

УДК 621.37

СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ И ПОМОЩИ ВОДИТЕЛЮ. РАДАРЫ ДИАПАЗОНОВ 24 ГГц И 77 ГГц

Троицкий Алексей Максимович

магистрант

Научный руководитель: **Кузин Андрей Алексеевич**

К.Т.Н.

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный
технический университет им. Р.Е. Алексеева»

Аннотация: Кратко рассматриваются автомобильные сенсорные системы, указываются области их применения, приводится классификация типов систем по используемым физическим принципам. Указываются их преимущества и недостатки. Подробнее рассматриваются радарные системы 24 ГГц и 77 ГГц, проводится анализ возможностей и ограничений таких систем.

Ключевые слова: Системы помощи водителю, системы мониторинга дорожного движения, системы экстренного торможения, системы помощи при парковке, радар, ЛИДАР, компьютерное зрение, диапазон 24 ГГц, диапазон 77 ГГц, фазированная антенная решётка, линейная частотная модуляция.

TRAFFIC SENSORS AND ADVANCED DRIVER ASSISTANCE SYSTEMS. 24 GHz AND 77 GHz RADARS

Troitsky Aleksey Maksimovich

Kuzin Andrey Alekseevich

Abstract: Automotive sensor systems are briefly considered, their application areas are considered, and the classification of system types according to the physical principles used is given. Their advantages and disadvantages are indicated. The radar systems 24 GHz and 77 GHz are considered, the capabilities and limitations of such systems are analyzed.

Key words: ADAS, traffic monitoring systems, emergency braking systems, parking assistance systems, radar, LIDAR, computer vision, 24 GHz radar, 77 GHz radar, phased array antenna, FMCW.

Для начала приведём список систем помощи водителю, а также классификацию принципов, по которым эти системы спроектированы. Общая классификация приведена на рисунке 1. Это разделение имеет смысл, так как эти системы используют не одинаковые датчики. Также алгоритмы обработки и принципы обнаружения нельзя назвать универсальными, подходящими для любого типа системы помощи водителю.

