

Актуальные технологии и применения датчиков автомобильных систем активной безопасности.

Часть 7. Активные ИК системы:

лидары, системы ночного видения, 3D-камеры

Обзор технологий систем помощи водителю продолжает анализ рабочих принципов лазерных радаров (лидаров) — недорогой альтернативы радарам для таких автомобильных применений, как адаптивный круиз-контроль. Сходные принципы активного освещения области впереди автомобиля используют активные системы ночного видения, но с методами пиксельного детектирования посредством камер вместо ранжирования. Обзор автомобильных активных ИК систем помощи водителю завершает еще один пример, которым является самая передовая сегодня 3D-технология *electronic perception technology* от Canesta, комбинирующая одновременно основные преимущества видеокamer и радаров — способность к обнаружению и ранжированию, а также помехоустойчивость с ценовой эффективностью.

Светлана СЫСОВЕВА
S.Sysoeva@mail.ru

Введение

Адаптивный круиз-контроль (АКК) может быть реализован посредством трех различных технологий: это миллиметровые/микроволновые радары, стереоскопические камеры и лазерные радары, или *light detection and ranging (LIDAR)* [141–147].

Из-за высокой цены радарные АКК размещают только в дорогих автомобилях, подобных Mercedes S-class.

Хотя возможности интеграции ММРС и снижение цены производства радаров в недалеком будущем позволят шире использовать их для автомобильных применений, для снижения цены многие производители одновременно используют и исследуют как экономически эффективную альтернативу миллиметровым радарам лазерный метод идентификации — лидарный.

Помимо цены, большой размер многих радарных систем создает больше трудностей при интеграции радаров в автомобили, в то время как лидары, основными компонентами которых является пара «лазерный диод — ИК фотодетектор», обеспечивают такие технологические преимущества, как малый размер, простота сборки, низкая цена производства. Компактность лидарного модуля позволяет установить его в любом месте автомобиля.

Лидарные АКК дают возможность детектировать расстояние (принцип ранжирования), скорость (используя доплеровское смещение), различать множественные объекты по отдельности в широкой области обзора, а также производить с высокой точностью мониторинг полосы, могут быть также использованы для реализации функциональности предупреждения/предотвращения аварий (*pre-crash sensing/collision avoidance*). Лидарные АКК допускают интеграцию ряда других функций, включая классификацию автомобилей, обнаружение тумана, определение видимости и регулирование освещения в салоне и экстерьере.

Лидарный модуль АКК не нуждается в специальной настройке в течение сборки автомобиля, а также в калибровке. Считается, что для здоровья человеческого глаза лазерные ИК лучи безопасны. Так, компания OSRAM Opto Semiconductors заявляет о соответствии своих лазерных диодов стандарту IEC 60825-1 Safety of laser products.

Интерференция с другими датчиками также не представляется возможной. К настоящему времени уже разрабатываются интеллектуальные транспортные системы, позволяющие осуществлять посредством лазера коммуникацию между автомобилями.

Лидарные датчики для АКК выпускают и используют компании Omron, Denso,

Continental, Siemens VDO, Hella. Автомобили с лидарными АКК выпускают, например, Nissan и Toyota.

Помимо АКК, применение лидарных датчиков относится, например, к детектированию крена [148, 150] и другим, вплоть до 3D-сканирования области и расстояния до объектов, а также систем ночного видения [148–153].

Активные системы ночного видения диапазона NIR производят компании Bosch, Hella, OSRAM, используют в своих автомобилях Toyota и Mercedes.

Lexus LS470 Toyota, например, оснащается NIR-системой ночного видения, включающей два прожектора, излучающих ИК свет и установленных на переднем бампере, CCD-камеру, установленную в верхней части ветрового стекла, блок управления системы ECU и ЖК-дисплей диагональю 5,8 дюйма. Область обзора ИК лучей — 17° по горизонтали и 12,75° по вертикали.

Система ночного видения на модели 2007 года автомобиля Mercedes S-класса — также активного типа с NIR-освещением — разработана Bosch. Устройство и работа системы аналогичны системе Lexus LS470: два ИК прожектора излучают ИК свет, ИК датчик-камера, размещенная в пространстве между зеркалом и ветровым стеклом, получает отраженные лучи, контрольный блок обраба-

тывает информацию и передает данные на дисплей на приборной панели. Bosch интегрирует свою систему с другими СПВ, которые предназначены для использования той же самой камеры для систем ПНУП и обнаружения дорожных знаков.

