacyjne w języku C++ – ułatwi dokładniejsze poznanie mechanizmów działających podczas mapowania obiektowo-relacyjnego oraz sposobów rozwiązywania pojawiających się problemów.
- Porównanie Qubica z wcześniej analizowanymi narzędziami – porównanie to pozwoli stwierdzić czy przyjęte założenia i zastosowane rozwiązania okazały się słuszne oraz czy Qubic wnosi coś nowego do grona istniejących rozwiązań.

Do celów części praktycznej należą:

- Stworzenie intuicyjnego interfejsu użytkownika – im mniej linii kodu musi zostać napisane w celu wykonania podstawowych operacji bazodanowych tym interfejs jest uważany za bardziej intuicyjny.
- Stworzenie generatora opisu mapowania obiektowo-relacyjnego – jest to celem pracy Sebastiana. Wspólnym celem obu autorów jest integracja utworzonych modułów.
- Poprawne zrealizowanie założeń mapowania obiektowo-relacyjnego, a także jak najlepsza optymalizacja zapytań – mapowanie musi odbywać się możliwie szybko, jednak najważniejsze jest zrealizowanie wszystkich jego założeń.
- Uczynienie konfiguracji Qubica jak najprostszą – najlepszym rozwiązaniem wydaje się być przeniesienie całej konfiguracji do pliku konfiguracyjnego, tak aby nie musiała ona zalegać w tworzonym kodzie.

1.4 Metoda badawcza

1.4.1 Studia literaturowe

Literaturę wykorzystaną podczas pisania niniejszej pracy można podzielić na trzy kategorie:

- Literatura dotycząca języka C++ oraz aplikacji szkieletowej Qt.
- Literatura dotycząca relacyjnych baz danych oraz języka SQL.
- Literatura dotycząca mapowania obiektowo-relacyjnego.

Na temat dwóch pierwszych kategorii powstało wiele książek oraz artykułów naukowych, ponadto ogromną ilość informacji można znaleźć w różnego rodzaju źródłach elektronicznych. W przypadku ostatniej kategorii wybór ten jest mniejszy, jednakże nadal można znaleźć na ten temat sporo informacji, szczególnie w języku angielskim. Kolejny podrozdział przedstawia najważniejsze pozycje w każdej z wymienionych powyżej kategorii.

1.4.2 Analiza istniejących rozwiązań

Poza podstawowym źródłem informacji jakim są studia literaturowe podczas pisania tej pracy przeprowadzona została analiza istniejących już narzędzi realizujących mapowanie obiektowo-relacyjne. Analiza taka umożliwia poznanie praktycznych rozwiązań problemów pojawiających się podczas prac badawczych nad daną tematyką.

1.4.3 Stworzenie własnej aplikacji szkieletowej

Praktyka jest najczęściej najlepszą z dostępnych metod nauki i to właśnie podczas tworzenia własnej aplikacji można się najbardziej z wybranym tematem zapoznać. Wszystkie problemy, które pojawiały się podczas pisania Qubica musiały zostać w pewien sposób rozwiązane i to właśnie analiza tych problemów i ich rozwiązywanie było główną metodą badawczą wykorzystaną podczas pisania niniejszej pracy.

1.4.4 Analiza porównawcza oraz testy

Analizując wcześniej istniejące już rozwiązania i porównując je z własnym można dojść do najtrafniejszych wniosków. To właśnie na tym etapie często dowiadujemy się czy przyjęte przez nas założenia i zaproponowane rozwiązania były lepsze niż te które przyjęli autorzy istniejących już rozwiązań.

1.5 Przegląd literatury w dziedzinie

1.5.1 Literatura dotycząca języka C++ oraz Qt

W celu zasięgnięcia informacji na temat programowania w języku C++ i zagadnień z nim związanych najczęściej wykorzystywaną pozycją książkową była „Symfonia” [1] Jerzego Grębosza. Najlepszym jej określeniem jest „kurs programowania w języku C++”, opisane zostały w niej jednak zagadnienia dotyczące nie tylko języka C++, a także co istotne dla autora niniejszej pracy zagadnienia dotyczące obiektowości.

Poza tym wartościowym źródłem wiedzy podczas tworzenia Qubica była specyfikacja języka C++ [6] oraz dokumentacja aplikacji szkieletowej Qt [7].

1.5.2 Literatura dotycząca języka SQL

Kluczowym zadaniem Qubica jest tworzenie jak najefektywniejszych zapytań w języku SQL, wiedza autora na ten temat pochodzi w głównej mierze z książki Johna Viescasa o tytule „SQL Queries for Mere Mortals” [4]. Wyjaśnione zostały w niej zagadnienia dotyczące tworzenia zapytań w języku SQL oraz podstawy związane z bazami danych.

W tym przypadku wartościowa okazała się też specyfikacja języka MySQL [8].

1.5.3 Literatura dotycząca mapowania obiektowo-relacyjnego

Głównym źródłem wiedzy autora na temat mapowania obiektowo-relacyjnego były książki „Hibernate w akcji” [2] oraz „Java Persistence with Hibernate” [3] napisane przez Christiana Bauera oraz Gavina Kinga. Ich tytuły mogą być mylące, wstępne rozdziały dokładnie opisują tematykę mapowania obiektowo-relacyjnego nie uwzględniając kontekstu języka Java czy aplikacji szkieletowej Hibernate.

Ponadto liczne źródła elektroniczne, wśród których dominują artykuły naukowe również okazały się pomocne. Odniesienia do nich jak i do wszystkich innych wykorzystanych źródeł najłatwiej znaleźć z bibliografii, znajdujące się na ostatnich stronach pracy.

1.6 Układ pracy

Tematem niniejszej pracy jest mapowanie obiektowo-relacyjne w języku C++, zaś za jej główny cel przyjęto przeanalizowanie istniejących bibliotek oraz aplikacji szkieletowych realizujących mapowanie obiektowo-relacyjne oraz stworzenie własnej aplikacji szkieletowej.

Najważniejszym celem pracy jest przeanalizowanie istniejących narzędzi służących do mapowania obiektowo-relacyjnego w języku C++ oraz stworzenie na podstawie tej analizy własnej aplikacji szkieletowej realizującej to samo zagadnienie.

Praca rozpoczyna się od uzasadnienia wyboru tematu pracy, a także opisu celów pracy, jej problematyki, zakresu, wykorzystanych metod badawczych, przeglądu literatury oraz jej układu.

W kolejnym rozdziale zawarte zostały objaśnienia zagadnień teoretycznych dotyczących relacyjnych baz danych, programowania obiektowego oraz przede wszystkim z mapowania obiektowo-relacyjnego. Można w nim znaleźć informacje na tematy związane także z architekturą aplikacji, trwałością danych w aplikacjach czy z językiem SQL.

Następnie autor przedstawia analizę istniejących już narzędzi służących do mapowania obiektowo-relacyjnego napisanych w języku C++ biorąc pod uwagę wcześniej wymienione kryteria analizy.

Czwarty rozdział przedstawia projekt aplikacji szkieletowej Qubic tworzonej w ramach części badawczej niniejszej pracy, a w tym między innymi postawione wymagania, opis implementacji czy też porównanie z wcześniej analizowanymi narzędziami.

Praca kończy się podsumowaniem, które zawiera dyskusję wyników oraz dalsze perspektywy jej rozwoju.

Rozdział 2

Zagadnienia teoretyczne dotyczące mapowania obiektowo-relacyjnego

2.1 Architektura warstwowa

Architektura warstwowa opisuje interfejs pomiędzy kodem, który implementuje różne zadania, by zmiana w jednym z zadań i sposobie jego wykonania nie odbijała się na zmianach w innych warstwach. W ten sposób programista jest w stanie sprawniej wprowadzać poprawki oraz nowe elementy do tworzonej aplikacji. Typowa i sprawdzona architektura aplikacji wysokiego poziomu składa się z trzech warstw: prezentacji (nazywanej też warstwą widoku), logiki biznesowej oraz trwałości danych [2].



