VŠB TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY

Vizualizace regulárních výrazů

Regular Expression Visualization

Dominik Kundra

Bakalářská práce

Vedoucí práce: Ing. Jakub Beránek

Ostrava, 2024

VŠB TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA | FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY

Č.j.VSB/23/113247
vsboee23037B25

Zadání bakalářské práce

Student: **Dominik Kundra**

Studijní program: B0613A140014 Informatika

Téma: Vizualizace regulárních výrazů
Regular Expression Visualization

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Cílem práce je vytvořit nástroj sloužící pro vizualizaci a ladění regulárních výrazů. Nástroj by měl být schopný zpracovat zvolený regulární výraz, sestavit plán vykonávání daného výrazu dle zvolené implementace a poté umožnit programátorovi interaktivně krokovat provádění regulárního výrazu. Nástroj by měl být vytvořen jako rozšíření do vývojového prostředí (např. do Visual Studio Code), aby šel jednoduše použít při vývoji programů. Výsledná aplikace by měla být řádně zdokumentována a při jejím vývoji by měl být využit verzovací systém (např. git).

1. Analyzujte a popište možnosti implementace regulárních výrazů.
2. Navrhněte architekturu rozšíření do vývojového prostředí, které bude schopné analyzovat regulární výrazy ze zvoleného zdrojového kódu.
3. Naimplementujte nástroj pro vizualizaci regulárního výrazu a integrujte jej do vývojového prostředí.
4. Otestujte vizualizaci nástroje na regulárních výrazech z reálných projektů.

Seznam doporučené odborné literatury:

[1] FRIELD, Jeffrey. Mastering Regular Expressions 3rd Edition. 2006. O'Reilly Media. ISBN: 978-0596528126
[2] SORVA, Juha. Visual program simulation in introductory programming education. Espoo: Aalto Univ. School of Science, 2012. ISBN 9789526046266. Dostupný také z WWW: http://doi.acm.org/10.1145/2445196.2445368.
[3] VANDERKAM, Dan. Effective TypeScript : 62 Specific Ways to Improve Your TypeScript. O'Reilly Media, 2019. ISBN 978-1492053699

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jakub Beránek**

Datum zadání: 01.09.2023

Datum odevzdání: 30.04.2024

Garant studijního programu: doc. Mgr. Miloš Kudělka, Ph.D.

V IS EDISON zadáno: 09.11.2023 15:43:31

Abstrakt

No Czech or Slovak abstract is given

Klíčová slova

No Czech or Slovak keywords are given

Abstract

No English abstract is given

Keywords

No English keywords are given

Obsah

Seznam použitých zkratek a symbolů

AST	–	Abstraktní syntaktický strom
NKA	–	Nedeterministický konečný automat
DKA	–	Deterministický konečný automat
TS	–	TypeScript
JS	–	JavaScript
Regex	–	Regulární výraz (Regular expression)
API	–	Aplikační rozhraní
HTML	–	HyperText Markup Language

Seznam obrázků

Seznam tabulek

Kapitola 1

Úvod

Vyhledávání v textu patří mezi základní problémy, se kterými se velice pravděpodobně potká skoro každý programátor. Tento problém se dá řešit mnoha způsoby, avšak ne všechna řešení lze použít univerzálně a každý ze způsobů má své výhody a nevýhody. Jedním ze přístupů je využití regulárních výrazů. Jedná se o sadu znaků, které nám umožňují nadefinovat výraz a ten je následně převedený na strukturu, nejčasteji ve formě konečných automatů. Téměř každý dnešní programovací jazyk je obsahuje, ale jejich implementace se mohou lišit.

Cílem této práce je naimplementovat nástroj, který bude schopný procházet regulární výrazy a následně vizualizovat tyto průchody, jako rozšíření do zvoleného vývojového prostředí.

Při vývoji programů, je programátor často obeznámen s regulárními výrazy, jedná se totiž o poměrně rychlé řešení pro vyhledávání v textu. Můžeme se s nimi setkat v podstatě skoro ve všech částech softwaru[1], např. validace formulářů, vyhledávání v textu nebo třeba v příkazovém řádku. Tyto výrazy se však brzy mohou stát hůře čitelnými, jelikož neumožňují vpodstatě žádné formátování[2]. Taktéž mohou být pro mnoho lidí matoucí, či nepřehledné. Z tohoto důvodu se hodí mít nástroj, který potencionálně usnadní práci programátorům, tak aby si mohli zobrazit průchod zadaným výrazem. Dále pro lidi, kteří například vidí tyto výrazy poprvé v životě může být snažší jim porozumět, je-li jim ukázáno jak fungují v jednotlivých krocích. Sice již existují řešení tohoto problému a to v různých formách [1, 2, 3], ale pro zvolené vývojové prostředí mnoho přístupů neexistuje. Tato situace je motivací, zabývat se problémem do hloubky a nabídnout originální řešení v daném směru, které by mohlo být přínosem pro ostatní lidi.

