Оглавление

[1. Общее описание 2](#_Toc117251199)

[2. Моделирование среды 3](#_Toc117251200)

[3. Интеллектуальные агенты 5](#_Toc117251201)

[4. Исторический экскурс 7](#_Toc117251202)

[5. Классификация систем планирования 9](#_Toc117251203)

[6. Описание задачи и представление знаний 12](#_Toc117251204)

[7. Перспективные направления исследований 14](#_Toc117251205)

[Заключение 16](#_Toc117251206)

[Список литературы 17](#_Toc117251207)

**http://att-vesti.neva.ru/J5-1-5.HTM**

# 1. Общее описание

Наиболее распространенное неформальное описание задачи планирования заключается в следующем: активный элемент (агент) действует в некотором окружении (среде) и пытается достичь поставленной цели.

В каждый момент времени среда находится в некотором состоянии, при этом агент может выполнять действия, изменяющие состояние среды.

Задача планирования состоит в нахождении последовательности действий, которые позволяют агенту перевести систему из некоторого исходного состояния в заданное целевое состояние.

В общем случае целевое множество может состоять из нескольких состояний, достижение любого из них означает достижение цели. Возможна также ситуация, когда ни одно из этих эти состояний недостижимо, например, в силу того или иного поведения среды.

Формально задача планирования описывается следующим образом:

дана система агент-среда M=(Q,A,ГМ), где

Q - множество наблюдаемых состояний

A - множество действий

ГМ: QxA=>Q функция перехода: для каждого состояния q принадлежащего Q и действия a принадлежащего A определяет следующее состояние q'= ГМ(q,a), начальные условия I и множество целевых состояний G.

Требуется найти план – упорядоченное множество действий P={a1,..,an}, такое что суперпозиция функций перехода ГМ(ГМ (…ГМ (ГМ (q0, a1) a2)…, an-1), an) принадлежит G при q0 принадлежащего I.

При заданной системе агент-среда M=(Q,A,ГМ) для задачи планирования {I,G} удовлетворительная процедура построения плана GeneratePlan должна обладать следующими свойствами:

1. Корректность: для любой задачи с заданными M, I, G если GeneratePlan успешно генерирует план P, то выполнение шагов в P в любой ситуации, удовлетворяющей I, всегда дает состояние из множества G.

2. Полнота: GeneratePlan находит план-решение, если он существует

3. Системность: GeneratePlan никогда не рассматривает один и тот же план (полностью или частично) более одного раза.

Таким образом, в задаче имеются две основные составляющие – среда и агент.

# 2. Моделирование среды

Существуют два основных подхода к представлению среды:

1. Представление в пространстве состояний: строится граф среды, в котором вершины соответствуют состояниям, а дуги – действиям, позволяющим перейти из одного состояния в другое.

2. Представление в пространстве задач: формируется иерархия подзадач, исходная сложная проблема декомпозируется на несколько более простых, что в ряде случаев существенно облегчает решение.

Представление в пространстве состояний можно рассматривать как частный случай представления в пространстве задач, когда одна из подзадач является элементарной – переход в соседнее состояние.

В общем случае среда, в которой действует агент, обладает собственным поведением, которое может быть известно полностью или частично. Более того, в процессе выполнения плана агент обычно имеет дело не с реальными состояниями среды, а с наблюдаемыми, предполагаемыми на основе имеющейся у него информации.

Для построения плана и управления его выполнением необходимо построить формальное описание (модель) реальной среды. Поскольку в реальной ситуации обычно невозможно или крайне трудно построить абсолютно полную и корректную модель, приходится строить некоторую упрощенную модель среды, на основе которой агент генерирует и верифицирует план.

Основные способы, используемые для описания среды, базируются на методах представления знаний: продукционных моделях, логических выражениях, семантических сетях, фреймовых структурах.

