



UMCS
UNIwersytet Marii Curie-Skłodowskiej

UNIwersytet Marii Curie-Skłodowskiej
w Lublinie

Wydział Matematyki, Fizyki i Informatyki

Kierunek: **Informatyka**

Specjalność: –

Viktar Zhdanovich

Nr albumu: 300187

Projekt i implementacja interfejsu graficznego SAT-solvera

Design and implementation of a SAT-solver graphical interface

Praca licencjacka

napisana w Katedrze Systemów Inteligentnych

pod kierunkiem dr Jacka Krzaczkowskiego

Lublin 2023

Spis treści

Wstęp	3
1 Wprowadzenie	4
1.1 CNF	4
1.2 Problem spełnialności formuł logicznych	4
1.3 SAT-solvery	5
1.4 Format DIMACS CNF	5
1.5 Cel i zakres pracy	6
2 Projekt	7
2.1 Definicja funkcjonalności	7
2.2 Prototypowanie interfejsu	8
2.2.1 Edytor plików w formacie DIMACS CNF	8
2.2.2 Wykrycie, wskazywanie i naprawienie błędów	10
2.2.3 Podstawowe funkcje SAT-solvera	12
2.2.4 Wyświetlanie wartościowań	12
2.2.5 Formuła w postaci CNF	13
2.2.6 Łączenie formuł	13
2.3 Architektura aplikacji	14
3 Implementacja	16
3.1 Narzędzia	16
3.1.1 PySAT	16
3.1.2 FastAPI	16
3.1.3 React	17
3.2 Implementacja edytora	18
3.3 Implementacja sprawdzarki	18
3.4 Optymalizacje	19
Podsumowanie	21
Bibliografia	22

Wstęp

Graficzny interfejs użytkownika (ang. graphical user interface, **GUI**) jest typem interfejsu za pomocą którego użytkownik wchodzi w interakcję z komputerem, programem. Dobrze przemyślony, wygodny, niezawodny, pomagający użytkownikowi interfejs napewno poszerza grono użytkowników aplikacji, co może m.in. dobrze wpłynąć na rozwój biznesu lub sukces twórcy. Wyobraźmy, na przykład, co by było gdyby systemy operacyjne nie miały interfejsów graficznych? Brak interfejsu bardzo podwyższa poziom przygotowania dla korzystania z takiej / takiego aplikacji / programu. Interfejsy, w większości, robią skomplikowane programy dostępnymi dla wielu ludzi. Niskopoziomowe staje się wysokopoziomowym. Interfejsy graficzne są bardzo ważną częścią każdej aplikacji. Często patrząc tylko na wizualny wygląd już nie chce z niej korzystać. To jest źle, dla niektórych użytkowników to może być bardzo krytyczne i oni pójdą szukać inne rozwiązania, szkoda, bo ze względu na funkcjonalność aplikacja może być bardzo bogata. Dlatego jest bardzo ważne dbać o to, żeby aplikacja była nie tylko funkcjonalna, ale i nie było lagów, była atrakcyjna, wygodna, dostępna.

Rozdział 1

Wprowadzenie

1.1 CNF

Definicja 1 (CNF). Koniunkcyjna postać normalna (ang. conjunctive normal form) danej formuły logicznej to równoważna jej formuła zapisana w postaci koniunkcji klauzul. Klauzula jest zbiorem literalów połączonych alternatywą. Literałem nazywamy pojedynczą zmienną zdaniową lub pojedynczą zanegowaną zmienną zdaniową. Zmienna zdaniowa to zmienna która może przyjmować wartość *true* lub *false*

Przykład klauzuli:

$$(x \vee y \vee z).$$

Przykłady literalów:

$$p, q, \neg p$$

Definicja formalna. Formuła ψ jest w koniunkcyjnej postaci normalnej jeśli jest ona koniunkcją klauzul, z których każda jest alternatywą *literalów*, tzn. ma następującą postać:

$$(p_{11} \vee p_{12} \vee \dots \vee p_{1k_1}) \wedge (p_{21} \vee p_{22} \vee \dots \vee p_{2k_2}) \wedge \dots \wedge (p_{n1} \vee p_{n2} \vee \dots \vee p_{nk_n})$$

gdzie każde p_{ij} jest literałem.

