УДК 007

ПОСТРОЕНИЕ НЕЧЕТКИХ МОДЕЛЕЙ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ

Марченко Ю.А., Гданский Н.И.

Московский государственный университет инженерной экологии

1. Введение

Автоматизированная маршрутизация позволяет значительно повысить эффективность выполнения транспортных операций, а также устранить человека из зоны влияния неблагоприятных экологических факторов, сопутствующих химическим производствам, снизить производственный травматизм, повысить коэффициент сменности.

2. Организация автоматизированных транспортных систем

Модели внешней среды (МВС) и методы планирования движения являются основными составляющими в алгоритмическом обеспечении автоматизированных транспортных систем. В работах [1,2] по способу возможного выбора траекторий перемещения транспортных средств (ТС) предложено выделить два основных типа транспортных систем: *траекторно детерминированные* и *траекторно недетерминированные*.

К первому относятся системы с заранее предписанным либо достаточно плотным размещением объектов, между которыми движение возможно только по заранее определенному множеству траекторий либо в ограниченных проемах. Это рельсовые, канатные и монорельсовые подвесные и другие подобные системы.

Ко второму типу относятся системы, имеющие значительные пространства для перемещения транспортных средств. Множество возможных траекторий движения при этом заранее не определено. Данные системы являются более гибкими, универсальными, однако для эффективного применения требуют применения достаточно сложных методов организации управления.

Для построения траекторий движения транспортных средств используются разные модели представления окружающей среды и соответственно различные алгоритмы решения задачи оптимизации траектории. В основном их можно свести к трем основным группам – 1)дискретные клеточные методы, 2) графовые модели, 3) комбинаторные методы с применением экспертных систем.

В качестве альтернативы к существующим в работах [1, 3] предложен *векторный метод* построения МВС, в котором объекты среды и само транспортное средство задаются в виде плоских геометрических контуров. Для упрощения и ускорения анализа взаимного расположения плоских объектов наряду с контурным предусмотрено использование приближенных моделей в виде прямоугольников, кругов и выпуклых многогранников. Векторные модели сочетают малые размеры необходимой памяти с возможностью реализации оптимальных алгоритмов маршрутизации в режиме реального времени. Траектория движения ТС приближенно задается в виде опорной ломаной.

Векторный метод, как и все рассмотренные выше, рассчитан на построение точных моделей препятствий внешней среды. Данное требование налагает жесткие требования на методы построения МВС.

Высокая точность при построении МВС на практике обычно реализуется при помощи лазерного сканирования окружающей среды с последующей обработкой большого количества информации. Это существенно замедляет процессы распознавания окружающей среды и построения МВС и, тем самым, значительно снижает быстродействие и общий эффект от применения автоматизированных транспортных систем.

Альтернативой к лазерному сканированию является применение более быстрых способов построения МВС, основанных на визуальной информации, получаемой от систем видеонаблюдения, работающих в видимом или инфракрасном диапазоне спектра. Наряду с возможностью засветки и затенения (в основном, для видеокамер, работающих в видимом диапазоне) основным недостатком данных систем являются более высокие погрешности, получаемые при распознавании удаленных объектов внешней среды, по сравнению с практически точным лазерным распознаванием.

Для корректного использования данных, содержащих погрешности, необходимо применение соответствующих МВС. Наиболее логично в этом случае использование методов, аналогичных тем, что применяются в нечеткой теории множеств и нечеткой логике.

3. Использование погрешностей при решении задачи маршрутизации

В наиболее обобщенной постановке задача маршрутизации формулируется следующим образом. Необходимо оптимальным образом переместить ТС из начальной точки P в конечную точку $P_{\text{кон}}$. Под критерием оптимальности обычно понимают минимум: а) затрат времени, б) затрат энергии либо в) пройденного пути. Значение критерия для ломаной L обозначим через $F(L)$.

Для учета погрешностей измерения (а также погрешностей построения) предложено модифицировать векторный подход, введя дополнительно для каждой из вершин контуров объектов точность, с которой известно ее пространственное положение. На практике для математической и программной моделей среды это означает введение дополнительного линейного массива в уточненных моделях. Учет погрешностей позволяет рассчитать как минимально возможную (гарантированную), так и максимальную часть плоскости, занимаемую препятствием.

Очевидно, для предотвращения столкновения с препятствиями при планировании перемещения объекта в МВС необходимо задавать максимальные контуры препятствий.

