

УДК 681.51

ЗАДАЧА ОБУЧЕНИЯ ДВИЖЕНИЮ ПО ТРАЕКТОРИИ БЕСПИЛОТНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДСМ-МЕТОДА

Д.А. Добрынин (*minirobot@yandex.ru*)
ФИЦ ИУ РАН, Москва

Аннотация. В статье описывается задача планирования движения мобильного робота по траектории при наличии препятствий с использованием динамического ДСМ-метода. В качестве учителя может выступать человек или любой внешний алгоритм. Приведены качественные результаты процесса обучения.

Ключевые слова: ДСМ-метод, машинное обучение, движение по траектории.

Введение

Одной из важных задач планирования движения мобильных роботов является задача достижения определенной цели при наличии препятствий. Несмотря на кажущуюся внешнюю простоту, решение данной задачи вызывает большие сложности при попытках реализации для беспилотных транспортных средств (БТС). Эта задача может быть решена различными методами: от построения траектории математическими методами до различных методов ИИ. Так как робот является системой реального времени, то естественно, что при реализации предпочтение будет отдаваться методам, обладающим наименьшей вычислительной сложностью, при сохранении приемлемого качества управления. Одним из перспективных являются методы, основанные на обучении, позволяющие получить требуемый результат и обойтись без построения сложных математических моделей [Anshakov, 2010].

Современные БТС являются сложными системами, имеющими большое количество датчиков (рецепторов) и управляемых механизмов (эффекторов). Увеличение количества сигналов рецепторов приводит к очевидным сложностям обучения. Например, при R независимых входных сигналах размерность входного алфавита автоматной модели определяется как $\dim X=2^R$ и очень быстро растет при увеличении R . Введение параллелизма, например, в случае использования нейронной сети, не спасает ситуацию - время обучения возрастает экспоненциально и

становится недопустимо большим даже для сравнительно небольших выборок.

Отсюда неизбежно возникает задача классификации множества входных сигналов, т.е. распознавание ситуаций. Классификатор может быть различного вида – от множества продукций до реализации в виде нейронной сети или хромосомы генетического алгоритма. Его функция заключается в анализе входного вектора и определении класса, к которому этот вектор относится.

Основная задача состоит в создании этого классификатора как результата адаптивного поведения робота, т.е. результата его обучения или самообучения.

На работе «Амур» [Добрынин и др., 2006] проводились эксперименты по построению классификатора с помощью двух методов: эволюционного моделирования (ЭМ) и динамического ДСМ-метода [Добрынин, 2006]. В качестве простого примера было взято движение робота по контрастной полосе, когда робот имеет фотодатчики и двигается по полосе. Требовалось построить управляющую систему, которая бы заставляла робота корректно двигаться по этой полосе.

1. Постановка задачи

В данной работе рассматривается следующий вариант задачи движения по траектории, представленный на рис. 1:

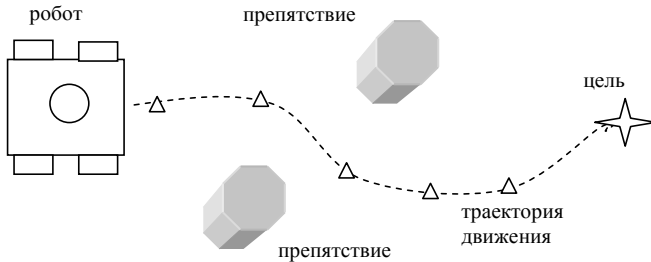


Рис. 1. Движение робота по траектории с препятствиями

Беспилотное транспортное средство стремится достичь цели, минуя препятствия. Точки траектории при движения робота могут задаваться как специальным приемником, так и заданием координат относительно робота. Для этого на роботе должен быть либо приемник, который умеет

определять направление на текущую цель с некоторой точностью, либо система определения координат. При движении к цели робот должен объехать препятствие (или несколько препятствий), которые могут динамически менять свое местоположение. Для обнаружения препятствия на роботе установлена система обнаружения, которая определяет направление на препятствие и дальность до него (до ближайшей точки препятствия) с некоторой точностью.