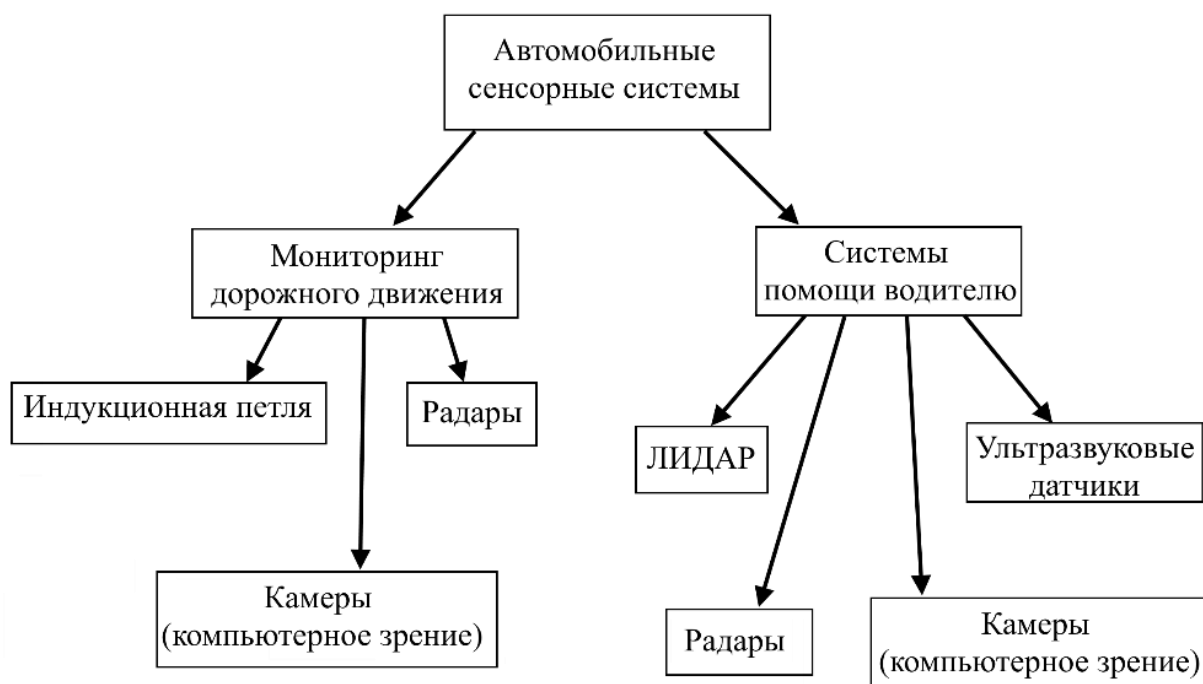


Рис. 1. Автомобильные сенсорные системы

Мониторинг дорожного движения

Сенсорные системы, выполняющие анализ ситуации на автомобильной дороге можно разделить на два класса. К первому типу можно отнести системы мониторинга дорожного движения и мониторинга перекрёстков. Эти системы имеют несколько назначений [1]:

1) Сбор статистики о загруженности перекрёстков и дорог, что важно при планировании изменений в инфраструктуре.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ РАЗРАБОТКИ ПО ПРИОРИТЕТНЫМ НАПРАВЛЕНИЯМ РАЗВИТИЯ

2) Динамическая регулировка зелёного света светофора, которая позволяет оптимизировать поток транспорта в зависимости от текущей ситуации.

3) Автоматическая настройка длительности свечения жёлтого сигнала светофора.

Сенсорные системы должны быть спроектированы таким образом, чтобы измерять скорость и положение транспортных средств максимально точно для объектов, движущихся с различной скоростью (для сбора статистики важны не только усреднённые значения). Также ставится задача измерения объектов на как можно большем расстоянии в различных погодных условиях (плохая видимость, дождь, тёмное время суток).

По типу используемой технологии можно выделить три типа [2], сравнение показано на рисунке 2.

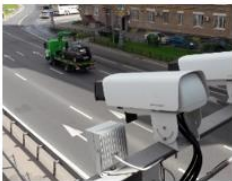
Название	Индукционная петля 	Камеры (компьютерное зрение) 	Радары 
Преимущества	Технология простая, не требует сложных алгоритмов обработки	Множество разработанных и проверенных алгоритмов обработки информации	• Измерение на большой дальности • не зависит от погоды, времени суток
Недостатки	• Сложность ремонта • Невозможно измерить скорость • Плохое обнаружение двухколёсного транспорта	• Невозможно измерить скорость • Сильная зависимость от условий среды (время суток, видимость)	Сложность проектирования

Рис. 2. Системы дорожного мониторинга

Системы помощи водителю

Системы помощи водителю можно разделить на группы так [4]:

1. Системы предупреждения о прямом столкновении (forward collision warning): Системы обнаруживают возможность столкновения впереди автомобиля и предупреждают водителя сигналом. Возможно обнаружение автомобилей, пешеходов.

2. Автоматическое экстренное торможение (automatic emergency braking): Такие системы также обнаруживают возможность столкновения. Используются алгоритмы автоматического торможения без участия водителя.

3. Системы экстренного торможения в городе (city automatic emergency braking):

4. Системы экстренного торможения на городской трассе (high-speed automatic emergency braking):

5. Системы обнаружения пешеходов (pedestrian detection): Эти системы настроены на обнаружение пешеходов и велосипедистов, также с предупреждением водителя или автоматическим торможением.

6. Системы предупреждения о сходе с полосы (lane departure warning): Система отслеживает положение автомобиля в пределах полосы движения.

7. Системы помощи в удержании полосы движения (lane keeping assistance):

8. Системы предупреждения слепой зоны (blind spot warning): Предупреждают водителя о появлении транспортных средств сзади и сбоку.

9. Системы предупреждения при движении задним ходом (rear cross traffic warning):

10. Системы экстренного торможения при движении сзади (rear automatic emergency braking):

11. Системы помощи в центрировании полосы движения (lane-centering assist):

12. Системы круиз-контроля (adaptive cruise control): Класс систем, которые позволяют удерживать дистанцию с движущимся транспортом впереди

Новые автомобили марок Audi, BMW, Cadillac, Chevrolet, Ford, Honda, Nissan и других оснащаются перечисленными системами полностью или частично в стандартной комплектации.

