SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
FAKULTA INFORMATIKY A INFORMAČNÝCH TECHNOLÓGIÍ
Študijný program: Softvérové inžinierstvo, Informačné systémy

---

AUTOMATY

Projektová dokumentácia

Tím číslo 2

Vedenie projektu: Mgr. Daniela Chudá, PhD.

12.11.2008

Bc. Robin Bábíček
Bc. Matúš Coranič
Bc. Matúš Čelko
Bc. Celestín Černák
Bc. Daniela Miloňová
Bc. Katarína Poláková

Projektová dokumentácia – časť I

INŽINIERSKE DIELO

OBSAH

1. ANALÝZA, ŠPECIFIKÁCIA POŽIADAVIEK A HRUBÝ NÁVRH

1.1. ZADANIE PROJEKTU

Teóriu formálnych jazykov a automatov uviedol Noam Chomsky ako časť teórie počítačovej vedy už v 1955. Moderné aplikácie formálnych jazykov a automatov sa objavujú najmä v oblasti tvorby návrhu kompilátorov a popise abstraktných výpočtových zariadení. Študenti informatiky na celom svete sa stretávajú v bakalárskom štúdiu s výukou formálnych jazykov a automatov, ktorá je nezriedka vedená tradične bez podpory simulátorov. Pri štúdiu formálnych výpočtových modelov sa vyskytne množstvo otázok: "Ako vysvetliť či znázorniť funkcionalitu a činnosť automatu - abstraktného výpočtového zariadenia?", "Ako prepojiť informácie medzi matematickým zápisom zariadenia a funkcionalitou výpočtového zariadenia predstavujúcou sekvenčný proces, ako prepojiť stavový diagram s prechodovou funkciou a vstupom?" "Ako vizualizovať nedeterminizmus výpočtových zariadení?".

Vytvorte integrovaný nástroj pre simuláciu, vizualizáciu a testovanie rôznych výpočtových zariadení, ako konečný automat, zásobníkový automat, Turingov stroj, RAM, počítadlový stroj, generátor gramatík. Nástroj by mal umožňovať:

- prácu s preddefinovanými výpočtovými zariadeniami,
- rozšírenie o prácu s operáciami nad výpočtovými zariadeniami,
- definovanie svojich vlastných zariadení,
- prácu s nedeterministickými výpočtovými zariadeniami,
- možnosť testovania študentov, generovanie problémových situácii nad zariadením aj s kontrolným riešením,
- jednoduché rozhranie a ovládanie, export a import jednotlivých výpočtových zariadení, zachovanie bezpečného prístupu k informáciám o testovaní vedomostí študentov, modularita a rozšíriteľnosť.

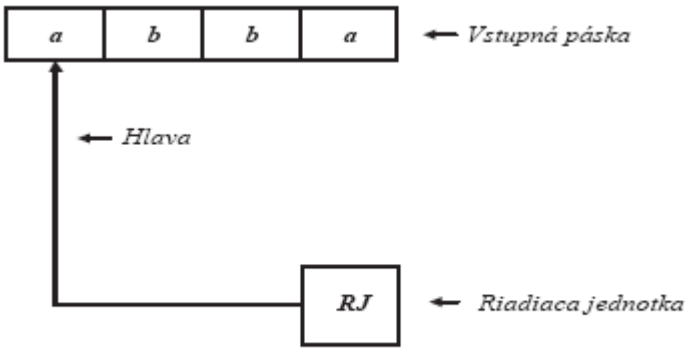
Naši študenti využívajú pri štúdiu rôzne parciálne simulátory, naprogramované na iných univerzitách či naprogramované priamo našimi študentmi. Práca so simulátormi patrí k najobľúbenejším činnostiam v predmete. Nástroj pokrývajúci široké spektrum problematiky formálnych jazykov a automatov je JFLAP .

1.2. ANALÝZA PROBLÉMU

V tejto kapitole sa zaoberáme analýzou problematiky automatov z pohľadu ich definície a základných vlastností. Táto časť predstavuje základný teoretický úvod do problematiky a jej preštudovanie je odporúčané na pochopenie nasledujúcich častí. Na základe tejto analýzy a prehľadu existujúcich riešení sme vypracovali špecifikáciu požiadaviek, ktorá sa nachádza v kapitole č. 1.4.

1.2.1 KONEČNÝ AUTOMAT

Konečný automat (angl. *finite automaton*, FA) je teoretický výpočtový model používaný v informatike na štúdium formálnych jazykov. Predstavuje jednoduchý počítač, ktorý sa môže nachádzať v jednom z niekoľkých definovaných stavov, pričom medzi jednotlivými stavmi prechádza na základe symbolov, ktoré číta na vstupe. Automat pozostáva z riadiacej jednotky, vstupnej pásky a čítacej hlavy (obr. č. 1)



Obr. 1: Schéma konečného automatu

Rozlišujeme 2 základné druhy konečných automatov:

- Deterministické
- Nedeterministické

Keďže triedy jazykov, ktoré oba typy rozpoznávajú, sú ekvivalentné, je možné ku každému nedeterministickému konečnému automatu zostrojiť ekvivalentný deterministický konečný automat.

Deterministický konečný automat

Deterministický konečný automat je formálne definovaný ako pätica A = (K, Σ, δ, q0, F), kde:

K je konečná množina stavov

Σ je vstupná abeceda

δ je prechodová funkcia, pričom platí $\delta: K \times \Sigma \rightarrow K$

q0 je počiatočný stav $q_0 \in K$

F je množina koncových stavov $F \subseteq K$

Nedeterministický konečný automat

Nedeterministický automat sa líši iba v špecifikácii prechodovej funkcie:

δ je prechodová funkcia, pričom platí: $\delta : K \times (\Sigma \cup \{\varepsilon\}) \rightarrow 2^K$

Tento automat nemusí mať v každom kroku jednoznačne definovaný stav, ktorým má pokračovať. Znamená to, že z určitého stavu je možné prejsť do viacerých stavov za rovnakej podmienky. Riešení teda môže byť viacero, voľba správnej cesty je zvyčajne ponechaná na používateľovi automatu.

Reprezentácia

Konečný automat môžeme reprezentovať:

- stavovým diagramom,
- formálnym zápisom,
- maticou prechodových funkcií.

Jednotlivé možnosti reprezentácie automatu si ukážeme na jednoduchom príklade. Popis automatu formálnym zápisom vyzerá nasledovne:

Nech *A1 = (K, Σ, δ, q0, F), kde:*

K = {q0, q1 },

Σ = {a,b},

δ(q0,a) = q0

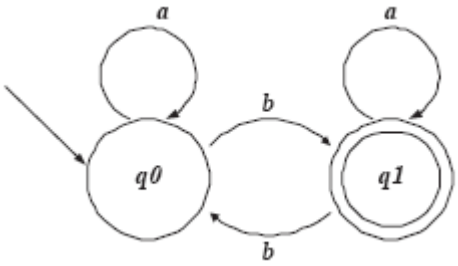
δ(q0,b) = q1

δ(q1,a) = q1

δ(q1,b) = q0

F ={q1}

Reprezentácia tohto automatu stavovým diagramom a maticou prechodových funkcií je zobrazená na obr. č. 2.

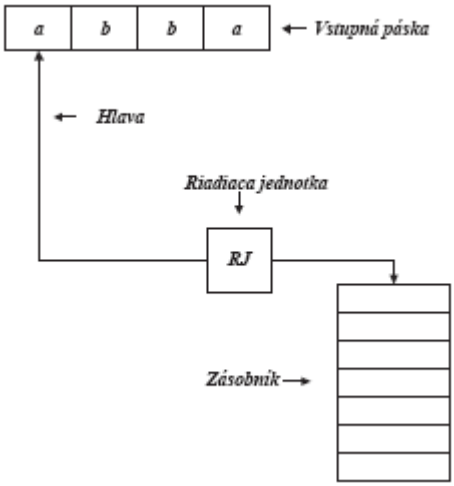


	a	b
q_0	q_0	q_1
q_1	q_1	q_0

Obr. 2: Reprezentácia konečného automatu

1.2.2 ZÁSOBNÍKOVÝ AUTOMAT

Zásobníkový automat (angl. *push-down automaton*, PDA) je teoretický výpočtový model, ktorý rozpoznáva slová bezkontextového jazyka. PDA je v zásade konečný automat, ktorý má pridanú abstraktnú údajovú štruktúru zásobník. Jeho schéma je zobrazená na obrázku č. 3.



Obr. 3: Schéma zásobníkového automatu

Pri manipulovaní so zásobníkom budeme používať nasledujúce operácie:

- push – pridanie prvku na vrch zásobníka
- pop – vybratie prvku z vrchu zásobníka

- skip - preskočenie, žiadna operácia
- top – prečítanie prvku na vrchu zásobníka
- empty – test na prázdnosť zásobníka

Rovnako ako v prípade FA rozlišujeme 2 základné druhy zásobníkových automatov:

- Deterministické (DPDA)
- Nedeterministické (NPDA)

V tomto prípade ale triedy jazykov rozpoznávaných DPDA a NPDA nie sú ekvivalentné. Neexistuje teda spôsob ako ku každému NPDA zostrojiť príslušný DPDA.

Deterministický zásobníkový automat

Deterministický zásobníkový automat je formálne špecifikovaný ako sedmica: A = (K, Σ, Γ, δ, q0, Z0,F), kde:

K je konečná množina stavov

Σ je vstupná abeceda

Γ je zásobníková abeceda

δ je prechodová funkcia, pričom platí $\delta : K \times \Sigma \times \Gamma \to K \times \Gamma^{\bullet}$

q0 je počiatočný stav $q_0 \in K$

Z0 je počiatočný zásobníkový symbol $Z_0 \in \Gamma$

F je množina koncových stavov $F \subseteq K$

Podobne ako u konečných automatov aj zásobníkový automat môže mať len jeden počiatočný stav. Maximálny počet koncových stavov nie je určený.

Zásobníkový automat je deterministický, ak platia nasledovné podmienky:

$\forall q \in K, \forall a \in \Sigma, \forall Z \in \Gamma :$

1. množina δ(q,a,Z) obsahuje najviac jeden prvok
2. množina δ(q,ε,Z) obsahuje najviac jeden prvok
3. ak množina δ(q,ε,z) nie je prázdna, potom množina δ(q,a,Z) je prázdna

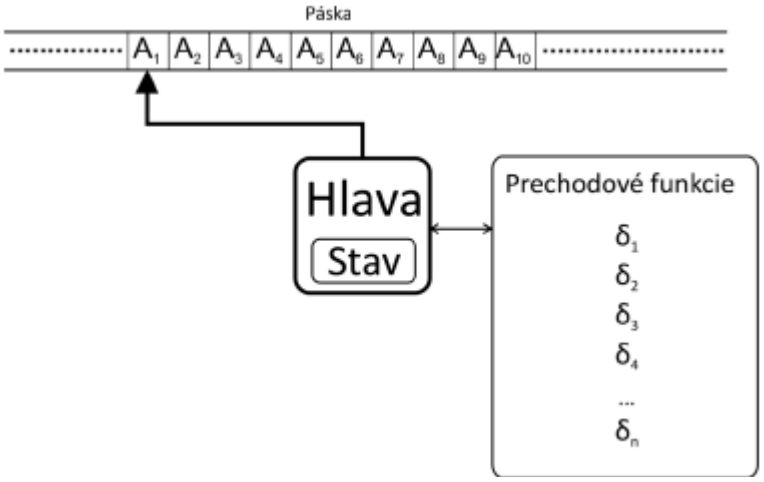
Nedeterministický zásobníkový automat

Definícia nedeterministického zásobníkového automatu sa opäť líši v špecifikácii prechodovej funkcie:

δ je prechodová funkcia, pričom platí: $\delta : K \times (\Sigma \cup \{\varepsilon\}) \times \Gamma \to 2^{K \times \Gamma^*}_{KON}$

1.2.3 TURINGOV STROJ

Turingov stroj (angl. *Turing machine*, TM) je teoretický výpočtový model definovaný matematikom Alanom Turingom. Definovať ho môžeme ako konečný automat spojený s externým úložiskom alebo pamäťovým médiom. Schéma je znázornená na obr. č. 4.



Obr. 4: Schéma Turingovho stroja

Turingov stroj je definovaný ako usporiadaná šestica T(K, Σ, Γ, δ, q0, F), kde:

K je konečná množina prvkov

Σ je vstupná abeceda

Γ je zásobníková abeceda

δ je prechodová funkcia, pričom platí

q0 je počiatočný stav

F je množina koncových stavov

Konfigurácia

Konfiguráciu Turingovho stroja T popisujeme ako šestica T popisujeme ako (q, ~ , i). Kde:

- $q \in K$ je aktuálny stav T
- ~ je postupnosť symbolov $(P - \{B\})^*$ a predstavuje neprázdnu časť z pásky
- i je celá číslo vyjadrujúce vzdialenosť hlavy stroja T od začiatku ~

Prechodová funkcia

Prechodovú funkciu definujeme takto. Nech $(q, A_1A_{2,}\ldots A_{\sim}\ i)$ je konfigurácia T, kde $1 \le i \le n+1$.

Ak $1 \le i \le n+1$ a $\delta(q, A_I) = (p, A, R)$,

potom $(q, A_1 A_{2,}\ldots A_{\sim}\ i) \sim (q, A_1 A_{2,}\ldots A_{I-1} A A_{I+1}\ldots A_{\sim}\ i + 1)$.

T teda vypíše symbol a pohne sa doprava.

Ak $2 \le i \le n+1$ a $\delta(q, A_I) = (p, A, L)$,

potom $(q, A_1 A_{2,}\ldots A_{\sim}\ i) \sim (q, A_1 A_{2,}\ldots A_{I-1} A A_{I+1}\ldots A_{\sim}\ i - 1)$.

T teda vypíše symbol a pohne sa doľava.

