УДК 621.396

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АДАПТИВНОГО КРУИЗ-КОНТРОЛЯ

Зайцев Эдуард Матвеевич, магистрант;
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана,
Москва, Российская Федерация

Приведено описание системы помощи водителю, сформулированы основные проблемы и задачи, связанные с анализом дорожной обстановки. Показаны результаты обработки реальных измерений и моделирования работы системы адаптивного круиз-контроля.
Ключевые слова: система помощи водителю; автомобильный радиолокатор; адаптивный круиз-контроль; моделирование.

DEVELOPMENT OF ADAPTIVE CRUISE CONTROL SYSTEM

Zaytsev Eduard Matveevich, undergraduate;
Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

The article describes the advanced driver-assistance system, formulates the main problems and tasks associated with the analysis of the road situation. The results of processing real radar measurements and modelling the operation of the adaptive cruise control system are presented.
Keywords: advanced driver-assistance system; car radar; adaptive cruise control; modeling.

Для цитирования: Зайцев Э.М. Разработка системы адаптивного круиз-контроля // Наука без границ. 2020. № 3(43). С. 68-75.
For citation: Zaytsev E.M. Development of adaptive cruise control system // Nauka bez granic, 2020, no. 3(43), pp. 68-75.

Введение

В автомобильной индустрии большое внимание уделяется развитию систем активной помощи водителю (англ. ADAS – Advanced Driver Assistance System) – это электронные системы, предназначенные для повышения безопасности транспортных средств. Цель применения таких систем – уменьшение количества несчастных случаев и смягчение их последствий путем минимизации человеческой ошибки, которая является основной причиной большинства дорожно-транспортных происшествий.

Система помощи водителю использует информацию, собранную с камер, радаров и других встроенных датчиков, для определения ситуации на дорогах и предупреждения водителей в случае возникновения потенциально опасных ситуаций.

Одна из основных составляющих системы помощи водителю – адаптивный круиз-контроль (англ. ACC – Adaptive Cruise Control). В отличие от классического круиз-контроля, в котором обеспечивается слежение только за собственной скоростью, адаптивная система автоматически поддерживает заданную дистанцию до впереди идущего автомобиля. В зависимости от предъявляемых требований различают несколько типов систем: некото-

рые имеют возможность полностью останавливать и начинать движение, уменьшая нагрузку на водителя во время нахождения в городских пробках, тогда как остальные работают в ограниченном диапазоне скоростей – например, при движении на трассах на высоких скоростях. Вопросам моделирования ADAS посвящено много работ, например, в [1] проведено моделирование работы алгоритма сопровождения в радиолокационной системе помощи водителю. В данной работе показаны результаты моделирования алгоритма выбора целевого объекта и системы ACC.

Определение целевого объекта

Для функционирования системы адаптивного круиз-контроля необходимо иметь информацию о дорожной обстановке перед основным автомобилем. В прототипах автопилотируемых автомобилей для обнаружения препятствий применяются вращающиеся лидары, так как они обеспечивают высокую точность при относительно простой обработке данных. Однако такие недостатки, как наличие движущихся компонентов, зависимость характеристик от погодных условий и высокая цена, делают непригодным применение лидаров в массовом производстве систем помощи водителю. Для смягчения этих недостатков можно использовать одновременно несколько разных датчиков. Например, преимуществом радара является устойчивость к плохим погодным условиям и возможность прямого измерения радиальной скорости объектов. Специальные камеры применяются для распознавания объектов инфраструктуры: определения типа препятствия слежением за дорожными знаками, сигналами светофоров и разметкой. Объединение данных с камер и радаров является нетривиальной задачей и для ее решения разрабатывается огромное количество различных алгоритмов.

Целевым объектом системы адаптивного круиз-контроля является ближайшее транспортное средство, движущееся в одной полосе с основным автомобилем. Если координаты автомобиля попадают в область, определенную использованием известной ширины и радиуса кривизны дороги (рис. 1), то считается, что автомобиль находится в полосе движения основного автомобиля.

