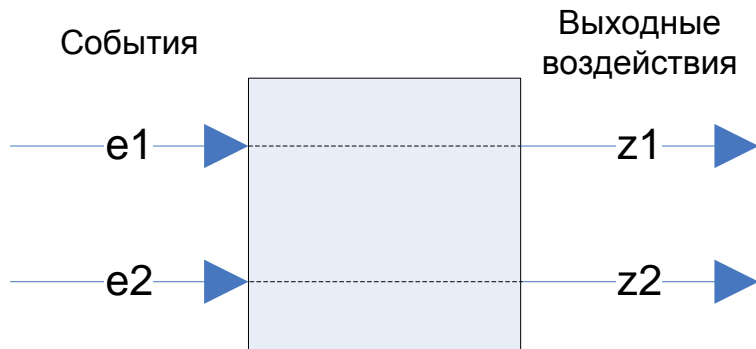


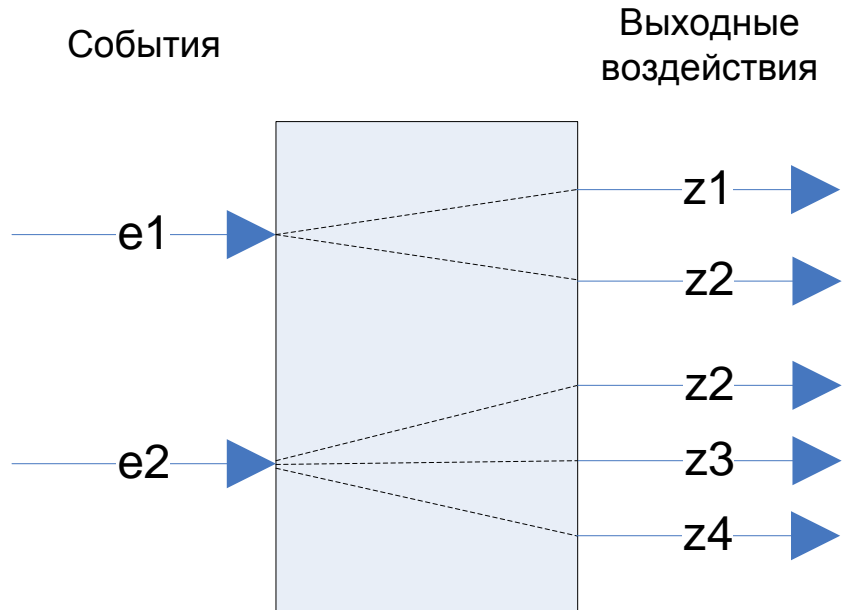
Применение методов решения задачи о выполнимости булевой формулы для построения управляющих конечных автоматов по сценариям работы

Владимир Ульяновцев, ИТМО, КТ
Научный руководитель: Федор Царев,
аспирант кафедры КТ
20 июня 2011