Výpočet

Výpočet Turingovho stroja začína v určenom počiatočnom stave na určenom mieste na páske, na ktorej sa nachádza vstupné slovo. Následne sa opakuje postupnosť týchto krokov:

1. Ak je aktuálny stav z množiny koncových stavov výpočet je dokončený (môže sa povedať, že Turingov stroj akceptoval vstupné slovo).
2. Čítacia hlava prečíta symbol na páske, nad ktorým sa nachádza.
3. Ak existuje prechodová funkcia vyhovujúca vstupným požiadavkám – prečítaný symbol a aktuálny stav, vykoná sa.
    a. Zmení sa stav podľa príslušnej prechodovej funkcie.
    b. Zapíše sa znak na aktuálnu pozíciu.
    c. Hlava sa pohne vľavo alebo vpravo (niektoré modifikácie modelu umožňujú definovať aj prechodové funkcie bez pohybu hlavy).
4. Ak neexistuje prechodová funkcia, činnosť Turingovho stroja sa zastaví (hovoríme, že Turingov stroj neakceptoval vstupné slovo).

1.3. PREHĽAD EXISTUJÚCICH RIEŠENÍ

Táto časť práce obsahuje analýzu existujúcich podobných riešení. Táto analýza nám poskytla cenné informácie, ktoré využijeme pri tvorbe nového simulátora. Taktiež nám umožní vytvoriť simulátor, ktorý využije dobré vlastnosti existujúcich simulátorov a tým sa z neho stane univerzálny nástroj a to nie len pre študentov, ale aj učiteľov zaoberajúcich sa touto problematikou.

V jednotlivých podkapitolách uvádzame krátky opis jednotlivých riešení. Taktiež výhody a nevýhody, resp. to čo sa nám na danom simulátore páčilo a čo naopak nie. Pre lepšiu orientáciu a ohodnotenie kvality simulátora sme zaviedli stupnicu od 1 do 5, pričom 1 je najlepšia a 5 najhoršia známka. Obrázky sú uvedené iba pri vybraných dobrých riešeniach.

1.3.1 JFlap

Popis

JFlap predstavuje samostatnú pokročilú Java aplikáciu na simuláciu FA, PDA, TM s rôznymi možnosťou vykonávania rozličných operácií. Umožňuje vstup zo súboru ako aj z grafického rozhrania. Poskytuje editor vstupnej pásky, ktorá je viditeľná počas simulácie ako aj čítaciu hlavu, ktorá simuluje pohyb po páske. Podporuje editáciu počiatočných a koncových stavov pri grafickom vstupe, deteminizimus, nedeteminizimus a simuláciu jednotlivých krokov. Po ukončení simulácie zobrazí kompletný výpočet avšak iba pre akceptujúce výpočty. Pri nedeterminizme zväčša uhádne správny krok.

Výhody

Pomerne jednoduché intuitívne ovládanie, možnosť zvýrazniť nedeterministické stavy a prechody.

Nevýhody

Poskytované operácie nie vždy dávajú korektné výsledky, mierne chaotické zobrazovanie prechodu na viac rôznych znakov.

Celkové hodnotenie: 1

1.3.2 Visual Automata Simulator

Popis

Graficky simulátor, samostatná Java aplikácia umožňujúca simuláciu FA a TM. Umožňuje grafický vstup, textový vstup ako aj vstup zo súboru. Po zapnutí v menu sú viditeľné aj prechodové funkcie. Vstupná páska je viditeľná počas simulácie. Podporuje editáciu počiatočných a koncových stavov, deteminizimus, nedeteminizimus a grafický výstup Po ukončení simulácie zobrazí kompletný výpočet avšak iba pre akceptujúce výpočty. Pri nedeterminizme zväčša uhádne správny krok.

Výhody

Pekné grafické spracovanie.

Nevýhody

Nie je zobrazená simulácia, iba výsledok, iba pri debug móde. Taktiež nesprávne konvertuje NFA na DFA.

Celkové hodnotenie: 2

1.3.3 XTuringMachineLab

Popis

Jednoduchý a prehľadný Java applet, ponúka aj hotové ukážky TM. Umožňuje textový vstup ako aj vstup zo súboru. Poskytuje editor vstupnej pásky, ktorá je viditeľná počas simulácie ako aj čítaciu hlavu, ktorá simuluje pohyb po páske. Podporuje editor prechodovej funkcie, deteminizimus, grafický výstup a simuláciu jednotlivých krokov. Po ukončení simulácie zobrazí kompletný výpočet avšak iba pre akceptujúce výpočty. Pri nedeterminizme zväčša uhádne správny krok. Pri tvorbe nového simulátora využijeme pohyb hlavy a časť používateľské rozhranie.

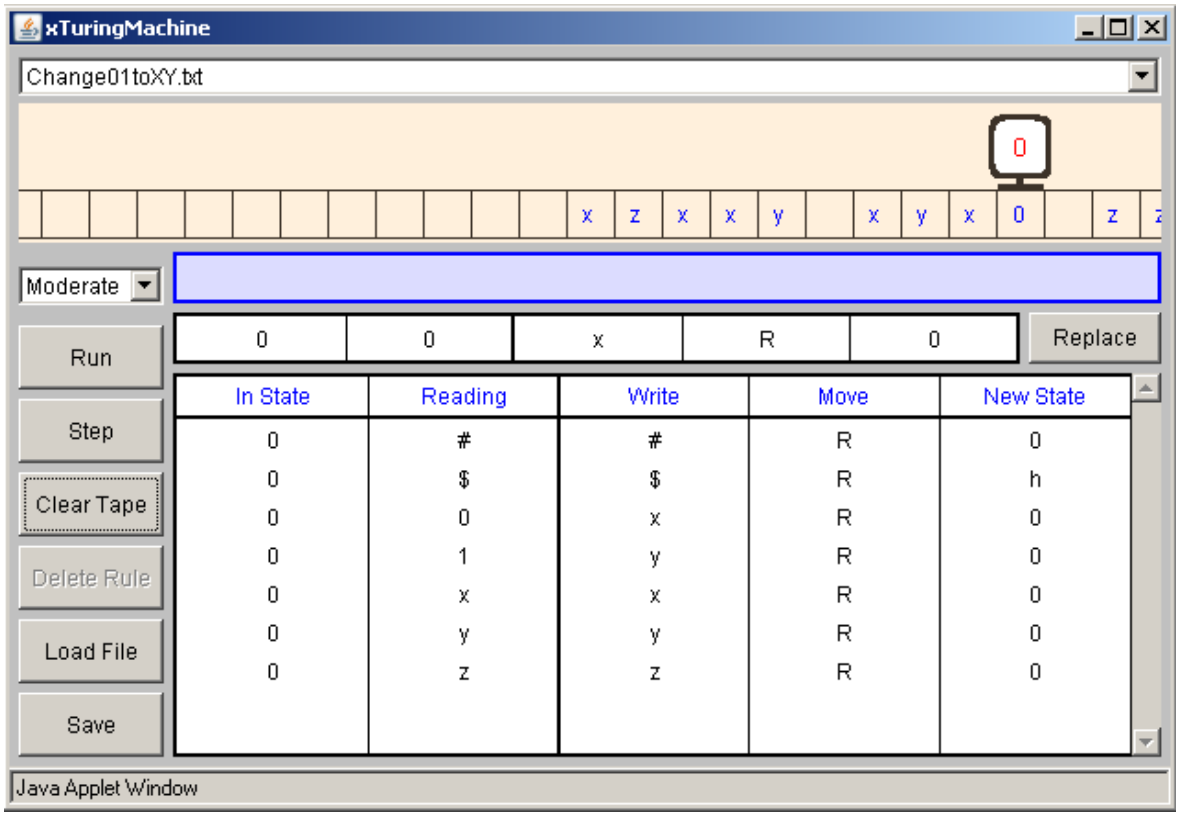
Výhody

Veľmi pekné používateľské rozhranie, hlavne znázornenie pohybu hlavy a pásky.

Nevýhody

Vstup vo formáte TXT.

Celkové hodnotenie: 2



Obr. 5: xTuringMachine

1.3.4 Visual Turing

Popis

C++ vizuálny návrh TM. Umožňuje vstup zo súboru ako aj grafický vstup . Na obrazovke je znázornený formálny zápis. Poskytuje editor vstupnej pásky, ktorá je viditeľná počas simulácia ako aj čítacia hlava, ktorá simuluje pohyb po páske. Podporuje editor prechodovej funkcie, editovanie počiatočných a koncových stavov, deteminizimus, grafický výstup, simuláciu jednotlivých krokov a nastavenie rýchlosti simulácie.

Výhody

Výborné vizuálne spracovanie, možnosť vloženia breakpointov a debuggovania aplikácie.

Nevýhody

Na prvý pohľad zložité ovládanie, nutnosť použitia manuálu – neintuitívne.

Celkové hodnotenie: 1

1.3.5 Turing Machine Simulator

Popis

Jednoduchý C# program na simuláciu TM, ktorý je realizovaný ako Windows aplikácia. Umožňuje textový vstup ako aj vstup zo súboru. Poskytuje editor vstupnej pásky, ktorá je viditeľná počas simulácie ako aj čítacia hlava, ktorá simuluje pohyb po páske. Podporuje editor prechodovej funkcie, editáciu počiatočných a koncových stavov, deteminizimus, grafický výstup, simuláciu jednotlivých krokov a nastavenie rýchlosti simulácie.

Výhody

Nastavenie rýchlosti simulácie, voľba okamžitého výpočtu, načítanie/ukladanie súborov.

Nevýhody

Prechodové funkcie sa vkladajú pomerne neprirodzene a v programe sa označujú ako stavy. Možnosť používať na páske iba symboly 0 a 1, nepodporuje nedeterministický automat.

Celkové hodnotenie: 3

1.3.6 FSA Applet

Popis

Veľmi jednoduchý applet pre simuláciu FA s vizualizáciou stavového diagramu. Umožňuje vstup zo súboru ako aj grafický vstup. Poskytuje editor vstupnej pásky, ktorá je viditeľná počas simulácie ako aj čítacia hlava, ktorá simuluje pohyb po páske. Podporuje editáciu počiatočných a koncových stavov, deteminizimus, grafický výstup a simuláciu jednotlivých krokov.

Výhody

Pomerne jednoduché intuitívne ovládanie s krátkou nápovedou.

Nevýhody

Pri vytvorení nedeterministického automatu sa snaží simulovať nedeterminizmus, ale nekorektne zamietne správny vstup.

Celkové hodnotenie: 2

1.3.7 Simulátor Turingova Stroje (Stehlík)

Popis

Jednoduchá aplikácia používaná na cvičeniach z predmetu TZI na simulovanie TM. Umožňuje textový vstup ako aj vstup zo súboru. Na obrazovke je znázornený formálny zápis. Poskytuje editor vstupnej pásky, ktorá je viditeľná počas simulácie ako aj čítaciu hlavu, ktorá simuluje pohyb po páske. Podporuje možnosť meniť vstupnú pásku počas behu programu, editáciu počiatočných a koncových stavov, deteminizimus, nedeteminizimus, simuláciu jednotlivých krokov. Poskytuje podsvietenie syntaxe ako aj vyznačenie chýb syntaxe. Pri nedeterminizme zväčša uhádne správny krok.

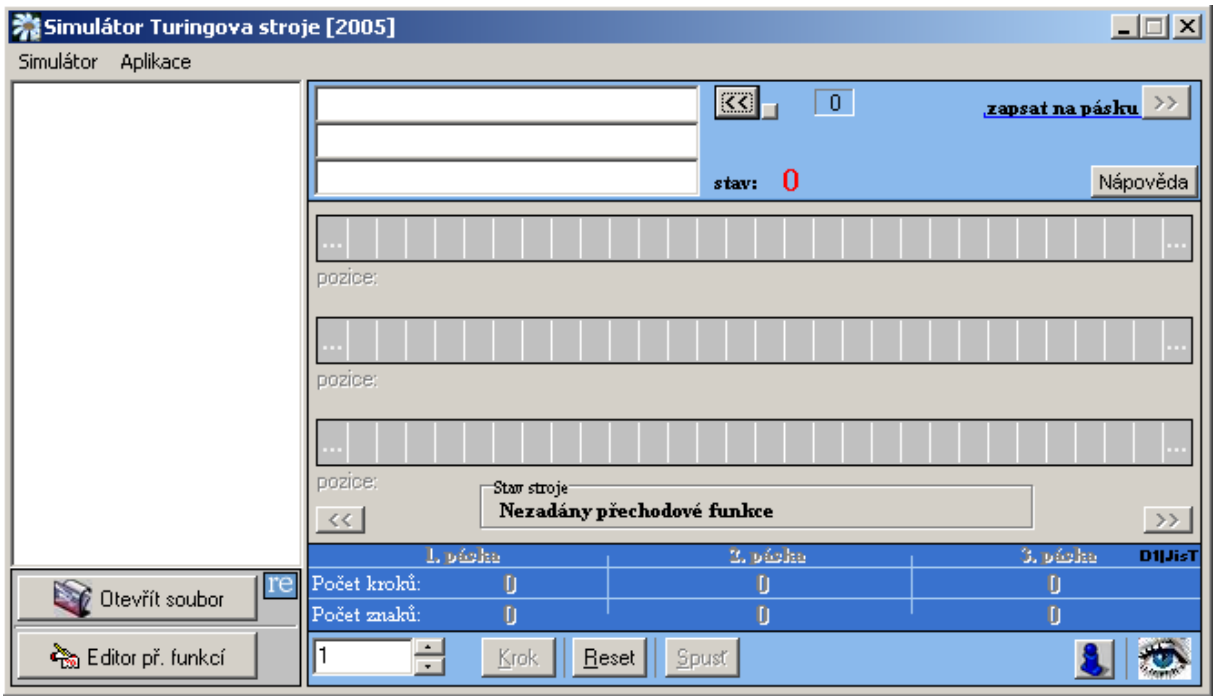
Výhody

Jednoduché intuitívne ovládanie. Všetky znaky sa dajú uložiť na pásku. Komentáre, pekne simuluje výpočet po krokoch. Vlastné vstupy a práca so súborom.

Nevýhody

Chýba grafická interpretácia. Pri nedeterminizme vyberie len prvú možnosť.

Celkové hodnotenie: 2



Obr. 6: Simulátor Turingova Stroje (Stehlík)

1.3.8 Študentská práca – Pašmik

Popis

Samostatná Java aplikácia na FA a PDA. Umožňuje grafický vstup, textový vstup ako aj vstup zo súboru. Na obrazovke je znázornený formálny zápis. Poskytuje editor vstupnej pásky, čítacia hlava je viditeľná a simuluje pohyb po páske. Podporuje editor prechodovej funkcie, editovanie počiatočných a koncových stavov, deteminizimus, nedeteminizimus, grafický výstup, simuláciu jednotlivých krokov a nastavenie rýchlosti simulácie. Zobrazuje kompletný výpočet ako aj strom všetkých možností. Poskytuje možnosť voliť nasledujúci krok výpočtu pri nedeterminizme, pri ktorom zväčša uhádne správny krok.