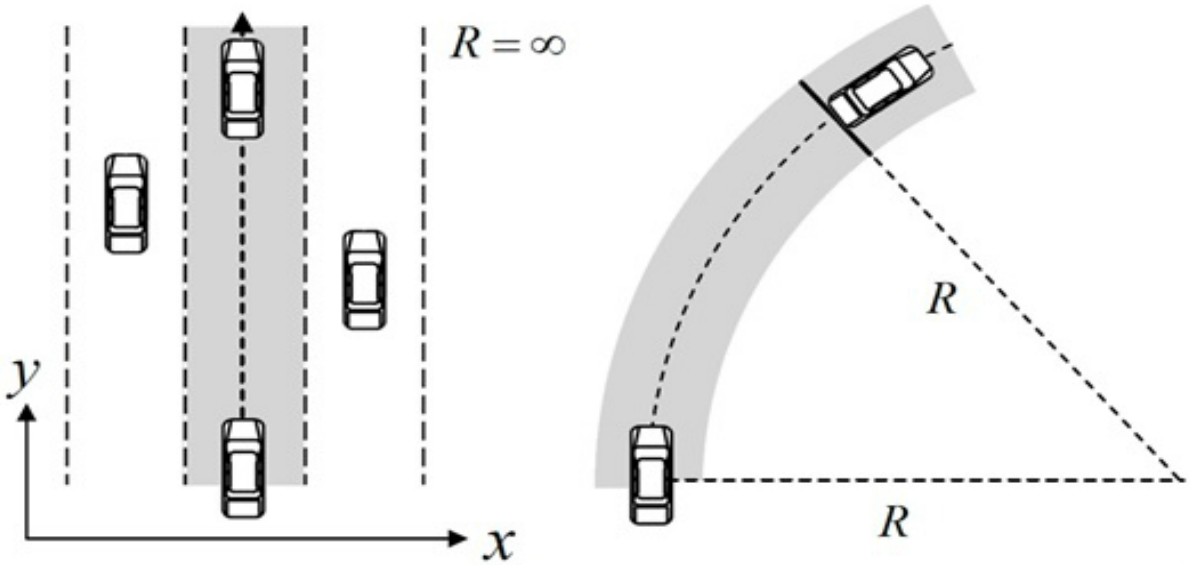


Рис. 1. Выделение целевого объекта в полосе движения

Одним из доступных методов определения радиуса кривизны полосы R является ее вычисление через собственную и угловую скорости автомобиля, получаемых со встроенных датчиков, по формуле

$$R \approx \frac{V}{\omega},$$

где ω – угловая скорость основного автомобиля, рад/с;

V – собственная скорость основного автомобиля, м/с.

Обработка изображений с камеры и другие датчики позволяют оценивать кривизну дороги посредством детектирования разметки. Существует также подход, основанный на использовании цифровых карт, но данный метод является ненадежным из-за недостаточной точности определения координат с помощью навигационных систем и возможного наличия ошибок в картах.

Алгоритм выбора ближайшего объекта срабатывает только после того, как целевой автомобиль вошел в полосу, тогда как водитель способен раньше различить соседние автомобили, движущиеся в направлении основной полосы. Существуют методы определения вероятности, что движущийся в соседней полосе автомобиль перестроится в полосу с основным автомобилем, с применением системы нечеткого логического вывода, основанной на анализе собранных данных о вождении [2].

Еще одной проблемой является то, что описанные алгоритмы не позволяют определить, с чем связано изменение поперечного смещения целевого объекта: перестроением в другую полосу или входом в поворот (рис. 2). Это связано с тем, что целевой объект входит в поворот раньше, чем основной автомобиль, поэтому использование оценки кривизны траектории на основе угловой скорости не является надежным методом. В ряде исследований были предложены критерии определения сценария движения на основе анализа соотношения азимутального угла и поперечного смещения целевого объекта [3, 4]. Также есть попытки различения смены полосы и входа в поворот на основе статистической обработки и классификации траекторий целевого объекта [5]. Однако результаты моделирования показали, что эти методы применимы только в ограниченном наборе ситуаций и не могут гарантировать верное определение сценария.

