

ОБЗОР СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ

К. Ю. Черенков

Воронежский государственный университет

В статье дан обзор существующих в настоящее время систем, предназначенных для автоматической классификации объектов, и рассмотрены основные проблемы, возникающие при использовании таких систем. Основное внимание уделено системе, разработанной в Великобритании, и включающей в свой состав две разнесенных антенны (передатчик и приемник). Такой комплекс используется для проведения автоматической классификации автомобилей, попадающих в поле действия антенны. Принцип действия комплекса основан на эффекте Доплера и дальнейшем выделении и математической обработке доплеровских компонент.

Требования к различным системам классификации объектов постоянно растут. Они должны работать в неблагоприятных погодных условиях, 24 часа в сутки, легко устанавливаться, быть дешевыми в изготовлении и эксплуатации и обеспечивать высокую вероятность правильной классификации и детектирования.

Области применения таких систем:

- автоматический сбор платы за проезд;
- автоматический контроль скорости автомобилей;
- обеспечение безопасного пересечения туннелей;
- сбор статистической информации и т.д.

Несколько систем похожего типа уже были разработаны ранее. Они использовали радарные измерения высотного профиля цели, индуктивные циклические датчики, видеокамеры, лазерные сенсоры и радарные сенсоры [6–8]. Но эти системы не полностью удовлетворяли всем требованиям для систем подвижных объектов. Например, системы с использованием видеокамер [8] не имеют возможности работать в плохих погодных условиях или ночью.

Интересный проект был предложен с использованием высокочастотного радара [6], расположенного над поверхностью дороги для регистрации высотного профиля автотехники, проходящей под ним. Такая система обеспечивает высокую точность классификации, возможность классифицировать теоретически неограниченное количество видов техники, высокую производительность при большинстве погодных условий и условий освещенности, а

кроме этого имеет небольшой вес, размер и цену. На практике результаты таких измерений действительно оказываются достаточно привлекательными, несмотря на то, что необходима дополнительная подсистема измерения скорости автотехники для завершения процесса классификации.

В рамках систем, предназначенных для автоматической классификации целей, интерес представляет система на базе радара с прямым рассеянием и инверсно синтезируемой апертурой (FSISAR). Основы таких систем описаны Гоулдом, Ортоном и Поллардом [9]. Изначально FSISAR был разработан, чтобы дать возможность проектировщикам радарных систем использовать альтернативный способ обнаружения целей с очень низким поперечным сечением рассеяния (ЭПР) [9]. Такие радары имеют преимущество над традиционными комплексами при обнаружении объектов, использующих технологию «stealth».

FSISAR посылает специальный сигнал в прямом направлении, зависящий от физических размеров цели и используемой длины волны, на который не действуют пассивные «stealth» элементы. Эта система с двухпозиционным размещением антенн является альтернативой традиционному дизайну радаров. В военных областях применения такой комплекс [9] представляет собой две антенны (первая работает на излучение, а вторая — на прием), разнесенные на расстояние нескольких километров и направленные друг на друга. Цель, проходящая между антеннами, вызывает появление теневой области в рассеянной волне. Приемная антенна использует теневое поле для детектирования и классификации цели. В про-

екте классификации автомобилей использованы те же методы, но работа ведется в меньших масштабах.

Дальнейшие исследования проводились с системами на базе доплеровской классификации. Стоув и Сайкс [10] описали устройство автоматического классификатора целей, используемого военными. Эта переносная радарная система была разработана для обнаружения движущихся объектов противника (личный состав, колесная и гусеничная техника) за счет использования их доплеровской информации. Используемый метод классификации включает линейный дискриминантный анализ (ЛДА) и метод анализа основных компонент (АОК). ЛДА рассматривает нормализованный доплеровский спектр как характеристический вектор, работая с каждой частотой как с отдельным измерением. Этот алгоритм [10] определяет гиперплоскость, которая наилучшим образом отделяет точки одного класса от другого. АОК — статистический метод уменьшения размерности набора данных при сохранении большей части переменных основного набора. Преимущества такой системы — уменьшение количества необходимых базовых данных в ЛДА алгоритме для получения высокой вероятности правильной классификации.

