

УДК 621.864.8

Моделирование гусеничного робота

*Пехтерев А.А., студент
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Специальная робототехника и мехатроника»*

*Научный руководитель: Рубцов В.И., к.т.н, профессор
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Специальная робототехника и мехатроника»
kafsm7@sm.bmstu.ru*

Введение

Гусеничные автономные мобильные роботы позволяют с наименьшим вмешательством человека в процесс управления решать широкий круг разнообразных задач. Данный вид мобильных роботов, благодаря свойству высокой проходимости гусеничного движителя, позволяет вести работу на пересеченной местности. Разные виды гусеничных мобильных роботов могут использоваться как в промышленных целях, так и для проведения операций, связанных с силовым взаимодействием с вероятным противником.

В связи со стремительным развитием интеллектуальных технологий, становится возможным оснащение роботов комплексом сенсорных средств и средствами обработки информации, позволяющих получать наиболее точную информацию о ситуации и быстро и эффективно генерировать сигналы управления.

Постановка задачи

Были поставлены следующие задачи:

1. Создание математической модели гусеничного мобильного робота на основе упрощенной кинематической схемы движителя, позволяющей производить отработку необходимой траектории на основе базового набора команд;
2. Построение обобщенной функциональной схемы модели системы автономного управления движением;
3. Моделирование основных элементов исполнительной подсистемы гусеничного робота.

Данные задачи будут решаться с помощью пакета MATLAB Simulink.

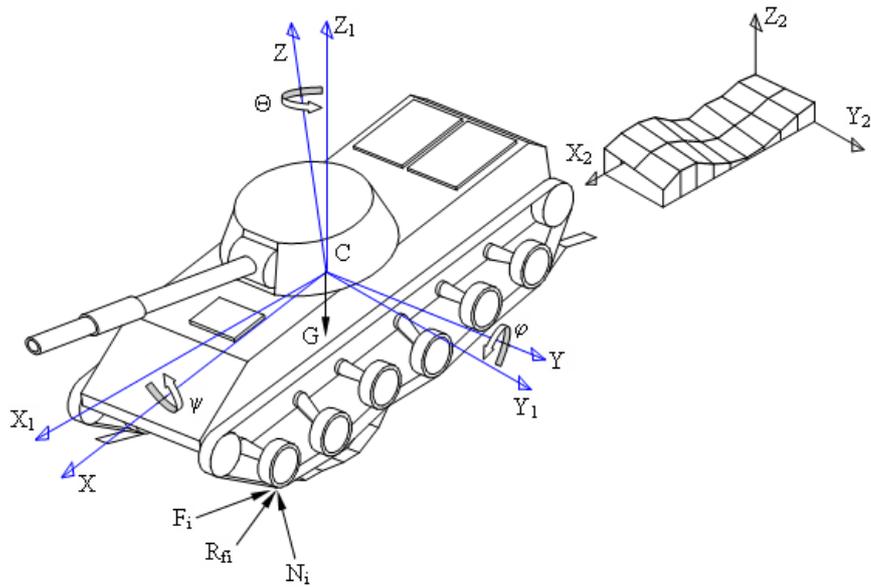


Рис. 1. Схема гусеничного мобильного робота[1]