NIR-технология позволяет производить более натуральные визуальные образы, в отличие от тепловых FIR-систем, и дает возможность детектировать ненагретые препятствия. Активную систему NIR применяет и компания Delphi. По мнению специалистов компании, при использовании одной CMOS-камеры могут быть выполнены многие функции — АКК, ПНУП, ночное видение, обнаружение пешеходов и другие, что позволяет экономить затраты на датчики и место на ветровом стекле.

Общим в работе лидарных АКК и систем ночного видения лежит метод активного освещения области впереди автомобиля невидимым человеческому глазу ИК освещением, а особенности и отличия в работе этих систем разъясняются далее.

Теория и принцип действия лидаров

Принцип Light Detection And Ranging абсолютно аналогичен радарному [141–147].

Лидар направляет ИК свет на цель, переданный свет частично отражается от объекта, частично рассеивается и возвращается назад, несколько изменяя свои свойства. Детектирование изменения свойств света позволяет определить свойства цели.

Акронимы устройств, работающих на оптических электромагнитных частотах, включают названия Lidar, laser radar, optical radar, ladar.

Лидарные системы АКК измеряют расстояние до автомобилей во фронте хост-автомобиля (оборудованного АКК), также используя отражение лазерных импульсов от объекта, детектирование которого теоретически возможно с применением принципов лазерной триангуляции, или time-of-flight (TOF).

Принцип TOF предполагает посылку ИК импульса короткой длительности и измерение расстояния до объекта по времени возврата импульса (рис. 64). Длительность высокоэнергетического и очень короткого светового импульса — порядка 10 нс. Короткий импульс лазерного диода, как и в случае с радаром, позволяет увеличить диапазон АКК.

Принцип TOF с использованием лазерных диодов и фотодиодов реализуется через следующие методы сканирования: 1) сплиттер луча, 2) многоугольное зеркало, 3) подвижное передающее зеркало и 4) адресуемый лазерный массив [142].

Диапазон лидарного датчика зависит также от пиковой мощности лазерного диода и других факторов: погодных условий, оптического дизайна системы, длины волны и ди-

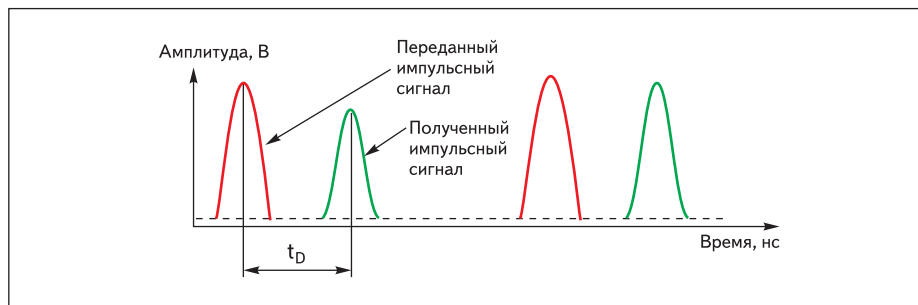


Рис. 64. Иллюстрация принципа действия импульсного лидара (измерение TOF)

вергенции лазерного луча, передающих свойств оптики и среды, отражающей способности цели и чувствительности детектора. Дизайн обязательно предполагает выбор лазерного источника по мощности и ресивера по чувствительности. Точность измерений TOF зависит от ширины импульса лазера и скорости и точности используемого АЦП.

Упрощенная лидарная система показана на рис. 65 [141].

Ключевым компонентом лидарных датчиков является высокоэнергетический лазерный диод, предназначенный для передачи инфракрасного импульса диапазона длин волн 850–950 нм. В зависимости от требований применения лазеры используют мощности от нескольких милливатт до нескольких сотен ватт. Типичный импульсный лазерный диод характеризуется пиковой мощностью порядка 10–25 Вт.

Лазерный диод сейчас представляет собой недорогое устройство, производимое в высоких объемах с использованием стандартных полупроводниковых процессов, поэтому лидарные АКК и NIR-системы ночного видения стоят меньше радарных и потребляют меньше мощности, что представляет собой важный критерий стоимости.