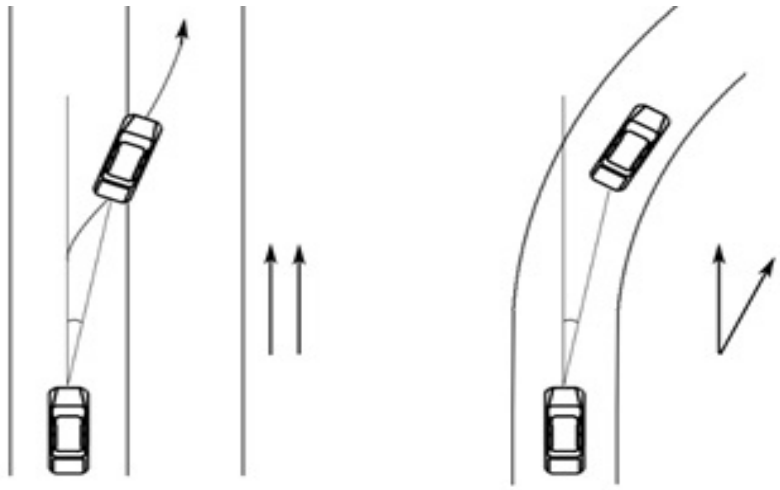


Рис. 2. Различение между сменой полосы и входом в поворот

Измерения дальности и скорости, полученные с помощью радиолокатора, имеют большие колебания, вызванные неровностями дороги и собственной вибрацией автомобиля. Типичный график измерения дальности показан на рис. 3.

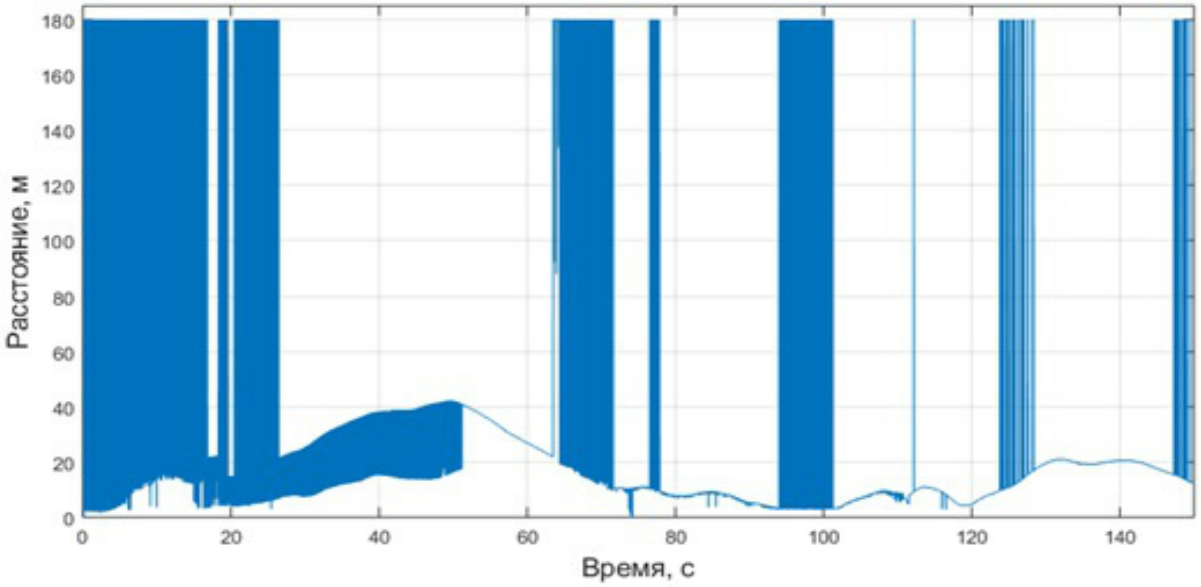


Рис. 3. График измерения дистанции до обработки

Измерения содержат импульсные помехи, вызванные мерцанием цели, что делает невозможным непосредственное использование этого сигнала для управления скоростью движения. Для подачи дальности и скорости в контроллер управления ускорением автомобиля необходимо провести фильтрацию.

На рис. 4 показан результат фильтрации дальности медианным фильтром и алгоритмом, исключающим резкие изменения положения объекта.

