

Probabilistic Timed Alternating-time Temporal Logic

Логический подход к спецификации мультиагентных систем с вероятностным поведением

Сынтульский Сергей Сергеевич, гр. 545

Санкт-Петербургский государственный университет
Математико-механический факультет
Кафедра системного программирования

Научный руководитель: к.ф.-м.н., д. Соловьев И.П.
Рецензент: а. Бугайченко Д.Ю.

Базовые определения

- **Мультиагентные системы с вероятностным поведением** - это системы, в которых:
 - Действуют нескольких автономных агентов, каждый из которых может иметь свои цели.
 - Действия агентов оказывают на состояние системы вероятностный эффект.
- **Логический подход** состоит в построении формальной модели системы и определении на её основе точной семантики формул специальной логики, соответствующих свойствам системы.
- **Алгоритм проверки модели** высчитывает семантику формул логики на основе модели системы.

Базовые определения

- **Мультиагентные системы с вероятностным поведением** - это системы, в которых:
 - Действуют нескольких автономных агентов, каждый из которых может иметь свои цели.
 - Действия агентов оказывают на состояние системы вероятностный эффект.
- **Логический подход** состоит в построении формальной модели системы и определении на её основе точной семантики формул специальной логики, соответствующих свойствам системы.
- **Алгоритм проверки модели** высчитывает семантику формул логики на основе модели системы.

Базовые определения

- **Мультиагентные системы с вероятностным поведением** - это системы, в которых:
 - Действуют нескольких автономных агентов, каждый из которых может иметь свои цели.
 - Действия агентов оказывают на состояние системы вероятностный эффект.
- **Логический подход** состоит в построении формальной модели системы и определении на её основе точной семантики формул специальной логики, соответствующих свойствам системы.
- **Алгоритм проверки модели** вычисляет семантику формул логики на основе модели системы.

Постановка задачи

Развитие логического подхода для мультиагентных систем с вероятностным поведением. В частности:

- Разработка **языка описания моделей** мультиагентных систем с вероятностным поведением.
- Разработка **логики для описания свойств** таких моделей.
- Разработка и экспериментальная реализация **алгоритма проверки модели**.

Постановка задачи

Развитие логического подхода для мультиагентных систем с вероятностным поведением. В частности:

- Разработка **языка описания моделей** мультиагентных систем с вероятностным поведением.
- Разработка **логики для описания свойств** таких моделей.
- Разработка и экспериментальная реализация **алгоритма проверки модели**.

Постановка задачи

Развитие логического подхода для мультиагентных систем с вероятностным поведением. В частности:

- Разработка **языка описания моделей** мультиагентных систем с вероятностным поведением.
- Разработка **логики для описания свойств** таких моделей.
- Разработка и экспериментальная реализация **алгоритма проверки модели**.

Контекст исследования

Модели и логики

- Структура Крипке - LTL, CTL, TCTL.
- Параллельная игровая структура - ATL, ATEL, TATL.
- Марковская цепь с дискретным временем - PCTL.
- Марковский процесс принятия решений - PCTL, PBTL.
- Вероятностная игровая структура - PTATL.

Работы, которые велись на факультете по данной тематике

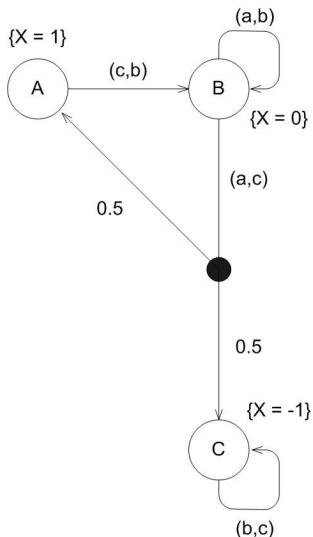
MASL - логический подход к спецификации мультиагентных систем с детерминированным поведением.

Вероятностная игровая структура

Определение

Параллельная вероятностная игровая структура M включает:

- Σ - множество игроков (2 игрока),
- Q - множество состояний (A, B, C),
- Γ - множество наблюдаемых (X),
- A - множество действий (a, b, c),
- $d : Q \times \Sigma \rightarrow 2^A$ - функция доступных действий,
- $\delta : Q \times A \rightarrow Dist(Q)$ - функция переходов,
- $\pi : Q \times \Gamma \rightarrow Integer$ - функция означивания.



События в вероятностной игровой структуре и логика PTATL

События

Пара (M, q) из вероятностной игровой структуры и её состояния задает пространство событий:

- **Элементарные события** - это цепочки состояний q_0, q_1, q_2, \dots такие, что $q_0 = q$ и $\forall i > 0 \exists a \in A \delta(q_{i-1}, a, q_i) > 0$,
- **Составные события** - это множества элементарных событий.