Implementace těchto výrazů bývá nejčastěji formou konečných automatů, jedná se o výkonné řešení. Abychom jsme tohoto dosáhli musíme převést jejich textovou formu na formu konečného automatu. To může být například využitím, bezkontextové gramatiky[3] nebo vlastní implementací parsování[4].

[1] počítačový program, aplikace
[2] upravení vzhledu, tvaru
[3] formální jazyk, který analizuje a zpracovává textový řetězec
[4] proces kompilace a interpretace

Vyzualizaci regulárních výrazů můžeme chápat několika způsoby, lze si představit například zobrazení ekvivalentní konečného automatu a jednotlivých stavů. Další přístup je pomocí mapování stavů do původní textové formy, toto může být obtížné, jelikož je třeba si pamatovat nějaký vztah mezi původním textem a formou konečného automatu. Druhý přístup byl zvolený pro tuto práci a to ve smyslu **krokovacího nástroje (debugger)**. Krokování pak funguje, jako tzn. historie průchodu zadaným výrazem. Krokování je známé v programovacích prostředích ve formě debuggeru, pro hledání chyb ve zdrojovém kódu.

Regulární výrazy pocházejí z **teoretické informatiky**[5], byly nadefinovány roku 1956, ale k jejich využití v počítačích se dostalo až v roce 1968 v operačním systému **UNIX**. Od své původní formy se dnes ve svém základu téměř neliší, ale často již obsahují složitější funkcionality a rozšířenou syntaxi. Jedno z jejich nejznámějších využití je v příkazovém řádku v linuxových operačních systémech, původně v UNIXu a to pod názvem **g/re/p** nebo-li **grep** "Global search for Regular Expression and Print matching lines"[4].

Výsledkem této práce je, možnost procházet základní regularní výrazy ve zvoleném vývojovém prostředí. Jelikož jsou dnešní implementace velice mohutné a poskytují mnoho funkcionalit, tak není prakticky možné se zabývat celou problematikou v této práci, proto byly vybrány prvky, které se dají obecně považovat za důležité. Těmito prvky jsou například **znaky**, **iterace**, **výběr** a **skupiny**.

V kapitole 2 jsou podrobněji popsány pojmy z teoretické informatiky, dále implementace regulárních výrazů, jejich vzory a vznik. Následně v kapitole 3 se dozvíte, jaké technogolie jsou využívány a architektuře použité v této práci. Kapitola 4 se zabívá samotnou implementací, problémům ke kterým došlo, limitace a vize kam by se mohla tato aplikace vyvíjet do budoucna.

[5]vědní obor na pomezí mezi informatikou a matematikou

Kapitola 2

Principy a historie regulárních výrazů

Abychom mohli porozumět, jakým problémem se v této práci vlastně zabýváme, tak si musíme zadefinovat co jsou regulární výrazy, jak fungují a jak se jednotlivé implementace mohu lišit. Následovně si vysvětlíme, jak lze zjednodušit pochopení těchto výrazů, popřípadě jak rychle najít chybu ve vlastním výrazu.

Předtím než si vysvětlíme blíže jak fungují samotné regulární výrazy, je potřeba si první objasnit význam několika pojmů z teoretické informatiky.

2.1 Formální jazyk

Formální jazyk je libovolná množina koečných slov nad určitou abecedou. Slova chápeme jako retězece znaků, která jsou příjimaná zadaným jazykem. Tato slova musí být sice konečná ale množina těchto slov může být nekonečná. Tyto jazyky mohou být definovány regulárními výrazy, formální gramatikou, konečnými automaty a dalšími. Regulární jazyky jsou pak jednou z možných definic formálních jazyků.

2.2 Konečný automat

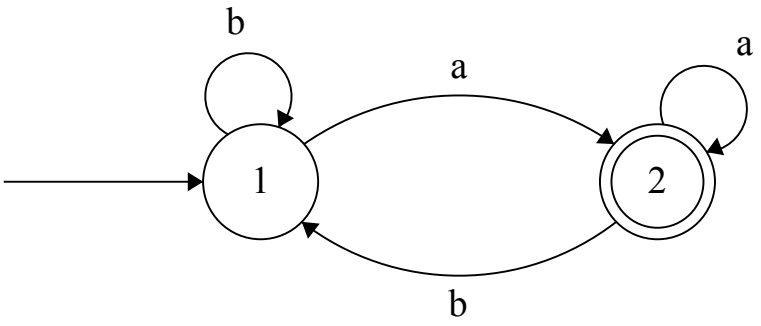
Ve spojení s regulárními výrazy se často pojí konečné automaty, jedná se o další oblast v teoretické informatice. Proto abychom pochopili proč je tato oblast pro nás důležitá, musíme si vysvětlit co vlastně jsou.

