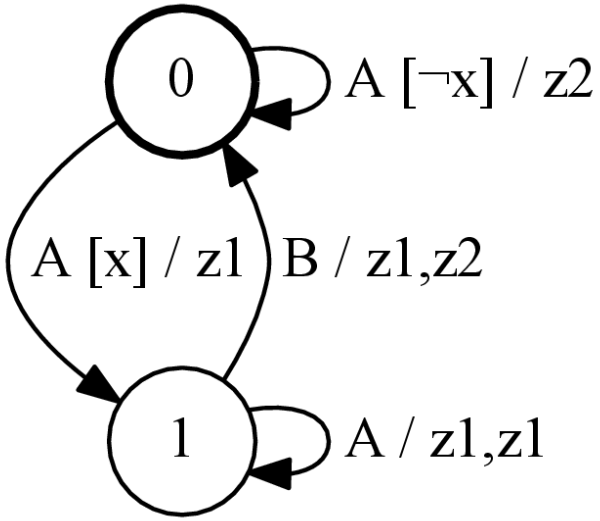
Использование решения задачи удовлетворения ограничений для построения управляющих конечных автоматов по сценариям работы

Курс «Введение в решение задач при помощи методов удовлетворения ограничений»

НИУ ИТМО, кафедра «Компьютерные технологии»

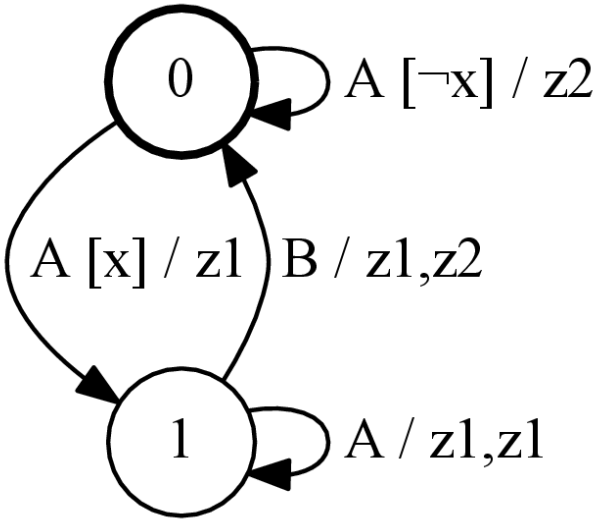
Управляющие автоматы и сценарии

- Управляющий автомат:
  - *e* – входное событие
  - *f* – охранное условие – булева формула, зависящая от входных переменных
  - *A* – последовательность выходных воздействий
- Сценарий работы – последовательность троек <*e*, *f*, *A*>



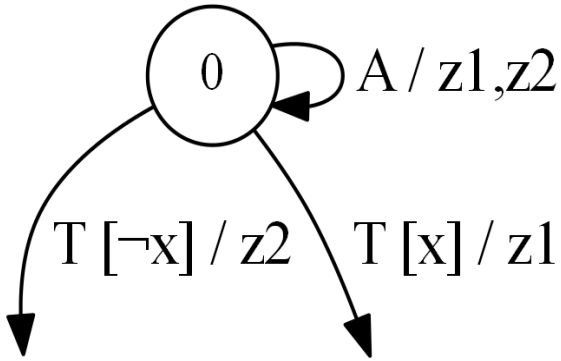
Примеры сценариев

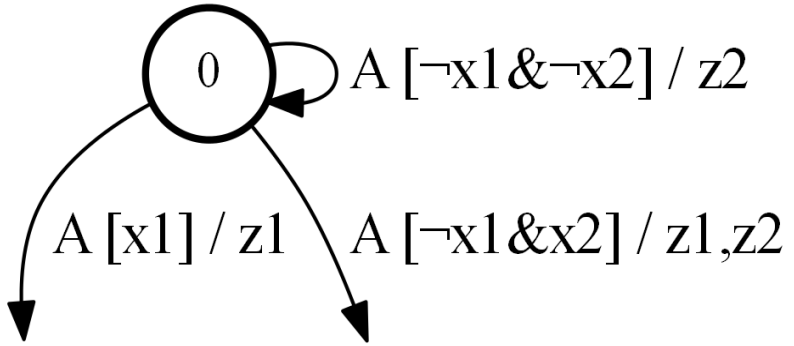
- Приведенный управляющий автомат:
  - Удовлетворяет <*A*, ¬*x*, (*z*2)> <*A*, *x*, (*z*1)>
  - Не удовлетворяет <*A*, *x*, (*z*2)>



