

Автомобильные радары частотных диапазонов 24 и 77 ГГц

Ю. Мякочин¹, М. Бирюков²

УДК 621.396 | ВАК 05.27.01

По данным Государственной инспекции безопасности дорожного движения (ГИБДД) за первые два квартала 2018 года в России зарегистрировано 70 тыс. дорожно-транспортных происшествий (ДТП), за предыдущий год – почти 170 тыс. [1]. Считается, что одна из основных причин ДТП – человеческий фактор. Значительная часть ДТП происходит при скоростях менее 30 км/ч в ситуациях, когда внимание водителя рассеивается: в дорожных «пробках», при поиске места для парковки, при использовании цифровых устройств для навигации или общения. Применение системы помощи водителю ADAS (Advanced Driver-Assistance Systems) позволит существенно сократить количество ДТП на российских дорогах. В статье рассказывается о новом устройстве группы компаний АО «ПКК Миландр» – «автомобильном радаре», предназначенном для решения задач, связанных с реализацией функций ADAS.

Согласно классификации SAE International различают шесть уровней автономности системы помощи водителю ADAS (см. таблицу). Совокупность уровней 0–2 обозначается как «контролируемое вождение» – водитель должен постоянно контролировать управление транспортным средством (ТС), совокупность уровней 3–4 – как «не контролируемое вождение» – водитель может не постоянно контролировать управление ТС, уровень 5 – как «беспилотное управление ТС». Известно, что в планах автопроизводителей Европы и США – с 2025 года оснащать системами помощи водителю (отвечающими уровням 1 и 2) все серийные ТС.

Президиум Совета при Президенте Российской Федерации по модернизации экономики и инновационному развитию России 24 апреля 2018 года одобрил введение «Дорожной карты» [2] рынка «Автонет» Национальной технологической инициативы, одним из направлений которой является развитие отрасли автомобилей с интеллектуальными системами (АСИС) и создание беспилотных автомобилей различных классов общего и специального назначения. Согласно «Дорожной карте», предварительный срок создания аппаратной и программной компонентной базы для обеспечения эксплуатации АСИС – 2020 год [3].

¹ АО «ПКК Миландр», директор ЦП РЭА, myakochin.yuri@ic-design.ru.

² АО «ПКК Миландр», начальник ОРРП ЦП РЭА, biryukov.m@milandr.ru.

В АО «ПКК Миландр» идет разработка «автомобильного радара», интегрируемого в интеллектуальную систему помощи водителю ADAS и осуществляющего следующие функции:

- FCW – предупреждение о лобовом столкновении (Forward Collision Warning);
- AEB – автоматическое экстренное торможение (Advanced Emergency Braking System);
- ACC – адаптивный круиз-контроль (Adaptive Cruise Control);
- BSM – контроль слепых зон (Blind Spot Monitoring);
- LCA – помощь при смене полосы движения (Lane Change Assist).

Автомобильный радар состоит из трех основных компонентов:

- модуль фазированной антенной решетки (ФАР), предназначенный для обеспечения управляемого цифровым способом обзора пространства в заданной зоне обнаружения впереди ТС;
- модуль приемопередатчиков, предназначенный для формирования модулированных высокочастотных (ВЧ) сигналов, поступающих на модуль антенной решетки, а также предварительной обработки принимаемых ВЧ-сигналов, которая заключается в полосовой фильтрации, усилении, переносе на нулевую частоту (примечание: модуль приемопередатчиков чаще всего совмещается с модулем антенной решетки);

Уровни автономности системы помощи водителю ADAS

Уровень	Степень автоматизации	Описание
0	Отсутствует	Водитель постоянно контролирует все аспекты управления ТС как в продольном (ускорение или замедление), так и в поперечном (рулевое управление) направлении
1	Помощь водителю	Система помощи водителю может осуществлять управление ТС в продольном или в поперечном направлении. Водитель постоянно участвует и контролирует все аспекты управления ТС
2	Частичная автоматизация	Система помощи водителю может осуществлять управление ТС как в продольном, так и в поперечном направлении при некоторых сценариях движения ТС (например, по автомагистрали). Водитель постоянно контролирует все аспекты управления ТС
3	Условная автоматизация	Система помощи водителю осуществляет управление ТС как в продольном, так и в поперечном направлении при расширенном наборе сценариев движения ТС, но в случае невозможности самостоятельного принятия решения информирует водителя и передает ему управление ТС. Водитель может непостоянно контролировать управление ТС, но при необходимости должен быть готов возобновить управление
4	Высокая степень автоматизации	Система помощи водителю может самостоятельно осуществлять управление ТС при расширенном наборе сценариев движения ТС. Водитель может не контролировать управление ТС, если система помощи водителю осуществляет управление ТС
5	Полная автоматизация	Система полного беспилотного управления ТС, водитель не требуется