Упрощенная кинематическая схема движителя робота

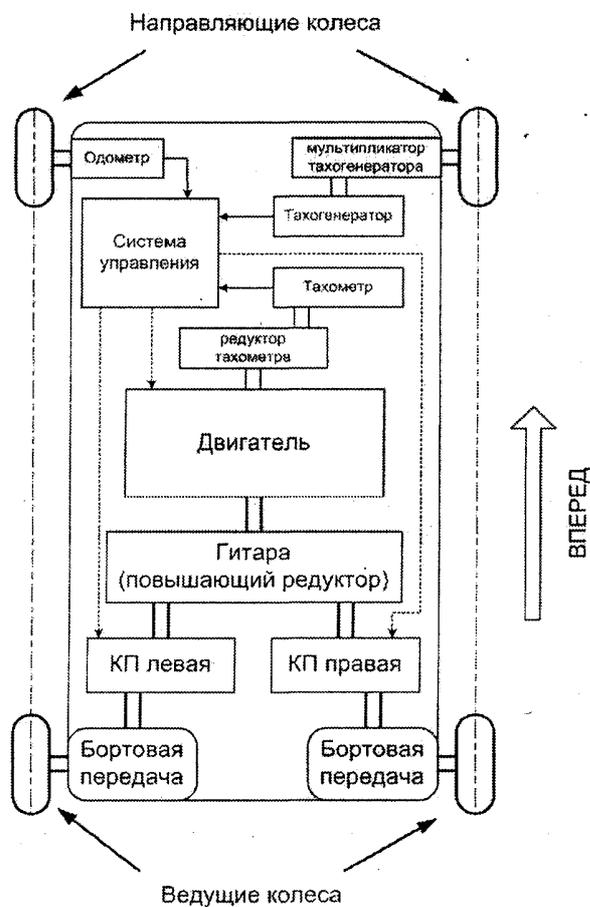


Рис. 2. Упрощенная кинематическая схема движителя робота[1]

На рис. 1 представлена упрощенная кинематическая схема движителя робота. Управление силовой установкой осуществляется путем изменения подачи топлива в двигатель с помощью воздействия на рейку топливного насоса высокого давления через привод управления топливным насосом (педаль газа).

Принцип работы силовой передачи:

Гитара - шестеренчатый повышающий редуктор, предназначенный для передачи крутящего момента от двигателя к коробкам передач - левой и правой.

Коробки передач (КП) предназначены для изменения скорости движения и тяговых усилий на ведущих колесах, поворота и торможения машины, отключения двигателя от ведущих колес (функция сцепления).

Бортовая передача представляет собой одноступенчатый планетарный редуктор с постоянным передаточным числом, понижающий обороты ведомых валов КП и соответственно увеличивающий крутящий момент, передаваемый к ведущим колесам гусеничного движителя.

Привод сцепления размыкает силовую передачу при переключениях скорости и обеспечивает плавное трогание с места.

Привод избирателя выбирает нужную ступень редуктора КП. В течение времени работы этого привода (плюс время включения/выключения сцепления) машина катится по инерции.

Приводы управления поворотом обеспечивают переключение правой или левой КП на одну ступень ниже при перемещении соответствующего рычага назад. При этом борт, имеющий более высокую скорость перематки гусеницы, забегает вперед по сравнению с бортом, переведенным на пониженную передачу, что обеспечивает поворот со строго определенным радиусом.

Привод остановочного тормоза предназначен для включения тормоза на остановках, при пуске двигателя, а также для удержания машины на подъемах, спусках и т.д. При управлении движением он используется лишь для экстренных торможений, а нормальное снижение скорости выполняется путем перехода на пониженную передачу.

Знак направления движения и значение скорости берется от тахогенератора ТГП-1 - задающего элемента блокирующего устройства. Он расположен в кривошипе правого направляющего колеса и включен через мультипликатор с передаточным числом $i_{\text{мул}}=11$. После аналого-цифрового преобразования получается 10-разрядное двоичное число, которое отражает скорость движения во всем диапазоне.

Частота вращения коленчатого вала вычисляется путем подсчета импульсов от датчика тахометра типа Д-4. Датчик связан с коленвалом через редуктор с передаточным числом $i = 2$.

Построение обобщенной функциональной схемы модели системы автономного управления движением (САУД)

На основе данной кинематической схемы возможно составление структурной схемы системы управления движением, которая значительно упрощает создание модели в MATLABSimulink.