Требования, предъявляемые к автоматной программе

- Непротиворечивость
- Полнота
  - «слабая»
  - «сильная»





Постановка задачи

- Входные данные:
  - Набор сценариев работы программы (*Sc*)
  - Число состояний управляющего автомата (*C*)
- Необходимо найти управляющий автомат
  - Состоящий из *C* состояний
  - Удовлетворяющий всем сценариям работы
  - Удовлетворяющий требованию полноты
  - Каждый переход подтвержден хотя бы одним сценарием работы

Известные решения

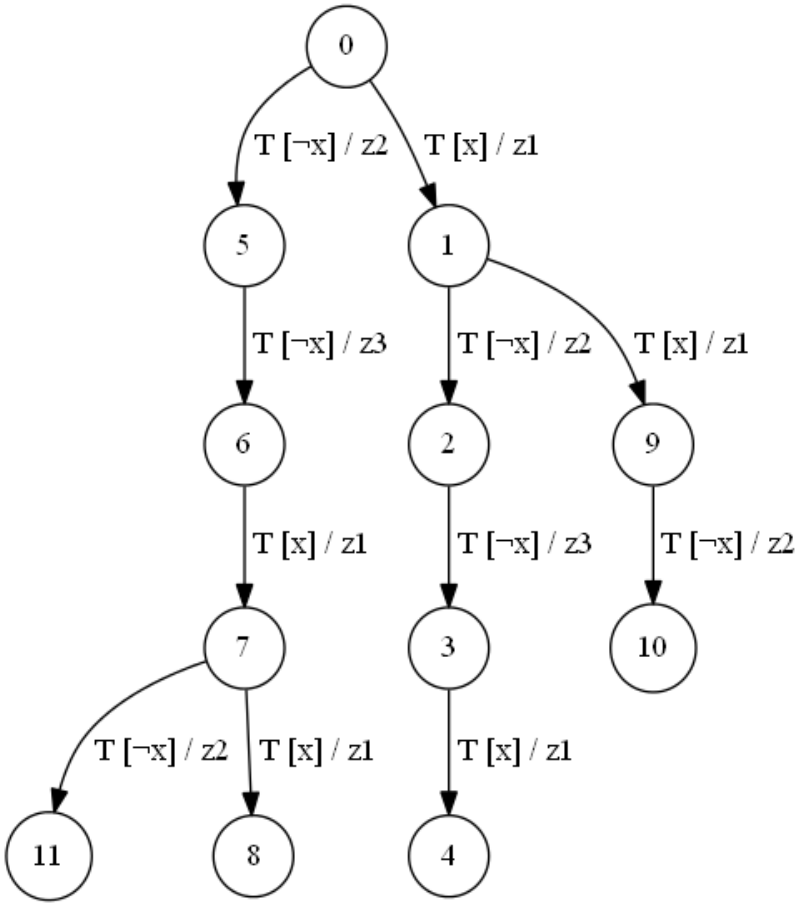
- В работах исследователей, строивших автоматы при помощи эволюционных алгоритмов, не рассматривается вопрос полноты
- Ulyantsev V., Tsarev F. Extended Finite-State Machine Induction using **SAT-Solver** / Proceedings of the Tenth International Conference on Machine Learning and Applications, ICMLA 2011, Honolulu, HI, USA, 18-21 December 2011. IEEE Computer Society, 2011. Vol. 2. P. 346-349
  - Не гарантируется полнота

Этапы работы предлагаемого алгоритма

- Построение дерева сценариев
- Построение графа совместимости
- **Построение набора ограничений на целочисленные переменные**
- Запуск сторонней программы, находящей решение
- Построение искомого управляющего автомата

