

УДК 623.681

АЛГОРИТМ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ В УСЛОВИЯХ НЕПОЛНОЙ ОПРЕДЕЛЕННОСТИ СРЕДЫ

С. В. Андреев,

аспирант

Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения (ГУАП)

Рассмотрены различные подходы в области нечетких систем с целью разработки алгоритмов управления движением в условиях неполной определенности среды. Предложен алгоритм оптимизации пути следования объекта управления на некоторой местности, описание которой не полностью определено. Поставлена и решена задача автоматизированного принятия решений по выбору оптимального пути с учетом вероятностных свойств среды. Созданный оптимизатор пути следования основан на оптимизационном анализе информации о текущей ситуации и принимает решение в зависимости от условий управления.

Given article is devoted to studying of indistinct systems with the purpose of development of algorithms of management by movement in conditions not to full definiteness of environment. During research various approaches were investigated in the field of indistinct management. In particular, the methods based on application of expert systems and combinatory tasks, realizing search of optimum managing influence on object were offered.

The algorithm of optimization of a transit of object of management on some district which description is not completely determined is developed. The task of the automated acceptance of decisions is put and solved at the choice of an optimum way, with the account probability properties of environment. Created algorithm of transits, it is based on optimum analysis of the information on the current situation and makes a decision depending on conditions of management.

Введение

Применение средств цифровой вычислительной техники в информационно-измерительных и управляющих системах обусловило широкую номенклатуру методов и средств управления и принятия решений в различных ситуациях. В последнее время все более широко стало использоваться нечеткое управление, формирование управляющих сигналов в котором связано с нечетким принятием решения, предполагающим, как правило, достижение некоторой цели или, по крайней мере, последовательное приближение к некоторому наиболее предпочтительному варианту (эталону) в условиях неполной определенности. Системы с таким управлением относятся к нечетким системам управления (НСУ). В НСУ логико-вероятностного типа целью может быть выбор путем логического вывода наиболее предпочтительного решения, имеющего наибольшую вероятность из всех альтернативных решений. При этом в зависимости от сложности задачи управления и системы могут с большим

или меньшим успехом использоваться различные вычислительные методы принятия решения. К наиболее перспективным методам следует отнести математическое программирование в порядковых шкалах, обобщенное математическое программирование, основанные на использовании бинарных отношений [1, 2].

В общем случае задача оптимизации такой НСУ сводится к поиску наилучшего из всех альтернативных решений. При этом альтернативным решением будем называть вариант решения, удовлетворяющий ограничениям задачи управления и обеспечивающий получение требуемых параметров и характеристик управления, а средой задачи — эталонную модель объектов и системы управления, а также тех условий, в которых предполагается функционирование НСУ, которые необходимо учитывать при формировании и решении задачи.

Обычно в НСУ можно выделить подсистемы, имеющие четкие описания, для которых можно использовать модели всех известных типов в зависимости от типа подсистемы, и подсистемы, имеющие

нечеткие описания, для которых можно использовать модели логико-вероятностные либо логико-лингвистические, в зависимости от типа подсистемы. Нечеткие описания характерны для интеллектуальных и человеко-машинных подсистем. Неприятной особенностью таких подсистем является векторность целевой функции. Последнее требует нетрадиционных подходов к решению оптимизационных задач управления, имеющих высокую сложность и, как правило, размерность [3].

Таким образом, представляется целесообразным при формализации описания нечетких систем попытаться выделить в них четкие подсистемы того или иного типа и нечеткие подсистемы, описываемые логико-вероятностными моделями. Обычно к четкому описанию можно свести системы управления, целями которых являются стабилизация, программное управление, слежение или самонастройка. Если целями системы управления является целесообразное поведение или живучесть сложной системы, то четкого формализованного описания, как правило, получить не удастся. Однако и в таких системах управления можно выделить подсистемы стабилизации, программного управления, слежения и самонастройки, которые удастся описать как четкие [4, 5].

Постановка задачи исследования

Пусть имеется транспортное средство, которое находится на какой-то местности, описание которой не полностью определено. Причем положим, что местность представляет собой карту, поделенную на определенное количество равных квадратов. Задачей ОУ будет отыскание оптимального пути следования по карте до момента достижения заданной точки. Ставится задача максимально автоматизировать процесс принятия решений по выбору оптимального пути. Для этой цели и создается разрабатываемый оптимизатор пути следования (ОПС) на основе информации о текущей ситуации.

