

Н.И. Ободан, М.К. Гук

Днепропетровский национальный университет им. Олеся Гончара

ДИСКРЕТНАЯ ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ОСВЕЩЕНИЕМ АВТОМОБИЛЯ

Рассмотрена задача управления элементами осветительной системы автомобиля в зависимости от состояния внешней среды. Управление динамической системой реализовано на основе модели логического вывода, позволяющего учесть неопределенность начального состояния системы и состояние внешней среды. Разработан алгоритм управления, который идентифицирует систему в процессе функционирования и управляет ею в режиме реального времени.

Розглянуто задачу керування елементами освітлювальної системи автомобіля залежно від стану зовнішнього середовища. Керування динамічною системою реалізовано на основі моделі логічного виведення, що дозволяє враховувати невизначеність початкового стану системи і стан зовнішнього середовища. Розроблено алгоритм керування, який ідентифікує систему в процесі функціонування і керує нею в режимі реального часу.

The problem of control elements of the lighting system of the car depending on the state of the environment is investigated. Control of dynamic system is implemented based on the model inference. This allows taking into account the uncertainty of the initial state of the system and the state of the environment. Control algorithm, which identifies the system during operation and manages in real time, is developed.

Ключевые слова: система освещения автомобиля, динамическая система управления, логический вывод, микропроцессор, Arduino, GPS.

Введение. При управлении сложной системой возможны ситуации, когда начальное состояние системы, состояние внешней среды и цель управления могут быть как частично неопределенными, так и нечеткими, при этом информация о состоянии объекта и внешней среды поступает в дискретном режиме. Наличие разнообразных помех также является источником неопределенности и приводит к неполной априорной информации об объекте управления. К таким системам относятся, например, системы управления движением сложных технических объектов [2; 4; 5], системы освещения, системы регулирования, системы моделирования технологических процессов [3], интеллектуальные системы мониторинга окружающей среды, системы управления телекоммуникационными сетями и др.

Применение классических подходов к управлению такими системами с использованием традиционного математического аппарата теории управления приводит к непреодолимым трудностям.

В настоящее время для моделирования таких систем применяют когнитивные структуры [7], называемые знаниями, а для решения задач управления – методы теории интеллектуальных систем, основанные на таких базовых технологиях, как экспертные системы, нечеткая логика, искусственные нейронные сети, генетические алгоритмы. Положительной особенностью применения таких подходов является способность адаптации системы в изменяющейся среде, невысокая чувствительность к полноте описания состояний.

С развитием микропроцессорной техники наблюдается тенденция алгоритмической и системотехнической интеграции системы управления и объекта управления, аппаратной платформой для которой служат специализированные вычислительные системы – микроконтроллеры, программируемые микросхемы и их гибриды [1]. Поэтому актуальным является создание встраиваемых интеллектуальных систем управления, сочетающих в себе простоту и надежность с возможностью реализации сложных алгоритмов интеллектуального управления.

Кроме того, применение такого подхода к управлению динамической системой обеспечивает возможность гибкого изменения алгоритма управления в процессе модернизации или при адаптивной модификации в процессе функционирования.

В данном исследовании рассматриваем задачу управления элементами осветительной системы автомобиля в зависимости от состояния внешней среды.

Постановка задачи. Рассмотрим систему управления внешними осветительными устройствами автомобиля, которая обеспечивает выполнение правил дорожного движения и в автоматическом режиме включает ближний свет фар автомобиля или дневные ходовые огни в зависимости от реальных условий, в которых находится автомобиль – освещенности, календарной даты, местоположения автомобиля по отношению к границам населенных пунктов.

Математическая модель объекта и системы управления. Модель динамической системы, которая описывает целенаправленное поведение осветительной системы автомобиля, представим в виде

$$x(t+1) = \varphi(\psi(\{x(t), u(t)\})),$$

где $x(t) = \{x_i(t)\}$ – вектор состояния осветительной системы в момент времени t ; $u(t)$ – управление.

