

УДК 004.832.32

Методы решения задач классического интеллектуального планирования

*Багдасарян Е. А., студент
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Автоматизированные системы обработки информации и управления»*

*Научный руководитель: Черненко М. В., к.т.н, доцент
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана
chernen@bmstu.ru*

В книге [1] приводится следующее определение процесса планирования: «Планированием называется процесс выработки последовательности действий, позволяющих достичь цели». В современном мире задача планирования ставится во многих областях науки и экономики. Перемещение марсохода, обеспечение товарами торговых точек и магазинов, сборка сложных деталей на заводах, поведение персонажей в компьютерных играх и многие другие процессы часто представляют серьезную проблему для решения их человеком. Использование компьютеров при составлении планов представляется прекрасным способом решить многие проблемы по составлению планов, и оставить человеку только качественную оценку предложенных системой планов. Автоматический поиск плана принято относить к задачам из области искусственного интеллекта [2,3]. Поэтому, сам процесс поиска плана вычислительной машиной называют интеллектуальным планированием (AI planning), а задачу нахождения плана – задачей интеллектуального планирования. Хотя компьютер и человек по разному решают задачи планирования, оба используют аппарат математической логики, и рассуждения, необходимые для формирования плана, сводятся к логическому выводу [4]. Для формулировки задачи введем некоторые понятия, имеющие непосредственное отношение к процессу планирования.

Модель мира (world model) – определяет контекст, внутри которого построена задача. Например, для определения плана заправки автомобиля следует определить такие объекты как автомобиль или заправочная станция, а мощность двигателя не упоминать.

Состояние (state) - при изменении частей контекста мы меняем мир задачи и переводим его в новое состояние. Если мы зальем бензин в бензобак, то тем самым изменим состояние нашего мира и переведем его в новую точку пространства состояний.

Начальное состояние (initial state) – состояние мира, которое соответствует начальному моменту при выполнении плана. Например, машина на автозаправке.

Действие (action) – определяет изменения, которые произойдут в модели мира, если действие будет выполнено, Действие переводит мир из одного состояния в другое. Действие представляется в виде кортежа:

<Имя, Предусловие, Эффект>

Таким образом, на основании этих понятий определим:

Задача планирования заключается в поиске последовательности действий, применение которой в начальном состоянии модели мира, приведет к такому состоянию, в котором достигается заранее заданная цель.

План – последовательность действий, полученная в результате решения задачи планирования в терминах определенного домена, в котором описывается задача.

Домен планирования (Planning domain) – состоит из описаний видов действий, которые допустимы в данной модели, описаний динамики и законов мира и описаний возможных видов отношений между объектами. Можно сказать, что домен планирования похож на предметную область, но в отличие от предметной области домен не определяет сами объекты модели мира. Так можно определять только нужные объекты в задаче планирования, а описания мира оставить в домене, экономя время и увеличивая гибкость программы.

В зависимости от ограничений модели мира выделяют несколько видов планирования представленных на Рис. 1. Такое разделение основано на поэтапном увеличении сложности мира, действий, типов требуемых планов. К примеру, для построения реального планировщика, способного управлять миссией полета аппарата Rosetta Stone к комете или просто планированием испытаний на нашей планете [5], требуется учет неопределенности и ресурсов, как временных, так и физических. При решении таких задач можно с учетом различных приближений упростить себе задачу, так как точные результаты требуют очень сложных вычислений и трудно поддаются формальному описанию. Самым простым из теоретических подходов является классическое планирование.



Рис. 1. Различные виды задач планирования

Постановка задачи классического планирования

Перед определением задачи классического планирования введем еще несколько понятий.

Представление определяется как множество синтаксических и семантических соглашений, которое делает возможным описание предмета. В искусственном интеллекте под "предметом" понимается состояние в некоторой проблемной области, например, объекты в этой области, их свойства, отношения, существующие между объектами.

Синтаксис представления специфицирует набор правил, регламентирующих объединение символов для формирования выражений на языке представления. Можно говорить о том, что выражение хорошо или плохо сформировано, т.е. о том, насколько оно соответствует этим правилам. Смысл должны иметь только хорошо сформированные выражения.