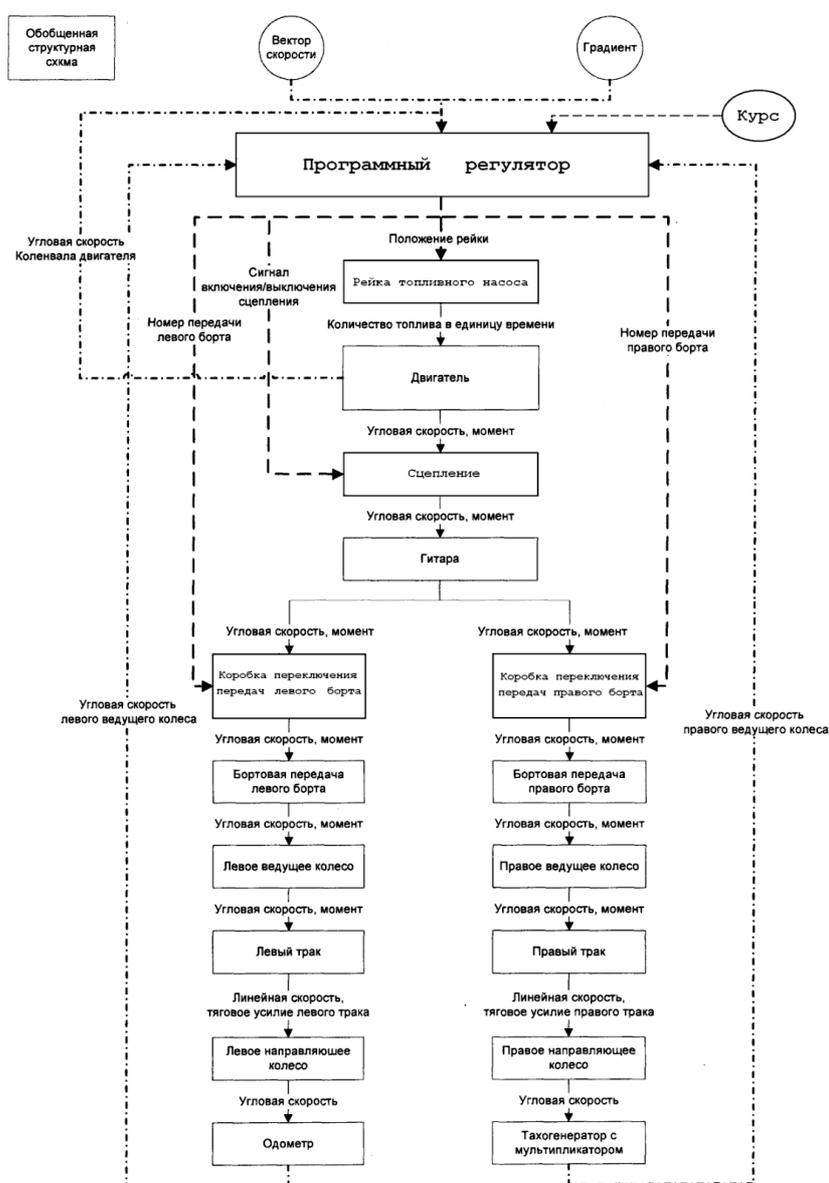


Рис. 3. Обобщенная структурная схема исполнительного уровня САУД[1]

Исходя из данной схемы, на этапе построения обобщенной функциональной схемы модели в MATLABSimulink[5], можно выделить следующие 4 основные подсистемы:

1. *Командный центр (CommandCenter)* – подсистема ввода основных команд, с помощью которых будет осуществляться моделирование. Данные команды задаются в виде матрицы управления. Основные команды:

- Набор, сброс скорости, или поддержание постоянной скорости;
- Поворот робота на заданный угол;
- Задание режимов движения (вперед, останов, назад);
- Тип покрытия дороги (твердое, грунтовое, пересеченная местность);
- Угол наклона.

Выходными переменными подсистемы являются:

- Время (time) – моменты времени, при которых должны выполняться команды из типового набора;
- Режим движения (drivemode) – (вперед 1, стоп 0, назад -1);
- Заданная скорость движения (speed) – в км/ч.
- Заданный угол поворота продольной оси относительно оси неподвижной системы координат (azimuth) – в град.
- Текущее значение угла наклона относительно горизонта (gradient);
- Тип покрытия дороги (roadtype);
- Системная ошибка (Systemerror) – указывает на факт возникновения аварийной ситуации.

2. «Система управления» (*AutomaticControlSystem – ACS*) – система обработки входных сигналов и получения основных управляющих воздействий. Данная система вырабатывает следующие сигналы:

- Позиция педали газа (позиция рейки топливного насоса);
- Сигнал управления сцеплением;
- Номер передачи левого и правого борта;
- Сигнал поворота налево;
- Сигнал поворота направо;
- Сигнал управления педалью тормоза.

3. «Трактор» (*Tractor*) – подсистема, которая производит моделирование реакций внутренних систем робота на внешние управляющие сигналы. На данном уровне моделируются такие устройства танка как:

- Двигатель;
- Повышающие и понижающие редукторы;
- Коробка передач;
- Педаль тормоза.

