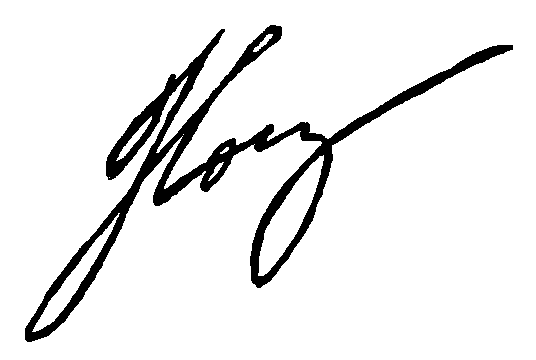
Кубанский государственный технологический университет

Ка­федра ав­то­ма­ти­за­ции тех­но­ло­ги­че­ских про­цес­сов

Задание на контрольную работу

По дис­ци­п­лине “Ав­то­ма­ти­зи­ро­ван­ное управ­ле­ние дис­крет­ными про­цес­сами” для сту­ден­тов за­оч­ной формы обу­че­ния спе­ци­аль­но­сти 21.01 — “Ав­то­ма­тика и управ­ле­ние в тех­ни­че­ских сис­те­мах” на тему: “Син­тез управ­ляю­щего ав­то­мата мо­дели LEGO — “транс­порт­ная те­лежка” и мо­де­ли­ро­ва­ние её дви­же­ния вдоль трассы”



Вы­дано:

Ас­пи­ран­том каф. АПП 06.09.99 /На­пы­лов Р.Н./

сту­денту гр. \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ /\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_/

Крас­но­дар 1999

# Исходные данные

## Управ­ляе­мый про­цесс — дви­же­ние мо­дели LEGO транс­порт­ной те­лежки вдоль за­дан­ной тра­ек­то­рии в виде бе­лой по­лосы. Ори­ен­та­ция те­лежки от­но­си­тельно трассы ре­гу­ли­ру­ется дат­чи­ками кон­тра­ста.

## Ус­лов­ная схема транс­порт­ной те­лежки при­во­дится на ри­сунке 1.1. Те­лежка дви­жется за счёт зад­него при­вода, соз­даю­щего по­сто­ян­ное тяг­ло­вое уси­лие . Вра­ще­ние пе­ред­него ко­леса те­лежки осу­ще­ст­в­ля­ется с по­мо­щью ре­вер­сив­ного по­во­рот­ного дви­га­теля, от­ра­ба­ты­ваю­щего с по­сто­ян­ной уг­ло­вой ско­ро­стью , где — угол по­во­рота пе­ред­него ко­леса (ри­су­нок 1.1)

## Транс­порт­ная те­лежка, как объ­ект управ­ле­ния имеет сис­тему дис­крет­ных вход­ных и вы­ход­ных сиг­на­лов, струк­турно пред­став­лен­ную на ри­сунке 1.2. Ко­ди­ровка ука­зан­ных сиг­на­лов сле­дую­щая:

Таблица . – Кодировка управляющих сигналов

|  |  |
| --- | --- |
| Разряд сигнала  X | Управляющее действие |
| X0 | 1 – двигатель тележки включен  0 – двигатель тележки выключен |
| X1 | 1 – поворотный двигатель отрабатывает влево  0 – двигатель влево не отрабаты­вает |
| X2 | 1 – поворотный двигатель отрабатывает вправо  0 – двигатель вправо не отрабатывает |

Таблица . – Кодировка выходных сигналов

|  |  |
| --- | --- |
| Разряд сигнала  Y | Событие |
| Y0 | 1 – левый датчик над светлой точкой трассы  0 – левый датчик над тёмной точкой трассы |
| Y1 | 1 – правый датчик над светлой точкой трассы  0 – правый датчик над тёмной точкой трассы |

Д

ц



Действие на трассу



Д — датчики контраста;

ц — центр масс тележки;

 — вектор тяглового усилия двигателя;

 — вектор приведенной силы трения;

 — вектор реакции трассы (опоры) на переднее колесо;

 — центростремительная реакция трассы;

 — упрощенная габаритная определяющая;

 — расстояние между датчиками контраста.

Рисунок 1. – Динамическая схема транспортной тележки



Тележка

Автомат

 — трёхразрядный управляющий сигнал;

 — двухразрядный выходной сигнал.

