

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ АВТОМОБИЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ СОПРЕСТ НАЕЗДОВ НЕ БУДЕТ!

Как исключить столкновения на автодорогах – проблема, которая волнует ученых всего мира. Наибольшие надежды они возлагают на интеллектуальные автомобильные системы, интенсивная разработка которых ведется в Германии, США, Швеции и Франции. На всех международных конгрессах по радиолокации даже выделена специальная секция по этой тематике. Основные задачи, решаемые сегодня, – микроминиатюризация систем, создание оптимальных алгоритмов обработки, борьба с разного рода помехами. Московский НИИ радиоприборостроения также несколько лет проводит работы в этом направлении, и его семейство интеллектуальных систем предотвращения столкновений транспортных средств (СОПРЕСТ) уже проходит натурные испытания.

Наиболее успешные на сегодня разработки интеллектуальных систем предотвращения столкновений автомобилей проведены немецкими специалистами [1]. Ими опубликованы параметры радиолокаторов с несущей частотой 77 ГГц, шириной полосы сигнала 400 МГц, полем зрения 12°, частотой обновления информации 20 Гц. Характеристики модуляции обеспечивают разрешающую способность по дальности 1 м, по скорости 0,5 м/с.

В нашей стране работы в этом направлении ведутся уже на протяжении десятилетий. Основные достижения приведены в публикации А. А. Юрчевского [2], где наибольшее внимание уделено критерию безопасности, исполнительным механизмам торможения и подробно изложены алгоритмы расчета параметров торможения. В другой работе приведены результаты исследований авторадаров с узкой диаграммой направленности по азимуту и невысокой разрешающей способностью по дальности [3]. Известна отечественная система РАДАР для предупреждения водителя об опасности столкновения, состоящая из СВЧ-модуля, вычислителя и узла выдачи звукового сигнала при дальности до впереди идущего автомобиля меньше критической [4].

А. Орлов

Однако и в России, и за рубежом нет системных работ по предотвращению столкновений путем торможения с одновременным маневром в поперечной плоскости. Такая система предложена автором настоящей работы [5]. Основная ее идея базируется на методах самонаведения, только в отличие от задач встречи снаряда с целью для ее поражения здесь решается задача ухода от столкновения. Были разработаны и смоделированы алгоритмы управления автомобилем на плоскости при учете ряда ограничений на его пространственное движение.

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ СОПРЕСТ

К настоящему времени автором предложены три системы предотвращения столкновений [5–7].

Система СОПРЕСТ. Полуавтоматическая система, состоящая из узла радиолокационных датчиков (СВЧ-модуля), узла обработки информации и узла отображения информации. Начало работы системы совпадает с началом движения автомобиля. СВЧ-модуль выдает сигнал, по которому вычисляются относительная дальность до встречных и попутных объектов, относительная скорость, а также пеленг в азимутальной плоскости. Далее производится оценка параметров встречи, и водителю выдается один из возможных световых сигналов: если путь свободен – зеленый, если необходим маневр влево – белый, если вправо – желтый, если обгон запрещен – красный. При необходимости экстренного торможения выдается звуковой сигнал. Возможны также комбинации сигналов, например белый световой и звуковой.

Система СОПРЕСТ-2. Автоматическая система, функциональная схема которой приведена на рис. 1. Работает следующим образом. По информации с радиолокационных датчиков определяются относительные дальность и скорость, а также пеленг. Далее производится расчет кинематических параметров промаха и момента встречи с объектом. Если на момент встречи промах менее заданной величины, то с помощью комплекса алгоритмов рассчитывается значение ускорения торможения и подается команда на электро-



магнитные клапаны исполнительного механизма торможения. Если реализованного ускорения торможения окажется недостаточно, на основе соответствующих алгоритмов будет создан режим дифференциального управления скоростью вращения колес, который приведет к маневру в нужном направлении.