Замена “точных” контуров (т.е. некоторых усредненных их вариантов, у которых не учитываются погрешности пространственного положения) максимальными приводит к тому, что опорные ломаные траекторий движения ТС несколько удлиняются – обычно менее 10%. Однако такая замена уже на этапе планирования траектории позволяет предотвратить столкновение ТС с препятствиями и не требует активного использования при движении по траектории различного рода датчиков, регистрирующих наличие препятствий (инфракрасные, ультразвуковые и др.). Это дает возможность значительно поднять скорость перемещения ТС по траектории. Множество всех опорных ломаных, по которым возможно перемещение ТС из начальной точки P в конечную точку $P_{\text{кон}}$ при данном допущении обозначим через $\{L_i\}^{\text{м}}$, оптимальную из них по заданному критерию – через $L_{опт}{}^{\text{м}}$, значение критерия на ней - $F_{опт}{}^{\text{м}}$.

Более существенным недостатком по сравнению с удлинением траектории при использовании только максимальных контуров препятствий является то, что из-за неопределенности, возникающей при максимальном учете погрешностей, отбраковываются опорные ломаные, которые, возможно будут более оптимальными по сравнению с $L_{опт}{}^{\text{м}}$.

Для учета таких ломаных необходимо рассматривать и такие траектории, в которых обход препятствий не гарантирован, но возможен. Множество таких траекторий обозначим через $\{L_i\}^{\text{в}}$, наиболее оптимальную из них по заданному критерию – через $L_{опт}{}^{\text{в}}$, $F(L_{опт}{}^{\text{в}}) = F_{опт}{}^{\text{в}}$. Так как множество $\{L_i\}^{\text{в}}$ более широкое, по сравнению с $\{L_i\}^{\text{м}}$, то в общем случае выполняются следующие соотношения:

$$\{L_i\}^{\text{м}} \subseteq \{L_i\}^{\text{в}}; \quad F_{опт}{}^{\text{м}} \geq F_{опт}{}^{\text{в}}.$$

Поскольку анализ множества ломаных $\{L_i\}^{\text{м}}$ более прост, определение оптимальной из них $L_{опт}{}^{\text{м}}$ необходимо производить на начальном этапе решения задачи. Величина $F_{опт}{}^{\text{м}}$ является реальным ориентиром, позволяющим эффективно производить отсечение при переборе ломаных из более широкого множества $\{L_i\}^{\text{в}}$.

При анализе возможных ломаных $L_i^{\text{в}}$ из $\{L_i\}^{\text{в}}$, в первую очередь возникает проблема определения для них величины критерия оптимальности $F(L_i^{\text{в}})$. Для этого предлагается в зависимости от величины сужения вводить на проходимом участке ломаной штрафной множитель в соответствующее слагаемое значения целевой функции. Для формирования такого штрафного множителя предложен следующие подход.

Допустим, величина проема между препятствиями для свободного прохода ТС должна быть не менее Δ. Это значение определяется габаритами ТС и его маневренностью. Обозначим через δ среднее значение некоторого проема между препятствиями, а через α - суммарное значение точности, с которой известны пространственные положения границ препятствий в данном проеме. Также выделяем участок l ломаной, на которой ТС проходит данное препятствие. Через $F(l)$ обозначим значение целевой функции на участке ломаной.

Рассмотрим основные ситуации.

1. При $\Delta < \delta$ проем достаточен для прохода ТС, он может быть использован как при построении ломаных в множестве $\{L_i\}^{м}$, так и для ломаных из $\{L_i\}^{в}$. Штраф не применяется.

2. При $\Delta > \delta + 2\alpha$ проем не может быть пройден ТС. Он не может быть использован для построения ломаных ни в $\{L_i\}^{м}$, ни в $\{L_i\}^{в}$.

3. При $\delta \le \Delta \le \delta + 2\alpha$ проход через проем возможен. Такого вида проемы не учитываются при построении ломаных в множестве $\{L_i\}^{м}$, но используются для построения ломаных в $\{L_i\}^{в}$. При расчете значения критерия для формируемой ломаной предложено использование штрафного коэффициента $S(\delta,\alpha.\Delta)$, который бы линейно изменялся от 1 при $\delta = \Delta$ до заданного максимального значения $M>1$ при предельно малом значении ширины проема $\delta = \Delta - 2\alpha$. Линейная функция, построенная по этим условиям имеет вид:

$$S(\delta,\alpha,\Delta) = \frac{(M-1)(\Delta-\delta)}{2\alpha}+1.$$

Таким образом, при отсутствии прохождения проема значение целевой функции на рассматриваемом участке l ломаной равно $F(l)$, а при наличии проема – $S(\delta,\alpha,\Delta)F(l)$. Данный прием позволяет использовать для анализа ломаные из множества $\{L_i\}^{в}$.