Общепринятым в области искусственного интеллекта является синтаксис в виде конструкции предикат-аргумент, которая имеет форму

$\langle \text{фраза} \rangle ::= \langle \text{предикат} \rangle (\langle \text{аргумент} \rangle, \dots, \langle \text{аргумент} \rangle)$

В этой конструкции за k -местным предикатом должны следовать k аргументов. Так, at может быть двухместным отношением, в котором в качестве первого аргумента выступает имя некоторого объекта, а в качестве второго — его местонахождение (например, комната):

$at(\text{робот}, \text{комната}A)$

Семантика представления специфицирует, как должно интерпретироваться выражение, построенное в соответствии с синтаксическими правилами, т.е. как из его формы можно извлечь смысл. Спецификация обычно выполняется присвоением смысла отдельным символам, а затем индуцированием присвоения в более сложных выражениях. Так, присваивая смысл символам at , робот , $\text{комната}A$, мы можем сказать, что выражение

$at(\text{робот}, \text{комната}A)$

означает: робот находится в комнате A (но не наоборот — комната A находится в роботе).

Означенная формула – формула без свободных переменных, т.е. все переменные используемые в формуле определены.

Описание состояния (в целом) представляет собой описание множества отношений между объектами. Для обозначения различных отношений между объектами используются предикаты. В классическом планировании для описания состояния модели мира используется конечное множество означенных формул исчисления предикатов первого порядка. **Предикаты первого порядка** – формулы, в которых все переменные можно однозначно определить.

Просто множество формул не может являться описанием модели мира. Есть два варианта назначения семантики этим формулам. Первый вариант предлагает трактовать все формулы состояния как истинные высказывания о мире. Все остальные высказывания о мире, которые не входят в число тех, что описаны в состоянии или выводимы из них, считаются ложными. Второй вариант сужает множество допустимых формул до литералов. Тогда положительные литералы отражают истинные высказывания о мире, а отрицательные — ложные. используем первый подход, но сузим множество допустимых формул до множества атомарных формул (т.е. предикатов). Кроме того, не будем пользоваться функциональными символами исчисления предикатов, т.е. литералы не должны содержать функции. Итак.

Состояние в классическом планировании описывается при помощи конечного множества означенных атомарных формул (предикатов) не содержащих функциональные символы. Эти высказывания о мире считаются истинными. Прочие атомарные формулы,

которые могут фигурировать в описании состояний, но в описании данного конкретного состояния отсутствуют, считаются ложными. Например, то, что грузовик $truckA$ и груз $objB$ находятся внутри склада $depC$, можно выразить следующим образом.

Здесь $truckA$, $objB$ и $depC$ — это вполне конкретные сущности модели, а не абстрактные понятия. Не следует путать "понятие грузовик" и "данный конкретный грузовик с именем $truckA$ ". Пусть двуместный предикат $InDepot(x, y)$ отражает факт нахождения некоторого объекта в складском помещении. Первый аргумент — x — указывает, какой именно объект находится в складском помещении. Второй аргумент — y — указывает, в каком именно складе находится объект. Тогда атомарные формулы $InDepot(truckA, depC)$ и $InDepot(objB, depC)$ будут являться формальным описанием того, что упомянутые грузовик и объект находятся внутри склада $depC$. Если же эти формулы входят во множество формул, описывающих некоторое состояние, то мы получим состояние модели мира, когда грузовик и объект находятся в одном и том же складском помещении $depC$, т.е. они станут истинными высказываниями о состоянии модели мира.

Цель в классическом планировании задается при помощи одной формулы исчисления предикатов первого порядка. Как правило, для простоты цель задают в виде конъюнкции литералов. Тогда считается, что цель достигнута в некотором состоянии, если все положительные литералы цели присутствуют в описании этого состояния и ни один из отрицательных литералов цели не присутствует в описании состояния.

Возвращаясь к модели мира с грузовиками, объектами и складами, можно задать цель $InDepot(objA, depC) \& InDepot(objB, depF)$. Эта цель декларирует тот факт, что мы хотим найти такую последовательность действий, которая приведет нас из начального состояния модели мира, в такое состояние, в котором эта целевая формула будет истинной.

Состояние мира в классическом планировании изменяется только посредством оказания непосредственного воздействия на него. В классическом планировании предусловие и эффект описываются формулами исчисления предикатов первого порядка. **Действие в классическом планировании** состоит из трех компонент: имени, предусловия и эффекта. Имя — это символическое обозначение действия. Предусловие — это формула исчисления предикатов первого порядка, истинность которой в некотором состоянии модели мира говорит о том, что это действие можно выполнить в этом состоянии. Эффект — это конъюнкция литералов. Позитивные литералы определяют те атомарные формулы, которые будут гарантированно истинными в состоянии, полученном в результате выполнения действия. Отрицательные литералы определяют атомарные формулы, которые будут гарантированно ложными в новом состоянии.

