SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY

Evidenčné číslo: FEI-5384-5958

Určovanie genetických predispozícií pomocou regulárnych výrazov

diplomová práca

SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY

Evidenčné číslo: FEI-5384-5958

Určovanie genetických predispozícií pomocou regulárnych výrazov

diplomová práca

|  |  |
| --- | --- |
| Študijný program : | Aplikovaná informatika |
| Číslo študijného odboru: | 2511 |
| Názov študijného odboru: | 9.2.9 Aplikovaná informatika |
| Školiace pracovisko: | Ústav informatiky a matematiky |
| Vedúci záverečnej práce: | Ing. Stanislav Marček |

Sem vložte zadanie z AIS

SÚHRN

SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Študijný program : | Aplikovaná informatika | |
| Vyberte typ práce | | Určovanie genetických predispozícií pomocou regulárnych výrazov |
| Autor: | Bc. Jakub Kanitra | |
| Vedúci záverečnej práce: | Ing. Stanislav Marček | |
| Miesto a rok predloženia práce: | Bratislava 2015 | |

Vložte text súhrnu, ktorý obsahuje informáciu o cieľoch práce, jej stručnom obsahu a v závere abstraktu sa charakterizuje splnenie cieľa, výsledky a význam celej práce. Píše sa súvisle ako jeden odsek a jeho rozsah je spravidla 100 až 500 slov

Kľúčové slová: Sem vložte 3 - 5 kľúčových slov

ABSTRACT

SLOVAK UNIVERSITY OF TECHNOLOGY IN BRATISLAVA

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND INFORMATION TECHNOLOGY

|  |  |
| --- | --- |
| Study Programme: | Applied Informatics |
| Bachelor Thesis: | Vložte názov práce. |
| Autor: | Bc. Jakub Kanitra |
| Supervisor: | Ing. Stanislav Marček |
| Place and year of submission: | Bratislava 2015 |

Vložte text súhrnu, ktorý obsahuje informáciu o cieľoch práce, jej stručnom obsahu a v závere abstraktu sa charakterizuje splnenie cieľa, výsledky a význam celej práce. Píše sa súvisle ako jeden odsek a jeho rozsah je spravidla 100 až 500 slov

Key words: Sem vložte 3 - 5 kľúčových slov

Vyhlásenie autora

Podpísaný Bc. Jakub Kanitra čestne vyhlasujem, že som diplomovú prácu Určovanie genetických predispozícií pomocou regulárnych výrazov vypracoval na základe poznatkov získaných počas štúdia a informácií z dostupnej literatúry uvedenej v práci.

Uvedenú prácu som vypracoval pod vedením Ing. Stanislavom Marčekom.

V Bratislave dňa 11.05.2015

..................................................

podpis autora

Poďakovanie

Obsah

Úvod 1

1 Analýza problému 3

1.1 Genetika 3

1.1.1 Biológia bunky 4

1.1.2 DNA 5

1.1.3 Gén a mutácia 7

1.1.4 Projekty 7

1.2 Regulárne výrazy 8

1.2.1 Zápis 8

1.2.2 Konečný akceptor 10

1.2.3 Thompsonov konštrukčný algoritmus 12

1.2.4 Použitie 13

1.3 Distribuované systémy 14

1.3.1 Základy 14

1.3.2 Výzvy 15

1.3.3 Aplikácie 15

2 Opis riešenia 17

3 Zhodnotenie 18

Záver 19

Zoznam použitej literatúry 20

Prílohy I

Príloha A: Nadpis II

Zoznam obrázkov a tabuliek

Figure 1 Obory potrebné pre riešenie diplomovej práce 3

Figure 2 Schéma eukaryotickej bunky. Zdroj: [3] 4

Figure 3 Karyotyp človeka. Zdroj: [3] 5

Figure 4 Štruktúra DNA makromolekuly 6

Figure 5 Nedeterministický akceptor 11

Figure 6 Deterministický akceptor 11

Figure 7 Nedeterministický akceptor s ε-prechodmi 11

Figure 8 Pravidlá Thompsonového konštrukčného algoritmu 13

**No table of figures entries found.**  
In your document, select the words to iclude in the table of contents, and then on the Home tab, under Styles, click a heading style. Repeat for each heading that you want to include, and then insert the table of contents in your document. To manually create a table of contents, on the Document Elements tab, under Table of Contents, point to a style and then click the down arrow button. Click one of the styles under Manual Table of Contents, and then type the entries manually.

Zoznam skratiek a značiek

DNA – Deoxyribonukleová kyselina

RNA – Ribonukleová kyselina

HGP – Human Genome Project

API – Application Programming Interface

UI – User Interface

BRE – Basic Regular Expression

ERE – Extended Regular Expression

POSIX – Portable Operating System Interface

IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers

RFC – Request For Comments

NKA – Nedeterministický konečný akceptor

DKA – Deterministický konečný akceptor

TKA – Thompsonov konštrukčný algoritmus

DS – Distributívny systém

DDoS – Distributed Denial of Service

UML – Unified Modeling Language

VCS – Version Control System

DBMS – Database management system

**Úvod**

Genetickým poruchám a chorobám sa veľmi ťažko dá predísť a v posledných desaťročiach ich rapídne pribúda. Podľa štatistík 3-4% všetkých novorodencov trpí určitým genetickým defektom a spôsobuje 20% všetkých umrtí novorodencov. O vážnosti týchto ochorení značí aj fakt, že 10% všetkých dospelých a 30% detských hospitalizovaných pacientov má geneticky ovplyvnené choroby. (1)

Diagnostika týchto ochorení nieje jednoduchá, no vďaka rozsiahlemu štúdiu a analýze ľudskej DNA a následnom skúmaní génov vznikajú rozsiahle databázy, ktoré opisujú gény a ich mutácie, na ich základe sa časť z týchto chorôb dá diagnostikovať v počiatkoch a teda umožniť včasnú liečbu.

Rozmachu takejto diagnostiky ako jednej zo základných bráni finančná náročnosť a rýchlosť DNA sekvencizátora, teda prístroja ktorý zosekvencuje DNA na sekvenciu dusíkových báz ktoré opíšem v 1.1 . Tento prístroj je v relatívnych počiatkoch (prvý vytvoril Lloyd M. Smith v roku 1987) a už teraz vidíme rapídnu evolúciu, a teda sa môže očakávať nárast rýchlosti a dostupnosti tohto prístroja.

Ďalším dôležitým faktom je výpočtová náročnosť analýzy sekvencie, keďže kompletná ľudská DNA sekvencia má približne 3 miliardy nukleotidových párov a 25 000 – 30 000 génov ich určenie vyžaduje značnú výpočtovú silu. Práve na tento fakt sa táto práca zameriava.

**Cieľom** **práce** je vytvorenie systému, ktorý by pre danú DNA sekvenciu určil genotyp jedinca a teda určil aj prítomnosť dostupných chorôb. Pre vytvorenie takéhoto systému sú potrebné základné poznatky z molekulárnej biológie a genetiky, ale aj poznatky z teórie regulárnych výrazov a ich spracovávania napríklad konečnými automatmi, tie sú opísané v 1.2. Táto práca sa neobmedzuje iba na DNA sekvencie, jej variácia sa môže použiť napríklad ako prostriedok big data analýzy napríklad na analyzovanie veľkých dát textov.

