

УДК 004.896

КОМБИНИРОВАННЫЙ СПОСОБ НАВИГАЦИИ АВТОНОМНОГО МОБИЛЬНОГО РОБОТА

К. т. н. К. В. Защелкин, В. В. Калиниченко, Н. О. Ульченко

Одесский национальный политехнический университет

Украина, г. Одесса

wlshmast3r88@gmail.com

Предлагается комбинированный способ навигации автономного мобильного робота, сочетающий подходы, характерные как для локальной, так и для глобальной навигации. Показана возможность реализации предложенного способа с использованием тактильного и ультразвукового датчиков, что позволяет понизить энергопотребление и конечную стоимость робота по сравнению с использованием нескольких ультразвуковых датчиков.

Ключевые слова: робототехническая система, автономный мобильный робот, навигация робота, глобальная навигация, локальная навигация

В настоящее время робототехника активно используется в тех областях жизнедеятельности, в которых имеется необходимость замены человеческого труда машинным. Одним из наиболее перспективных направлений робототехники являются автономные мобильные роботизированные системы. Отличительная особенность таких систем состоит в полностью независимом от оператора функционировании, основанном на анализе показаний датчиков и принятии решений о выполнении необходимых действий. Исходя из этого, разработка новых моделей, методов и алгоритмов навигации автономных мобильных роботов (АМР) представляет собой весьма актуальную научную задачу.

Цель навигации АМР состоит в нахождении оптимального (в соответствии с заданными критериями) маршрута его перемещения между заданными точками пространства. Методы навигации АМР принято делить на две группы: глобальные и локальные. Глобальные методы основаны на том, что перед началом движения АМР полностью известна карта местности. Зная свое местонахождение, точку финиша, а также расположение всех препятствий, АМР, используя заданный алгоритм действий, находит кратчайший путь от старта до финиша и после этого преодолевает этот путь. К наиболее часто используемым на практике глобальным методам навигации можно отнести методы фронта волны, A^* , дерева квадратов, видимого графа [1—3]. Достоинство глобальных методов навигации состоит в возможности заранее спланировать оптимальный маршрут движения, опираясь на глобальную информацию о внешней среде. Наиболее значимый недостаток таких методов – повышенная вычислительная сложность и необходимость хранения карты среды (зачастую большого размера). Необходимость выполнения интенсивных вычислений и хранения карты среды приводит к значительному энергопотреблению навигационной системы АМР.

Локальные методы навигации используются в тех случаях, когда АМР не известна глобальная карта внешней среды или препятствия в этой среде имеют динамический характер (могут появляться и исчезать, менять свое местоположение). В этом случае АМР получает навигационную информацию о локальной области внешней среды, находящейся в пределах действия его датчиков. К наиболее часто используемым локальным методам навигации АМР можно отнести методы, основанные на использовании потенциальных полей препятствий [1], методы семейства BUG [4, 5], использующие для получения навигационной информации тактильные датчики, а также методы семейства VisBUG [5-7], которые предполагают получение навигационной информации от ультразвуковых датчиков, что дает возможность не касаться препятствий в процессе движения. К преимуществам методов локальной навигации следует отнести их вычислительную простоту. Недостатки этих методов в сравнении с методами глобальной навигации состоят в отклонении от оптимального маршрута и более сложной процедуре локализации АМР в пространстве, что снижает энергоэффективность АМР.

Цель данной работы состоит в повышении энергоэффективности и снижении стоимости АМР за счет разработки способа навигации, основанного на комбинации подходов, характерных как для глобальных, так и для локальных навигационных методов.

Предлагаемый способ предполагает выполнение навигации на основе, во-первых, локальной информации о внешней среде в пределах действия датчиков; а во-вторых, двух компонентов глобальной навигационной информации: направление на цель (градиент) и расстояние до цели.

Использование предлагаемого способа имеет некоторые ограничения: 1) предполагается, что местность, по которой передвигается АМР, состоит из участков двух видов — открытых участков и препятствий; 2) обрабатывается только информация от выпуклых препятствий с прямыми углами (такими препятствия, например, могут выступать здания); 3) АМР не может прямо преодолеть препятствие. Если препятствие оказывается на пути АМР, то он должен его объехать.

Особенности предлагаемого способа состоят в том, что реальный размер препятствий проецируется на координатную сетку таким образом, что размер препятствия дополняется до кратности единицы измерения системы координат, т. е. линейные размеры препятствий рассматриваются АМР как кратные единице измерения; малые расстояния между препятствиями (такие, через которые АМР не может переместиться) рассматриваются как препятствия.

В предлагаемом способе исходными данными для выполнения навигации являются:

— *градиент* – вектор, имеющий своим началом точку старта, а концом — точку финиша;

— *относительное расстояние* (расстояние, выраженное в выбранных единицах измерения системы координат) d между стартовой и финишной позицией.