Konečný automat je model jednoduchého počítače, který má určitý počet stavů a přechodů [5].

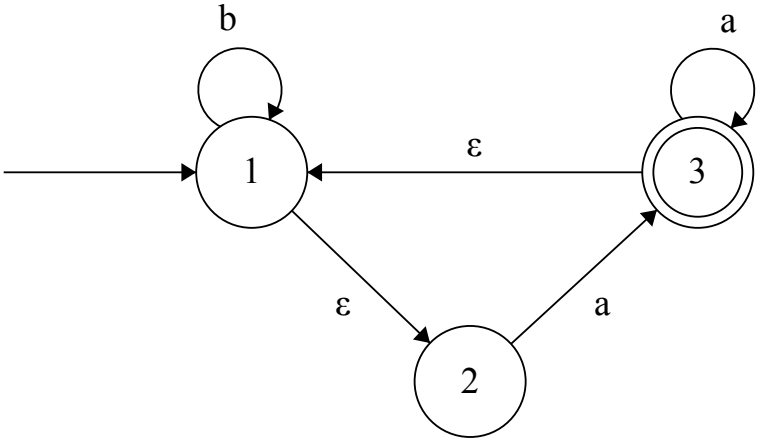
Stavy jsou typycky zakreslovány jako kružnice, a každý automat musí obstahovat alespoň jeden počáteční stav, ale může jich také obsahovat více. To samé platí pro konečný/é stav/y. Konečné stavy se vyznačují jako kruh z dvojtou čárou a počáteční stavy jsou, označovány jako stav do kterého vede šipka, která ale nevychází z jiného stavu. Prechody jsou pak šipky vedoucí z jednoho stavu do druhého, jsou označeny přechodovým symbolem. Tyto šipky nám říkají že pokud chceme přejít z

jednoho stavu do druhého, tak musíme v příjimaném slově se posunout o daný symbol. Pokud to není možné, tak nemůžeme přejít do tohoto stavu.

Tyto automaty dělíme na deterministické a nedeterministické, zkráceně DKA (deterministický konečný automat) a NKA (nedeterministický konečný automat). DKA mohou mít v daném stavů pro každý znak abecedy **maximálně** jeden přechod, dále **nemohou obsahovat tzv. prázný znak** často označovaný řeckým písmenem epsilon ϵ. Příklad tohoto automatu můžeme vidět na obrázku 2.1. NKA naopak obojí umožňují. Prázné znaky slouží pro změnu stavu bez změny aktuální pozice v hledaném slově. Pro ukázku si můžeme porovnat ekvivalentní konečné automaty, NKA na obrázku 2.2 a DKA na obrázku 2.1. Je nutno uvést, že každý NKA lze převést na ekvivalentní DKA.



Obrázek 2.1: Příklad deterministického automatu příjamjící slova obsahující písmena z abecedy {a, b} končící písmenem a



Obrázek 2.2: Příklad nedeterministického automatu ekvivalentního k předchozímu deterministickému

2.3 Bezkontextová gramatika

Součástí této práce je i využití Bezkontextové gramatiky a jelikož spadají pod teoretickou informatiku, tak si zkráceně vysvětlíme tuto oblast.

Bezkontextová gramatika, je další z možných definic formálních jazyků. Je určená konečnou množinou **neterminálních symbolů** (proměnných), konečnou množinou **terminálních symbolů**, která nesmí mít žádné prvky společné s předchozí množinou. Dále **počátečním neterminálem** S konečnou množinou **přepisových pravidel**[6].

$A \longrightarrow \beta$

kde A je neterminál a β je řetězec složený z terminálů a/nebo neterminálů. Dále šipka indikuje **přepsání** tj. levá strana se přepisuje na stranu pravou. Konečný generovaný řetězec danou gramatikou, je pouze tvořen terminálními symboly. Aby mohl být řetězec příjimaný zadanou gramatikou, musí ho být schopná tato gramatika vygenerovat.