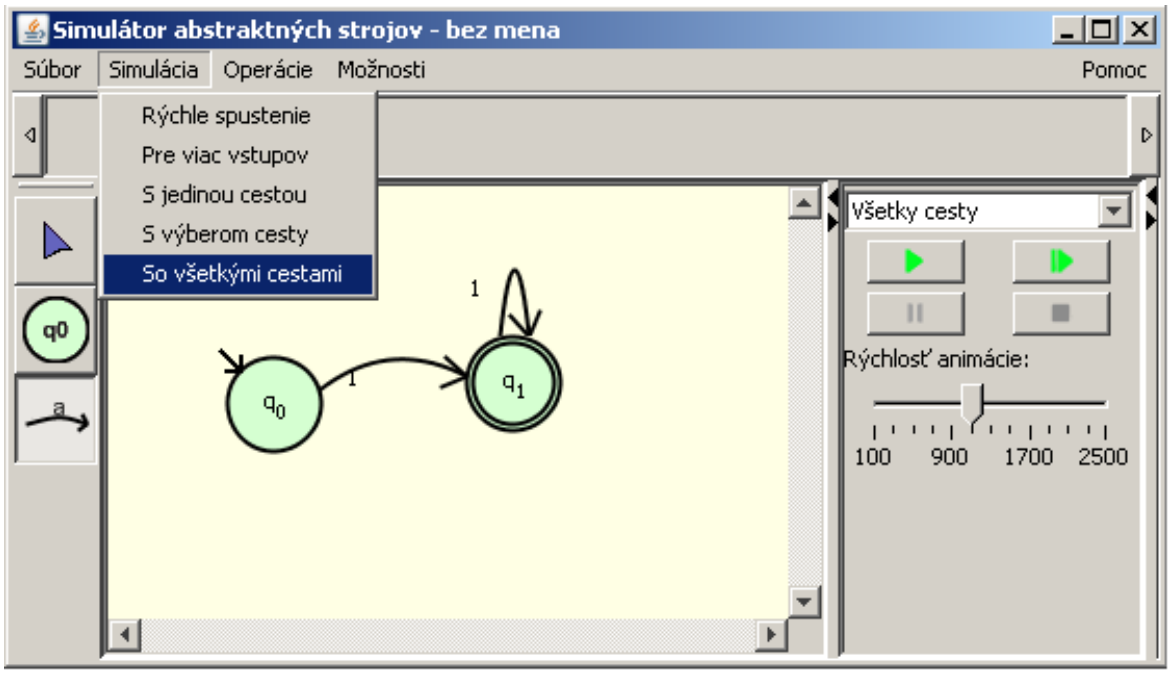
Výhody

Pekné používateľské rozhranie, jednoduché na používanie. Nastavenie rýchlosti simulácie a import/export do JFLAP.

Nevýhody

Nedoladené niektoré časti používateľského rozhrania.

Celkové hodnotenie: 2



Obr. 7: Študentská práca – Pašmik

1.3.9 Študentská práca – Kohaut

Popis

Tri samostatné aplikácie na simuláciu FA, PDA, TM. Umožňuje vstup zo súboru. Poskytuje editor vstupnej pásky a čítacia hlava je viditeľná a simuluje pohyb po páske. Podporuje deteminizimus, grafický výstup a simuláciu jednotlivých krokov. Poskytuje vyznačenie chýb syntaxe.

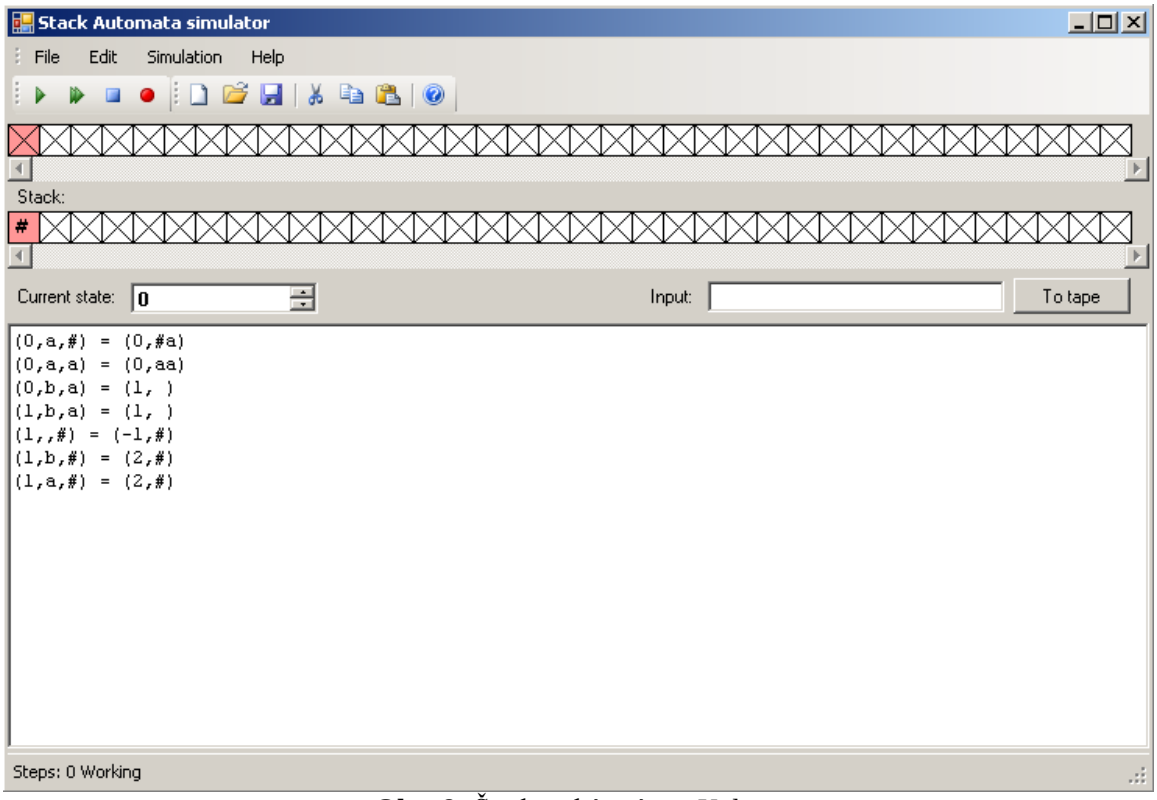
Výhody

Pekne grafické rozhranie. Na základe funkcie vie vygenerovať obrázok.

Nevýhody

Ťažkopádne vstupy. Podporuje načítanie iba z obyčajného textového súboru.

Celkové hodnotenie: 3



Obr. 8: Študentská práca - Kohaut

1.3.10 ŠTUDENTSKÁ PRÁCA – PORUBČAN

Popis

Tri samostatné Java aplikácie pre simuláciu FA, PDA a TM. Umožňuje textový vstup ako aj vstup zo súboru. Na obrazovke je znázornený formálny zápis. Poskytuje editor vstupnej pásky, ktorá je viditeľná počas simulácie ako aj čítacia hlava, ktorá simuluje pohyb po páske. Podporuje deteminizimus, nedeteminizimus a simuláciu jednotlivých krokov.

Výhody

Pomerne jednoduché intuitívne ovládanie s krátkou nápovedou.

Nevýhody

Chýba grafický výstup.

Celkové hodnotenie: 3

1.3.11 ŠTUDENTSKÁ PRÁCA – KULIHA

Popis

Java aplikácia na simuláciu FA a PDA. Umožňuje grafický vstup, textový vstup ako aj vstup zo súboru. Na obrazovke je znázornený formálny zápis. Poskytuje editor vstupnej pásky. Podporuje editor prechodovej funkcie, editovanie počiatočných a koncových stavov, nedeteminizimus, grafický výstup, simuláciu jednotlivých krokov.

Výhody

Pekný graficky editor, príjemné používateľské rozhranie.

Nevýhody

Pomalý výpočet pri nedeterminizme a chyby pri simulácii.

Celkové hodnotenie: 2

1.3.12 ŠTUDENTSKÁ PRÁCA – RODINA

Popis

Samostatná .Net aplikácia na TM, RAM a AM. Umožňuje grafický vstup, textový vstup ako aj vstup zo súboru. Na obrazovke je znázornený formálny zápis. Poskytuje editor vstupnej pásky a čítacia hlava je viditeľná a simuluje pohyb po páske. Podporuje editor prechodovej funkcie, editáciu počiatočných a koncových stavov, deteminizimus, nedeteminizimus, grafický výstup, simuláciu jednotlivých krokov, nastavenie rýchlosti simulácie a podsvietenie syntaxe. Zobrazuje kompletný výpočet ako aj strom všetkých možností. Pri nedeterminizme zväčša uhádne správny krok.

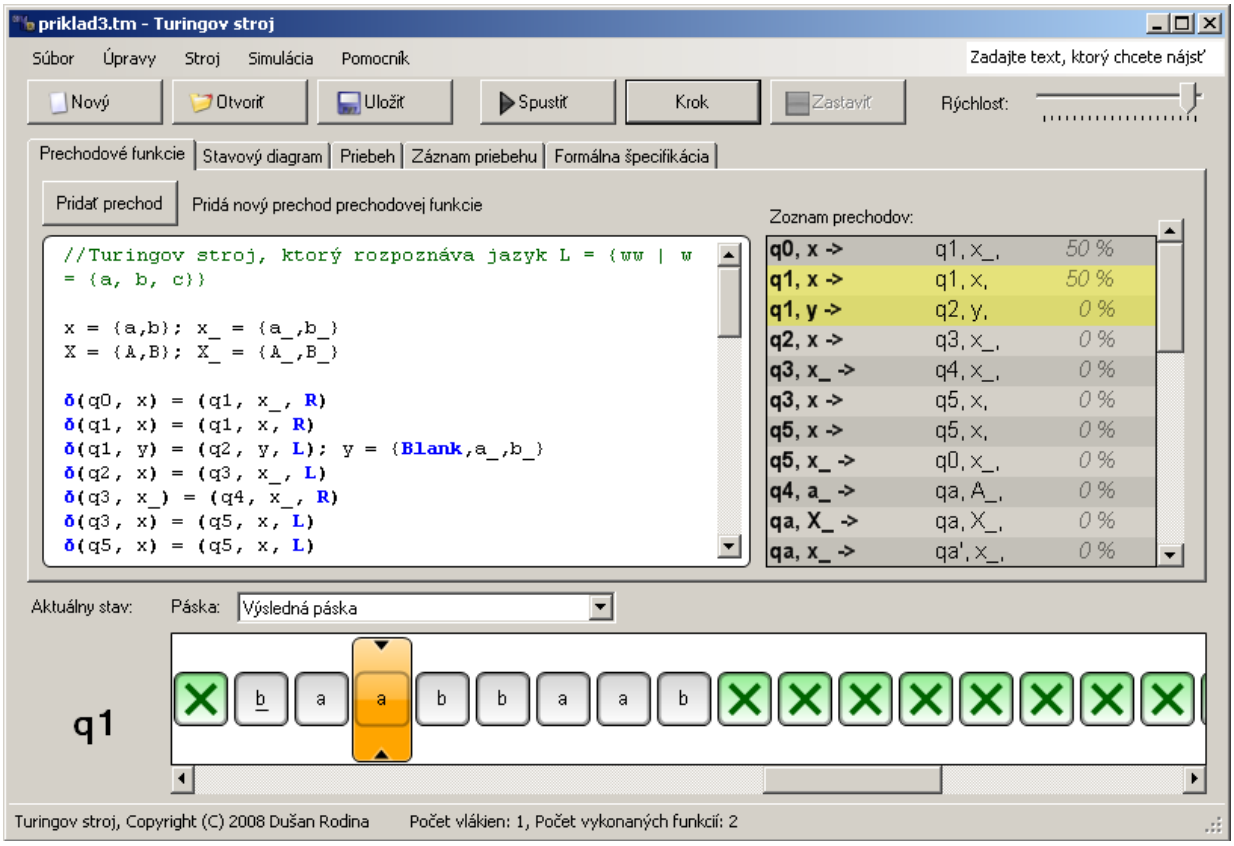
Výhody

Pekné používateľské rozhranie, jednoduché na používanie. Simulácia hlavy a pásky. Nastavenie rýchlosti simulácie.

Nevýhody

Nemožnosť editovať v grafickom móde.

Celkové hodnotenie: 1



Obr. 9: Študentská práca - Rodina

Názov	Výhody	Nevýhody	Známka	Poznámka
JFlap	Jednoduché intuitívne ovládanie, možnosť zvýrazniť nedeterministické stavy a prechody.	Poskytované operácie nie vždy dávajú korektné výsledky, mierne chaotické zobrazovanie prechodu na viac rôznych znakov.	1	Robustný nástroj s mnohými funkciami patrí medzi tie, ktoré využijeme pri tvorbe nového simulátora.
Visual Automata Simulator	Pekné grafické spracovanie.	Nevidno simuláciu iba výsledok, iba pri debug móde. Taktiež zle konvertuje NFA na DFA.	2	
XTuringMachineLab	Veľmi pekné GUI, hlavne znázornenie pohybu hlavy a pásky.	Vstup vo formáte TXT.	2	Využijeme simuláciu pohybu hlavy po páske.
Visual Turing	Výborné vizuálne spracovanie, možnosť vloženia breakpointov a debuggovania aplikácie.	Na prvý pohľad zložité ovládanie, nutnosť manuálu – neintuitívne.	1	
Turing Machine Simulator	Nastavenie rýchlosti simulácie, voľba okamžitého výpočtu, načítanie/ukladanie súborov.	Neprirodzené vkladanie prechodových funkcií. Podporované symboly 0 a 1, nepodporuje nedeterminizmus.	3	Využijeme nastavenie rýchlosti simulácie a prácu so súbormi.
FSA Applet	Intuitívne ovládanie s krátkou nápovedou.	Pri nedeterminizme nekorektne zamietne správny vstup.	2	
Simulátor Turingova Stroje (Stehlík)	Intuitívne ovládanie. Všetky znaky sa dajú uložiť na pásku. Komentáre, pekne simuluje výpočet po krokoch. Vlastne vstupy a práca so súborom.	Chýba grafická interpretácia. Pri nedeterminizme vyberie len prvú možnosť.	2	Využijeme výpočet po krokoch.
Pašmik	Pekne GUI, jednoduché na používanie. Nastavenie rýchlosti simulácie a	Nedoladene niektoré časti GUI.	2	Využijeme nastavenie rýchlosti simulácie a import export do JFlap.

	import/export do JFLAP.			
Kohaut	Pekne grafické rozhranie. Na základe funkcie vie vygenerovať obrázok.	Ťažkopádne vstupy. Podporuje načítanie iba z obyčajného textového súboru.	3	Využijeme vygenerovanie obrázku.
Porubčan	Pomerne jednoduché intuitívne ovládanie s krátkou nápovedou.	Chýba grafický výstup.	3	
Kuliha	Pekný graficky editor, prijemne GUI.	Pomaly výpočet pri nederminizme a chyby pri simulácii.	2	
Rodina	Pekne používateľské rozhranie, jednoduché na používanie. Simulácia hlavy a pásky. Nastavenie rýchlosti simulácie.	Nemožnosť editovať v grafickom móde.	1	Využijeme GUI, pohyb po páske, priebeh riešenia.