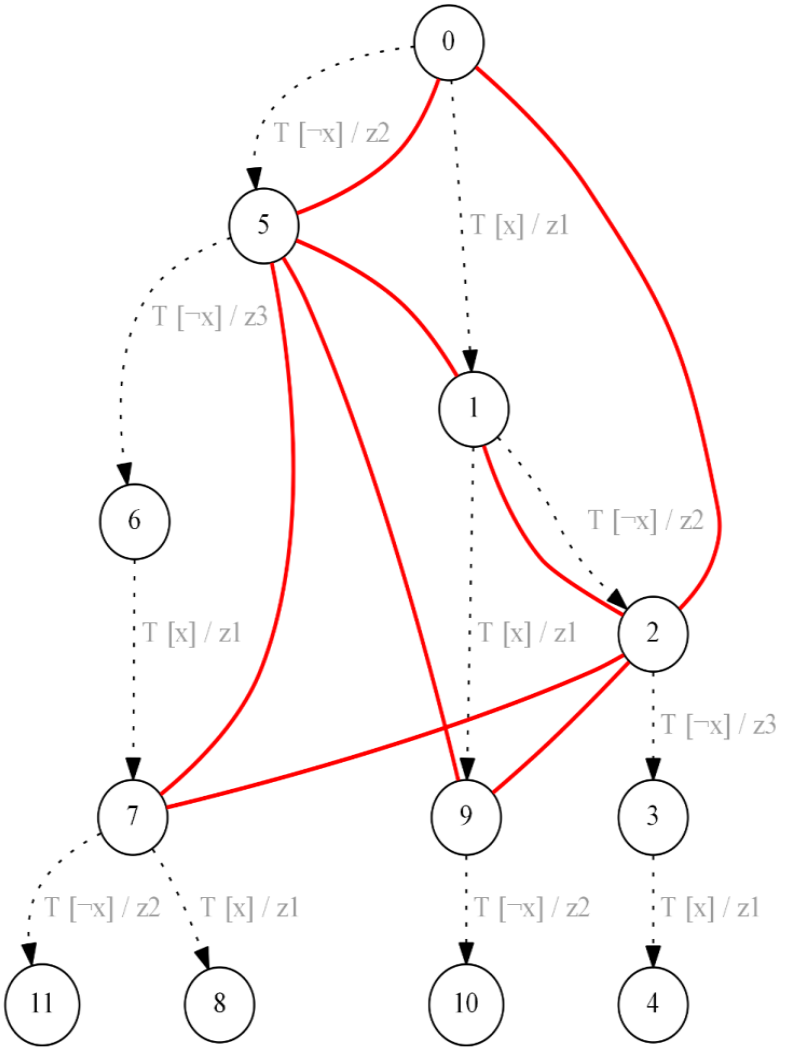
1. Построение дерева сценариев

- Аналогично построению бора
- Алгоритм прерывается, если найдено противоречие



2. Построение графа совместимости

- Вершины совпадают с вершинами дерева
- Вершины соединены ребром, если существует последовательность, различающая их
- Используется динамическое программирование



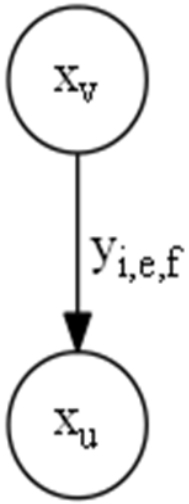
3.1. Используемые в ограничениях переменные

Целочисленные переменные:

- x_v – цвет, в который покрашена вершина v ($1 \le x_v \le C$)
- $y_{i,e,f}$ – номер состояния, в которое ведет переход из состояния i, помеченный событием e и охранным условием f ($1 \le y_{i,e,f} \le C$)

Булевы переменные:

- $z_{i,e,f}$ – существует ли вершина v в дереве сценариев, цвет которой равен i ($x_v = i$), и из нее ведет ребро, помеченное событием e и условием перехода f



3.2. Построение ограничений для требования непротиворечивости

Типы ограничений:

- $x_v \neq x_u$ – цвета несовместимых вершин должны быть различны
- $(x_v = i) \Rightarrow (y_{i,e,f} = x_u)$ – цвета вершин дерева не должны противоречить переходам автомата