Rys. 2.1: Warstwowa architektura aplikacji [2]

Zadaniem poszczególnych warstw jest [2]:

- Warstwa prezentacji – zawiera logikę interfejsu użytkownika, czyli między innymi kod odpowiedzialny za wyświetlanie okien, formularzy czy też tabel.
- Warstwa logiki – jej postać bywa zróżnicowana, przyjmuje się jednak, że powinna zawierać implementację reguł biznesowych i wymagań systemowych, które zostały uznane za dziedzinę rozwiązywanego problemu.
- Warstwa trwałości danych – stanowi grupę klas i komponentów odpowiedzialnych za zapamiętywanie danych i odczytywanie ich z wybranych źródeł. Zawiera ona także model elementów dziedziny biznesowej.

2.2 Trwałość danych

Kluczowym zadaniem podczas tworzenia aplikacji jest zapewnienie trwałości danych, co oznacza zapewnienie, że po zakończeniu działania aplikacji zebrane dane nie mogą zostać utracone [3]. W przeciwnym wypadku znalezienie zastosowania dla takich aplikacji byłoby znacznie cięższym zadaniem a rozwiązanie wielu problemów za ich pomocą byłoby niemożliwe. Nie możemy przecież wyobrazić sobie systemu bankowego po którego ponownym uruchomieniu dane na temat wszystkich klientów i posiadanych przez nich środków zostałyby utracone.

2.3 Relacyjne bazy danych

Większość programistów problem trwałości danych rozwiązuje poprzez wykorzystanie relacyjnych baz danych jako „magazynu danych” oraz języka SQL w roli „zarządzającego danymi”. Pojęcia te są powszechnie znane, jednakże warto przypomnieć ich definicje:

Definicja 1 *Relacyjna baza danych – zbiór danych w postaci tabel połączonych ze sobą relacjami [10].*

Definicja 2 *Język SQL – strukturalny język zapytań pozwalający na wprowadzanie zmian w strukturze bazy danych, a także zmian w samej bazie czy też pobieranie z niej informacji. Język ten opiera się na silniku bazy danych, który pozwala tworzyć zapytania [4].*

Duża popularność relacyjnych baz danych wynika z ich licznych zalet, do których należą między innymi łatwość modyfikacji przechowywanych w nich danych, zmniejszona możliwość popełnienia pomyłki czy też duża elastyczność i szybkość w zarządzaniu danymi. Ma to miejsce kosztem zmniejszonej wydajności w stosunku do innych modeli danych [3]. Relacyjne bazy danych swoje zastosowanie znajdują w wielu systemach i platformach technologicznych, są one najczęściej podstawową reprezentacją dla elementów biznesowych [2].

Aby jak najskuteczniej korzystać z narzędzi mapowania obiektowo-relacyjnego warto zaznajomić się z relacyjnymi bazami danych oraz językiem SQL. Wiedza ta umożliwia tworzenie aplikacji działających sprawniej i bardziej odpornych na wszelkiego rodzaju błędy. Szczególnie przydatna może okazać się znajomość języka SQL, który jest fundamentem mapowania obiektowo-relacyjnego oraz wszystkich innych aplikacji wykorzystujących relacyjne bazy danych w celu zapewnienia trwałości danych.

2.4 Programowanie obiektowe

W aplikacjach stworzonych w oparciu o paradygmat programowania obiektowego, trwałość danych umożliwia przechowanie obiektów po zakończeniu działania aplikacji aż do momentu kiedy przy jej ponownym uruchomieniu nie zajdzie potrzeba jego wczytania z powrotem. Obiekt jest przechowywany na dysku twardym, a nie jak wcześniej w pamięci operacyjnej komputera, a ich ilość nie jest ograniczona, „utrwalany” może być pojedynczy obiekt, ale także całe ich struktury. Warto pamiętać, że większość obiektów nie jest trwała. Obiekty ulotne mają ograniczony czas życia, związany z tworzoną przez nie procesem czy też metodą [2].

Obecne relacyjne bazy danych udostępniają zestaw mechanizmów umożliwiających manipulowanie, sortowanie, wyszukiwanie czy też zbieranie danych. Odpowiedzialne są one także za nadzorowanie operacjami współbieżnymi oraz nad integralnością danych. W przypadku gdy z bazą połączonych jest kilka aplikacji klienckich do jej zadań należy zarządzanie wszystkimi operacjami oraz unikanie błędów. Decydując się na wykorzystanie relacyjnych baz danych wymienione mechanizmy wykonują sporą część pracy, która wcześniej musiała zostać wykonana przez programistę [3].

2.5 Wykorzystanie SQL w C++

Podczas korzystania z bazy danych w aplikacjach C++ wykorzystywane są łączniki, które przesyłają instrukcje SQL do bazy danych. Instrukcje mogą być tworzone

ręcznie lub generowane przy użyciu kodu C++, zadaniem łącznika jest przesłanie zapytania, odebranie odpowiedzi bazy danych oraz powiadomienie o ewentualnych błędach.

Większość programistów jednak najbardziej zainteresowana jest problemem biznesowym który musi rozwiązać, a tworzenie zapytań oraz zarządzanie bazą danych im to w pewien sposób utrudniają. System, który wykona wszystkie zadania związane z trwałością danych za programistę tak, żeby ten mógł poświęcić się jedynie rozwiązaniu postawionego przed nim problemu wydaje się być najlepszym rozwiązaniem takiej sytuacji.

W związku z tym, że oprogramowanie dostępu do relacyjnej bazy danych z poziomu obiektowych aplikacji nie należy do najłatwiejszych zadań wiele osób będzie się zastanawiać czy na prawdę warto to robić. Czy nie lepiej skorzystać z mało popularnych, ale istniejących przecież obiektowych baz danych? Panująca sytuacja pokazuje, że nie. Relacyjne bazy danych okazują się najbardziej sprawdzoną technologią i zdecydowana większość aplikacji je wykorzystuje.

2.6 Niedopasowanie paradygmatów

Jak zauważają autorzy książki „Hibernate w akcji” [2] podstawowym problemem w przypadku wykorzystania relacyjnych baz danych oraz programowania obiektowego jest niedopasowanie paradygmatów. Problem ten może zostać podzielony na kilka mniejszych problemów:

- Problem szczegółowości – programiści mogą tworzyć nowe klasy z różnym poziomem szczegółowości. Mniej znacząca klasa, na przykład *Adress*, może zostać osadzona w klasie bardziej znaczącej, na przykład *User*. W bazie danych szczegółowość może zostać zaimplementowana jedynie na poziomie tabeli *USER* oraz kolumny *ADRESS*. Jest to jednak problem bardzo łatwy do rozwiązania za pomocą tabel powiązanych ze sobą relacjami.
- Problem podtypów – dziedziczenie oraz polimorfizm to podstawowe mechanizmy programowania obiektowego i w praktycznie każdej aplikacji znajdziemy ich wykorzystanie, relacyjne bazy danych nie udostępniają jednak tych mechanizmów co jest kolejną przyczyną niedopasowania.
- Problem identyczności – w przypadku bazy danych encje są identyczne gdy ich klucze główne są takie same. W programowaniu obiektowym obiekty są sobie równe gdy mają takie same wartości pól lub gdy są identyczne (mają tę samą referencję).