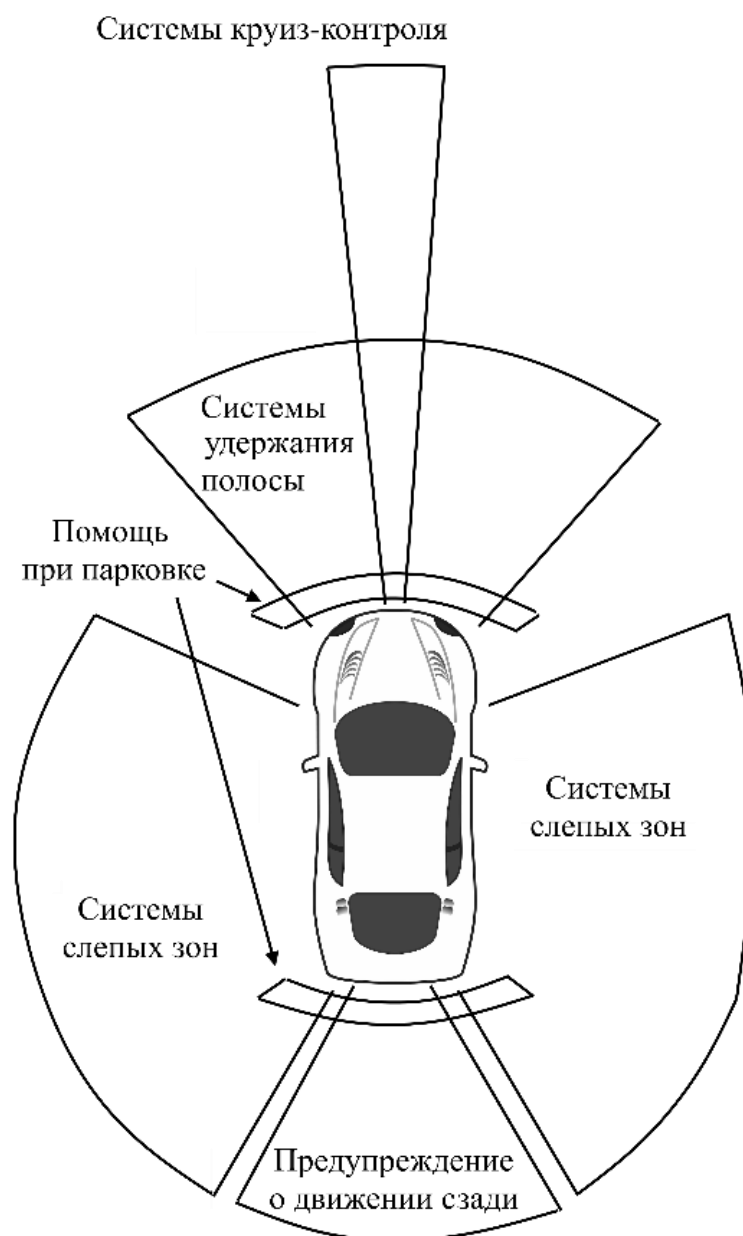


Рис. 3. Условное распределение областей действия датчиков систем помощи водителю

На рисунке 3 показано распределение областей действия датчиков систем помощи водителю. В основном используются 4 типа датчиков: камеры, радары, лидары и ультразвуковые датчики. Возможно построение полной системы на основе, например, только камер или только радаров. Однако технически проще для отдельных задач использовать системы, построенные на разных физических принципах:

– Системы помощи при парковке, а также любые другие системы ближнего действия удобно проектировать с использованием ультразвуковых датчиков. Ультразвуковые волны быстро затухают на расстоянии нескольких метров, поэтому системы дальнего действия не проектируют на этом принципе.

– В системах удержания полосы используют камеры. Это недорогой и относительно не сложный способ, кроме того, камеры часто уже интегрированы в автомобиль, как регистраторы. Использование камеры - это единственный способ, который позволяет алгоритму различать цвета. Однако такие датчики требуют сложной обработки при изображениях, полученных в условиях плохой видимости [5].