3.3. Построение ограничений для требования полноты

$$z_{i,e,f} = 1 \Leftrightarrow (x_{v_1} = i \vee \ldots \vee x_{v_n} = i)$$

задание значений переменных $z_{i,e,f}$

$$\left(\sum_{f \in F_e} (z_{i,e,f} \cdot c(f)) = 0 \right) \vee \left(\sum_{f \in F_e} (z_{i,e,f} \cdot c(f)) = 2^m \right)$$

«Слабая» полнота

- $c(f)$ – число выполняющих подстановок для булевой формулы f
- для любого значения входных переменных найдется переход, или ни для одного из значений переменных перехода не существует

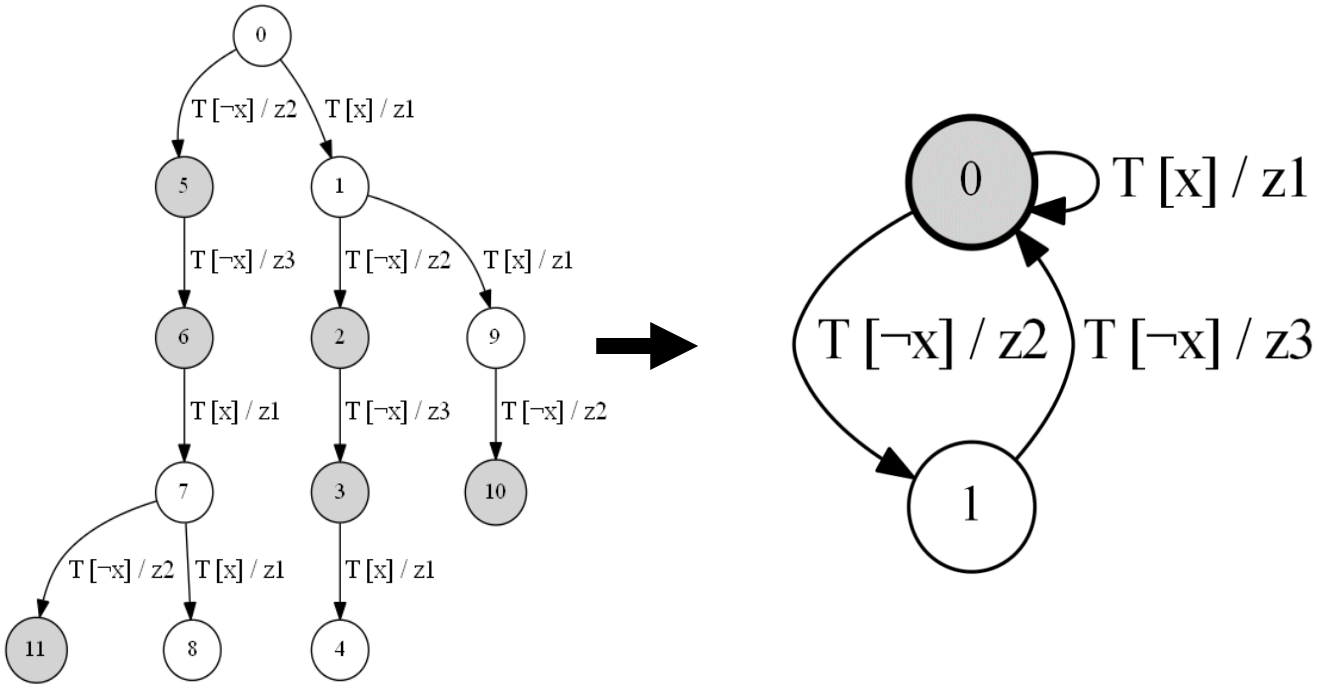
4. Сторонняя программа для нахождения значений переменных

Используются следующие методы Choco:

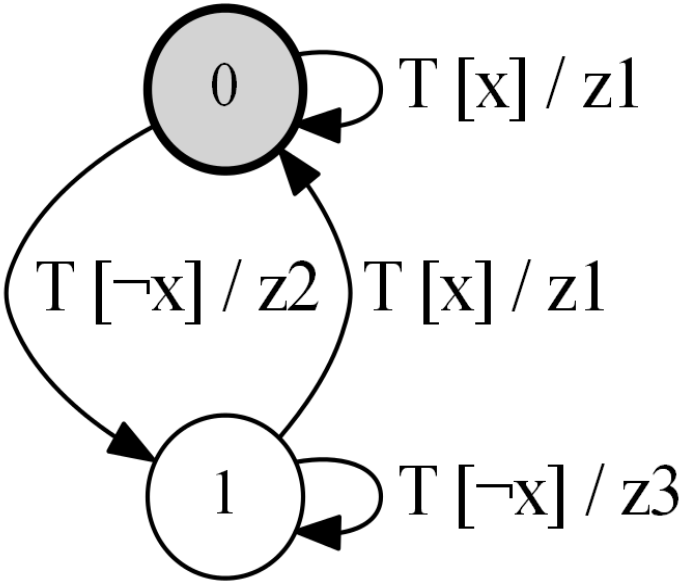
- model.addConstraint()
- makeIntVarArray()
- eq(), neq(), or(), ifOnlyIf(), implies(), equation(), constant()
- solver.solve(), solver.read()

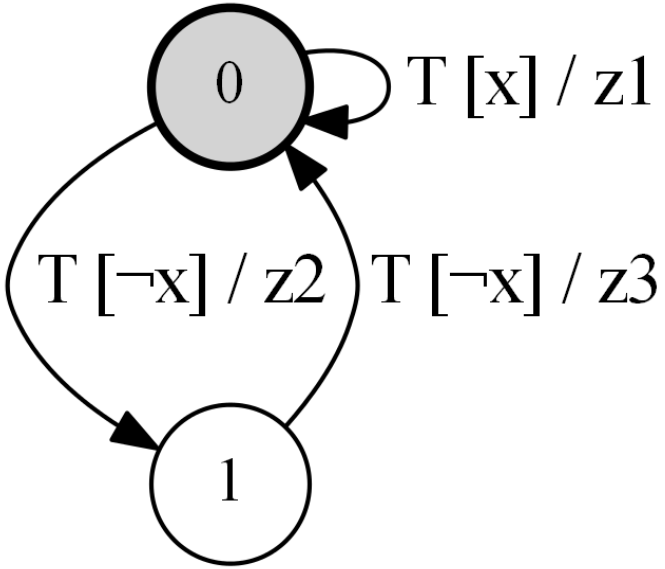
5. Построение искомого автомата

- Раскраска дерева
  - По значениям переменных x_v, задающих цвета вершин дерева сценариев
- Слияние вершин одного цвета