- Problemy dotyczące asocjacji – w modelu obiektowym asocjacje reprezentują związki między klasami, na przykład pomiędzy klasami `User` i `Adress`. Języki obiektowe używają w tym celu referencji czy też wskaźników, stąd też łatwo zauważyć, że asocjacje w modelu obiektowym są kierunkowe lub też dwukierunkowe jeśli obie klasy mają do siebie referencje. W przypadku baz danych nie istnieją asocjacje dwukierunkowe, wyróżniamy jedynie relacje jeden do wielu oraz jeden do jednego. Relacja wiele do wielu jest tak na prawdę złożeniem dwóch relacji jeden do wielu z dodatkową tabelą łącznikową, nazywaną też asosjacyjną.
- Problem nawizgacji po grafie obiektów – sposób dostępu do obiektów znacznie różni się od dosępu do danych w relacyjnych bazach. Chcąc na przykład uzyskać informacje o ulicy na jakiej mieszka wybrany użytkownik systemu wywołamy metodę `user.getAdress().getStreet()`, wywołanie takie nazywane jest chodzeniem po grafie obiektu. Przedstawiony sposób niestety nie sprawdza się w przypadku nawigacji w relacyjnych bazach danych. Rozwiązaniem jest minimalizacja ilości zapytań kierowanych do bazy danych, a więc wykorzystanie mechanizmów złączeń jednakże wydajność nigdy nie będzie taka sama jak w przypadku modelu obiektowego.

2.7 Koszt niedopasowania

2.8 Mapowanie obiektowo-relacyjne

Poza przedstawionym wcześniej klasycznym podejściem zapewniania trwałości danych w aplikacjach, w którym programista sam tworzy bazę danych a potem nią zarządza konstruując zapytania w języku SQL, istnieje także inne rozwiązanie tego problemu nazywane najczęściej mapowaniem, bądź też odwzorowaniem obiektowo-relacyjnym [2].

W pierwszym rozdziale podczas opisu problematyki pracy została przedstawiona uproszczona definicja mapowania obiektowo-relacyjnego, biorąc pod uwagę pojęcia opisane w tym rozdziale można ją tym razem zapisać w sposób następujący:

Definicja 3 *Mapowanie obiektowo-relacyjne – automatyczna i niewidoczna dla użytkownika realizacja trwałości obiektów w aplikacji zamieniająca je na wpisy w relacyjnej bazie danych na podstawie metadanych opisujących klasę. Mapowanie działa jako dwukierunkowy translator danych z jednej reprezentacji w inną [2].*

Narzędzia realizujące mapowanie obiektowo-relacyjne składają się z w większości przypadków następujących elementów [2]:

- Interfejsu do przeprowadzania podstawowych operacji CRUD¹ na obiektach klas zapewniających trwałość.
- Interfejsu umożliwiającego tworzenie zapytań związanych z klasami oraz ich właściwościami.
- Narzędzia do określania metadanych.
- Technik takiej implementacji mapowania, aby poprawnie współgrało ono z obiektami transakcyjnymi wykonując wszystkie dostępne operacje.

W zasadzie więc terminu mapowania obiektowo-relacyjnego można użyć w odniesieniu do dowolnej warszwy trwałości, która zapytania do bazy danych generuje automatycznie na podstawie opisu w postaci metadanych. Tworzenie jednak takiego generatora dla pojedynczej aplikacji często mija się z celem i lepszym rozwiązaniem jest skorzystanie z gotowego narzędzia służącego do mapowania bądź też własnoręczna implementacja warstwy trwałości w wybranej aplikacji. W przypadku wyboru jednego z gotowych narzędzi w ogóle nie musimy zajmować się implementacją warstwy trwałości, ponieważ korzystamy z już wcześniej przygotowanej.

Do sposobów implementacji mapowania obiektowo-relacyjnego należą [2]:

- Pełna relacyjność – cała aplikacja, włączając w to interfejs użytkownika, zaprojektowana jest wokół modelu relacyjnego i podstawowych operacji języka SQL. Aplikacje takiej części logiki mogą mieć przeniesione do warstwy bazy danych.
- Lekkie odwzorowanie obiektów – encje są reprezentowane przez ręcznie napisane klasy odpowiadające tabelom relacyjnym. Kod SQL zostaje schowany przed logiką aplikacji dzięki wzorcom projektowym.
- Średnie odwzorowanie obiektów – aplikacja jest zaprojektowana wokół modelu obiektowego. Kod SQL jest generowany dynamicznie przez szkielet systemu.
- Pełne odwzorowanie obiektów – obsługuje wyrafinowane modele obiektowe stosując kompozycję, dziedziczenie i polimorfizm. Warstwa trwałości w sposób niewidoczny implementuje zapis i odczyt danych. Ten poziom funkcjonalności jest najtrudniejszy do osiągnięcia i uzyskiwanie go na potrzeby pojedynczej aplikacji nie ma sensu.

¹ utwórz, odczytaj, zaktualizuj oraz usuń (ang. Create, Read, Update and Delete)

Dlaczego warto korzystać z mapowania obiektowo-relacyjnego? Podstawową zaletą dla programisty jest z pewnością możliwość uniknięcia pisania własnoręcznie wszystkich zapytań, a zamiast tego skorzystanie z gotowych metod wybranego narzędzia. Mogłoby to sugerować, że decydując się na korzystanie z mapowania nie musimy znać się ani na relacyjnych bazach danych, ani na języku SQL, jest to jednak nieprawda, ponieważ wydajność tworzonych w taki sposób aplikacji byłaby znacznie mniejsza od tych napisanych przez programistów którym te pojęcia nie są obce. Przyjrzyjmy się jeszcze raz podstawowym zaletom mapowania obiektowo-relacyjnego [2]:

- **Produktywność** – warstwa trwałości jest bardzo niewdzięczną warstwą do oprogramowania, decydując się na skorzystanie z narzędzi mapujących problem ten zostaje wyeliminowany a cała uwaga programisty może zostać poświęcona innym warstwom aplikacji.
- **Konserwacja** – brak warstwy logiki w kodzie napisanym przez programistę czyni system bardziej zrozumiałym, czytelniejszym, a co za tym idzie łatwiejszym do przekształcenia.
- **Wydajność** – prawdą jest stwierdzenie, że warstwa trwałości napisana ręcznie przez programistę potrafi być co najmniej tak szybka jak ta wygenerowana automatycznie. Podobnie prawdą jest, że dowolny program napisany w C++ można napisać w Assemblerze by działał co najmniej tak szybko jak ten pierwszy. Jednak jak dobrze wiadomo, znacznie trudniejszym zadaniem jest napisanie programu w języku assemblera aby działał on tak samo sprawnie jak ten napisany w C++. Aby to zrobić trzeba bardzo dobrze znać Assemblera, analogiczna sytuacja ma miejsce podczas własnoręcznego tworzenia warstwy trwałości i znajomości języka SQL.
- **Niezależność** – abstrakcja języka SQL uwalnia programistę od jego szczegółów i różnych jego dialektów w poszczególnych systemach bazodanowych. Większość narzędzi obsługuje wiele systemów bazodanowych, a więc nawet ich zmiana po napisaniu aplikacji nie powinna być problemem.

Mapowanie obiektowo-relacyjne jest rozwiązaniem sprawdzającym się obecnie w bardzo dużej ilości istniejących już aplikacji i jego wybór przed własnoręczną implementacją zapytań jest najczęściej trafną decyzją. W chwili są to dwa najpopularniejsze rozwiązania, przy czym mapowanie jest obecnie najczęściej wybierane w związku z niedopasowaniem obiektowo-relacyjnym.