В работах по теории планирования среда действий агента классифицируется по следующим признакам:

1. Дискретность/Непрерывность

1) Состояний: набор возможных состояний среды может быть дискретным или непрерывным. Для перехода от непрерывных состояний к дискретным возможно применение операции дискретизации, хотя иногда это усложняет задачу.

2) Действий: аналогично состояниям, множество действий может быть дискретным или непрерывным.

2. Детерминизм/Недетерминизм: в детерминированной среде каждой комбинации состояния и действия соответствует ровно одно следующее состояние. В недетерминированной среде следующим будет одно из нескольких возможных состояний. Недетерминированная среда называется стохастической, если существует некоторое вероятностное распределение по этим возможным состояниям.

3. Динамика/Статика: среда является статической, если ее состояние не меняется, когда агент не предпринимает никаких действий. В противном случае среда называется динамической.

4. Наблюдаемость/Скрытость: агент строит план на основании своих наблюдений за средой. Если этих наблюдений достаточно для уникальной идентификации состояния среды, то среда называется полностью наблюдаемой, в противном случае среда скрытая или частично наблюдаемая.

5. Марковская/Немарковская: в марковской среде следующее состояние зависит от текущего состояния и не зависит от предыдущих состояний. В немарковской среде (среде с памятью) обычно необходимо хранить информацию о предыдущих состояниях.

6. Синхронная/Асинхронная: синхронная среда является дискретной по времени – изменения состояния происходят каждый раз в момент действия агента. В асинхронной (непрерывной по времени) модели изменения происходят непрерывно, а агент взаимодействует со средой в момент выполнения действия.

Таким образом, вырисовывается одна из основных подзадач задачи планирования - построение модели среды, адекватной реальной системе и в то же время удобной для решения исходной задачи.

# 3. Интеллектуальные агенты

Второй фундаментальной составляющей в задаче планирования является понятие агента – того объекта, который действует в среде с намерением достичь цель.

Специальная управляющая подсистема (планировщик) генерирует план для агента и может управлять его выполнением. В реальной системе агент и планировщик могут быть реализованы раздельно и взаимодействовать посредством некоторого коммуникационного протокола.

Более универсальной концепцией является понятие интеллектуального агента, совмещающего в себе управляющий и исполняющий элементы. Существуют различные определения агента, два из которых приведены здесь:

1. Слабое определение агента:

Аппаратная или программная система, обладающая следующими свойствами:

Автономность – способность работать без внешнего управляющего воздействия.

Реактивность – возможность воспринимать среду, реагировать на ее изменения.

Активность – способность ставить цели и инициативно действовать для достижения поставленной цели.

Коммуникативность – способность взаимодействовать с другими агентами (или людьми)

2. Сильное определение агента:

Вычислительная система, обладающая перечисленными свойствами и, кроме того, реализованная на основе концепций, наиболее применимых к людям.

Примером интеллектуального агента является софтбот (программный робот) – система, взаимодействующая с компьютерной средой (например, операционной системой) посредством выполнения команд и интерпретации результатов команд и других сообщений среды.

В простейшем случае агент действует в одиночку, между тем очень интересна и в то же время сложна задача распределенного искусственного интеллекта, когда в системе действуют несколько агентов, некоторым образом взаимодействующих между собой.

Исследования в области интеллектуальных агентов ведутся в нескольких направлениях:

1. Теория спецификаций, то есть определение свойств, которыми должен обладать агент.

2. Архитектура агентов – реализация спецификаций, проблема построения вычислительной системы, удовлетворяющей заданным свойствам.

3. Языки программирования агентов – способы формального описания теоретических принципов, поиск оптимальных примитивов, эффективная компиляция и выполнение программ.

# 4. Исторический экскурс

Проблема планирования действий является одной из основных в области искусственного интеллекта, поэтому неудивительно, что исследования в этом направлении ведутся достаточно давно.

Ниже кратко характеризуются основные системы, определившие путь развития всего направления.