2.4 Vznik, implementace a vzory

Regulární výrazy byly poprvé nadefinovány Americkým matematikem **Stephan Cole Kleene**, jako regulární jazyky. Dále se aplikovali v teoretické informatice, jako podkategorie **teorie automatů** a součást **formálních jazyků**. Ačkoliv byli nadefinovány začátkem padesátých let, tak jejich využití v počítačích nastalo až na konci šedesátých let a to v jedním z nejznámějších operačních systémů UNIX.

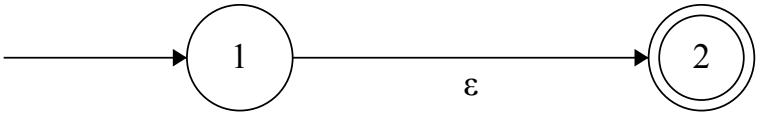
Thompsonovo sestrojení

Ken Thompson byl první kdo navrhnul implementaci převodu ragulárního výrazu na NKA využívanou v počítačích, která se používá do dnes. Algoritmus se pojmenoval **Thompson's construction** (Thompsonovo sestrojení), který převádí textovou reprezentaci výrazu na ekvivalentní nedeterministický automat. Toto sestrojení je využito v této práci, proto si musíme vysvětlit jak funguje.

Používá se často implementace NKA, jelikož je poměrně jednoduchá na implementaci a také dovoluje oproti DKA využití zpětného krokování (backtracking) a rozhlédnutí se kolem sebe (lookaround). DKA mají výhodu že jsou rychlejší oproti NKA, ale jsou typycky větší než jejich ekvivalentní NKA a neumožňují již zmíněné funkce. Někdy se ale využívá například kombinace DKA i NKA, kdy DKA kvůli vyšší rychlosti se použije na vyhledání daného slova a pokud bylo nalezeno, tak se využije NKA pro jejich rozšířené možnosti.

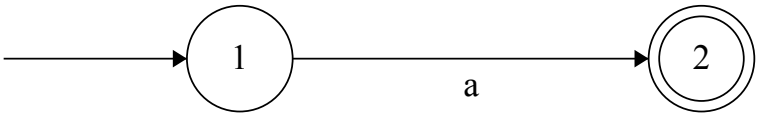
Výsledný NKA má právě jeden vstupní a výstupní stav. Aby došlo ke správnému sestrojení NKA z Regulárního výrazu, musíme se řídit několika pravidly, pro ukázku si pár těchto pravidel ukážeme.

Prázdný výraz ϵ, je převedený na vstupní stav, přechod ϵ a konečný stav. Výsledný konečný automat je na obrázku .



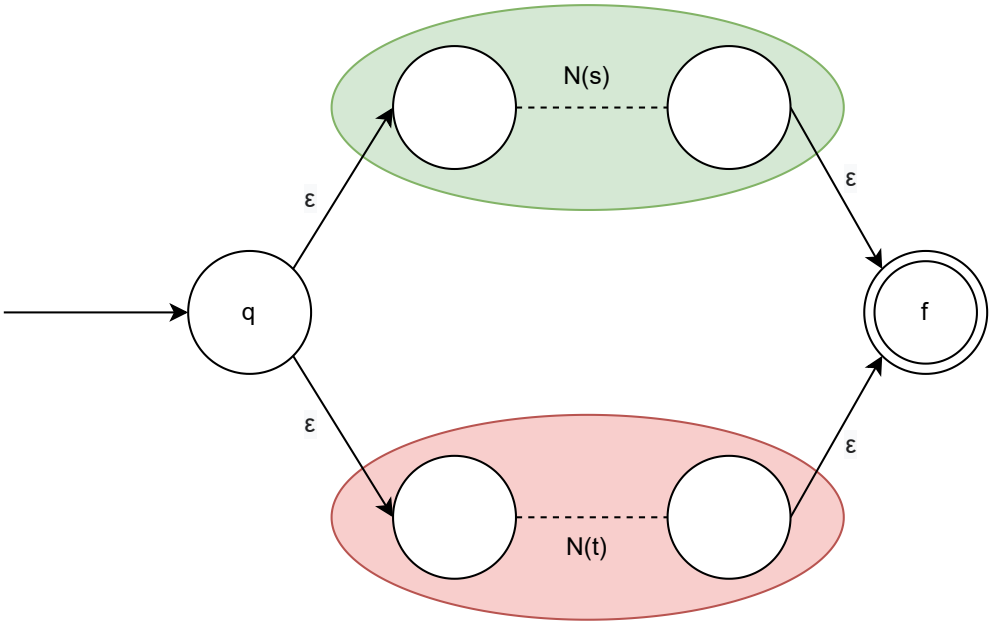
Obrázek 2.3: Převedený prázný výraz ϵ

Výraz a, je převedený podobně jako prázdný výraz, ale s rozdílem přechodu a místo ϵ. Konečný automat, který nám vznikne je ukázán na obrázku 2.4.