Процедура φ – процедура замыкания множества наблюдаемых фактов S , которая управляет вычислениями и рассуждениями, направленными на формирование вектора состояния $x(t)$

$$\varphi(S(t)) = x(t).$$

Процедура диахромного перехода ψ осуществляет переход на определенный тип управления по текущему состоянию. Процедуры φ и ψ реализуются при помощи выполнения правил двух типов RS и RD соответственно, которые образуют базу правил $R = \{RS, RD\}$.

Правило является продукционным и может быть представлено упорядоченной тройкой множеств $r = \{C, A, D\}$, где C – условие правила; A – множество фактов, добавляемых правилом; D – множество фактов, удаляемых правилом.

Правила замыкания RS содержат такие действия, результат которых расширяет описание состояния системы в фиксированный момент времени t , правила перехода RD содержат правила, результат действия которых формирует новое состояние системы.

Метод решения и алгоритм работы системы управления. Для обеспечения управляемости системы база правил удовлетворяет следующим требованиям [5]:

1. Для каждого подмножества правил $R_i \subseteq R$ и каждого состояния S должны выполняться условия

$$S \subseteq A(R_i) \text{ и } S \cap D(R_i) = 0,$$

где $A(R_i)$ – объединение множества всех фактов, добавляемых правилами из R_i ; $D(R_i)$ – объединение множеств всех фактов, удаляемых правилами из R_i ;

2. С помощью управления $u_i(t)$ система должна переводиться из состояния x_1 в состояние x_2 , каждый факт встречается не более чем в одном правиле.

На каждой итерации в процессе решения уравнения $\varphi(S) = x(t)$ для каждого события x_i текущего состояния $x(t)$ процедура φ предполагает обращение к базе знаний и выполнение следующих действий:

- 1) в базе правил RS на множестве имен и концептов событий выполняется поиск всех правил, условия которых сопоставимы с ситуацией S_i ;

- 2) для каждого найденного правила R_i^+ вида *ЕСЛИС ТО A*, где A – список добавляемых событий, строится множество $\varphi(S) = S \cup A$;

- 3) для каждого найденного правила R_i^- *ЕСЛИС ТО D*, где D – список удаляемых событий и $D \in S$, строится множество $\varphi(S) = S \setminus D$, если $D \notin S$, то строится множество $\varphi(S) = S$;

- 4) для каждого экземпляра x события-прототипа X запускаются все процедуры, которым x доставляет фактические параметры, вычисляются процедурами экземпляра Z и $\varphi(S) = S \cup Z_0$;

- 5) шаги повторяются до стабилизации $\varphi(S)$.

Принятие решений о поведении системы осуществляется на основе базы знаний, индексируемой информацией о текущем состоянии системы.

Правило типа RS реализует процедуры вычисления дополнительных фактов о текущей ситуации – вычисление времени восхода (захода) солнца по географическим и календарным данным, определение состояния освещенности по значениям, полученным от датчиков освещенности.

С каждым правилом RD связано действие исполнительного органа, обеспечивающее включение одного или нескольких компонент системы освещения. Эти же правила применяются для компоновки элементов системы освещения в текущей ситуации.

На основании правил типа RD процедура ψ предусматривает выбор правила перехода для осуществления воздействия системой управления. Для каждого события S текущего состояния $x(t)$ процедура ψ выполняет действия, аналогичные действиям, указанным в пунктах 1) – 3). При этом в качестве заключения правила выступает команда перехода на один из типов управления и его реализация. Процесс организуется следующим образом:

- 1) выбирается некоторое правило типа RD ;

- 2) проверяется выполнимость условия *ЕСЛИС* правила в состоянии S_i (текущая ситуация);

- 3) если условие выполнимо, то для множества добавляемых и удаляемых фактов выполняются условия присваивания:

$$k := i, t = i + v,$$

где v – время сдвига начала добавляемого факта по отношению к текущему моменту времени k , в который выполнены условия правила;

- 4) в каждое правило на места свободных переменных подставляются соответствующие значения из базы правил;

5) каждый из полученных фактов записывается в состояние $S(t)$.