– В системах круиз-контроля и других системах, где необходимо обнаруживать объекты на большом расстоянии, используются ЛИДАРы и радары. ЛИДАРы позволяют получить лучшую разрешающую способность (по сравнению с радаром). Основное преимущество радаров в независимости от погоды, времени суток. Кроме того, алгоритмы обработки для радаров в данный момент лучше изучены.

Радары диапазонов 24/77 ГГц

В системах дорожного мониторинга и системах помощи водителю используются радары, в основном, в двух диапазонах. Это диапазон 22 — 27 ГГц и диапазон 76 — 81 ГГц. Отметим, что под частотой здесь понимают несущую частоту. Для упрощения, эти диапазоны называют просто 24 ГГц и 77 ГГц. Хотя, конечно, при этом имеется в виду некоторая полоса частот, в пределах которой осуществляется модуляция и демодуляция сигналов. Эти две полосы частот выбраны по нескольким причинам. Во-первых, разделение осуществляется в зависимости от функций радаров. Радары 77 ГГц используют для систем круиз контроля, а для систем слепых зон, систем экстренного торможения радары 24 ГГц. Последние больше подходят для обнаружения на относительно небольшом расстоянии, радары 77 ГГц — на большом. Это обуславливается двумя факторами:

- Лучшая разрешающая способность у радаров диапазона 77 ГГц
- Большой угол обзора у радаров 24 ГГц [6]

Во-вторых, разделение обосновано соглашениями по использованию частот [7,8,9]. В итоге, допустимые полосы частот принимают вид, изображённый на рисунке 4 [10].

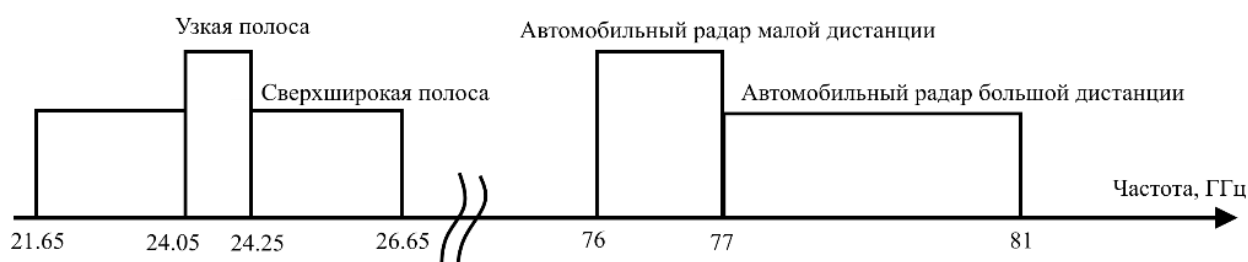


Рис. 4. Полосы частот радаров 24 ГГц и 77 ГГц

Следует отметить, что сверхширокая полоса 24 ГГц в диапазоне до 24.05 ГГц в настоящий момент не разрешена к использованию в автомобильных радаров. А узкая полоса имеет тот недостаток, что с её помощью не может быть получены хорошее значение разрешения по дальности, которое зависит от полосы так[11]:

$$\Delta R = \frac{c}{2\Delta f}, \text{ где } c - \text{ скорость света.}$$

Кроме того, преимуществом радаров диапазона 77 ГГц следует считать большую компактность фазированной антенной решётки. Компактность имеет значение при установке сенсоров на автомобиль. Меньшие размеры фазированной антенной решётки объясняется меньшим расстоянием между её элементами. В связи с физическими принципами, которые используются при формировании диаграммы направленности, расстояние между элементами приблизительно равно половине длины волны [12]. Наглядно это показано на рисунке 5.