Obrázek 2.4: Převedený výraz **a**

Pro zadaný výraz **s|t**, kdy s je levá strana varianty a t je pravá strana varianty, platí že ze stavu q (počáteční stav) vedou dva přechody ϵ na počáteční stavy variant s a t. Z těchto počátečních stavů dále pokračuje sekvence stavů $N(s)$ pro s a $N(t)$ pro t. Konce variant s a t mají jediný přechod ϵ na konečný stav f. Na obrázku 2.5 je vyobrazen výsledný NKA, kde skupina stavů v zelené části je s a červená skupina je t.



Obrázek 2.5: Převedený výraz **s|t**

Další pravidla pro sestrojení lze například najít na anglické wikipedia stránce pro thompsonovo sestrojení [7].

Základní vzory

Jelikož již máme vysvětleny hlavní oblasti, které souvisí s regulárními výrazy, tak si můžeme ukázat jak vůbec vypadají a jejich základní vzory.

Jako nejzákladnější výraz můžeme považovat prázdný výraz, někdy označovaný jako ϵ. Dále výrazy mohou obsahovat **téměř** libovolný znak, který bude příjimat slova s daným znakem, avšak nemohou být použity znaky, které jsou rezervované, neboli jsou součástí syntaxe regulárních výrazů.

Iterace, je možnost jak lze opakovaně provádět nějakou operaci. Například lze iterovat znak, skupinu a další. Prvním typem iterace je *****, známa jako **Kleene star**, nebo-li kleene hvězda. Tento druh iterace může proběhnout **0** až **n** iterací, taktéž ji nazíváme **nula nebo více**. Existují další 2 typy iterací a to je iterace typu **jedna nebo více** označována znakem + a **iterace v rozmezí** {min,max}.

Operace **nebo** je dalším základním vzorem pro regulární výrazy. Jedná se o výběr mezi pravou a levou stranou. Oddělovacím znakem je typicky | podobně jako bitová operace **OR** v mnoha programovacích jazycích.

Implementace v programovacích jazycích

Dnes v podstatě každý programovací jazyk má v nějaké formě implementované zpracování regulárních výrazů. Tato implementace se však často liší, sice základ bývá stejný, ale rozšířená syntaxe je často odlišná. Může se tak stát to, že to co je podporované jedním jazykem, není podporované druhým. Taktéž oproti původním regulárním výrazům, dnešní implementace osahují mnohdy složitější koncepce jako je rozhlédnutí se (Anglicky lookaround), nebo například rekurze. Někdy sice jazyky sdílí jednu stejnou funkcionalitu, ale mohou se lišit syntaxí.

Rozhlédnutí se je již celkem pokročilá funkcionalita. Jejich principem je takzvaně, nezachytávání znaků při zpracovávání. Typicky je dělíme podle směru a to **dopředné** a **zpětného** rozhlédnutí. Pak je dělíme podle podmínění a to **kladné** a **negativní** rozhlédnutí, pro která platí, pokud máme kladné podmínění **musí** uzavřený výraz být splněný a pokud máme záporné tak **nesmí** být splněný. V původní formě regulárních výrazů, tato funkce neexistovala.

Mnohdy je potřeba, nalezený řetězec rozdělit do skupin. Tuto možnost dnešní implementace také umožňují. Chceme-li zdůraznit že zadaný podvýraz je skupinou, obalíme ho do závorek. Tato vlastnost je žádaná, jelikož nemusíme například, jiným regulárním výrazem hledat v již nalezeném řetězci nějaký podřetězec.