Rýchlosť a efektívnosť systému bude zabezpečovať jeho distribuovaná povaha. Tá zabezpečuje minimálne nároky na výpočtovú silu riadiaceho servera a spolieha sa na pripojené výpočtové zariadenia (uzly). Tie sú platformovo nezávislé, a tedo to môžu byť tablety, smartfóny alebo počítače. Bližšie informácie o tomto type systémov je možné nájsť v 1.3. Tento druh bol vybraný pre jeho malé rozšírenie, no enormný potenciál, keďže správne navrhnutý môže byť efektívnejší ako superpočítač a takisto rozšírením dostupných potenciálnych uzlov vďaka zrýchľovaniu zariadení a zväčšovaniu pokrytia vysokorýchlostným internetom.

Túto tému diplomovej práce som vymyslel nie z dôvodu, že som expert v nejakej zo spomínaných oblastí, no práve pre chuť a entuziazmus sa im venovať. Taktiež verím, že koncepty, algoritmy, výsledný systém a jeho podsystémy sa budú mocť uplatniť pri rôznych projektoch.

1. Analýza problému

Na Figure 1 sú v podobe diagramu ukázané potrebné znalosti na vyriešenie problému. V podkapitolách opíšem informácie a teóriu potrebné k splneniu zadania.



Figure 1 Obory potrebné pre riešenie diplomovej práce

* 1. Genetika

Táto časť je venovaná ozrejmeniu potrebných znalostí ohľadom genetiky a molekulárnej biológie, je nutné zdôrazniť, že práca je technického oboru a teda sa nebude opisovať do veľkej hĺbky, nebude tu spomenutá zložitá dedičnosť a replikácia jadra bunky a bunky samotnej. Tieto informácie sa dajú získať z knižných referencií (2) (3).

Genetika, veda o dedičnosti, je vo svojom základe štúdium biologickej informácie. Všetky živé organizmy, od jednobunkových baktérií, rastlín a zvierat, musia uchovať, replikovať a preniesť na potomkov mnoho informácií o vývoji, reprodukcii a prežití vo svojom prostredí. Genetici skúmajú ako organizmy odovzdávajú biologické informácie vo forme DNA na svojich potomkov a ako ich využívajú počas života. (2)

* + 1. Biológia bunky

Aby sa mohla pochopiť súvislosť a neuveriteľná prepracovanosť živých tvorov, je nutné aby sa opísala základná stavebná jednotka organizmu, bunka.

Existujú 2 typy buniek určené podľa ich zloženia:

* Prokaryotické – neobsahujúce jadro, a preto sa DNA voľne pohybuje v cytoplazme bunky
* **Eukaryotické** (zobrazená na Figure 2) – obsahujúce jadro, DNA je pevne uložené vo vnútri a za žiadnych okolností ho neopúšťa, informácie sa prenášajú iba pomocou RNA, ľudské bunky sú tohto typu, a preto je tento typ v našom centre záujmu

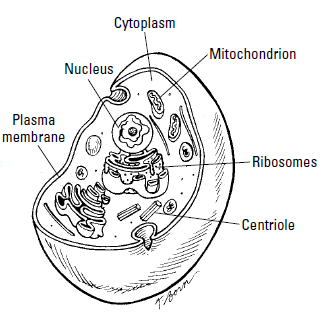


Figure 2 Schéma eukaryotickej bunky. Zdroj: (3)

Vo vnútri jadra sa nachádza genetická informácia v podobe chromozómov. Chromozóm je stužkovitý útvar pozostávajúci z DNA a pomocných naviazaných bielkovín. Nieje viditeľný ani pomocou mikroskopu, viditeľným sa stáva iba pri procese delenia bunky (mitózy). Počet chromozómov v jadre sa líši od druhu organizmu, človek má 46 chromozómov v jadre. Tie sa delia na 22 identických párov zhodujúcich sa v tvare a dĺžke a 1 pár pohlavných chromozómov, ktoré môžu byť zhodné (XX pre ženu) alebo rozdielne (XY pre muža). Ich unikátny tvar umožňuje presné zadefinovanie poradia chromozómov, čo je veľmi výhodné, keďže môžme sekvenciu DNA zapísať ako nepretržitý celok v definovanom poradí. Toto poradie sa nazýva aj karyotyp organizmu. Ukážka ľudského karyotypu je na Figure 3.

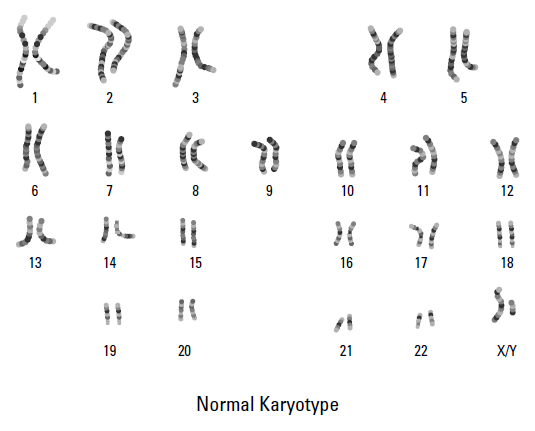


Figure 3 Karyotyp človeka. Zdroj: (3)

Je nutné poznamenať, že nie každý organizmus obsahuje páry chromozómov, ale iba takzvané diploidné organizmy, napríklad osy sú haploidné čo znamená, že nemajú páry, ale sú organizmy, ktoré obsahujú až šesťnásť kópií toho istého chromozómu.

* + 1. DNA

Ako bolo spomenuté, chromozómy sa skladajú z molekúl deoxyribonukleonej kyseliny (DNA). Tieto makromolekuly sú veľmi odolné a vďaka tomu je možné ich neporušenú extrakciu zo skamenelých kostí alebo zvierat umrznutých v ľadovcoch.

**Chemické zloženie** DNA molekúl je pomerne jednoduché. Dusíková báza, deoxyribózový cukor a fosfát sa spojí za vzniku nukleotidu. Nukleotidy sa označujú podľa použitej dusíkovej bázy. Zistilo sa, že v celej DNA sa nachádzajú iba 4 druhy dusíkových báz, konkrétne sú to adenín, guanín, tymín a cytozín. Tie sa komplementárne dopĺňajú, a vznikajú nukleotidové páry adenínu s tymínom a cytozínu s guanínom. Tisíce takýchto párov sa skladajú do dvojitej závitnice zobrazenej na Figure 4. Táto závitnica je kľúčom k ochrane a veľkej odolnosti celej molekuly.

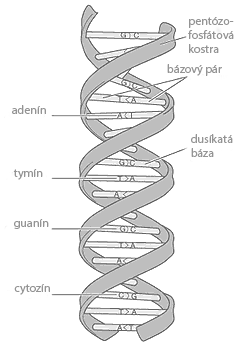


Figure 4 Štruktúra DNA makromolekuly

DNA molekuly zo všetkých ľudských chromozómov obsahujú približne 3 miliardy nukleotidových párov a kebyže sa tieto závitnice rozložia do radu, bol by dlhý zhruba 185cm (3). Pre porovnanie baktérie majú zhruba 4 milióny nukleotidových párov.