Пример построения автоматов с требованием полноты и без

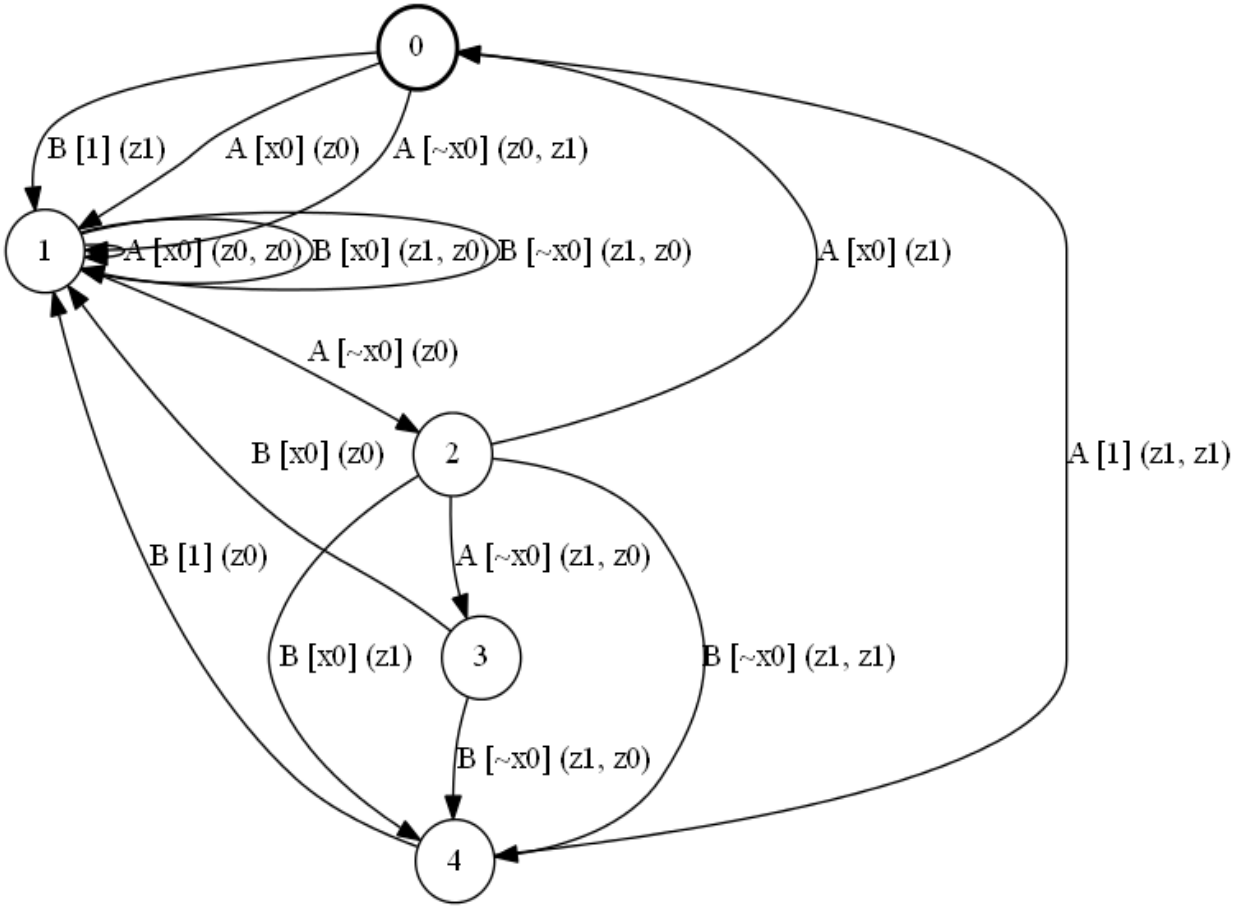




Экспериментальные исследования

1. Генерация полного случайного управляющего автомата
2. Построение сценариев работы, покрывающих все переходы автомата (случайные пути в автомате)
3. Запуск алгоритма на данных сценариях (с требованием полноты и без)
4. Сравнение исходного и полученного автоматов

Пример сгенерированного автомата



Результаты для 4 и 6 состояний

Число состояний	Суммарная длина сценариев	% полных автоматов A_N	Доля изоморфных A_N автоматов	Доля изоморфных A_C автоматов
4	800	0.9	0.1	**0.2**
4	900	0.9	**0.5**	0.4
4	1000	1.0	0.4	**0.5**
4	1100	1.0	0.5	**0.6**
4	1200	1.0	0.1	**0.2**
6	800	1.0	0.1	0.1
6	900	**0.7**	0.2	0.2
6	1000	0.9	0.0	**0.2**
6	1100	0.9	0.2	**0.3**
6	1200	0.9	0.1	0.1

Результаты для 8 и 10 состояний

Число состояний	Суммарная длина сценариев	% полных автоматов A_N	Доля изоморфных A_N автоматов	Доля изоморфных A_C автоматов
8	800	0.8	0.5	0.5
8	900	0.7	0.5	**0.6**
8	1000	0.8	0.6	0.6
8	1100	0.8	0.7	0.7
8	1200	0.5	0.8	0.8
10	800	0.4	0.3	0.3
10	900	0.6	0.3	0.3
10	1000	0.4	0.2	0.2
10	1100	0.4	0.4	0.4
10	1200	0.7	0.3	**0.4**

Результаты экспериментов

- Всегда были найдены полные автоматы
  - Метод, основанный на SAT, не всегда строит полные автоматы
  - В среднем производительность – несколько секунд
- Доля изоморфных автоматов выше
- Некоторые задачи считались десятки часов работы ПК
  - Дальнейшее исследование – доработка метода

Результаты

- Разработан и реализован метод построения управляющих автоматов, основанный на сведении задачи к **задаче удовлетворения ограничениям**
- Экспериментальные исследования продемонстрировали множество задач, для которых метод находит качественно лучшее решение

Спасибо за внимание!
Вопросы?