Рассмотрим пример задачи, посвященной работе марсохода [7]. Допустим, стоит задача спланировать движение марсохода по поверхности планеты и сбора указанных предметов в определенных местах и сообщении о находки в центр управления на Земле. В задаче используется три локации - alpha, betta, gamma. Марсоход находится в alpha. Существуют три предмета – камень (rock) в локации betta, грунт (soil) в локации alpha и фотография поверхности в локации gamma (Рис. 2). Цель заключается в сборе всех предметов и отправки подтверждения в центр управления.

Эта задача является задачей классического планирования, потому что удовлетворяет всем требованиям определенным выше:

- Единая стоимость действий (нет различий в стоимости перемещения между локациями, добычей предметов и общением с Землей);
- Логические переменные (находится в локации/не находится в локации);
- Атомное время (время на выполнение действий не учитывается и считается, что действия происходят мгновенно);
- Известные состояния (все состояния мы можем описать);
- Полное достижение целей (невыполнение всех поставленных целей будет означать и невыполнение нашего плана).

Таким образом, мы имеем задачу классического планирования, которую можно описывать различными языками, такими как PDDL, STRIPS.

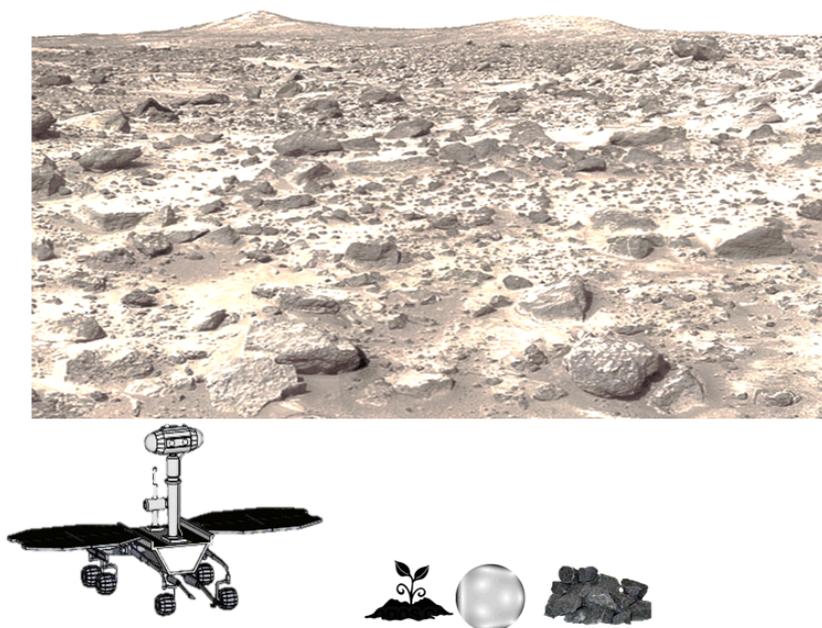


Рис. 2. Задача о марсоходе

Для задачи можно построить граф состояний, изображенный на Рис. 3. Здесь, узлы этого графа – состояния, а ребра – действия, которые можно совершить в этом состоянии. И так, для поиска нужно найти кратчайший путь из начального состояния в конечное. В данной задаче путем перебора можно подобрать решение задачи.

- 0:(sample soil alpha)
- 1:(drive alpha beta)
- 2:(communicate soil)
- 3:(sample rock beta)
- 4:(drive beta gamma)
- 5:(communicate rock)
- 6:(sample image gamma)
- 7:(communicate image)