4. «Динамический преобразователь» (*DynamicTransformer*) - система, моделирования динамики и кинематики движения танка с учетом различных факторов[3]:

- Эффект проскальзывания и буксования;
- Эффект разнородного грунта под левым и правым траками;
- Эффект смещения на косогорах;
- Эффект заноса при поворотах.

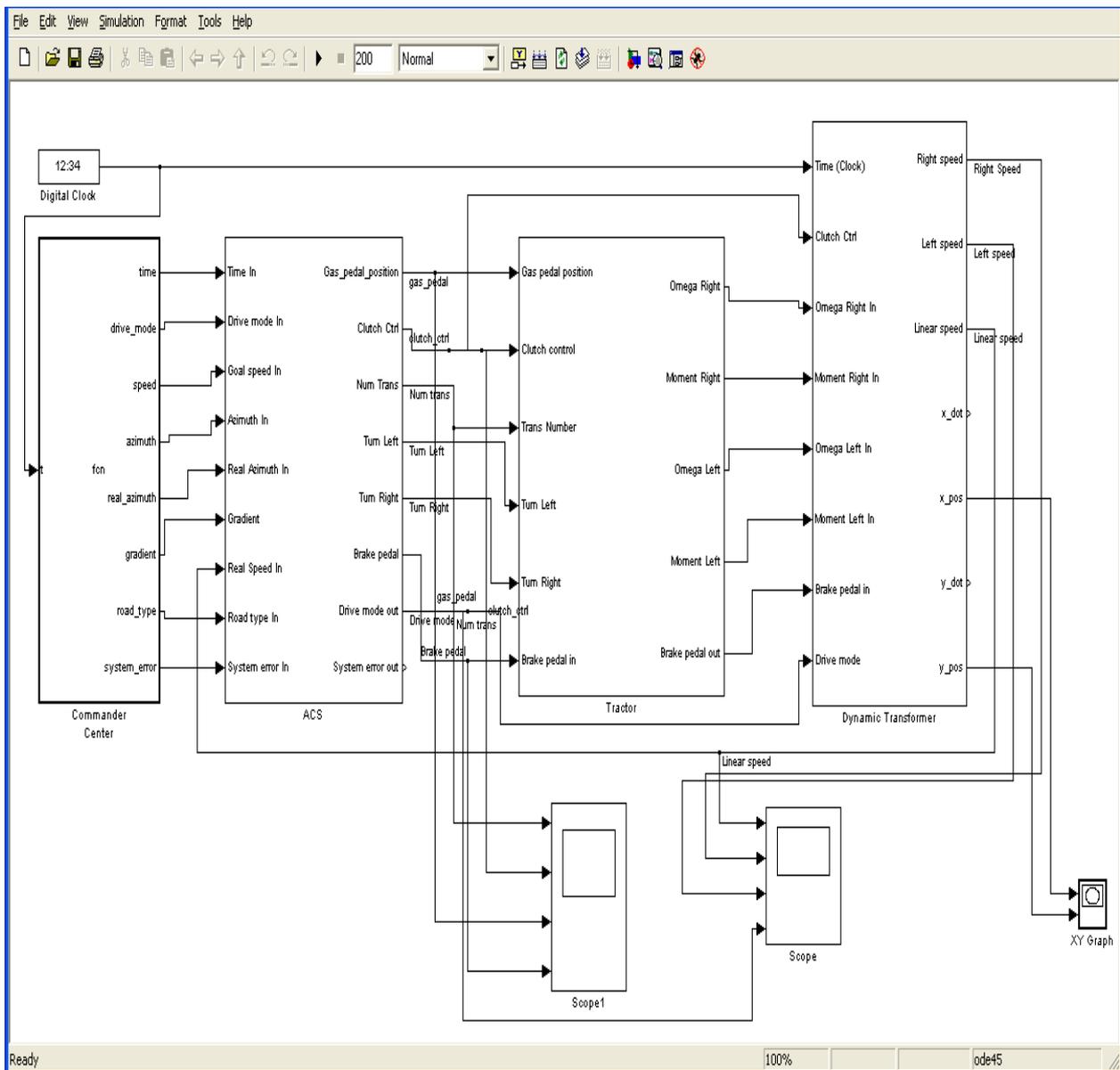


Рис. 4. Обобщенная функциональная схема модели системы автономного управления движением

Моделирование основных элементов исполнительной подсистемы гусеничного робота

Основные элементы исполнительной подсистемы робота при моделировании могут быть представлены в виде передаточных функций. Рассмотрим эти элементы.