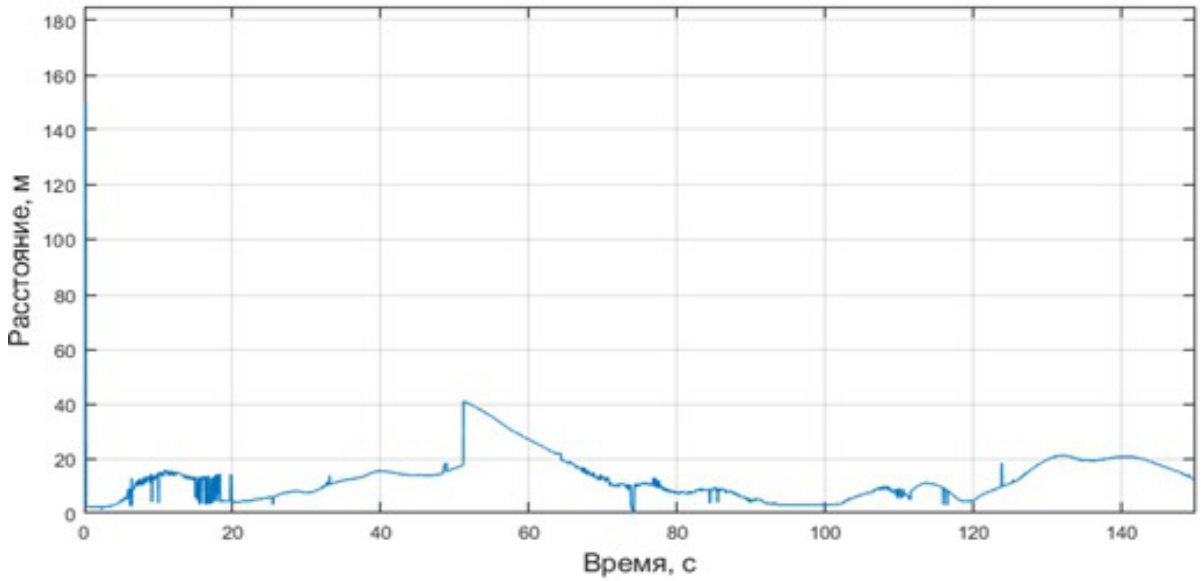


Рис. 4. График измерения дальности после обработки

Измерения скорости и поперечного смещения целевого объекта фильтруются аналогичным способом. Полученные сигналы более гладкие и ближе к реальным данным.

Моделирование системы адаптивного круиз-контроля

Скорость и дальность целевого объекта, собственная скорость основного автомобиля подаются на вход контроллера адаптивного круиз-контроля для формирования необходимого ускорения [6]. Контроллер адаптивного круиз- контроля должен следить за следующими величинами:

- рассогласование между необходимой d и реальной d_r дистанциями: ошибка $\Delta d = d - d_r$ должна сводиться к нулю;

- рассогласование между значениями скорости преследуемого автомобиля v_p и скорости главного автомобиля v_h : ошибка $\Delta v = v_p - v_h$ должна сводиться к нулю;

- ускорение главного автомобиля должно сходиться к нулю.

Таким образом, система управления должна работать в двух режимах:

- режим поддержания установленной автоматически или водителем скорости, если расстояние до автомобиля, идущего впереди, больше безопасного расстояния;

- режим следования за впереди идущим транспортным средством.

В режиме следования ускорение afollow определяется формулой

$a_{follow} = k_v(v_p - v_h) + k_d\,(d - d_r)$,

где k_v, k_d – коэффициенты ошибок скорости и дистанции;

v_p – скорость впереди идущего автомобиля, м/с;

v_h – скорость автомобиля, на котором установлена система ACC, м/с;

d – текущее расстояние между автомобилями, м;

d_r – требуемое расстояние, м.

Требуемое расстояние d_r вычисляется по формуле

$d_r = d_0 + v_h\tau_{gap}$,

где d_0 – постоянная составляющая расстояния, м;

τ_{gap} – временной промежуток между автомобилями, с.

Временной промежуток τ_{gap} выбирается в пределах 1,5-2,5 секунд.

В режиме поддержания скорости необходимое ускорение acruise вычисляется пропорционально-интегрирующим контроллером:

$$a_{cruise} = \min[k_p(v_{set} - v_h) + k_i\int(v_{set} - v_h)dt,\; k_v(v_p - v_h) + k_d(d - d_r)],$$

где k_p – коэффициент пропорциональной части;

k_i – коэффициент интегрирующей части;

v_{set} – установленная желаемая скорость, м/с.

Моделирование работы системы проводилось в программе Simulink среды MATLAB с использованием приложения Driving Scenario Designer. Данное приложение позволяет моделировать движение объектов и измерения различных датчиков. Это ускоряет процесс разработки и тестирования программного обеспечения, так как дает возможность проверить работоспособность алгоритмов в различных сценариях.

На рис. 5 (а, б) показано моделирование работы адаптивного круиз-контроля при резком перестроении целевого объекта перед медленно движущимся автомобилем. Графики изменения координат и скоростей трех автомобилей показаны на рисунках 6(а) и 6(б) соответственно.

