Spis treści

[1. Wstęp 3](#_Toc527233290)

[1.1. Plan pracy 3](#_Toc527233291)

[2. Analiza tematu 5](#_Toc527233292)

[2.1. Istniejące rozwiązania 5](#_Toc527233293)

[2.2. Wymagania 6](#_Toc527233294)

[2.3. Język SQL 7](#_Toc527233295)

[2.3.1. Elementy języka 8](#_Toc527233296)

[2.3.2. Rodzaje instrukcji 9](#_Toc527233297)

[2.3.3. Funkcje 11](#_Toc527233298)

[2.3.4. Operatory 12](#_Toc527233299)

[2.4. Logika rozmyta 13](#_Toc527233300)

[3. Przedmiot pracy 14](#_Toc527233301)

[3.1. Wykorzystane technologie 14](#_Toc527233302)

[3.1.1. PostgreSQL 15](#_Toc527233303)

[3.1.2. JavaScript/ECMAScript 15](#_Toc527233304)

[3.1.3. TypeScript 16](#_Toc527233305)

[3.1.4. Webpack 18](#_Toc527233306)

[3.1.5. Electron 19](#_Toc527233307)

[3.1.6. Architektura Flux, React i Redux 20](#_Toc527233308)

[3.2. Implementacja operatorów rozmytych 23](#_Toc527233309)

[3.3. Architektura systemu 23](#_Toc527233310)

[4. Badania 25](#_Toc527233311)

[4.1. Metodyka badań 26](#_Toc527233312)

[4.2. Zbiory danych 26](#_Toc527233313)

[4.3. Wyniki 26](#_Toc527233314)

[5. Podsumowanie 28](#_Toc527233315)

[Bibliografia i](#_Toc527233316)

[Spis skrótów i symboli ii](#_Toc527233317)

[Zawartość dołączonej płyty iii](#_Toc527233318)

[Spis rysunków iv](#_Toc527233319)

[Spis tabel v](#_Toc527233320)

# Wstęp

Celem niniejszej pracy dyplomowej jest realizacja nowego narzędzia dydaktycznego umożliwiającego tworzenie zapytań SQL zawierających elementy rozmyte z wykorzystaniem nowych technologii i zbadanie wydajności takiego rozwiązania. Nowe narzędzie ma bazować na operatorach rozmytych opracowanych przez dr inż. Bożenę Małysiak-Mrozek w rozprawie doktorskiej „Metody aproksymacyjnego wyszukiwania obiektów w bazach danych” oraz narzędzia dydaktycznego FuzzyQ, stworzonego w 2005r. przez mgr Bartosza Dziedzica w jego pracy dyplomowej. 13-letnia aplikacja, wykorzystująca połączenie technologii Flash oraz C#, skompilowana jako samodzielna aplikacja działająca w środowisku Windows, jest na dzień dzisiejszy przestarzała technologicznie. Nowe narzędzie ma wprowadzić funkcjonalność tworzenia zapytań z użyciem podpowiedzi kontekstowych, a także umożliwić automatyczne dodawanie operatorów do bazy. Ponadto, dzięki zastosowaniu wieloplatformowego środowiska Electron, ma być możliwe uruchomienie aplikacji na systemach Linux, Windows oraz macOS. Podczas pracy nad rozwiązaniem zostanie przebadana wydajność utworzonego rozszerzenia dla bazy danych PostgreSQL (porównanie wydajności funkcji natywnych i pisanych w języku PL/pgSQL na dużych zbiorach). Poruszony zostanie również aspekt wydajności środowiska Electron i przedstawione zostaną sposoby na jej poprawienie.

## Plan pracy

Praca składa się z dziesięciu rozdziałów. W rozdziale pierwszym opisany jest cel, motywacja i plan pracy dyplomowej. W rozdziale drugim są określone wymagania funkcjonalne systemu i usprawnienia względem FuzzyQ. Rozdział trzeci opisuje język SQL, na którym opiera się system dydaktyczny. W rozdziale czwartym omawiane jest zagadnienie logiki rozmytej i podstawowych operatorów w analogii do logiki boolowskiej. Rozdział piąty przybliża technologie wykorzystane do zbudowania systemu, uzasadniając ich wybór. W rozdziale szóstym opisana jest architektura całego systemu, składającego się z oddzielnie przygotowanych operatorów rozmytych i aplikacji do zarządzania bazami danych ze wsparciem zapytań rozmytych, działającej w środowisku Electron. Rozdział ósmy dotyczy rozwiązań technicznych, takich jak budowa komponentów aplikacji, komunikacja między wątkami, czy dodawanie operatorów do dowolnej bazy relacyjnej. W rozdziale dziewiątym jest opisany interfejs użytkownika. W rozdziale dziesiątym zaprezentowane są badania porównujące szybkość prezentacji danych w środowisku przeglądarkowym jakim jest Electron, a także różnice w wykorzystaniu zasobów między FuzzyQ, a nowym systemem. Rozdział jedenasty zawiera podsumowanie prac nad systemem i możliwości jego rozwoju.

# Analiza tematu

Obecną wersję systemu dydaktycznego FuzzyQ wyróżnia prosty interfejs, możliwość tworzenia zapytań do bazy i graficzny kreator zapytań. Aplikacja jest jednak przestarzała pod względem technologicznym, gdyż wykorzystuje porzucone środowisko Flash i nie zadziała bezpośrednio na systemie Ubuntu, wykorzystywanym w większości stanowisk laboratoryjnych. FuzzyQ ma także braki pod względem interfejsu, nie spełniając wysokich standardów dzisiejszych narzędzi programistycznych i trendów z zakresu *user experience* wyznaczanych przez firmy JetBrains, Microsoft, czy Google. Za przykład może posłużyć brak kolorowania składni, wsparcia dla wcięć i podpowiedzi kontekstowych w polu edycji zapytania. Nowy system dydaktyczny nie będzie zatem prostym przepisaniem istniejącego narzędzia na inny język programowania, lecz nową implementacją pomysłu. System, z nowymi funkcjonalnościami, zostanie zrealizowany w sposób otwarty na rozszerzanie i zgodny ze współczesnymi standardami projektowania interfejsów.

## Istniejące rozwiązania

Poza aplikacją FuzzyQ zrealizowaną na Politechnice Śląskiej, na Politechnice Poznańskiej w 2006 roku powstało narzędzie SQLf\_j oparte o bazę danych MySQL, dokonujące translacji z języka SQLf (SQL z rozszerzeniami rozmytymi) na SQL przy użyciu tabeli pomocniczych. Tabela „possibility” zawiera definicje funkcji trapezowych dla danych liczbowych, a tabela „similarity” opisuje podobieństwa między parami ciągów znaków. Obsługiwany jest również minimalny próg przynależności wyników i ograniczenie ich ilości. Jest to podejście, które pozwala na dodawanie definicji i zależności w prosty sposób, lecz całość wymaga korzystania z ograniczonego interfejsu konsolowego, który służy do tłumaczenia poleceń, pozwalającego jedynie na wykonanie instrukcji SELECT.

W sieci obecna jest również strona opisująca język FSQL (Fuzzy SQL) wraz z serwerem FSQL dla nieprecyzyjnej relacyjnej bazy danych (FSQL Server for a Fuzzy Relational Database) bazująca na serwerze Oracle. Rozwiązanie pozwala na definiowanie etykiet dla zakresów danych i definicję progu wyników oraz posiada standardowy zestaw komparatorów rozmytych.