В качестве сенсорной системы АМР в данной работе рассматривается система из двух датчиков: тактильного датчика, установленного на переднем бампере АМР, и ультразвукового датчика, направленного влево, перпендикулярно движению АМР. Такое расположение бокового датчика обуславливает возможность обхода препятствий против часовой стрелки. Предполагается, что одометрическая система АМР имеет встроенные датчики оборотов двигателей.

Предлагаемый способ навигации предполагает использование двухмерной декартовой системы координат, в которой установлена единица измерения, равная одному обороту ступицы АМР. При этом начало системы координат $(0, 0)$ находится в точке финиша. Точка старта имеет координаты $(0, d)$. Основная задача предлагаемого способа состоит в перемещении из точки $(0, d)$ в точку $(0, 0)$.

В рамках предлагаемого способа процесс движения АМР состоит из этапов. Очередной этап начинается при наступлении события, фиксируемого сенсорной системой АМР, или события достижения линии градиента. По типу датчиков выделяется два вида событий: касание препятствия передним тактильным датчиком; потеря препятствия боковым ультразвуковым датчиком.

Пройденный путь (выраженный в количестве оборотов ступицы АМР) на каждом этапе движения записывается в переменную $path_taken$. Определение текущего направления движения АМР относительно осей системы координат производится по значению целочисленной переменной $turn_count$, имеющей значение, равное разности количества совершенных АМР от начала движения поворотов налево (\bar{N}), количества совершенных поворотов направо (\bar{N}) и числа 1:

$$turn_count = \bar{N} - \bar{N} + 1 \quad (1)$$

Изменение значения переменной $turn_count$ происходит каждый раз при наступлении события, фиксируемого сенсорной системой АМР. В случае потери ультразвуковым датчиком границы препятствия – АМР поворачивает налево, а значение переменной $turn_count$ инкрементируется; в случае срабатывания тактильного датчика – АМР поворачивает направо, а значение переменной $turn_count$ декрементируется:

$$\begin{aligned} \text{if (выполнен поворот налево) then } turn_count &= turn_count + 1; \\ \text{if (выполнен поворот направо) then } turn_count &= turn_count - 1. \end{aligned} \quad (2)$$

При условии наличия во внешней среде только выпуклых препятствий переменная $turn_count$ может принимать четыре значения: $-1, 0, 1, 2$. Значение этой переменной будет представляться в виде двухразрядного двоичного числа. Старший разряд данного числа будет обозначаться $turn_count[1]$, а младший разряд — $turn_count[0]$. При этом $turn_count[1]$ будет определять, движется АМР параллель-

но или перпендикулярно градиенту движения, а $turn_count[0]$ — движется АМР в направлении увеличения или уменьшения соответствующей координаты (см. таблицу). При этом значение переменной $turn_count$, равное -1 , в двоичном представлении будет интерпретироваться дополнительным кодом, то есть 11_2 .

Соотношения между разрядами двоичного представления переменной $turn_count$

$turn_count$	$turn_count[1]$ изменение координаты	$turn_count[0]$ положение АМР
1	0 уменьшается y	1 параллельно градиенту
-1	1 увеличивается y	1 параллельно градиенту
0	0 увеличивается x	0 перпендикулярно градиенту
2	1 уменьшается x	0 перпендикулярно градиенту

Следует отметить, что при использовании указанного кодирования направлений значениями переменной $turn_count$, информация о положении АМР относительно градиента и информация о необходимости увеличения или уменьшения соответствующей координаты совместно модифицируются при каждом повороте по правилу (2).

Ниже приведено предлагаемое правило модификации координат x и y при наступлении события (в конце каждого этапа), фиксируемого сенсорной системой АМР:

$$\begin{aligned} x &= x + ((\overline{turn_count[1]} - turn_count[1]) \cdot \overline{turn_count[0]}) \cdot path_taken; \\ y &= y + ((turn_count[1] - \overline{turn_count[1]}) \cdot turn_count[0]) \cdot path_taken. \end{aligned} \quad (3)$$

Таким образом, при наступлении события происходит следующее:

- 1) выполняется пересчет координат положения АМР в соответствии с правилом (3);
- 2) значение переменной $path_taken$, содержащей длину пути на пройденном этапе движения, обнуляется;
- 3) в зависимости от вида события выполняется поворот АМР: при событии от переднего тактильного датчика — направо, при событии от бокового ультразвукового датчика — налево. Выполнение поворота приводит к изменению значения переменной $turn_count$ в соответствии с выражением (2).