Każdą formułę logiczną można przedstawić równoważnie w postaci CNF. Dla jednej formuły logicznej może istnieć kilka równoważnych jej formuł w CNF.

1.2 Problem spełnialności formuł logicznych

Problem spełnialności formuł logicznych jest ważym problemem obliczeniowym w teorii złożoności. Wejściem problemu jest formuła logiczna w postaci CNF. Problem polega na znalezieniu wartościowania, tzn. wartości wszystkich zmiennych zdaniowych, takich, kiedy formuła staje się prawdziwa. Formułę, która posiada takie wartościowanie nazywamy formułą *spełnialną* (ang. satisfiable), a która nie, odpowiednio *niespełnialna* (ang. unsatisfiable).

Na przykład, formuła

$$(x_1 \vee \neg x_3) \wedge (x_2 \vee x_3 \vee \neg x_1)$$

jest spełnialna, dlatego, że istnieje wartościowanie które ją spełnia, np.:

$$x_1 = false, x_2 = false, x_3 = false$$

Problem SAT jest pierwszym problemem którego NP-zupełność wykazano, to jest **Twierdzenie Cooka-Levina**.

1.3 SAT-solvery

SAT-solver jest programem mający na celu rozwiązanie problemu spełnialności. Na wejściu program przyjmuje formułę w postaci CNF, a na wyjściu zwraca odpowiedź, czy podana formuła jest lub nie jest spełnialna. Oryginalny SAT-solver wymaga spełnienia **wszystkich** klauzul.

Większość SAT-solverów zwraca nie tylko informację o spełnialności, ale też przykładowe wartościowanie, jeśli formuła była spełnialna, lub minimalny zbiór niespełnialnych klauzul, jeśli formuła była niespełnialna.

SAT-solvery mają wiele udanych zastosowań w różnych dziedzinach, takich jak np. sztuczna inteligencja, automatyzacja projektowania elektronicznego (ang. Electronic Design Automation), analiza programów.

Istnieją różne rodzaje SAT-solverów, które rozwiązują inne odmiany problemu spełnialności formuł logicznych:

- MAX-SAT - szuka maksymalnej liczby klauzul, które mogą być spełnione, tzn. zadajemy pytanie ile maksymalnie klauzul z tej formuły dadzą formułę spełnialną jeśli połączymy je razem.
- Częściowy MAX-SAT (ang. Partial MAX-SAT) - podczas gdy klasyczny problem SAT wymaga spełnienia wszystkich klauzul, PM-SAT jest rozluźniony spełnienia tego wymogu poprzez oznaczenie niektórych klauzul jako miękkie (ang. soft), a innych jako twarde (ang. hard). Celem jest znalezienie wartościowania, które spełnia wszystkie klauzule twarde i maksymalizuje liczbę spełnionych klauzul miękkich.

1.4 Format DIMACS CNF

DIMACS CNF to format tekstowy reprezentujący formułę w koniunkcyjnej postaci normalnej. Pliki z formułami mogą być w dowolnym formacie tekstowym, ale najczęściej stosują się *.cnf lub *.txt.

Reguły których trzeba pilnować, żeby poprawnie stworzyć plik z formułą:

1. Linie zaczynające się od znaku *c* przedstawiają komentarze.
2. Linia zaczynająca się od znaku *p* jest definicją formuły i wygląda następująco: *p cnf l k*. Gdzie *l* i *k* są liczbami dodatnimi, gdzie *l* reprezentuje liczbę zmiennych formuły, a *k* reprezentuje liczbę klauzul.
3. Klauzule są umieszczane dokładnie po definicji formuły. Każda klauzula jest zadowana jako sekwencja liczb dziesiętnych odseparowanymi spacjami.

4. Każda linia zawiera dokładnie jedną klauzulę i ma kończyć się symbolem 0.
5. Zostawianie pustych linii w formule nie jest dozwolone.

Niepilnowanie tych reguł może doprowadzić do błędnych wyników lub w ogóle do unieruchomienia SAT-solvera.