Kapitola 3

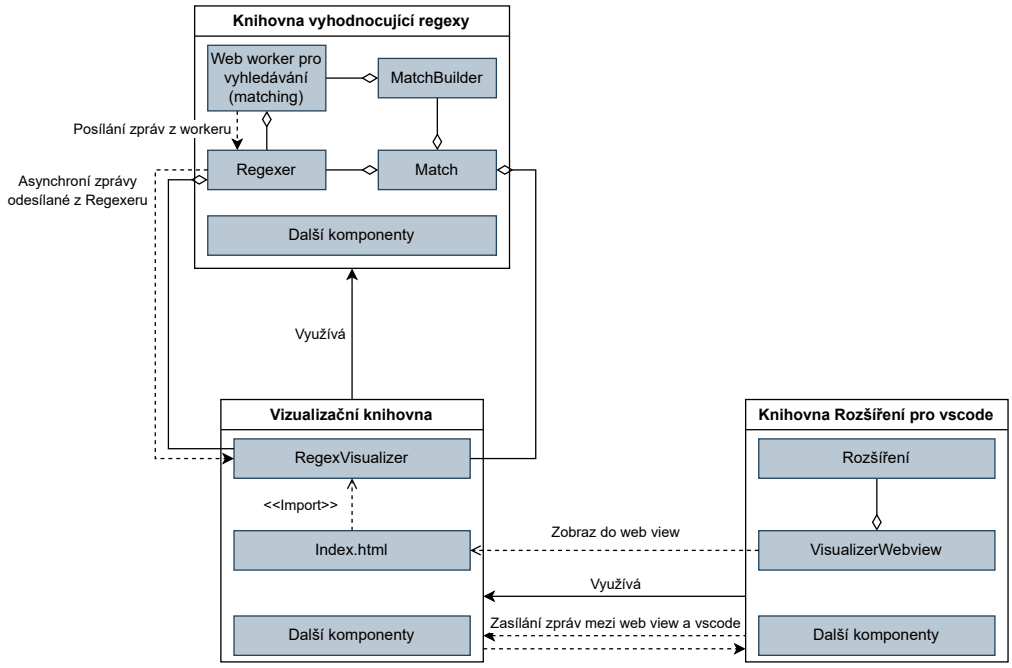
Architektura aplikace

3.1 Zvolené návrhy

Základní struktura aplikace

Aplikace je členěná na 3 základní knihovny, což je zřejmé na obrázku 3.1. Každá část má vlastní účel a jsou navzájem izolovány. První z těchto knihoven je **regexer**, ta slouží pro zpracovávání a vyhodnocování regulárních výrazů. Jako jediná z těchto knihoven může existovat plně nezávisle na ostatních knihovnách, jelikož neobsahuje závislost na žádné z dalších knihoven. Druhou knihovnou je **visualizační**, která slouží pro samotné zobrazení zpracovávaných regulárních výrazů. Jedná se o komponentu, která může být spuštěná mimo rozšíření vscode, například ve webovém prostředí. Tato knihovna obsahuje závislost na Regexer, ale na vscode extension není přímá závislost, jelikož pokud není nalezená funkce pro zasílání zpráv, tak je v rámci visualizace ignorována. Poslední částí je samotné **rozšíření**, které se stará o komunikaci s API vscode a o řízení všeho co se týká rozšíření. Tato část aplikace implementuje visualizační knihovnu v podobě web view (webové zobrazení).

Na obrázku 3.1 je viditelná závislost mezi knihovnami. Rovněž je patrná základní struktura těchto knihoven a jejich závislosti mezi sebou. Avšak jsou zakresleny jen ty komponenty, které můžeme považovat za nejdůležitější. Je dobré zdůraznit asynchroní komunikaci, kterou poskytuje knihovna regexer (vyhodnocující regexy). Tuto komunikaci lze vidět mezi komponentou Regexer a RegexVisualizer s tím, že Regexer využívá vedlejší vlákno mimo hlavní. Knihovna pro vlákna threads.js je popsána v sekci 3.2.