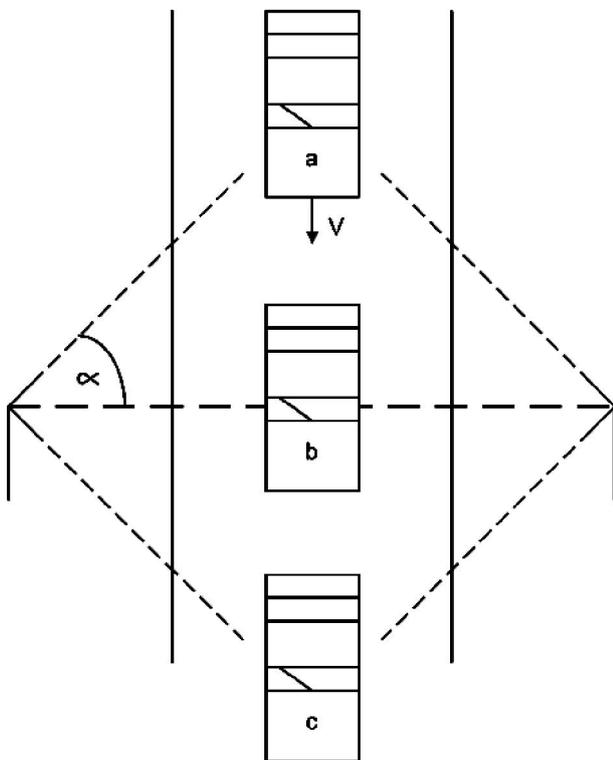


Рис. 1. Общая схема системы

В работах Чернякова и Абдуллы [1—5] раскрываются детали нового метода автоматической классификации дорожной техники с использованием радара с прямым рассеянием. Авторами представлена работа над проектом, завершённая к настоящему времени и включающая в себя системы теоретического анализа, набор экспериментальных данных и доказательство возможности использования предложенного радара для классификационных целей.

На рис. 1 показана общая схема разработанного ими комплекса [1—5]. Две антенны расположены на противоположных сторонах дороги на высоте около 1 м над землей. Первая антенна работает на передачу (частота волны 900 МГц), вторая — на прием. В том момент, когда автомобиль пересекает поле антенны, он частично блокирует направление распространения излученной волны. Таким образом, присутствие машины порождает появление теневого поля, известного как поле прямого рассеяния, в направлении противоположном направлению облучения. При условии, что поле облучения однородно и форма теневого поля совпадает с формой апертуры антенны, цель сама является вторичным источником излучения.

Эффект Доплера можно сформулировать как изменение частоты волны при достижении приемника, если облучатель и приемник движутся друг относительно друга. В то время как источник теневого поля движется по отношению к приемнику в связи с движением автомобиля, будет наблюдаться доплеровский сдвиг частоты принимаемого сигнала. В случае перпендикулярного движения автомобиля по отношению к линии, соединяющей антенны (базовой линии), доплеровский сдвиг будет изменяться в процессе движения. Когда автомобиль входит в поле с одной стороны (случай “а” на рисунке), доплеровский сдвиг будет иметь положительную величину, при этом к моменту пересечения базовой линии между антеннами (случай “b”) она уменьшится до 0. Затем изменится фаза сдвига, и его величина будет возрастать при движении к другой границе поля (случай “с”). Доплеровские компоненты принятой волны содержат информацию о форме автомобиля и задают исходные данные для алгоритма классификации.

В традиционных радарных системах сигнал от приемной антенны должен быть разложен на

составляющие для получения фазовой информации. Если можно было бы использовать такую информацию, стало бы возможным моментальное определение направления движения объекта и, таким образом, достижение более высокой точности при классификации. Тем не менее, существуют две основные причины, почему не используются доплеровские компоненты фазы:

1) Для получения фазовых компонент в случае двухпозиционного размещения антенн, использованного в работе, необходимо организовать связь между передающей и приемной антеннами. При этом потребуется прокладка специального кабеля через дорогу — это основная проблема для всех систем классификации автотехники.