Na przykład formuła w CNF

$$(x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_4) \wedge (\neg x_1 \vee x_2) \wedge (x_3 \vee x_4 \vee \neg x_1) \wedge (x_2 \vee x_3 \vee \neg x_1)$$

może być zakodowana w DIMACS CNF jako:

```
p cnf 4 4
1 2 3 4 0
-1 2 0
3 4 -1 0
2 3 -1 0
```

1.5 Cel i zakres pracy

Celem pracy jest stworzenie wygodnego i dostępnego dla wszystkich interfejsu graficznego dla oryginalnego SAT-solvera. Dostępność zapewnimy tworząc aplikację webową dlatego, że nie wymaga od użytkownika żadnych niepotrzebnych instalacji, działa prawie wszędzie i dla uruchomienia potrzebny jest tylko komputer i internet. Wygodność zapewnimy przemyślnym interfejsem, który będzie w razie problemów pomagał użytkownikowi w ich rozwiązaniu za pomocą odpowiednich komunikatów i sugestii. W pracy zostanie omówiony proces projektowania interfejsu oraz szczegóły implementacji niektórych, najbardziej interesujących części aplikacji.

Frontend będzie stworzony za pomocą biblioteki **React**, a backend za pomocą frameworku **FastAPI**. Na backendzie wykorzystamy pakiet **PySAT**, który daje możliwość korzystania z wielu zaimplementowanych SAT-solverów. Komunikację pomiędzy backendem a frontendem zapewnimy poprzez HTTP zapytania.

Rozdział 2

Projekt

2.1 Definicja funkcjonalności

Wygląd aplikacji mocno zależy od tego, jak zdefiniujemy funkcjonalności, więc:

- parsowanie formuły z pliku w formacie DIMACS CNF do CNF
- możliwość edycji formuły w postaci CNF
- wyświetlanie w wygodny sposób formuł w postaci CNF (dzielenie dużych formuł na strony; wyświetlanie tylko odpowiedniej ilości klauzul na jednej stronie)
- formuła w postaci CNF dostaje możliwość edycji, czyli można: modyfikować, usuwać, dodawać klauzule
- kiedy zmienia się formuła w postaci CNF, zmienia się jednocześnie formuła w DIMACS CNF w edytorze
- wczytywanie formuł z pliku
- zapisywanie formuły w formacie DIMACS CNF do pliku
- wyświetlanie w wygodny sposób dużych wartościowań spełniających formułę
- poprawianie automatyczne formuły (na końcach linii są dopisywane zera, liczby zmiennych i klauzul w nagłówku są poprawiane na odpowiednie, puste linie są usuwane, niepoprawne klauzule są usuwane)
- wyświetlanie ilości znalezionych rozwiązań
- zapisywanie pojedynczego wartościowania w postaci “binarnej”
- możliwość znalezienia i wyświetlenia pojedynczego wartościowania spełniającego formułę
- możliwość znalezienia i wyświetlenia wszystkich wartościowań spełniających
- usuwanie zduplikowanych klauzul z formuły
- możliwość łączenia dwóch formuł w jedną, co z kolei daje możliwość łączenia dowolnej ilości formuł