1. Oбщий решатель задач GPS (Newell, Shaw, Simon, 1957) Предшественником всех планировщиков является GPS - предметно-независимая система для решения задач. Из-за общности подхода система работала только в хорошо структурированных областях. В ней впервые введено понятие анализа конечных значений – оценка различия между текущим состоянием и целью и поиск действия, уменьшающего это различие.

2. Система обратного поиска в пространстве состояний STRIPS (Fikes and Nilsson, 1971). Характерными чертами планировщика STRIPS являются: представление среды через формулы логики первого порядка, использование правил вывода, анализ конечных значений и проверка предусловий операторов (действий) и целевой формулы. Система также была снабжена механизмом обучения через генерализацию найденных планов и их хранение. До сих пор отдельные компоненты системы (например, способ описания среды) активно используются в научных работах.

3. Планировщики с чередованием шагов: HACKER (Sussman, 1973),WARPLAN (Warren, 1973), INTERPLAN (Tate, 1974) Основное внимание при создании данных систем было уделено расщеплению исходной задачи на подзадачи и корректному взаимодействию с подцелями, то есть устранению возможных противоречий при достижении подцелей посредством изменения порядка подцелей или порядка шагов в процедуре.

4. Нелинейные планировщики NOAH (Sacerdoti, 1975) и NONLIN (Tate, 1977) В проблемно-ориентированной системе для помощи неспециалистам в ремонтных работах NOAH впервые применяется поиск в процедурных сетях (аналог пространства планов), используется иерархия подцелей и отложенное подтверждение для упорядочения подцелей. В усовершенствованной системе NONLIN вводятся причинные связи, а также используется обратное отслеживание и операторы модификации плана.

5. Система развитого формализованного поиска в пространстве планов TWEAK (Chapman, 1987) Нелинейная система, использующая технику введения ограничений для сужения множества планов, удовлетворяющих поставленной задаче. Результатом работы планировщика является класс полных решений, из которого можно выбирать конкретный строго упорядоченный по шагам план. Основой поиска является критерий модальной истины – правило выбора необходимых условий. Доказана корректность и полнота решающего алгоритма

6. Дальнейшее развитие: планировщики SNLP(Soderland, Weld, 1991) и O-PLAN (Currie, Tate, 1991) SNLP является нелинейным планировщиком, обладающим свойствами корректности, полноты и системности. SNLP служит основой большинства современных нелинейных систем планирования. В системе O-PLAN реализован иерархический планировщик, имеющий временное представление и способный манипулировать ограниченными ресурсами.

7. Мультиагентная система UCPOP (Penterthy, Weld, 1992) Одна из наиболее развитых систем планирования, использующая нелинейный и иерархический подходы и обладающая распределенностью – планирование производится для нескольких агентов.

8. Вероятностный планировщик BURIDAN (Hanks, Weld, 1995) В системе BURIDAN реализовано расширение классической модели планирования для работы с неопределенностями в среде посредством введения вероятностных распределений по исходным состояниям и результатам действий. Для данной формы представления приводится корректный и полный алгоритм решения задачи и методы оценки найденного плана.

# 5. Классификация систем планирования

Анализ работ по тематике планирования позволяет выделить классы используемых подходов, различающихся:

По способу взаимодействия со средой:

1. Автономное/Интерактивное планирование. В процессе генерации плана возможны следующие режимы взаимодействия со средой:

1) автономный – агент получает информацию о состоянии системы в какой-то момент времени и на этой основе строит план, то есть весь этап планирования заканчивается до начала выполнения плана.

2) Интерактивный – подразумевает использование информации о текущем состоянии среды в процессе составления плана, это может заключаться в чередовании планирования и выполнения.

2. Открытые и замкнутые планы. В открытом планировании агент, выполняющий план, не использует наблюдения о состоянии среды в процессе выполнения плана. В противном случае план рассматривается как замкнутый – в процессе выполнения используются информация о наблюдаемом состоянии среды

3. По отношению подцелей

1) Линейные и нелинейные

Линейность означает независимость подцелей – т.е. они могут быть последовательно достигнуты в некотором порядке. В нелинейной системе между подцелями существует некоторая зависимость, что вызывает необходимость чередовать определенным образом действия, направленные на достижение разных подцелей.