Zápis celej alebo časti ľudskej DNA ako poradie nukleotidov sa nazýva **sekvencovanie**. Keďže nukleotidový pár je komplementárny stačí zápis iba jednej strany závitnice. Sú vyvinuté automatizované prístroje, ktoré používajú viacero techník na sekvencizáciu DNA, najznámejšia a najpoužívanejšia je Sangerova metóda.

Je nutné poznamenať, že zosekvencovanie celej ľudskej DNA, takzvané sekvencovanie genómu je časovo a finančne náročné. Avšak trend rapídneho klesania ceny a tým súvisiaceho času je vidno napríklad pri porovnaní ceny zosekvencovania celého genómu jednotlivca. V roku 2001 bola cena 100 miliónov dolárov no v roku 2014 to bolo menej ako 10 tisíc dolárov pri zachovaní menej ako 1% miery chybovosti, ktorá je komunitou akceptovaná (4).

* + 1. Gén a mutácia

**Gén** je základná fyzická a funkčná jednotka dedičnosti. Gény môžu byť takzvané non-coding RNA a gény ktoré kódujú syntézu určitého druhu bielkoviny. Bielkoviny sú základné stavebné jednotky organizmu a zabezpečujú všetky fyzické a funkčné vlastnosti jedinca, napríklad farbu vlasov, očí, výšku no aj základné fyziologické vlastnosti ako trávenie a dýchanie. Všetky vlastnosti zákódované v DNA sa označujú ako fenotyp jedinca.

Vieme, že ľudský genotyp sa skladá z približne 21 000 génov. Tie sa líšia v dĺžke, a dosahujú až veľkosť 2,3 milióna nukleotidových párov. Niektoré vlastnosti sú ovplyvnené jediným génom (monogenické) a ovplyvnené skupinov génov (polygenické). Vedci odhadujú, že je 10 000 monogenických genetických ochorení, ako príklady uvedieme cystickú fibrózu alebo Huntingtonovu chorobu.

??Kódovanie bielkovín pomocou RNA – ak nebude dosť teórie??

**Mutácia** je permanentná zmena nukleotidovej sekvencie v DNA. Väčšina mutácií prebehne bez postrehnutia, pretože prebehne v takzvanom „junk DNA“, teda časti sekvencie, ktoré nepatrí do žiadneho génu. No ak prebehne v génovej sekvencii, dôsledky môžu byť fatálne. Napríklad na treťom chromozóme, ktorý nesie 1000-2000 génov sa nachádza jeden ktorý zabezpečuje syntézu rhodopsínu, svetlocitlivej bielkoviny nachádzajúcej sa na sietnici. Je zaznamenaných až 30 mutácií tohto génu, ktoré ovplyvňujú korektné videnie.

Typy mutácií na sekvenčnej úrovni sú (2):

* Substitučné, nukleotidový pár sa posunie v sekvencii alebo sa obrátia jeho strany
* Odstránenie, odstránenie jedného alebo viacerých nukleotidových párov
* Vloženie, vloženie jedného alebo viacerých nukleotidových párov
* Inverzia, obrátenie poradia časti sekvencie
  + 1. Projekty

Human Genome Project

Najväčšiemu skoku vo výskume genetiky vďačíme práve HGP (5). Začal v roku 1990 a bol označený za úspešne ukončený v roku 2003. Jeho cieľom bolo zosekvencovanie celého ľudského genómu a určenie všetkých génov. Pri začiatkoch sa predpokladalo, že existuje cca. 100 000 génov kódujúcich bielkoviny, no HGP potvrdilo,   
že ich je cca. 21 000 a zdokumentované ich uložilo vo verejných databázach.

Práve tento projekt odštartoval takzvanú genomickú revolúciu (5). Vytvoril 310 000 pracovných pozícií a považuje sa za jeden z najväčších vedeckých prínosov v histórií ľudstva. Ovplyvnil mnoho technologických a vedeckých odvetví od zdravotníctva, biotechnológií, poľnohospodárstva, veterinárstva, forénznych vied a mnohých iných.

Genome Browsers

V bioinformatike je nutný rýchly a spoľahlivý prístup k biologickým databázam za účelom získania genomických dát. Za týmto účelom bolo vytvorených viacero „genome browsers“, ktoré poskytujú API alebo UI pre získanie týchto dát. Väčšina obsahuje dáta z tých istých zdrojov a líšia sa iba vo forme.

Práve tieto dáta sú potrebné pre riešenie zadaného problému tejto Diplomovej práce a budú podrobnejšie opísané v Kapitole 2.

* 1. Regulárne výrazy

V Kapitole 1.1.2 bolo ukázané, že ľudská DNA a teda všetky vlastnosti jedinca sú zakódované do postupnosti 4 druhov nukleotidov, konkrétne sú to adenín (A), cytozín (C), tymín (T) a guanín (G). Preto sa ľudská DNA dá zapísať ako postupnosť týchto 4 znakov o veľkosti tri miliardy. V kapitole 1.1.3 zas boli opísané gény a mutácie vo vzťahu práve k tejto postupnosti. Z týchto poznatkov môžme vyvodiť, že určenie génu je vlastne zistenie prítomnosti daného vzoru v reťazci. Tento vzor môže zakomponovávať rôzne variácie reťazca, v tejto implementácií sú to mutácie. Práve na takýto účel boli vytvorené regulárne výrazy.

„Regulárny výraz je zápis popisujúci množinu znakových reťazcov. Keď konkrétny reťazec je v množine popísanej regulárnym výrazom, tak sa hovorí, že reťazec vyhovuje vzoru.“ (6) Je široko používaný v teoretickej počítačovej vede a teórií formálnych výrazov.

* + 1. Zápis

V najjednoduchšej forme môže regulárny výraz definovať konkrétne slovo alebo znak, no môže definovať aj zložité vzory napríklad validnú e-mailovú adresu, telefónne číslo, dátum alebo aj cystickú fibrózu v ľudskej DNA.

Časť IEEE POSIX štandardu, BRE (basic regular expression) a ERE (extended regular expression) zjednocuje zápis regulárnych výrazov. Využíva konvenčnú znakovú sadu a definuje metaznaky s kontrolnými funkciami.