- модуль цифрового вычислителя, предназначенный для реализации алгоритмов цифрового формирования лучей диаграммы направленности (ДН) ФАР, порогового анализа, оценки дальности и скорости

обнаруженных объектов и траекторного сопровождения целей.

Передатчик радара излучает непрерывный ВЧ-сигнал, частота которого изменяется в заданном диапазоне по заранее определенному линейному FMCW (Frequency Modulated Continuous Wave) закону, а амплитуда остается практически неизменной. Излучаемые

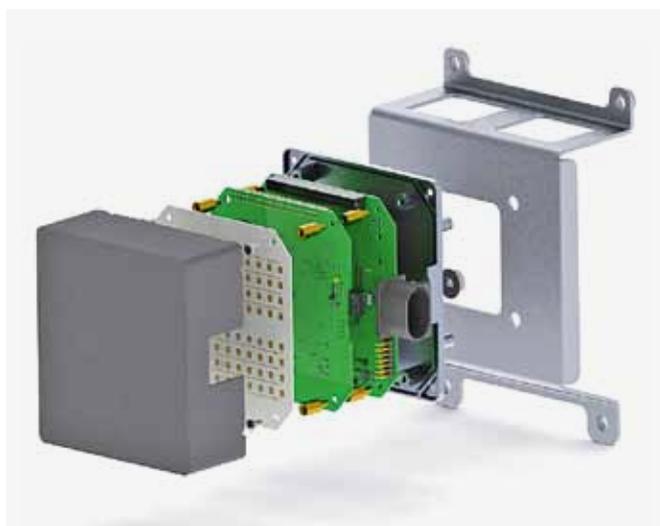


Рис. 1. Внешний вид однолучевого радара



Рис. 2. Внешний вид ФАР однолучевого радара

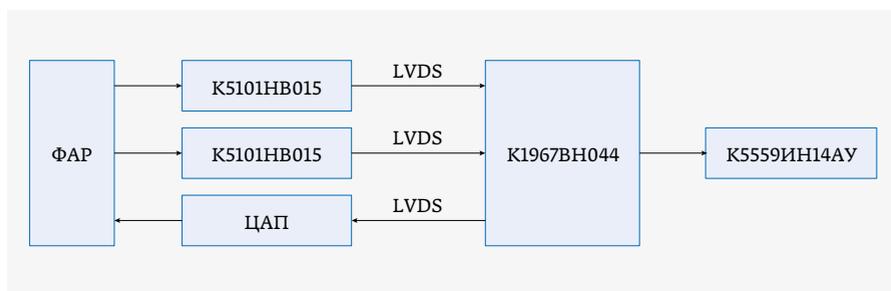


Рис. 3. Функциональная схема цифрового вычислителя однолучевого радара

радаром электромагнитные сигналы, отражаясь от объектов, находящихся в зоне обнаружения, поступают через приемную ФАР на модуль приемопередатчиков и, смешиваясь с передаваемым сигналом, образуют разностный сигнал на промежуточной частоте, которая зависит от расстояния и относительной скорости обнаруженного объекта.

Программное обеспечение (ПО) автомобильного радара, исполняемое в модуле цифрового вычислителя, состоит из системного и функционального ПО. Системное ПО обеспечивает взаимодействие радара с внешними устройствами через шину CAN, самодиагностику радара, управление режимами работы, выдачу кодограмм о состоянии радара и кодограмм обнаруженных объектов.

Функциональное ПО выполняет контроль за формированием лучей диаграммы направленности ФАР, оптимальное накопление сигнала, пороговый анализ, измерение дальности и скорости обнаруженных объектов, привязку и фильтрацию первичных измерений, устранение ложных отметок, оценку параметров движения целей (компонент скорости и ускорения).