-

-

Rozdział 3

Analiza istniejących rozwiązań mapowania obiektowo-relacyjnego w języku C++

3.1 Kryteria analizy

W pierwszym rozdziale niniejszej pracy pojawiła się informacja, że istnieją już biblioteki oraz aplikacje szkieletowe realizujące mapowanie obiektowo-relacyjne w języku C++, jednakże jest ich mniej niż w przypadku innych znanych języków programowania. W tym rozdziale zostanie przeprowadzona ich dokładniejsza analiza, do której potrzebne jest wskazanie kryteriów, które zostaną przeanalizowane. Pod uwagę zostało wzięte następujące aspekty:

- Charakter oprogramowania – przede wszystkim istotny jest fakt, czy wybrane narzędzie należy do tak zwanego „wolnego oprogramowania”, a co za tym idzie czy jego użytkownik może podejrzeć i w razie potrzeby zmodyfikować jego kod źródłowy oraz podzielić się wprowadzonymi przez siebie zmianami z innymi jego użytkownikami. W ten sposób oprogramowanie ulega ciągłemu rozwojowi, a jego działanie łatwiej zrozumieć.
- Licencja – wielce istotny jest fakt czy wybrane oprogramowanie jest darmowe oraz na jakich zasadach może zostać wykorzystywane. Mało restrykcyjna licencja jest z pewnością zaletą.
- Wspierane systemy zarządzania bazą danych – tutaj zasada jest prosta, im więcej rodzajów baz danych jest wspieranych tym lepiej. Dużą zaletą jest

także rozszerzalność oprogramowania, czyli możliwość dodania wsparcia dla wybranych baz samodzielnie.

- Wykorzystywane biblioteki i aplikacje szkieletowe – część narzędzi wykorzystuje inne, takie jak aplikacja szkieletowa Qt czy bibliotekę boost. Istotne jest to czy użytkownik też musi wykorzystywać dane rozwiązania w swojej aplikacji.
- Poziom skomplikowania interfejsu – konieczność wywoływania sekwencji wielu metod w celu wykonania podstawowych operacji w bazie danych czy też w celu połączenia się z nią nie należy z pewnością do zalet oprogramowania.
- Dostępność generatora opisu – generator opisu jest w stanie znacznie uprościć wykorzystanie narzędzi mapowania obiektowo-relacyjnego, więc jego obecność jest dodatkową zaletą.
- Dodatkowe możliwości – wiele narzędzi posiada specyficzne dla siebie zalety, w tym punkcie zostaną one wyszczególnione.

3.2 Porównanie istniejących rozwiązań

Nazwa	QxOrm	Debea	SOCI	OpenORM
Typ	-	-	-	-
Cena	0 zł	0 zł	0 zł	0 zł
Obsługiwane bazy	-	-	-	-

Tab. 3.1: Porównanie istniejących rozwiązań

-

Rozdział 4

Aplikacja szkieletowa Qubic

4.1 Moduły tworzonej aplikacji

W rozdziale pierwszym w skrócie został przedstawiony schemat współpracy modułu tworzonego przez autora tej pracy a autora pracy, której tematem jest „Generator opis mapowania obiektowo-relacyjnego w języku C++”. W tym podrozdziale opis ten zostanie rozwinięty.

Chcąc w jak największym stopniu zautomatyzować obsługę połączenia z bazą oraz zminimalizować czas jaki programista będzie musiał poświęcić na oprogramowywanie komunikacji pomiędzy programem a bazą danych zdecydowaliśmy się na wprowadzenie generatora opisu, który tę część pracy wykona za użytkownika Qubica.

Zadaniem generatora jest wygenerowanie plików klas, plików nagłówkowych oraz pliku projektu Qt w oparciu o istniejącą bazę danych. Moduł tworzony przez autora niniejszej pracy będzie wykorzystywany w wygenerowanym kodzie, a także w kodzie napisanym przez użytkownika Qubica. W momencie zakończenia pracy generatora wygenerowana aplikacja będzie w pełni gotowa do przechowywania danych z bazy bez konieczności tworzenia zapytań. W celu przechowania obiektów aplikacji, ich modyfikacji, załadowania czy usunięcia z bazy danych wystarczy uruchomienie odpowiednich metod Qubica.

Dalsza część tego rozdziału została poświęcona w zdecydowanej większości modułowi Qubica zajmującego się mapowaniem obiektowo-relacyjnym.

4.2 Analiza wymagań

4.2.1 Wymagania funkcjonalne

Podczas projektowania Qubica przyjęto następujące założenia w celu jak najlepszego odwzorowania cech mapowania obiektowo-relacyjnego:

- Aplikacja musi umożliwiać podstawowe operacje mapowania obiektowo-relacyjnego, a więc zapisywanie obiektów do bazy danych, ich odczyt, aktualizowanie obiektów już zapisanych w bazie oraz ich usuwanie.
- Aplikacja musi udostępniać interfejs do tworzenia zapytań z poziomu kodu, dzięki temu jej użytkownik nie musi znać języka SQL.
- Aplikacja musi udostępniać funkcje dostępu do powiązanych danych w przypadku wystąpienia relacji różnych od jeden do jednego. Użytkownik powinien mieć możliwość uzyskania dostępu do obiektów powiązanych z wybranym obiektem bez konieczności własnoręcznego konstruowania zapytań.
- Aplikacja powinna posiadać wsparcie dla wielu rodzajów baz danych, ewentualnie musi być ona łatwo rozszerzalna.
- Aplikacja musi posiadać możliwość wykorzystania transakcji.
- Aplikacja musi posiadać możliwość konfiguracji.

4.2.2 Wymagania niefunkcjonalne

Do wymagań niefunkcjonalnych postawionych projektowanej aplikacji należą:

- Użytkowanie aplikacji powinno być jak najbardziej intuicyjne, co za tym idzie kod użytkownika mający za zadanie wykonywać podstawowe operacje powinien zajmować jak najmniej linii.
- Aplikacja musi działać możliwie szybko, czas podstawowych operacji nie powinien znacząco odbiegać od tego w przypadku gdy użytkownik sam tworzyłby zapytania do bazy.
- Aplikacja musi rozpoznawać relacje jeden do jednego, jeden do wielu oraz wiele do wielu i odpowiednio je obsługiwać.
- Pamięć w trakcie działania aplikacji musi być odpowiednio zarządzana, niedopuszczalne są żadne wycieki pamięci czy też zapętlenia się programu.

- Błędy pojawiające się w trakcie działania aplikacji powinny być prawidłowo obsługiwane i sygnalizowane użytkownikowi.