Для придания конкретики уточним, что понимается под текущей ситуацией. Слово «ситуация» (*situatio*) означает: положение или сочетание условий и обстоятельств, создающих определенную обстановку, положение. Применительно к поставленной задаче под ситуацией будем понимать конкретизацию следующих моментов, выявленных в определенном временном периоде:

- границы применимости и распространения рассматриваемой ситуации;
- объекты, непосредственно составляющие ситуацию;
- условия, определяющие положение каждого объекта в ситуации;
- условия, устанавливающие правила взаимодействия объектов между собой и с объектами, не принадлежащими к данной ситуации;
- факторы, обуславливающие направление и вид взаимодействия между объектами;
- вероятностные свойства всех составляющих аспектов, приводящие к улучшению или ухудшению ситуации.

Для упрощения задачи будем полагать, что ОПС имеет непосредственный доступ к электронной карте местности, построенной на основе точной передачи координат со спутниковых систем или с помощью предварительного исследования местности. Это позволит нам с необходимой точностью классифицировать условия задачи, в частности, иметь четкое представление о различных коэффициентах и количественно-качественных характеристиках задачи управления.

Первый этап управления будет включать в себя следующие идентификационные задачи:

- идентификации местоположения (сопоставление по карте, добавление недостающих объектов);
- системы координат (звездная, солнечная, высота над уровнем моря и т. д.);
- оценки погодных условий (осадки, облачность, ветер);
- параметрические коэффициенты состояния каждого участка местности.

И только после сбора информации об условиях управления до необходимого уровня начинают работать классификатор и анализатор, обрабатывая полученную информацию для составления целостной картины текущей ситуации. В частности, анализу подлежат сравнительные характеристики участков местности, такие как рельеф, характер, а также находящиеся на них объекты. И только после тщательного анализа ОПС переходит ко второму этапу управления — к решению оптимизационной задачи путем использования исследуемых и разрабатываемых алгоритмов. Один из применяемых на этом этапе алгоритмов рассмотрим подробнее.

Алгоритм оптимизации траектории движения

Основной смысл данного алгоритма заключается в следующем. При обращении системы к оптимизатору пути следования происходит инициализация текущего состояния. В частности, система обрабатывает информацию о координатах объекта на местности, с тем чтобы привязать точку начала движения к координатной сетке.

Объект управления, получив от системы управления задание, должен двигаться к определенной точке на местности. При этом происходит подробный анализ пути до этой точки. И если на траектории движения оказывались непредвиденные системой управления препятствия, ОУ должен давать экспертную оценку возникающей помехи и корректировать траекторию движения с целью достижения точки назначения. В том случае, если окончательная траектория движения установлена, ОУ начинает движение к точке, во время которого могут возникать три дополнительные помехи, вероятность которых моделируется, т. е. на произвольных участках траектории с какой-то долей вероятности могут возникнуть непредвиденные помехи для движения. В частности, моделировались закрытые для проезда дороги, ранее не замеченное препятствие, а также существенное изменение погодных условий, ока-

зываются зависимость на приоритетный выбор того или иного пути следования.

Оптимизатор пути следования на основе электронной карты местности получает задание подобрать наиболее подходящий поставленным условиям путь передвижения от начальной до конечной точки. Карта представляет собой направленный граф, каждое ребро которого имеет определенный набор вероятностных коэффициентов, определяемых по имеющейся таблице.

Таким образом, в зависимости от поставленной задачи на граф наносятся соответствующие веса, которые будут различны для оптимальной скорости и, например, оптимального поиска. А так как каждый коэффициент имеет свой вес, определенный условиями задачи, то данный граф будет заполнен соответствующими весами, по которым ОПС и будет определять оптимальную траекторию движения. Затем полученный связанный граф обрабатывается программой по нижеприведенной методике. В результате чего на выходе программы получается оптимальный путь — от начальной заданной точки до конечной и несколько альтернативных решений.

Далее для моделирования поведения управляемого объекта на третьем (заключительном) этапе в процесс принятия программой решения добавляются различные ограничения на процесс формирования управляющего воздействия. В частности, вводятся «непроходимые» коэффициенты, а также моделируются различные характеристики ЛПР, в зависимости от которых принимаются принципиально различные решения. Например, при исследовании ЛПР «боязливого» типа получаются более длинные траектории движения, но относительно более безопасные. Причем все возможные ограничения имеют динамический характер и обрабатываются оптимизатором непосредственно в процессе выполнения задания. При этом имеется возможность влиять на принятие решений как коренным, так и незначительным образом.

Очевидно, что поиск оптимального пути может быть найден полным перебором, но это заведомо приведет к значительной потере скорости подсчета. В данном алгоритме предложен подход к решению подобных комбинаторных задач, основанный на отсеке большого числа априорно неоптимальных связей между точками. Поясним этот подход с помощью рис. 1, рассмотрев восемь центральных элементов, граничащих друг с другом.