Технология лазерных диодов удовлетворяет строгим автомобильным требованиям: обеспечивает срок службы 10 лет при рабочей температуре $-40 \dots +85 \text{ }^\circ\text{C}$.

Ранние радары и лидары анализировали только интенсивность отраженной волны и время ее задержки. Современные системы делают то же самое, но так называемые когерентные лазерные радары, coherent laser radars (CLR), записывают информацию о фазе рассеянного излучения по отношению к опорной.

Лазерные радары могут быть, как и радары, непрерывного типа действия — continuous-wave (CW), а также импульсные, с фокусировкой, или коллимированные.

Лазерная система CW-типа с фазовым сравнением работает по принципу того, что цель отражает версию оригинального переданного сигнала, смещенного по фазе. В отличие от импульсной лазерной системы, которая передает и получает короткие лазерные импульсы, в лазерной системе CW-типа фазовый компаратор ресивера сравнивает фазу смещенного получаемого сигнала с переданным сигналом, что также позволяет вычислить расстояние до цели.

Выражение для расстояния range, приведенное далее, показывает зависимость от мощности полупроводникового импульсного лазера и атмосферных условий [141]:

$$R = \sqrt{\frac{P \times A \times T_a \times T_0}{D_s \times P_I \times B}}$$

где P — мощность лазера, A — оптическая область (линзы или зеркала), T_a — коэффи-

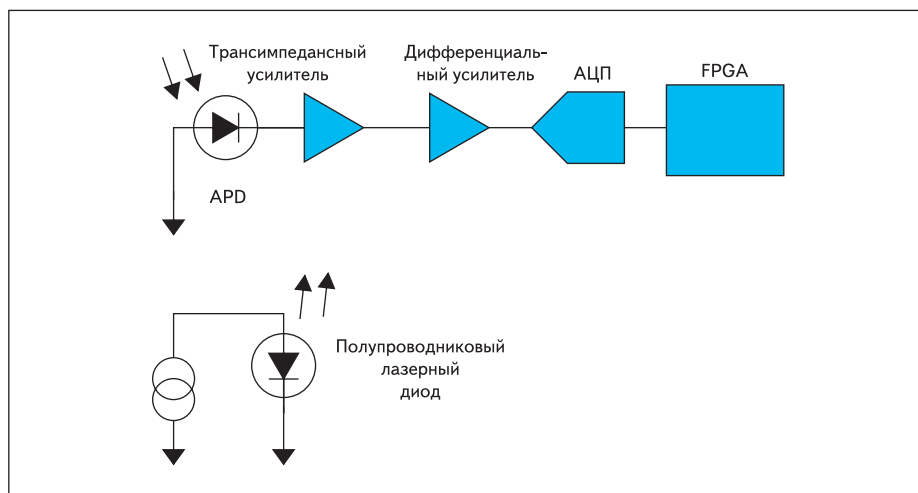


Рис. 65. Упрощенная функциональная диаграмма лидарной системы [141]

циент передачи атмосферы; T_0 — коэффициент передачи оптики; D_s — чувствительность детектора; B — дивергенция (расхождение) луча в радианах.

Для передачи импульсов используются полупроводниковые импульсные лазеры, позволяющие снизить цену и потребление мощности этими устройствами, уменьшить их размер и вес, но импульсный принцип требует особенно быстродействующих АЦП в ресиверном блоке. CW-лидары используются, когда допускается интегрирование сигнала в течение длительного периода времени и/или когда цель находится неподалеку. CW-лидары удобны также для измерений усредненных свойств пути и цели, тогда как импульсные предполагают более динамическую оценку, но фокусировка с CW-лидарами позволяет им делать более точные измерения в меньшем диапазоне расстояний.

Импульсные лазерные системы используют большие уровни мощностей в течение посылки лазерного импульса, чем постоянные уровни, поддерживаемые лидами CW-типа, что позволяет получить более высокий SNR для отраженного сигнала, получаемого ресивером. Импульсные лидары обычно выбирают для детектирования удаленных объектов, а также в том случае, когда длительное интегрирование сигнала нецелесообразно.

Для условий детектирования слабого отраженного света применяются кремниевый PIN-детектор, кремниевый туннельный диод (avalanche photodiode — APD), фотоумножитель (photomultiplier tube — PMT).