Рисунок 1. – Структурная схема управления транспортной тележкой

Сиг­налы Y ис­поль­зу­ются в ка­че­стве об­рат­ной связи управ­ляю­щего ав­то­мата. По из­ме­не­нию этих сиг­на­лов воз­можно су­дить о те­ку­щем по­ло­же­нии те­лежки от­но­си­тельно бе­лой по­лосы трассы. Сиг­налы X вы­ра­ба­ты­ва­ются управ­ляю­щим ав­то­ма­том в за­ви­си­мо­сти от по­ве­де­ния во вре­мени сиг­на­лов Y так, что бы обес­пе­чить сов­па­де­ние тра­ек­то­рий дви­же­ния те­лежки и трассы.

## Ре­ше­ние о по­дачи пи­та­ния на зад­ний при­вод те­лежки и, рас­по­ло­жен­ный на ней, управ­ляю­щий ав­то­мат при­ни­мает внеш­ний опе­ра­тор. По­этому, ис­ход­ным со­стоя­нием те­лежки яв­ля­ется ак­тив­ность дви­га­теля при­вода. В этом слу­чае за­дача управ­ляю­щего ав­то­мата со­стоит только в обес­пе­че­нии дви­же­ния те­лежки вдоль трассы.

## До­пу­ще­ния, де­лае­мые при рас­смот­ре­нии управ­ляе­мой те­лежки в ди­на­мике:

1. тяг­ло­вое уси­лие  по­сто­янное;
2. приведённая сила трения  пропорциональна линей­ной скорости движения тележки;
3. сила трения , подменяющая реакцию  в момент, когда  (переднее колесо проскальзывает), постоянна и пропорциональна массе тележки;
4. сила трения , подменяющая реакцию  в момент, когда  (тележку заносит), также постоянна и пропор­циональна массе тележки;
5. масса тележки  и её момент инерции  относи­тельно центра масс связаны зависимостью: , как если бы вся масса тележки была сосредоточена в стержне  (рисунок 1.1).

# Основное задание

## Сформировать модель управляющего автомата в форме таблицы переходов и выходов автомата Милли, предварительно составив список его возможных состояний и перекодировав входной алфавит автомата во множество много­значной логики (Y - четырёхзначное);

## Минимизировать, в случае возможности, таблицу пе­реходов и выходов автомата Милли;

## Составить алгебрологические выражения функции пе­реходов и функции выходов минимизированного автомата, ис­пользуя только двоичное представление входных и выходных сигналов;

## Минимизировать полученные функции;

## По минимизированным логическим функциям зарисо­вать цифровую схему управляющего автомата (стандарт услов­ного графического изображения логических элементов — Рос­сийский).

# Дополнительное задание

Вывести модель динамики транспортной тележки. Положе­ние центра масс тележки в плоской системе координат зада­вать вектором положения . Положение точки приложения силы тяги привода задавать вектором .

# Список источников

## Юдицкий С.А., Магергут В.Э. Логическое управле­ние дискретными процессами. Модели, анализ, синтез. — М.: Машиностроение, 1987. — 176 c.

## Кузнецов О.П., Адельсон-Вольский Г.М. Дискрет­ная математика для инженеров. — М.: Энергоатомиздат, 1987. — 450 c.

## Шварце Х., Хольцгрефе Г.-В. Использование ком­пью­теров в регулировании и управлении: Пер. с нем.—М.: Энер­гоатомиздат, 1990. — 176 с.: ил.

## Каган Б.М., Сташин В.В. Основы проектирования микропроцессорных устройств автоматики. — М.: Энергоатом­издат, 1987. — 304 c.

## Мишель Ж., Лоржо К., Эспью Б., Программируемые контроллеры. — Пер. c французского А.П. Сизова — М.: Маши­ностроение, 1986.

## Микропроцессоры: В 3-х кн. Кн. 2. Средства со­пря­жения. Контролирующее и информационно-управляющие сис­темы: Учеб. Для втузов/В.Д. Вернер, Н.В. Воробьёв, А.В. Горячев и др.; Под ред. Л.Н. Преснухина. — М.: Высш. шк., 1986. — 383 c.: ил.

## Фиртич В. Применение микропроцессоров в систе­мах управления: Пер. с нем. — М.: Мир, 1984,—464 c., ил.

# Решение основного задания

## Выходной алфавит транспортной тележки является входным алфавитом управляющего автомата Y. Для возможности применения теории конечных автоматов перекодируем его во множество четырёх знаков в соответствии с таблицей 5.1.

Таблица 5. – Кодировка входного алфавита управляющего автомата

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Y0 | Y1 | Y |
| 0  0  1  1 | 0  1  0  1 | 0  1  2  3 |

## При определении возможных состояний управляющего автомата будем руководствоваться правилом: — допустимо введение избыточных состояний, которые при последующей ми­нимизации автомата исключаются; недопустим пропуск необхо­димого состояния, который уменьшает адаптированность авто­мата к внешним ситуациям.