Казалось бы, из центральной точки идет восемь возможных путей, но это не так. Во-первых, в предложенном алгоритме производится заполнение промежуточных массивов, что ведет к исключению закливания и заметно увеличивает общую скорость работы алгоритма. Таким образом, если принять, что в точку nm мы пришли из точки, обозначенной как $n(m-1)$, то помимо непосредственно самой точки $n(m-1)$ мы сразу имеем возможность исключить все общие пограничные точки nm и $n(m-1)$. Другими словами, исключаются точки $((n-1)m, (n-1)(m-1), (n+1)m, (n+1)(m-1))$. Это объясняется тем, что любая цепочка, захватываю-

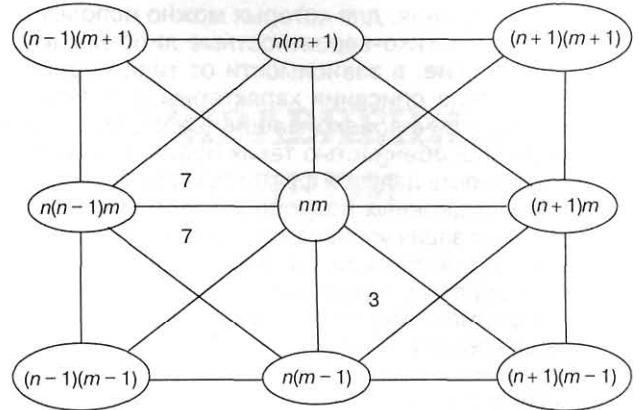


Рис. 1. Восемь произвольных центральных элементов

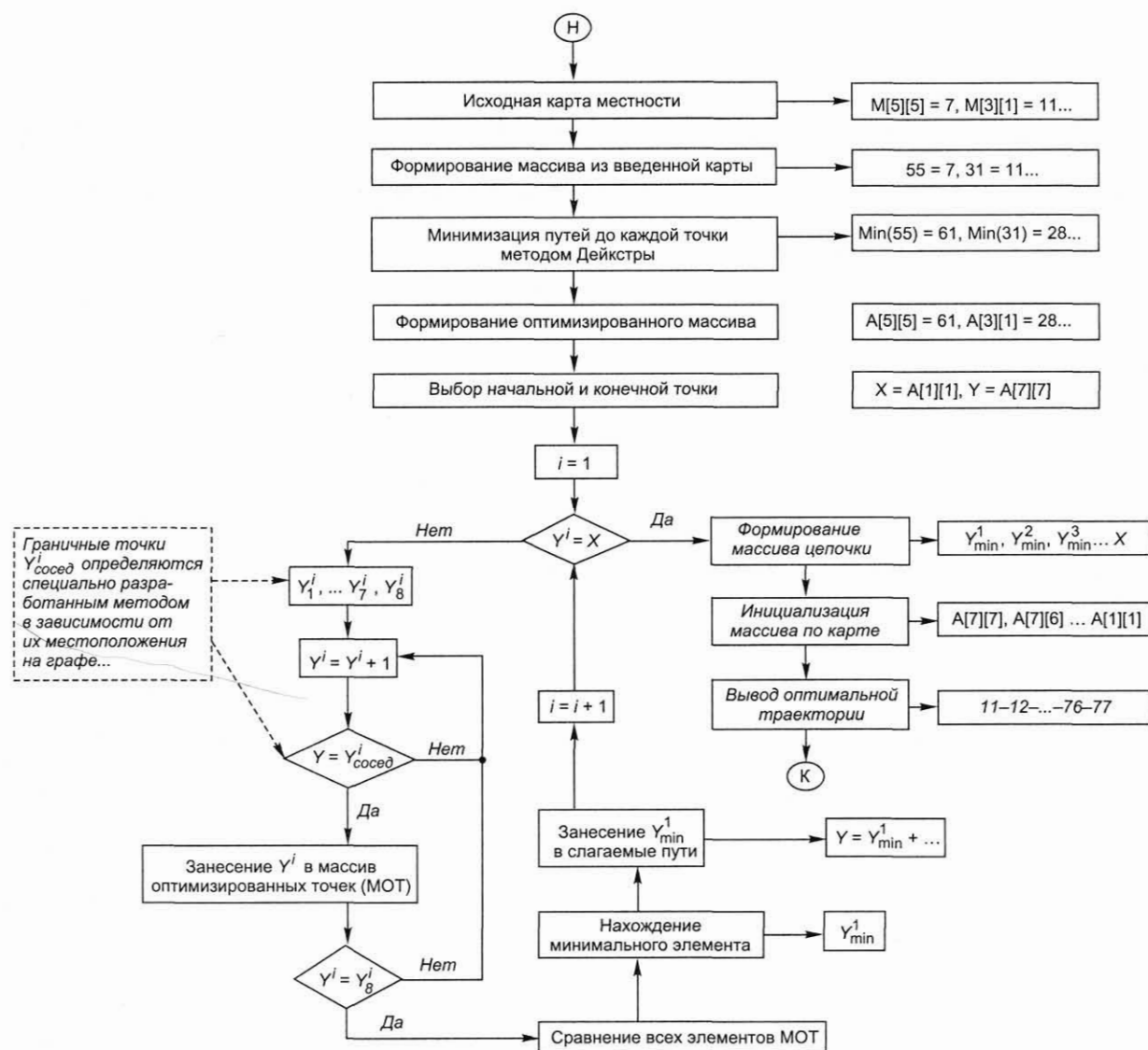
щая nm , будет заведомо длиннее, чем прямая связь. Таким образом, из центральной точки логично рассматривать только три возможных выхода, обозначенные как $(n-1)(m+1), n(m+1), (n+1)(m+1)$.