Poza wymienionymi narzędziami nadającymi się wyłącznie do celów akademickich, nie ma rozpowszechnionych i nadających się do wykorzystania w praktyce systemów wyszukiwania z numerycznymi elementami rozmytymi. Istnieją natomiast przykłady pokazujące jak rozszerzyć bazę danych o odpowiednie funkcje i operatory, które można zastosować w medycynie czy ekonomii. Popularnością cieszą się natomiast funkcje do wyszukiwania rozmytego w ciągach znaków. PostgreSQL zawiera implementację metod ułatwiających użytkownikowi wyszukanie tekstu nawet, jeśli został on wpisany z błędem: obliczającą odległość Levenshteina między wyszukiwaną frazą a przeszukiwanymi danymi, *metaphone* – określającą przybliżony zapis fonetyczny. Za przykład może posłużyć również pełnotekstowy silnik wyszukiwania Elasticsearch, mogący przeszukiwać tekst licząc odległość Levenshteina.

## Wymagania

Podstawowym wymaganiem jest współczesny interfejs umożliwiający tworzenie zapytań SQL ze wsparciem dla elementów rozmytych. Przyjmując, że użytkownik systemu zna język SQL na poziomie podstawowym, w odróżnieniu od FuzzyQ, tworzony system nie będzie miał graficznej reprezentacji zapytań, która w FuzzyQ sprowadzała się do prostego grafu umożliwiającego wybór rodzaju elementów w tworzonym zapytaniu. Zamiast tego edytor zapytań SQL ma być wzbogacony o kolorowanie składni oraz podpowiedzi kontekstowe, takie jakie występują we wszystkich popularnych środowiskach programistycznych po naciśnięciu skrótu klawiszowego (np. IntelliJ, VS Code). Podpowiedzi kontekstowe mają zawierać zarówno standardowe elementy języka SQL, jak i rozszerzenie w postaci elementów rozmytych. System ma wspierać tworzenie połączeń z bazami danych i przechowywanie ich. Interfejs aplikacji ma umożliwiać wyświetlanie tabel bazy i swobodne przeglądanie wyników zapytań. System powinien działać na wszystkich popularnych systemach operacyjnych: Windows, Linux (Ubuntu) oraz macOS.

System ma posiadać zintegrowany zestaw operatorów, które będzie można dodać do dowolnej bazy. Operatory w systemie będą bazować na operatorach będących częścią rozprawy doktorskiej dr inż. Bożeny Małysiak-Mrozek, zostaną jednak zrefaktoryzowane i przystosowane do systemu tak, aby można było rozszerzyć o nie dowolną bazę danych. Atutem byłaby możliwość samodzielnego tworzenia nowych operatorów.

## Język SQL

Język SQL został zaproponowany przez Donalda Chamberlina i Raymonda Boyce’a dwa lata po tym, jak Edgar „Ted” Codd zaprezentował koncepcję relacyjnego modelu danych na sympozjum w 1972 roku. Twórcy SQLa zauważyli, że matematyczną notację w językach Codda – algebrze relacji (*relational algebra*) i rachunku relacji (*relational calculus*) – ciężko pojąć osobie bez wykształcenia matematycznego, a także jej zapis na klawiaturze będzie problematyczny. Tak powstał SEQUEL (*A Structured English Query Language*) - język pozwalający na tworzenie złożonych zapytań do relacyjnych baz danych w czytelny i prosty sposób, a także obejmujący operacje modyfikacji danych i administracji bazą. Po rozpowszechnieniu języka SQL wśród twórców oprogramowania konieczna była standaryzacji. Na przestrzeni lat powstało 9 kolejnych wersji standardu, dodające nowe typy danych, rodzaje dozwolonych operacji i zabezpieczenia. Najnowsza wersja standardu, SQL:2016, została wydana w grudniu 2016 roku, m.in. dodając wsparcie dla dokumentów w notacji JSON, formatowanie i parsowanie daty i czasu oraz rozpoznawanie wzorców w wierszach. Niestety, żadna z istniejących implementacji nie jest zgodna ze standardami opracowanymi 2 lata temu. Nie zawsze oznacza to brakujące funkcjonalności, lecz ich realizację przy użyciu składni niezgodnej ze standardem. Dla przykładu, baza Postgres posiada wsparcie dla obiektów JSON już od wersji 9.2 z roku 2012.

### Elementy języka

Język SQL posiada zestaw podstawowych typów danych, które mogą być składowane w tabelach i muszą być podane podczas tworzenia kolumn. Najważniejsze to: CHARACTER, BINARY, BOOLEAN, INTEGER, FLOAT, REAL, DATE, TIME, YEAR, MONTH, DAY, HOUR i MINUTE. Ciągi, takie jak CHARACTER i BINARY przyjmują domyślnie stałą długość, gdzie puste miejsce jest wypełniane znakami spacji w przypadku ciągu znaków, a zerami w przypadku ciągu binarnego. Dzięki opcji VARYING można przechowywać ciągi zmiennej długości. Drugim standardowym elementem języka są operatory: porównania (=, <>, <, <=, =>, >), zawierania w zakresie liczb (BETWEEN), zawierania w zbiorze (IN), podobieństwa ciągów znaków (LIKE), porównania do wartości NULL/TRUE/FALSE (IS, IS NOT), porównania do innej wartości z uwzględnieniem NULL (IS NOT DISTINCT FROM) oraz operator przemianowania zwracanej kolumny (AS). Podobnie jak w zdecydowanej większości języków, nadmiarowe białe znaki są ignorowane, a komentarze mogą być zawarte wewnątrz znaków /\* \*/. Jednoliniowe komentarze rozpoczyna się znakami --. Przechodząc do składni języka, można z niej wyodrębnić:

* wyrażenia (ang. *expressions*) – mogą zwracać tabele bądź wartości skalarne, np. age + 1.
* predykaty (ang. *predicates*) – warunki, składające się z operatorów i wyrażeń, przeliczane na wartości prawda/fałsz/nieznane z użyciem logiki trójwartościowej; służą do filtrowania wyników zapytań i instrukcji, bądź zmiany przebiegu programu, np. sex=’M’.
* klauzule (ang. *clauses*) – słowa kluczowe, z których zbudowane są zapytania i instrukcje, np. SELECT name, last\_name, WHERE age>20, SET value=2.
* instrukcje (ang. *statements*) – pozwalają na odczyt i zapis danych, transakcjami, połączeniami i przebiegiem wykonania programu, są szerzej opisane w podrozdziale 0. Instrukcje muszą być oddzielone od siebie średnikiem.
* zapytania (ang. *queries*) – instrukcje zwracające dane na podstawie podanych kryteriów, np. SELECT \* FROM employees WHERE salary<3000; inne instrukcje zwracają najczęściej liczbę zmodyfikowanych (UPDATE) lub usuniętych (DELETE) wierszy.

W poniższym przykładzie obrazującym elementy języka SQL, najpierw następuje dodanie wierszy do tabeli ze studentami, a następnie jest wykonane zapytanie zwracające grupy wraz z liczbą studentów, którzy ukończyli pierwszy semestr:

INSERT INTO students (name, faculty, group, semester)

VALUES

(„Krzysztof Miemiec”, „AEI”, „ISMiP”, 3),  
 („Jan Kowalski”, „AEI”, „ISMiP”, 1),  
 („Adam Nowak”, „AEI”, „BDiS”, 2);

SELECT group, COUNT(\*)

FROM students

WHERE semester>=2

GROUP BY group;

Listing . Przykładowe zapytanie SQL

### Rodzaje instrukcji

Z języka SQL można wydzielić kilka podzbiorów zajmujących się osobnymi rodzajami zadań.