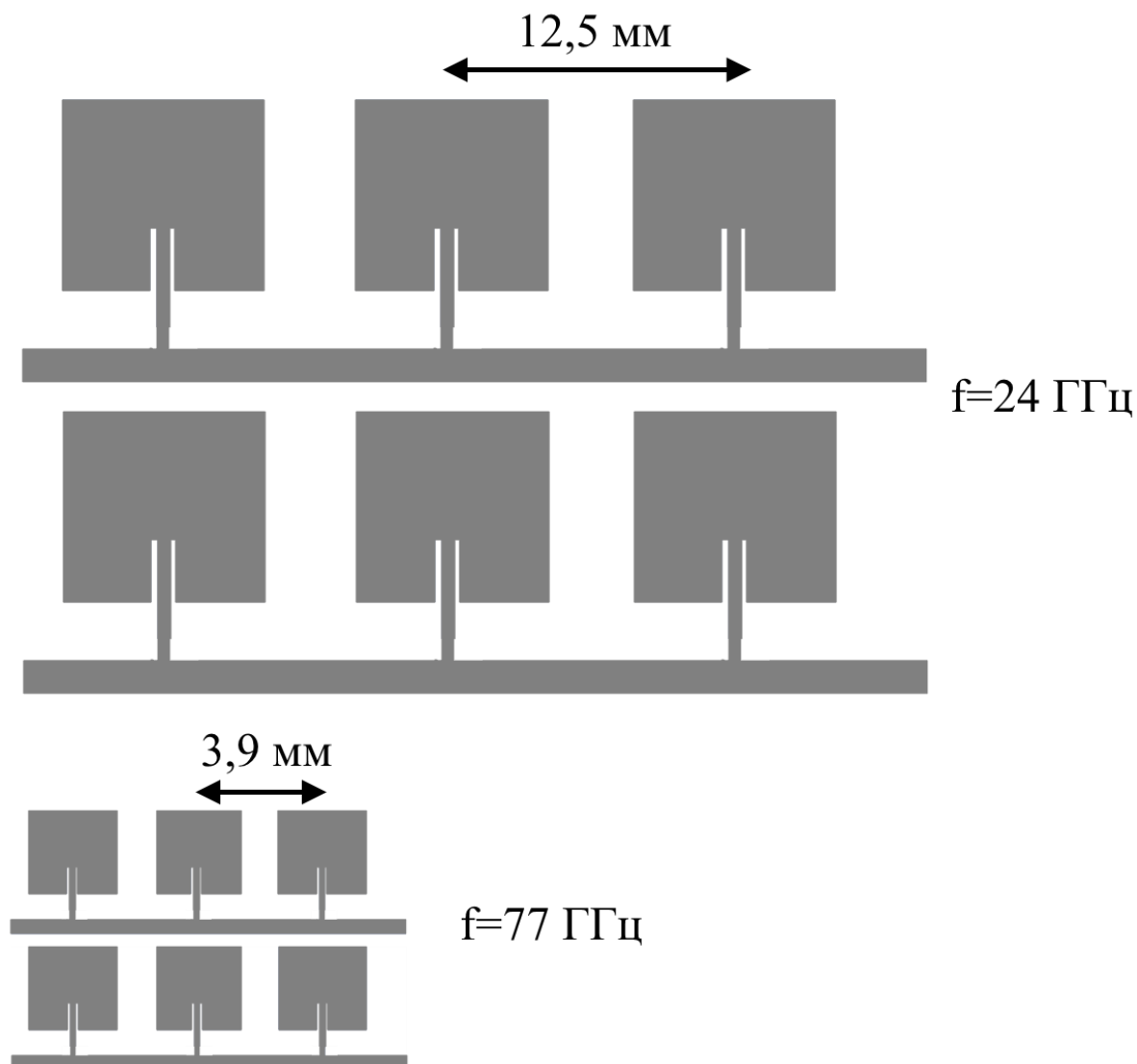


Рис. 5. Сравнение относительных размеров фазированных антенных решёток радаров 24 ГГц и 77 ГГц

В автомобильных применениях рационально использовать радары двух диапазонов. В работе [13] проводится исследование и демонстрация двухполосного датчика 24/77 ГГц на кристалле использующего линейную частотную модуляцию (рисунок 6). В работе [14] - 24/77 ГГц импульсного двухполосного датчика на кристалле. Радар, использующий двухполосный датчик, может быть использован и на короткой, и на длинной дистанциях.