Перечень возможных состояний ав­томата, отождествлён­ных с ситуационными событиями транс­портной тележки, приво­дится ниже.

Таблица . – Перечень состояний управляющего автомата транспортной тележки

|  |  |
| --- | --- |
| Код  состояния S | Описание состояния |
| 0  1  2  3 | Исходное состояние неуправляемого движения;  Поворот вправо (поворотный двигатель непре­рывно отрабатывает вправо);  Поворот влево (поворотный двигатель непрерывно отрабатывает влево);  Конфликт поворотов. |

## Для возможности формирования математической мо­дели управляющего автомата рассмотрим описательный алго­ритм управления транспортной тележки по состояниям:

* В исходном состоянии тележка непрерывно движется под действием привода. Ни один из датчиков контраста не находится над белой полосой трассы. Поворотный двигатель остановлен;
* При возникновении белой полосы под левым датчиком контраста включается поворотный двигатель на отработку влево. Привод отключается и далее следует движение по инерции, что уменьшает вероятность заноса тележки;
* Как только левый датчик контраста “сходит” с белой полосы поворотный двигатель останавливается в текущем со­стоянии, а привод вновь запускается;
* При возникновении белой полосы под правым датчиком — поведение транспортной тележки аналогично;
* Возникновение белой полосы под правым и левым дат­чиком свидетельствует о том, что тележка движется перпен­дикулярно трассе. Это сбойная ситуация, при которой сле­дует отключение привода и блокировка управляющего авто­мата. Нормальный ход работы автомата может быть восстанов­лен только “сбросом”.

## Поскольку управляющий сигнал имеет три разряда, то для составления модели автомата Милли необходимо по­строить три таблицы переходов и выходов. Указанные таб­лицы, эквивалентные описательному алгоритму управления, приводятся ниже.

Таблица . – Таблицы переходов и выходов управляющего автомата

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Код  Si | Для X0 | | | | Для X1 | | | | Для X2 | | | |
| y | | | | y | | | | y | | | |
| 0 | 1 | 2 | 3 | 0 | 1 | 2 | 3 | 0 | 1 | 2 | 3 |
| 0 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Код  Si | Для X0 | | | | Для X1 | | | | Для X2 | | | |
| y | | | | y | | | | y | | | |
| 0 | 1 | 2 | 3 | 0 | 1 | 2 | 3 | 0 | 1 | 2 | 3 |
| 1 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

## Как видно, состояния S0, S1, S2 явно эквивалентны, причём для каждого из выходов X. Представляется возможным эти эквивалентные состояния обозначить одним состоянием S0 – состояние управления тележкой. В этом случае, состояние блокировки S3 удобно переобозначить как S1 – состояние бло­кировки автомата. В результате получаем модель несократи­мого автомата Милли.

Таблица 5. – Таблицы переходов и выходов несократимого автомата

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Код  Si | Для X0 | | | | Для X1 | | | | Для X2 | | | |
| y | | | | y | | | | y | | | |
| 0 | 1 | 2 | 3 | 0 | 1 | 2 | 3 | 0 | 1 | 2 | 3 |
| 0 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

## Учитывая, что код состояния полученной модели описывается одноразрядным сигналом S, а также учитывая ко­дировку входных сигналов Y (табл. 5.1), составим таблицу истинности комбинационной схемы автомата, непосредственно по таблице 5.4 и введя обозначения: S[j] — текущий сигнал состояния, S[j+1] — сигнал состояний на следующем такте автомата.

Судя по таблице 5.5, минимизации поддаётся только функция переходов . Минимизируем её мето­дом карт Карно (см. рис. 5.1).

Таблица 5. – Таблица истинности комбинационной схемы автомата

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| S[j] | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Y0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| Y1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| S[j+1] | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| X0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| X1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| X2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Рисунок 5. – Минимизация функции переходов методом карт Карно



## Теперь можно записать логические выражения для комбинационной схемы автомата.

Функция переходов:

. (.)

Функции выходов в СДНФ по таблице истинности:

. (.)

Для удобства реализации комбинационной схемы предста­вим рассматриваемые функции в базисе “ИЛИ-НЕ”:

. (.)

## На основе системы (5.3), окончательно получаем цифровую схему реализации управляющего автомата транспорт­ной тележки, представленную на рисунке 5.2.