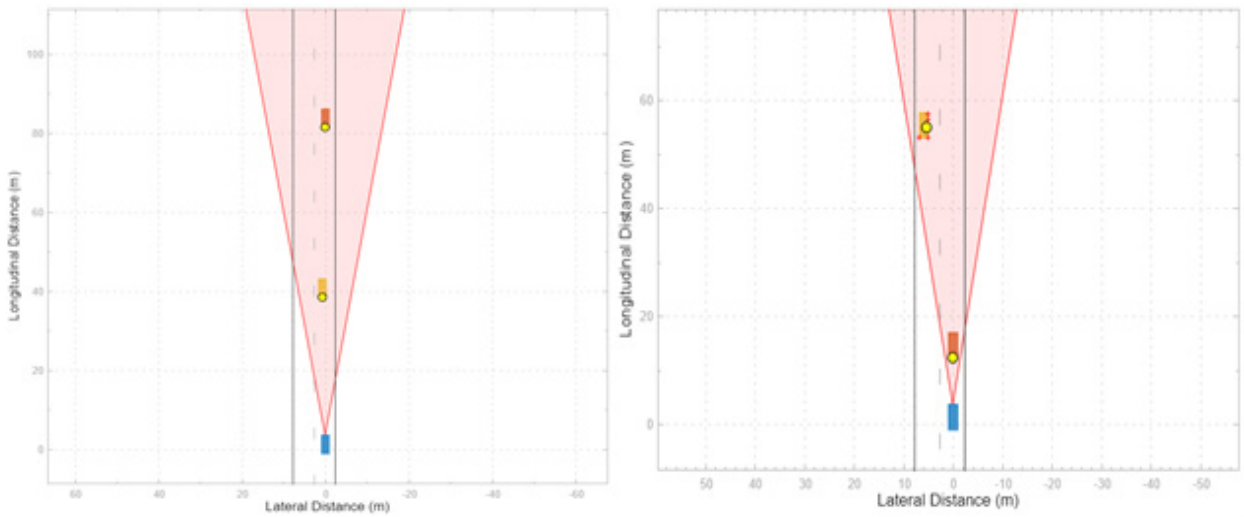


Рис. 5. Моделирование движения по двухполосной дороге: а) до перестроения целевого объекта; б) после перестроения

Сначала автомобиль, на котором установлена система ACC, движется с установившейся скоростью 30 м/с. Затем при приближении к первому автомобилю, движущемуся в той же полосе со скоростью 22 м/с, контроллер уменьшает скорость и основной автомобиль начинает двигаться на заданном расстоянии от него (1–8 с). Далее первый автомобиль перестраивается на соседнюю полосу, и перед главным автомобилем оказывается автомобиль, скорость которого 10 м/с. Система ACC резко уменьшает скорость и начинает следить за вторым автомобилем (10–25 с).

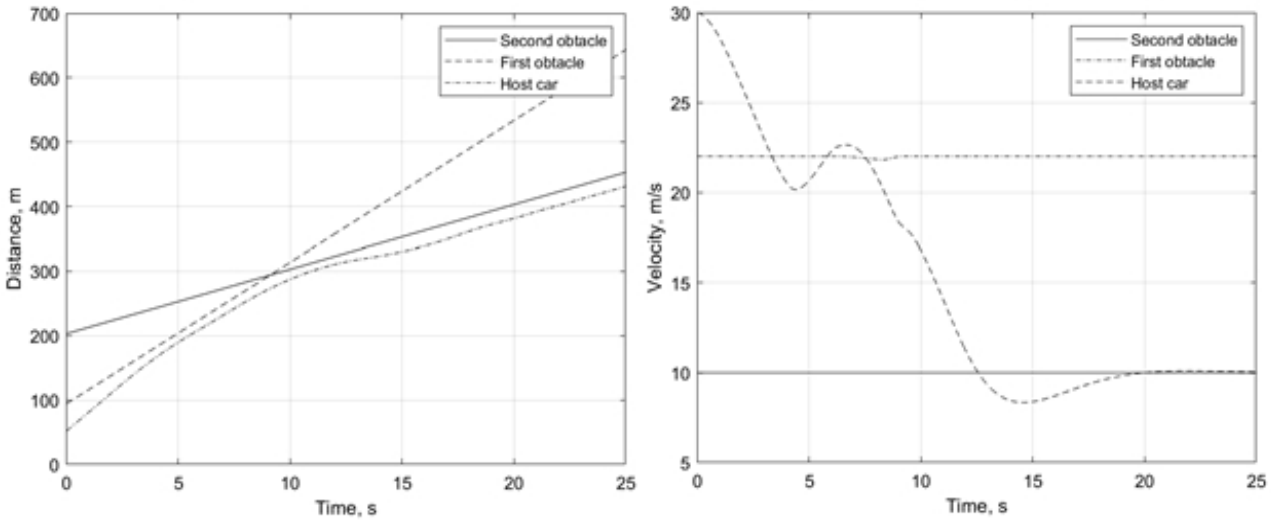


Рис. 6. Слежение за целевым объектом: а) график изменения координат; б) график изменения скорости