2) Система должна быть простой и в то же время эффективной. И хотя можно достичь высокой точности при использовании доплеровских фазовых компонент, это сильно усложнит обработку измеренных данных. Используемый Черняковым и Абдуллой способ работает только с одним каналом доплеровской информации и таким образом упрощается сам процесс классификации.

В состав оборудования, необходимого для получения доплеровских компонент из принятого сигнала (рис. 2), входят следующие элементы [1—5]:

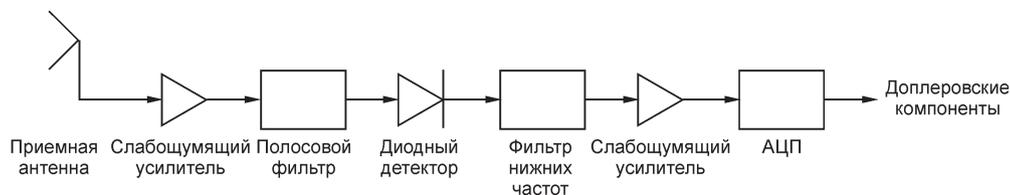


Рис. 2. Схема оборудования для получения доплеровских компонент

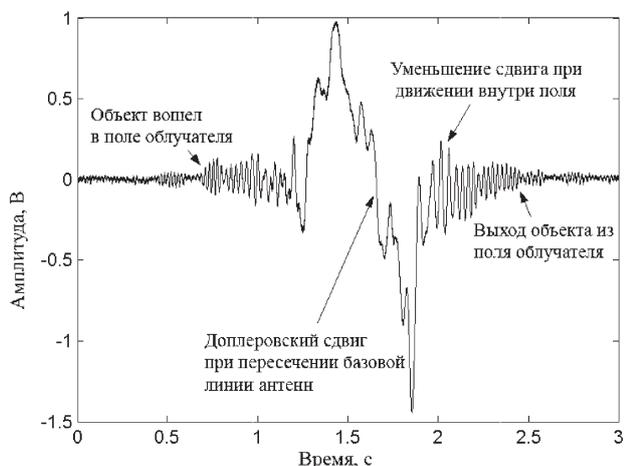


Рис. 3. Стандартная зависимость сигнала от времени для автомобиля

- приемная антенна;
- начальный слабо шумящий усилитель, который усиливает принятый сигнал;
- частотный фильтр, пропускающий полосу сигнала с частотами от 800 до 1000 МГц (частоты близкие к частоте исходного сигнала);
- диодный детектор — нелинейное устройство, работающее как смеситель и обеспечивающее эффективное перемножение компонент принятого сигнала.
- фильтр нижних частот, удаляющий все частоты исходного сигнала f_c и оставляющий только доплеровские компоненты f_d на выходе;
- окончательно все доплеровские компоненты усиливаются при помощи усилителя на выходе и оцифровываются с шагом дискретизации 10 КГц при помощи АЦП.

На рис. 3 показана стандартная зависимость сигнала от времени для автомобиля, пересекающего поле радара, а на рис. 4 отображена доплеровская информация для большого автобуса. Этот график также подчеркивает все утверждения, сделанные ранее. Существует период времени в центре графика, равный приблизительно 1 с, когда не наблюдается доплеровского сдвига. Это связано с большими габаритными размерами автобуса. В течение этого времени автобус полностью закрывает поле облучения и сдвиг отсутствует. Но как только основная

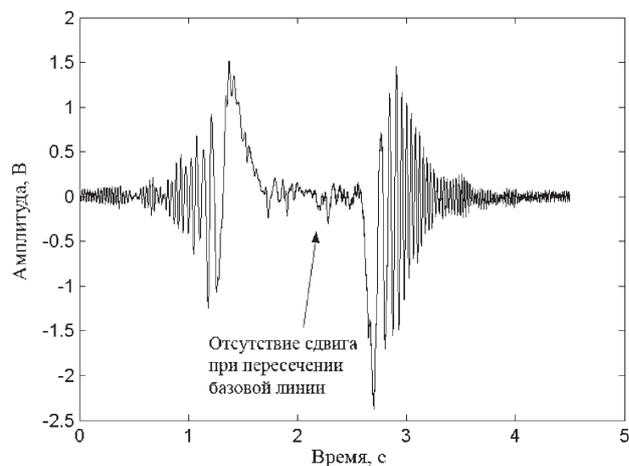


Рис. 4. Вид зависимости сигнала от времени для автобуса

часть пересекает базовую линию радара, сдвиг вновь появляется.