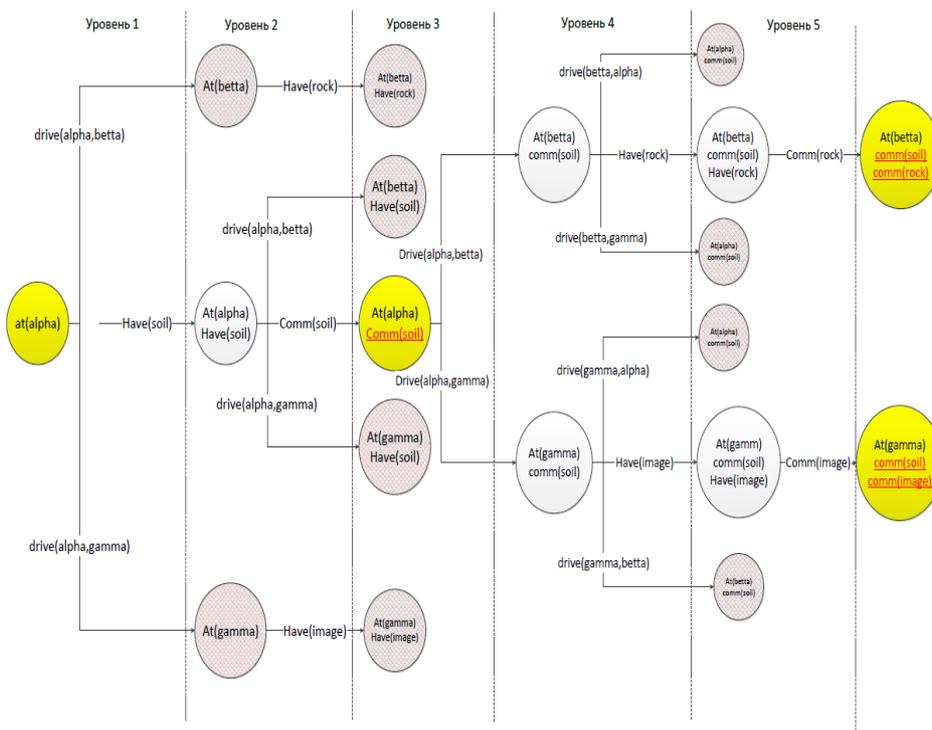


Рис. 3. Граф задачи о марсоходе

Доменно-независимые алгоритмы поиска

Существует много способов поиска правильного пути в графе [6], созданном планировщиком. Основная проблема заключена в подборе таких алгоритмов, которые будут способны работать на любом домене и справляться с задачами, определенными в этом домене. Таблица показывает такие стратегии поиска пути в ориентированном графе, которые также являются основными методами поиска по графу.

Класс	Описание
Best First Search	Производит поиск «первый - лучший», означающий что самые перспективные миры будут исследованы первыми (с минимальными расстояниями до цели)
Breadth First Search	Поиск в ширину, означающий исследование всех потомков до перехода на следующий уровень
Breadth Best First Search	Поиск в ширину, означающий исследование всех потомков до перехода на следующий уровень
Depth Best First Search	Поиск в глубину «первый лучший», выбор потомков, по которому будет производиться поиск в глубину происходит по принципу «первый –лучший»
Depth First Search	Поиск в глубину, означает исследование каждой ветви графа до самого конца, а потом возвращение на верхние уровни

Для реализации алгоритмов по методу «первый лучший» должна использоваться оценка, которая позволяет оценивать расстояние из конкретной точки графа до цели. Такой подход существенно опережает другие алгоритмы и использует эвристический анализ, но требуется качественная эвристика, которую трудно сделать доменно-независимой, так как оценка близости цели производится на основании данных домена и не может быть универсальна для всех видов задач.

Вывод

Развитие искусственного интеллекта ставит новые проблемы по организации действий автономных аппаратов. Различные виды планирования позволяют с необходимой точностью

решать возникающие проблемы. Самый простой вид планирования – классическое, не учитывает время и неопределенности, но позволяет быстро описать и смоделировать проблему. Для быстроты поиска плана, должны использоваться алгоритмы, одинаково эффективные для различных видов задач и доменов.

Список литературы

1. Рассел. С., Норвиг П. Искусственный интеллект: современный подход. 2-е изд.: М.: Издательский дом "Вильямс", 2006. 1408 с.
2. Bonet В., Geffner Н. Planning as heuristic search // Artificial Intelligence, Volume 129, Issue 1–2. 2001. P. 5–33.
3. Трофимов И.В. Анализ сложности задач для классического домена планирования Blocks World // VIII-ая международная конференция «Интеллектуальный анализ информации ИАИ-2008»: труды. Киев:Просвіта, 2008. С. 492—501.
4. Трофимов И.В. Значимый контекст рассуждений в задаче планирования // Первой международной конференции «Системный анализ и информационные технологии» САИТ-2005: труды. В 2-х т. Т. 1. М.:КомКнига, 2005. С. 227-229.
5. Crepaldi M. Rosetta mission. Mission plan generator for the scientific use of the sampler, drill and distribution subsystem. Available at: https://www.politesi.polimi.it/bitstream/10589/82862/3/Tesi_Crepaldi_751328.pdf, accessed 21.11.2014
6. Белоусов А.И., Ткачев С.Б. Дискретная математика. Изд. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. 744 с.
7. Meuleau N., Dearden R., Washington R. Scaling Up Decision Theoretic Planning to Planetary Rover Problems. Available at: <https://www.aaai.org/Papers/Workshops/2004/WS-04-08/WS04-08-012.pdf>, accessed 21.11.2014.