Система СОПРЕСТ-3. Автоматическая система, функциональная схема которой приведена на рис.2. По сравнению с системой СОПРЕСТ-2 она дополнительно содержит датчики линейного ускорения, датчики углового ускорения и подсистему поворота руля. Введение подсистемы поворота руля потребовало доработки функционально-программного обеспечения (ФПО), содержащегося в системе СОПРЕСТ-2. Исключены алгоритмы управления скоростью вращения колес, зато введены алгоритмы предотвращения опрокидывания, которые обеспечивают управление движением центра массы автомобиля вокруг его продольной оси. Таким образом автоматически решается задача пространственного управления автомобилем. Однако введение подсистемы поворота

руля усложняет взаимодействие водителя и системы, так как при аварийных ситуациях возникает хаотичность в движениях рук или скованность мышц. Поэтому в перспективе следует стремиться к оптимальному сочетанию полуавтоматического и автоматического режимов управления.

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМ СОПРЕСТ

Поскольку для синтеза алгоритмов необходимо использовать математическую модель движения автомобиля, в которой порядок дифференциальных уравнений больше 20, для упрощения процедуры синтеза принята математическая модель плоского движения центров масс пары движущихся автомобилей:

$$\dot{R}_{xi} = V_{xi}; \dot{R}_{yi} = V_{yi}; \dot{W}_{xi} = W_{xi}; \dot{W}_{yi} = W_{yi}, \quad (1)$$

где R_{xi} , R_{yi} – проекции вектора относительной дальности \vec{R}_i i -й пары автомобилей, один из которых снабжен системой СОПРЕСТ; V_{xi} , V_{yi} – проекции вектора относительной скорости \vec{V}_i ; W_{xi} , W_{yi} – проекции вектора относительного ускорения \vec{W}_i .

Величины, определяемые по сигналу СВЧ-модуля:

$$\begin{aligned} \% R_{i\%} &= \sqrt{R_{xi}^2 + R_{yi}^2}; \quad j = \arctg \frac{R_{yi}}{R_{xi}}; \\ f_{gi} &= \frac{2(R_{xi}V_{xi} + R_{yi}V_{yi})}{\% R_{i\%}}, \end{aligned} \quad (2)$$