* DQL – *Data Query Language* (z ang. język zapytań do danych); zawiera polecenie SELECT zwracające dane z podanej tabeli.
* DML – *Data Manipulation Language* (z ang. język manipulacji danymi); zawiera polecenia INSERT, UPDATE i DELETE, które odpowiednio wstawiają, modyfikują i usuwają dane z tabeli.
* DDL – *Data Definition Language* (z ang. język definiowania danych); składa się z poleceń CREATE, ALTER i DROP (TABLE/INDEX/VIEW), służące do tworzenia, modyfikacji i usuwania tabel, indeksów i widoków.
* DCL – *Data Control Language* (z ang. język kontroli nad danymi); obejmuje polecenia CRAETE USER, GRANT, DENY i REVOKE, pozwalające na nadanie uprawnień, zabronienie wykonania operacji lub odebranie uprawnień.
* TCL – *Transactional Control Language* (z ang. język kontroli nad transakcjami); składa się z poleceń COMMIT i ROLLBACK służących do zatwierdzania i wycofywania zmian z transakcji.

Choć operatory mają zastosowanie w dowolnej instrukcji, najczęściej wykorzystywaną w pracy instrukcją będzie SELECT, w związku z tym zostanie ona opisana szerzej. Przedstawiona składnia zapytania z użyciem instrukcji SELECT jest oparta o dokumentację bazy PostgreSQL:

SELECT [ ALL | DISTINCT [ ON ( ***expression*** [, ...] ) ] ]

[ \* | ***expression*** [ [ AS ] ***output\_name*** ] [, ...] ]

[ FROM ***from\_item*** [, ...] ]

[ WHERE ***condition*** ]

[ GROUP BY ***grouping\_element*** [, ...] ]

[ HAVING ***condition*** [, ...] ]

[ ORDER BY ***expression*** [ ASC | DESC | USING ***operator*** ] [ NULLS { FIRST | LAST } ] [, ...] ]

[ LIMIT { ***count*** | ALL } ]

[ OFFSET ***start*** [ ROW | ROWS ] ]

Klauzula SELECT przyjmuje najpierw ciąg wyrażeń do zwrócenia w wyniku. W celu zwrócenia wszystkich kolumn można wykorzystać znak \*. Domyślnie uzupełniane słowo kluczowe ALL powoduje zwrócenie wszystkich wyników zapytania, wliczając duplikaty. Po dodaniu słowa kluczowego DISTINCT, duplikaty nie są zwracane w wyniku zapytania, a DISTINCT ON usuwa zduplikowane wiersze odpowiadające podanym wyrażeniom.

Następnie obliczany jest wynik elementów z klauzuli FROM. Może być to jeden lub więcej elementów, na które składają się: nazwy tabel, zagnieżdżone instrukcje, nazwy funkcji i złączenia (JOIN). W przypadku występowania wielu elementów, zawartość ich wierszy jest łączona. Po słowie kluczowym ON wymagane jest podanie predykatu określającego warunek złączenia tabel. Klauzula JOIN pozwala na złączenie dwóch elementów przyjmowanych przez klauzulę FROM. CROSS oraz INNER JOIN zwracają proste złączenie, takie jakie powstaje przy podaniu wielu elementów do klauzuli FROM, ograniczone jednak warunkiem następującym po słowie kluczowym ON. Można je zastąpić przy użyciu klauzul FROM i WHERE. LEFT OUTER JOIN zwraca natomiast złączone elementy obu tabel, wraz z elementami tabeli po lewej stronie, które nie mogły zostać dopasowane przy użyciu warunku i w których brakujące pola zostały zastąpione wartościami NULL. Analogicznie, RIGHT OUTER JOIN zwraca złączone elementy obu tabel wraz z niedopasowanymi elementami prawej tabeli, a FULL OUTER JOIN zwraca złączone i niedopasowane elementy obu tabel, w których brakujące pola przyjmują wartość NULL.

Jeśli zostanie podana klauzula WHERE, wynik będzie zawierał jedynie wiersze spełniające podane w niej predykaty, które mogą być połączone operatorami logicznymi AND i OR.

Kolejna, opcjonalna klauzula GROUP BY pozwala na złączenie wielu wierszy, które spełniają warunki grupowania, w pojedyncze wiersze dzielące pola z tymi samymi wartościami. Funkcje agregujące (np. COUNT, AVG, SUM, MAX, MIN) zostaną wykonane na wierszach grup, tworząc oddzielne wyniki dla każdej z nich. Klauzula HAVING, podobnie jak WHERE, przyjmuje predykaty sprowadzane do wartości logicznej, jednak nie mogą być użyte kolumny niezgrupowane bądź niebędące funkcjami agregującymi. Klauzula HAVING jest aplikowana na zapytania zawierające wiersze zgrupowane, a zatem po zgrupowaniu ich przy użyciu GROUP BY. Jeżeli klauzula GROUP BY nie występuje w zapytaniu, jest ono automatycznie przekształcane w zapytanie zgrupowane.

Klauzula ORDER BY przyjmuje listę wyrażeń w postaci nazw lub liczb porządkowych kolumn wynikowych lub wyrażeń utworzonych z kolumn wejściowych. Liczbę porządkową kolumny można użyć, gdy nazwy kolumn wynikowych powtarzają się, czego można jednak uniknąć stosując operator AS. Do każdego wyrażenia można dodać słowo kluczowe DESC, aby posortować wyniki malejąco. Domyślnie przyjmowana jest wartość ASC – sortowanie rosnące. Dopuszczalne jest również użycie własnych operatorów sortowania. Ostatnim elementem wyrażenia są słowa kluczowe NULLS LAST i NULLS FIRST. Oznaczają one odpowiednio posortowanie wierszy z wartościami NULL jako ostatnie i jako pierwsze. Domyślnie przyjęto, że w przypadku sortowania rosnącego wartości NULL są wartościami ostatnimi, a w przypadku sortowania malejącego, wartości NULL znajdują się na początku.

Ostatnimi klauzulami są LIMIT oraz OFFSET. Ograniczają one wyniki do zadanej liczby wierszy, a także pozwalają wyświetlić je z przesunięciem. W przypadku wykorzystywania tych klauzul ważne jest użycie klauzuli ORDER BY, gdyż bez jej podania standard SQL nie gwarantuje zwracania wyników w tej samej kolejności i w rezultacie można otrzymać różne wyniki dla tego samego zapytania.

### Funkcje

Funkcje pozawalają na wyodrębnienie zestawu instrukcji do wykonania pod określoną nazwą. Każda funkcja musi mieć zdefiniowane argumenty, a wykorzystać można wszystkie typy zarejestrowane wcześniej w bazie. Funkcja może przyjmować również zmienną ilość argumentów tego samego typu (zawsze umieszczonych na końcu). Wspierane jest przeciążanie funkcji, a zatem można zdefiniować wiele funkcji o tej samej nazwie, ale o różnych typach argumentów.

PostgreSQL umożliwia na tworzenie funkcji w języku SQL, PL/pgSQL i C. Funkcje w języku SQL zawsze zwracają w wyniku ostatnie wyrażenie. Język PL/pgSQL (Procedural Language/PostgreSQL) wzbogaca SQL o elementy sterujące (pętle, instrukcje warunkowe) i zmienne. W celu zwiększenia wydajności, w języku C warto implementować funkcje, które będą wykonywane często i dla dużej ilości elementów, np. funkcje agregujące.