Системы со сложным поведением

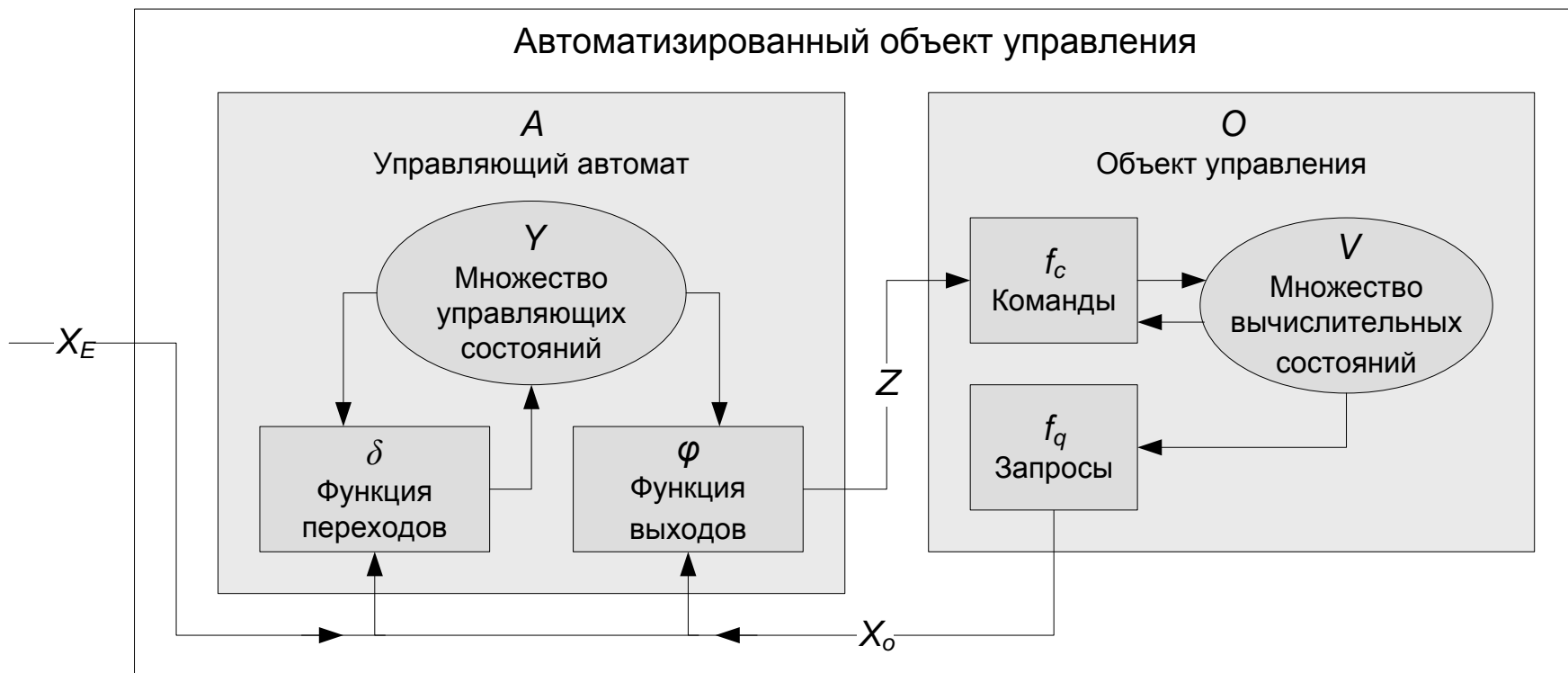


Система с простым поведением



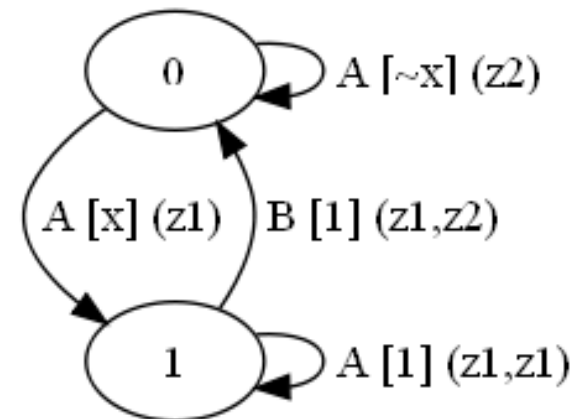
Система со сложным поведением

Автоматное программирование



Управляющий автомат

- Управляющий конечный автомат
 - Поступают **события**
 - Лента **переменных** – датчики модели
 - Последовательность **воздействий**

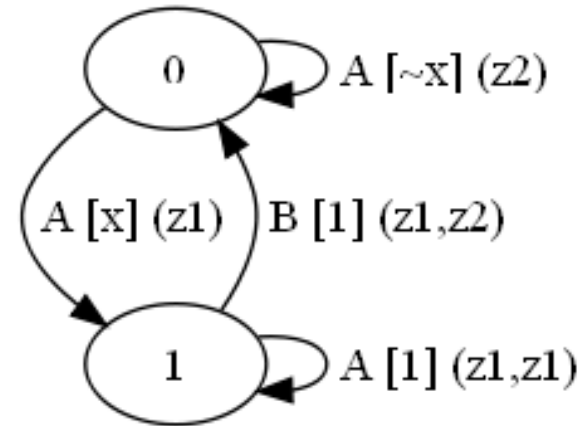


Тестовые примеры

- Сценарии работы
- Последовательность троек $\langle e, f, A \rangle$
 - e – входное **событие**;
 - f – булева формула от входных **переменных**, задающая охранное условие;
 - A – последовательность выходных **воздействий**