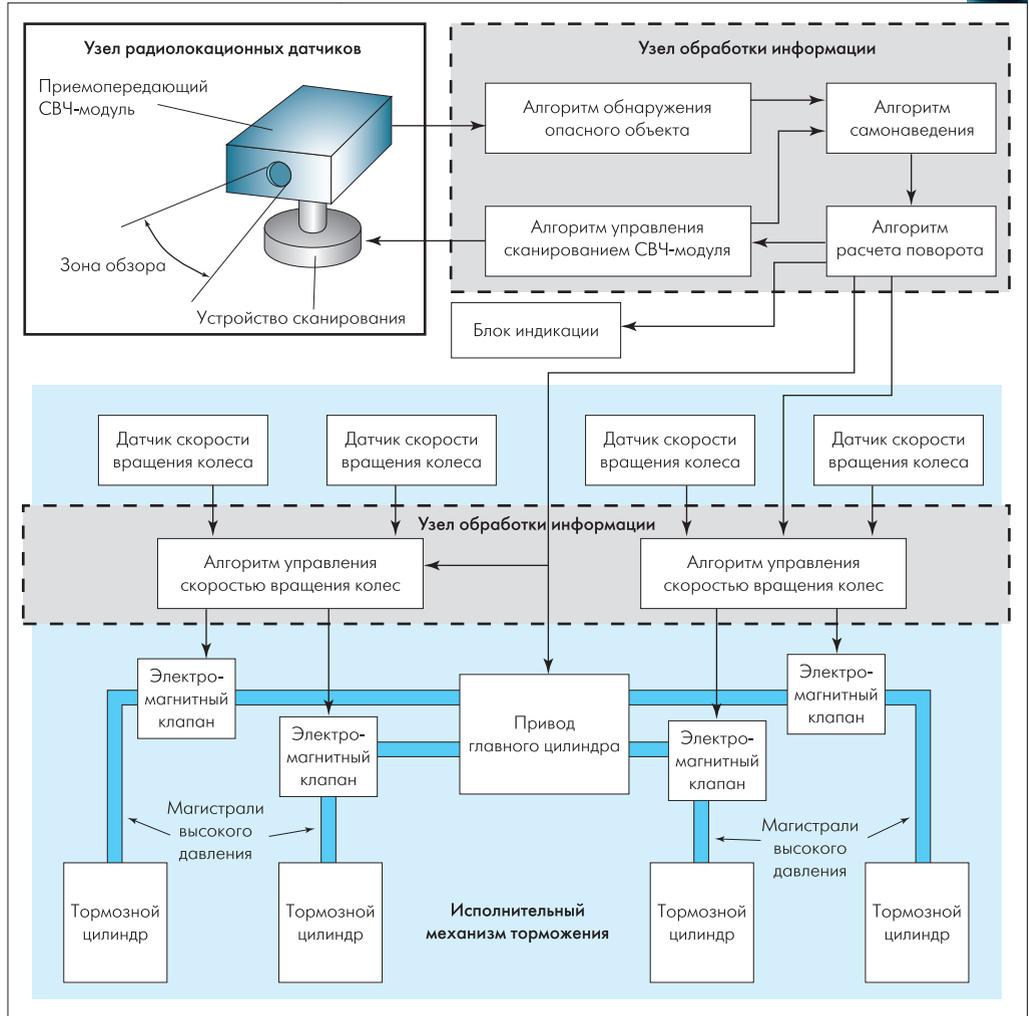


Рис. 1. Функциональная схема системы СОПРЕСТ-2

где f_{gi} – доплеровский сдвиг частоты принятого радиосигнала, j – пеленг наблюдаемого объекта. Эти величины, а также определяемая собственная скорость $\% V_{C\%}$ образуют исходную для синтеза систему уравнений.

Условно алгоритмы ФПО разделяются на первичные и вторичные. Первичные предназначены для определения $\% R_{i\%}$, f_{gi} , j а вторичные – для поиска вектора требуемого ускорения \vec{W}_n управляемого автомобиля, имеющего продольную W_{xn} и поперечную W_{yn} составляющие.

В состав первичных алгоритмов входят алгоритм аналого-цифрового преобразования сигнала СВЧ-модуля, алгоритм амплитудно-частотной обработки – быстрое преобразование Фурье (БПФ), алгоритм комплексирования БПФ с законом модуляции, алгоритм интегральной многолучевой амплитудной обработки. В качестве критерия синтеза вторичных алгоритмов используется критерий максимума вероятности нестолкновения для совокупности всех автомобилей, наблюдаемых радиолокатором. Анализ выражений (1), (2) показывает, что исходная математическая модель является аналитически нелинейной, и для ее синтеза применим метод, ранее описанный автором [8].

Для инженерной методики синтеза вторичных алгоритмов введено допущение о постоянстве относительного ускорения за время одного кадра наблюдения. Это допущение позволяет реализовать простейший рекуррентный алгоритм определения параметров движения из системы четырех уравнений, формируемой по четырем измерениям доплеровской частоты f_g и пеленга j