Динамика переходных процессов в двигателе (изменение угловой скорости вращения коленчатого вала как функция изменения расхода топлива) может быть аппроксимирована инерционным звеном первого порядка с передаточной функцией

$$W_{\text{дв}}(s) = \frac{k_{\text{дв}}}{T_{\text{дв}}s + 1} \quad \text{и значением постоянной времени } T_{\text{дв}} = 0.2 \div 0.4 \text{ с, значение}$$

коэффициента определяется из паспортных данных двигателя[2]. Можно также считать,

что управляемое перемещение рейки топливного насоса, осуществляемое механическими тягами, может быть инерционным звеном первого порядка $W_{рейки}(s) = \frac{1}{T_{рейки}s + 1}$ с постоянной времени $T_{рейки} = 0.15 \div 0.2$ с.

Математическая модель повышающей передачи «Гитара» может быть представлена в виде безынерционных пропорциональных звеньев. При этом значение угловой скорости умножается на 1.4164, а значение момента умножается на 0.706.

Математическая модель коробки передач (КП) для каждого борта может быть представлена в виде последовательно соединенных звеньев:

1. Исполнительное устройство сцепления.
2. Избиратель номера передачи.
3. Исполнительное устройство КП

Основная задача исполнительного устройства сцепления состоит в моделировании процесса разрыва передачи угловой скорости и крутящего момента на КП. При этом момент не передается от «Гитары» до КП и робот продолжает движение по инерции или останавливается. Для моделирования пробуксовки фрикционных дисков сцепления используются инерционные звенья 1-го порядка с передаточной функцией

$W_{диск}(s) = \frac{1}{T_{диск}s + 1}$ с постоянной времени $T_{диск} = 0.1$ с. и коэффициентом усиления 1.

Избиратель номера передачи представляется в виде звена запаздывания с передаточной функцией $W(s) = \exp(-\tau s)$ с постоянной времени τ из диапазона значений от 1 с. до 3 с.

Основная задача исполнительного устройства КП моделировать изменение угловой скорости и крутящего момента на выходе КП в зависимости от номера выбранной передачи.

Для моделирования инерционности вращающихся масс в коробке переключения передач используются инерционные звенья с передаточной функцией $W_{КП}(s) = \frac{1}{T_{КП}s + 1}$ с постоянной времени $T_{КП} = 0.05$ с.

Математическая модель подсистемы понижающей передачи «Бортовая передача» для каждого борта моделируется с помощью обычных пропорциональных звеньев. При этом значение угловой скорости умножается на 0.184, а значение момента умножается на 5.45.

Математическая модель исполнительного устройства тормоза представляется в виде инерционного звена с передаточной функцией $W_{\text{Тормоз}}(s) = \frac{1}{T_{\text{Тормоз}}s + 1}$ постоянной времени 0.2 с.

Заключение

В работе была построена математическая модель движения гусеничного робота:

1. Проведен анализ упрощенной кинематической схемы движителя робота.
2. По обобщенной структурной схеме исполнительного уровня САУД подробно описана математическая модель, разработанная в программном пакете MATLABSimulink.
3. Исходя из кинематической схемы, было проведено моделирование основных элементов исполнительной подсистемы гусеничного робота, т. е. представлено соответствие передаточных функций основным элементам исполнительной подсистемы.

Данная математическая модель позволяет отрабатывать траекторию движения робота на плоскости с учетом некоторых особенностей использования гусеничного движителя, а также с учетом различного типа грунта, явления проскальзывания и буксования.

Список литературы

1. Машков К.Ю., Рубцов В.И., Рубцов И.В. Состав и характеристики мобильных роботов: учебное пособие по курсу «Управление роботами и робототехническими комплексами». М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. 75с.
2. Грехов Л.В., Иващенко Н.А., Марков В.А. Топливная аппаратура и системы управления дизелей: учебник для ВУЗов. М.: Изд-во «Легион-Автодата», 2009. 344 с.
3. Котиев Г.О., Сарач Е.Б. Комплексное поддрессирование высокоподвижных двухзвенных гусеничных машин. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. 184с.
4. ДэбниДж.Б., Харман Т.Л. Simulink 4. Секреты мастерства. М.: Бинوم. Лаборатория знаний, 2003. 403 с.