Постановка задачи

- По **сценариям** работы S_c построить управляющий конечный **автомат** из k состояний
- Не ищем необходимое k



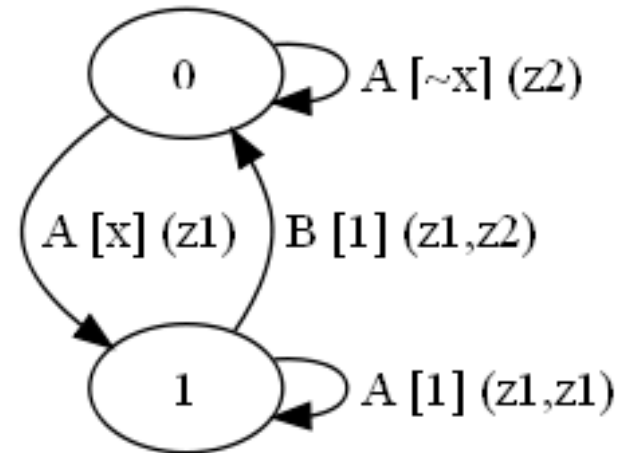
Примеры сценариев работы

Автомат удовлетворяет:

- $\langle A, \sim x, (z2) \rangle$

Не удовлетворяет:

- $\langle A, x, (z2) \rangle$



Существующие подходы к построению автоматов

- **Генетические алгоритмы**
 - Егоров К. В., Царев Ф. Н., Шалыто А. А. Применение генетического программирования для построения автоматов управления системами со сложным поведением на основе обучающих примеров и спецификации // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики
- **Эвристические алгоритмы – сжатие дерева тестов**
 - Lucas S., Reynolds J. Learning DFA: Evolution versus Evidence Driven State Merging // The 2003 Congress on Evolutionary Computation (CEC '03)

Предлагаемый подход

- Свести задачу построения автомата к хорошо изученной NP-полной задаче – **SAT** – задаче удовлетворимости булевой формулы

$$(X1 \text{ or } X2 \text{ or } \overline{X3})$$

$$(\overline{X1} \text{ or } \overline{X2} \text{ or } X3)$$

$$(\overline{X1} \text{ or } \overline{X2} \text{ or } \overline{X3})$$

$$(\overline{X1} \text{ or } X2 \text{ or } X3)$$

$$(\boxed{X1} \text{ or } X2 \text{ or } \overline{X3})$$

$$(\overline{X1} \text{ or } \boxed{\overline{X2}} \text{ or } \boxed{X3})$$

$$(\overline{X1} \text{ or } \boxed{\overline{X2}} \text{ or } \overline{X3})$$

$$(\overline{X1} \text{ or } X2 \text{ or } \boxed{X3})$$

Доказательство NP-полноты

- Доказательство принадлежности классу NP
- Доказательство принадлежности классу NP-трудных задач

Доказательство принадлежности классу NP

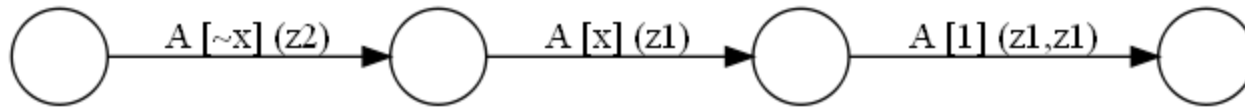
- На языке сертификатов
 - Язык L доек $\langle S, k \rangle$
 - k в унарной системе счисления
 - **Сертификатом является автомат**
 - Верификация за полином

Доказательство принадлежности классу NP-трудных задач

- **Сведем** задачу из NPC к нашей (по Карпу)
- Задача построения **автомата-распознавателя** по двум словарям S^+ и S^-
 - Является NP-полной согласно работе
E Mark Gold. Complexity of automaton identification from given data. Information and Control, 1978
- Каждому автомату-распознавателю соответствует управляющий автомат