Takýmito metaznakmi sú:

* **.** – ľuboľný znak
* **[ ]** - označuje ľubovoľný znak z množiny vo vnútri, napríklad výraz [abc] značí prítomnosť znaku a alebo b alebo c, môže sa použiť aj skrátený zápis   
  [a-c]
* **[^ ]** – negácia množiny vo vnútri zátvoriek
* **^** - začiatok textu alebo riadku
* **$** - koniec textu alebo riadku
* **( )** – definovanie podvýrazu
* **\n** – vloženie n-tého podvýrazu definovaného spôsobom popísaným vyššie
* **\*** - označuje výskyt predchádzajúceho elementu nula alebo viackrát, môže sa použiť s podvýrazom, napríklad (abc)\* vyhovuje “”, “abc”, “abcabc” atď.
* **{m, n}** – označuje výskyt predchádzajúceho elementu minimálne m-krát vrátane a maximálne n-krát vrátane, napríklad a{2,3} vyhovuje slovám “aa” alebo “aaa”
* **?** – označuje výskyt predošlého elementu nula alebo jedenkrát
* **+** – označuje výskyt predošlého elementu jeden alebo viackrát
* **|** – logické alebo

V praxi sa používajú aj takzvané **znakové triedy**. Existuje viacero znakových tried, napríklad malé písmená, všetky alfanumberické znaky, číselné znaky a ďalšie. Zápis týchto tried nieje ustálený a preto tu spomeniem iba najpoužívanejšiu implementáciu pomocou ASCII znakov najdôležitejších tried. Sú to:

* [a-z] – malé písmená
* [A-Z] – veľké písmená
* [0-9] – číselné znaky
* [A-Za-z0-9] – všetky alfanumerické znaky
* [A-Fa-f0-9] – znaky hexadecimálneho čísla

Je nutné poznamenať, že regulárne výrazy niesú obmedzené iba na ASCII znaky a môžu sa použiť aj znakové triedy unicode znakov použitím /u a unicode kódu znaku. Napríklad [/u00C1-/u01C4] obsahuje všetky špeciálne slovenské písmená.

Príklad

Demonštrácia zostrojenia regulárneho výrazu je možná na príklade overenia korektnosti zadanej e-mailovej adresy.

Štandardizovaná syntax emailovej adresy je definovaná v RFC 5322. Keďže emailová adresa je case-insensitive, je možné celý vstup pretransformovať na malé písmená. Syntax podľa RFC 5322 sa môže definovať ako *local-part@domain*, kde doménová časť musí obsahovať minimálne dve doménové úrovne a musí sa ukončiť top-level doménov, ktorá sa skladá z dvoch až šiestich ascii znakov.

Najintuitívnejší výraz, zabezpečujúci validitu e-mailovej adresy by mohol byť:   
*^[a-z0-9.]+@[a-z0-9.]+.[a-z]{2,6}$*

Tento výraz má zopár nedostatkov, prvým je nepodporovanie všetkých povolených znakov aj keď všetky sa v praxi nepoužívajú. Dokonca emailová služba spoločnosti google nepodporuje všetky znaky a lokálna časť sa môže skladať iba z [a-z0-9-\_’.].

Takisto adresa sa nemôže začínať ani končiť bodkov a nemôžu sa v nej nachádzať za sebou stojace bodky.

Kompletný regulárny výraz napísaný v javascriptovej syntaxe (7):  
*^[\w!#$%&'\*+/=?`{|}~^-]+(?:\.[\w!#$%&'\*+/=?`{|}~^-]+)\*@(?:[A-Z0-9-]+\.)+*

[A-Z]{2,6}$

* + 1. Konečný akceptor

Pre nájdenie najefektívnejšieho spôsobu vytvorenia a vyhodnotenia regulárnych výrazov je nutné oboznámiť sa so základmi teórie automatov. Táto teória je jedna zo základných častí teoretickej počítačovej vedy a diskrétnej matematiky.

??Spomenúť regulárne jazyky a gramatiky??

Automat je abstraktný model stroja, ktorý vykonáva spracovanie vstupu pomocou pohybu po stavoch alebo konfiguráciách. V každom stave prechodová funkcia určí nasledujúci stav alebo konfiguráciu z konečnej množiny stavov a konfigurácií. (8)

Najkomplexnejšou aplikáciou teórie automatov je Turingov stroj, hypotetický automat manipulujúci so znakovou páskou a množinou pravidiel. Logika ľubovoľného počítačového algoritmu sa dá popísať Turingovým strojom.

Z rozsiahlej oblasti teórie automatov sa oboznámime s konečnými akceptormi. Konečný akceptor sa dá znázorniť ako orientovaný graf, nazývaný stavový diagram, kde miesta znázorňujú stavy a orientované hrany ohodnotené vstupným znakom abecedy definujú prechodovú funkciu . Miesto do ktorého vedie prázdna šípka je počiatočný stav a miesta označené dvojitým krúžkom definujú množinu koncových stavov. Príklady stavových diagramov konečných akceptorov akceptujúcich regulárny výraz *a(bb)+a* sú na Figure 5 , Figure 6 a Figure 7.

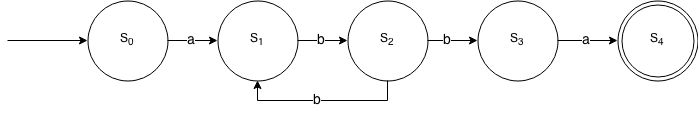


Figure 5 Nedeterministický akceptor

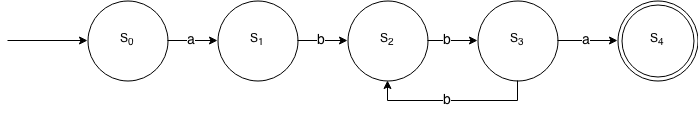


Figure 6 Deterministický akceptor

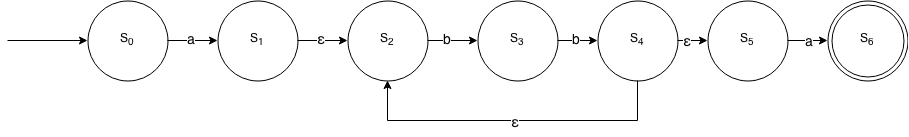


Figure 7 Nedeterministický akceptor s ε-prechodmi

Keď nový stav je určený súčasným stavom a vstupom, potom je akceptor deterministický (DKA), zo stavového diagramu sa determinizmus dá určiť, že zo žiadneho stavu nevedú dve a viac šípok ohodnotených rovnakým vstupom. Nedeterministický akceptor (NKA) takéto obmedzenie nemá. Existuje forma zápisu nedeterministického automatu pomocou takzvaných ε-prechodov. ε-prechod dáva ešte väčšiu voľnosť pri zobrazovaní, pretože jeho použitie nieje podmienené vstupom.

Každý NKA sa dá vyjadriť pomocou DKA, ktorý rozpoznáva rovnaký formálny jazyk. DKA je značne rozsiahlejší (ak NKA má n stavov, DKA ekvivalent môže dosahovať až stavov). Na konverziu sa môže použiť *Rabin-Scott powerset construction* algoritmus.

Testovanie pomocou je DKA je intuitívnejšie, no výpočtové systémy vďaka schopnosti rekurzie dobre pracujú aj s NKA. Bližšie je tento proces popísaný v časti 1.2.3.

**Nedeterministický konečný akceptor (NKA)** je konečný automat bez výstupnej funkcie a môže byť popísaný päticou: , kde (9):

* S je množina stavov
* E je množina vstupných znakov (vstupná abeceda)
* je prechodová funkcia priraďujúca stavu a vstupu množinu nasledujúcich stavov
* je počiatočný stav
* je množina koncových stavov
  + 1. Thompsonov konštrukčný algoritmus

V predošlej časti bolo ukázané, že ľubovoľný regulárny výraz generujúci regulárny jazyk sa dá vyjadriť pomocou nedeterministického konečného akceptora. Existuje viacero algoritmov ako takýto akceptor zostrojiť. Jeden z najpoužívanejších je Thompsonov konštrukčný algoritmus, publikovaný Kenom Thompsonom v roku 1968.