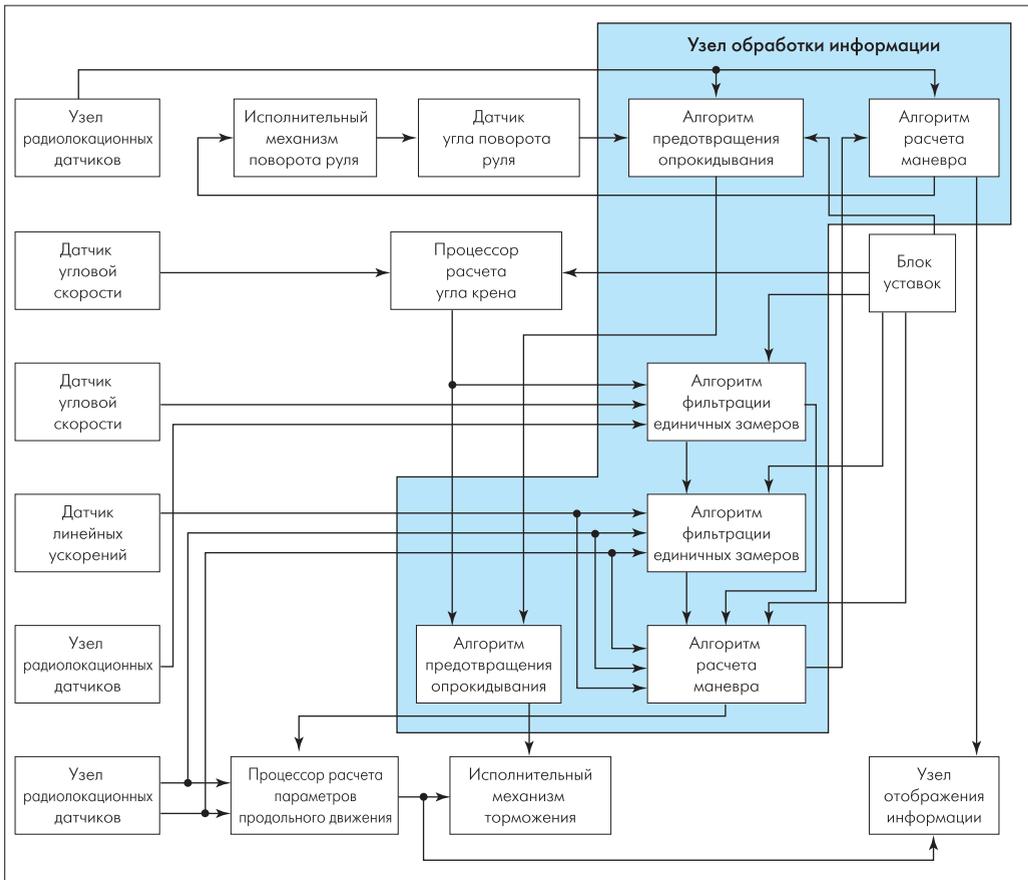


Рис. 2. Функциональная схема системы СОПРЕСТ-3

$$\begin{aligned} V_{xi} &= F_1(\bar{V}_C, \bar{W}_C, f_{gij}, \dot{j}_j), & W_{xi} &= F_2(\bar{V}_C, \bar{W}_C, f_{gij}, \dot{j}_j), \\ V_{yi} &= F_3(\bar{V}_C, \bar{W}_C, f_{gij}, \dot{j}_j), & W_{yi} &= F_4(\bar{V}_C, \bar{W}_C, f_{gij}, \dot{j}_j), \end{aligned} \quad (3)$$

где \bar{V}_C, \bar{W}_C – векторы скорости и ускорения собственного автомобиля, соответственно; f_{gij}, \dot{j}_j – значения доплеровской частоты и пеленга объектов в i -й паре на j -м кадре измерений, соответственно; F_1, F_2, F_3, F_4 – нелинейные функции указанных аргументов.

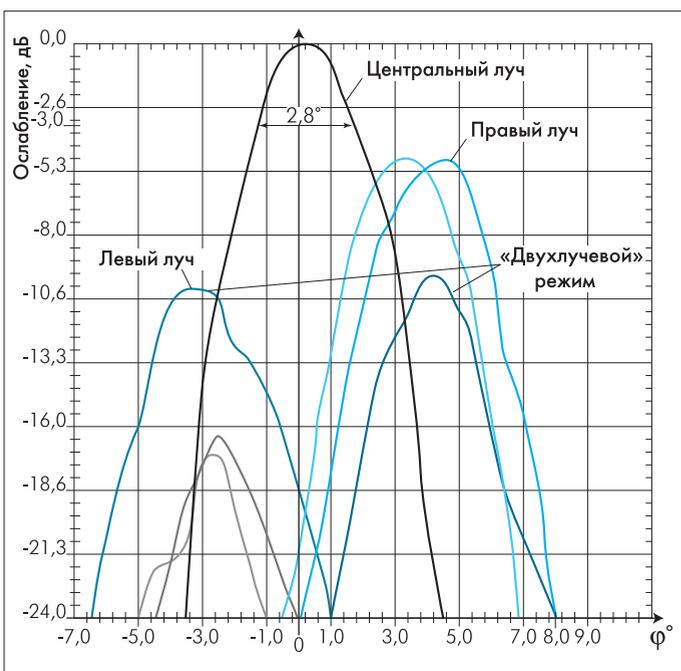


Рис. 3. Диаграмма направленности приемного устройства

Комплексирование решений зависимостей (3) с замерами относительной дальности $\% R_{ij}\%$ позволяет получить значения момента встречи и промаха. Значения W_{xn}, W_{yn} определяются исходя из допустимого промаха 0,4–0,6 м.