Przykładowa instrukcja wykorzystywana w pracy do dodawania typów rozmytych do tabeli, została przedstawiona poniżej:

**CREATE OR REPLACE FUNCTION** *add\_fuzzy\_type*(  
 type\_name **VARCHAR**(64)  
) **RETURNS** fuzzy.types.id%TYPE **AS** $$  
 **INSERT INTO** fuzzy.types (name) **VALUES** (type\_name) **ON CONFLICT DO NOTHING**;  
 **SELECT** id **FROM** fuzzy.types **WHERE** name=type\_name;  
$$ **LANGUAGE sql VOLATILE**;

### Operatory

Operatory są niczym innym, jak skrótowym zapisem funkcji wykonywanych na jednym lub dwóch argumentach, określane są najczęściej mianem „lukru składniowego”. Nazwy operatorów składają się od 1 do 63 znaków ze zbioru +-\*/<>=~!@#%^&|`?. Standard SQL ogranicza jednak dozwolone nazwy, dla przykładu, nie jest dozwolone zastosowanie dwóch znaków – obok siebie, gdyż zostałyby one sparsowane jako oznaczenie komentarza. Do tego operator != jest automatycznie przetwarzany do formy <>. Do zdefiniowania operatora wymagane jest podanie typów operandów (LEFTARG i RIGHTARG) i funkcji wykonującej funkcję. Operatory mogą zawierać również dodatkowe elementy optymalizujące wykonanie zapytań, takie jak komutatory (operatory, które po zmianie kolejności argumentów dają ten sam wynik, jak np. + dla dodawania) i negatory (operatory, które po zmianie kolejności argumentów dają wynik odwrotny, tak jak operatory porównania > i <=).

Przykładowa instrukcja tworząca operator pobrania odpowiedniej nazwy dla liczby w danym typie rozmytym:

**CREATE OPERATOR** ~> (  
 **PROCEDURE** = *get\_fuzzy\_name*,  
 **LEFTARG** = **FLOAT8**,  
 **RIGHTARG** = **VARCHAR**(64)  
);

## Logika rozmyta

Logika rozmyta to wielowartościowa odmiana logiki, która w odróżnieniu od klasycznej logiki boolowskiej pozwala na zapisanie wartości między prawdą, a fałszem. Wartość rozmyta może być następnie przetworzona na wartość logiczną trójwartościową (prawda, fałsz, niezdefiniowana). Wartość niezdefiniowana zostanie zwrócona w przypadku braku funkcji lub wartości liczbowej. Logika rozmyta opisuje stopień przynależności wartości liczbowej do zbioru określonego odpowiednią funkcją. W niniejszej pracy funkcje przynależności są funkcjami trapezowymi.

Arytmetyka

Rozdział zawiera takie elementy, jak:

* analiza tematu,
* wprowadzenie do dziedziny (state of the art) – sformułowanie problemu,
* poszerzone studia literaturowe, przegląd literatury tematu (należy wskazać źródła wszystkich informacji zawartych w pracy),
* opis znanych rozwiązań, algorytmów, osadzenie pracy w kontekście,
* tytuł rozdziału jest często zbliżony do tematu pracy,
* rozdział jest wysycony cytowaniami do literatury: książek [1], artykułów w czasopismach [2] i materiałach konferencyjnych [3].

# Przedmiot pracy

Celem niniejszej pracy jest zbudowanie systemu dydaktycznego, służącego do obsługi baz danych i nauki tworzenia zapytań rozmytych. Na system składają się dwie części – bazodanowa oraz aplikacyjna. Część bazodanowa to rozszerzenie dla systemu bazodanowego PostgreSQL, składające się z typów, tabel, funkcji SQL i funkcji natywnych uruchamianych z poziomu zapytań SQL, upraszczających budowanie zapytań rozmytych. Część aplikacyjna to program komunikujący się z bazą danych, który docelowo powinien być uruchamialny na platformach Windows, Linux i macOS. Aplikacja ma umożliwiać wyświetlanie wyników zapytań w wydajny i przejrzysty sposób, a także tworzenie zapytań przy użyciu edytora kodu. Wydajność obu części rozwiązania zostanie przebadana na dużych zbiorach danych podczas testów. Elementem badań będzie też wybór technologicznych rozwiązań i zastosowanej architektury, które z uwagi na szybki rozwój i częste zmiany nie zostały jeszcze dobrze opisane w pracach akademickich. Wszystkie elementy aplikacji powinny być osadzone w interfejsie użytkownika o niskim poziomie skomplikowania, lecz dużej użyteczności. Za nazwę systemu przyjęto złączenie słów rozmyty i baza - Fuzzybase.

## Wykorzystane technologie

Do zbudowania systemu dydaktycznego postanowiono wykorzystać jedno z najpopularniejszych w ostatnich latach środowisk do tworzenia aplikacji wieloplatformowych – Electron. Środowisko to jest wykorzystywane m.in. przez komunikatory Skype i Slack, środowisko programistyczne VS Code czy narzędzie do zarządzania repozytoriami z kodem GitKraken. Aplikacja, oparta o frameworki React i Redux, zostanie napisana w języku TypeScript, który jest następnie tłumaczony do języka JavaScript. Całość jest pakowana do skompresowanej i zoptymalizowanej paczki z kodem przy użyciu narzędzia Webpack, a następnie zamknięta w pliku natywnej aplikacji (np. \*.exe dla Windows, \*.app dla macOS) poprzez wspomniane środowisko Electron. Uzasadnieniem powyższych wyborów jest uniwersalność, prostota działania, a także znajomość technologii przez autora pracy.

Poza samą aplikacją, system dydaktyczny ma zawierać również zestaw funkcji rozmytych stanowiących rozszerzenie dla baz danych. Podobnie jak w poprzednim rozwiązaniu, zostanie użyta baza PostgreSQL, a funkcje pozostaną w języku C, jednak zostaną poddane refaktoryzacji.

### PostgreSQL

Postgres to jeden z powszechnie używanych systemów obiektowo-relacyjnych baz danych. Umożliwia dodawanie funkcjonalności poprzez rozszerzenia, czego popularnym przykładem jest rozszerzenie umożliwiające przechowywanie informacji geograficznych PostGIS. Szczegółowy opis tworzenia rozszerzeń dla systemu Postgres został przedstawiony w rozdziale 3.2.

### JavaScript/ECMAScript

JavaScript to wysokopoziomowy, dynamicznie typowany język programowania, który powstał w latach 90. JavaScript został przekazany organizacji Ecma International w celu ustalenia wspólnego standardu dla wszystkich producentów oprogramowania. Został określony w standardzie ECMA-262 i jest obecnie znany jako ECMAScript (skrótowo ES). Jako język wieloparadygmatowy umożliwia podejścia: obiektowe (poprzez tworzenie klas określanych prototypami), zdarzeniowe (ang. event-driven), funkcyjne i imperatywne.

W kilka lat po debiucie środowiska uruchomieniowego Node.js w 2009 i udostępnienia oficjalnej platformy do udostępniania pakietów Node Package Manager nastąpił gwałtowny wzrost popularności języka, który wraz z dostępnymi pakietami umożliwia obecnie tworzenie aplikacji przeglądarkowych, mobilnych, serwerowych i desktopowych.