Algoritmus je založený na rekurzívnom rozklade výrazu na jeho podvýrazy až na elementárne výrazy. Tie sa zapíšu pravidlami znázornenými na Figure 9. Kde e je blok pozostávajúci z ďalších blokov alebo z elementárnych výrazov. Výraz z 1.2.2 po vytvorení pomocou TKA je na Figure 8.

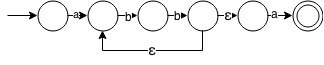


Figure 8 Diagram príkladu podľa Thompsonovho konštrukčného algoritmu

TKA vytvára ε-prechody, ktoré sú výhodné pre spracovanie na počítačoch, vďaka možnej rekurzii. Vždy keď sa narazí na stav z ktorého vychádzajú ε-prechody dôjde k rekurzívnemu rozvetveniu.

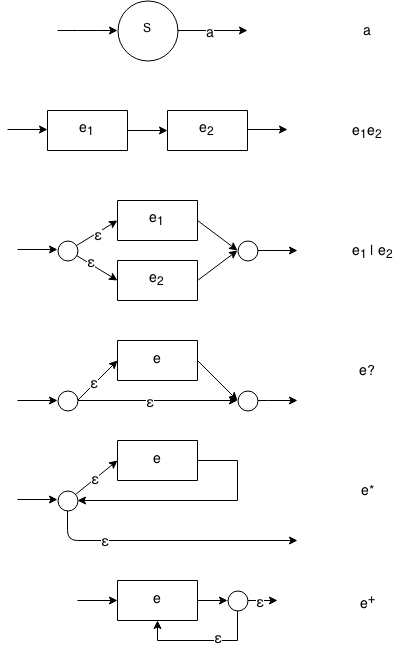


Figure 9 Pravidlá Thompsonového konštrukčného algoritmu

* + 1. Použitie

S regulárnymi výrazmi sa človek stretáva každodenne, či je to vyhľadávanie textu na webovej stránke alebo v dokumente, alebo parsovanie html stránky prehľadávačom a mnohých iných.

Regulárne výrazy sa taktiež používajú ako jeden zo základných kameňov big data analýzy, ktorá sa v posledných rokoch stáva dominantným informačným artiklom. Či už je to určovanie trendov zo sociálnych sietí ako twitter alebo facebook, alebo ochrana pred kriminálnymi činnmi analyzovaním komunikačných sietí bezpečnostnými úradmi. Taktiež väčšina takzvaných NO-SQL databázových systémov využíva prednosti regulárnych výrazov.

Na tomto ešte popracovať

* 1. Distribuované systémy

Jedným z výstupov tejto diplomovej práce je vytvorenie rozhrania distribuovaného systému (DS), ktoré je možné implementovať na rôzne výpočtové úlohy a problémy. Aby bolo toto rozhranie možné navrhnúť a implementovať je nutné oboznámiť sa s distribuovanými výpočtami ako oborom počítačovej vedy, ktorý sa zaoberá práve štúdiom DS.

* + 1. Základy

„Distribuovaný systém je kolekcia nezávislých počítačov, ktoré sa javia používateľom systému ako jeden počítač.“ (10)

Motivácia k vytváraniu a používaniu distribuovaných systémov leží v túžbe zdieľania zdrojov. Zdroj je abstraktný pojem a charakterizuje všetky veci, ktoré môžu byť zdieľané v počítačovom systéme, môžu to byť hardwarové komponenty ako procesor, pamäť, grafická karta, harddisk alebo tlačiareň až po softvérové entity ako súbory, zložky, databázy a iné dátové objekty. Taktiež sa môžu zdieľať dáta z kamier, napríklad dopravných.

S mnohými variáciami týchto systémov sa človek stretáva denne, či už sú to virtuálne decentralizované meny ako bitcoin alebo lifecoin, peer-to-peer aplikácie, multiplayerové hry ale najfundamentálnejším príkladom je internet. Bohužial, výpočtová sila týchto systémov poskytla mocný nástroj záškodníckym činnostiam v podobe DDoS.

DDoS (Distributed Denial of Service) je útok na server alebo cluster serverov pomocou zasielaní požiadaviek (request-ov) všetkými uzlami distribuovaného systému. Sila takýchto útokov bola použitá v júli 2009 (11), kedy systém o veľkosti 166 000 počítačov znefunkčnilo viacero systémov, medzi ktorými boli stránky Pentagonu, Bieleho domu a ďalších.

V roku 2017 sa podľa agentúry Gartner (12) predá 2.9 miliárd kusov výpočtovej techniky v podobe PC, notebookov, tabletov a smartfónov. Z toho sa dá dedukovať, že každý obyvateľ technologicky vyspelej krajiny disponuje nejedným výpočtovým zariadením, ktoré po väčšinu dňa nevyužíva. Prečo by sa tieto zariadenia nemohli použiť ako výpočtové jednotky distribuovaných systémov a tým pádom znížili dopyt po stále nových a nových zariadeniach, čo má negatívny dopad na ekonomiku jedinca a taktiež negatívny dopad na životné prostredie? Zvlášť keď na prilákanie a udržanie používateľov sa môže použiť monetárna odmena alebo stále viac a viac rozšírená **gamifikácia**.

Gamifikácia je použitie herných elementov a mechaník na zinteraktívnenie používateľovej návštevy aplikácie. V posledných rokoch sa dostáva do popredia a začína sa študovať na prestížnych univerzitách ako University of Pennsylvania[[1]](#footnote-1) a je používaná na portáloch ako Yahoo! Answers, Stack Overflow, či výukových portáloch ako codeschool, no žiadny distributívny systém túto techniku neimplementoval na získanie a udržanie výpočtových uzlov.

* + 1. Výzvy

Distribuované systémy sú tak rozsiahle a môžu sa nimi implementovať jednoduché úlohy ako posielanie správ ale aj najkomplexnejšie systémy ako internet alebo výpočet predpovede počasia.

Pri návrhu a implementácii ľubovoľného distribuovaného systému sa podľa Coulourisa (13) naskytuje sedem hlavných výziev, ktoré architekt systému musí brať do úvahy:

* Heterogenita – prístup k systému z rôznych zariadení, výrobcov a pripojení
* Otvorenosť – úroveň možnosti rozšírenia a reimplementácie
* Bezpečnosť – zdieľanie a preposielanie citlivých údajov musí byť chránené pred útokmi, taktiež systém musí byť zabezpečený voči útokom ako DoS
* Škálovateľnosť – teoretická neobmedzenosť možných používateľov systému
* Spracovanie chýb – je nutné brať do úvahy rôzne chyby, ktoré sa môžu vyskytnúť počas chodu, napríklad odpojenie uzlu od siete, chyba harddisku a mnoho ďalších
* Konkurencia – prístup 2 a viacerých používateľov k rovnakému zdroju nemôže mať za následok nekonzistenciu systému
* Priehľadnosť – používateľovi sa systém javí ako celok, netuší nič o jeho distribuovanej povahe

Návrhu konkrétneho distribuovaného systému sa budem venovať v Kapitole 2.