Перед перебором ломаных из $\{L_i\}^{в}$ в качестве текущей оптимальной траектории принимаем наилучшую $L_{опт}^{м}$ на множестве $\{L_i\}^{м}$, текущим оптимальным значением критерия $F_{опт} = F(L_{опт}^{м})$. Затем в процессе построения ломаных из $\{L_i\}^{в}$ для каждой из них $L_i^{в}$ вычисляется значение критерия оптимальности $F(L_i^{в})$. Если $F(L_i^{в}) \ge F_{опт}$, то ломаная отбрасывается. Если $F(L_i^{в}) < F_{опт}$, то данная ломаная $L_i^{в}$ принимается в качестве текущей оптимальной и производится присваивание $F_{опт} = F(L_i^{в})$.

На рис.1 показан пример решения задачи по перемещению транспортного средства. Жирными ломаными линиями показаны усредненные контуры препятствий 1 и 2. Окружностью для каждой вершины контура препятствия отмечена величина погрешности, с которой в модели известно ее положение на плоскости Oxy. Штриховкой выделена минимально возможная (гарантированная) часть плоскости, занимаемая препятствием, Внешний контур задает максимально возможную часть плоскости, занимаемую препятствием. ТС имеет собственные габаритные размеры a и b. Для того, чтобы обеспечить необходимую маневренность, для прохода ТС необходимо обеспечить свободную полосу некоторой ширины Δ.

Анализ конкретной возникшей ситуации показывает, что возможны три траектории движения: L_1 – с огибанием препятствия 1 слева, L_2 – с прохождением промежутка между препятствиями, L_3 – с огибанием препятствия 2 справа. Множество ломаных $\{L_i\}^м$ включает $\{L_1, L_3\}$. Оптимальной из них является $L_{опт}{}^м = L_3$. Множество ломаных $\{L_i\}^в$ включает $\{L_1, L_2, L_3\}$. Величины, используемые для расчета значения критерия на участке, проходящем в проеме между препятствиями 1 и 2, показаны на рис.1. Это l – длина участка ломаной между точками А и В, на которой ТС проходит проем, $\alpha = \alpha_1 + \alpha_2$ - суммарная погрешность границ проема.

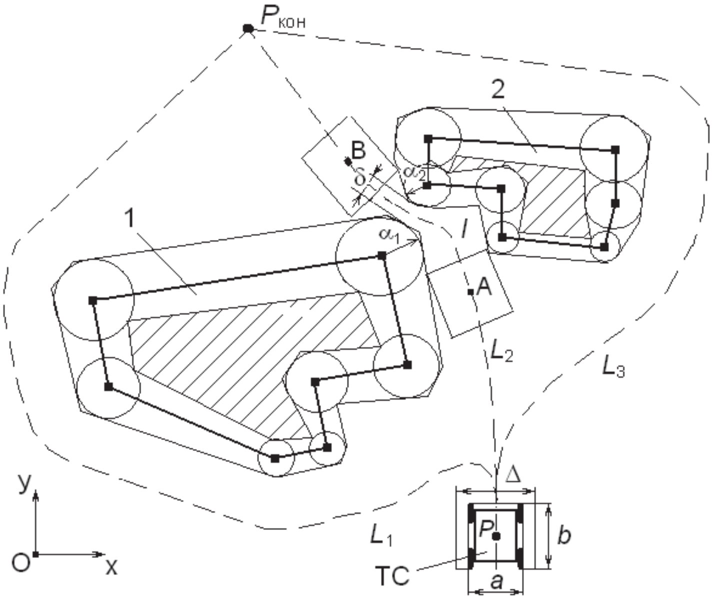

Рис.1. Пример решения задачи по перемещению ТС

4. Заключение

В настоящее время для обеспечения гибкого выполнения транспортных операций наиболее перспективными являются автоматизированные системы с траекторно недетерминированной средой. Для траекторно недетерминированных сред наиболее эффективным с точки зрения описания геометрических характеристик объектов, занимаемой памяти ЭВМ и ее вычислительных ресурсов, является способ построения плоской модели внешней среды с помощью замкнутых контуров.

Предложенный подход к построению МВС и решению задач маршрутизации ТС позволяет создавать “быстрые” алгоритмы решения данных задач.

1. Гданский Н.И., Мальцевский В.В., Засед В.В., Михайлов А.А. Автономная идентификация положения и ориентации мобильных объектов во вредных и опасных средах. Химическое и нефтяное машиностроение. №12, 2006 г., с.34-36.

2. Гданский Н.И., Мальцевский В.В., Засед В.В. Автоматизированная маршрутизация мобильных средств внутрицехового транспорта химических производств. Тр. IV МНПК “Экологические проблемы индустриальных мегаполисов” МГУИЭ, Изд. центр МГУИЭ, М., 2007, с.369-376.

3. Гданский Н.И., Мальцевский В.В., Засед В.В. Векторное моделирование плоских объектов для решения задач мобильной робототехники. В сб. «Научная сессия ТУСУР - 2006», часть 1, Томск: Изд-во. «В-Спектр», 2006,160-161 с.