

УДК 621.391

Д.П. Кучеров, д.т.н.

ЗАДАЧА СЛЕДОВАНИЯ МОБИЛЬНЫХ РОБОТИЗИРОВАННЫХ СРЕДСТВ ПО МАРШРУТУ

Национальный авиационный университет, г. Киев, d_kuchеров@ukr.net

В статье рассматривается задача доставки груза дистанционно управляемыми роботизированными средствами колесного типа. Предполагается, что движение транспортных средств по маршруту происходит колонной, в которую машины выстраиваются на старте, маршрут состоит из участков прямолинейного и криволинейного движения. Выдвигаются требования к параметрам движения, а именно дистанция, максимальный коридор, максимальная средняя скорость. Определяется закон управления движением для обеспечения движения по заданной траектории.

Ключевые слова: маршрут движения, транспортная платформа, параметры движения, траектория.

Введение. В статье рассматривается задача обеспечения доставки груза из одного пункта в другой за минимальное время. Груз не может быть доставлен одним транспортным средством, однако имеется возможность равномерного его перераспределения между транспортными средствами одного класса. Доставка осуществляется транспортными средствами, допускающими дистанционное управление, что, например, может происходить в случаях, связанных с повышенным риском для жизни обслуживающего персонала. В качестве транспортных средств выбраны колесные машины, движущиеся по сухому, невязкому покрытию.

Данная задача относится к задачам группового управления (управления коллективным поведением) мобильными роботами, что является достаточно актуальным направлением развития современной робототехники.

Решение задачи, как правило, сводится к выбору маршрута движения и слежения за движением группы (см., например, [1-8]).

Будем считать, что потери груза связаны только с сокращением элементов группы, а причины, приводящие к сокращению числа элементов группы, отсутствуют. В этом случае основной задачей коллективного управления будем считать минимальное время доставки груза.

Данная задача является достаточно популярной среди исследователей, занимающихся дистанционным управлением движущейся транспортной платформой. При этом главное внимание уделялось определению математической модели при дистанционном управлении и построению для этой модели оптимального управления для единичной платформы. Задача может быть усложнена введением дополнительных жестких механических звеньев. При этом на участках криволинейной траектории принцип движения такой сцепки аналогичен передвижению змеи. Однако в последнее время все чаще появляются разработки, ориентированные на коллективное (групповое) управление, не предполагающим наличие жестких связей между отдельными членами группы. К таким работам, относятся работы, например, [1, 3], где предлагается возможность иерархического представления структуры в виде «ведущий-ведомый» и разделения системы управления на подсистемы программного и позиционного управления. При этом «ведущий» (лидер) определяет цели движения и порядок следования, «ведомый» следует за «ведущим».

Для определения требований к разработке системы управления необходима информация о потенциальных возможностях системы, которая будет обеспечивать безопасность движения по маршруту следования.

Будем считать основными показателями эффективности данной задачи время доставки и исключение потерь груза в процессе движения.

Таким образом, целью статьи является обеспечение минимального времени доставки груза группой из n – роботизированных средств.

Постановка задачи. Задача доставки груза ставится так, что допускается его распределение между отдельными транспортными средствами в равных долях. Таким образом, выбор количества транспортных средств определяется объемом груза. Груз отдельного транспортного средства полностью определяется габаритами роботизированного средства.

Движение группы осуществляется по трассе произвольной формы с постоянным сцеплением с покрытием дороги. Трасса состоит из участков прямолинейного и криволинейного движения.

Транспортные средства движутся колонной из n -средств. При этом головная машина исполняет роль лидера группы, т.е. обладает полной информацией о конечной задаче следования группы, а также имеет средства навигации и связи, как с членами группы, так и с оператором, имеющим возможность подсказывать определенные действия в процессе решения задачи. Обобщенная схема движения роботизированных средств представлена на рис. 1.