Целью дальнейших тестовых испытаний, проводимых исследователями [1—5] было получение большой базы данных автомобильной техники для четырех основных классов машин. Аппаратное обеспечение, отраженное на рис. 2, использовалось для записи доплеровской информации автомобилей прошедших через радар. На рис. 5 показано расположение видеокамеры, а на рис. 6 — типичная видеосцена. В таблицу заносились данные по классу прошедшего автомобиля, направлению движения, а также ссылка на файл с графиками во временной и частотной области. Несколько автомобилей были специально наняты для тестов — Honda Civic, Vauxhall Astra, Vauxhall Combo и Renault Traffic. Каждый из них был выбран для представления одного из классов: Honda Civic — городской автомобиль, Vauxhall Astra — семейный автомобиль, Vauxhall Combo — минивен и Renault Traffic — фургон. Приблизительные размеры показаны на рис. 7. Для каждого из этих автомобилей было построено от 50 до 100 графиков.

Процесс подготовки измерений включал в себя 3 этапа:

1) Этап предварительной обработки, необходимый для превращения «сырой» доплеровской информации в форму, используемую в базе данных или при классификации. Сюда также включался перевод графиков во временной области в частотную область и нормировка.

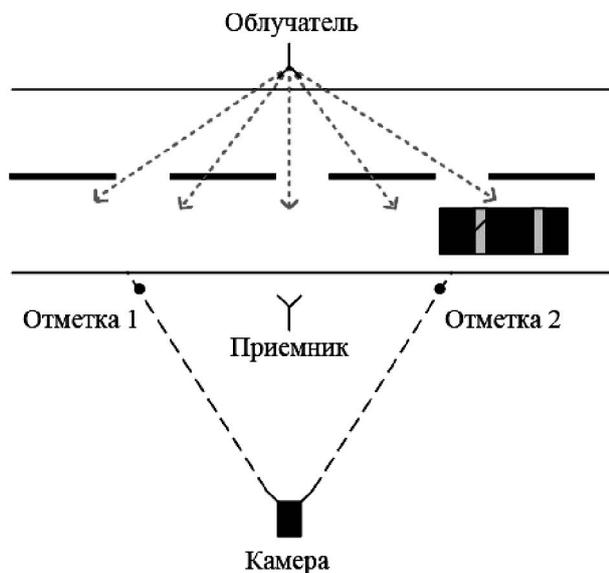


Рис. 5. Расположение тестовой системы

2) Этап создания базы данных с использованием нескольких типов автомобилей как примеров для каждого класса, что дало бы возможность классифицировать другие неизвестные автомобили. Ключевым элементом, позволившим создать такую базу данных, был метод анализа основных компонент (АОК).

3) Третий этап состоял в сравнении автомобиля неизвестного класса с автомобилями в уже готовой базе данных, что позволяло определить его принадлежность к одному из классов.

В итоге проведенных исследований [1—5] авторами были созданы базы данных и разработаны алгоритмы классификации (рис. 8), позволяющие проводить классификацию автомобилей исходя из двух требований:

1) Классификация отдельной модели — например, неизвестный автомобиль определялся как Renault Traffic.

2) Классификация по принадлежности к одному из основных классов — например, неизвестный автомобиль определялся как принадлежащий к классу городских автомобилей.

Метод классификации, удовлетворяющий первому требованию, успешно работал при наличии существенной разницы между различными автомобилями, но в то же время давал не такие хорошие результаты при сравнении автомобилей одного класса с незначительными отличиями.

Метод классификации, удовлетворяющий второму требованию, работал очень хорошо. Было проведено три теста с использованием системы:

1) Классификация новых сигналов (полученных приемником в процессе проведения эксперимента) для автомобилей, входящих в базу данных.