Использование автомобильного радара в системе помощи водителю позволяет обнаружить и распознать такие объекты, как легковые и грузовые ТС, мотоциклы,



Рис. 4. Внешний вид многолучевого радара, работающего на частоте 24 ГГц

велосипеды, пешеходы, животные, металлические и железобетонные ограждения, и классифицировать их согласно габаритам, скорости движения и вероятности достоверного обнаружения. Автомобильный радар вследствие более низкой по сравнению с видимым светом частоты излучаемых волн, которые в существенно меньшей степени поглощаются или рассеиваются при ограниченной видимости (туман, дождь, снег, сумерки),

позволяет обеспечивать работоспособность системы помощи водителю в более широком диапазоне погодных условий.

В рамках проектирования автомобильного радара АО «ПКК Миландр» были разработаны три опытных образца. Первый вариант – «однолучевой радар» (рис. 1), изготовленный в начале 2017 года для отработки выбранных технических решений и проверки алгоритмов программной обработки, – состоит из модуля приемопередатчика и модуля вычислителя с сигнальным процессором.

Приемопередатчик представляет собой компактный модуль, включающий ФАР, реализованную в виде отдельных передающей и приемной частей (рис. 2). Передающая и приемная части ФАР выполнены симметрично, каждая состоит из патч-антенн, сориентированных между собой таким образом, чтобы была сформирована желаемая ДН и минимизировано взаимное влияние приемника и передатчика. Для формирования узкой диаграммы направленности (15° по горизонтали и 24° по вертикали) патч-антенны расположены в виде массива, содержащего четыре строки и восемь столбцов. Приемопередатчик работает на частоте 24 ГГц.

Модуль цифрового вычислителя (рис. 3) разработан на базе процессора K1967BH044, с помощью которого выполняются: пороговый анализ, обнаружение целей и обеспечивается взаимодействие с внешними периферийными микросхемами. В качестве АЦП выбраны быстродействующие 14-разрядные микросхемы K5101HB015, которые при совместном использовании с цифровым даунконвертером, входящим в состав K1967BH044, позволяют получить высокие показатели по отношению сигнал/шум. В качестве микросхемы физического уровня CAN используется K5559ИН14АУ, обеспечивающая возможность взаимодействовать с другими устройствами на шине со скоростью до 1 Мбит/с.

Второй вариант – «многолучевой радар на 24 ГГц» (рис. 4), разработанный в начале 2018 года, является модификацией однолучевого радара. Многолучевой радар также состоит из модуля приемопередатчиков и модуля цифрового вычислителя, которые отличаются усложненной технической реализацией. Включенные в состав

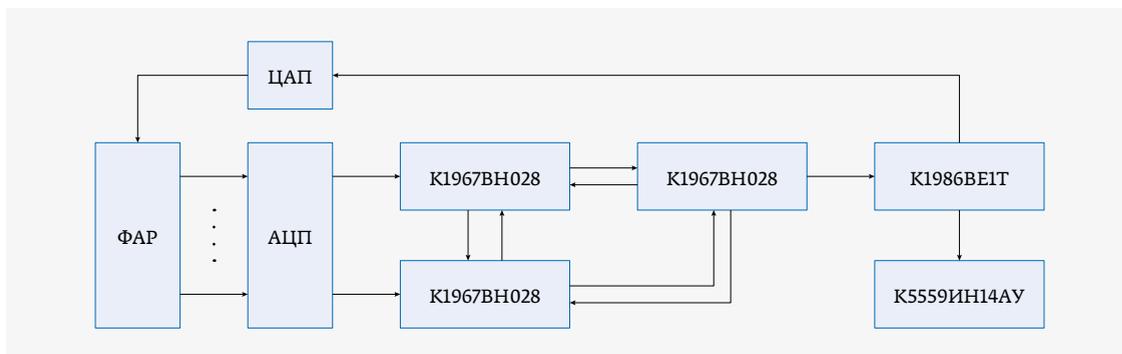


Рис. 5. Функциональная схема цифрового вычислителя многолучевого радара, работающего на частоте 24 ГГц

модуля приемопередатчиков две передающие и восемь приемных ФАР позволяют формировать цифровым образом желаемую ДН. Многолучевой радар работает в режимах дальнего и ближнего действия, увеличение дальности обнаружения в режиме дальнего действия обеспечивается за счет сужения сектора обзора, уменьшения ширины лучей ДН (5,5° по горизонтали и 12° по вертикали) и увеличения коэффициента усиления приемной антенны.