4.3 Projekt

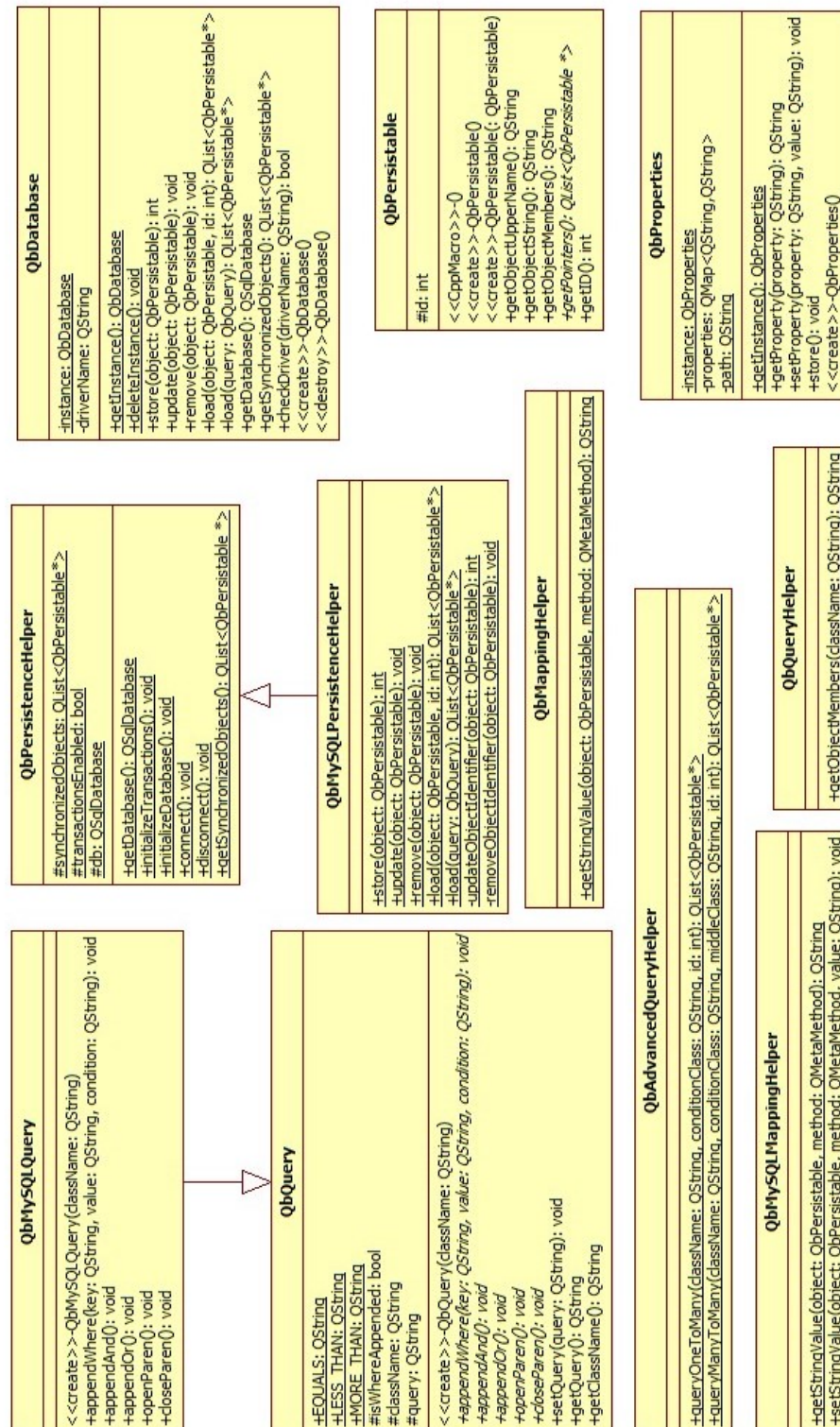
4.3.1 Rodzaj aplikacji

Qubic jest aplikacją szkieletową, czyli strukturą do wykorzystywaną do budowy innych aplikacji. Jego podstawowym zadaniem jest realizacja mapowania obiektowo-relacyjnego, czyli udostępnienie funkcjonalności pozwalającej na przechowywanie obiektów w bazie danych.

W celu stworzenia aplikacji w oparciu o Qubica użytkownik musi przygotować bazę danych na podstawie której wygenerowany zostanie plik projektu Qt wraz z plikami nagłówkowymi oraz plikami klas. W tym momencie aplikacja posiada już oprogramowany dostęp do danych i użytkownik może zająć się implementowaniem własnej logiki czy też warstwy widoku.

4.3.2 Diagram klas

Diagram klas Qubica przedstawia rysunek 4.1:



Rys. 4.1: Diagram klas

4.3.3 Wzorce projektowe

Jednym z wzorców projektowych, które znalazły zastosowanie w Qubicu jest Singleton. Do jego największych zalet należy fakt, że klasa go wykorzystująca może posiadać co najwyżej jedną instancję do której istnieje globalny dostęp. Singleton swoje zastosowanie znajduje w przypadku gdy programista chce ograniczyć liczbę instancji dla wybranych klas a także samemu odpowiadać za ich tworzenie. W przypadku Qubica został on wykorzystany w klasach QbDatabase oraz QbProperties. Tworzenie więcej niż jednej instancji tych klas nie ma sensu biorąc pod uwagę specyfikę projektu, więc najlepszym rozwiązaniem wydaje się być zablokowanie tej możliwości użytkownikowi.

4.3.4 Środowisko programistyczne

Qubic został napisany w języku C++ w oparciu o aplikację szkieletową Qt, co za tym idzie wybór platformy należy do użytkownika i równie dobrze może to być Windows jak i Linux. Zarówno wybór bazy danych nie został narzucony z góry, co prawda na potrzeby projektu zaimplementowana została obsługa tylko dla bazy MySQL jednak zapewniona została łatwa rozszerzalność i dodanie obsługi dla innych rodzajów baz danych nie powinna być problemem.

Jedyną biblioteką wykorzystywaną przez Qubica jest QsLogger odpowiedzialny za logowanie. Jest to bardzo przydatna funkcja, która umożliwia szybkie zlokalizowanie pojawiających się problemów.

Wykorzystane technologie, poprawiony opis, screeny, czy coś jeszcze?

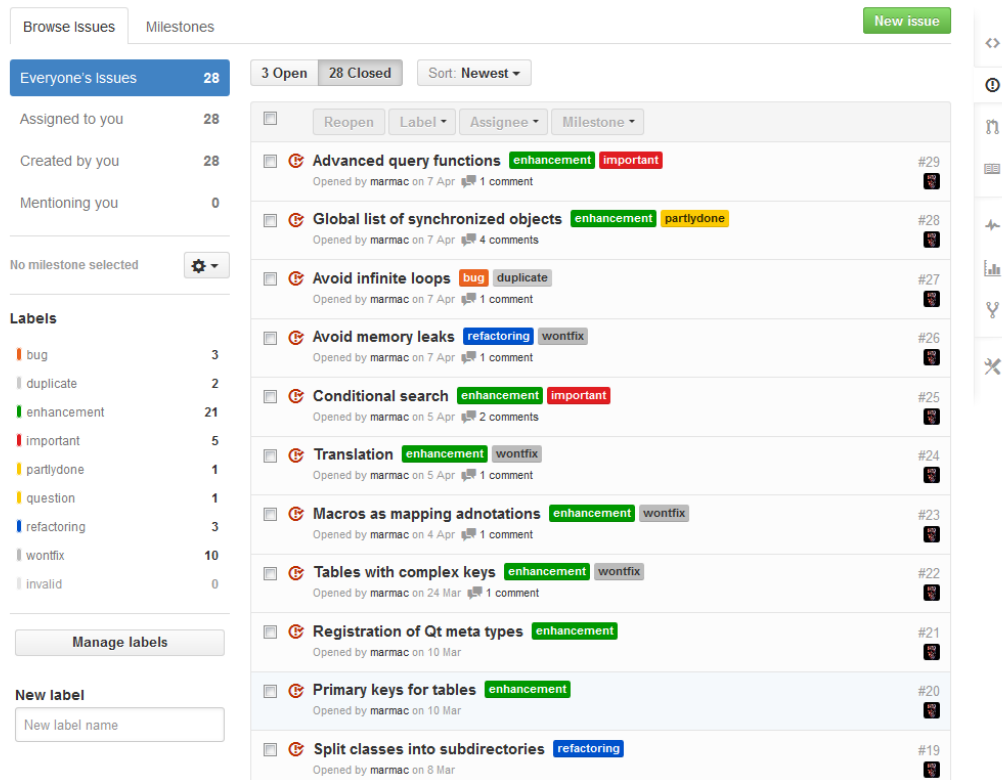
4.3.5 System kontroli wersji

Podczas pracy nad projektami w których bierze udział więcej niż jedna osoba bardzo dobrym rozwiązaniem jest korzystanie z systemów kontroli wersji. Ułatwiają one wspólną pracę oraz organizację tworzonych projektów.

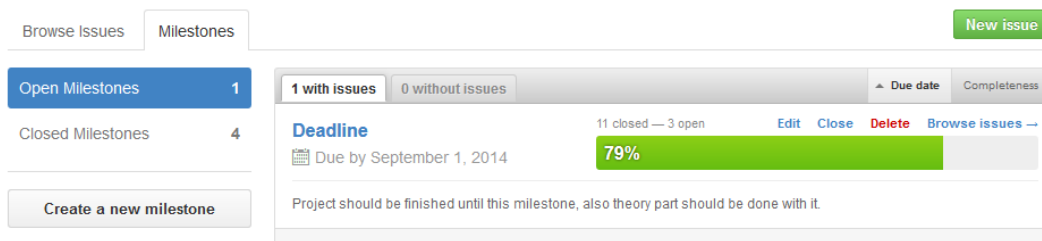
Wybór autorów Qubica padł na dobrze znany serwis GitHub¹. Poza repozytorium na którym znaleźć można kod źródłowy Qubica podczas implementacji projektu wykorzystany został system Issues and Milestones², który ułatwia organizację pracy nad projektem.