* + 1. Aplikácie

Existuje viacero distribuovaných výpočtových systémov postavených na fakte, že ľudia poskytujú výpočtový výkon svojich počítačov za pocit vedomia, že sa podieľajú na spoločensko-vedecky prospešných projektoch. Verím, že popularitu takýchto systémov by zvýšil projekt, ktorý by finančne motivoval používateľov k zdieľaniu ich výkonu.

Najúspešnejší projekt je podrobnejšie rozpísaný nižšie, no za zmienku stoja aj MilkyWay@home generujúci presný trojrozmerný dynamický model galaxie Mliečnej cesty, ktorý má priemerný výpočtový výkon 573 TFLOPS a 27 000 aktívnych používateľov a GIMPS (Great Internet Mersenne Prime Search) hľadajúci Mersenove prvočísla, ktoré sú definované vzťahom .

Einstein@home

Tento najúspešnejší dobrovoľnícky projekt, ktorý využíva distribuovaný výpočtový systém hľadá slabé astrofyzické signály z rotujúcich neutrónových hviezd (pulzarov) s použitím dát z LIGO gravitačno-vlnových detektorov, rádiového teleskopu Arecibo a satelitu na detekciu gama žiarenia Fermi. Projekt od svojho počiatku v roku 2005 detkoval 36 neutrónových hviezd a jeho cieľom je potvrdenie existencie gravitačných vĺn emitovaných neutrónovými hviezdami. Tieto vlny predpovedal Albert Einstein, no ešte neboli nikdy priamo detekované.

Priemerná výpočtová sila tohto distribuovaného systému je 470 TFLOPS (14), čím by sa mohol zaradiť medzi prvých 500 superpočítačov na svete.

1. Opis riešenia

Táto kapitola opisuje implementačné a technologické riešenie softvérového výstupu diplomovej práce. V stručnosti odôvodní vybrané technológie, ich charakteristiky, klady a zápory, a objasní základné princípy a algoritmy implementovaného systému. Na ich ilustráciu sú použité UML diagramy.

* 1. Špecifikácia výstupnej aplikácie

Ako bolo spomenuté v 1.1 všetky fyzické vlastnosti jedinca sa ukrývajú v jeho DNA. Človek má 23 chromozómov ukrytých v jadre skoro každej bunky jeho tela. Každý chromozóm sa skladá z dvojzávitnice poskladanej z nukleotidových párov, pozostávajúcich z cytozínu ( C ), guanínu ( G ), tymínu ( T ) a adenínu ( A ). Dĺžka jednotlivých chromozómov je rôzna, kde najkratším je pohlavný chromozóm Y, ktorý obsahuje cca 50 miliónov nukleotidových párov, naopak najdlhším je chromozóm 1 s 250 miliónmi nukleotidových párov.

Gén je časť DNA sekvencie, ktorá kóduje produkciu konkrétnej bielkoviny a teda fyzického znaku jedinca. Gény sú rôzne, od génu určujúceho počet prstov až po gén krvného typu. Zadefinovanie a popísanie všetkých ľudských génov mal na starosti projekt HUGO prebiehajúci v rokoch 1990 až 2003, jeho výsledkom bolo nájdenie približne 21 000 génov. Nanešťastie niektoré gény spôsobujú genetické choroby ako napríklad rakovinu alebo Huntingtonovu chorobu, práve takéto choroby je potrebné diagnostikovať analýzou genetickej sekvencie jedinca.

Gény (v koncepte aplikácie nazývané vzory) sú voľne dostupné z genómových prehliadačov spomenutých v 1.1.4. V aplikácii môžeme vybrať prehliadač <http://www.ensembl.org/> kvôli dobre zdokumentovanému aplikačnému rozhraniu a REST API servisu. Každý vzor sa skladá z chromozómu na ktorom sa nachádza, počiatočnej nukleotidovej pozície a nukleotidovej sekvencie.

Vzorka, teda zosekvenovaná časť alebo celá DNA môže obsahovať niekoľko stoviek až miliárd nukleotidových párov uložených v textovom súbore. Pôvod týchto dát nie je v záujme aplikácie, jediná podmienka je splnenie formátu definovaného v 2.3.

Úlohou aplikácie je pre danú vzorku určiť definovateľné (nachádzajúce sa na vzorke) vzory a ich pozitívne alebo negatívne určenie.

Keďže vzorov môže byť niekoľko desiatok tisíc a vzorky môžu dosahovať veľkosti niekoľko GB, táto úloha spadá do big data problematiky. Keď zoberieme 20 000 vzorov s priemernou sekvenčnou veľkosťou 1MB, tak stojíme pred rozhodnutím využitím 20GB operačnej pamäte, ktorá je pri virtuálnych serveroch veľmi nákladná alebo ad hoc načítavaním vzorov z databázy, čo vedie k výraznému zhoršeniu výkonnosti celého systému, pretože I/O operácie sú časovo najnákladnejšie. Alebo využijeme distributívny systém s N pripojenými uzlami a pamäťová náročnosť sa rovnomerne prerozdelí a server bude použitý ako radič. Aj napriek nespornej nevýhode, že pri malom počte vzorov a malom počte pripojených uzlov bude výkon systému výrazne horší ako pri použití klasickej klient-server štruktúry implementujeme systém ako distributívny.

* 1. Použité technológie

Výber správnych technológií je kľúčový pre efektívne navrhnutie a implementáciu systému. V podkapitolách sú opísané hlavné technológie a odôvodnenie ich použitia práve pre charakteristiky a povahu žiadaného systému.

Za zmienku stojí, že pri tvorbe projektu bol použitý voľné dostupný, open-source distribuovaný systém riadenia verzií (VCS) GIT, vytvorený Linus-om Torvalds-om na zefektívnenie vývoja Linux-ového jadra (15). Vďaka nemu je možné bezpečné uchovávanie a spravovanie zmien v projekte, umožňuje kooperáciu stoviek programátorov, a v neposlednom rade, projekty tvorené za pomoci git-u je možné uložiť a sprístupniť na vzdialených serveroch, ktoré môžu byť privátne alebo verejné. Najznámejšie a najpoužívanejšie verejné git vzdialené cloud služby sú <http://www.bitbucket.org> a <http://www.github.com>.

Dokumentácia zdrojového kódu je jedným z kľúčových faktorov správneho programovania, ktorá uľahčuje kooperáciu programátorov na projekte ako aj zefektívňuje jeho prehľadnosť, čitateľnosť a výrazne redukuje čas strávený pri debugovaní a orientovaní sa v kóde. Projekt bol dokumentovaný podľa pravidiel YUIDoc syntaxy ([yui.github.io/yuidoc/](file:///C:\Users\Jakub\Documents\Diplomka\documents\yui.github.io\yuidoc\)), ktorá umožňuje jednoduché vygenerovanie komplexnej API dokumentácie.