В предложенном способе навигации возвращение к движению по градиенту в процессе обхода препятствий обеспечивается за счет того, что линия градиента (фактически ось Y системы координат) рассматривается как препятствие. Достижение линии градиента заставляет АМР разворачиваться параллельно этой линии и следовать по ней в направлении точки финиша. Это достигается тем, что при движении в сторону линии градиента, перпендикулярно ей (т. е. если значение переменной $turn_count$ равно 2), боковой ультразвуковой датчик не должен отслеживать границу препятствия, находящегося слева. При этом АМР стремится сократить значение переменной x до 0. Как только значение величины пути пройденного этапа $path_taken$ станет равно значению переменной x (что означает достижение линии градиента), АМР совершает поворот направо, значение переменной $turn_count$ в соответствии с выражением (2) становится равным 1, и на следующем этапе АМР продолжает движение уже по линии градиента.

Если значение координаты x равно 0, а значение пройденного на текущем этапе пути $path_taken$ равно текущему значению координаты y , это означает, что достигнута финишная точка движения.

Предлагаемый способ, в отличие от практических реализаций известных методов глобальной навигации, является потенциально менее энергозатратным из-за отсутствия необходимости хранения карты, расчета и пересчета маршрута.

В отличие от известных дистанционных методов локальной навигации (таких, например, как семейство методов VisBUG) он не требует наличия двух-трех постоянно действующих датчиков (ультразвуковых, лазерных), а предполагает использование одного фронтального тактильного датчика и одного бокового ультразвукового датчика. Поскольку ультразвуковой и лазерный датчики постоянно генерируют и принимают соответствующие сигналы, они являются более энергозатратными по сравнению с тактильными датчиками. Кроме того, сами по себе они являются более дорогими устройствами. Предлагаемый способ позволяет минимизировать количество таких датчиков до одного.

В отличие от тактильных методов локальной навигации (таких, например, как семейство методов BUG) предлагаемый способ лишен проблемы потери препятствия датчиком и необходимости адаптации к рельефу его поверхности. Таким образом, предлагаемый способ позиционируется как эффективный с позиции энергозатрат (которые являются критическим ресурсом для автономных устройств) и с позиции стоимости сенсорной системы.

Для экспериментального исследования предложенного способа навигации была использована робототехническая платформа LEGO Mindstorms NXT 2.0. Выбор данной платформы обусловлен ее доступностью, гибкостью и разнообразием оборудования. Материалом для эксперимента послужили 20 моделей внешней среды с выпуклыми препятствиями случайной формы и расположения. Для проведения эксперимента последовательно было собрано четыре конструкции АМР, отличающиеся набором датчиков и реализованными алгоритмами навигации: методом глобальной навигации на основе фронта волны; методом локальной навигации семейства VisBUG с двумя ультразвуковыми датчиками; методом локальной навигации семейства BUG с двумя тактильными датчиками; предлагаемым способом навигации.

В ходе проведения экспериментов замерялся параметр энергоэффективности, выраженный в максимально возможном количестве повторов прохождения одной и той же карты на одном заряде аккумулятора АМР. Указанные параметры измерялись в двух ситуациях: при статической карте местности и при динамически меняющейся карте, на которой удалялись и добавлялись препятствия в ходе движения АМР. Экспериментальное исследование показало преимущества предлагаемого комбинированного способа по сравнению с реализациями традиционных методов локальной навигации, как на статической, так и на динамической карте. При использовании статической карты местности предложенный способ уступает глобальному методу навигации, с которым проводилось сравнение, однако имеет преимущество перед ним на динамической карте.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Адамів О. П. Моделі та інтелектуальні засоби адаптивного керування автономним мобільним роботом // Дис. ... канд. техн. наук.— Одеса, 2007.
2. Fahimi F. Autonomous Robots. Modeling, Path Planning and Control.— New York: Springer, 2009.
3. Hachour O. Path planning of Autonomous Mobile robot // International Journal of Systems Applications, Engineering and Development.—2009.— Iss. 4, Vol. 2
4. Lumelsky V. Sensing, intelligence motion.— New Jersey: Wiley-Interscience, 2006.
5. Song H., Hu L., Zeng X. Research on Path Planning for the Mobile Intelligent Robot // World Congress on Computer Science and Information Engineering.— 2009.— №1
6. Siegwart R., Nourbakhsh I. Introduction to Autonomous Mobile Robots.— Boston: MIT Press, 2004.
7. Jian Y., Zhihua Q., Jing W., Kevin C. Comparison of Optimal Solutions to Realtime Path Planning for a Mobile Vehicle // IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics. Part A: System and Humans.— 2010.— Vol. 40.

К. В. Zashcholkin, V. V. Kalinichenko, N. O. Ulchenko
Complex means of navigation of autonomous mobile robot.

The complex means of navigation is offered, combining approaches typical for both local and global navigation. The possibility of realization of the offered means with the use of tactile and ultrasonic sensors is shown, which allows to reduce energy consumption and final cost of the robot as compared with the use of several ultrasonic sensors.

Keywords: *robotic system, autonomous mobile robot, robot navigation, global navigation, local navigation.*