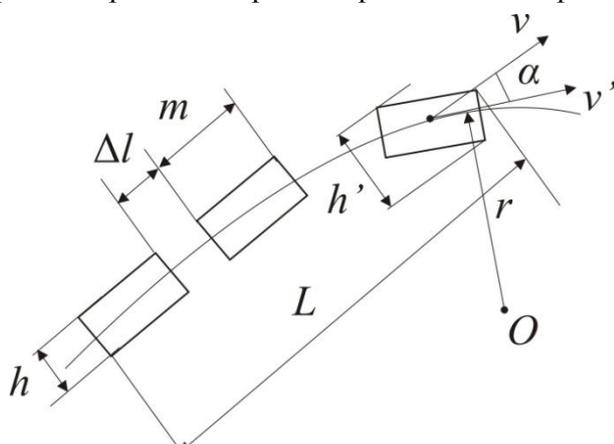


Рис. 1. Схема движения роботизированных средств

На рис. 1 введены обозначения h' - ширина коридора, O - центр поворота, r - радиус поворота, v, v' - векторы скорости и его тангенциальная составляющая.

Требуется определить максимальные параметры следования группы из n -транспортных средств с учетом криволинейности траектории движения.

Параметры следования машин. С целью обеспечения безопасности движения по маршруту следования группе назначаются постоянная дистанция Δl между автомобилями и поперечный интервал Δh , за который автомобили не выходят. Маршрут состоит из участка старта, участка движения по трассе и участка финиша. Участки старта и финиша не являются точечными.

Предполагается, что на участках старта / финиша, поворот движение выполняется с ускорением, на прямолинейном участке выполняется равномерное движение. Размер колонны L на маршруте согласован с количеством машин в группе, размером отдельного транспортного средства m и величиной дистанции Δl

$$L = (n-1)\Delta l + nm \quad (1)$$

и не может выходить за пределы некоторой величины $\Delta \delta$, максимальная величина которой будет определяться геометрией поворота, параметрами движения и количеством транспортных средств.

Будем считать, что движение группы автомобилей в отсутствие жесткой связи между элементами группы, что позволяет рассматривать каждый элемент группы отдельно и определить для него средние значения для коридора и максимальной средней скорости.

Будем искать среднюю скорость движения автомобиля на участке криволинейного движения радиусом r при условиях, что средняя скорость движения на равномерном участке v , автомобиль отклоняется от нормали при повороте не более чем на угол α и сила тяжести в процессе движения автомобиля не изменяется. Тогда скорость автомобиля определяется по формуле

$$v = \sqrt{\frac{gr}{\text{tg}\beta}} \quad (2)$$

где $g=9.8 \text{ м/с}^{-2}$ - ускорение силы тяжести, а максимальная скорость на криволинейном участке пути с радиусом r_{max} и углом отклонения от нормали β_{max} равна

$$v_{\text{max}} = \sqrt{\frac{gr_{\text{max}}}{\text{tg}\beta_{\text{max}}}} \quad (3)$$

Максимальная ширина коридора, определяется как разность радиусов двух точек машины - наиболее удаленной от центра поворота и наиболее близкой к нему. Следовательно, на участке криволинейного движения для габаритных размеров транспортного средства по горизонтали m и h по вертикали коридор равен

$$\frac{m^2}{r} + h \cos \alpha \leq h_{\text{дон}} \quad (4)$$

В (4) максимальное значение ширины коридора определяется при минимальном значении r и максимальном α .

Интервал следования должен обеспечить время на замедление вплоть до полной остановки, в случае, если впереди идущий автомобиль применит экстренное торможение. Из курса физики известно, что тормозной путь S_m определяется скоростью автомобиля v в момент начала торможения, а также коэффициентом трения μ

$$S_m = \frac{v^2}{\mu g} . \quad (5)$$

Очевидно, что выбор дистанции в группе, исходя из условий безопасности движения, должен превышать это расстояние в 2..3 раза, т.е.

$$\Delta l = (2 \dots 3) S_m . \quad (6)$$

Таким образом, формулы (1)-(5) с учетом замечания (6) полностью определяют требования к движению к группе на маршруте.