Tab. 1: Porovnanie simulátorov.

Podpora ponúkaných funkcií.

Názov	Simulátor	Funkcie
JFlap	FA, PDA, TM	vstup zo súboru, grafický vstup, editor vstupnej pásky, páska viditeľná počas simulácia, čítacia hlava simuluje pohyb po páske, editácia počiatočných a koncových stavov, deteminizimus, nedeteminizimus, simulácia jednotlivých krokov
Visual Automata Simulator	FA, TM	grafický vstup, textový vstup, vstup zo súboru, viditeľné prechodové funkcie, viditeľná vstupná páska, editácia počiatočných a koncových stavov, deteminizimus, nedeteminizimus, grafický výstup
XTuringMachine Lab	TM	textový vstup, vstup zo súboru, editor vstupnej pásky, páska viditeľná počas simulácie, čítacia hlava simuluje pohyb po páske, editor prechodovej funkcie, deteminizimus, nedeterminizmus, grafický výstup, simulácia jednotlivých krokov.
Visual Turing	TM	vstup zo súboru, grafický vstup, na obrazovke znázornený formálny zápis, editor vstupnej pásky, páska viditeľná počas simulácie, čítacia hlava simuluje pohyb po páske, editor prechodovej funkcie, editácia počiatočných a koncových stavov, deteminizimus, grafický výstup, simuláciu jednotlivých krokov, nastavenie rýchlosti simulácie
Turing Machine Simulator	TM	textový vstup, vstup zo súboru, editor vstupnej pásky, páska viditeľná počas simulácie, čítacia hlava simuluje pohyb po páske, editor prechodovej funkcie, editácia počiatočných a koncových stavov, deteminizimus, grafický výstup, simuláciu jednotlivých krokov, nastavenie rýchlosti simulácie
FSA Applet	FA	vstup zo súboru, grafický vstup, editor vstupnej pásky, páska viditeľná počas simulácie, čítacia hlava simuluje pohyb po páske, editácia počiatočných a koncových stavov, deteminizimus, grafický výstup, simuláciu jednotlivých krokov
Simulátor Turingova Stroje (Stehlík)	TM	textový vstup, vstup zo súboru, na obrazovke znázornený formálny zápis, editor vstupnej pásky, páska viditeľná počas simulácie, čítacia hlava simuluje pohyb po páske, možnosť meniť vstupnú pásku počas behu programu, editácia počiatočných a koncových stavov, deteminizimus, nedeteminizimus, simulácia jednotlivých krokov, podsvietenie syntaxe, vyznačenie chýb syntaxe
Pašmik	FA, PDA	grafický vstup, textový vstup, vstup zo súboru, na obrazovke znázornený formálny zápis, editor vstupnej pásky, čítacia hlava simuluje pohyb po páske, editor prechodovej funkcie, editácia počiatočných a koncových stavov, deteminizimus, nedeteminizimus, grafický výstup, simulácia jednotlivých krokov, nastavenie rýchlosti simulácie, zobrazuje strom všetkých možností, možnosť voliť nasledujúci krok pri nedeterminizme
Kohaut	FA, PDA, TM	vstup zo súboru, editor vstupnej pásky, páska viditeľná počas simulácie, čítacia hlava simuluje pohyb po páske, deteminizimus, grafický výstup, simuláciu jednotlivých krokov, vyznačenie chýb syntaxe
Porubčan	FA, PDA,	textový vstup, vstup zo súboru, na obrazovke znázornený formálny zápis, editor vstupnej pásky, páska

	TM	viditeľná počas simulácie, čítacia hlava simuluje pohyb po páske, deteminizimus, nedeteminizimus, simuláciu jednotlivých krokov
Kuliha	FA, PDA	grafický vstup, textový vstup, vstup zo súboru, na obrazovke znázornený formálny zápis, editor vstupnej pásky, editor prechodovej funkcie, editácia počiatočných a koncových stavov, nedeteminizimus, grafický výstup, simuláciu jednotlivých krokov
Rodina	TM, RAM, AM	grafický vstup, textový vstup, vstup zo súboru, na obrazovke znázornený formálny zápis, editor vstupnej pásky, páska viditeľná počas simulácie, čítacia hlava simuluje pohyb po páske, editor prechodovej funkcie, editáciu počiatočných a koncových stavov, deteminizimus, nedeteminizimus, grafický výstup, simulácia jednotlivých krokov, nastavenie rýchlosti simulácie, podsvietenie syntaxe, zobrazenie kompletného výpočtu

Tab. 2: Funkcionalita simulátorov.

1.4. ŠPECIFIKÁCIA POŽIADAVIEK

Táto kapitola sa zaoberá špecifikáciou a analýzou požiadaviek, ktoré by mal vytváraný simulátor spĺňať. Navrhovaný systém musí predstavovať komplexný nástroj na modelovanie a simuláciu stavových automatov. Má slúžiť ako učebná pomôcka, jeho cieľom je teda uľahčenie pochopenia danej problematiky. Dôraz musí byť preto kladený na čo najväčšiu názornosť, prehľadnosť a jednoduché používanie s minimálnou potrebou učenia sa. Z pohľadu používateľa musí byť systém rozdelený na dva ucelené nástroje, editor a simulátor.

Z pomerne široko špecifikovaného zadania sa vytváraný systém musí zameriavať hlavne na konečný automat, zásobníkový automat a Turingov stroj, ale musí byť možné dodefinovať si aj vlastný typ automatu. Ostatným typom automatov (napr. RAM stroj) sa nevenujeme.

Vytváraná aplikácia má byť aplikáciou modulárnou a ľahko rozšíriteľnou. Z tohto dôvodu je potrebné rozdeliť aplikáciu na 2 samostatné celky: moduly používateľského rozhrania a na výpočtovú logiku. Moduly používateľského rozhrania predstavujú tie časti aplikácie, ktoré prídu do priameho kontaktu s používateľom. Poskytnú mu rozhranie na editáciu a následnú simuláciu automatu. Tieto moduly nesmú obsahovať žiadnu výpočtovú logiku.

Za výpočtovú logiku musí byť zodpovedný samostatný modul, ktorého funkcionalitu budú jednotlivé moduly používateľského rozhrania využívať. Tento modul musí mať na starosti všetky operácie súvisiace so simuláciou automatu. Po vytvorení dostatočne všeobecného výpočtového jadra bude možné jednotlivé moduly používateľského rozhrania jednoducho, podľa potreby obmieňať.

Kvôli prehľadnosti sme požiadavky na jednotlivé moduly rozdelili do samostatných podkapitol. Zároveň sme pridali časti zaoberajúce sa ostatnými všeobecnými požiadavkami. Požiadavky sú teda rozdelené na nasledujúce skupiny: grafické používateľské rozhranie, požiadavky na logiku a jadro systému, všeobecné požiadavky, a na záver požiadavky na správu súborov.

1.4.1 POŽIADAVKY NA GRAFICKÉ POUŽÍVATEĽSKÉ ROZHRANIE

Požiadavky na používateľské rozhranie vychádzajú priamo zo zadania projektu. Musí sa jednať o nástroj na simuláciu a vizualizáciu rôznych výpočtových zariadení, primárne konečných a zásobníkových automatov a Turingových strojov. Grafické používateľské rozhranie teda musí

obsahovať jednak nástroje sa vizualizáciu automatov, ich simuláciu a samozrejme aj editor na vytvorenie používateľom definovaného automatu. Konkrétne požiadavky na jednotlivé nástroje sú rozobrané v nasledujúcich podkapitolách.

V grafickom rozhraní sa musí používateľ vedieť zorientovať a mal by vedieť intuitívne rozpoznať funkcionalitu jednotlivých tlačidiel. Náš návrh používateľského rozhrania preto musí pozostávať z viacerých okien, ktoré musí byť možné jednoducho presúvať, zatvárať, skryť, meniť ich veľkosť a pod.

Používateľovi musí byť umožnené zvoliť si, čo potrebuje mať zvýraznené, väčšie, nesmie byť odkázaný len na prednastavené veľkosti, ktoré by mu nemuseli vyhovovať.

Kvôli jednoduchosti ovládania je nutné sprístupniť príslušné okná. Hlavnými oknami, ktoré musia byť viditeľné pri všetkých typoch automatov, sú zobrazenie pásky s hlavami, stavový automat, prechodové funkcie a voľba rýchlosti simulácie.

Zobrazenie ďalších okien musí závidieť od konkrétneho automatu (napríklad pri zásobníkovom sa zobrazí okno so zásobníkom).

Špecifikácia editora

Základnou požiadavkou na editor je prehľadnosť a jednoduchosť používania. Editor by mal byť zrozumiteľný, intuitívny, s minimálnou potrebou učiť sa ho používať. Za týmto účelom by mala byť využitá analógia s bežnými grafickými editormi. Editor musí poskytovať všetku funkcionalitu potrebnú na modelovanie daného automatu. Nemal by však obsahovať žiadnu nadbytočnú funkcionalitu, ktorá by ho robila neprehľadným. Vzhľad a funkcie editora by preto mali závisieť od konkrétneho typu automatu, ktorý je práve vytváraný.

Editor pások

Editor pásky musí umožňovať plne editovať vstupné pásky a čítacie hlavy. Musí byť možné pridávať ľubovoľný počet pások. Obsah pások musí byť jednoducho a pohodlne editovateľný. Mal by byť znázornený rozdiel medzi konečnou a nekonečnou páskou.

Na pásku musí byť možné pridávať ľubovoľný počet hláv. Konkrétna hlava sa môže pohybovať po jednej alebo viacerých páskach. Táto skutočnosť musí byť v editore zrozumiteľne zobrazená a editovateľná. Pre každú hlavu musí byť možné určiť:

- smer pohybu – či sa môže hlava pohybovať len jedným smerom, alebo obojsmerne,
- čítanie a zápis – či je hlava schopná pásku iba čítať, alebo vie aj zapisovať.

Editor stavového diagramu

Editor musí umožňovať vytvorenie stavového diagramu v grafickom prostredí. Pre jednoduché používanie a minimálnu potrebu učenia by mala byť využitá analógia s existujúcimi grafickými editormi – kresliace programy, rôzne CASE nástroje na tvorbu diagramov, a pod. Editor musí umožňovať:

- pridávať stavy, určiť či je stav počiatočný alebo koncový,
- pridávať prechodové funkcie – medzi dvoma stavmi alebo slučku zo stavu do toho istého stavu, definovať symboly na ktoré sa daná funkcia vzťahuje,
- pridávať všetky objekty špecifické pre konkrétne typy automatov – napríklad objekty reprezentujúce posun pásky pri Turingovom stroji,
- pridané objekty dodatočne upravovať, presúvať, mazať.

Editor by mal počas vytvárania diagramu sledovať, či vytváraný automat nie je nedeterministický, a prípadné nedeterministické kroky zvýrazňovať.

Editor formálnej špecifikácie

Editor by mal zobrazovať úplnú formálnu špecifikáciu vytváraného automatu, teda

- formálny zápis automatu,
- množinu stavov,
- pracovnú abecedu,
- zásobníkovú abecedu (v prípade zásobníkového automatu),
- množinu koncových stavov.

Priamo v editore by malo byť možné upravovať prechodové funkcie. Editor by mal byť prepojený s editorom stavového diagramu – vykonaná zmena v editore formálnej špecifikácie by sa mala okamžite prejaviť na stavovom diagrame a naopak.

Editor zásobníka

Pri vytváraní zásobníkového automatu musí byť k dispozícii editor obsahu zásobníka. Tento by mal umožniť určiť obsah zásobníka pred začiatkom simulácie a definovať zásobníkovú abecedu.

Zadávanie špeciálnych symbolov

Pri modelovaní stavových automatov sa často používajú špeciálne symboly, ktoré sa nenachádzajú v štandardných znakových sadách. Napríklad pri Turingových strojoch sa

využívajú rôzne podčiarknuté alebo nadčiarknuté písmená, symboly ukladané do zásobníka pri zásobníkovom automate sú často zapísané ako Z s indexom znaku ktorý reprezentujú (Za, Zb).Editor musí umožniť zadávať aj takéto symboly.

Typy automatov

Vzhľad a funkcie editora sa musia meniť v závislosti od typu vytváraného automatu. Pri jednoduchých typoch automatov sa niektoré editory buď nezobrazia vôbec, alebo budú zobrazené s obmedzenou funkcionalitou.

V prípade stavového automatu a zásobníkového automatu musí páska slúžiť len ako vstupné médium. Editor pásky nebude umožňovať meniť počet pások a hláv. Bude zobrazená jedna konečná páska a jedna hlava, ktorá bude môcť len čítať a bude sa pohybovať len doprava. Pri simulácii sa číta celý vstup, preto bude hlava umiestnená na začiatku pásky, a nebude sa dať v editore premiestňovať. Editor stavového diagramu nebude poskytovať objekty typu „L“ a „R“, určujúce smer pohybu hlavy.