Рис. 6. Типичная видеосцена

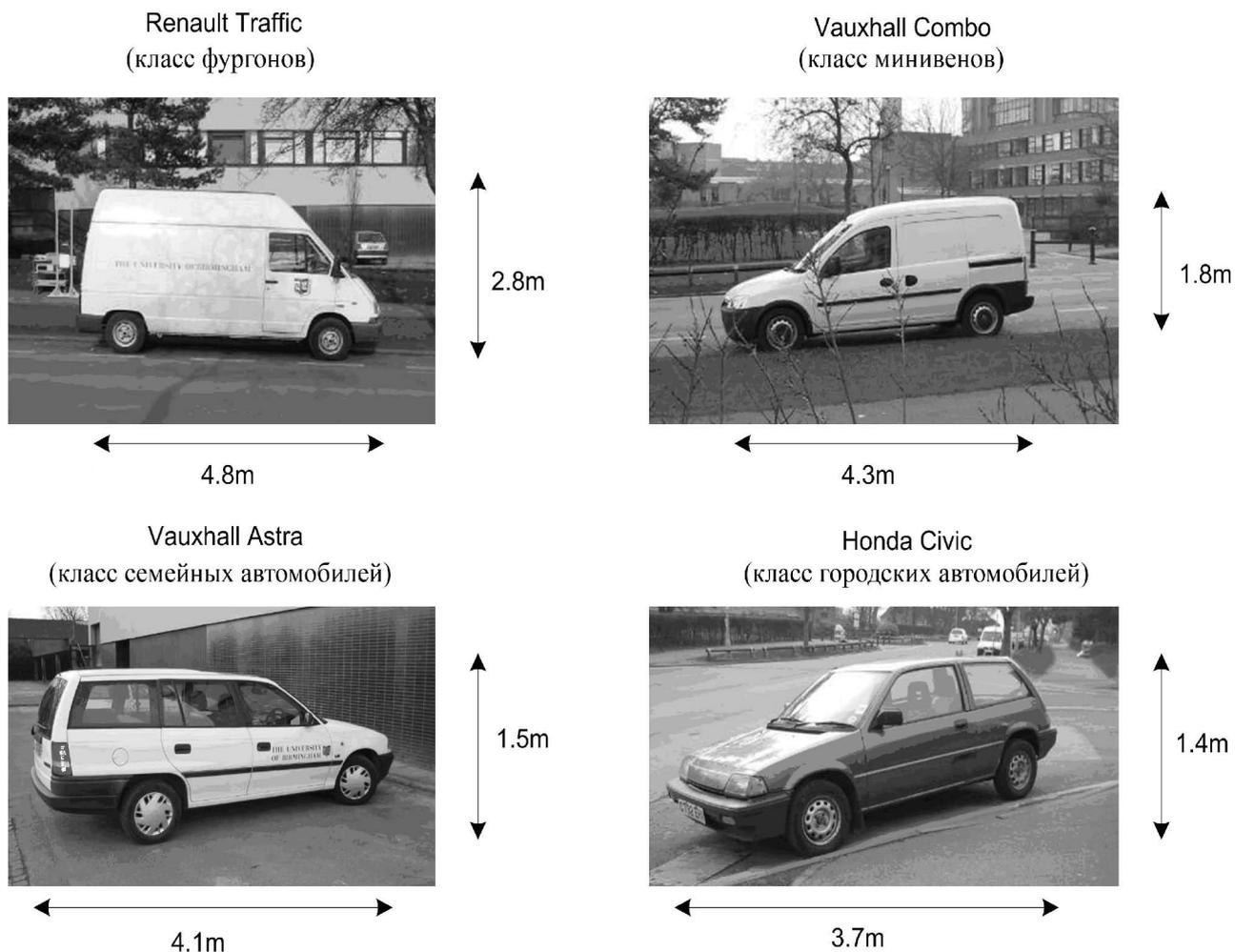


Рис. 7. Типы автомобилей и их габариты

2) Классификация новых сигналов (полученных приемником в процессе проведения эксперимента) для автомобилей, не входящих в базу, но принадлежащих к одному из классов в базе.

3) Классификация новых сигналов (полученных приемником в процессе проведения эксперимента) для автомобилей, не входящих в базу и не принадлежащих ни к одному из классов в базе.

Тесты, проведенные исследователями, показали способность такой системы определять класс неизвестного автомобиля как тот, к которому он ближе всего из присутствующих в базе. Это было проиллюстрировано классификацией набора автобусов как фургонов.