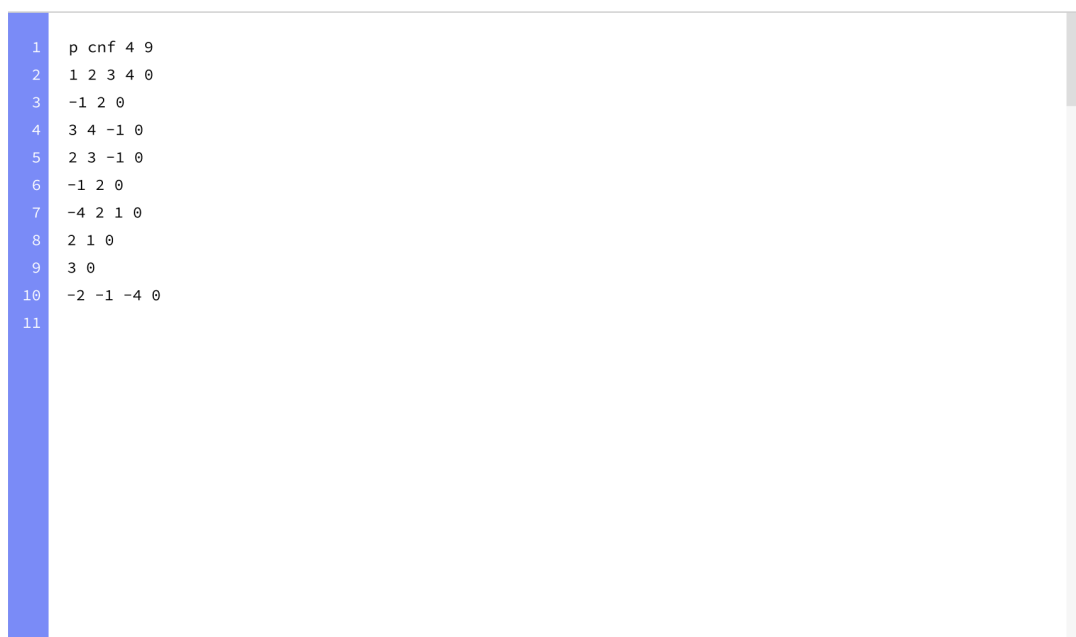
- edytor DIMACSów: sprawdzanie poprawności edytowanych plików
- edytor DIMACSów: wskazywanie błędów. Kody błędów z opisem 0 -> ('no empty lines allowed'), 1 -> ('invalid formula definition'), 2 -> ('clause must end with 0'), 3 -> ('invalid clause'), 4 -> ('formula was already defined in line formulaDefinition-Row.current'), 5 -> ('Wrong variable value: varError => range[1..rangeInDef]')
- edytor DIMACSów: edytor, w razie błędów w formule, daje użytkownikowi indywidualne do każdego błędu sugestie do poprawienia

2.2 Prototypowanie interfejsu

W danej sekcji komponent po komponencie stworzymy prototyp graficznego interfejsu dla SAT-solvera oraz rozważymy przyjęte decyzje wizualne.

2.2.1 Edytor plików w formacie DIMACS CNF

Korzystając z SAT-solverów jesteśmy zmuszeni korzystać z plików w formacie DIMACS CNF, więc przydałoby się mieć edytor do takich plików. W podstawowej wersji wygląda następująco:

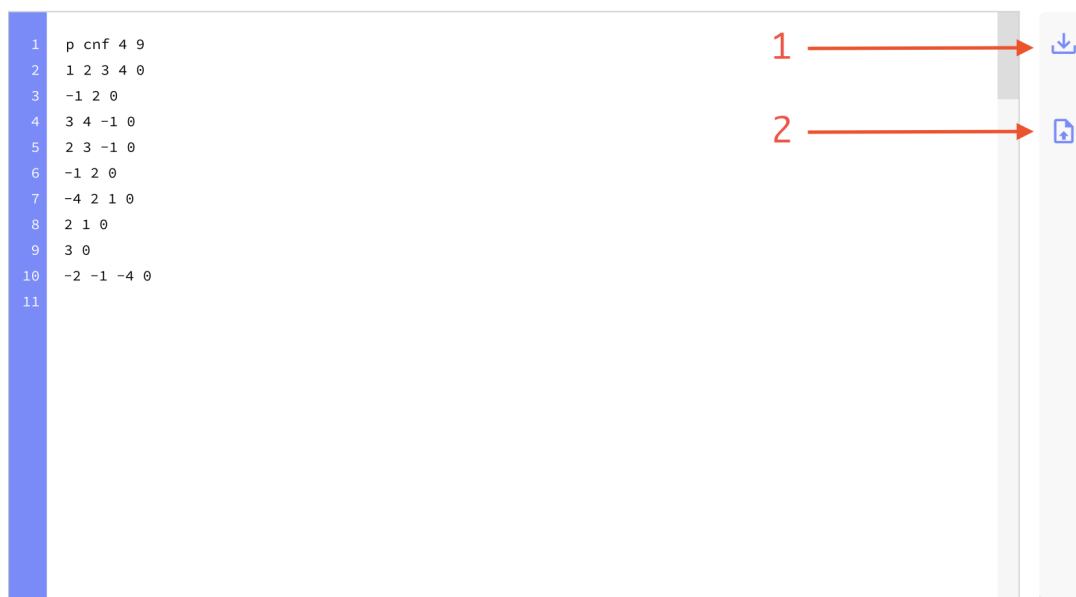


```
1 p cnf 4 9
2 1 2 3 4 0
3 -1 2 0
4 3 4 -1 0
5 2 3 -1 0
6 -1 2 0
7 -4 2 1 0
8 2 1 0
9 3 0
10 -2 -1 -4 0
11
```