Pri zásobníkovom automate musí editor pásky a stavového diagramu fungovať rovnako, zobrazí sa aj editor zásobníka.

Pri Turingovom stroji musí byť sprístupnený plnohodnotný editor pásky, editor stavového diagramu bude poskytovať objekty reprezentujúce pohyb hlavy.

Pri návrhu vlastného automatu musia byť sprístupnené všetky editory, čo umožní definovať akýkoľvek automat.

Simulátor

Výsledná aplikácia musí zahŕňať niekoľko typov simulátorov pre rozličné výpočtové stroje vzhľadom na ich potreby pri konkrétnom druhu výpočtu. Tieto musia v prehľadnej forme zobrazovať prebiehajúcu simuláciu a získané výsledky.

Prvky na riadenie behu simulácie musia byť jasne oddelené od hlavného menu a prístupné len v čase spustenej simulácie. Grafické stvárnenie týchto prvkov by malo v používateľovi evokovať ich funkčnosť, aby bolo riadenie simulácie intuitívne aj pre menej skúseného používateľa.

V prehľadnom a nenáročnom menu musí byť používateľ schopný meniť nastavenie rýchlosti podľa svojich potrieb. Nie je potrebný vysoký počet rôznych rýchlosti, stačí toľko, aby mal používateľ možnosť rozlíšiť jednotlivé stupne.

Simulátor musí v prehľadnej forme zobrazovať výber ciest pri nedeterministickej simulácii. Zobrazenie týchto ciest musí akceptovať rozsah vnímania používateľa. Nemal by byť v jednom okamihu zahltený prílišným množstvom dát. Je potrebné určiť hranicu objemu dát, ktoré je používateľ schopný naraz vnímať počas rôznych spôsobov zobrazení.

1.4.2 VŠEOBECNÉ POŽIADAVKY

Táto časť sa venuje popisu požiadaviek kladených na všeobecné nastavenia vytváraného simulátora. Definovali sme nasledujúce požiadavky:

Zobrazenie prázdneho symbolu (ε, možnosť zmeny)

Na zobrazovanie prázdneho znaku sa v praxi používa viacero možností. Niektoré simulátory používajú medzeru, iné malé e, vo všeobecnosti sa používa označenie epsilon „ε“.

Náš simulátor musí poskytovať možnosť výberu znaku, ktorý bude reprezentovať prázdny znak. Používateľ si na začiatku musí zvoliť tento znak z ponúkaných možností a systém musí ďalej používať len tento znak. Systém nesmie umožniť kombinovanie viacerých znakov v prechodových funkciách. Prednastaveným znak musí byť „ε“.

Možnosť lokalizácie (Slovenský jazyk, možnosť dopĺňania iných jazykov)

Keďže nami vytváraný simulátor má byť všeobecne prístupný pre všetkých, musí existovať možnosť zvoliť si jazyk, v ktorom bude lokalizovaný celý simulátor. Prednastavený jazyk musí byť slovenský, keďže simulátor bude určený hlavne pre slovenských študentov. V neskorších prototypoch musí byť dopracovaná anglická verzia simulátoru.

Použitie ako applet

Vytváraný simulátor musí byť z dôvodu jednoduchšieho použitia vo vzdelávacom procese implementovaný nielen ako samostatne stojaca aplikácia, ale aj ako applet prístupný cez webové rozhranie.

1.4.3 VÝPOČTOVÁ LOGIKA

Všetky operácie s automatom musí mať na starosti výpočtová logika (jadro) simulátora. Na tomto jadre budú moduly používateľského rozhrania vykonávať operácie nad samotným automatom. Z dôvodu nutnosti simulácie rôznych druhov automatov je potrebné, aby poskytovaná funkcionalita bola všeobecná a neviazaná len na jeden presne špecifikovaný automat. Jadro musí z toho dôvodu poskytnúť na rozhraní funkcionalitu, ktorá umožní bližšie špecifikovať operačné parametre, pomocou ktorých ho bude možné nastaviť tak, aby sa simuloval používateľom zvolený druh automatu. Požiadavky na rozhranie v tomto prípade zahŕňajú:

- Možnosť špecifikácie počtu hláv
- Možnosť špecifikácie počtu pások
- Možnosť špecifikácie počtu hláv na pásku
- Možnosť priradiť pásku k jednotlivým hlavám
- Možnosť obmedziť funkcionality hláv

Strom prehľadávania do šírky, jeho funkcionalita

Jednou z kľúčových požiadaviek je poskytnutie možnosti výberu nasledujúceho kroku používateľovi. Práve preto je potrebné, aby systém dokázal generovať všetky možnosti. Pre tento prípad je vhodné zvoliť strom možností a jeho prehľadávaním zaistiť tieto možnosti pre používateľa.

Deterministický/nedeterministický nástroj

Aplikácia musí zabezpečiť v prípade nedeterministického stroja to, aby sa ani jedna z možností nestratila a dala sa prezerať. To dá uskutočniť pomerne jednoducho pomocou nového vlákna, ktoré vznikne v momente nedeterminizmu a bude naďalej paralelne bežať s pôvodným vláknom. To platí rekurentne aj pre novovytvorené vlákna.

Riadenie vlákien

Počas simulácie nedeterministických automatov narazíme na stavy, z ktorých sa môže simulácia uberať viacerými cestami. Pokiaľ chceme používateľovi poskytnúť možnosť sledovať stav automatu na každej z týchto ciest, tak je potrebné, aby každá simulovaná cesta (vlákno) bola v rámci jadra simulátoru autonómne reprezentovaná. Je preto dôležité, aby riadenie simulácie mohlo prebiehať na úrovni jednotlivých vlákien, t.j. aby používateľské rozhranie mohlo jadru

povedať, na ktorom vlákne má vykonať niektorý z príkazov riadenia simulácie (napr. krok na ďalší stav). Podpora nedeterminizmu na tejto úrovni umožní jeho efektívnu simuláciu a samotné jadro vďaka nej nebude zobrazovanie nedeterminizmu nijako obmedzovať. Požiadavky na výpočtovú logiku z pohľadu riadenia vlákien predstavujú:

- Jednoznačná identifikácia vykonávaných vlákien
- Podpora identifikácie vlákien na úrovni rozhrania jadra

Pokračovanie pri nedeterminizme

Vytváraný simulátor musí používateľovi umožniť rozhodnutie, akým spôsobom chce pokračovať pri dosiahnutí nedeterministického kroku. Musia byť poskytnuté nasledujúce možnosti:

- zobrazenie jednej správnej cesty,
- zobrazenie všetkých ciest,
- rozhodnúť sa, ktorou cestou sa simulácia bude uberať.

Nastavenie rýchlosti

Pre potreby učenia je potrebná malá rýchlosť výpočtu. Avšak pre potrebu samotného výpočtu je potrebná vysoká rýchlosť. Výpočtová logika preto musí vedieť zabezpečiť pomalé prechody medzi jednotlivými stavmi, ale aj rýchlo akceptovať či neakceptovať dané slovo.

1.4.4 SPRÁVA SÚBOROV

Kvôli efektívnejšej správe vytvorených automatov je potrebné, aby s nimi aplikácia vedela narábať vo forme súborov. Program musí používateľovi umožniť uložiť vytvorený automat do súboru v jednoduchej a prehľadnej forme. Rovnako musí umožniť načítať automat uložený v súbore do aktuálnej pamäti programu.

Ďalšou funkcionalitou súvisiacou so správou súborov je možnosť importovať/exportovať súbory do formy čitateľnej programom JFLAP. Jedná sa o súbory typu JFF so špecifickou štruktúrou, ktoré musí vedieť navrhovaný program otvoriť a ďalej s nimi pracovať. Rovnako musí umožňovať vytvorené automaty exportovať do súboru typu JFF.

1.5. NÁVRH RIEŠENIA

V tejto kapitole predstavujeme návrh riešenia vypracovaný na základe špecifikácie požiadaviek. Jednotlivé prvky návrhu sú rozdelené do samostatných podkapitol, vybrané časti obsahujú aj predbežné návrhy obrazoviek. Na prehľadnejšie zobrazenie návrhu zobrazenia determinizmu a nedeterminizmu sme použili niekoľko diagramov prípadov použitia.

Pri návrhu riešenia sme sa zamerali na konečný automat, zásobníkový automat a Turingov stroj, ale je možné dodefinovať si vlastný typ automatu. Z pohľadu používateľa bude systém rozdelený na dva ucelené nástroje, editor a simulátor.

Editor umožní rýchle a pohodlné modelovanie automatu v plne grafickom prostredí. Automat bude možné vytvárať editovaním stavového diagramu, alebo pomocou prechodových funkcií. Jednotlivé editory budú navzájom previazané, takže formálna špecifikácia bude vždy zodpovedať stavovému diagramu, čo umožní používateľovi pochopiť súvislosti medzi týmito dvoma reprezentáciami stavového automatu.

Interaktívny simulátor umožní používateľovi simulovať vytvorené automaty, pričom vždy prehľadne zobrazí všetky aspekty výpočtu, v závislosti od typu simulovaného automatu. Simuláciu bude možné krokovať, alebo nechať bežať do konca, bude možné zobraziť priebeh simulácie, alebo jej aktuálny stav. Osobitná pozornosť je venovaná nedeterminizmu a jeho vizualizácii. Simulátor podľa želania používateľa buď nájde správne riešenie, alebo mu dá pri nedeterministickom kroku možnosť výberu. Ďalšou možnosťou je zobrazenie všetkých vetví výpočtu, pri zachovaní čo najvyššej prehľadnosti.

Samotná aplikácia bude modulárna, čo umožní jej jednoduché rozšírenie o ďalšiu funkcionalitu, ako sú ďalšie typy automatov, prípadne nové spôsoby vizualizácie. Samozrejmosťou je možnosť perzistentného ukladania vytvorených automatov. Aplikácia tiež bude schopná pracovať s automatmi vytvorenými v iných podobných nástrojoch, ako napríklad JFlap.

Pri implementácii použijeme techniku agilné programovanie, ktoré nám umožní rozširovať vytvorený funkčný prototyp o ďalšiu funkcionalitu. Zároveň umožní efektívnejšie prispôsobenie sa prípadným zmenám počas vývoja.

Simulátor bude aj z dôvodu požiadavky použiť ho ako applet implementovaný v jazyku Java. Samotný applet bude predstavovať simulátor s obmedzenou funkcionalitou. Miera obmedzenia bude upresnená po vytvorení funkčného prototypu.

1.5.1 JADRO SYSTÉMU

Podľa špecifikovaných požiadaviek na jadro systému je potrebné navrhnúť parametre, ktoré umožňovali jadro zadefinovať pre požadovaný typ simulovaného automatu. Medzi základné atribúty, ktoré musí jadro obsahovať, patrí:

- *Maximálny počet hláv* – V prípade potreby je vhodné, aby automat umožňoval zadefinovať maximálny počet hláv, ktoré je možné definovať. Aj keď žiadny z požadovaných automatov podobné obmedzenie nemá, ide o pridanú hodnotu, ktorej implementácia je jednoduchá. Používateľ si bude môcť zvoliť automat napríklad len s jednou hlavou.
- *Maximálny počet pások* – V prípade potreby je vhodné, aby automat umožňoval zadefinovať maximálny počet pások, ktoré je možné definovať. Aj keď žiadny z požadovaných automatov podobné obmedzenie nemá, ide o pridanú hodnotu, ktorej implementácia je jednoduchá.
- *Maximálny počet hláv na jednu pásku* – V prípade potreby je možné zadefinovať maximálny počet hláv, ktoré môžu čítať jednu pásku.
- *Maximálny počet pások na jednu hlavu* – V prípade potreby je možné zadefinovať maximálny počet pások, ktoré môže čítať jedna hlava.
- *Prítomnosť zásobníka* – Možnosť povoliť, resp. zakázať prítomnosť zásobníka v danom type automatu.
- *Možnosť zadefinovať povolené typy hláv* – Špecifikácia povolených vlastností hláv predstavuje rozsiahlejší problém. Z dôvodu väčšej flexibility a všeobecnosti jadra je vhodné k nemu pristupovať samostatne. A to nasledujúcim princípom: Prvým krokom je zadefinovanie vlastností jednotlivých typov hláv. Na úrovni samotnej definície automatu sa potom definujú typy hláv, ktoré je možné do automatu umiestniť.

Hlavy v automate rovnako predstavujú entitu, ktorej funkcionalita je závislá od typu simulovaného automatu. Z tohto dôvodu je vhodné pristupovať k hlavám rovnako všeobecne ako k samotnému automatu. Obmedzenia funkcionality hláv budú špecifikované parametrami:

- *Možnosť pohybu vpred* – Zadefinuje, či je možné, aby sa hlava posúvala po páske vpred.
- *Možnosť pohybu vzad* – Zadefinuje, či je možné, aby sa hlava posúvala po páske vzad.
- *Možnosť čítania* – Zadefinuje, či je možné, aby hlava čítala pásku.
- *Možnosť zapisovania* – Zadefinuje, či je možné, aby hlava zapisovala na pásku.
- *Uzamknutie atribútov* – Ku každému atribútu bude pridelený atribút uzamknutia. V prípade, že bude daný atribút uzamknutý, tak nebude možné meniť nastavenie daného parametra používateľom. V opačnom prípade bude môcť používateľ zadefinovať daný atribút podľa potreby. Tento prístup umožní zadefinovanie všeobecných hláv, ktoré si bude môcť používateľ ľubovoľne dodefinovať bez nutnosti vytvárania vlastných typov. Rovnaký prístup zároveň umožní zamknúť parametre typov hláv a tak poskytnúť presnú funkcionalitu závislú od typu simulovaného automatu. Pridanou hodnotou by bola možnosť takto špecifikované hlavy uložiť ako vlastný prototyp.

Pomocou definície popísaných parametrov bude možné vytvoriť šablóny jednotlivých typov automatov. Preddefinované budú 3 základné typy:

- stavový automat,
- zásobníkový automat,
- Turingov stroj.

Pridanou hodnotou simulátora bude možnosť zadefinovať si vlastné šablóny. Používateľ si zvolí šablónu pri vytváraní nového automatu. Pri načítavaní skôr uloženého automatu bude aplikácia schopná samostatne rozpoznať použitú šablónu.