Кроме того, в процессе тестовых испытаний авторами [1–5] была получена большая база данных для различных автомобилей. Это дало возможность ответить на интересный вопрос о

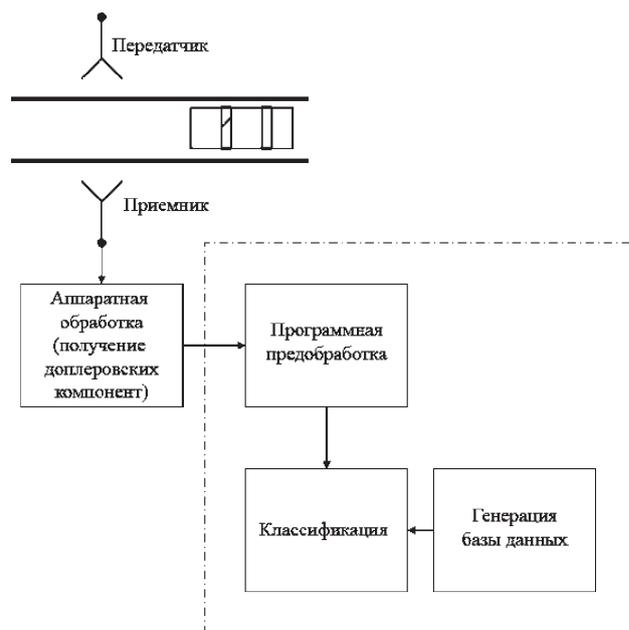


Рис. 8: Диаграмма всей системы

влиянии на систему условий наблюдения. Тесты, проводимые в различные дни, отличались достаточно сильно. Использовались два варианта взаимного расположения антенн (перпендикулярно и под углом к проезжей части) для определения чувствительности системы к воздействию окружения. Результат был получен положительный: система показала свою способность к корректной работе при изменении ее положения и переносе на разные стороны дороги, а также при различных погодных условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Raja Abdullah, R.S.A., Cherniakov M.* Experimental Investigation of Forward Scattering Radar For Vehicle Classification, Postgraduate Research Conference in Electronics, Photonics and Communications, PREP2003, 14–16 April, 2003.
2. *Raja Abdullah R.S.A., Cherniakov M., Jančovič P.* Automatic Vehicle Classification In Forward Scattering Radar, 1st Int. Workshop in Intelligent Transportation, WIT2004, Germany, 23–24 March, 2004, P. 7–12.
3. *Cherniakov M., Chapurskiy V.V., Raja Abdullah R.S.A., Jančovič P., Salous M.* Short-Range Forward Scattering Radar, Int. Radar Conference, Radar2004, 18–22 Oct., 2004, France.
4. *Cherniakov M., Salous M., Jancovic P., Abdullah R., Kostylev V.* Forward Scattering Radar for Ground Targets Detection and Recognition, Proc. 2nd Annual Technical DTC Conference. Edinburgh, U.K, 2005.
5. *Cherniakov M., Salous M., Kostylev V., Abdullah R.* Analysis of Forward Scattering Radar for Ground Target Detection, Proc. 2nd European Radar Conference, 2005, P. 145–148.
6. *Urazghildiiev R., Ragnarsson R., Wallin K., Rydberg A., Ridderstrom P., Ojefors E.* A vehicle Classification System based on Microwave Radar Measurement of Height Profiles, Radar conf. RADAR 2002, P. 409–413.
7. *Gajda J., Sroka R., Stencil M., Wajda A., Zeglen T.* A vehicle classification based on inductive loop detectors, Proceedings of the 18th IEEE Conference IMTC 2001, 1, P. 460–464.
8. *Shiquan P., Harlow C.* A system for vehicle classification from range imagery, Proceedings of the 28th Southeastern Symposium on System Theory, P. 327–331.
9. *Gould D., Orton R., Pollard R.* Forward Scatter Radar Detection, BAE SYSTEMS Advanced Technology Center, UK 2002.
10. *Stove A., Sykes S.* A Doppler-Based automatic target classifier for battlefield surveillance radar, IEE, 2002.