Rysunek 2.1: Edytor podstawowy

W środku większą część zajmuje obszar w którym będziemy modyfikować naszą formułę, na razie istnieje możliwość tylko wklejenia jej do edytora. Po prawej stronie mamy scroll który będzie pomagał nam przemieszczać się po formułach z dużą liczbą klauzul. Po lewej stronie mamy słupek z informacją o numerach linii, w przyszłości nam się to przyda dla wykrycia i wskazywania błędów.

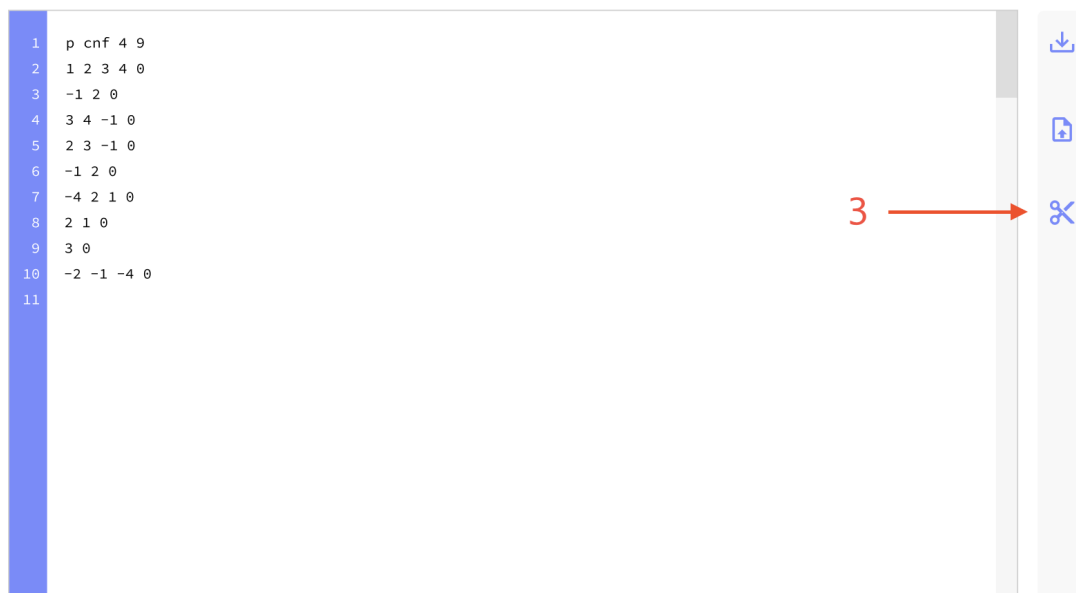
Nie za bardzo wygodne jest wklejanie zawartości pliku, więc damy użytkownikowi możliwość do załadowania pliku z formułą oraz możliwość do zapisania pliku z zmodyfikowaną formułą:



Rysunek 2.2: Edytor z możliwością załadowania i zapisania formuły

Po prawej stronie dodaliśmy obszar który będzie pomagał nam zarządzać edytorem, obecnie znajdują się tu dwa przyciski: nr. 1 daje możliwość wybrać i załadować plik z formułą, a nr.2 daje możliwość zapisać plik i dać mu nazwę.