2) Основные способы решения проблемы нелинейности:

А) отложенное подтверждение – упорядочивание действий откладывается до возникновения конфликта

Б) линеаризация – преобразование подцелей для достижения линейности

В) распределенность - выполнение плана несколькими агентами. Нелинейное планирование введено в 1975 Sacerdoti в системе NOAH.

4. Иерархические и неиерархические

1) Неиерархическое планирование – это просто поиск цепочки действий для достижения цели. Основная проблема в том, что подцели не различаются по важности – планировщик может потратить большие ресурсы (время, память и т.д.) на достижение второстепенных целей.

2) Иерархическое планирование подразумевает создание планировщиком иерархии абстракций (подцелей). Это упрощает процедуру планирования – в начале создается план в общих чертах, потом идет детализация – спуск по иерархии. Выделяют два способа создания иерархий – в пространстве задач (расщепление плана) и в пространстве состояний (выделение состояний в классы эквивалентности).

Наряду с приведенной классификацией принято также выделять следующие подходы:

1. Условное и универсальное планирование

1) Условный план включает в себя действия, предпринимаемые в случае выполнения некоторого условия. Соответственно, агент должен обладать сенсорами для проверки выполнения условия и даже может планировать действия, направленные на проверку условий.

2) Универсальное планирование заключается в создании агентом универсального плана – такого, в котором определены действия агента для всех состояний при любом возможном поведении среды. Очевидно, что такое решение имеет смысл, например, для недетерминированных сред, и требует значительных вычислительных ресурсов как для генерации плана, так и для его последующего использования.

2. Оппортунистическое планирование

Классическая модель планирования подразумевает иерархическую декомпозицию исходной задачи на подзадачи до максимально достижимого уровня, после чего строятся простые планы достижения подцелей. Затем из этих частных планов строится полный план достижения исходной цели. Альтернативным подходом является оппортунистическое планирование, идея которого базируется на наблюдениях за процессом планирования человеческого индивидуума: после формулирования основной задачи сразу начинаются манипулирования простыми действиями, из которых составляются частные планы.

Потом происходит увязка этих частных планов в основной план. Фундаментальный аспект состоит в попытке взглянуть на исходную задачу с разных точек зрения, на практике это реализуется в создании "виртуальных специалистов" – интеллектуальных агентов, которые начинают действовать по выполнению какого-то условия и, в свою очередь, могут провоцировать действия других специалистов.

3. Адаптивное планирование

Основная идея данного подхода заключается в построении искомого плана посредством модификации некоторого исходного плана, который обычно берется из библиотеки решений по принципу максимальной близости к данной ситуации в некотором смысле. Основными задачами при использовании адаптивного планирования являются:

1) создание библиотеки планов,

2) выведение критериев выбора и создание процедуры адаптации, которая подразумевает изменение порядка шагов, добавление или исключение отдельных действий.

При условии существования библиотечного решения адаптация плана, как правило, является более выгодной процедурой, чем генерация, более того, задачу генерации плана можно рассматривать как адаптацию нулевого плана.

4. Реактивное планирование

В значительном числе случаев невозможно, затруднительно или нерационально генерировать полный план до начала действий агента. Обычно это обусловлено сложностью среды, неполнотой информации и ограниченной наблюдаемостью. При реактивном планировании агент не генерирует весь план заранее как в случае классического планирования. После выполнения одного или нескольких действий агент запускает процедуру перегенерации плана относительно своего текущего состояния. Другое распространенное название данного подхода - чередование планирования и выполнения. Одним из частных случаев является чередование планирования и обучения – в этом случае действия агента между генерациями плана направлены на сбор новой информации и совершенствование модели среды.