Особенностями данной модели являются:

- траектория движения задается явным образом;
- существуют неустранимые погрешности измерения углов, координат и расстояний, определяемые техническими параметрами устройств обнаружения;
- препятствия могут перемещаться, поэтому требование оптимальности траектории движения робота не ставится.

2. Динамический ДСМ-метод

Для создания системы управления, способной обучаться, можно построить классификатор входных сигналов с помощью ДСМ метода. Аббревиатура ДСМ расшифровывается как Джон Стюарт Милль. Метод назван в честь британского философа XIX века, идеи которого положены в основу метода. ДСМ-метод автоматического порождения гипотез [Финн, 1991] является теорией автоматизированных рассуждений и способом представления знаний для решения задач прогнозирования в условиях неполноты информации. Классический ДСМ метод работает с замкнутым множеством исходных примеров, которое формируется экспертом и составляет базу знаний. Каждый пример описывается множеством элементарных признаков и наличием (или отсутствием) целевого свойства. С помощью специальных логических процедур из этой базы знаний ДСМ-система получает гипотезы, которые объясняют свойства исходных примеров из-за наличия или, наоборот, отсутствия в структуре примеров определенной совокупности признаков. Таким образом, ДСМ система выделяет из исходной информации в базе знаний существенные совокупности признаков, т. е. осуществляет автоматическую классификацию. ДСМ метод успешно применим в тех областях знаний, где пример можно представить в виде множества (или кортежа) элементарных признаков.

В отличие от классического ДСМ метода, который работает с замкнутым множеством исходных примеров и заранее определенными их свойствами, динамический ДСМ метод позволяет работать в открытой среде с неизвестным заранее количеством примеров [Добрынин, 2006].

Динамический ДСМ работает в двух режимах:

- режим обучения, когда происходит заполнение базы фактов (множество обучающих примеров) и генерируются гипотезы, составляющие базу знаний;

- рабочий режим, когда полученные ранее гипотезы используются для выработки сигналов управления.

Множество обучающих примеров – это множество пар вида

$$E = \{e_i\} = \{(X_i, u^i)\},$$

где X_i - вектор сигналов рецепторов, u^i – вектор управления (состояние исполнительных механизмов). Элементы векторов сигналов и управления представляются парами двоичных значений:

включено = {01}, выключено = {10}

не важно = {00}

Такое представление необходимо для корректного выполнения операций пересечения и вложения над битовыми строками.

Операция пересечения (нахождения общей части) двух объектов при использовании битовых строк реализуется с помощью логической функции «побитовое И». Операция вложения, отвечающая на вопрос – входят ли все компоненты объекта А в объект В, реализуется как «побитовое И» элементов объектов А и В, а затем сравнение результата с элементами вкладываемого объекта А.

Гипотезы представляются в виде множества пар вида:

$$G = \{g_i\} = \{(x_i, y^i)\},$$

где x_i – часть вектора сигналов рецепторов, y^i – требуемый вектор управления (необходимое действие). Гипотезы существуют двух видов: положительные гипотезы определяют, при каком входном воздействии выполнять действия, приводящие к положительному результату; отрицательные гипотезы определяют, какие действия не нужно делать при данном входном воздействии.

В режиме обучения для формирования обучающих примеров используется внешний алгоритм – так называемый «учитель». Данный алгоритм получает на вход информацию от рецепторов и вырабатывает управляющие сигналы, необходимые для адекватного поведения робота. Совокупность сигналов рецепторов и выработанных для них управляющих воздействий определяет один обучающий пример. Этот пример проверяется на уникальность и заносится ДСМ системой в базу фактов. После занесения каждого нового примера во множество обучающих примеров производится поиск гипотез. На полученные гипотезы могут накладываться дополнительные ограничения, например, запрет на контрпримеры, когда положительная гипотеза не должна вкладываться в отрицательные примеры и наоборот. Эти ограничения определяются используемым ДСМ-методом [Кузнецов, 1991].

Полученное множество гипотез будет содержать все возможные пересечения (общие части) обучающих примеров. Далее среди них отбираются минимальные гипотезы, то есть такие, которые вкладываются в остальные. Тем самым количество «полезных» гипотез резко сокращается. Полученные минимальные гипотезы проверяются на уникальность и заносятся в базу знаний.