Шаги выполняются до исчерпания множества применимых правил.

К полученному состоянию применяется процедура φ и строится состояние $\varphi(S(t))$.

Проиллюстрируем работу предложенного метода и алгоритма управления на примере управления осветительной системой автомобиля.

Одним из важных факторов активной безопасности является заметность автомобиля на дороге для других участников дорожного движения, поэтому своевременно включенные внешние осветительные устройства (фары ближнего света, дневные ходовые огни) на автомобиле являются обязательными.

В соответствии с Правилами дорожного движения Украины (ПДД Украины) [6] дневные ходовые огни (ДХО) на движущемся автомобиле должны быть включены за пределами населенного пункта в период с 1 октября по 1 мая (п. 9.8. ПДД Украины). Также регламентируются условия для включения фар ближнего света (ФБС) – темное время суток, условия недостаточной освещенности дороги (п.19.1. ПДД Украины). При этом темное время суток определяется как время от захода до восхода солнца, а недостаточная освещенность – как видимость дороги в направлении движения меньше 300 м. В силу специфики сформулированных условий при управлении автомобилем возможны ситуации, например, въезд в тоннель, когда решение о включении освещения надо принимать мгновенно, что увеличивает вероятность неверного решения и отвлекает водителя от управления автомобилем.

Информация о состоянии внешней среды может быть получена в виде дискретных сигналов от датчика освещенности и модуля позиционирования GPS.

Модель системы управления включает следующие компоненты:

- 1) модель освещенности;
- 2) модель позиционирования;
- 3) модель текущего времени.

Значения параметров для каждой из моделей поступают

- от датчика освещенности – состояние действующих на данный момент дорожных условий (ухудшение погоды, туман, снегопад или въезд в тоннель и т.д.);

- от модуля позиционирования GPS – календарная дата для определения необходимости включения в этот день ДХО, географические координаты для определения местоположения автомобиля по отношению к границам населенного пункта, текущее время. При этом значение текущего времени периодически сравнивается со временем восхода (захода) солнца, которое вычисляется для данной даты и географической широты.

Вводятся входные переменные с множеством дискретных значений: освещенность = {светло, темно}; время суток = {день, ночь}; местоположение автомобиля = {город, трасса}, географические координаты автомобиля = {значение широты, значение долготы}; календарная дата = {день, месяц, год}, время восхода (захода) солнца = {часы, минуты, секунды}; текущее время = {часы, минуты, секунды};

Каждая из моделей описывается вектором состояния, значения компонент которого могут быть получены непосредственно от датчиков или вычислены на основании правил замыкания. Так, модель освещенности описывается вектором {освещенность, время суток}; модель позиционирования описывается вектором {географические координаты автомобиля, географические координаты границ населенных пунктов, календарная дата, текущее время}; модель текущего времени: {календарная дата, текущее время, время восхода (захода) солнца}. Для формирования конкретных значений в векторах состояний используются показания датчика освещенности, показания модуля GPS и правила замыкания.

Множество возможных состояний разбивается на три зоны управления. В каждой зоне действуют свои законы управления, определяемые правилами. Выделяются следующие зоны управления:

- 1) ДХО – выключены, ФБС – выключены.
- 2) ДХО – включены, ФБС – выключены.
- 3) ДХО – выключены, ФБС – включены.

Значения включен / выключен в базе правил перехода обозначены булевыми константами 1 / 0.