Основная идея алгоритма

- «Раскраска» сценариев



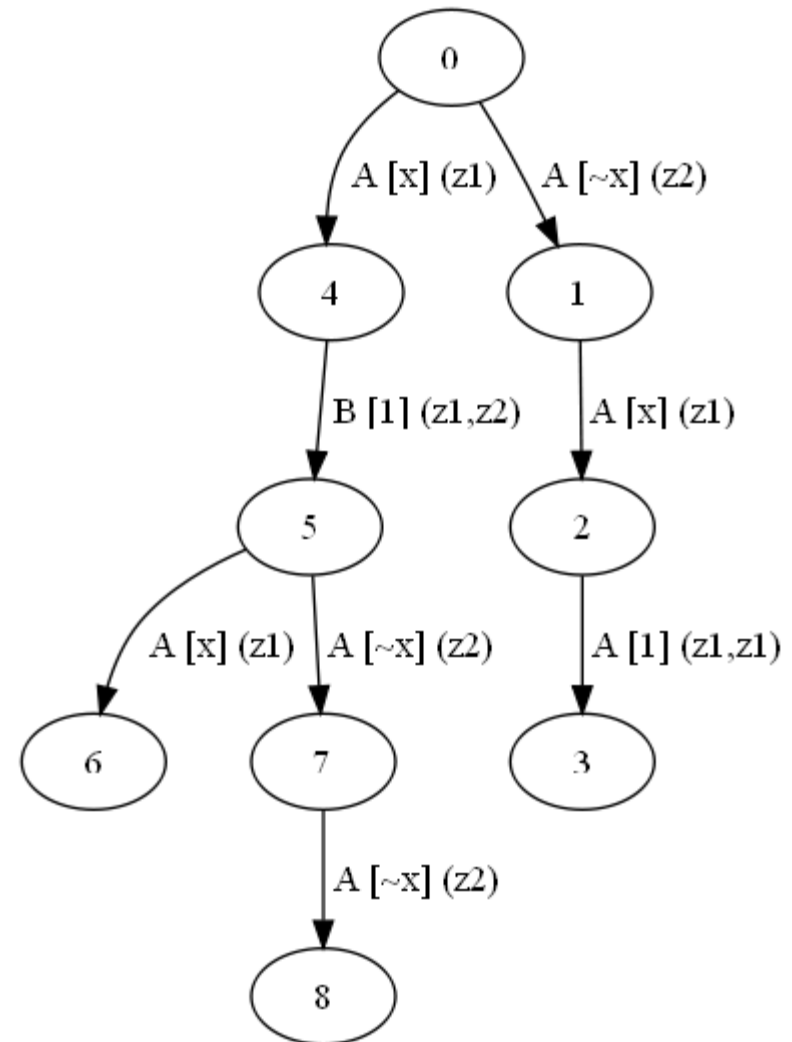
- Сопоставим каждому состоянию каждого сценария состояние искомого автомата
- Состояния искомого автомата будем различать **цветами**

Этапы работы алгоритма

- Построение **дерева** сценариев.
- Построение **графа совместимости**.
- Построение булевой **КНФ-формулы**
- **Запуск SAT-солвера**
- **Построение автомата** по найденному выполняющему набору значений переменных.