Цифровой вычислитель многолучевого радара (рис. 5) разработан на базе трех процессоров K1967BH028, выполняющих цифровое формирование лучей ДН ФАР, пороговый анализ, измерение первичных параметров цели (скорости и дальности), устранение ложных отметок и траекторное сопровождение целей. В качестве периферийного микроконтроллера выбран K1986BEIT, который обеспечивает взаимодействие с внешними устройствами по шине CAN и при необходимости Ethernet. В качестве микросхемы физического уровня CAN также используется K5559IH14AY.

Третий вариант – «многолучевой радар на 77 ГГц», разработка которого будет завершена до конца 2018 года. Как следует из названия, основное отличие от «многолучевого

радара на 24 ГГц» заключается в использовании в модуле приемопередатчиков ВЧ-трансиверов, работающих на частотах 76–77 ГГц, что позволяет повысить точность обнаружения объектов и разрешающую способность радара по дальности и угловой координате.

В заключение отметим, что в компании АО «ПКК Миландр» более года проводится тестирование однолучевого радара, в том числе совместно с российскими автопроизводителями. На конец сентября 2018 года запланированы совместные испытания многолучевого радара, работающего на частоте 24 ГГц. Для тестирования разрабатываемых радаров (рис. 6) на территории предприятия была смонтирована безэховая камера (БЭК), компоненты которой были изготовлены компанией ETS-Lindgren, и завершена первая стадия аттестации камеры на частотный диапазон от 700 МГц до 40 ГГц. Материал и конструкция камеры подобраны таким образом, чтобы в дальнейшем провести работы по аттестации БЭК до 81 ГГц. Также закуплено все необходимое оснащение для функционирования БЭК, включая измерительное оборудование с частотным диапазоном до 110 ГГц, измерительные антенны и ПО для трехмерного построения ДН.

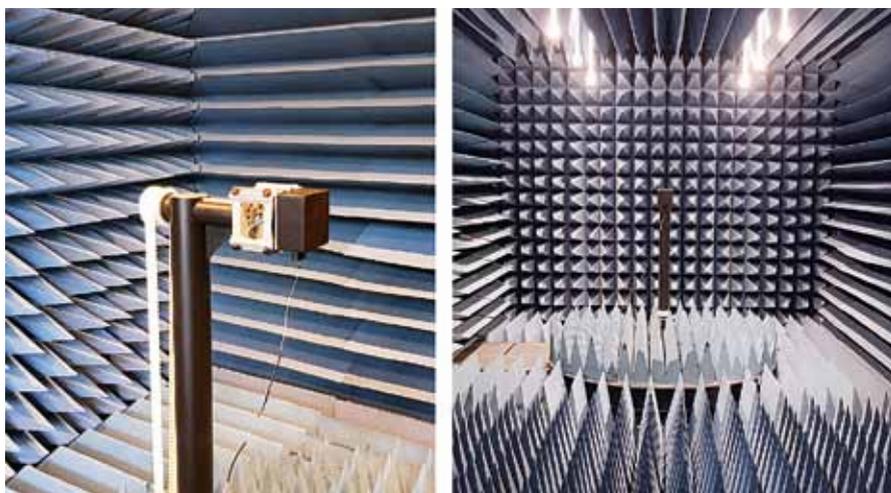


Рис. 6. Измерение диаграммы направленности однолучевого радара в безэховой камере

ЛИТЕРАТУРА

1. Показатели состояния безопасности дорожного движения // Сведения о показателях состояния безопасности дорожного движения. URL: <http://stat.gibdd.ru/> (дата обращения: 23.08.2018).
2. «Автонет» // Национальная технологическая инициатива. URL: <http://www.nti2035.ru/markets/autonet> (дата обращения: 25.08.2018).
3. План мероприятий («дорожная карта») «Автонет» Национальной технологической инициативы // Фонд содействия инновациям. URL: http://fasie.ru/upload/docs/dk_avtonet.pdf (дата обращения: 21.08.2018).