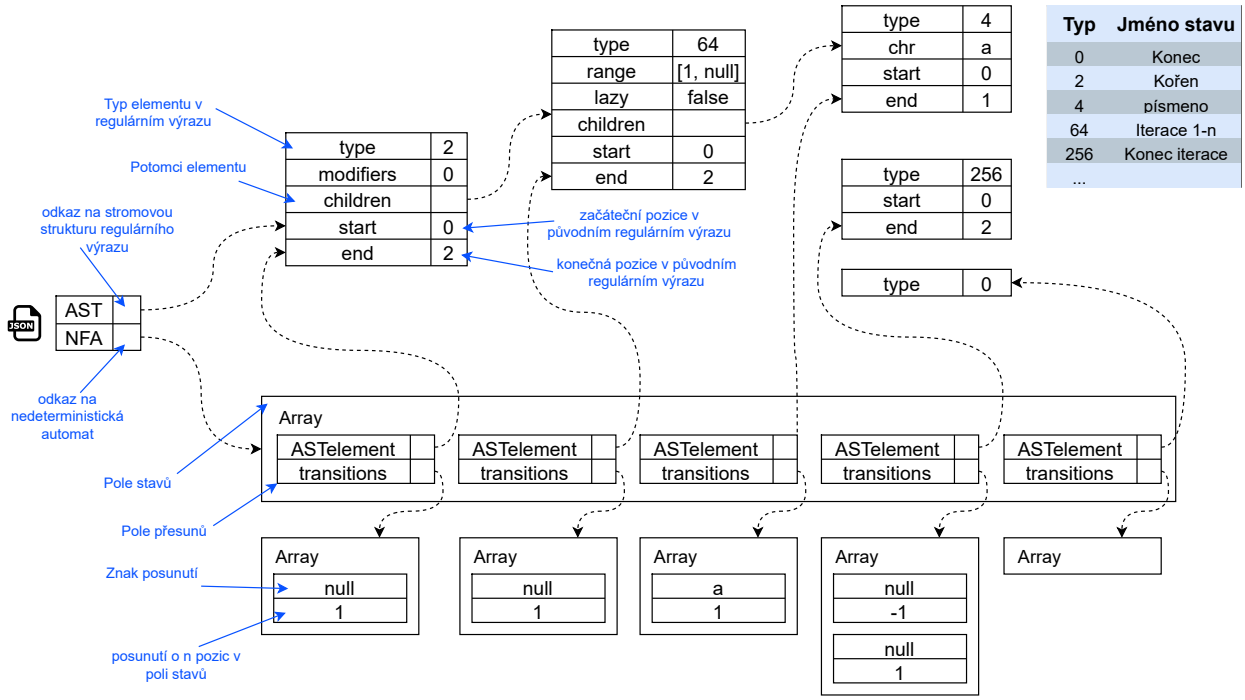


Obrázek 3.1: Struktura knihoven aplikace

Struktura zpracovaného regulárního výrazu

Pro zpracovaný regulární výraz, je zvolená struktura, která obsahuje **nedeterministický konečný automat**, zároveň s **abstraktním syntaktickým stromem** (AST), ten pak slouží k dohledání informací o původním regulárním výrazu. Výsledná struktura je datového typu, JSON (JavaScript Object Notation). JSON strukturu můžeme vidět na obrázku 3.2. NKA je ve formě **přesunové tabulky (transition table)**. Ta má tvar pole, kde každá položka obsahuje informaci o konktrétním stavu a přesunech na další stavy. Stav se pak identifikuje na základě indexu v poli. Přesuny jsou pak implementovány tak, že každý stav si uchovává všechny přesuny, které vedou z daného stavu do stavu jiného. Každý přesun pak má informaci, o jaký znak přesunu se jedná a na jaký index v poli odkazuje (stav).

Na obrázku 3.2 lze vidět základní JSON strukturu, která obsahuje 2 klíče AST a NFA. Klíč NFA odkazuje na pole stavů přesunové tabulky. Dále AST má odkaz na kořen, který signalizuje začátek regulárního výrazu. Je zde patrné, že každý stav má odkaz, na příslušící prvek v AST. AST element drží informace jako jsou například, pozice v původním řetězci (start a end), potomci tohoto stavu, například skupina má potomky, ale né každý stav musí je mít.



Obrázek 3.2: Příklad výsledné JSON struktury regulárního výrazu a+

3.2 Použité technologie

Tato aplikace je integrovaná do vývojového prostředí **visual studio code**, zkráceně **vscode**. Jádro aplikace je psáno v programovacím jazyce **TypeScript**, zkráceně **TS** verze 5.3, který je nádstavbou pro jazyk **JavaScript**, zkráceně **JS**. TypeScript, jak z názvu vyplívá je typový JavaScript. Každý kód napsaný v JS je správný pro TS, ale to neplatí naopak. Psaní nějaké větší aplikace je tak vhodnější v TS, kvůli svím typovým kontrolám, čímž se můžeme vyhnout potencionálním chybám v běhu programu. Také vyvýjení rozšíření pro vscode, je možné pouze v JavaScriptu nebo TypeScriptu.

Pro parsování je použita bezkontextová gramatika Peggy, pro jazyk JavaScript. Ta umožňuje poměrně snadného zpracování textové podoby regulárních výrazů do podoby strukturované. Tato výsledná struktura může být vpodstatě jakákoliv.

Každá z knihoven je spravována balíčkovým manažerem **NPM** (Node Package Manager). Využívají tedy balíčků, které jsou dostupné pro npm. Aplikace je pak postavená na technologii **NodeJS**, jedná se o JavaScript runtime (běh programu). Vscode runtime je totiž NodeJS, ale samotné web view běží už na klasickém webovém runtime, které je typické pro webové prohlížeče.

Visualizační část aplikace pak využívá základní **HTML** struktury. Pro následné stylování, je využito technologie **LESS**, což je rozšíření standartního **CSS**. Avšak LESS musí být transpilovaný do CSS. LESS umožňuje, například vnořování stylů nebo tvorbu vlastních proměnných. Pro logickou část visualizační knihovny je také využit TypeScript.