# 6. Описание задачи и представление знаний

Описание знаний о среде – формализация представления среды в системе планирования с учетом выявленных свойств, отношений и возможной неопределенности является одной из основных и наиболее сложных задач не только в области планирования, но и в области любых искусственных интеллектуальных систем.

Особенность современных систем планирования заключается в активном двустороннем взаимодействии с подсистемой управления знаниями, то есть не только использование уже имеющихся знаний, но и пополнение базы новыми знаниями, полученными в результате обучения, как принудительного, так и самостоятельного.

Исследования в области управления знаниями в настоящее время переживают активный рост, стимулируемый как нерешенными теоретическими задачами, так и практическими проблемами в области прикладных информационных технологий, в частности, задачами обработки больших объемов распределенной гетерогенной информации с целью извлечения знаний.

Основными способами описания знаний, используемыми в задачах планирования, являются:

1. Продукционные правила

Исторически первым подходом к описанию предметной области является использование продукционных правил: формализмов вида ЕСЛИ-ТО. Они достаточно просты и естественны и, как следствие, легко понимаемы. Однако при этом не реализуется целостность представляемых знаний, кроме того, при решении неоднородных задач продукционные модели оказываются низкоэффективными.

2. Логика предикатов

Логика предикатов является мощным средством описания знаний, обладает высоким уровнем модульности и, кроме того, позволяет обеспечить целостность знаний. Недостатками данного подхода являются чрезмерный уровень формализации представления знаний, трудность их прочтения, не слишком высокая производительность обработки.

3. Семантические сети

Характерной особенностью семантической сети является наглядность представления знаний системы. Однако, присутствующий в описании элемент произвольности влечет возможность возникновения противоречий в знаниях, полученных путем вывода. Управление непротиворечивостью при увеличении объема знаний резко усложняет их представление, что ограничивает круг решаемых проблем сравнительно небольшими задачами.

4. Фреймовое представление

Определяемая форма представления знаний как фреймов предполагает значительную степень свободы и не только описывает знания, но и алгоритмы вывода. Данный подход позволяет частично снять ограничения последовательного процесса обработки, однако усложняет приобретение знаний и уменьшает возможность динамической адаптации к изменениям среды. Для проблем большого масштаба описание и управление знаниями во фреймовой системе становится более сложным, чем в системах на основе продукционных правил, логики предикатов и семантических сетей.

5. Специальные языки планирования

Наиболее перспективным подходом является использование специальных языков планирования, которые обычно базируются на некотором обобщенном теоретическом фундаменте и являются с одной стороны достаточно абстрактными в смысле проблемно-независимости, но в тоже время оптимально ограниченными для их эффективного использования в системах планирования. Классический пример такого языка – язык системы STRIPS (1971г.), построенный на базе логики первого порядка с некоторыми упрощениями и успешно используемый в системах планирования до настоящего времени.

# 7. Перспективные направления исследований

Сложившееся в настоящее время положение в области исследований по тематике планирования действий характеризуется следующими особенностями:

1. Достаточно глубоко изучены вопросы, связанные с классическим планированием.

2. Ясно осознается ограниченность классического подхода к планированию при решении задач в реальных системах.

3. Исследовано большое количество частных случаев, как теоретического, так и практического характера.

4. Ведутся исследования в области гибких методов планирования, которые должны эффективно функционировать в динамически изменяемых средах.

5. Высокими темпами идет развитие информационных технологий, появляются сравнительно простые и доступные средства доступа к гетерогенным распределенным информационным ресурсам.

В данной ситуации основными направлениями исследований становятся:

1. Планирование в условиях неопределенности

Характерной чертой реальной системы является присутствие неопределенности, вызванное неполнотой используемой информации, невозможностью учета всех особенностей среды, ограниченностью человеческого знания, вероятностной природой отдельных элементов. Следствием этого является необходимость создания как новых методов планирования для недетерминированных сред, так и специальных методик описания и обработки знаний и построения моделей среды.