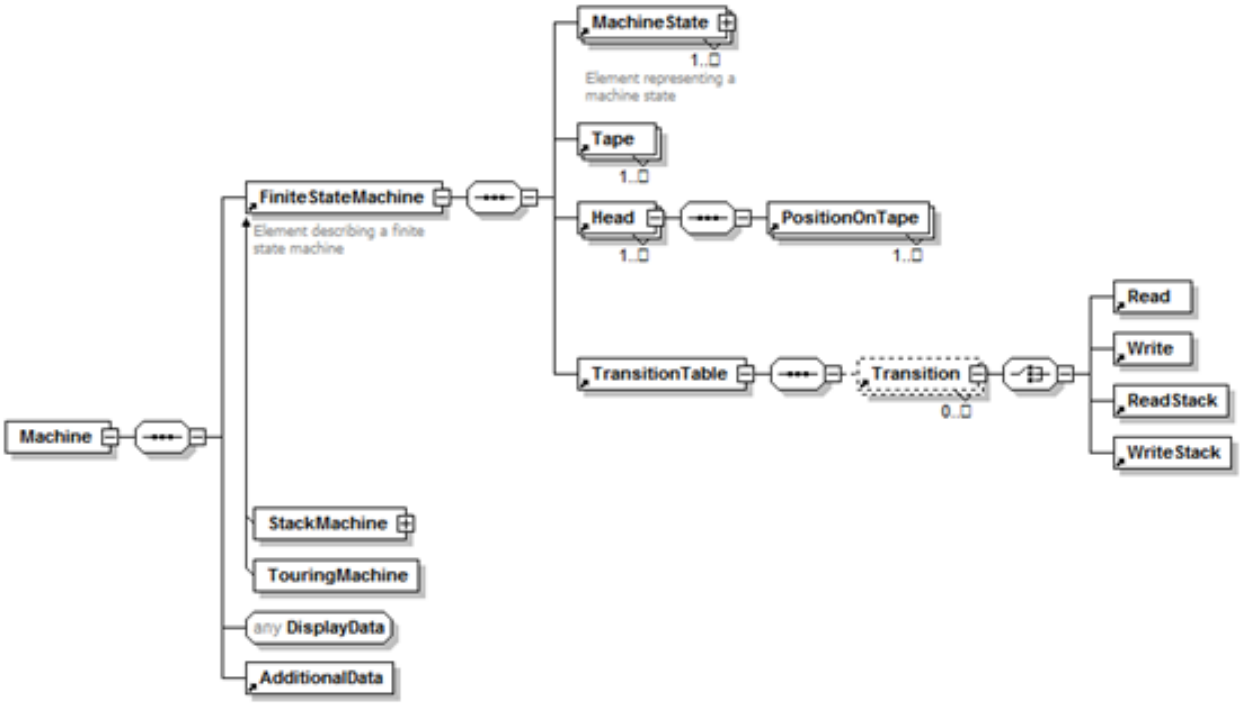
Samotné jadro simulátora musí poskytovať rozhranie, ktoré umožní modulom používateľského rozhrania vytvoriť simulátor podľa zvolenej šablóny. Medzi základnú funkcionalitu, ktorú musí toto rozhranie poskytovať, patrí:

- *Definícia stavov* – Definícia jednotlivých stavov automatov.
- *Definícia prechodových funkcií* – Umožní používateľovi zadefinovať pravidlá prechodu medzi jednotlivými stavmi ako aj operácie, ktoré sa budú pri prechode vykonávať.

- *Definícia zásobníka* – V prípade, že šablóna automatu povoľuje použitie zásobníka, bude používateľ môcť zadefinovať zásobník.
- *Definícia hláv* – Umožní používateľovi vložiť do automatu hlavu podľa šablóny, prípadne editovať odomknuté parametre hlavy.
- *Definícia pások* – Umožní používateľovi vložiť pásku, prípadne meniť jej obsah.
- *Priradenie pások k jednotlivým hlavám* – Umožní používateľovi priradiť hlavy k jednotlivým páskam.
- *Riadenie simulácie* – Jadro musí poskytovať funkcionalitu, ktorá umožní modulom používateľského rozhrania riadiť priebeh simulácie. Toto riadenie zahŕňa hlavne úlohy ako spustenie simulácie, zvolenie rýchlosti simulácie, krokovanie simulácie a podobne.
- *Udalosti simulácie* – Počas simulácie sa vyskytnú udalosti, o ktorých by mali byť informované všetky moduly, ktoré danú simuláciu sledujú. Ak by bol stav simulácie odovzdávaný len prostredníctvom návratovej hodnoty metód, tak by o stave simulácie bol informovaný len ten modul, ktorý zmenu vyvolal. A to bez ohľadu na to, či je zmena predmetom jeho záujmu, alebo nie. Rôzne moduly môžu zobrazovať rôzne dôležité informácie o simulovanom automate. Z tohto dôvodu je potrebné, aby simulátor dôležité informácie oznamoval prostredníctvom udalostí.

1.5.2 NÁVRH XML SCHÉMY

Efektívna práca so súbormi je jednou zo základných požiadaviek definovaných na vytváraný systém. Simulátor bude pracovať so súbormi typu XML, ktoré umožňujú efektívnu a jednoduchú správu ukladaných údajov. Predbežný návrh XML schémy je znázornený na obrázku č. 10. Súbory bude samozrejme možné ukladať aj vo formáte simulátora JFLAP. Medzi formátom XML používaným simulátorom a XML formátom aplikácie JFLAP bude konverziu zabezpečovať samostatný modul aplikácie.



Obr. 10: Návrh XML schémy

1.5.3 SIMULÁTOR

Výsledná aplikácia bude zahŕňať niekoľko typov simulátorov pre rozličné výpočtové stroje vzhľadom na ich potreby pri konkrétnom druhu výpočtu.

Spoločným znakom simulácie pre všetky tieto typy bude základné menu na ovládanie simulovania výpočtu. Spoločné menu zahŕňa položky ovplyvňujúce chod a vykonávanie simulácie. Ide o akcie Spustiť simuláciu, Krokovať simuláciu, Pozastaviť a Zastaviť simuláciu. Pod pojmom Pozastaviť je myslené krátke prerušenie simulácie s možnosťou opätovného pokračovania v bode zastavenia. Akcia Zastaviť po prerušení ukončí proces simulácie v danom bode bez možnosti pokračovať.

K spoločným položkám bude patriť aj možnosť nastavenia rýchlosti a typu simulácie. Rôzne stupne simulácie napomáhajú porozumieť danú problematiku používateľovi. Medzi základné nastavenia patrí samostatná simulácia. Tento typ pracuje sám a nezávisí na činnosti používateľa, slúži len na určenie akceptácie alebo neakceptácie vstupu automatom. Je vhodná aj na spracovanie viacerých vstupov, kde je postupne ku každému zadanému vstupu priradené vyhodnotenie o jeho akceptácií. Pod pojmom rýchle spustenie sa tu chápe samostatná simulácia, ktorá prebieha samostatne a nepotrebuje k svojej činnosti zásah zvonka. Je tu možné nastaviť

rôzne rýchlosti. Pri najrýchlejšej je používateľovi zobrazený len výsledok výpočtu, pri pomalších môže vidieť aj jednotlivé prechody cez stavy automatu, zmeny na vstupnej a výstupnej páske a pod.

Ďalším možným typom simulácie je možnosť krokovania. Rýchlosť dokončenia priebehu simulácie vtedy závisí od používateľa. Tento mód je vhodný na pochopenie spôsobu, akým konkrétny automat dospeje k výsledku svojho výpočtu. Používateľ v každom kroku vidí zmenu stavu automatu, zmenu, ktorá sa odohrala na vstupnej páske a symbol, ktorý sa v danom okamihu zapísal na výstupnú pásku.

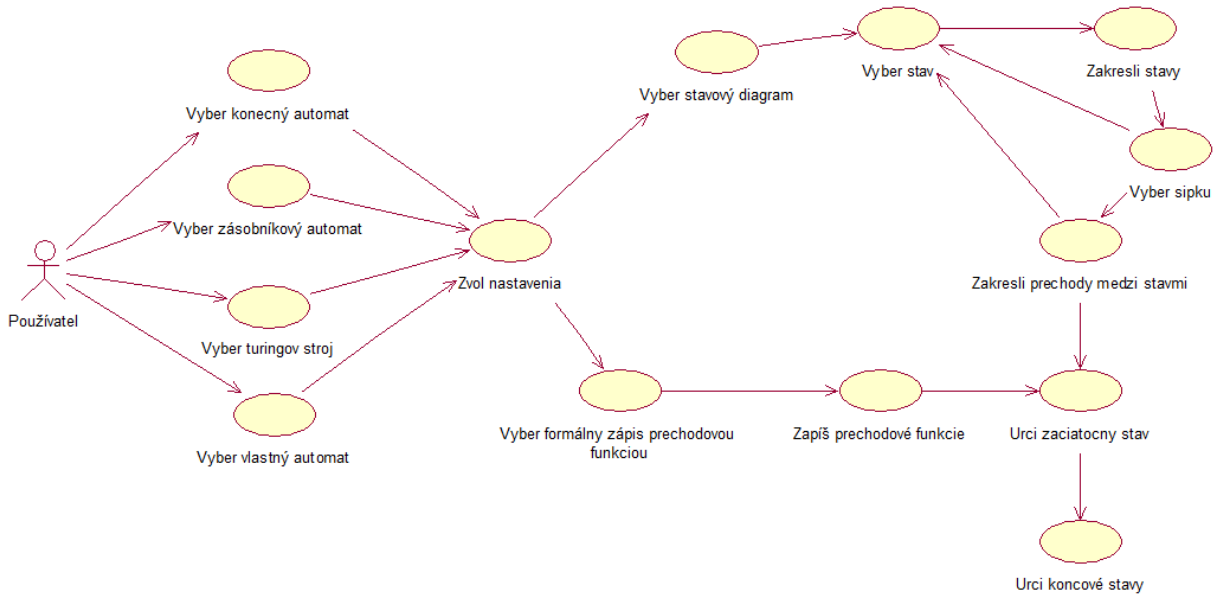
Drobné odlišnosti závisia na konkrétnom druhu automatu. Podľa potreby sa pridajú ďalšie štruktúry na jasné zobrazenie priebehu simulácie. V prípade zásobníkového automatu je pre názornosť dôležité simulovanie napĺňania a vyprázdňovania zásobníka.

1.5.4 VYTVORENIE AUTOMATU

Používateľ si po spustení simulátora môže vybrať zo štyroch typov automatov. Sú to Konečný automat, Zásobníkový automat, Turingov stroj, alebo si používateľ zvolí vlastný automat.

Podľa typu automatu si následne zvolí parametre. Tieto parametre sú prednastavené, ale používateľ si môže niektoré zvoliť tak, ako mu vyhovujú. Napríklad si môže zvoliť symbol reprezentujúci prázdny znak, počet pások, počet hláv a iné.

Pri navrhovaní vybraného automatu si používateľ môže zvoliť spôsob, ktorý mu najviac vyhovuje. Písanie prechodových funkcií vyžaduje znalosť zvoleného automatu a spôsob zápisu funkcií. Každý typ automatu má svoje špecifické vlastnosti, podľa ktorých sa musí riadiť. Kreslenie stavového diagramu pozostáva z kreslenia stavov a prechodmi medzi stavmi. Na záver sa musí označiť začiatočný stav a všetky koncové stavy. Diagram prípadov použitia pre vytvorenie automatu je znázornený na obr. č. 11.



Obr. 11: Diagram prípadov použitia pre vytvorenie automatu

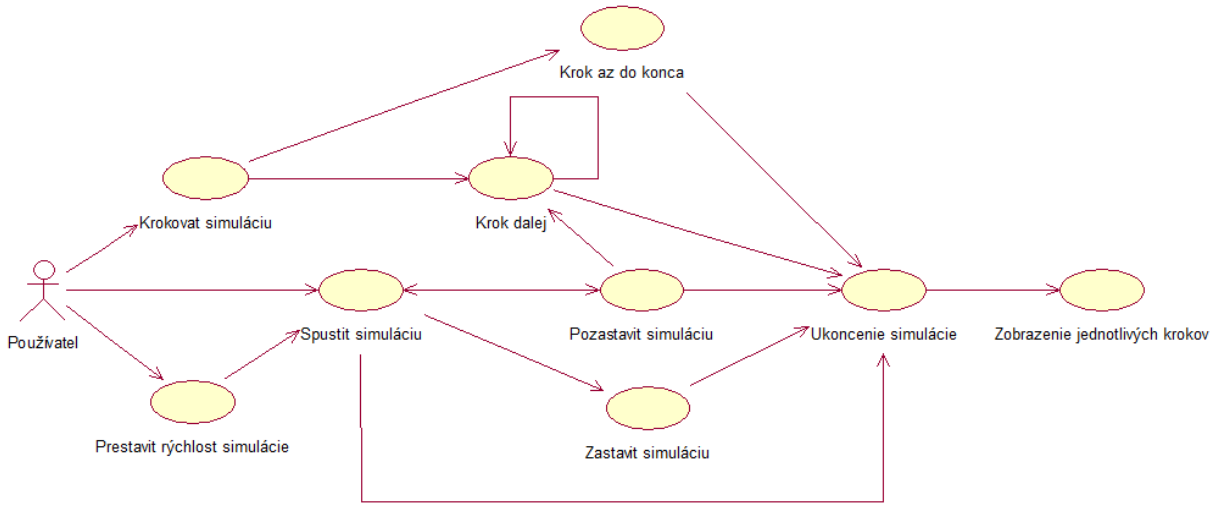
1.5.5 DETERMINIZMUS V SIMULÁCII

Na znázornenie deterministického automatu má používateľ možnosť vybrať si z dvoch možností.

Prvou je krokovanie simulácie, kedy používateľ pokračuje v simulácii po jednom kroku. Tento postup poskytuje najlepší prehľad o tom, čo sa v automate vykonáva. V priebehu krokovania sa môže používateľ rozhodnúť aj pre dokončenie simulácie bez zastavenia.

Druhou možnosťou je spustenie simulácie, pričom na začiatku je vhodné zvoliť si rýchlosť, ktorá používateľovi najviac vyhovuje. V priebehu simulovania môže byť simulovanie pozastavené. Znamená to, že simulácia sa zastavila, pričom je možné pokračovať ďalej dokončením simulácie alebo len jej časti, prípadne prejsť na krokovú simuláciu.