Оптимизация маршрута. Динамика маршрута описывается дифференциальными уравнениями вида, в соответствии с [1, 3]

$$\dot{x}_i = y_i, \quad \dot{y}_i = u_i(x, y, z), \quad (7)$$

где $x = \{x_1, \dots, x_n\}$, $y = \{y_1, \dots, y_n\}$, $z = \{z_1, \dots, z_n\}$ – координаты, скорость и ускорение центра масс n машин в декартовой системе координат, а $u_i(x, y, z)$ – управляющее воздействие, имеющее смысл ускорения i -ого средства.

Будем считать, что в системе существует обмен информацией и каждой машине доступна информация о параметрах движения соседнего средства, т.е. j -е средство имеет информацию о $j-1$ и $j+1$ средствах, n -е средство имеет информацию о $(n-1)$ -ом.

Тогда закон управления, обеспечивающий следование по траектории, может быть описан в виде

$$u_i = c_k V_i, \quad (8)$$

где $c_k \neq 0$, $k=1, 2, 3$,

$$V_i = (x_i - x_{i-1}, y_i - y_{i-1}, z_i - z_{i-1}) . \quad (9)$$

а $i=1 \dots n$.

Закон управления (8), (9) представляет гладкую по координатам x, y, z функцию, позволяет реализовать управление с обратной связью, его эффективность определяется соответствующим выбором c_k . При выполнении закона (8), (9) каждая машина следует строго по маршруту, определяемому ведущей.

Выводы. В статье обосновываются требования к параметрам движения колонны роботизированных средств, условия выполнения движения, исходя из представлений о физических законах движения транспортных средств. Реальная динамика маршрута определяется математической моделью системы, представляющей систему дифференциальных уравнений второго порядка. Дальнейшие исследования следует направить на оптимизацию закона управления.

Список литературы

1. Кунцевич В.М. Некоторые задачи управления групповым движением подвижных роботов / Кунцевич В.М. // Проблемы управления и автоматики. - № 1. – 2012. – с. 5-18.
2. Ларин В.Б. Об отслеживании программной траектории колесным транспортным роботом / Ларин В.Б. // Проблемы управления и автоматики. - № 1. – 2013. – с. 139-146.
3. Морозов Ю.В. Модификация и сравнительный анализ гладких законов управления группой агентов / Морозов Ю.В. // Автоматика и телемеханика. - № 11. – 2012. – с. 96-113.
4. Кучеров Д.П. Интеграционный подход к задаче выбора маршрута группы БПЛА / Кучеров Д.П., Козуб А.Н. // Искусственный интеллект. - № 4 (62). – 2013. – С. 333-343.
5. Кучеров Д.П. Планирование маршрута БПЛА / Кучеров Д.П., Козуб А.Н. // Вісник східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. - № 5. – 2013. – С. 189-192.
6. Кучеров Д.П. Беспилотные летательные аппараты при выполнении коллективных действий / Кучеров Д.П., Джафарзаде Р.М., Козуб А.Н. // МАА. Elmi Məcmuəler. – Cild 16. - №1. – 2014. – s. 1-8.
7. Горелов В.А. Математическая модель криволинейного движения автопоезда по недеформируемому опорному основанию / Горелов В.А., Тропин С.А. – Журнал автомобильных инженеров. - №5 (70). – 2011. – С. 18-22. – [электронный ресурс]. – режим доступа: <http://www.aae-press.ru/f/70/14.pdf>.
8. Любавский Д.С. Теоретическое исследование устойчивости на поворотах автопоезда, оснащенного управляемой пневматической подвеской / Любавский Д.С. // Научный журнал КубГАУ. - № 82 (08). – 2012. – С. 1-10. – [электронный ресурс]. – режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2012/08/pdf/11.pdf>