Działanie JavaScriptu jest ograniczone do wykonywania kolejnych operacji w jednym wątku w tzw. pętli zdarzeń. Dzięki temu maszyna wirtualna nie musi zarządzać współdzieleniem pamięci między wątkami, a także zarządzać nimi, co pozwala na osiągnięcie bardzo dobrych wyników wydajnościowych. Pętla zdarzeń pozwala na asynchroniczność działania aplikacji, jednak nie oznacza to równoległości. W obrębie jednego procesu długie obliczenia nie mogą zostać oddelegowane do osobnych wątków, a w związku z tym kolejne zdarzenia w pętli nie zostaną wykonane aż do momentu wykonania obliczeń. Istnieje kilka sposobów na poradzenie sobie z problemem blokowania pętli zdarzeń. W przypadku aplikacji serwerowych zbudowanych w oparciu o platformę Node.js operacje wejścia/wyjścia są wykonywane w osobnym wątku, co pozwala na użycie jednego z mechanizmów asynchroniczności (callback, Promise, async/await, generator) i obsługiwanie kolejnych żądań, a następnie powrót do obsługi poprzedniego żądania po uzyskaniu danych. Drugim sposobem jest wydzielenie osobnych procesów służące do równoległej obsługi żądań (najoptymalniej, gdy ich ilość pokrywa się z ilością wątków, które sprzętowo obsługuje procesor). Można pokusić się nawet o utworzenie dedykowanych procesów służących wyłącznie do długotrwałych operacji i korzystanie z mechanizmów IPC (ang. inter-process communication). Jednak nawet jeśli utworzymy dziesiątki procesów na wydajnej maszynie, wystarczy tyle samo długo trwających zadań, aby skutecznie zablokować działanie kolejek. Jedynym sposobem jest wykorzystanie operacji setImmediate, która opóźni wykonanie kolejnej części kodu przenosząc je na koniec kolejki. Jest to z jednej strony wadaJavaScriptu - programista musi sam zarządzać „przełączaniem wątków”, a z drugiej zaleta, pozwalająca na w pełni atomowe wykonanie fragmentów kodu i uniknięcie hazardu, do rozwiązania którego najczęściej potrzebne są semafory.

Drugą ważną cechą JavaScriptu jest dynamiczne typowanie, dające nieograniczone możliwości w manipulacji danymi – nie tylko przypisywanie wartości różnych typów do zmiennych, ale także modyfikację typów (klas, obiektów, tablic) w czasie trwania programu. Do pisania trywialnych aplikacji nie jest wymagane korzystanie ze środowiska programistycznego, jednak bez korzystania ze środowiska umożliwiającego sprawdzanie i podpowiadanie typów, wraz z rosnącą złożonością aplikacji, maleje szansa na napisanie bezbłędnie działającego programu.

Każdy współczesny projekt pisany z użyciem języka JavaScript posiada plik package.json, w którym zdefiniowane są: wersja, nazwa projektu, zależności projektowe (lista projektów zewnętrznych, z których korzysta aplikacja), zależności deweloperskie (lista projektów zewnętrznych, które wykorzystywane są do budowania projektu) i komendy uruchomieniowe.

### TypeScript

TypeScript jest rozszerzeniem języka JavaScript, dokładającym do niego możliwość typowania. Kod w TypeScripcie transkompilowany do JavaScriptu. Transkompilacja polega na przetworzeniu kodu w języku TS, obliczeniu typów, sprawdzeniu ich, a następnie zwróceniu wyniku w postaci kodu JS lub podsumowania błędów. Zastosowanie TypeScriptu rozwiązuje to problem dynamicznego typowania opisany w poprzednim rozdziale. To, że TypeScript jest rozszerzeniem języka JavaScript oznacza całkowitą zgodność ze standardem ECMAScript – kod napisany przy użyciu czystego języka JavaScript zostanie przekazany dalej. Zmienne, stałe oraz funkcje, które nie zostaną obłożone typami, a które kompilator języka TypeScript będzie w stanie wywnioskować (ang. infer) z kontekstu kodu, zostaną sprawdzone pod względem poprawności. Dla przykładu, podczas sprawdzania poniższego wyrażenia zostanie zgłoszony błąd TS2339: Property 'match' does not exist on type 'string[]', gdyż funkcja match nie istnieje w prototypie tablicy ciągów znaków, który został wywnioskowany.

**const** x = (a) => [a + 'Test'];  
x('TypeScript').match(/^Type/);

Listing . Przykład niepoprawnego wyrażenia w języku TypeScript

Oczywistym jest, że podstawowe typy języka TypeScript pokrywają się z typami dostępnymi w języku JavaScript. Są to:

* Boolean – przechowuje wartości prawda/fałsz,
* Number - brak jest osobnych reprezentacji liczb zmienno- i stałoprzecinkowych, gdyż wszystkie liczby przechowywane są jako liczby zmiennoprzecinkowe podwójnej precyzji,
* String – ciąg znaków jest typem podstawowym, a JavaScript nie posiada typu znakowego,
* Array – tablica o nieokreślonej liczbie elementów,
* Tuple – tablica o określonej liczbie i typach elementów,
* Enum – typ wyliczeniowy, pozwalający nadać przyjazne nazwy wartościom liczbowym lub ciągom znaków,
* Any – reprezentuje dowolny typ; do zmiennych tego typu można przypisać dowolną wartość,
* Void – reprezentuje brak typu, często zwracany przez funkcje; do zmiennych tego typu można przypisać jedynie wartości undefined i null,
* Undefined i Null – typy oznaczające brak wartości, które domyślnie można przypisać do dowolnego typu (np. zmienna typu number może w rzeczywistości przyjąć wartość null); istnieje jednak możliwość włączenia opcji strictNullChecks, dzięki której żadna zmienna nie określona jako undefined, bądź null, nie może przyjąć tych wartości,
* Never – typ never określa wartości, które nigdy nie wystąpią; przykładem może być typ zwracany przez funkcję, która zawsze rzuca wyjątek przed zakończeniem swojego przebiegu,
* Object – zgodnie ze specyfikacją, jest to typ, który nie zalicza się do typów number, string, boolean, null lub undefined; typ Array zalicza się więc do typu Object, który sam jest w stanie przechowywać dane w postaci rekordów.

Bytami wprowadzonymi dopiero w języku TypeScipt są interfejsy oraz klasy. Interfejsy (dostępne jako interface) pozwalają na określenie tego, jak ma wyglądać dany obiekt lub funkcja i są sposobem na ustalenie jednolitego kontraktu między fragmentami kodu. Klasy (dostępne jako class) zostały wprowadzone do języka JavaScript w standardzie ECMAScript 6. Pozwalają one na definicję fragmentów programu zgodnie z obiektowym paradygmatem programowania, z wydzieleniem konstruktora, pól i metod. TypeScript pozwala również na definiowanie aliasów dla typów złożonych (dostępne poprzez słowo kluczowe type). Typ może być przecięciem (częścią wspólną, działającą niczym operacja AND) lub unią (działającą tak jak operacja OR) innych typów. Możliwe jest rozszerzanie typów wcześniej utworzonymi (słowo kluczowe extends lub wspomniane przecięcie) oraz tworzenie typów generycznych, a więc takich, które przyjmują inne typy jako swoje parametry.