Po skončení simulácie môže používateľ prejsť do zobrazenia záznamu, kde je celý priebeh simulácie vizualizovaný. Diagram prípadov použitia pre simulovanie deterministického automatu je znázornený na obr. č. 12.



Obr. 12: Diagram prípadov použitia pre simulovanie deterministického automatu

1.5.6 NEDETERMINIZMUS V SIMULÁCII

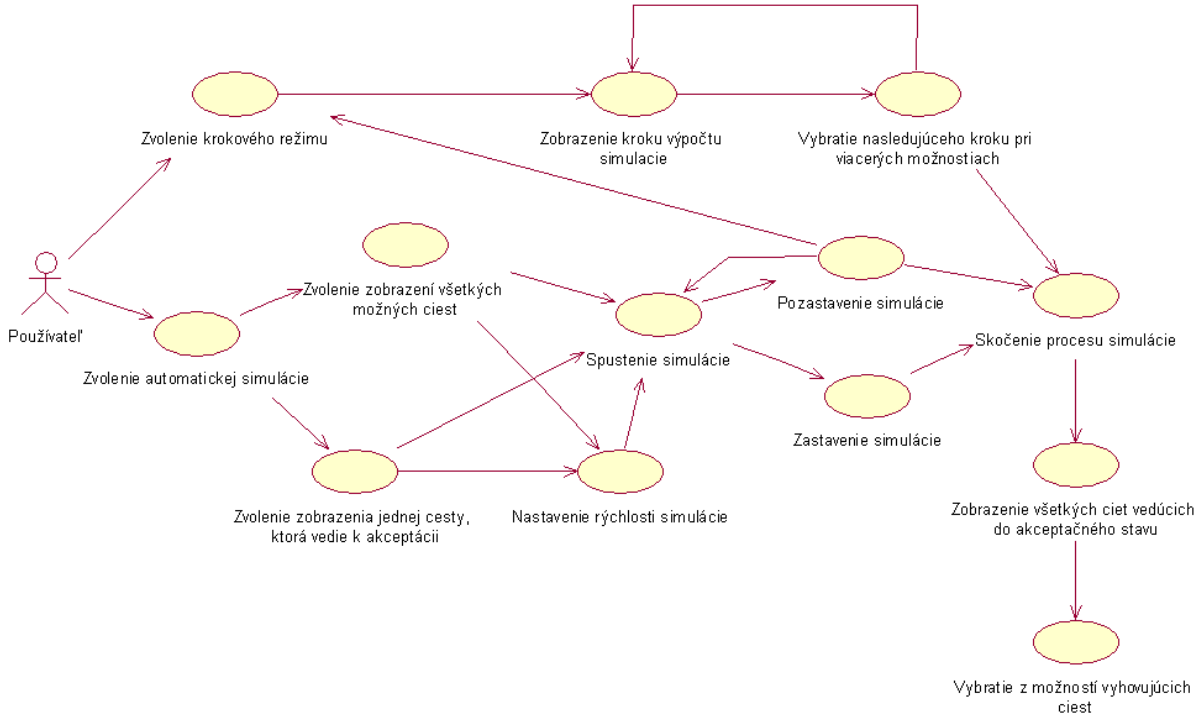
Na znázornenie nedeterministického automatu má používateľ možnosť vybrať si z troch možností.

Prvou možnosťou je krokovanie simulácie, kde používateľ pokračuje v simulácii po jednom kroku. Rozdiel oproti deterministickému automatu je v tom, že môže nastať situácia, kedy sa bude musieť používateľ rozhodnúť pre jednu z možností, ako pokračovať.

Druhou možnosťou je spustenie automatickej simulácie, pričom používateľ vidí všetky možné cesty.

Treťou možnosťou je, že si používateľ spustí simuláciu, ktorá mu ukáže jednu cestu, ktorá vedie k akceptácii. Môže byť vybratá náhodne alebo môže byť zvolená tá najlepšia. Simulátor sa pri nedeterministickom kroku sám rozhodne do ktorého nasledujúceho stavu pôjde tak, aby úspešne došiel do akceptačného stavu. Môže byť vybratá náhodne alebo môže byť zvolená tá najlepšia.

Po skončení simulácie môže používateľ prejsť do zobrazenia záznamu, kde je celý priebeh simulácie vizualizovaný. Ak je priebeh veľmi zložitý a bolo by neprehľadné zobraziť podrobnosti všetkých vlákien, budú zobrazené len najhlavnejšie body. Diagram prípadov použitia pre simulovanie deterministického automatu je zobrazený na obr. č. 13.



Obr. 13: Diagram prípadov použitia pre simulovanie deterministického automatu

1.5.7 DIAGRAM ČINNOSTI SIMULÁCIE NEDETERMINISTICKÉHO AUTOMATU

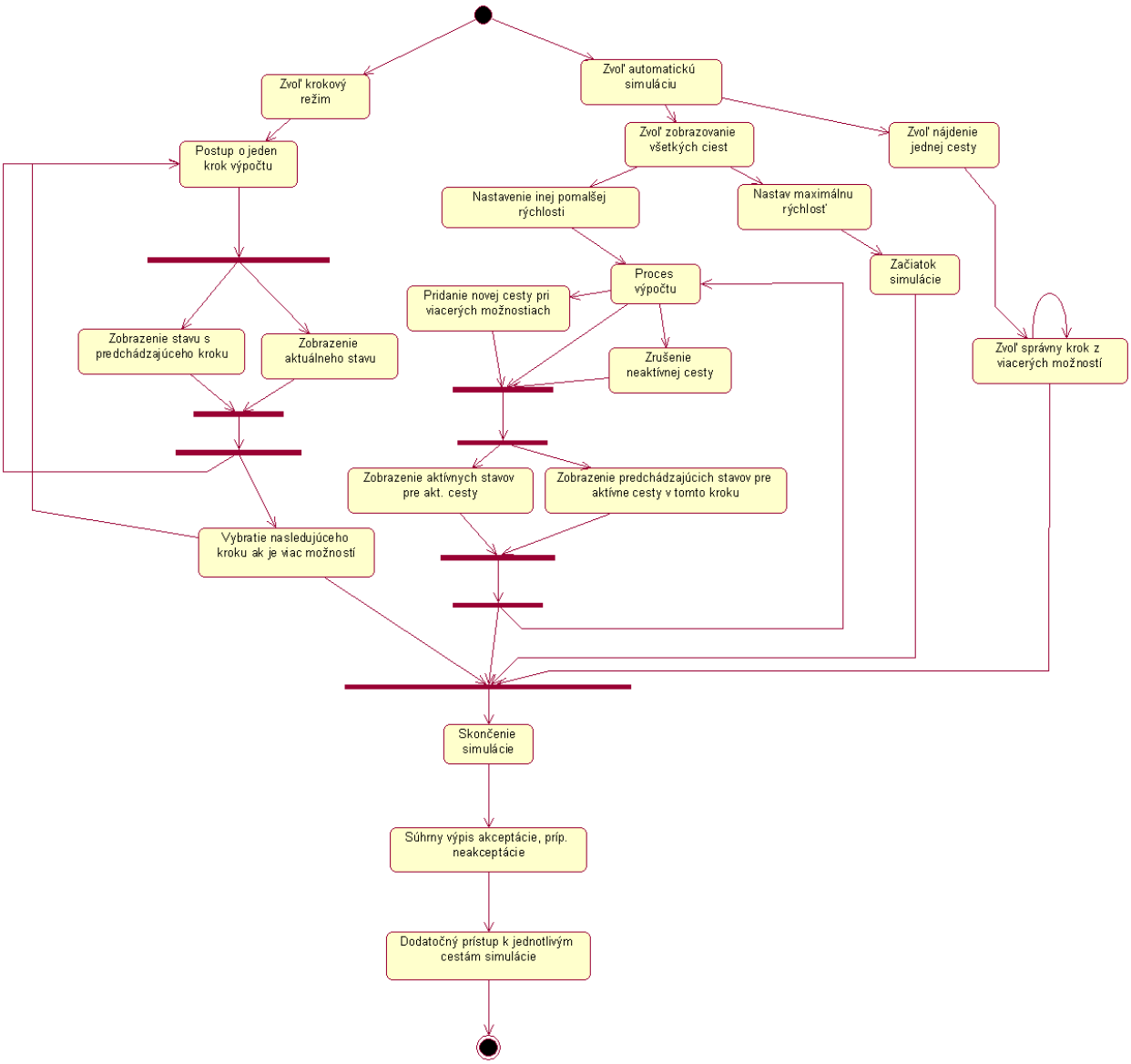
Na znázornenie nedeterminizmu automatu existuje možnosť simulácie s výberom cesty. V tomto prípade ide simulácia automaticky, prípadne po krokoch až do stavu, v ktorom dochádza k nedeterministickému rozhodovaniu. Na tomto mieste zastane a zobrazí používateľovi možnosti, ktoré sú v danom bode k dispozícii. Je na používateľovom rozhodnutí, ktorú z možností zvolí. Pri tomto spôsobe simulácie nemusí proces skončiť v akceptačnom stave, dokonca môže dôjsť aj k zacykleniu.

Ďalšou možnosťou je automatický priebeh simulácie. Po skončení sú sprístupnené všetky možné cesty, ktorými sa dalo dostať do akceptačného stavu. Túto situáciu je vhodné riešiť cez paralelné vlákna. Ak automat dôjde do stavu s nedeterministickými krokmi, vytvoria sa nové vlákna a každé pôjde svojou zvolenou cestou. Ak sa pri výpočte dostane nejaké vlákno do stavu, z ktorého nie je možné ďalej pokračovať a tento stav nie je konečný, dané vlákno sa ukončí, čím sa zároveň šetrí pamäť aj čas procesora pri spracovaní ďalšieho výpočtu. V každom kroku výpočtu sa vykoná len jeden krok každého vlákna. To znamená, že sa nespracováva najprv jedno celé vlákno a až následne ďalšie. Vďaka tomu sa simulátor nemôže pri výpočte zacykliť v jednom nekonečnom vlákne, aj keď by ostatné vlákna mohli viesť k riešeniu.

Výber správnej cesty bude riešený pomocou stromu prehľadávaného do šírky. Algoritmus na jeho prehľadávanie bude štandardný. Alternatívne môže byť použitý upravený algoritmus s frontou, návrhový vzor visitor alebo algoritmus Breadth-first search.

Poslednou možnosťou je automatická simulácia jednej cesty, krok po kroku, ale bez zásahu používateľa. Pri každom nedeterministickom kroku sa vyberie práve jedna možnosť tak, aby simulácia skončila v akceptačnom stave. Proces tejto simulácie zahŕňa jednu cestu.

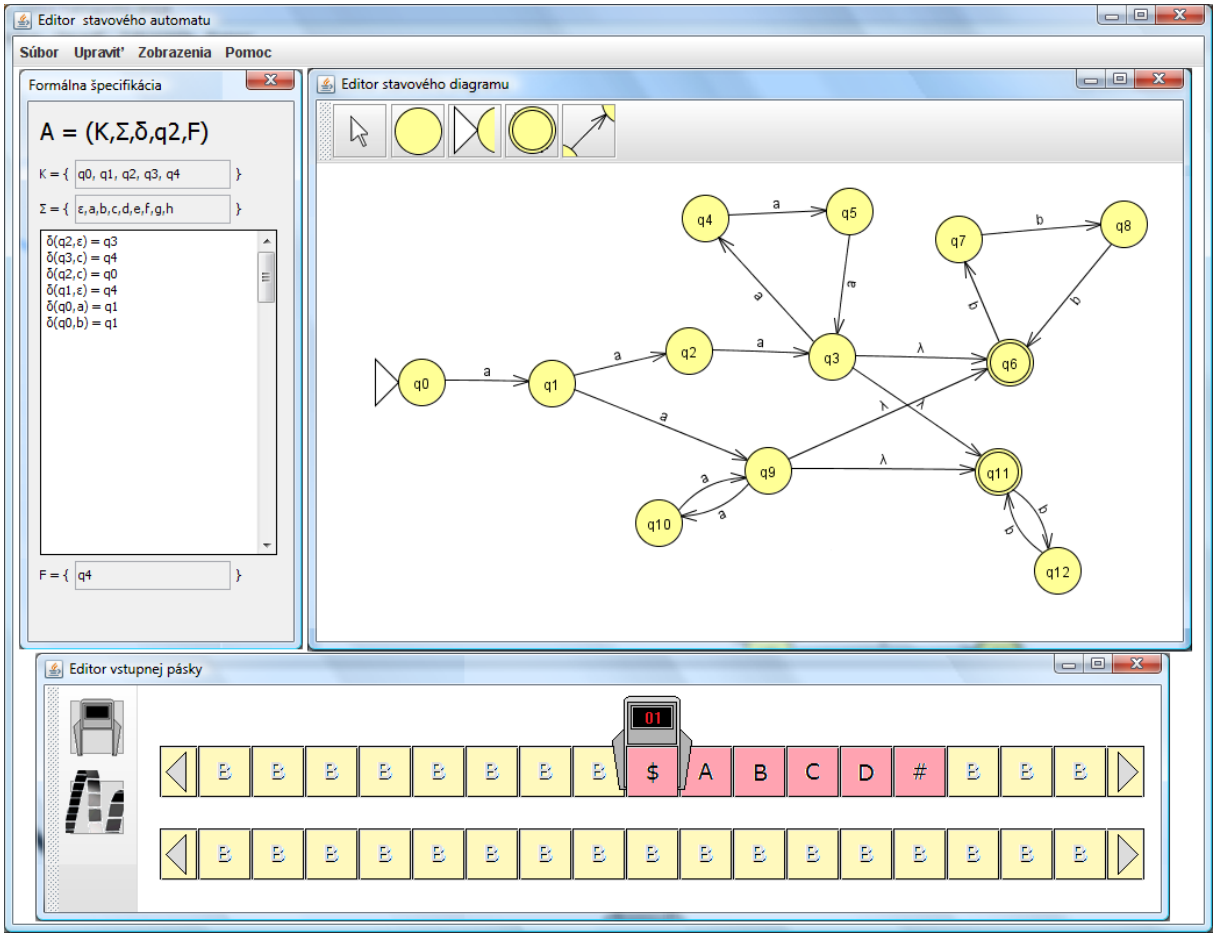
Problémom môže byť vhodné a hlavné prehľadné vykreslenie výpočtu nedeterminizmu používateľovi. Pri spôsobe, keď používateľ sám vyberá nasledujúci krok, tento problém odpadá, pretože sa zobrazuje len nasledujúci stav, ktorý si v predchádzajúcom kroku vybral. Pri automatickej simulácii, treba brať ohľad na množstvo prezentovaných rôznych vlákien ako aj názorné vykreslenie, z ktorých predchádzajúcich stavov automat prešiel do aktuálneho stavu. Diagram činnosti pri nedeterministickom automate je znázornený na obr. č. 14.