Исследования синтезированных алгоритмов на математической модели попутно-встречного движения позволили выработать требования к точности вычисления $\% R_{ij}\%$, f_{gij} , \dot{j}_j . Так, установлено, что вычисление дальности $\% R_{ij}\%$ должно производиться с точностью не хуже 0,3 м, доплеровской частоты – не хуже 10 Гц, пеленга – не хуже 0,4 при относительной дальности менее 20 м. При дальностях от 20 до 150 м требования к точности определения $\% R_{ij}\%$, f_{gij} , \dot{j}_j снижаются. Выявлено также, что при маневре встречных автомобилей, у которых период колебаний поперечной составляющей скорости в 8–12 раз превышает длительность кад-

ра, алгоритмы определения поперечного ускорения дают хорошие результаты.

АППАРАТУРНОЕ РЕШЕНИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМЫ СОПРЕСТ

Аппаратурно узел радиолокационных датчиков состоит из передатчика (генератора на лавинно-пролетном диоде с модулятором) с передающей антенной и трехлучевого приемника с приемной антенной, многокаскадного смесителя, усилителей промежуточной и низкой частоты с регулируемым коэффициентом усиления. Основные технические характеристики СВЧ-модуля:

Мощность излучения	9,8 мВт
Частота несущей	76,5 ГГц
Девияция частоты	420 МГц
Частота модуляции	200 Гц
Диапазон регулирования коэффициента усиления	60 дБ

Диаграмма направленности трехлучевого приемного устройства приведена на рис. 3. Как видно, у центрального луча боковые лепестки не превышают -24 дБ, а у бокового правого луча не выше -16 дБ, причем относительно его максимума они не превышают -12 дБ. Ширина диаграммы центрального луча по уровню -3 дБ около 3°. В «двухлучевом» режиме ширина эквивалентной диаграммы 10°.

Узел обработки информации выполнен в основном с использованием унифицированных плат. Для аналого-цифрового преобразования сигнала СВЧ-модуля применена плата Л-305 с полосой частот 300 кГц. Для размещения ФПО выбрано ПЗУ типа РСМ-3835 с диском ВДСРВ-8-10, ОЗУ объемом 16 Мбайт. Процессор Intel 500 МГц размещен на материнской плате ВАТ/810. Узел отображения информации выполнен на четырех светодиодах (рис. 4).



Рис. 4. Внешний вид узла отображения информации

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ СИСТЕМЫ СОПРЕСТ

Отладка и испытания системы и ФПО проводились в полунатурных условиях. Предварительные испытания отдельных узлов показали возможность увеличения диапазона девиации частоты до 4 ГГц, однако при этом появлялись высокочастотные составляющие после БПФ, обусловленные переходными процессами в модуляторе.

На рис. 5а приведен выходной сигнал УНЧ при наличии одного объекта в поле зрения, на рис. 5б – при наличии трех. Их соответствующие спектры после БПФ представлены на рис. 6а и 6б. Из анализа выходного сигнала УНЧ при наличии одного объекта видно, что ограничения по напряжению нет, и высокочастотные гармоники в спектре отсутствуют. При трех объектах, один из которых выводит на ограничение выходной сигнал УНЧ, возникают нечетные высокочастотные гармоники основного сигнала (см.рис. 6б). В данном конкретном