Таким образом, разработанный алгоритм выбора цели верно определяет автомобиль, движущийся в одной полосе с основным автомобилем и представляющий наибольшую опасность. Контроллер адаптивного круиз-контроля позволяет автоматически управлять скоростью автомобиля, при этом обеспечивая безопасное удаление от движущихся впереди объектов и возможность экстренного торможения для предотвращения столкновений.

Заключение

В данной статье проведен анализ методов выделения целевого объекта для системы адаптивного круиз-контроля, определены основные достоинства и недостатки. Показаны результаты моделирования работы системы с помощью современных инструментов, позволяющих симулировать измерения различных датчиков и движение объектов для выявления многих проблем еще на этапе разработки программного обеспечения.

В дальнейшей работе стоит задача объединения измерений автомобильного радиолокатора и видеокамеры с целью повышения точности и надежности определения параметров движения объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глазков В.В., Гонобина М.В., Микаэльян С.В. Математическая модель сопровождения целей в радиолокационной системе помощи водителю // Успехи современной радиоэлектроники. 2018. № 11. С. 11-19.
2. Moon S., Yi K., Kang H. Multi-Vehicle Adative Cruise Control with Collision Avoidance in Multiple Transitions // Proceedings of the 12th IFAC Symposium on Transportation Systems Redondo Beach, CA, USA, Septermer 2-4, 2009.
3. Miyahara S., Sielagoski J., Ibrahim F. Radar-based Target Tracking Method: Applocation to Real Road [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.jstor.org/stable/pdf/44682449.pdf (дата обращения: 13.11.2019).
4. Zhang D., Li K., Wang J. Radar-based target identification and tracking on curved road // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part D Journal of Automobile Engineering. 2012: 226. P. 39-47.
5. Wu J., Geng S., Zhao Y. A complete Target Selection Method for ACC System Based on Statistics and Classification of Vehicle Trajectories [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.scientific.net/AMM.533.316 (дата обращения: 01.11.2019).
6. Zhenha G., Jun W., Hongyu H., Wei Y., Dazhi W., Lin W. Multi-argument Control Mode Switching Strategy for Adaptive Cruise Control System [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705816003222 (дата обращения: 23.04.2019).

REFERENCES

1. Glazkov V.V., Gonobina M.V., Mikael'yan S.V. Matematicheskaya model' soprovozhdeniya celej v radiolokacionnoj sisteme pomoshchi voditelyu [Mathematical model of target tracking in the driver assistance radar system]. Uspekhi sovremennoj radioelektroniki, 2018, no. 11, pp. 11-19.
2. Moon S., Yi K., Kang H. Multi-Vehicle Adative Cruise Control with Collision Avoidance in Multiple Transitions. Proceedings of the 12th IFAC Symposium on Transportation Systems Redondo Beach, CA, USA, Septermer 2-4, 2009.
3. Miyahara S., Sielagoski J., Ibrahim F. Radar-based Target Tracking Method: Applocation to Real Road. Available at: https://www.jstor.org/stable/pdf/44682449.pdf (accessed 13 November 2019).
4. Zhang D., Li K., Wang J. Radar-based target identification and tracking on curved road. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part D Journal of Automobile Engineering. 2012: 226. P. 39-47.
5. Wu J., Geng S., Zhao Y. A complete Target Selection Method for ACC System Based on Statistics and Classification of Vehicle Trajectories. Available at: https://www.scientific.

net/AMM.533.316 (accessed 01 November 2019).
6. Zhenha G., Jun W., Hongyu H., Wei Y., Dazhi W., Lin W. Multi-argument Control Mode Switching Strategy for Adaptive Cruise Control System. Available at: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705816003222 (accessed 23 April 2019).

Материал поступил в редакцию 23.03.2020
© Зайцев Э.М, 2020