W formule, przez przypadek, mogą pojawić się zduplikowane klauzule, chociaż to nie za bardzo wpływa na wydajność i szybkość działania SAT-solvera, damy użytkownikowi możliwość usunięcia takich klauzul:



Rysunek 2.3: Edytor z możliwością usunięcia zduplikowanych klauzul

Z obrazów przycisków z obszaru do zarządzania edytorem może nie być jasne, co one robią, więc dodana jest możliwość zobaczyć w postaci tekstowej tę informację. Przy najechnaniu myszką na każdy z przycisków pod nimi będzie pojawiała się podpowiedź (ang. tooltip) z tekstem. Na przykład pod przyciskiem nr.1 pojawi się komunikat "Upload formula".

2.2.2 Wykrycie, wskazywanie i naprawienie błędów

Dla poprawnego i przewidywanego działania SAT-solvera konieczne jest poprawne stworzenie pliku z formułą w formacie DIMACS CNF. Jako twórcy interfejsu graficznego mamy pomoc użytkownikowi poradzić z wykryciem, wskazywaniem i naprawieniem błędów w razie ich wystąpienia.

Kiedy formuła w edytorze będzie się zmieniała, będzie wywoływana funkcja wykrywająca błędy. Wykryte błędy mamy w jakiś sposób wyświetlić. Proponujemy podświetlenie odpowiednich linijek. Tak to będzie wyglądało:

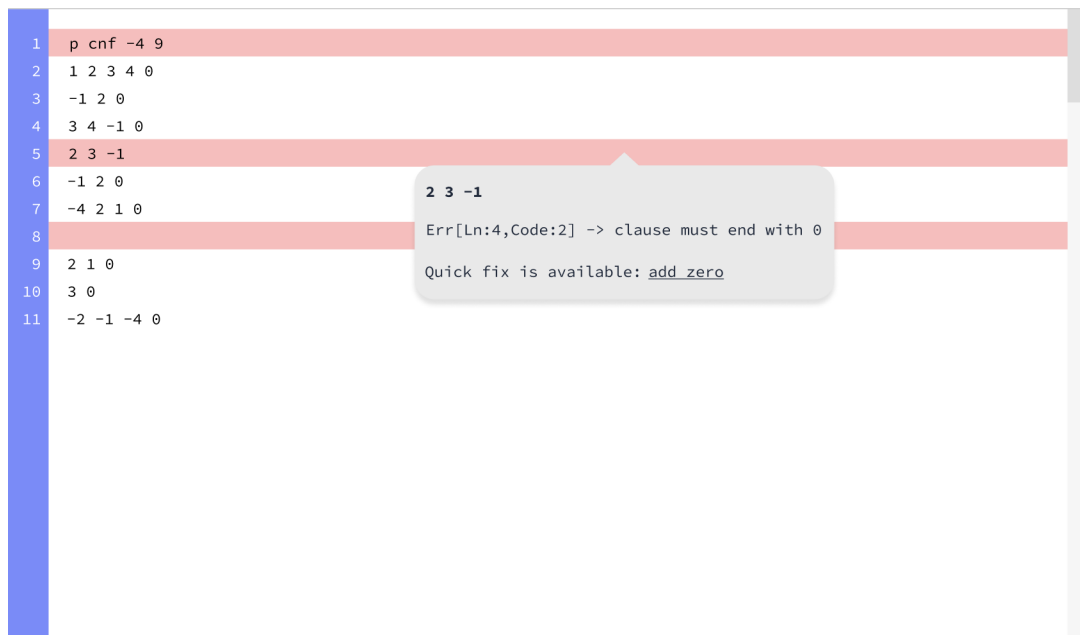


Rysunek 2.4: Edytor wraz z tabelą z błędami

Widzimy jeszcze, że w obszar do zarządzania formułą został dodany nowy przycisk pod numerem 4. Będzie on odpowiadał za automatyczne poprawienie błędów. Kiedy użytkownik nacisnie na ten przycisk, zanim poprawienie się zacznie, będzie wyświetlony komunikat mówiący o bezzwrotności działań użytkownika i prośbą o potwierdzenie chęci zrobienia popraw. Dodatkowo w komunikacie będzie napisano, że:

- puste linie, komentarze oraz uszkodzone klauzule zostaną usunięte
- liczba zmiennych i klauzul będzie przeliczona