¹ oficjalna strona serwisu – <https://github.com/>

² problemy oraz kamienie miliowe



Rys. 4.2: Przejrzysty widok systemu GitHub Issues



Rys. 4.3: Przejrzysty widok systemu GitHub Milestones

4.4 Implementacja

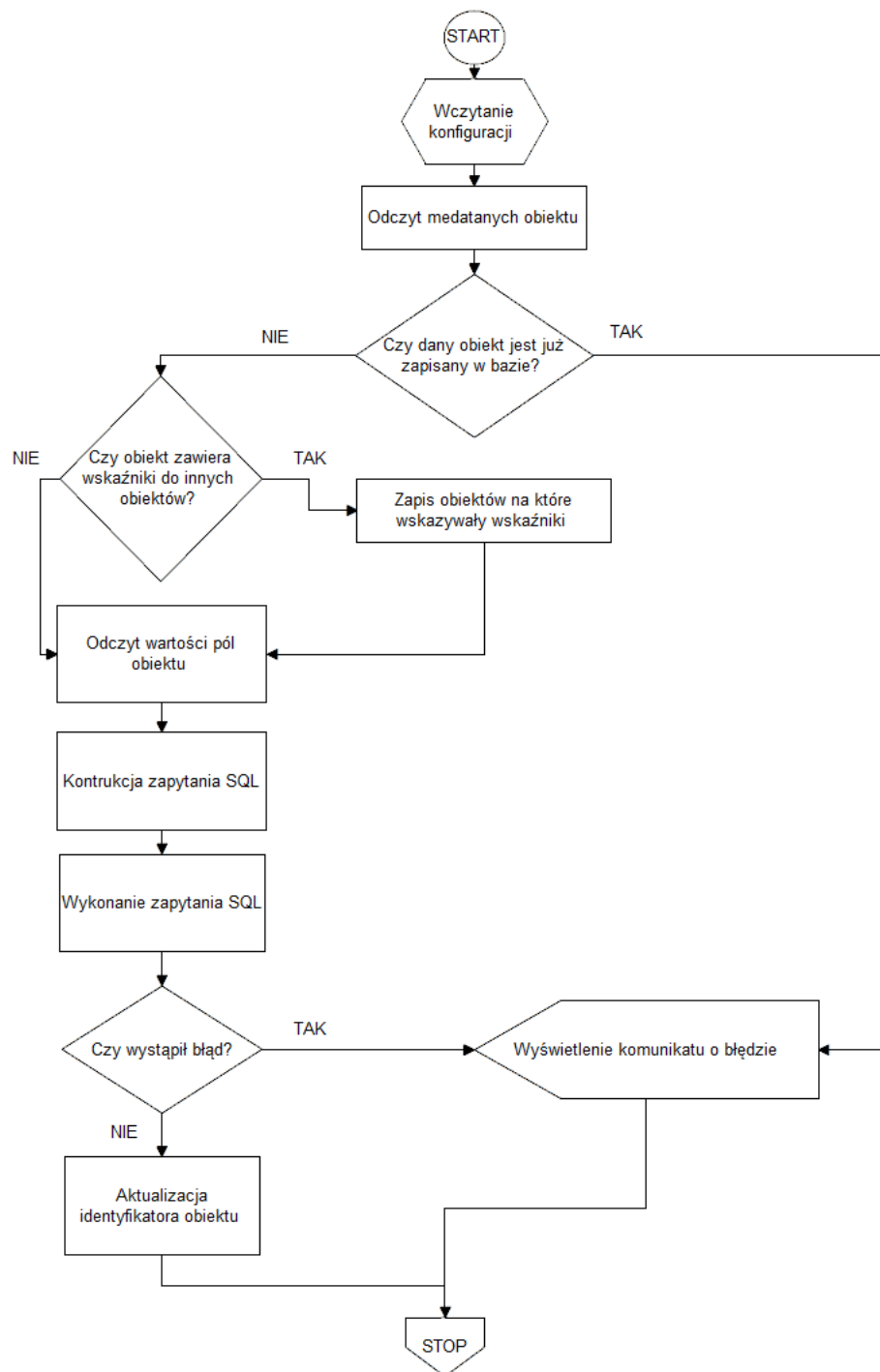
4.4.1 Interfejs CRUD

Kluczowym modułem narzędzi programistycznych realizujących mapowanie obiektowo-relacyjne jest interfejs CRUD umożliwiający manipulowanie danymi w bazie

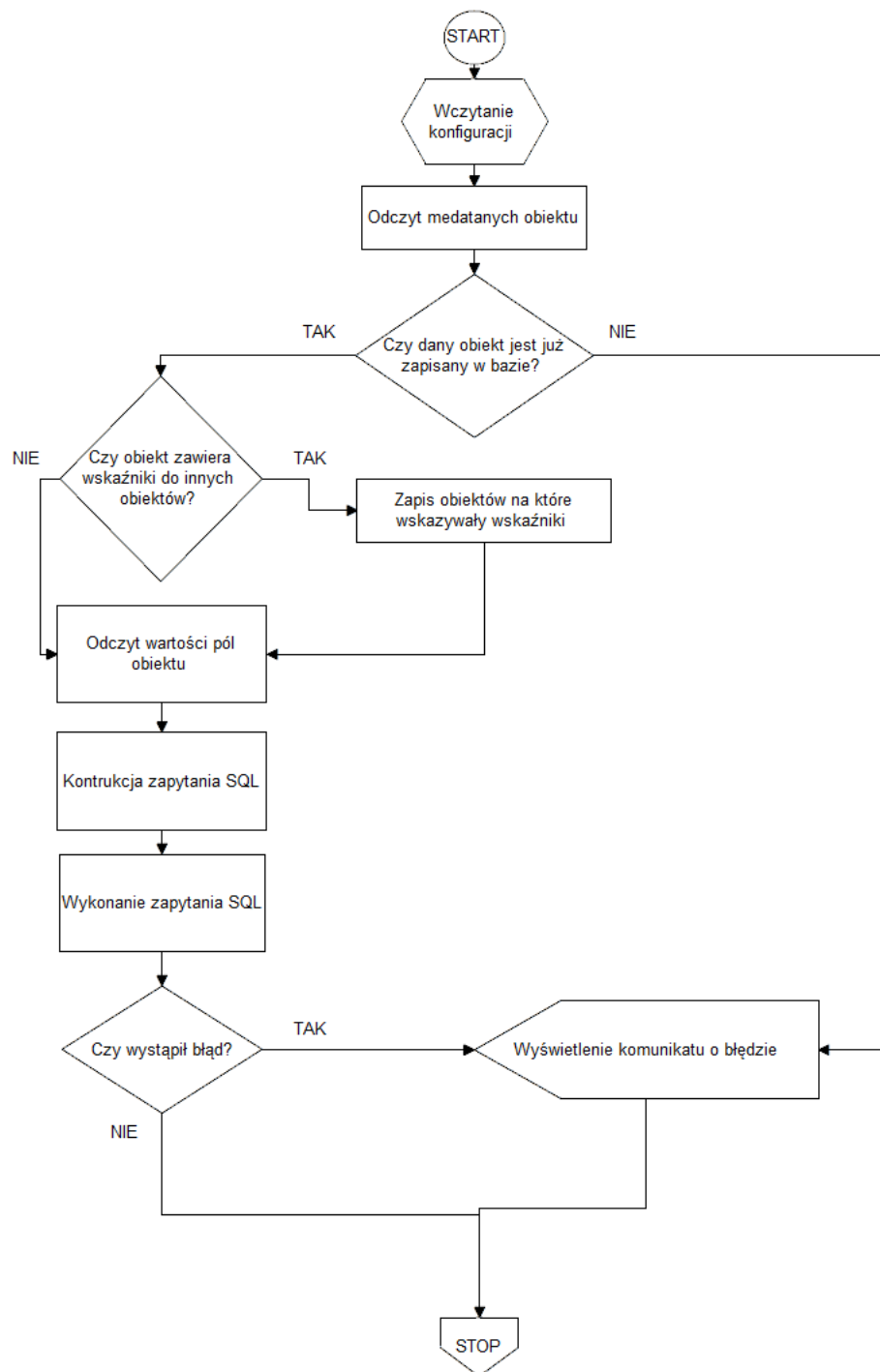
danych z poziomu kodu. Interfejs ten dostępny jest w postaci co najmniej czterech metod, które jako argumenty przyjmują obiekty dziedziczące po jednej z klas Qubica – `QbPersistable`. Umożliwia to wykorzystanie polimorfizmu, a przecież podczas operacji na obiektach od samego początku nie znany jest dokładny typ obiektu.