* + 1. NodeJS

Najpodstatnejším rozhodnutím je zvolenie hlavnej serverovej technológie. V dnešnej dobe je na výber veľké množstvo dostupných serverových riešení, ktoré podporujú vytvorenie komplexných webových aplikácií. Ich súhrn je zobrazený na Tabuľka 1.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Jazyk** | **Frameworky** | **Rok vzniku** | **Rozšírenie** |
| PHP | Laravel, Yii | 1995 | 82.0% |
| ASP.NET |  | 2007 | 16.9% |
| Java | Swing, Spring | 1995 | 2.9% |
| Ruby | Ruby on Rails | 1995 | 0.6% |
| Javascript (Node.js) | ExpressJS, SailsJS | 2009 | 0.2% |

Tabuľka 1 Rozšírené webové technológie (dáta ku 9.5.2015 http://w3techs.com/technologies/overview/programming\_language/all)

Aby sme vybrali správne, je nutné spísať vlastnosti navrhovaného systému. Distribuovaný systém sa spolieha predovšetkým na veľmi aktívnu sieťovú komunikáciu s komunikáciou s množstvom pripojených uzlov a spracovanie big dát DNA sekvencie zas vyžaduje odosielanie veľkých objemov dát. Taktiež systém vyžaduje čítanie veľkých dát z databázy prípadne súborov. Práve z týchto dôvodov môžeme vylúčiť skriptovací jazyk PHP, ktorý vďaka svojej povahe nie je vhodný na náročné input/output operácie.

Ruby bez použitia frameworku Ruby on Rails má veľmi obmedzenú funkčnosť pre tvorenie webového obsahu, no s jeho použitím sa značne degraduje jeho výkon.

Ako hlavnú technológiu som vybral platformu **Node.JS** <https://nodejs.org/>. Aplikácie do Node sa píšu v javascripte, no jeho jadro je napísaný prevažne v C++ a Javascripte. Je postavený na V8 javascript engine od spoločnosti Google, ktorý používa najrozšírenejší webový prehliadač Chrome.

„Aby sme porozumeli čím sa Node odlišuje, mali by sme ho porovnať s Apachom, populárnym webovým serverom. Najprv, Apache spracuje HTTP požiadavky a prenecháva aplikačnú logiku, aby bola implementovaná v jazyku akým je PHP alebo Java. Node odstraňuje túto úroveň komplexnosti skombinovaním serverovej a aplikačnej logiky. Tento prístup dáva Node nevídanú flexibilitu ako serveru.“ (16)

Node, na rozdiel od klasických serverov, ktoré bežia na viacerých vláknach, ktorých správa je zdrojovo náročná, beží iba na jednom vlákne. To bolo dosiahnuteľné využitím neblokovacích I/O požiadaviek, vlákno odošle požiadavku a pokračuje v činnosti a po vykonaní požiadavky sa spustí asynchrónna callback funkcia, ktorá spracuje dáta získané požiadavkom. Príkladom neblokovanej asynchrónnej IO operácie je čítanie súboru, ktorý využije vstavaný node modul fs (file system), pošle požiadavku na prečítanie súboru a po jeho vykonaní, ak nenastala žiadna chyba vypíše obsah. Funkcia require() je štandardnou funkciou na načítanie modulov. V node každý súbor predstavuje jeden modul a vice versa.

var fs = require(‘fs’);

fs.readFile(‘./dummy.txt’, function(err, text){

if(!err)

console.log(text);

});

Neposledná výhoda Node je, že vývojár môže využiť znalosť silného jazyku **javascript**, ktorý je najpoužívanejším jazykom na github.com (ku 10.5.2015 <http://githut.info/>). Javascript obsahuje mnoho konceptov, ktoré chýbajú v klasických jazykoch ako napríklad closures, first-class functions, prototypovú dedičnosť a iné. (17).

„Mnoho významných spoločností, vrátane Microsoft-u, LinkedIn-u a Yahoo! si uvedomili výhody Node a začali v ňom implementovať svoje projekty. Napríklad, LinkedIn remigroval svoj celý mobilný stack do Node a prešli z pätnástich serverov s pätnástimi inštanciami na každom na štyri inštancie, ktoré zvládnu dvojnásobnú záťaž.“ (16)

Pre Node bolo napísaných mnoho frameworkov, knižníc a middlewar-u, no základným pilierom je webový framework **Express.js**. Ten poskytuje model-view-controller (MVC) štruktúru, organizáciu smerovania, manažment relácií, extrakciu URL parametrov a mnoho iných základných potrieb, ktoré by sme museli implementovať sami, avšak použitím tohto frameworku máme k dispozícii otestovaný a komunitou spravovaný nástroj, ktorý je možno bezpečne použiť. (18)

Doba, keď spoločnosť alebo sám programátor používal iba svoje knižnice a kódy je našťastie za nami a komunita vývojárov prešla do open-source éry, kde každý zdieľa svoje znalosti a svoje projekty. Vďaka tomuto trendu vznikol **Node package manager (NPM)** [**https://www.npmjs.com/**](https://www.npmjs.com/), čo je centralizovaný repozitár, všetkých registrovaných knižníc, frameworkov a middlewar-ov napísaných pre node. Jeho popularitu dokazuje fakt, že sa na ňom nachádza 147 054 projektov a stiahne sa z neho približne 50 miliónov kópií projektov denne. [[2]](#footnote-2) Zaregistrovať svoj projekt do neho je zdarma a neprechádza žiadnou kontrolou, preto sa publikované projekty líšia rozsahom aj kvalitou a treba si dať veľký pozor, ktoré zaintegrujem do vlastnej aplikácie.

Za zmienku stoja dva npm moduly, ktoré som použil pri tvorbe výslednej aplikácie, oba patria k najsťahovanejším a najpoužívanejším modulom[[3]](#footnote-3) pre Node platformu a to zabezpečuje ich vysokú kvalitu a aktívnu komunitu stojacu za ich vývojom a testovaním.

Prvým je **browserify[[4]](#footnote-4)**, ako bolo už povedané výhodou Node je použitie programovacieho jazyku JavaScript na serverovej ako aj klientskej strane, tento fakt zaručuje, že moduly nepoužívajúce natívne Node moduly a middleware sú použiteľné v serverovej aj klientskej aplikačnej logike, avšak organizácia a načítanie modulov v node je zabezpečená zavolaním synchrónnej funkcie require(), ktorá nie je rozoznateľná prehliadačom, a preto bol vytvorený modul browserify, ktorý zabezpečí efektívne načítanie modulov na front-ende. Vďaka tejto skutočnosti môže vývojár používať jednotnú štruktúru aplikácie a nie je potrebné rozlišovať serverové a klientske skripty. Vo výstupnom projekte sa browserify využil na zjednotenie napísania klientskeho skriptu, ktorý sa vykonáva na strane jednotlivých uzlov a serverovej strany, ktorá riadi jednotlivé uzly.

**Grunt[[5]](#footnote-5)** je najpoužívanejším manažérom úloh pre JavaScript a slovami tvorcov, slúži na automatizáciu, uľahčuje spúšťanie opakujúcich sa úloh ako minifikáciu, kompiláciu a testovanie, v dobe písania práce je dostupných 4662 pluginov, ktoré pokrývajú všetky časti vývoja web aplikácie od základnej kompilácie CoffeeScript-ových a SASS súborov, cez automatické obnovenie prehliadača po zmene súborov až po komplexné skripty pre nasadenie aplikácie na produkčný server. V práci som využil grunt na kompiláciu SASS súborov, automatické obnovovanie prehľadovej stránky, v tandeme s browserify na generovanie klientského skriptu pri každej zmene klientských súborov a na vygenerovanie rozsiahlej dokumentácie pomocou YUIDoc. Pre grunt je možné napísanie vlastných úloh, ktoré sú spustiteľné pomocou konzolových príkazov, túto možnosť som použil na napísanie základných úloh uľahčujúcich testovanie aplikácie, akými sú napríklad vygenerovanie dát, vymazanie dát z databázovej tabuľky a iné. Kompletný zoznam dostupných príkazov je spísaný v dokumentácii projektu.