APD широко распространены в контрольно-измерительной и космической аппаратуре, так как обеспечивают высокую скорость и высокую чувствительность. Быстродействующий PIN-фотодиод или APD в ресивере получает свет и преобразует отраженный световой импульс в электрический сигнал. Устройство выводит ток, пропорциональный воздействию свету — отраженному от впереди идущего автомобиля, что в схеме обработки сигнала позволяет определить расстояние и скорость относительно данного автомобиля, осуществлять мониторинг полосы или сигнализировать различным системам о наличии тумана.

Действительно, лидарная цель может быть как твердотельной, так и представлять собой атмосферные частицы (лидары применяются и для измерения скорости ветра, обнаружения смога, тумана), свет также хорошо отражается и от маркеров полосы.

В связи с различиями в цели детектирования выделяют три основных типа лидаров [143]:

- дальнометры — лидары расстояния;
- DIAL (Differential Absorption Lidar);
- доплеровские лидары.

DIAL-лидары используются для того, чтобы измерять химические концентрации — озона, водяного пара, загрязняю-

щих частиц в атмосфере. Такие лидары используют две дифференциальных лазерных волны с различной длиной, которые выбираются таким образом, чтобы одна из них поглощалась молекулами вещества, концентрация которого измеряется, а другая игнорировалась.

Доплеровские лидары применяются для измерения скорости цели. Когда свет передается от лидара и воздействует на цель, которая движется к лидару или прочь от него, длина волны отраженного и рассеянного света будет изменяться соответственно (эффект Доплера или доплеровское смещение). Если цель движется прочь от лидара, длина волны будет увеличиваться (красное смещение), если к лидару, длина волны будет уменьшаться (голубое смещение).

Лазерные лидары, как и радары, могут быть моностатическими и бистатическими. Бистатические измерения требуют наличия двух локальных разнесенных передатчика и ресивера. Моностатический принцип предполагает наличие только одной локации и предпочтителен для научных измерений.

В схеме обработки сигнала трансимпедансный усилитель (рис. 65 [141]) преобразует ток в сигнал напряжения. Требования к трансимпедансному усилителю включают также высокий коэффициент усиления, высокий входной импеданс, ультранизкие шумы по напряжению и току, малую входную емкость, что достижимо со входной ступенью FET или MOS. Достижимы напряжения входных шумов $<1,0$ нВ/ $\sqrt{\text{Гц}}$ и токовый шум <15 фА/ $\sqrt{\text{Гц}}$. Выход трансимпедансного усилителя обычно преобразуется в дифференциальный сигнал и усиливается прежде его оцифровки АЦП.

Независимо от применения, ключевым аналоговым компонентом в системе обработки полученного сигнала является АЦП, который оцифровывает узкие импульсы, полученные от ближнего или удаленного объекта. Такие АЦП должны отличаться высокими скоростями дискретизации, широкой частотной полосой аналогового входа и малым энергопотреблением.

Переданный импульс обычно значительно ослабляется атмосферной средой, что приводит к большой разнице в силе между переданным и полученным импульсом. Объекты вблизи передатчика могут также отражать высокомошные сигналы назад к ресиверу. Это приводит к растущим требованиям динамического диапазона — порядка 100 дБ или выше — для системы ресивера. Система ресивера должна обрабатывать сигналы повышенной мощности и слабые отраженные сигналы одновременно. Требуемый динамический диапазон достигается с усилителем Variable Gain Amplifier (VGA) или Digital VGA (DVGA) до АЦП.

Для лидарных систем рекомендуются АЦП с гигагерцовой частотой выборки и допол-

нительной выборкой (oversampling), так как точность измерения диапазона достижима с частотой дискретизации АЦП.

Так как скорость света $c = 3 \times 10^8$ м/с, через АЦП с периодом тактирования в 1 нс свет пройдет 0,3 м, что означает разрешение 0,3 м/с, и достижимую точность в ± 15 см.

Не только расстояние, но и другие физические свойства цели могут быть определены — при доплеровском смещении изменение в волновых длинах отраженного светового импульса позволяет детектировать скорость. Для того чтобы измерять такое изменение в длинах волн узких импульсов, также требуются АЦП со скоростями дискретизации порядка 1 ГГц или выше.