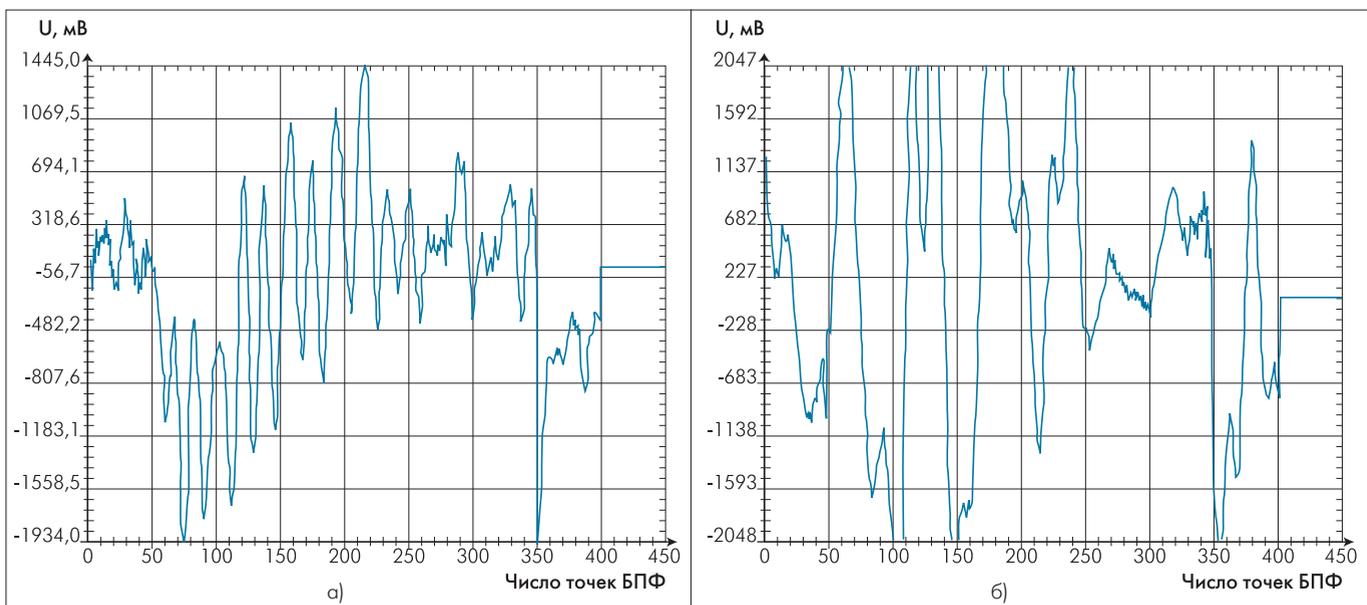


Рис. 5. Выходной сигнал УНЧ: а) при наличии одного объекта; б) при наличии трех объектов

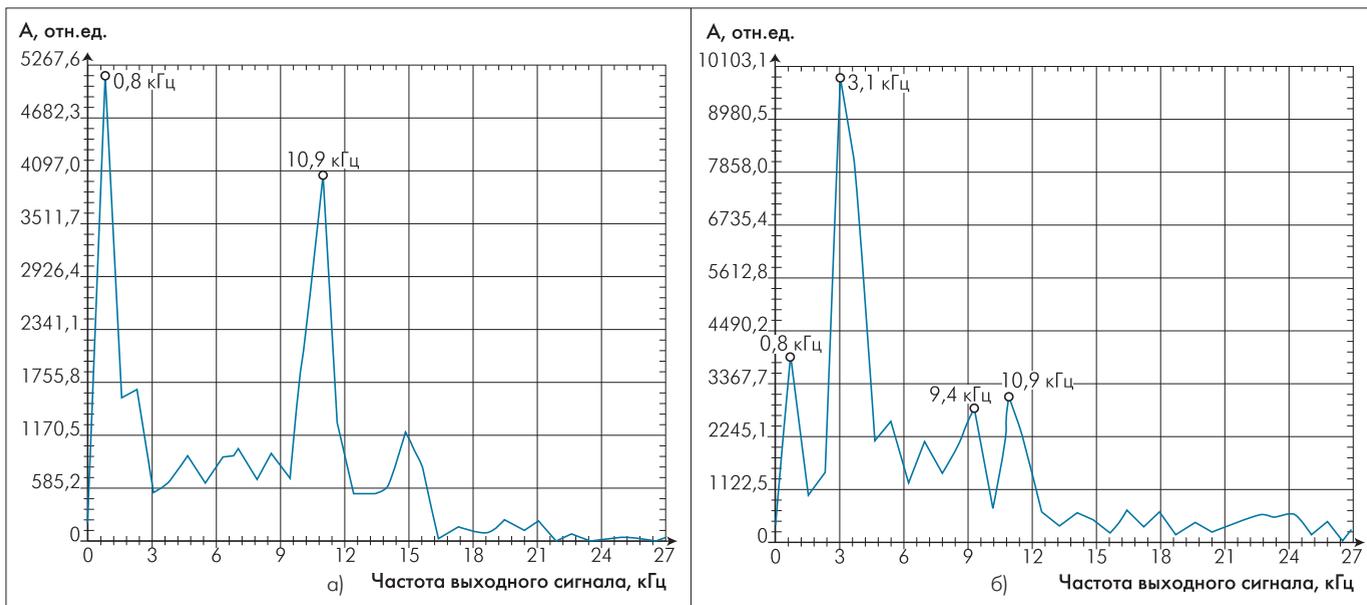


Рис. 6. Спектр выходного сигнала: а) при наличии одного объекта; б) при наличии трех объектов

случае третья гармоника близка к частоте биений 9,4 кГц, соответствующей второму объекту. В реальной ситуации это может привести к появлению так называемых ложных целей.