Aby mapowanie mogło skutecznie działać potrzebny jest jego jednoznaczny opis, część narzędzi je realizujących korzysta z adnotacji, które określają mapowanie pomiędzy konkretnymi polami klas a konkretnymi tabelami w bazie danych. W Qubicu problem ten został rozwiązany w trochę inny sposób, który umożliwia stworzony generator opisu mapowania obiektowo-relacyjnego. Generowane pliki klas są tworzone według ściśle określonych zasad, co oznacza, że nazwy metod dostępowych odpowiadają w pewien sposób nazwom tabel i ich kolumn. Przykładowo dla kolumny o nazwie `NAME` w tabeli `EMPLOYEE` w pliku klasy `Employee` zostaną wygenerowane metody `getName()` oraz `setName(QString name)`. Wiedza ta została wykorzystana w trakcie korzystania z mechanizmu refleksji. Konfiguracja samego mapowania nazw została zapisana w pliku konfiguracyjnym Qubica.

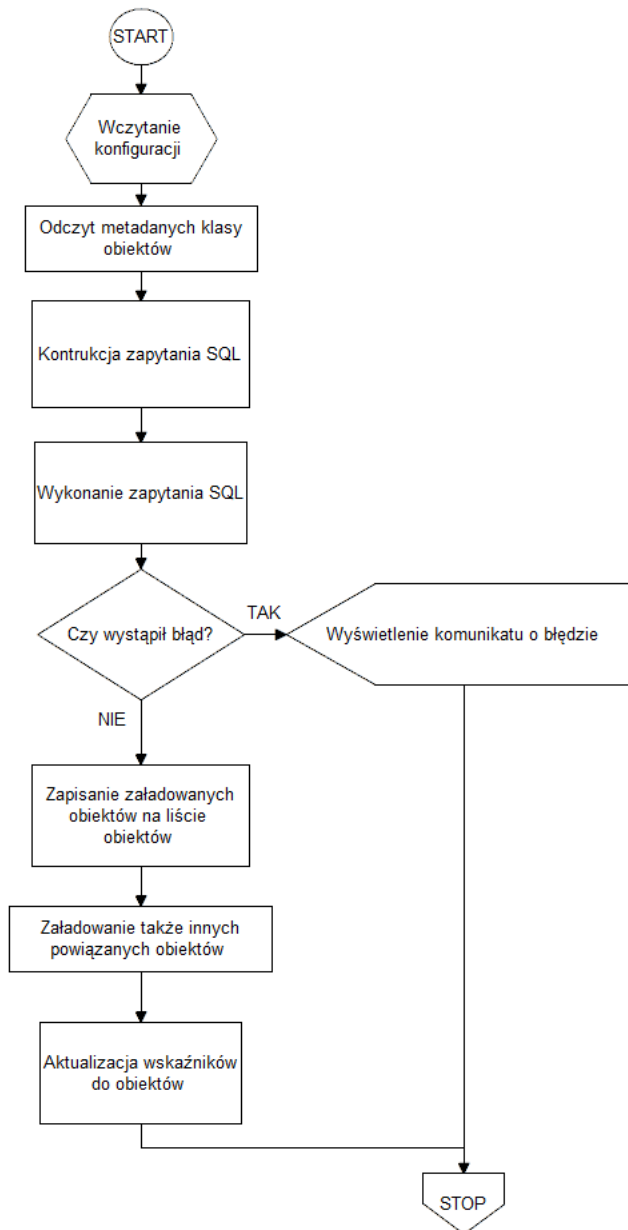
Schematy działania czterech podstawowych metod dostępu przedstawiają poniższe schematy blokowe:



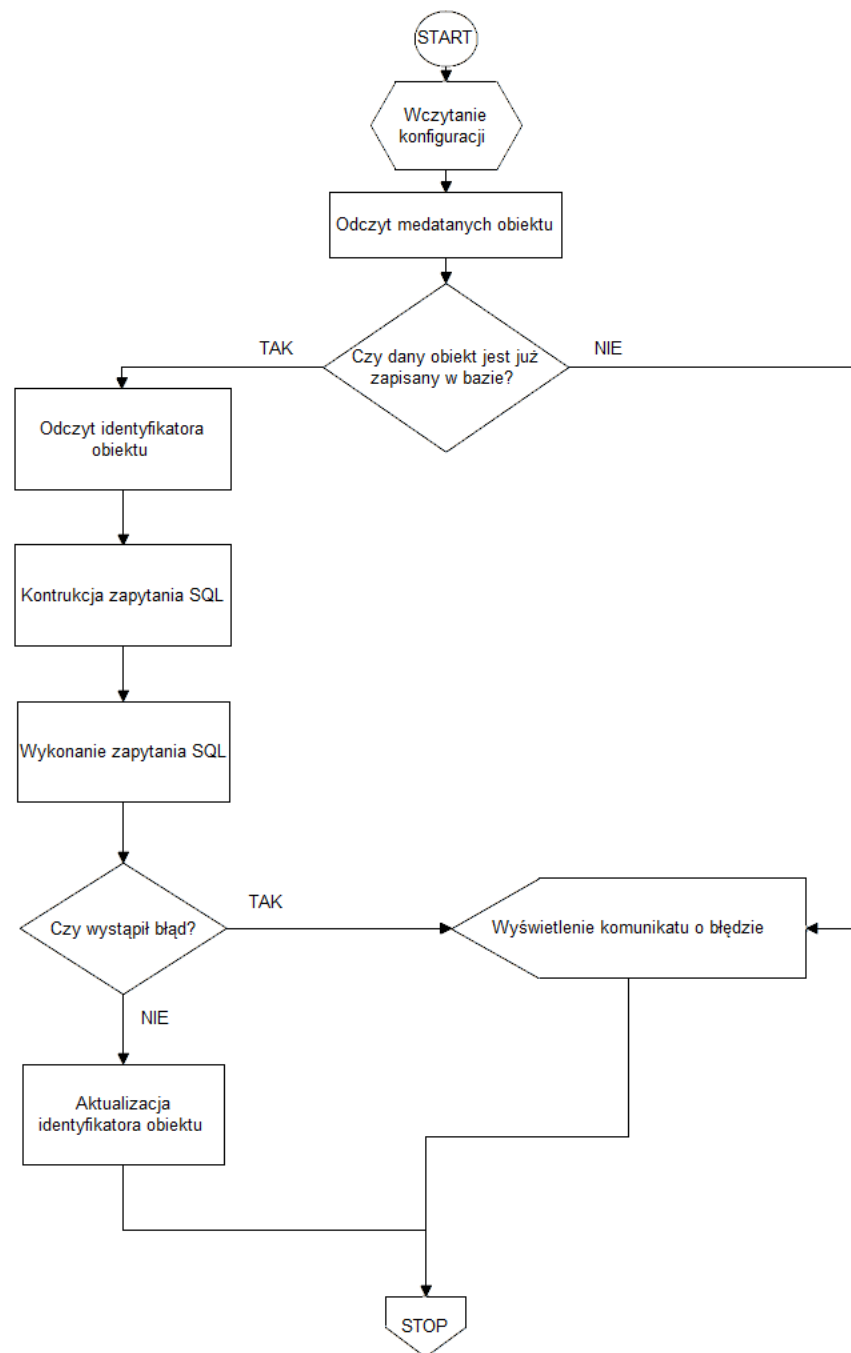
Rys. 4.4: Schemat blokowy metody zapisującej obiekty w bazie danych