Форма полученного импульса, которая может быть определена с дополнительной выборкой oversampling, также содержит информацию о свойствах цели. Применение oversampling дает более высокий SNR.

Для того чтобы увеличивать частоты дискретизации, АЦП часто используются синхронно. Преимущества увеличения частоты дискретизации — более тонкие по форме импульсы и достижимое разрешение, но существует проблема синхронизации потоков выходных данных АЦП. Необходима точная информация о том, какое цифровое слово на выходах АЦП соответствует дискретизированному импульсу. Для упрощения сбора данных компанией National Semiconductor, в частности, разработано семейство АЦП ADC08Dxxx.

Общие принципы работы ИК систем ночного видения

Принцип работы ИК систем ночного видения, как и лидаров, также довольно прост: дорога освещается ИК светом, который, отражаясь от препятствий, возвращается назад к детектору, что позволяет детектировать и визуализировать препятствия на HUD-дисплее. К ИК излучателям предъявляются сравнимые требования по мощности, как и к лидам, а отличия состоят в том, что вместо лазера и фотодиодного детектора требуется и излучатель, и детектор с широкой областью обзора — CCD- (предпочтительно) или CMOS-камера, на основе обычного плоского (или 3D — как на примере далее) пиксельного сканирования, вместо ранжирования в лидах.

Многие системы ночного видения базируются на использовании света фар, но, так как излучение широкополосное, включающее видимый и инфракрасный диапазон, требуется фильтр. Альтернатива — использование узкополосного светодиода, причем значительный эффект достигается от применения цифрового импульсного режима с рабочим циклом менее 10%, так же как в лидах.

Эти особенности поясняются далее на примерах технологий компаний OSRAM, Hella, Canesta и других.

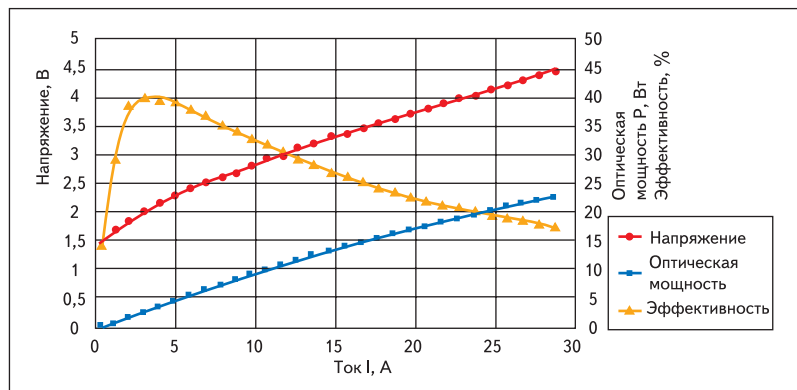


Рис. 66. Характеристики импульсного лазерного диода OSRAM на 905 нм, с шириной импульса 100 нс, при $f = 1$ кГц [142]

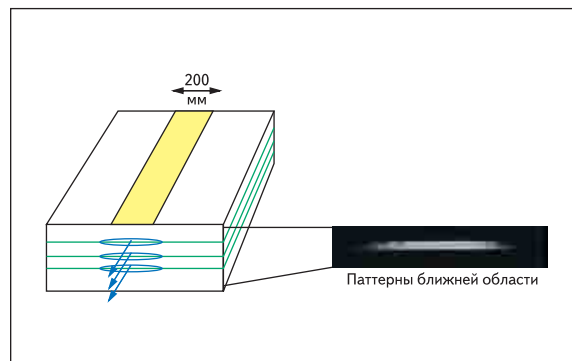


Рис. 68. Схематическая иллюстрация технологии Nanostack™ OSRAM с тремя вертикально упакованными эмиттерами с паттерном работы в дальней области справа [142]

ИК технологии OSRAM

Компания OSRAM Opto Semiconductors — мировой технологический лидер в области производства высокомощных лазеров [142].

Компания выпускает для лидарных систем АКК широкую линейку дискретных лазерных диодов, позволяющих генерировать световые импульсы короткой длительности (10–50 нс) с частотой повторения PRF в 1–20 кГц. Это дает рабочий цикл порядка 0,001–0,1%. Необходимая максимальная мощность — в диапазоне порядка 1–100 Вт со средней мощностью порядка 10 мВт.