Obecnie wiele modułów dostępnych za pośrednictwem repozytorium NPM posiada wbudowane definicje typów, umieszczane w plikach z rozszerzeniem d.ts. Definicje typów to plikami zawierające jedynie typy i nie znajduje się w nich żaden kod wykonywalny. Część modułów nie posiada wbudowanych definicji. W odpowiedzi na potrzeby społeczności TypeScript powstało monolityczne repozytorium DefinitelyTyped, przechowujące tysiące definicji typów dla modułów bez wsparcia języka TypeScript.

### Webpack

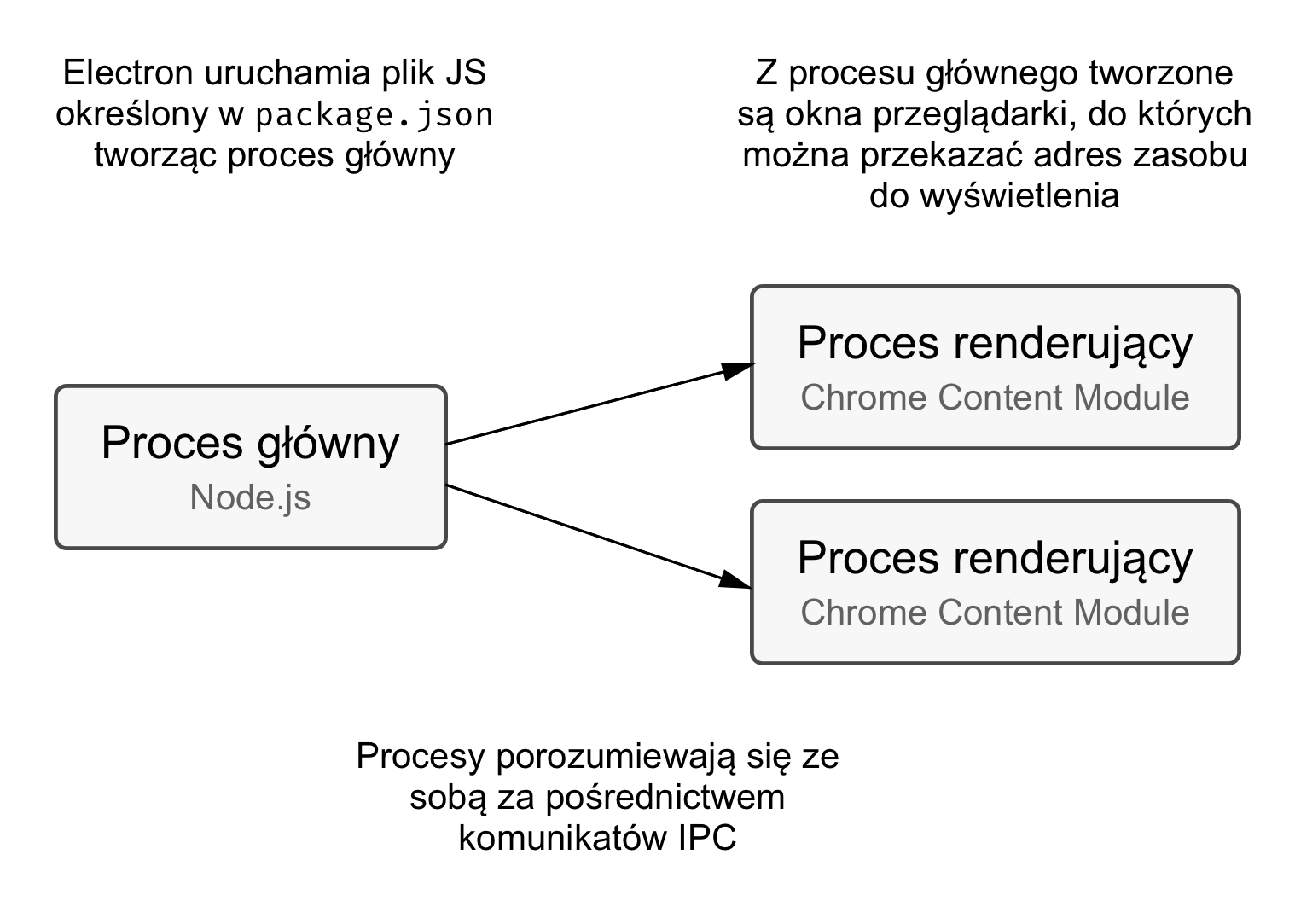
Webpack jest narzędziem służącym do automatyzacji złożonego procesu budowania aplikacji JavaScriptowych. Dzięki *loaderom* (z ang. narzędzie ładujące) umożliwia przetworzenie wszystkich plików projektu i wyłapanie zależności między nimi i wykorzystywanych zasobów. Pozwala to na udostępnienie w pakiecie z aplikacją jedynie tych zasobów (plików graficznych, fontów i innych plików nie będących kodem) oraz fragmentów kodu, które zostały zaimportowane w punkcie wejścia aplikacji. Proces można zilustrować jako rosnące drzewo składające się z zależności w aplikacji. Optymalizacja stosowana przez narzędzie WebPack, polegająca na pozbyciu się nieużywanych fragmentów kodu to *tree-shaking* (z ang. potrząsanie drzewem), co oznacza pozbycie się z naszego drzewa zależności, które nie mają żadnego połączenia z innymi zależnościami. Dla języka TypeScript przygotowano dedykowany *loader*, który umożliwia przetworzenie wszystkich plików tego języka w locie. Podobnie jest w przypadku zasobów graficznych. W pliku konfiguracyjnym narzędzia WebPack, wykorzystywanym również do budowy stron internetowych, najczęściej znajdują się *loadery* umożliwiające ponowną kompresję, skalowanie i optymalizację niemalże dowolnych zasobów.

### Electron

Electron to środowisko uruchomieniowe pozwalające na tworzenie aplikacji przy użyciu języków HTML, CSS i JavaScript. Pierwotnie środowisko Electron było rozwijane pod nazwą Atom Shell przez GitHub, będąc środowiskiem stworzonym na potrzeby środowiska programistycznego Atom.

Platforma Electron składa się z dwóch środowisk opartych na języku JavaScript. Są to Node.js oraz Chrome Content Module. Część aplikacji działająca w Node.js to proces główny, który posiada pełny dostęp do systemu, w którym działa. Proces główny jest oczywiście ograniczony uprawnieniami użytkownika lub innego procesu, który go uruchomił. Część aplikacji działająca jako Chrome Content Module to fragment przeglądarki Chrome, umożliwiający wyświetlanie stron internetowych [1]. Zawiera wszystkie funkcjonalności niezbędne do renderowania zawartości w przeglądarce (np. HTML5) i wsparcie akceleracji graficznej. Pozbawiona jest natomiast rozszerzeń Chrome, automatycznego wypełniania formularzy, autokorekty itp. Dzięki połączeniu wyżej opisanych części składowych środowiska Electron, z poziomu aplikacji rezydującej w procesie przeglądarki, można uzyskać dostęp do interfejsów programowania aplikacji dostępnych wcześniej tylko dla aplikacji w Node.js. Ponadto w Node.js można wykorzystać natywne biblioteki programistyczne, które mogą służyć np. do przetwarzania obrazu.

Electron wykorzystuje format plików ASAR, który służy do archiwizacji wszystkich zasobów oraz kodu aplikacji. Podczas uruchamiania aplikacji w platformie Electron, najpierw uruchamiany jest proces główny, którego kod źródłowy jest lokalizowany w paczce ASAR na podstawie definicji zawartej w pliku package.json. Proces główny może tworzyć obiekty BrowserWindow, które tworzą nowe procesy renderujące. Komunikacja między procesami odbywa się za pomocą wbudowanego mechanizmu IPC. IPC pozwala na wysyłanie komunikatów tekstowych do konkretnych procesów. Należy zatem zadbać, aby wszystkie dane były serializowalne, gdyż np. prototypy klas oraz funkcje nie są przekazywane.