Особенностью полученной схемы является то, что она не содержит элементы памяти и задержки и, соответственно, не является тактируемой. Такой вариант реализации возможен для автоматов с двумя состояниями, одно из которых явля­ется абсолютно устойчивым. В нашем случае состояние блоки­ровки есть абсолютно устойчивое состояние. Если комбинаци­онная схема сформируем это состояние, то за счёт обратной связи по линии S запрещается реакция выходов X на измене­ние входных сигналов Y. Выход из этого устойчивого состоя­ния возможен только принудительным обнулением линии S еди­ничным уровнем на линии “Сброс”. Конфликтных “Состязаний” в рассматриваемом автомате не возникает.

1

1

1

1

1

1

1

1

1

1

1

1



“Сброс”

Рисунок 5. – Цифровая схема управляющего автомата транспортной тележки

# Решение дополнительного задания

## Действующая на тележку в динамике система сил раскладывается на результирующую силу, приложенную к цен­тру масс тележки и вращающий момент , относительно того же центра масс.

## Как видно из рисунка 1.1 вращающий момент опреде­ляется только силой реакции опоры переднего колеса —

, (.)

1.  — угол поворота переднего колеса.

Зная из рисунка, что

, (.)

получим:

. (.)

Положительные значения вращающего момента соответствуют повороту тележки влево, отрицательные — вправо.

## Результирующая сила, действующая на центр масс тележки, определяется векторной суммой всех сил на рисунке 1.1:

. (.)

Для нашего случая важно знать направление действия силы , которое зависит от направлений и величин состав­ляющих рассматриваемой суммы. В свою очередь направления составляющих рассматриваются относительно положения габа­ритной определяющей, которое характеризуется единичным вектором:

, (.)

1.  — вектор, задающий координаты центра масс тележки;

 — вектор, задающий координаты точки приложения силы тяги ;

 — габаритная определяющая транспортной тележки.

## Вектор представляется в базисе вектора сле­дующим образом:

, (.)

1.  — единичный вектор, ортогональный вектору ,

или

. (.)

Если  имеет координаты , то  имеет координаты . Тогда вектор , выраженный в базисе Декартовой системы координат, имеет вид:

, (.)

1.  — матрица (оператор) поворота вектора  на угол .

Теперь, используя выражение (6.2), окончательно найдём, что

. (.)

## Из рисунка 1.1 очевидным образом вытекают выраже­ния для векторов силы тяги и приведённой силы трения, а именно:

, (.)

. (.)

## Центростремительная реакция трассы определя­ется произведением массы тележки и нормальной составляющей ускорения её центра масс, возникающей при закруглении тра­ектории движения:

, (.)

1.  — центростремительное ускорение.

Если траектория движения центра масс задаётся векто­ром , то

, (.)

1.  — вектор скорости центра масс;

 — вектор полного ускорения;

 — оператор скалярного произведения векторов.

Это физический факт. Вывод его опускаем.

## Центр масс тележки смещается под действием ре­зультирующей силы , при этом справедливо:

. (.)

## Точка приложения силы тяги смещается под дейст­вием вращающего момента , за счёт которого ей придаётся угловое ускорение :

, (.)

1.  — момент инерции тележки относительно центра масс.

Зная угловое ускорение можно найти тангенциальное  в скалярной форме:

,

а затем и в векторной:

, (.)

1.  — векторная скорость изменения ориентации габа­ритной определяющей.

С другой стороны, — вектор тангенциального ускорения может быть выражен через полное ускорение вектора :

, (.)

1.  — вектор полного ускорения изменения ориентации габаритной определяю­щей;

В результате имеем связь:

. (.)

## Учитывая, что приведённая сила трения пропорцио­нальна модулю скорости центра масс:

, (.)

1.  — коэффициент трения,

на основании всех найденных зависимостей путём исключения неизвестных нетрудно получить систему дифференциальных уравнений, являющуюся моделью динамики транспортной те­лежки в векторной форме. Записать эту систему в одну строчку проблематично, поэтому ограничимся указанием того, что первое дифференциальное уравнение системы строится на основе выражений: (6.3), (6.4), (6.5), (6.9), (6.10), (6.11), (6.13), (6.14), (6.19), а второе на основе: (6.3), (6.5), (6.18). Решением первого уравнения является зависи­мость траектории центра масс тележки от времени, решением второго — ориентация во времени вектора .

Полученная система не имеет аналитического решения и поэтому должна решаться численно при любой зависимости от времени угла поворота  и четырёх начальных условиях типа:

, (.)

которые показывают, что в нулевой момент времени центр масс тележки находится в начале координат, скорость те­лежки равна нулю (и поступательная и вращательная), те­лежка сориентирована вертикально по оси .

Для более детального учёта свойств транспортной те­лежки в динамики выражения векторов реакций трассы должны быть заменены на выражения с условиями сравнений в соот­ветствии с допущениями, сформулированными в задании кон­трольной работы.