Obr. 14: Diagram činnosti simulácie nedeterministického automatu

1.5.8 NÁVRH EDITORA

Editor bude koncipovaný ako grafická aplikácia s dôrazom na jednoduchosť používania. Bude sa skladať z niekoľkých samostatných editorov. Na zobrazenie týchto editorov bude použitý systém tzv. „ukotviteľných okien“, využitý napríklad vo vývojovom prostredí Eclipse a MS Visual Studio. Jednotlivé editory budú zobrazené ako samostatné okná v rámci hlavného okna editora. Okná sa budú dať ľubovoľne premiestňovať, škálovať, a ukotviť do rôznych častí editora. Bude poskytnuté základné rozloženie okien, pričom používateľ si môže toto rozloženie upravovať podľa svojich potrieb.



Obr. 15: Okno editora

Na obr. č. 15 je znázornené hlavné okno editora s tromi editormi – editorom stavového diagramu, formálnej špecifikácie, a vstupnej pásky. Editory sa dajú ľubovoľne presúvať, dajú sa minimalizovať alebo zatvoriť.

Vzhľad a funkcie editora sa budú meniť v závislosti od typu vytváraného automatu. Pri jednoduchších automatoch sa niektoré editory buď nezobrazia vôbec, alebo budú zobrazené s obmedzenou funkcionalitou.

V prípade stavového automatu a zásobníkového automatu bude páska slúžiť len ako vstupné médium. Editor pásky sa nebude umožňovať meniť počet pások a hláv. Bude zobrazená jedna konečná páska a jedna hlava, ktorá bude môcť len čítať a bude sa pohybovať len doprava. Pri simulácii sa číta celý vstup, preto bude hlava umiestnená na začiatku pásky, a nebude sa dať v editore premiestňovať. Editor stavového diagramu nebude poskytovať objekty typu „L“ a „R“, určujúce smer pohybu hlavy.

Pri zásobníkovom automate bude editor pásky a stavového diagramu fungovať rovnako, zobrazí sa aj editor zásobníka.

Pri Turingovom stroji bude sprístupnený plnohodnotný editor pásky, editor stavového diagramu bude poskytovať objekty reprezentujúce pohyb hlavy.

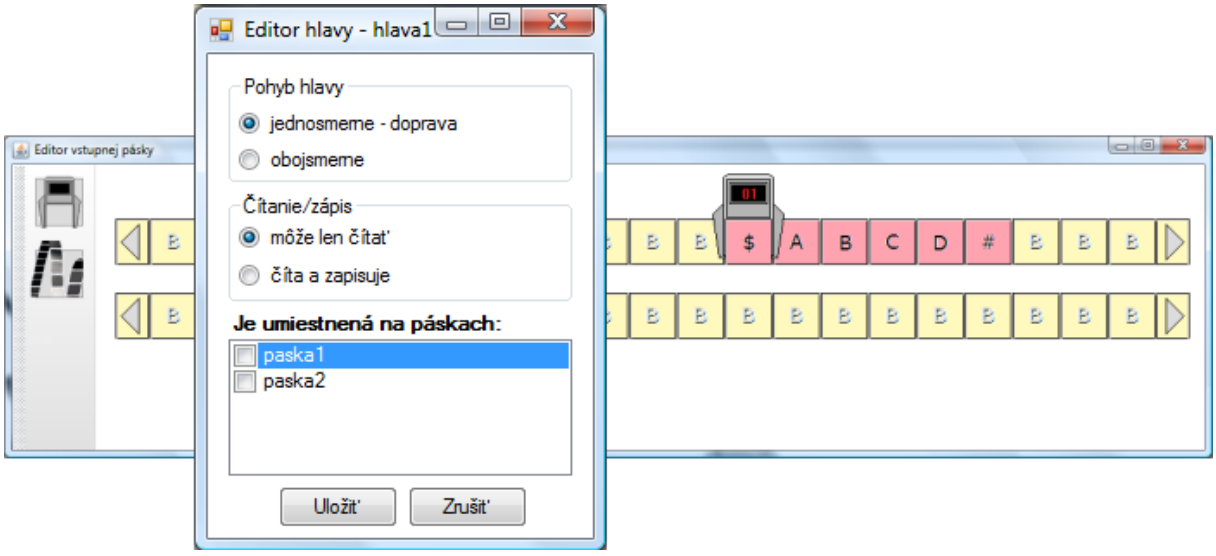
Pri návrhu vlastného automatu budú sprístupnené všetky editory, čo umožní definovať akýkoľvek automat.

1.5.9 EDITOR PÁSKY

Editor pásky bude realizovaný ako vizuálny editor, bude zobrazovať vizuálne reprezentácie editovaných objektov. Na plochu editora bude možné umiestniť ľubovoľný počet pások. Páska bude zobrazená ako reťaz políčok zobrazujúcich príslušný symbol. Tieto symboly bude možné editovať priamo kliknutím na príslušné políčko. Taktiež bude možné pridávať do pásky nové políčka a odstraňovať políčka. Tiež bude možné zobraziť si celý obsah pásky a editovať ho ako textový reťazec. Editor bude graficky a funkčne rozlišovať konečnú a nekonečnú pásku. V prípade nekonečnej pásky bude páska inicializovaná nekonečným počtom hodnôt „Blank“. Problém so správou pamäte pri nekonečnej páske bude riešený pomocou interných nástrojov jazyka Java. Pásku bude možné ľubovoľne posúvať do oboch strán.

Na pásky bude možné pridávať neobmedzené množstvo hláv. V prípade viacerých pások bude možné určiť, po ktorých páskach sa bude hlava pohybovať. Hlava sa môže pohybovať po jednej alebo viacerých páskach. Táto skutočnosť bude v editore zrozumiteľne graficky zobrazená. Pre každú hlavu bude tiež možné určiť, či sa môže pohybovať do oboch strán alebo len do jednej

a či môže len čítať alebo aj zapisovať. Tieto rozdiely budú pre názornosť vyjadrené rôznymi grafickými reprezentáciami hláv. Hlava bude zobrazovať stav v ktorom sa nachádza, prípadne stručný popis stavu. Hlavu bude možné ľubovoľne posúvať po páske.



Obr. 16: editor pásky s pomocným editorom hlavy

Na obr. č. 16 je znázornený editor pásky s vnoreným editorom hlavy. Editor hlavy sa zobrazí pri pridávaní novej hlavy alebo pri označení existujúcej hlavy.

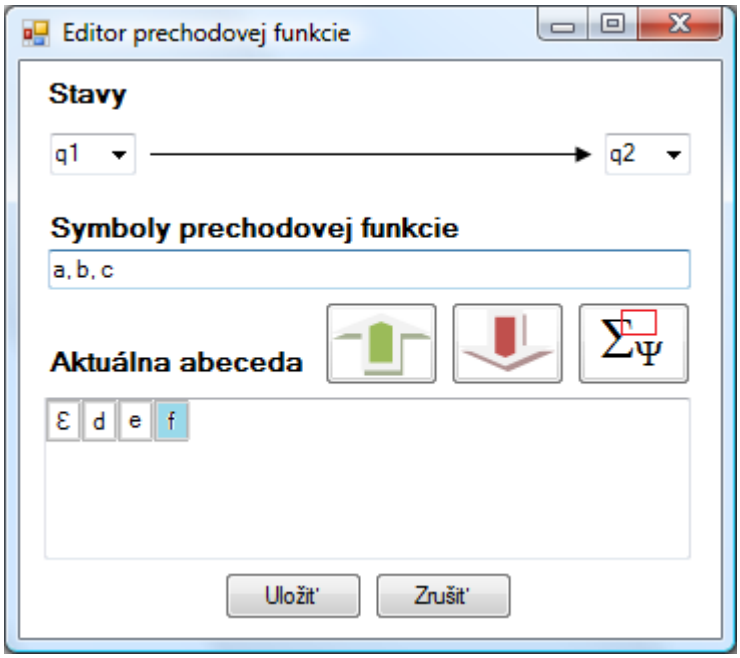
1.5.10 EDITOR STAVOVÉHO DIAGRAMU

Bude pozostávať z panelu s nástrojmi a plochy s editovaným diagramom. Stavový diagram sa bude vytvárať vybraním príslušného prvku v paneli nástrojov a jeho umiestnením na plochu. Editor bude umožňovať vytvárať stavy a spájať ich prechodovými funkciami. Bude tiež umožňovať označiť počiatočný stav a koncové stavy. V prípade Turingovho stroja sa budú pridávať aj objekty reprezentujúce posun hlavy doľava alebo doprava. Po označení kurzora v paneli nástrojov bude možné objekty označovať, presúvať na ploche a zobrazovať pre ne editory. Editor stavového diagramu bude mať dva vnorené editory:

- *editor prechodovej funkcie* – zobrazí sa pri pridaní novej prechodovej funkcie, alebo pri označení existujúcej prechodovej funkcie. Bude umožňovať definovanie symbolov, pre ktoré sa daný prechod uskutoční.

- *editor stavu* – zobrazí sa po označení existujúceho stavu. Bude umožňovať označiť stav ako počiatočný alebo koncový. Bude tiež umožňovať pridať popis stavu.

Editor bude už počas vytvárania automatu sledovať či je deterministický alebo nedeterministický, a zvýrazní prípadné nedeterministické kroky.



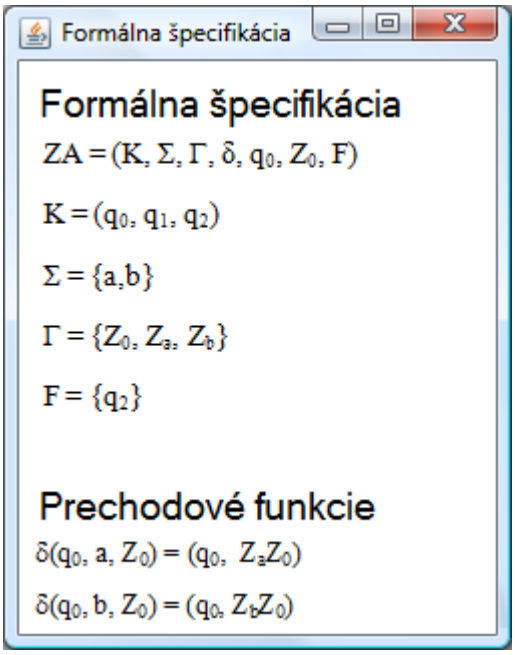
Obr. 17: Editor prechodovej funkcie

Na obr. č. 17 je zobrazený editor prechodovej funkcie pre konečný automat. Vyvoláva sa z editora stavového diagramu alebo z editora formálnej špecifikácie. Umožňuje priradiť prechodovej funkcii začiatočný a cieľový stav a zadať jej symboly. Symboly je možné priamo vpísať do textového poľa alebo je ich možné pridávať zo zobrazenej abecedy. Pre prehľadnosť sú v abecede zobrazené len symboly, ktoré ešte nie sú priradené prechodovej funkcii. Z editora sa tiež otvára editor špeciálnych symbolov.

1.5.11 EDITOR FORMÁLNEJ ŠPECIFIKÁCIE

Editor bude zobrazovať formálnu špecifikáciu automatu – množinu stavov, abecedu, prechodové funkcie, počiatočný stav a množinu koncových stavov. Editor bude prepojený s editorom stavového diagramu a editorom vstupnej pásky. Zmena stavového diagramu sa okamžite zobrazí

na formálnej špecifikácii. Napríklad pridanie stavu do diagramu pridá záznam o stave do množiny stavov, pridanie prechodu do diagramu pridá novú prechodovú funkciu. Zmena počtu pások alebo hláv bude vyžadovať komplexnejšiu zmenu, musí sa zmeniť štruktúra prechodovej funkcie. Prechodové funkcie bude tiež možné editovať priamo v editore formálnej špecifikácie, zmeny sa okamžite zobrazia na stavovom diagrame.



Obr. 18: Editor formálnej špecifikácie

Obr. č. 18 predstavuje editor formálnej špecifikácie. Údaje v hornej časti budú generované na základe stavového diagramu. Sú zobrazené hlavne na uľahčenie pochopenia vzťahu medzi stavovým diagramom automatu a jeho formálnou špecifikáciou. Položky pod označením „Prechodové funkcie“ budú po kliknutí zobrazovať editor prechodových funkcií.

1.5.12 EDITOR ZÁSOBNÍKA

Pri vytváraní zásobníkového automatu bude k dispozícii editor zásobníka. Umožní používateľovi definovať obsah zásobníka na počiatku simulácie. Bude tiež zobrazovať aktuálnu zásobníkovú abecedu.

1.5.13 ZADÁVANIE ŠPECIÁLNYCH SYMBOLOV

Pri modelovaní stavových automatov sa často používajú neštandardné symboly. Zadávanie takýchto symbolov bude zabezpečovať špeciálny editor. Bude prístupný z editora prechodových funkcií a z editora vstupnej pásky. Editor bude umožňovať dodefinovať si vlastné symboly – podčiarknuté, nadčiarknuté znaky, znaky s dolným a horným indexom a pod.

2. PROTOTYP (ZIMNÝ SEMESTER)

2.1. CIEĽ PROTOTYPOVANIA

Táto kapitola bude dopracovaná až v ďalších etapách práce na projekte.

2.2. DOSIAHNUTÉ VÝSLEDKY

Táto kapitola bude dopracovaná až v ďalších etapách práce na projekte.

2.3. POUŽÍVATEĽSKÁ PRÍRUČKA

Táto kapitola bude dopracovaná až v ďalších etapách práce na projekte.