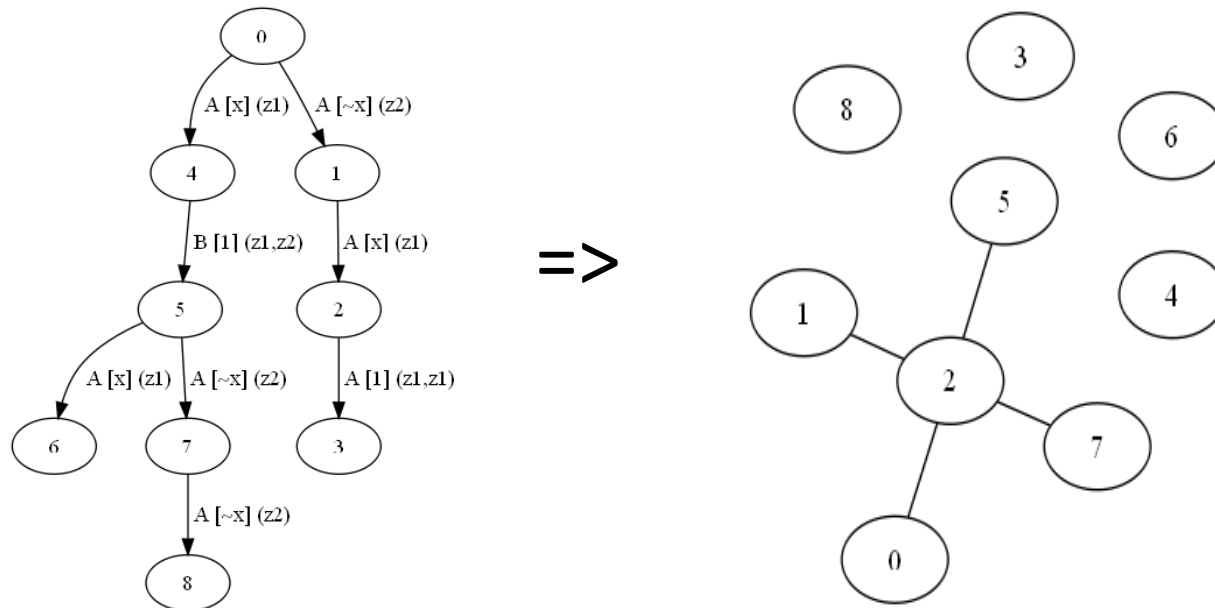
1. Построение дерева сценариев

- Сценарии из заданного множества S_c
- Пример дерева для трех сценариев:



2. Построение графа совместимости

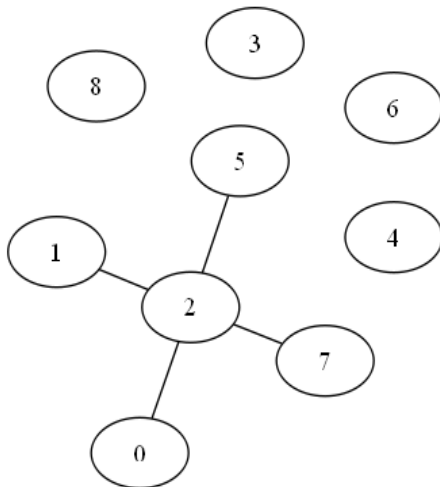
- **Динамическое** программирование
- Для каждой **пары** вершин за $O(1)$



3. Построение КНФ-формулы

- Переменные:

- $X_{v,i}$ – верно ли, что вершина v имеет цвет i
- $Y_{a,b,e,f}$ – верно ли, что в автомате переход из a по событию e и условию f ведет в b
 - Вспомогательные переменные



=> DIMACS CNF
 $O(|V|^2C^2)$

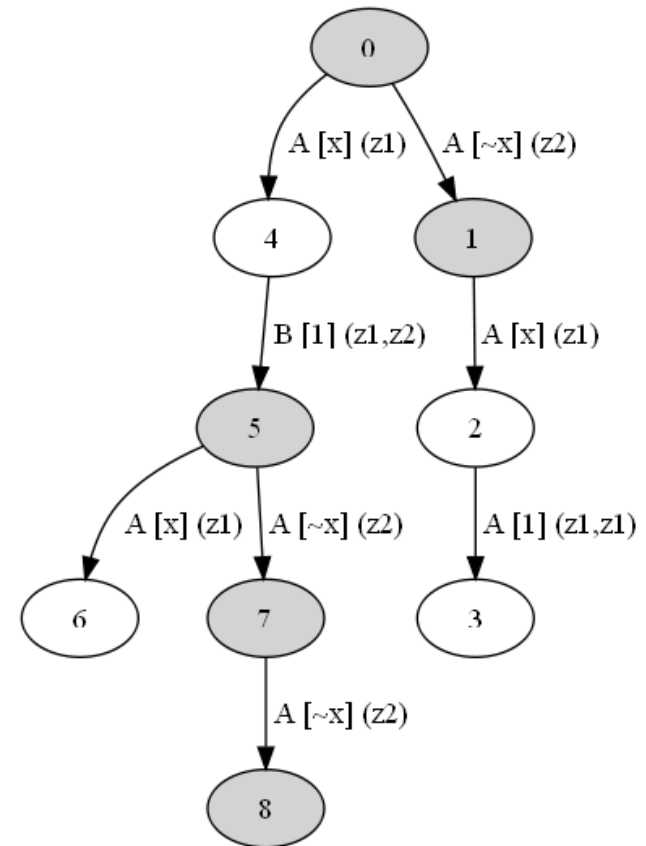
4. Запуск сторонней программы для нахождения значений переменных