Вторым важным аспектом предложенного алгоритма является процесс заполнения специальной массива уже пройденных точек для того, чтобы исключить повторное прохождение одной и той же точки, а следовательно, и исключить возможное закливание оптимальной траектории движения (рис. 2).

Кратко поясним общий ход алгоритма. Первоначально происходит инициализация условий работы. В частности, заданная карта местности приводится к виду, с которым оперирует рассматриваемая программа. Для этого карта разбивается на равные квадраты, которым присваиваются соответствующие коэффициенты. Далее связанный граф формируется таким образом, что учитываются особенности местности и делается вывод о направлении его дуг, т. е. исключаются заведомо неоптимальные пути при построении необходимой траектории движения. Это позволяет в дальнейшем существенно сократить время работы программы. Затем применяется метод Дейкстры [6]. Результатом является получение минимально возможного пути для каждой вершины графа. Однако мы не можем считать рассчитанный минимум за окончательное решение задачи, так как задача алгоритма — найти несколько оптимальных траекторий, чтобы путем их анализа выбрать наилучший, удовлетворяющий всем условиям.

Далее происходит улучшенный перебор всех возможных вариантов. Из начальной точки начинают выстраиваться всевозможные пути с учетом ранее введенных ограничений и коэффициентов. Причем в алгоритм дополнительно вводится блок запоминания уже пройденных точек, называемый массивом оптимизированных точек, что позволяет исключить закливание в программе.

В результате работы программы мы получаем информацию о пяти предпочтительных траекториях движения, оцененных по степени максимального удовлетворения всех условий задачи. Полученные



■ Рис. 2. Алгоритм оптимизированного поиска на графе

траектории проходят процедуру обратной трансформации для представления их в заданной форме. Далее они изображаются графически на начальной карте местности и управление передается оператору для выбора им любого из пяти предложенных вариантов движения.

Таким образом, предложенный алгоритм реализации оптимизационной задачи управления позволяет найти необходимое решение задачи, на порядок сократив время поиска оптимальной траектории на карте местности. Однако данный алгоритм является узкоспециализированным, так как рассчитан на заведомо известную окружающую среду со статическими характеристиками. В дальнейшем представляется целесообразным его последовательное усложнение путем введения в условия задачи динамически изменяющихся условий среды, а также вероятностных коэффициентов для различных характеристик задачи управления.

Литература

1. Городецкий А. Е., Тарасова И. Л. Интегрированные системы автоматизации НИОКР // Учебное пособие. — СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1998. — 96 с.
2. Городецкий А. Е., Дубаренко В. В. Комбинаторный метод вычисления вероятности сложных логических функций // ЖВМ и МФ. — 1999. — Т. 39. — № 7. — С. 1246–1248.
3. Табак Д., Куо Б. Оптимальное управление и математическое программирование. — М.: Наука, 1975. — 234 с.
4. Тимофеев А. В., Юсупов Р. М. Интеллектуализация систем автоматического управления // Изв. РАН. Техническая кибернетика. — 1994. — № 5. — С. 31–37.
5. Юдин Д. Б. Вычислительные методы теории принятия решений. — М.: Наука, 1974. — 234 с.
6. Липский В. Комбинаторика для программистов. — М.: Мир, 1988. — С. 101–105.