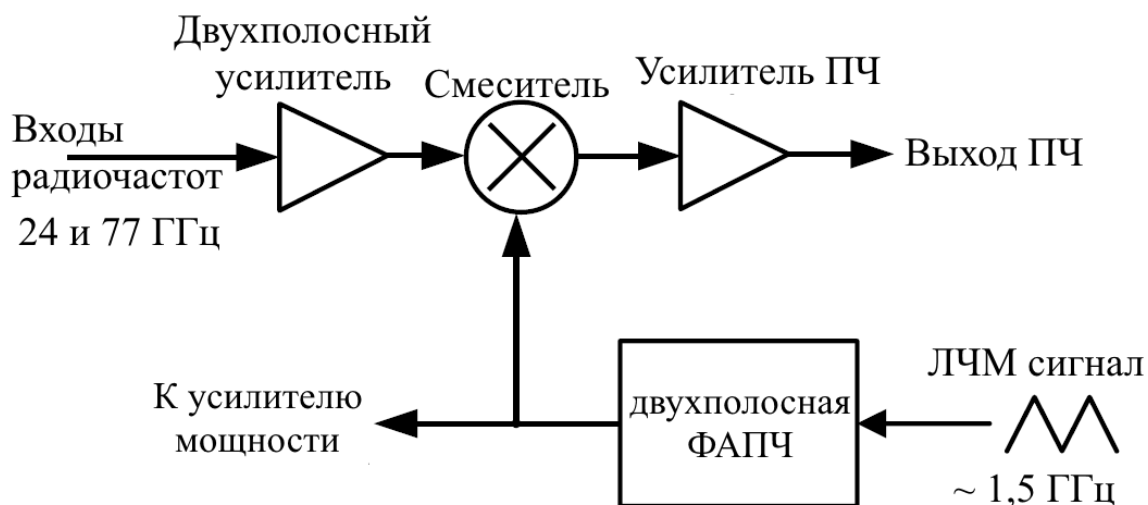


Рис. 6. Схема двухполосного передатчика на кристалле

Список литературы

1. Robust traffic and intersection monitoring using millimeter wave sensors. Keegan Garcia. Mingjian Yan. Alek Purkovic. Texas Instruments 2018
2. Traffic Detector Handbook: Third Edition - Volume I L. Klein, M. K. Mills, D. Gibson Published 1 October 2006
3. Приведены списки моделей автомобилей 2017 -2021 оснащённые системами помощи водителю. <https://www.consumerreports.org/car-safety/cars-with-advanced-safety-systems-a7292621135/>
4. Документация Texas Instruments www.ti.com/applications/automotive/adas/overview.html#roadtoautonomy
5. An Introduction to Automotive LIDAR. Motaz Khader, Samir Cherian, 2020, Texas Instruments
6. A 24 GHz ACC Radar Sensor, January 2008, Ralph Mende, Marc Behrens, Stefan Milch.
7. Short Range Devices (SRD); Radio equipment to be used in the 1 GHz to 40 GHz frequency range; Harmonised Standard covering the essential requirements of article 3.2 of Directive 2014/53/EU
8. FCC 47 CFR 15.253 – Operation within the bands 46.7-46.9 GHz and 76.0-77.0 GHz.
9. FCC Report and Order – Radar services in the 76-81 GHz band, ET docket No. 15-26.

10. Moving from legacy 24 GHz to state-of-the-art 77 GHz radar. Texas Instruments. October 2017
11. Справочник по радиолокации В 2 книгах. под редакцией М.И. Сколника / При поддержке ОАО «Концерн «Вега», перевод с англ. под общей ред. д.т.н., проф. В.С. Вербы
12. FMCW Radar Design by M. Jankiraman. Artech House (July 31, 2018)
13. A 24/77 GHz Dual-Band Receiver for Automotive Radar Applications, March 2019 DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2904493. XIANG YI, GUANGYIN FENG.
14. A single-chip dual-band 22-29-GHz/77-81-GHz BiCMOS transceiver for automotive radars January 2010 Vipul Jain, Fred Tzeng, Lei Zhou, Payam Heydari, IEEE.