2. Информационное планирование

Современные системы обработки информации, включающие, как правило, географически распределенные информационные источники различной архитектуры, зачастую не справляются с растущими потребностями пользователей. Специфика заключается в том, что обработка сложного запроса в такой системе не может быть эффективно выполнена без предварительного тщательного планирования предстоящей деятельности.

Особое значение это приобретает в сети Internet, поскольку доступ к огромному количеству полезной и открытой информации затруднен из-за большого числа источников, неструктурированности данных, постоянно проводимых изменений и ограниченных скоростей передачи данных.

3. Планирование с ограничением ресурсов

Другой важной особенностью реальной системы является ограничение по ресурсам. Как правило, основными ресурсами являются временные и стоимостные, однако в конкретной задаче могут возникать и свои специфические ограничения.

4. Планирование во времени

Особое место занимают задачи, связанные с представлением планирования во времени. В этом случае к основному вопросу планирования (что делать?) добавляется другой (когда делать?). Обычно задачи такого плана относятся к теории составления расписаний.

5. Оптимальное планирование

В ряде случаев недостаточно только нахождение плана, позволяющего достичь заданную цель. Необходимо также произвести оптимизацию этого плана по некоторым заданным критериям – минимизация времени, расхода ресурсов, максимизация утилизации вторичных целей. Особо необходимо выделить задачи, суть которых заключается не только в построении оптимального плана как способа достижения цели, но и в оптимизации самой цели.

6. Динамическое и адаптивное планирование

Задачи планирования действий в сложных изменяющихся средах требуют особенной гибкости от интеллектуального агента. В таких системах невозможно или недостаточно только найти статический план, обычно требуется проводить динамическую адаптацию некоторого начального плана к постоянно меняющейся среде и, возможно, динамически меняющейся цели непосредственно по мере поступления новой информации.

7. Распределенное планирование

Особую группу составляют задачи распределенного планирования – планирование в системе с несколькими агентами, работающими над достижением одной цели. В этом случае необходимо изучать не только проблемы взаимодействия агентов со средой, но и вопросы взаимодействия агентов между собой, такие как обмен информацией и совместные действия.

# Заключение

Основной целью проделанной работы был анализ современного состояния исследований в области планирования действий. В работе приводится общее описание задачи и классификация ее основных компонентов, таких как среда, интеллектуальный агент, система представления знаний, алгоритм планирования. Выполнена классификация используемых подходов и методов планирования и их основные характеристики. На основании изученных материалов сделаны выводы о перспективных направлениях исследований в изучаемой области, обусловленных в первую очередь необходимостью решать теоретические и практические задачи в сложных, динамических средах в условиях неполноты информации, поскольку такие системы наиболее адекватно отображают проблематику реального мира. Очевидно, что успешное решение таких задач возможно лишь при интегрированном подходе, рассматривающем задачу не только с позиций теории планирования, но и с точки зрения других подходов, таких как теория игр, теория управления, теория принятия решений.

# Список литературы

Kambhampati S., Planning Methods In Artificial Intelligence. ASU, CSE TR 96-004, 1996.

Safra S., Tennenholtz M., On Planning while Learning. JAIR 9/1994

Wooldridge M., Jennings R. Intelligent Agents: Theory and Practice. Knowledge Engineering Review, Jan 1995

Hanks S., Weld D.S.,A Domain-Independent Algorithm for Plan Adaptation, JAIR N1 1995

Doyle P.,Planning. AI Qual Summary. Stanford University, 1997

Hayes-Roth, B., and Hayes-Roth, F. A cognitive model of planning. Cognitive Science, 1979

Kushmerick N, Hanks S, Weld D.S. An Algorithm for Probabalistic Planning. TR-93-06-03, 1994

Alterman R. Issues in Adaptive Planning. BCSR UCB, 1986

Искусственный интеллект. Модели и методы (т. 2). П/р Поспелова Д.А., М.,"Радио и связь", 1990 10. Осуга С., Обработка знаний. М.,"Мир",1989