Разрешающая способность по дальности составила 0,35 м, а по скорости при 1024-точечном БПФ – 0,2 м/с. Готовится вариант обработки с разрешением по скорости 0,05 м/с.

При испытаниях определялось быстродействие выдачи команды на световой и звуковой каналы узла отображения с момента превышения заданного допустимого времени на торможение (рис. 7). Достигнутое относительно невысокое быстродействие

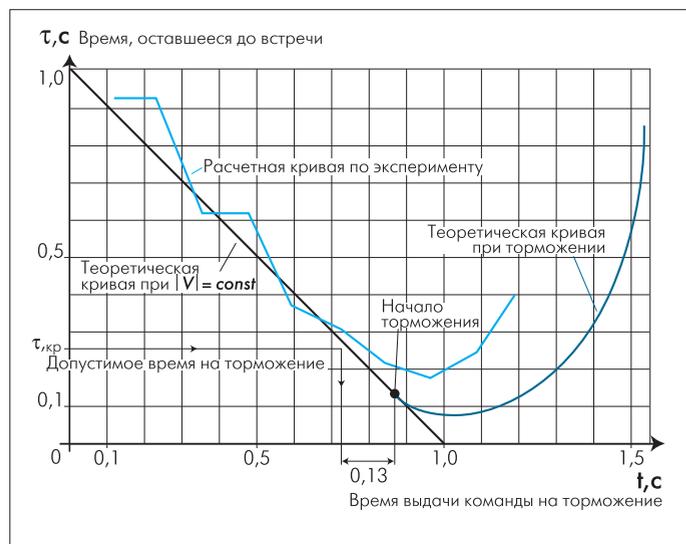


Рис. 7. Быстродействие выдачи команды на торможение

(0,13 с) объясняется необходимостью покадрового контроля информации на мониторе, что в натуральных условиях устраняется. Отклонение теоретической кривой от экспериментальной составляет не более 30%, причем в сторону опережения, что гарантирует предотвращение столкновения. Анализ кривых времени, оставшегося до встречи с наиболее опасным объектом (рис. 8), показывает, что при большей относительной скорости влияние разрешающей способности по дальности на точность определения времени будет невелико.

Испытания показали также необходимость снижения минимального порога обнаружения скорости с 1,37 до 0,5 м/с.