Rys. . Schemat działania procesów w platformie Electron

Poza udostępnianiem standardowych interfejsów programistycznych, Electron integruje się z systemami Windows, macOS i Linux, pozwalając na tworzenie aplikacji rezydujących w zasobniku systemowym, przechwytywanie zdarzeń myszy i klawiatury i wykorzystywanie innych możliwości systemów, np. wyświetlanie powiadomień, czy obsługę paska Touch Bar w komputerach z systemem macOS.

### Architektura Flux, React i Redux

Flux to architektura służąca do tworzenia aplikacji internetowych opracowana przez zespół Facebooka. Architektura Flux nie jest odgórnie narzuconą strukturą, można ją traktować jako nieobowiązkowy wzorzec. Polega na wykorzystaniu komponentów interfejsu użytkownika w taki sposób, aby zachować jednokierunkowy przepływ danych. Komponenty mogą pobierać dane od komponentów nadrzędnych lub od komponentów dostarczających dane (komponentów typu Provider). W tej architekturze dane zawsze są przekazywane od korzenia drzewa do jego liści. Informacje zwrotne z komponentów zagnieżdżonych są natomiast przekazywane poprzez mechanizmy zdarzeń (*callbacks*) oraz akcji.

Aplikacje realizowane w architekturze Flux najczęściej posiadają wspólną strukturę przechowującą dane, nazywaną magazynem (z ang. *store*). Magazyn przechowuje stan aplikacji oraz zawiera logikę odpowiedzialną za aktualizowanie stanu na podstawie akcji. Z pojęciem *store* związany jest dyspozytor akcji (ang. *dispatcher*), który pobiera. Dyspozytor jest odpowiedzialny za zarządzanie przepływem wszystkich danych w aplikacji Flux. Sam w sobie jest jedynie rejestrem odwołań do poszczególnych magazynów i mechanizmem przekazywania do nich akcji. W przypadku aplikacji z wieloma magazynami, dyspozytor zyskuje na znaczeniu, gdyż odpowiada on za rozwiązanie zależności między nimi, wykonując akcje w odpowiedniej kolejności.



Rys. . Przepływ danych w architekturze Flux

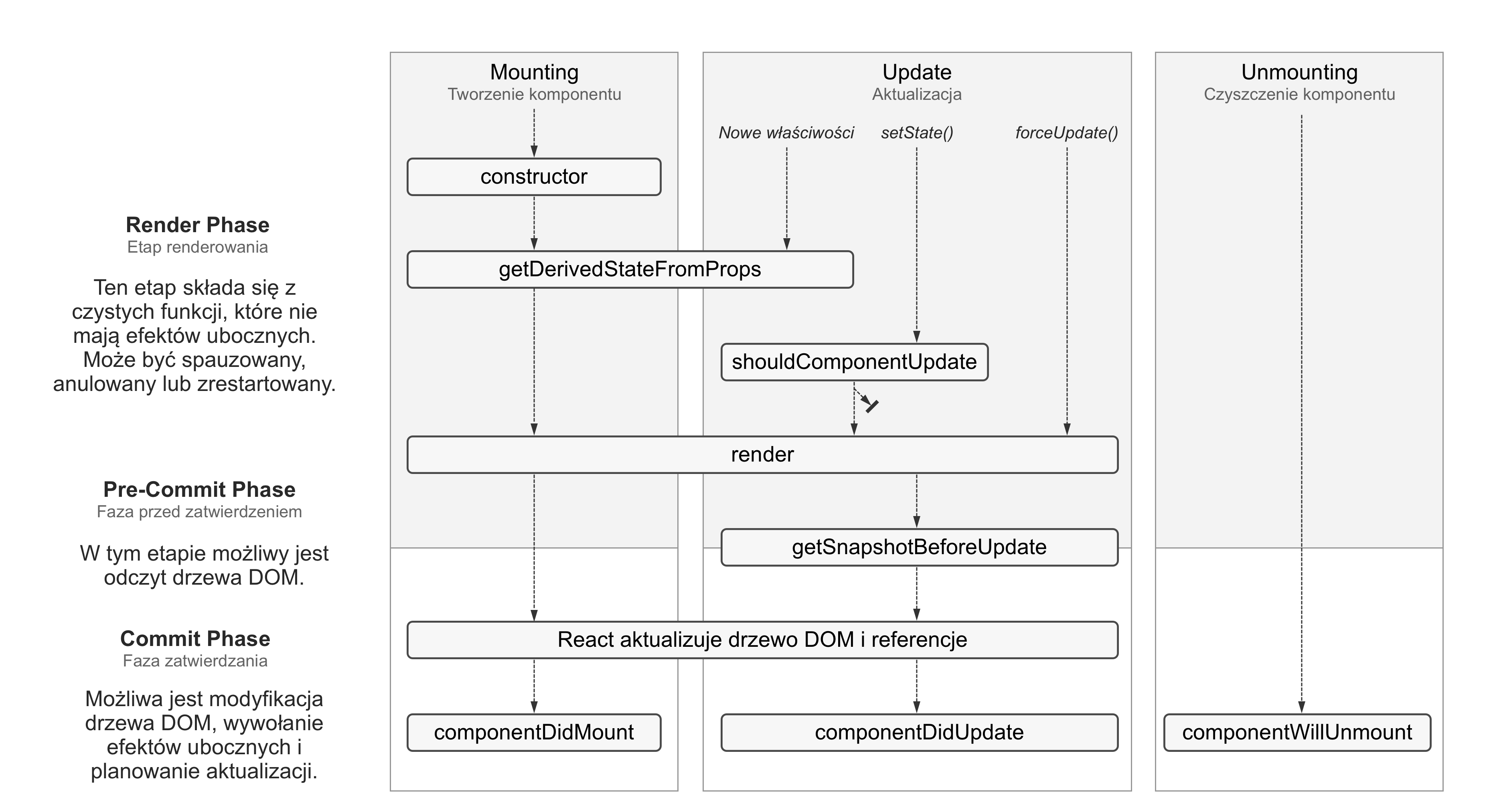
Biblioteka Redux to implementacja mechanizmów magazynu oraz dyspozytora. Programista ma za zadanie zdefiniowanie części logicznej magazynu, czyli tzw. *reducerów*. Akcje definiują jedynie to, co się wydarzyło, natomiast *reducer* definiuje, jak powinien zmienić się stan magazynu aplikacji po otrzymaniu akcji. Nazwa *reducer* pochodzi od operacji Array.reduce w języku JavaScript, która redukuje tablicę do jednej wartości. Operacja ta przyjmuje początkową wartość i funkcję zwracającą nową wartość na podstawie poprzedniej wartości oraz elementu tablicy. Następnie przyjęta funkcja jest wykonywana po kolei na każdym elemencie tablicy zwracając to coraz pełniejszą wartość zredukowaną. *Reducer* działa na identycznej zasadzie, zwracając nowy stan na podstawie poprzedniego oraz wchodzącej akcji. Jeżeli akcja nie ma wpływu na dany *reducer*, wtedy, aby uniknąć kopiowania fragmentu stanu należy zwrócić stary stan. Wyżej opisany mechanizm zarządzania stanem aplikacji skutkuje utworzeniem kopii stanu po każdej zmianie (stan nie jest mutowany), z zastrzeżeniem, że nienaruszone elementy drzewa stanu nie są kopiowane bez potrzeby, a jedynie tworzone jest do nich odniesienie. Oszczędza to czas na kopiowaniu danych oraz umożliwia zachowanie w pamięci wiele stanów poprzednich. Możliwe są także „podróże w czasie”, czyli przeniesienie się do dowolnego z poprzednich stanów aplikacji, co ułatwia debugowanie oraz upraszcza implementację operacji cofnij/powtórz.