Правила замыкания представляются в форме ЕСЛИ условие ТО заключение, где заключение состоит из списков добавляемых и удаляемых фактов. Примеры правил RS имеют вид:

1) ЕСЛИ географические координаты автомобиля = $\{\alpha, \beta\}$ ТО время восхода (захода) солнца = функция $(\alpha, \beta, \omega_0, \phi, \delta)$;

2) ЕСЛИ географические координаты автомобиля = $\{\alpha, \beta\}$ И географические координаты границ населенных пунктов = заданы ТО местоположение автомобиля = процедура определения принадлежности точки области (географические координаты автомобиля, географические координаты границ населенных пунктов);

3) ЕСЛИ текущее время < время восхода солнца И текущее время > время захода солнца ТО время суток = ночь;

4) ЕСЛИ текущее время > время восхода солнца И текущее время < время захода солнца ТО время суток = день;

5) ЕСЛИ показание датчика освещенности > начало интервала И показание датчика освещенности < конец интервала ТО освещенность = светло;

6) ЕСЛИ показание датчика освещенности > конец интервала И показание датчика освещенности < начало интервала ТО освещенность = темно.

Приведенные примеры правил содержат функцию вычисления времени восхода (захода) солнца и процедуру определения местоположения автомобиля по отношению к границам населенных пунктов.

Вычисление времени восхода (захода) солнца для конкретной географической координаты осуществляется в соответствии с [8]:

$$\text{функция } (\alpha, \beta, \omega_0, \delta) = 12 - (+) \cos \omega_0,$$

где α, β – значение широты, значение долготы точки на местности; $\cos \omega_0 = -\tan \alpha \cdot \tan \delta$; ω_0 – часовой угол солнца при восходе (если выбрано отрицательное значение) или при заходе (если выбрано положительное значение); δ – склонение солнца.

Процедура определения местоположения автомобиля по отношению к границам населенных пунктов в качестве входных данных использует географические координаты автомобиля, полученные как сигнал модуля позиционирования GPS, и географические координаты границ населенных пунктов.

Для определения географических координат точек, из которых состоит граница населенных пунктов, выбран открытый картографический сервис OpenStreetMap (OSM). С использованием инструмента для доступа к базам данных OSM – Overpass turbo могут быть построены xml-запросы и получены xml-файлы с географическими координатами всех точек, принадлежащих границе города.

Алгоритм определения местоположения автомобиля таков:

1. Подготовить входные данные с географическими координатами границы населенного пункта в виде отдельных файлов «n.txt», названия которых совпадают со значением географической долготы n, n – целое число. Один файл содержит информацию о точках со значениями долготы от n.000 до x.999. Координаты точек сортируются по долготе от меньшего значения к большему.

2. Определить географические координаты положения автомобиля, присвоить переменным α, β эти значения. Открыть файл, название которого совпадает с целой частью текущего значения географической долготы.

3. Выполнить проверку условия, если файл с таким названием не существует, то переход на пункт 7, иначе переход на пункт 4.

4. Организовать цикл по перебору точек массива до достижения точки, долгота которой совпадает с географической долготой автомобиля.

Ввести переменные before и after, значения которых инкрементируются по правилу: если широта точки, принадлежащей границе области, больше значения широты точки, в которой находится автомобиль, то переменная before инкрементируется на 1, иначе - переменная after.

5. После выхода из цикла анализируются значения переменных before и after по правилам: если значения обеих переменных равны 0, то переход к пункту 7 (автомобиль находится вне области); если значения обеих переменных нечетные, то переход к пункту 6., если четные, то переход к пункту 7.

6. Автомобиль находится в пределах области. Переход к пункту 8.

7. Автомобиль находится вне области. Переход к пункту 8.

8. Конец.