Обучение должно производиться до тех пор, пока база знаний не перестанет пополняться новыми гипотезами. Очевидно, что в этом случае обучающий алгоритм перебрал все возможные варианты входных воздействий, на которые он способен реагировать, и можно считать, что база фактов достаточно полна.

В рабочем режиме ДСМ система получает на вход сигналы рецепторов, из которых формируется тестовый вектор. Принятие решения происходит путем проверки вложения гипотез в этот вектор. Если в тестовый вектор сигналов рецепторов вкладывается гипотеза, то робот должен действовать в соответствии с ней. Если же ни одной гипотезы не найдено, то это неизвестное состояние, для которого нужно сформировать случайный вектор управления (или ничего не делать, например).

3. Обучение движению

Для обучения движению ДСМ-системы необходима внешняя система управления (учитель), которая принимает информацию от датчиков положения, например, о местоположении текущей точки траектории движения, информацию от датчика препятствий и формирует управляющие воздействия (управляет двигателями) как показано на рис. 2.

В качестве такого учителя может выступать как сам человек, так и любая другая управляющая система. Например, в работе [Добрынин, 2009] рассматривалось обучение с помощью нечеткой системы управления.

Основным требованием к обучающей системе управления является непротиворечивость команд управления. В противном случае, такие противоречивые команды могут «звести в заблуждение» обучаемую систему, что приводит к игнорированию противоречивых входных сигналов, и соответственно, снижению качества обучения.

Сам процесс обучения ДСМ-системы выглядит следующим образом:

- «учитель» получает входную информацию и вырабатывает управляющие воздействия. Вся эта информация подается в ДСМ-систему, при этом формируется т.н. «обучающий пример», который ДСМ-система заносит в базу фактов. Если в этой базе фактов такой пример уже есть, то ничего не происходит.

- если появляется новый обучающий пример, ранее не встречающийся в базе фактов, то в этом случае он передается ДСМ-решателю, который

формирует с его помощью новую гипотезу. Если полученная гипотеза удовлетворяет критериям непротиворечивости, то она добавляется в базу гипотез.

- пополнение базы фактов и получение новых гипотез производится до тех пор, пока работает режим обучения.

Критерием завершения обучения может служить тот факт, что перестает пополняться база гипотез. Это означает, что на вход обучаемой системы не поступает новая информация. После окончания режима обучения ДСМ-система имеет набор гипотез, которые в дальнейшем используются для работы обученной системы управления.

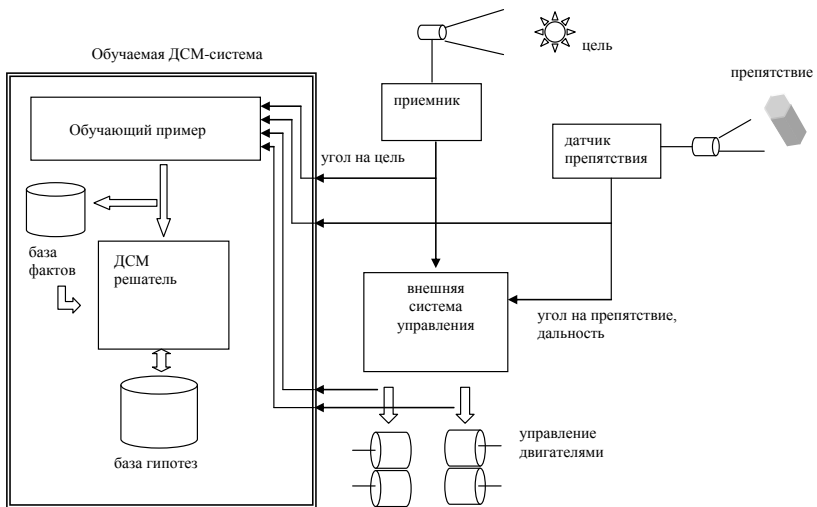


Рис. 2. Обучение ДСМ-системы

Работа обученной таким способом системы управления описана выше.

Эксперименты на компьютерных симуляторах и натурные эксперименты на мобильных роботах показывают, что внешние отличия в характере движения робота между работой системы-учителя и обученной с ее помощью ДСМ-системы практически отсутствуют. Это говорит о высоком качестве работы обученной системы управления.