- Используется **cryptominisat**
 - Победитель SAT RACE 2010
 - Кроссплатформенность

5. Построение автомата (1)

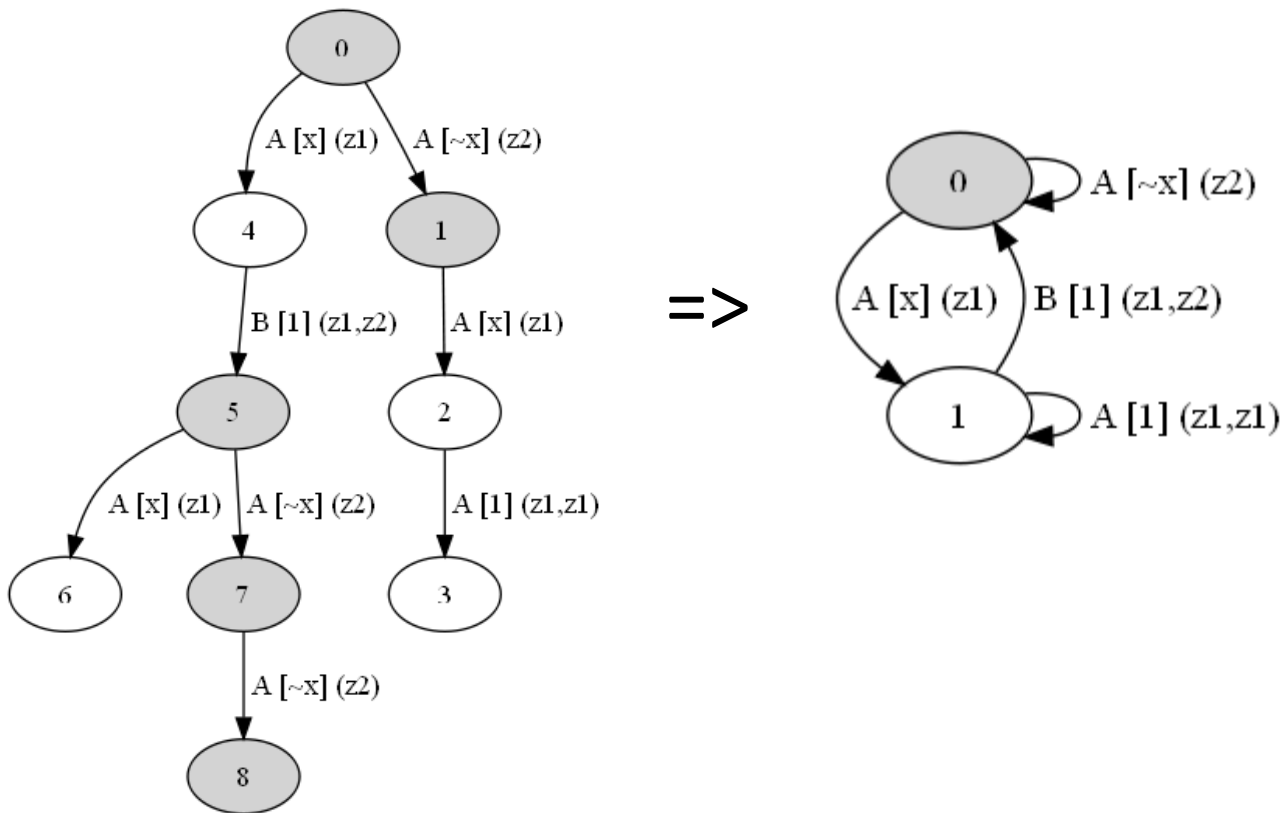
- **Раскраска дерева**

- По значениям переменных $x_{v,i}$, задающих цвета вершин дерева сценариев



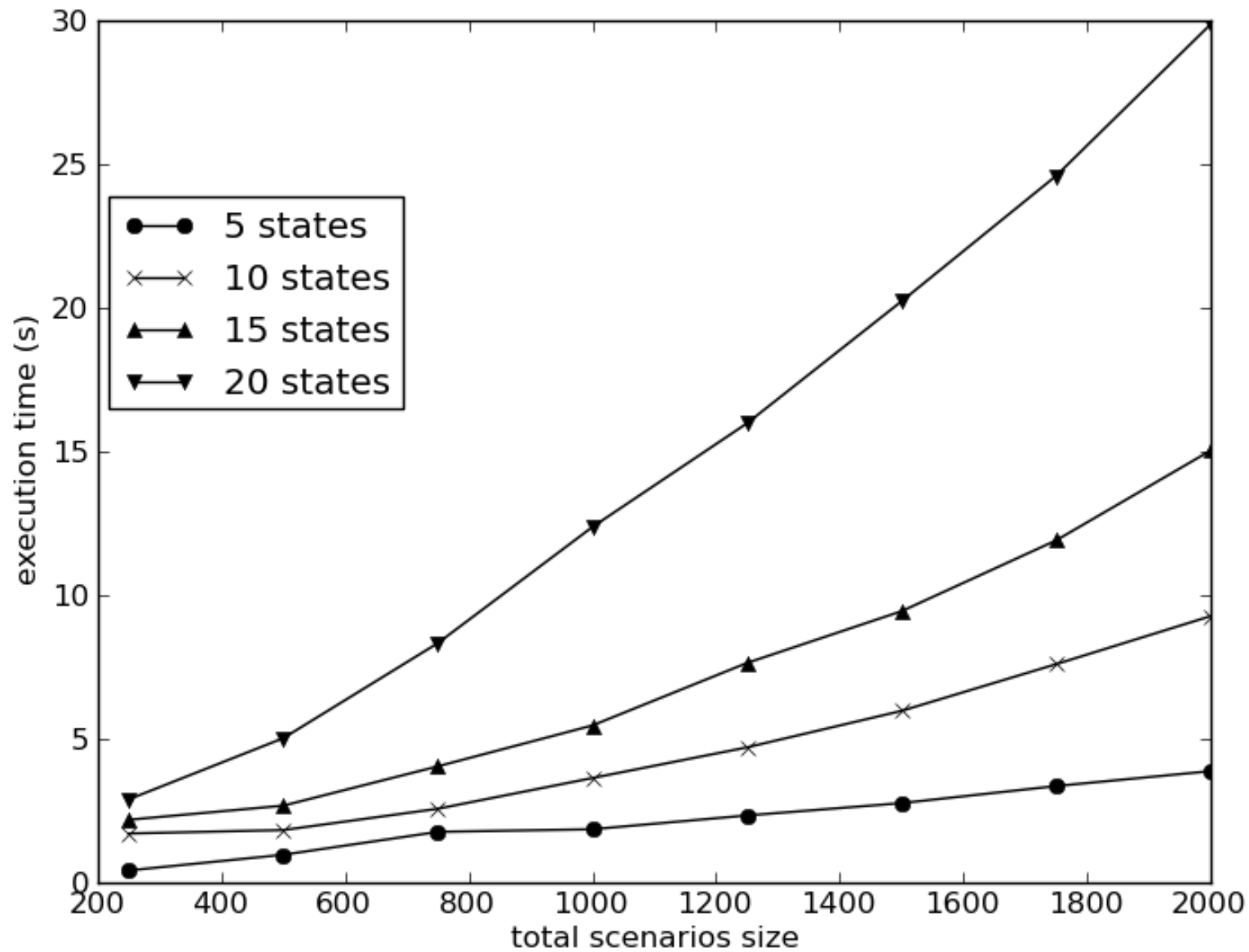
5. Построение автомата (2)

- Объединение вершин дерева одного цвета



Экспериментальное исследование

- Задача о будильнике – менее одной секунды
- Детальное исследование:
 - Генерируется **автомат**
 - По нему генерируется **набор тестов**



Результаты

- Доказана **NP-полнота** поставленной задачи
- Разработан **метод построения автоматов** по сценариям работы программы
- Разработано **инструментальное средство**, реализующее разработанный метод машинного обучения

Спасибо за внимание!