* + 1. PostgreSQL

Dôležitou súčasťou vybrania kvalitného technologického stacku pre aplikáciu je výber databázového systému (DBMS). V posledných rokoch sa rozšírili NoSQL DBMS ako Redis, MongoDB a iné. Na rozdiel od klasických, relačných systémov neukladajú dáta v tabuľkách ale v dokumentoch alebo jednoduchých key-value pároch. Výhody sú nesporné hlavne v rýchlosti a ľahšiemu rozdeleniu na viacero serverov rozložených po celom svete a väčšina softvérových gigantov sa neubránila kompletnému alebo čiastočnému premigrovaniu ich databázového stacku do NoSQL. Avšak výstupná aplikácia diplomovej práce nevyužíva databázový systém vo veľkom množstve a preto nie je výhodné experimentovanie s novou technológiou s ktorou nemáme skúsenosti.

Najpoužívanejšie DBMS sú zobrazené na Tabuľka 2. Oracle a Microsoft SQL server sú komerčné produkty a nie sú spravované open-source komunitou a teda nie sú vhodné na akademické účely. Zostávajú nám MySQL a PostgreSQL, oba DBMS sú veľmi podobné a výber je uskutočnený podľa používateľských preferencií. My sme vybrali PostgreSQL, no aplikácia by mala fungovať aj pri MySQL, zvlášť pri použití kvalitného modulu objektovo relačného mapovania (ORM).

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Poradie** | **DBMS** | **Model** |
| 1. | Oracle | Relačný |
| 2. | MySQL | Relačný |
| 3. | Microsoft SQL Server | Relačný |
| 4. | MongoDB | NoSQL |
| 5. | PostgreSQL | Relačný |

Tabuľka 2 Používanosť DBMS k Máj-u 2015, zdroj: <http://db-engines.com/en/ranking>

ORM zabezpečuje vytvorenie virtuálnej objektovej databázy, kde objekty mapujú tabuľky entitno-relačného modelu a sú nezávislé na konkrétnom DBMS a práca s nimi je zjednotená pomocou ORM aplikačného rozhrania. Vďaka tejto skutočnosti je možné vytvorenie aplikačného kódu, ktorý korektne spolupracuje s rozdielnymi DBMS.

Pre node.js je vytvorených viacero ORM modulov a selekcia kvalitných je kľúčová, lebo neskoré identifikovanie chýbajúcej funkcionality môže viesť k časovo náročnej refaktorizácii celého zdrojového kódu. Našťastie na portáli <http://www.stackoverflow.com> som našiel viacero obdobných diskusií, kde komunita riešila obdobnú dilemu.

Ako naj

* + 1. Socket.io
  1. Implementácia

1. Zhodnotenie

**Záver**

**Zoznam použitej literatúry**

1. **Anne Matthews, RN, PhD.** *http://www.netwellness.org/.* [Online] 28. 6 2010. http://www.netwellness.org/healthtopics/idbd/2.cfm.

2. **Hartwell, Leland, et al.** *Genetics: from genes to genomes.* 4th. New York : McGraw-Hill, 2011. ISBN 978-0-07-352526-6.

3. **Robinson, Tara ,PhD.** *Genetics for dummies.* 1st. Hoboken : Wiley Publishing, Inc., 2005. ISBN 978-0-7645-9554-7.

4. **Wetterstrand, Kris, M.S.** *www.genome.gov.* [Online] 31. 10 2014. http://www.genome.gov/sequencingcosts/.

5. **Tripp, Simon und Grueber, Simon.** Economic Impact of the Human Genome Project. *battele.org.* [Online] http://battelle.org/docs/default-document-library/economic\_impact\_of\_the\_human\_genome\_project.pdf.

6. **Cox, Russ.** Regular Expression Matching Can Be Simple And Fast . *swtch.com.* [Online] 1 2007. http://swtch.com/~rsc/regexp/regexp1.html.

7. **Goyvaerts, Jan und Levithan, Steven.** *Regular Expressions Cookbook, Second Edition.* s.l. : O'Reilly Media, 2012.

8. **Roberts, Eric.** *Automata Theory.* [Online] 1 2004. http://cs.stanford.edu/people/eroberts/courses/soco/projects/2004-05/automata-theory/basics.html.

9. **Juhás, Gabriel.** *Modelovacie formalizmy udalostných systémov.* Bratislava : RT systems s.r.o, 2011.

10. **Tanenbaum, Andrew S.** *Distributed Operating Systems.* s.l. : Prentice Hall, 1994. ISBN-13: 9780132199087.

11. **The Daily Beast.** Hackers’ Most Destructive Attacks. [Online] 12. 11 2010. http://www.thedailybeast.com/articles/2010/12/11/hackers-10-most-famous-attacks-worms-and-ddos-takedowns.html.

12. **Gartner.** *Gartner Says Worldwide PC, Tablet and Mobile Phone Combined Shipments to Reach 2.4 Billion Units in 2013.* 4 2013.

13. **Coulouris, George, Dollimore, Jean und Kindberg, Tim.** *Distributed Systems: Concepts and Design.* 3rd. s.l. : Addison-Wesley, 2001. ISBN: 0-201-61918-0.

14. **wikipedia.** *List of distributed computing projects.* [Online] 11 2014. http://en.wikipedia.org/wiki/List\_of\_distributed\_computing\_projects.

15. **Rai, Rohit.** *Socket.IO Real-time Web Application Development.* s.l. : Packt Publishing, 2013. 978-1-78216-078-6.

16. **Loeliger, Jon und McCullough, Matthew.** *Version Control with Git.* s.l. : O'Reilly Media, 2012. 978-1-4493-1638-9.

17. **Ihrig, Colin.** *Pro Node.js for Developers.* s.l. : Apress, 2013. 978-1-4302-5860-5.

18. **Elliott, Eric.** *Programming JavaScript Applications.* s.l. : O'Reilly Media, 2014. 978-1-49195-029-6.

19. **Mardan, Azat.** *Pro Express.js.* s.l. : Apress, 2014. 978-1-484200-38-4.

**Prílohy**

Príloha A: Nadpis. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . II

Príloha A: Nadpis

1. https://www.coursera.org/course/gamification [↑](#footnote-ref-1)
2. Ku 10.5.2015, zdroj: https://www.npmjs.com/ [↑](#footnote-ref-2)
3. Ku 10.5.2015, zdroj: https://www.npmjs.com/ [↑](#footnote-ref-3)
4. https://www.npmjs.com/package/browserify [↑](#footnote-ref-4)
5. http://gruntjs.com/ [↑](#footnote-ref-5)