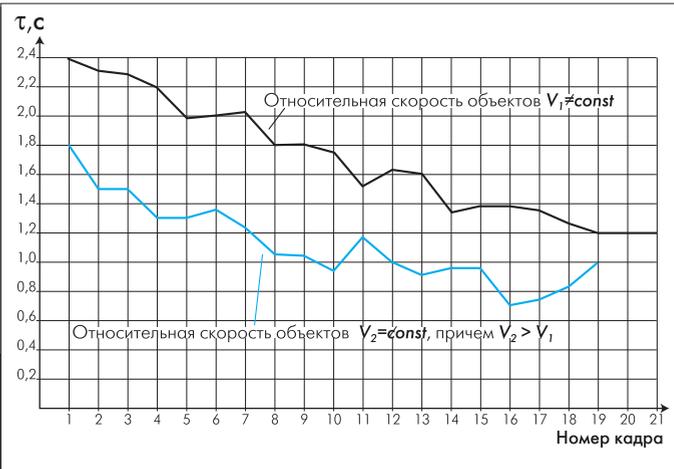


Рис. 8. График времени, оставшегося до встречи с наиболее опасным объектом

Таким образом, на стадии полунатурных испытаний выявлены качественно более высокие характеристики управляемости автомобилем с помощью системы СОПРЕСТ по сравнению с характеристиками водителя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Rohling H. et al. Experiences with an Experimental Car Control by 77 GHz Radar Sensor. – Proceedings of the International Radio Symposium, 1998.
2. Юрчевский А.А. Новое направление в развитии автотранспортных средств. – Автомобильная промышленность, 1996, №11.
3. Расторгуев В.В. и др. Система радиовидения "АвтоРадар". – ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2000, №5.
4. Система предупреждения водителя о столкновении. – Рекламный проспект КБ "Машиностроение" (г. Коломна) на выставке "Брюссель-Эврика'95".
5. Патент 2006385 РФ/А.Б.Орлов. Приоритет 14.10.1991.
6. А.с.10654/А.Б.Орлов. Приоритет 23.07.98.
7. Орлов А.Б. Антиаварийная система для транспорта. – Технологическое оборудование и материалы, 1998, №11.
8. Орлов А.Б. Кандидатская диссертация, 1982. – ЦНИИ автотоматики и гидравлики.



На самой авторитетной в мире конференции по автомобильной электронике Convergence, проходившей 16–18 октября в Детройте (США), свыше 150 фирм представили свои новейшие изделия и разработки. Вот некоторые из них.

Электронные системы. Фирма Dana Motors представила основные системы и модули, в которых интегрированы датчики скорости и положения, подсистемы электронного управления. Диапазон изделий – от устройств управления силовой передачей, включающих подсистему управления числом оборотов двигателя, датчики коленчатого вала и подсистему управления дросселем, до устройств охлаждения и вспомогательного привода, в том числе подсистем водяного насоса с электроприводом и масляного насоса. Новый датчик высоты колебаний кузова в продольной вертикальной плоскости представляет собой прочный бесконтактный программируемый датчик Холла.

Программируемая ИК-система. Фирма Melexis предложила мембранные ИК-термоэлементы типов MLX90247 и MLX90313, изготовленные в соответствии со стандартом QS-9000. Добавление этим чипам свойств цифровой обработки сигналов и программирования обеспечивает решающую способность в 0,01 С. По сравнению с дискретными ИК-датчиками новые термоэлементы вдвое дешевле.

Датчик отпечатков пальцев. Датчик фирмы Omron Automotive Electronics может быть адаптирован к целому ряду специализированных функций автомобиля, например к определению положения сиденья. Интенсивность ложных показаний менее 0,01%.

Транспондер. Фирма Microchip Technology продемонстрировала модуль транспондера HCS410/WM в миниатюрном безвыводном корпусе SOT-384. Двойное кодирование обеспечивает надежную защиту информации. Модуль найдет применение в системах управления доступом, в том числе бесконтактных радиочастотных (proximity), электронных дверных замках, системах сигнализации о взломе, устройствах подтверждения подлинности именных предметов.

Многослойные акселерометры. Акселерометры фирмы First Technology рассчитаны на минимальное изменение ускорения в 2 g и на определение угла наклона. Предназначены для систем GPS, динамической подвески, противоугонных систем. В акселерометрах использован поверхностный монтаж. Прочные пластмассовые корпуса защищают от влаги и загрязнений. Способны работать в экстремальных условиях.

Межсоединения. Фирма Parlex выпускает гибкие системы межсоединений различного назначения, используя ряд технологий. Дешевые, легкие, надежные и гибкие межсоединения AutoNet предназначены для замены традиционных монтажных жгутов. Материал PALFlex на основе безадгезивного полиимида позволяет получить высокие рабочие характеристики межсоединений при низкой стоимости. PALCore – дешевый гибкий многослойный материал. Слой покрытия PALCoat обеспечивает новым поколениям изделий необходимые электрические и физические характеристики при низкой стоимости. Polysolder – не содержащий свинца проводящий адгезив используется для присоединения электронных компонентов к дешевым основаниям печатных плат.

Спутниковое радиовещание. Фирма Sirius Satellite Radio на подписной основе создает систему цифрового спутникового радиовещания (спутник Sirius-1 был запущен в июне 2000 года). Уже организован стратегический альянс с ведущими технологическими компаниями для формирования необходимой инфраструктуры. Планируется революционизировать автомобильную развлекательную технику с помощью специальных радиовещательных программ по 100 каналам, 50 из них будут принадлежать коммерческим музыкальным программам.

www.sae.org/automag/convergeshow/index.htm