Rys. 4.5: Schemat blokowy metody aktualizującej obiekty w bazie danych



Rys. 4.6: Schemat blokowy metody ładującej obiekty z bazy danych



Rys. 4.7: Schemat blokowy metody usuwającej obiekty z bazy danych

-

-

-

4.5 Konserwacja i inżynieria wtórna

Jak przebiega eksploatacja projektu? Jakie wady i zalety ujawniły się po okresie testowania i użytkowania? Jak można skorzystać z tej wiedzy praktycznej pod kątem rozbudowy pracy? Jakie elementy systemu powinny zostać w pierwszej kolejności zmodyfikowane?

4.6 Dokumentacja użytkownika

4.7 Przykładowa aplikacja wykorzystująca Qubica

-

-

-

-

-

4.8 Testy oraz ich wyniki

4.9 Perspektywy rozwoju Qubica

W celu dalszego rozwoju stworzonej aplikacji szkieletowej warto rozważyć wprowadzenie następujących usprawnień:

- System adnotacji – obecnie na opis mapowania składają się odpowiednie nazwy funkcji oraz makra Qt. Istnieje jednak możliwość wprowadzenia własnych makr, które miałyby opisywać mapowanie pomiędzy nazwami tabel z baz danych a odpowiednimi polami klas napisanych z języku C++. Dzięki temu zaistniałaby możliwość uniezależnienia nazw pól klas od nazw tabel w bazie danych.
- Interfejs zapytań – choć jest już zaimplementowany, nadal nie udostępnia on wszystkich możliwych funkcjonalności języka SQL. Implementacja obsługi takich poleceń jak JOIN czy UNION z pewnością byłaby dodatkowym atutem.
- Identyfikacja tabel także za pomocą kluczy złożonych – w tej chwili tabele identyfikowane są za pomocą kluczy głównych, co z kolei wymusza ich nadawanie w każdej z tabel.
- Pamięć podręczna – wprowadzenie pamięci podręcznej może znacznie polepszyć wydajność w przypadku ciągłych operacji na tych samych danych.
- Konfiguracja z poziomu kodu – obecnie większość konfiguracji jest zapisana w plikach konfiguracyjnych i tylko tam może być zmieniana, w celu rozwoju wprowadzenie dodatkowej możliwości jego konfiguracji wydaje się być dobrym pomysłem.
- Wsparcie dla różnych rodzajów baz danych – wprowadzenie tego usprawnienia ogranicza się do implementacji kilku interfejsów dla innych niż MySQL rodzajów baz danych. Biorąc pod uwagę możliwość wzorowania się na zaimplementowanej już logice nie powinno to stworzyć problemu gdy zaistnieje taka konieczność.
- Serializacja danych – dodanie możliwości serializacji może okazać się użyteczne w przypadku pracy z dużymi ilościami danych, w tym celu można skorzystać z wielu istniejących już bibliotek udostępniających tę możliwość.
- Internacjonalizacja – w tej chwili wszystkie logi zlokalizowane są w języku angielskim, istnieje jednak możliwość zmiany obecnego stanu poprzez wykorzystanie modułu translacji udostępnianego przez Qt.

- Wielowątkowość – wykorzystanie wielowątkowości w przypadku mapowania obiektowo relacyjnego z pewnością nie należy do najłatwiejszych zadań, jednak znacznie może to usprawnić wykonywanie bardziej wymagających operacji.

Rozdział 5

Podsumowanie

5.1 Dyskusja wyników

Dzięki zrealizowaniu pracy poprawie uległa wydajność. Ponadto, o ? % skrócony został czas. Które cele pracy udało się zrealizować? Co z tego wynika? Które cele pracy pozostały niezrealizowane i dlaczego?

5.2 Perspektywy rozwoju pracy

W celu rozwoju niniejszej pracy dyplomowej należy przede wszystkim rozważyć dalsze prace nad stworzoną aplikacją szkieletową. W rozdziale 4.9 przedstawione zostały liczne możliwości rozwoju Qubica, ich realizacja z pewnością byłaby sporym krokiem w przód.

Podjęcie się tego zadania oznaczałoby jednak trzymanie się tematyki mapowania obiektowo-relacyjnego a przecież aplikacja szkieletowa nie musi ograniczać się do realizacji tylko jednego zagadnienia, istnieje wiele innych możliwości rozwoju. Dobrym tego przykładem jest aplikacja szkieletowa Spring, która oferuje bardzo duże możliwości. Qubic można rozwijać w podobnym kierunku, zarazem zmieniając główny temat pracy dyplomowej. Nowym tematem mogłaby zostać na przykład aplikacja szkieletowa na telefony komórkowe czy też aplikacja szkieletowa do tworzenia usług internetowych¹.

¹ ang. webservice

Bibliografia

- [1] Grębosz, Jerzy. Symfonia C++. Standard. Wyd. 3. Kraków, 2013. ISBN 978-83-7366-134-4.
- [2] Bauer, Christian, King, David. Hibernate w akcji. Wyd. 1. Gliwice, 2007. ISBN 978-83-246-0527-9.
- [3] Bauer Christian, King David. Java Persistence with Hibernate. Greenwich, 2007. ISBN 1-932394-88-5.
- [4] Viescas, John. SQL Queries for Mere Mortals. 2001. ISBN 83-7279-152-X.
- [5] Ezust, Alan and Paul. Introduction to Design Patterns in C++ with Qt4. Wyd. 1. Soughton, 2006. ISBN 978-0-13-282645-7.
- [6] C++ Language Tutorial. <http://www.cplusplus.com/doc/>.
- [7] Qt Project Documentation. <http://qt-project.org/doc/>.
- [8] MySQL Documentation. <http://dev.mysql.com/doc/>.
- [9] Trendy Google. <https://www.google.pl/trends/explore#q=orm%20-java%2C%20orm%20php%2C%20orm%20python%2C%20orm%20c&cmpt=q>.
- [10] Portal UAM w Poznaniu. http://www.staff.amu.edu.pl/psi/-informatyka/kluczew/I2_Database.htm.

Spis rysunków

1.1	Wykres przedstawiający popularność mapowania obiektowo-relacyjnego na przestrzeni czasu w wybranych językach programowania	5
1.2	Schemat współpracy modułów tworzonej aplikacji szkieletowej . .	5
2.1	Warstwowa architektura aplikacji	12
4.1	Diagram klas	27
4.2	Przejrzysty widok systemu GitHub Issues	29
4.3	Przejrzysty widok systemu GitHub Milestones	29
4.4	Schemat blokowy metody zapisującej obiekty w bazie danych . . .	31
4.5	Schemat blokowy metody aktualizującej obiekty w bazie danych . .	32
4.6	Schemat blokowy metody ładującej obiekty z bazy danych	33
4.7	Schemat blokowy metody usuwającej obiekty z bazy danych	34

Spis tabel

3.1	Porównanie istniejących rozwiązań	22
-----	---	----

Załączniki

1. Kod źródłowy Qubica oraz aplikacji przykładowej w wersji elektronicznej.