На рис. 66 показаны характеристика мощности, вольт-амперная диодная характеристика и характеристика электрооптической эффективности лазерного диода диапазона 905 нм с максимальным выходом в 25 Вт при входном токе в 30 А. Электрооптическая эффективность (КПД) составляет порядка 20%, в зависимости от рабочей точки, давая рассеяние мощности порядка 40 мВт. Вследствие малого рассеяния мощности лазерные диоды могут быть в 5-миллиметровых пластмассовых корпусах (рис. 67).

Импульсные лазерные диоды SPL PLxx типа работают при прямой подаче токовых импульсов на анодный и катодный выводы (катод — более короткий), получение импульсов длительностью до 100 нс с уровнями тока до 75 А потребует схемы внешнего драйвера. Возможно использование двух типов драйверов: плата или закорпусированные устройства.

Достижение необходимых значений амплитуды (120 А), ширины (4–100 нс) и частоты



Рис. 67. Лазерный диод OSRAM в 5-миллиметровом полукруглом пластмассовом корпусе (SPL PLxx)

повторения токовых импульсов (до 50 кГц) — важный критерий при выборе электроники драйвера.

Более высокие оптические мощности достигаются через стекловое размещение лазерных эмиттеров. Мультиэмиттер или индивидуально адресуемые лазерные массивы также представляют собой альтернативу высокомощным лазерным диодам, применяемым вместе с вращающимися призмами.

Для того чтобы увеличить выходную мощность без изменения характеристик излучения лазерных диодов, подходящих для применений ранжирования, отдельные излучатели упаковываются поверх друг друга в стеки посредством технологии OSRAM Opto Semiconductors Nanostack. Последовательное соединение дает увеличение рабочего напряжения пропорционально числу излучателей.

В конструкции на основе технологии Nanostack индивидуальные излучатели располагаются поверх друг друга при помощи метода эпитаксиального наращивания кристаллов и соединяются посредством туннелей. Используемые материалы — InGaAs/GaAs.

Из-за малого расстояния между излучателями Nanostack эквивалентен индивидуальному излучателю для детектирования даль-

них расстояний. Схематическая конструкция Nanostack показана на рис. 68. Внешний вид диодов типа SPL PL90_3 идентичен показанному на рис. 67. В диодах реализована структура large-optical-cavity (LOC) для получения узкого дальнедействующего луча. Лазерная апертура — порядка (200×10) мкм. Дивергенция луча составляет $11^\circ \times 25^\circ$.

Характеристики импульсного лазерного диода на 905 нм с тройным эмиттером Nanostack типа SPL PL90_3 показаны на рис. 69. Пиковая 100-ваттная мощность достигается на 50 А; на 30 А пиковая мощность составляет 75 Вт, тогда как мощность одного излучателя составляет только 25 Вт (рис. 66).

Компания OSRAM Opto Semiconductors выпускает также лазерные диоды Smartlaser — со встроенной драйверной схемой для удовлетворения требований EMI систем, потребляющих очень много тока (порядка 50 А) и требующих обеспечения короткого времени передачи импульса порядка 10 нс (типа SPL LLx, рис. 70). Этот тип диодов, в частности, представлен гибридными устройствами с волновой длиной 905 нм SPL LL90 и SPL LL90_3, мощностью 25 и 70 Вт, соответственно; дивергенция луча составляет $30^\circ \times 15^\circ$.

Лазерный диод Smartlaser от OSRAM, схемотехника которого показана на рис. 71, вклю-