Логика PTATL

В данной работе предлагается логика **PTATL (Probabilistic Timed Alternating-time Temporal Logic)**, которая позволяет формулировать утверждения о способности группы агентов форсировать некоторое событие с вероятностью, удовлетворяющей данному ограничению.

Формулы PTATL

Логика PTATL включает два типа формул:

- **Формулы пути** описывают события (составные или атомарные) вероятностной игровой структуры:

$$\psi ::= \diamond\varphi \mid \square\varphi \mid \varphi U \varphi \mid \varphi W \varphi.$$

- **Формулы состояния** описывают способность определенной группы агентов форсировать событие:

$$\varphi ::= \langle\langle N \rangle\rangle_{>p} \psi \mid \varphi \wedge \varphi \mid \neg\varphi \mid a,$$

где N - группа агентов, a - логическое выражение над наблюдаемыми величинами.

Примеры

Пример 1

Агент 1 может действовать так, что условие $X > 0$ будет выполняться как минимум 2 шага с вероятностью 0.5:

$$\langle\langle 1 \rangle\rangle_{>0.5} \square_2 (X > 0).$$

Пример 2

Действуя сообща, агенты 1 и 2 могут сделать так, что $X=0$ выполнится хотя бы один раз за 10 шагов с вероятностью 0.75:

$$\langle\langle 1, 2 \rangle\rangle_{>0.75} \diamond (X = 0).$$

Реализация на основе PRISM

PRISM

PRISM - это язык описания моделей и инструмент проверки модели для логики PCTL, разработанный совместно Бирмингемским Университетом и Microsoft Research.

Интеграция с PRISM

В данной работе PRISM используется следующим образом

- Как библиотека операций работы с символьным представлением модели,
- Разработанное приложение является встраиваемым компонентом PRISM и использует его редактор моделей.

Инструментальное средство

Описание программы

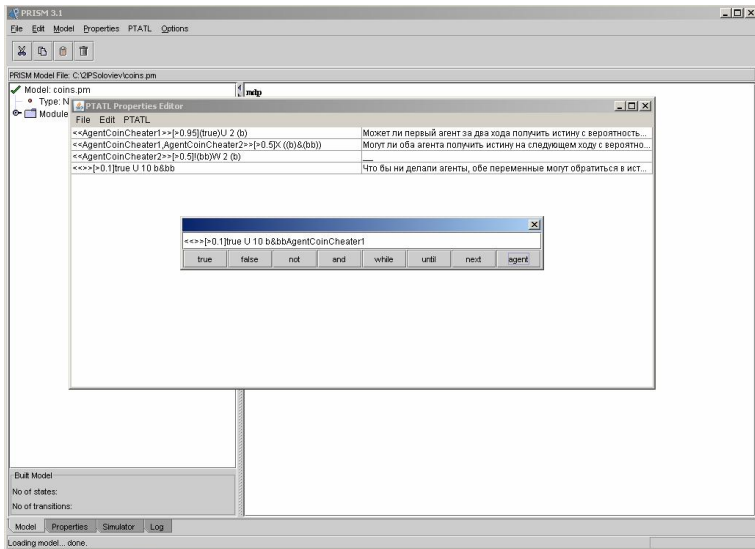
Инструментальное средство включает

- Реализацию алгоритма проверки модели,
- Конвертер моделей MDP, описанных с помощью PRISM, в модели вероятностных мультиагентных систем
- Средство графического редактирования формул PTATL.

Символьная проверка модели

В рамках данной работы был разработан символьный алгоритм проверки модели для PTATL. Символьное представление позволяет обходить проблему комбинаторного роста числа состояний и рассматривать системы, имеющие порядка 2^{27} состояний.

Инструментальное средство, screenshot



Предлагаемые области применения

В данной работе рассматриваются следующие области применения логического подхода на базе PTATL:

- Анализ процессов производства
 - Оптимизация процесса производства, поиск критических участков
 - Анализ дефектов (Failure Mode and Effect Analysis)
- Задачи финансовой инженерии
 - Вывод невыгодных инвестиций
 - Оценка производных ценных бумаг

Предлагаемые области применения

В данной работе рассматриваются следующие области применения логического подхода на базе PTATL:

- Анализ процессов производства
 - Оптимизация процесса производства, поиск критических участков
 - Анализ дефектов (Failure Mode and Effect Analysis)
- Задачи финансовой инженерии
 - Вывод невыгодных инвестиций
 - Оценка производных ценных бумаг

Результаты

- Модель вероятностных игровых структур
- Способ описания таких структур с помощью языка PRISM
- Логика PTATL
- Алгоритмы проверки модели для PTATL
- Экспериментальная реализация