

УДК 681.324

С.В. Добрецов (асп. каф. АиВТ), Л.К. Птицына, д.т.н. проф.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НЕЛИНЕЙНЫХ ПРОЦЕДУР ПЛАНИРОВАНИЯ ДЕЙСТВИЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ АГЕНТОВ

На практике понятие интеллектуального агента (ИА) отождествляют с вычислительной системой, обладающей набором свойств, совокупность которых обеспечивает относительно интеллектуальное поведение. Основными свойствами ИА являются:

- Автономность: способность функционировать независимо от внешних управляющих воздействий (например, контроля оператора).
- Реактивность: способность к восприятию агентом состояния окружающей среды (внешнего мира) и изменений этого состояния, а также к учету этой информации в своей деятельности.
- Целеустремленность: способность к целенаправленному поведению для достижения заданной цели, устанавливаемой самостоятельно или извне.
- Рассудительность: способность действовать в соответствии с имеющимися в распоряжении агента знаниями.
- Обучаемость: способность к приобретению и использованию новых знаний.
- Коммуникабельность: способность агентов взаимодействовать между собой, а также с другими интеллектуальными существами (например, людьми) с целью обмена информацией.
- Кооперативность: способность агентов к совместным действиям.

Другой важной характеристикой ИА является модель поведения, которая может быть:

1. Реактивная: выполнение predetermined наборов действий в зависимости от текущего состояния среды.
2. Проактивная: генерация и исполнение плана действий на основании имеющихся в распоряжении агента знаний (модель среды) и поставленной цели. Ведущими факторами, влияющими на функциональность нереактивных агентов, являются качество модели среды, корректность выбора целей и способность генерировать и исполнять план действий, обеспечивающий достижение поставленной (выбранной) цели. В данной работе предложены различные подходы к реализации подсистемы планирования действий и их потенциальные области.
3. Гибридная: в разные моменты времени агенты демонстрируют как реактивное, так и проактивное поведение.

Планирование действий как важная составляющая теории решения задач занимает одно из ведущих мест в исследованиях в области интеллектуальных систем. За более чем 40 лет, прошедшие с момента создания первого автоматизированного планировщика, были предложены разнообразные подходы к построению планов, подкрепленные десятками успешных практических реализаций.

Для формального описания задачи планирования можно использовать представление в пространстве состояний, определяемое через систему агент-среда:

$$M = (Q, A, \Gamma_M),$$

где Q – множество наблюдаемых состояний; A – множество действий; $\Gamma_M: Q \times A \rightarrow Q$ – функция перехода, определяющая для каждого состояния $q \in Q$ и действия $a \in A$ следующее состояние $q' = \Gamma_M(q, a)$;

Под задачей планирования понимается двойка $\langle I, G \rangle$, где компонента $I \subset Q$ определяет

множество начальных состояний, а компонента G задает желаемое поведение среды, например, в виде множества целевых состояний ($G \subset Q$). Решением задачи (планом) является упорядоченное множество действий $P = \{a_1, \dots, a_n\}$, такое что суперпозиция функций перехода $\Gamma_M(\Gamma_M(\dots \Gamma_M(\Gamma_M(q_0, a_1) a_2) \dots, a_{n-1}), a_n) \in G$ при любом $q_0 \in I$. Решение P задачи планирования $\langle I, G \rangle$ называется минимальным, если любая последовательность операторов, получаемая удалением произвольного количества элементов из P , не является решением задачи планирования.

Ранние системы планирования (такие как GPS и STRIPS) использовали поиск (иногда двунаправленный) линейно упорядоченной последовательности шагов непосредственно в пространстве состояний. Однако существование класса задач, неразрешимых с помощью линейных алгоритмов (аномалия Суссмана), породило необходимость в новых подходах к построению планов, таких как:

- Иерархическое планирование, заключающееся в создании планировщиком иерархии абстракций (подцелей). Это упрощает процедуру планирования, поскольку в начале создается план в общих чертах, а потом происходит детализация – спуск по иерархии. Выделяют два способа создания иерархий: в пространстве задач (расщепление плана) и в пространстве состояний (выделение состояний в классы эквивалентности).
- Нелинейное планирование с отсутствием строгой упорядоченности шагов в процессе построения плана, что позволяет существенно расширить класс решаемых задач и снизить вычислительную сложность поиска.

Согласно оценкам ведущих экспертов в области систем планирования одним из наиболее перспективных направлений является нелинейное планирование с представлением в пространстве частичных планов. В этом случае для построения модели среды обычно используется язык описания действий (Action Description Language, ADL), в котором каждое возможное действие (оператор) $o \in A$ описывается через два набора формул логики предикатов первого порядка, называемых условиями $Prec(o)$ и постусловиями $Post(o)$ данного оператора. Для данного представления решением задачи планирования $\langle I, G \rangle$ называется упорядоченное множество (цепочка) операторов $P = \{a_1, \dots, a_n\}$, $a_i \in A$, удовлетворяющее следующим условиям:

1. S является выполнимым, то есть $I \models Prec(a_1)$, $a_{k-1}(a_{k-2} \dots (a_1(I))) \models Prec(a_k)$, $2 \leq k \leq n$.
2. Последовательность состояний $I, a_1(I), \dots, a_n(a_{n-1} \dots (a_1(I)))$ удовлетворяет условиям G задачи планирования.

Сравнительный анализ существующих алгоритмов планирования, проведенный на основе экспериментального исследования, позволяет сделать следующие заключения:

- Ведущие алгоритмы планирования, такие как NONLIN, TWEAK, SNLP, UA и их модификации демонстрируют высокую функциональность и способны решать сложные задачи, требующие генерации планов, состоящих из несколько десятков, а то и сотен шагов.
- Более глубокий анализ производительности алгоритмов относительно расширенного набора показателей, оценивающих утилизацию вычислительных ресурсов и эффективность поиска, показывает, что ни один из существующих алгоритмов не является наилучшим на всем спектре решаемых задач.
- Повышение производительности системы планирования может быть достигнуто за счет локальной оптимизации, заключающейся в определении оптимального алгоритма решения для конкретной задачи планирования.

Также следует отметить, что при использовании алгоритмов планирования в прикладных задачах необходимо принимать во внимание основные ограничения данного подхода, такие как:

1. Необходимость в формализованном описании предметной области с достаточной степенью точности.

2. Невозможность учета всей информации о предметной области.
3. Высокая вычислительная сложность (в общем случае нахождение плана является PSPACE-трудной задачей, проверка плана – NP-трудной задачей, а проверка существования плана – NP-полной задачей).