W tym momencie, jeśli użytkownik będzie miał błędy w formule, będzie je dobrze widział, ale ma je też naprawić. Żeby to teraz zrobić, ma z góry wiedzieć w czym jest problem. Ułatwmy zrozumienie dodaniem odpowiednich podpowiedzi przy najechaniu myszką na czerwoną linię. Na rysunku 2.5 pojawiła się podpowiedź, gdzie w pierwszej linijce znajduje się treść uszkodzonej linii, w drugiej opis błędu, a w trzeciej propozycja do naprawienia w postaci przycisku. W tym przykładzie widzimy, że zaproponowano dodanie zera na końcu linii.



Rysunek 2.5: Edytor wyświetlający podpowiedź przy najechaniu myszką

Zostały nam jeszcze dwa problemy do rozwiązania. Po pierwsze, w razie błędów nie widzimy od razu ile ich jest. Po drugie, ze względu na to, że pliki z formułami mogą zawierać dużo klauzul, a zatem potencjalnie dużo błędów, nie mamy sposobu na wyświetlanie wszystkich błędów naraz w jednym miejscu. W drugim przypadku przydało by się też zostawić możliwość szybkiej naprawy.

Te dwa problemy można rozwiązać wprowadzając kolejny komponent:

There are 3 errors in a formula !!!			Hide errors list -
Description	Line	Fix proposition	
Invalid formula definition [Ln:1, Cd:1]	p cnf -4 9	<button>EDIT</button>	
Clause must end with 0 [Ln:5, Cd:2]	2 3 -1	<button>ADD ZERO</button>	
No empty lines allowed [Ln:8, Cd:0]	empty line here 🙄	<button>EDIT</button>	<button>DELETE</button>

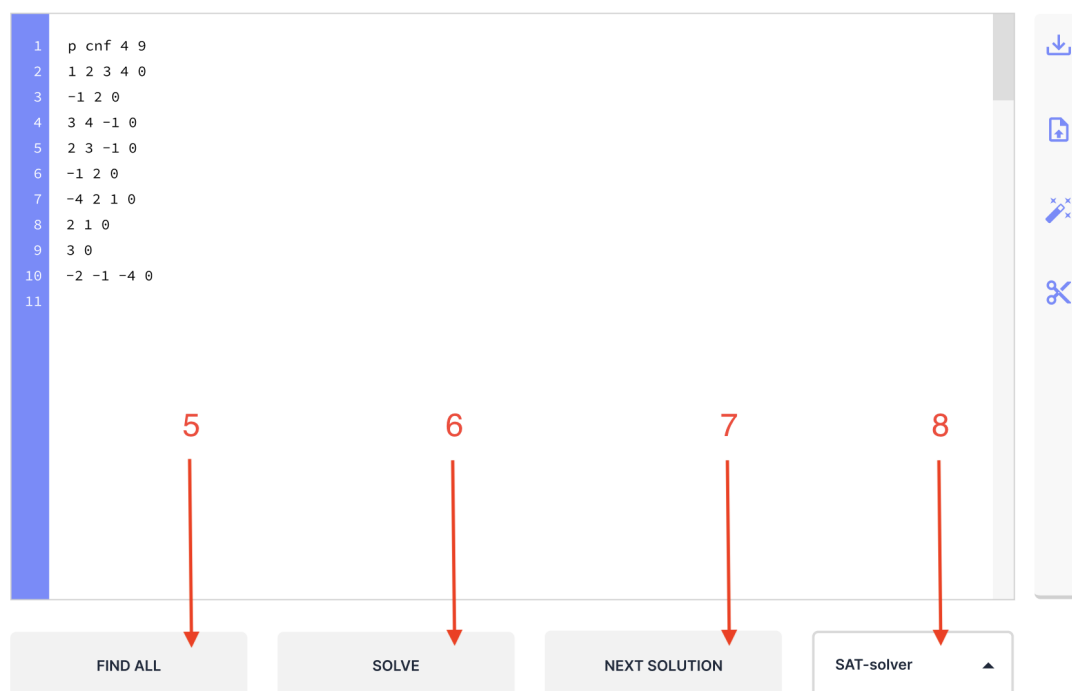
Rysunek 2.6: Tabela z wykrytymi błędami

Znajduję się od razu pod edytorem. Ma dwa stany: otwarty i zamknięty. Domyślnie ma stan zamknięty. Na górze widzimy nagłówek w którym jest napisano ile mamy błędów w formule. Klikając na nagłówek zmieniamy stan otwarcia. Tabela ma trzy kolumny:

w pierwszej znajduje się opis błędu, w drugiej uszkodzona linia, a w trzeciej znajdują się przyciski, dzięki którym można szybko naprawić błąd. Błędy w tabeli są sortowane rosnąco w zależności od indexu linii wystąpienie.

2.2.3 Podstawowe funkcje SAT-solvera

Kiedy umiemy już wykrywać i naprawiać błędy, co zapewnia nam bezpieczne i przewidywane działania SAT-solvera, możemy dodać przyciski kontrolujące i dać użytkownikowi możliwość do uruchomienia go:



Rysunek 2.7: Edytor ze wszystkimi przyciskami

Przycisk nr.6 pozwala dowiedzieć czy formuła jest lub nie jest spełnialna. Jeśli jest spełnialna zwracane jest pierwsze wartościowanie.

Przycisk nr.7 pozwala znaleźć następne wartościowanie, jeśli takie istnieje. Jest nieaktywny jeśli formuła jest niespełnialna.

Przycisk nr.5 uruchamia wyszukiwanie wszystkich wartościowań. Wyszukiwanie można będzie przerwać w dowolnej chwili kiedy będzie znalezione pierwsze wartościowanie.

Przycisk nr.8 pozwala wybrać dowolny z dostępnych w pakiecie PySAT SAT-solver.

Jeśli formuła w edytorze zawiera błędy - uruchomienie SAT-solvera nie jest dozwolone. Wszystkie przyciski oprócz nr.8 będą nieaktywne.

2.2.4 Wyświetlanie wartościowań

Mamy poradzić z problemem wyświetlania wartościowań dla formuł zawierających dużą liczbę zmiennych. Trudno będzie wyświetlić takie wartościowanie wprost w słupku lub w jednej linii. Doprowadzi to do przekroczenia granic ekranu dowolnego rozmiaru wzdłuż osi X lub Y.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet,

tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

2.2.5 Formuła w postaci CNF

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

2.2.6 Łączenie formuł

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero,

nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

2.3 Architektura aplikacj

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis,

molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

Rozdział 3

Implementacja

3.1 Narzędzia

3.1.1 PySAT

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

3.1.2 FastAPI

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero,

nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

3.1.3 React

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend

at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

3.2 Implementacja edytora

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

3.3 Implementacja sprawdzarki

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

3.4 Optymalizacje

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea

dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.

Podsumowanie

Ja chcę, żeby mój program stał się początkiem tworzenia interfejsów graficznych dla różnych rodzajów SAT-solverów. Ze względu na brak takich programów. W mojej pracy dotknąłem tylko małą część, dużo rzeczy można jeszcze do tego dodać.

Będę [2] zawsze otwarty na takie propozycje na GitHubie. Chciałbym, żeby [1] studenci naszej uczelni w [1] swoich pracach licencjackich lub [3] nawet magisterskich [4] kontynuowali rozwijanie i polepszenie mojego programu.

Bibliografia

- [1] Paul Adrien Maurice Dirac. *The Principles of Quantum Mechanics*. International series of monographs on physics. Clarendon Press, 1981. ISBN: 9780198520115.
- [2] Albert Einstein. “Zur Elektrodynamik bewegter Körper. (German) [On the electrodynamics of moving bodies]”. In: *Annalen der Physik* 322.10 (1905), pp. 891–921. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/andp.19053221004>.
- [3] Donald Knuth. *Knuth: Computers and Typesetting*. URL: <http://www-cs-faculty.stanford.edu/~uno/abcde.html>. (accessed: 01.09.2016).
- [4] Donald E. Knuth. “Fundamental Algorithms”. In: Addison-Wesley, 1973. Chap. 1.2.