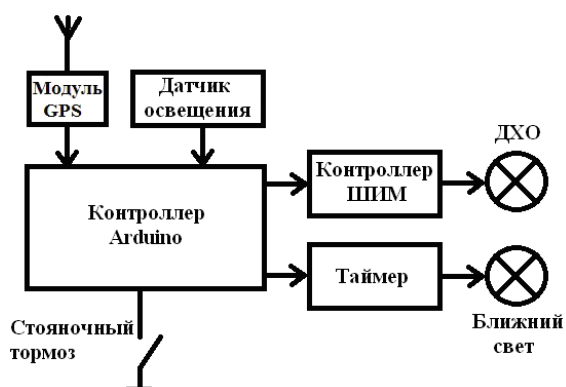
Правила перехода представлены в виде таблицы:

Таблица

темно	светло	темно	светло	темно	светло	темно	светло	темно	светло	темно	светло	темно	светло	темно	светло
день	ночь	день	ночь	день	ночь	день	ночь	день	ночь	день	ночь	день	ночь	день	ночь
город				трасса				город				трасса			
1 мая – 1 октября								1 октября – 1 мая							
ДХО															
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Фары ближнего света															
1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1

Практическая реализация автоматизированной системы управления. Изложенный подход к построению системы управления освещением автомобиля был реализован в виде технического устройства на основе контроллера Arduino [9]. На входы контроллера поступают сигналы от датчика освещенности и модуля позиционирования GPS. Команды загрузки базы правил и результат выполнения функций логического вывода поступают от микроконтроллера через порты ввода-вывода. На выходах контроллера осуществляется управление фарами ближнего света и ДХО в зависимости от значений сигналов на входах.

Блок-схема прибора изображена на рисунке.



Выводы. В работе показано, что автоматизированная система управления освещением автомобиля может быть реализована на основе модели логического вывода, позволяющего учесть неопределенность начального состояния системы и состояние внешней среды. Разработан алгоритм управления, который идентифицирует систему в процессе функционирования и управляет ею в режиме реального времени. Изготовлен экспериментальный образец, на котором проверена работоспособность системы управления и программного обеспечения.

Библиографические ссылки

1. **Бирюков, С.А.** Цифровые устройства на МОП-интегральных микросхемах [Текст] / С.А. Бирюков. – М.: Радио и связь. – 1996 г., 128 с.
2. **Виноградов, А.Н.** Динамические интеллектуальные системы. Представление знаний и основные алгоритмы [Текст] / А.Н. Виноградов, Л.Ю. Жилияков, Г.С. Осипов // Известия АН. Теория и сист. упр. – 2002. – № 6. – С. 119-127.
3. **Волин, Ю.М.** Оптимизация технологических процессов в условиях недостаточной экспериментальной информации на этапе функционирования [Текст] / Ю.М. Волин, Г.М. Островский // Автоматика и телемеханика. – 2005. – № 8. – С. 3–21.
4. **Глумов, В.М.** Синтез обобщенного алгоритма адаптации на основе нечеткой логики для дискретной системы управления деформируемым космическим аппаратом [Текст] / В.М. Глумов, И.Н. Крутова // Автоматика и телемеханика. – 2006. – № 6. – С. 174–193.
5. **Лебедева, Т.Г.** Архитектура и управляемость дискретных динамических систем, основанных на знаниях [Текст] / Т.Г. Лебедева, Г.С. Осипов // Известия АН Теория и сист. упр. – 2000. – № 5. – С. 37–43.
6. Правила дорожного руху України з змінами та доповненнями у відповідності з постановою Кабінета Міністрів України №111 від 11.02.2013 та №136 від 06.03.2013
7. **Пупков, К.А.** Методы робастного, нейронечеткого и адаптивного управления [Текст] / К.А. Пупков, Н.Д. Егупов, А.И. Гаврилов. – М.: Изд.-во МГТУ им. Баумана. – 2002. – 743 с.
8. The Astronomical Almanac for the Year 2015. – United States Naval Observatory [Text]/ Nautical Almanac Office, 2014.
9. **Соммер, У.** Программирование микроконтроллерных плат Arduino/Freeduino [Текст] / У. Соммер. – СПб.: БХВ-Петербург, 2012. – 256 с.

Надійшла до редколегії 29.04.2015