Jako balící nástroj, je použit webpack, ten umožňuje všechny části aplikace poměrně efektivně zabalit do malého počtu souborů. Tento nástroj se pak hodí, pro menší výslednou aplikaci a hlavně pro seskupení všech závislostí. Jedná se o velice silný nástroj, který dává programátorovi větší kontrolu nad výsledným přeloženým kódem aplikace.

Jelikož chceme mít větší jistotu správnosti aplikace, je v logické části aplikace využito technologie pro tvorbu testů. Tato knihovna se nazívá **Jest**, protože je tato knihovna převážně pro testování JavaScriptových kódů, tak je s ní využito pro TypeScriptové soubory **ts-jest**. To nám pak umožňuje psát testy určené i pro typovost TS.

Jednou z posledních knihoven, která je použita je **threads.js**. Jelikož existují různé runtime JavaScriptu, tak neexistuje jednotné využití vláken (threadů). Browser má tzn. **web workery** a NodeJS má **worker thready**, sice si jsou podobné, ale mají změny které znemožňují univerzálního použití. Proto je v této aplikaci využito knihovny threads.js, která eliminuje tyto problémy. Navíc dokáže zpřístupnit větší bezpečnost pro programátora, který píše TS kód. Tato bezpečnost je docílená tím, že knihovna umožňuje poskytnout z vlákna rozhraní, které může obsahovat i typy. Základní funkcionalitu knihovny threads.js lze vidět, v ukázce zdrojového kódu 3.1.

```
/* --------- Hlavní vlákno --------- */
/* Zavolání metody workera z rodiče */
await this.worker_?.match(pid, matchString, options?.batchSize ?? -1);

/* --------- Worker --------- */
const Matcher = {
    match(pid : number, matchString : string, batchSize: number = -1) :
    ReturnMatch | ReturnBatch | ReturnAborted | null
    {
        // logika funkce
    }
}
/* Zviditelnění objektu Matcher pro rodiče */
expose(Matcher);
```

Zdrojový kód 3.1: Příklad použití knihovny threads.js

Workery v JS, jsou limitovány tím, že komunikace mezi hlavním a vedlejším vláknem, probíhá formou zpráv. Demonstraci této komunikace lze vidět ve zdrojovém kódu 3.2. U příjmutých zpráv nemůžeme zjistit před během programu, co nám z vlákna příjde za odpověď. Na to si programátoři, musí dávat pozor, aby předešli chybám, které mohou nastat při běhu programu. Knihovna threads.js

sice na pozadí volá buď worker thread nebo web worker, podle prostředí ve kterém běží, ale poskytuje rozhraní, které je programátorsky přijatelnější.

```
/* --------- Hlavní vlákno --------- */
/* poslání zprávy do workeru */
myWorker.postMessage({type: "match", pid, matchString, batchSize});

myWorker.onmessage = (event : MessageEvent)
{
    // event.data má typ any (neznámý), jedná se o poslanou proměnnou message
    // kontrola dat například pomocí switche
}

/* --------- Worker --------- */
onmessage = (event : MessageEvent) => {
    // stejný případ jako u hlavního vlákna onmessage

    /* poslání zprávy zpět do hlavního vlánka */
    parentPort.postMassage(message);
}
```

Zdrojový kód 3.2: Příklad použití web workeru a posílání zpráv

Literatura

1. DIB, Firas. *Build, test, and debug regex* [online]. [B.r.]. [cit. 2024-01-25]. Dostupné z: `https://regex101.com/`.
2. AVALLONE, Jeff [online]. [B.r.]. [cit. 2024-01-25]. Dostupné z: `https://regexper.com/`.
3. [online]. [B.r.]. [cit. 2024-01-25]. Dostupné z: `https://regexr.com/`.
4. [online]. Wikimedia Foundation, 2024 [cit. 2024-02-20]. Dostupné z: `https://en.wikipedia.org/wiki/Regular_expression`.
5. HAVRLANT, Lukáš. *Konečný Automat* [online]. [B.r.]. [cit. 2024-02-06]. Dostupné z: `https://www.matweb.cz/konecny-automat/`.
6. [online]. Wikimedia Foundation, 2021 [cit. 2024-02-18]. Dostupné z: `https://cs.wikipedia.org/wiki/Bezkontextov%C3%A1_gramatika`.
7. [online]. Wikimedia Foundation, 2023 [cit. 2024-02-17]. Dostupné z: `https://en.wikipedia.org/wiki/Thompson%27s_construction`.