Заключение

По результатам экспериментов выявились следующие отличия метода эволюционного моделирования (ЭМ) и ДСМ-метода:

Достаточность обучающих примеров. При наличии представительной выборки обучающих примеров оба метода дают хорошие результаты. Однако в условиях неполноты обучающего множества метод ЭМ дает более устойчивые результаты по сравнению с ДСМ. Это связано прежде всего с характером обучения.

Непротиворечивость обучающей выборки. ДСМ, в отличие от ЭМ, плохо применим в условиях противоречий в обучающих примерах. Такая ситуация может возникать, когда учитель ошибается в оценке состояния датчиков. Ошибки такого типа необходимо отсеивать на этапе формирования обучающих примеров. В ЭМ подобная противоречивость не так критична, т.к. она приводит в худшем случае к неопределенности фенотипического поведения.

Эффективность обучения (скорость). Обучение в ЭМ – принципиально длительный процесс. Для устойчивого обучения методом эволюционного моделирования иногда требуются сотни тысяч тактов. В этом отношении ДСМ-метод обладает несомненным преимуществом - для обучения достаточно получить несколько разных обучающих примеров. В экспериментах роботу достаточно было проехать один круг на реальном полигоне чтобы сформировались все необходимые гипотезы.

Динамическое обучение. Теоретически ЭМ может работать и в открытой среде с неизвестным заранее количеством примеров, практически же это связано с большими вычислительными затратами. Динамический ДСМ метод позволяет эффективно работать с заранее неизвестным количеством примеров при сравнительно небольших вычислительных затратах.

Обучение с учителем. Все рассматриваемые алгоритмы обучения работают с «учителем», который фактически формирует для них представительную обучающую выборку. В качестве «учителя» в проводимых экспериментах выступал внешний алгоритм управления роботом. В принципе, учителем может быть и человек, при условии непротиворечивости выдаваемых им управляющих воздействий.

Требуемые ресурсы. При реализации практических алгоритмов встает проблема ограниченности вычислительных ресурсов автономного робота. Если моделирование эволюции требует весьма больших временных и емкостных затрат, то для работы ДСМ метода достаточно небольших вычислительных ресурсов.

Эти особенности, особенно высокая скорость обучения и нетребовательность к вычислительным ресурсам, позволяют выделить динамический ДСМ-метод как один из основных претендентов для построения обучаемой системы управления для роботов. Ограничением использования данного метода является необходимость представления входных данных в виде дискретного множества. Разбиение на интервалы

исходных непрерывных значений позволяет только частично решить эту проблему, поскольку для увеличения точности необходимо уменьшать шаг дискретизации, а при этом быстро растет размерность внутреннего представления данных и снижается быстродействие.

Список литературы

- [Anshakov, 2010] Anshakov O, Gergely T. Cognitive Reasoning: A Formal Approach. Springer, 2010
- [Добрынин, 2006] Добрынин Д.А. Динамический ДСМ-метод в задаче управления интеллектуальным роботом.// Десятая национальная конференция по искусственному интеллекту КИИ-2006, 25-28 сентября 2006 г., Обнинск, Труды конференции, М:Физматлит 2006, т.2.
- [Добрынин и др., 2006] Добрынин Д.А., Карпов В.Э. Моделирование некоторых форм адаптивного поведения интеллектуальных роботов.// Информационные технологии и вычислительные системы, Москва, №2, 2006.
- [Добрынин, 2009] Волкова Т.А., Добрынин Д.А. Сравнение системы нечеткого вывода и обучаемой ДСМ-системы при планировании движения мобильного робота// V-международная научно-практическая конференция «Интегрированные модели и мягкие вычисления», 20-30 мая 2009 г., г. Коломна, М.:Физматлит, 2009., Т1.
- [Кузнецов, 1991] Кузнецов С.О. ДСМ-метод как система автоматизированного обучения // Итоги науки и техники. Сер. «Информатика». Т. 15. - М: ВИНТИ, 1991.
- [Финн, 1991] Финн В.К. Правдоподобные рассуждения в интеллектуальных системах типа ДСМ //Итоги науки и техники. Сер. «Информатика». Т. 15. - М.: ВИНТИ, 1991.