Drugą biblioteką, wykorzystywaną do prezentowania treści użytkownikowi, jest React. Ta biblioteka, opracowana przez inżynierów Facebooka, pozwala na deklaratywne budowanie interfejsu użytkownika na bazie komponentów, które posiadają właściwości nadawane przez komponenty je okalające. Opcjonalnie komponenty mogą posiadać swój stan, np. reflektując wartości wpisane do formularza przez użytkownika. W odróżnieniu od innych bibliotek dostępnych na rynku (Angular, Vue) szablony komponentów umieszcza się bezpośrednio w nich, co pozwala na szybkie i czytelne połączenie logiki z widokiem. Dodatkowo czytelność można zwiększyć poprzez wykorzystania rozszerzenia składni JSX, które pozwala na wykorzystanie fragmentów składni XML wewnątrz kodu w języku JavaScript. Komponenty mogą być implementowane zarówno jako klasy, jak i funkcje (*stateless functional components*). Proste komponenty, wyświetlające jedynie fragment stanu aplikacji, można zrealizować poprzez funkcje, które są odpowiednikiem komponentu implementującego jedynie metodę *render*.

**interface** Props {  
 id: **string**;  
 name: **string**;  
 avatar: **string**;  
}  
  
**const** User: React.SFC<Props> = ({  
 id, name, avatar,  
}) => (  
 <div className={styles.container}>  
 <Tooltip title={id}>  
 <Avatar alt={name} src={avatar}/>  
 </Tooltip>  
 <Typography variant="body1">{name}</Typography>  
 </div>  
);

Listing . Przykładowy bezstanowy komponent funkcyjny, wyświetlający informacje o użytkowniku

Złożone komponenty najczęściej wymagają użycia klas, które pozwalają na przechowanie stanu i obsłużenie cyklu życia komponentu, który został zaprezentowany na Rys. 3.3.



Rys. . Cykl życia komponentu React

Połączenie bibliotek React i Redux w architekturze Flux umożliwia tworzenie modułowych i rozszerzalnych aplikacji internetowych oraz mobilnych. Przykładami aplikacji zbudowanych przy użyciu wyżej opisanej architektury są Facebook, Airbnb, Instagram i Netflix.

## Implementacja rozszerzenia dla elementów rozmytych w systemie Postgres

## Architektura systemu

Rozdział zawiera takie elementy, jak:

* rozwiązanie zaproponowane przez dyplomanta,
* analiza teoretyczna rozwiązania,
* uzasadnienie wyboru zastosowanych metod, algorytmów, narzędzi.

# Badania

Rozdział przedstawia przeprowadzone badania. Jest to zasadnicza część i   musi wyraźnie dominować w pracy. Badania i analizę wyników należy przeprowadzić, tak jak jest przyjęte w środowisku naukowym (na przykład korzystanie z danych porównawczych, walidacja krzyżowa, zapewnienie powtarzalności testów itd.).

## Metodyka badań

Rozdział ten zawiera:

* przedstawienie i omówienie zastosowanych algorytmów,
* szczegóły wybranych fragmentów implementacji.

## Zbiory danych

Opis danych wykorzystywanych podczas badań.

## Wyniki

Prezentacja wyników, opracowanie i poszerzona dyskusja wyników, wnioski.

W całym dokumencie powinny znajdować się odniesienia do zawartych w nim ilustracji (Rys. 4.1).

|  |
| --- |
|  |
| Rys.4.1. *Wykres przebiegu funkcji* |

Tekst dokumentu powinien również zawierać odniesienia do tabel (Tabela 4.1).

|  |  |
| --- | --- |
| Tabela 4.1. *Rozmiar czcionek w tytułach rozdziałów* | |
| Poziom 1 | 24 pt |
| Poziom 2 | 20 pt |
| Poziom 3 | 16 pt |
|  | |

# Podsumowanie

otwarcie źródła, rozszerzalność, klient sql

Rozdział ten zawiera:

* syntetyczny opis wykonanych prac,
* wnioski,
* opis możliwości rozwoju, kontynuacji prac, potencjalne nowe kierunki,
* informację, czy cel pracy zrealizowany.

# Bibliografia

|  |  |
| --- | --- |
| [1] | „Chromium for Developers,” [Online]. Available: https://www.chromium.org/developers/content-module. [Data uzyskania dostępu: 09 10 2018]. |
| [2] | S. Kinney, w *Electron in Action*, Manning Publications, 2018, pp. 3-16. |

|  |  |
| --- | --- |
| [1] |  |
| [2] | Imię Nazwisko, Imię Nazwisko. Tytuł artykułu w czasopiśmie. *Tytuł czasopisma*, 157(8):1092–1113, 2016. |
| [3] | Imię Nazwisko, Imię Nazwisko, Imię Nazwisko. Tytuł artykułu konferencyjnego. *Nazwa konferencji*, str. 5346–5349, 2006. |

# Spis skrótów i symboli

|  |  |
| --- | --- |
| *DNA* | kwas deoksyrybonukleinowy (ang. *deoxyribonucleic acid*) |
| *MVC* | model – widok – kontroler (ang. *model–view–controller*) |
| *N* | Liczebność zbioru danych |

# Zawartość dołączonej płyty

Na płycie DVD dołączonej do dokumentacji znajdują się następujące materiały:

* praca w formacie pdf,
* źródła programu,
* zbiory danych użyte w eksperymentach.

# Spis rysunków

# Spis tabel

SQLf - implementacja w Javie

http://calypso.cs.put.poznan.pl/projects/sqlf\_j/

http://calypso.cs.put.poznan.pl/projects/sqlf\_j2006/tutorial/

FSQL - Oracle (model GEFRED):

http://www.lcc.uma.es/~ppgg/FSQL.html

Grupowanie:

http://bdas.polsl.pl/BDAS%6017%20-%20Realizacja%20grupowania%20i%20agregacji%20danych%20w%20module%20translacji%20zapytań%20rozmytych%20na%20zapytania%20klasyczne.pdf?Id=575&val=3

więcej o GEFRED:

http://sci-hub.tw/https://doi.org/10.1016/0020-0255(94)90069-8

fuzzy (trapezoid):

http://sci-hub.tw/https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.11.2653

dokumentacja postgresa dot. fuzzy text search:

https://www.postgresql.org/docs/9.1/static/fuzzystrmatch.html

fuzzy queries - artykuł polskiego autorstwa:

http://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.baztech-90ea0e0a-66bc-4424-8711-f35c1cb4859f

wyszukiwanie fonetyczne tekstu - metaphone:

http://www.informit.com/articles/article.aspx?p=1848528

fuzzy query w elasticu:

<https://www.elastic.co/guide/en/elasticsearch/reference/current/query-dsl-fuzzy-query.html>

historia sqla:

https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6359709

sql 2016

https://modern-sql.com/blog/2017-06/whats-new-in-sql-2016