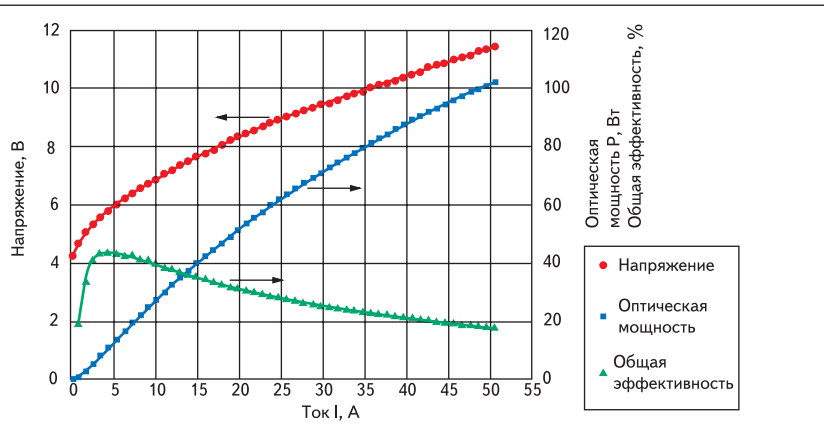


Рис. 69. Характеристики 905-нанометрового тройного импульсного лазерного диода на основе технологии Nanostack™ OSRAM с шириной импульса 100 нс, при $f = 1$ кГц [142]



Рис. 70. Лазерный диод OSRAM с интегрированной драйверной ступенью [142]

чает встроенный полевой транзистор и два конденсатора, соединенные в параллели.

Для снижения паразитного импеданса схемные пути стремятся сокращать, что реализовано в трехпроводном Smartlaser. Три провода служат для подсоединения напряжения питания/заряда конденсаторов (V_c), переключающего напряжения ($V_{trigger}$) и «земли» (GND). Переключение FET вызывает разряд запасенной в конденсаторах энергии через лазерный диод, что создает импульс короткой длительности.

Для того чтобы сохранять время переключения малым, на триггерном входе размещен драйвер MOSFET. Лазерные диоды с интегрированным драйвером для получения коротких импульсов дают возможность более точных измерений расстояния и не имеют проблем ЭМС. Максимальный ток и оптическая мощность могут контролироваться уровнем заряжающего напряжения V_c . Форма импульса и частота повторения могут контролироваться посредством входного переключающего сигнала.

Другое интересное лазерное решение для лидарных систем АКК, предлагаемое OSRAM, — это адресуемый многоканальный лазерный массив multichannel laser array (рис. 72). Лазерный массив состоит из множества одиночных излучателей, соединенных параллельно. Опции корпусирования для таких массивов предполагают возможность интегрирования оптики и электроники. Клиентские решения OSRAM с оптикой или множественными излучателями предполагают добавленную к базовым системам АКК функциональность.

Компания OSRAM выпускает не только импульсные лазерные, но и диоды CW-типа

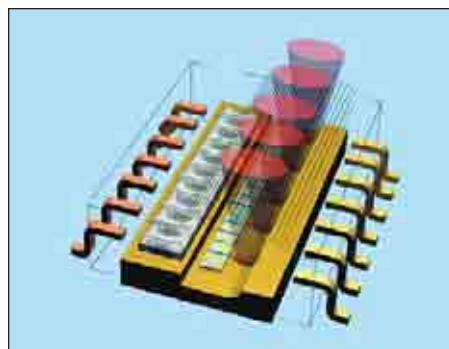


Рис. 72. Многоканальный адресуемый лазерный массив OSRAM [142].

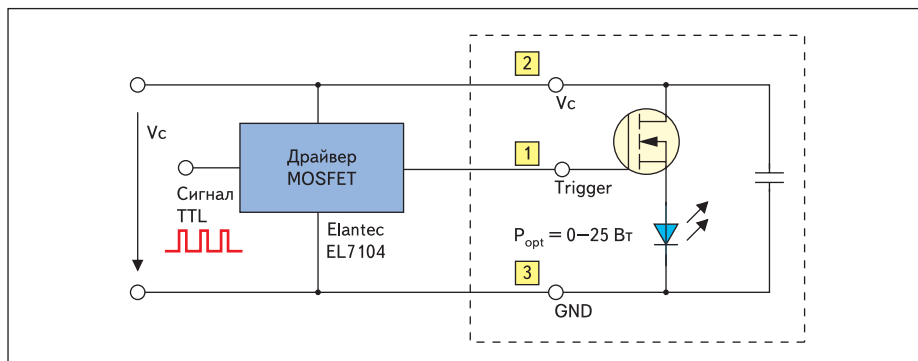


Рис. 71. Схематехника Smartlaser™ OSRAM с интегрированной драйверной ступенью [142].

с одиночным эмиттером, например, SPL CG65 (оптическая мощность 0,5 Вт), CG81-2S, CG94-2S, SPL 2Y94-2S с интегрированным термистором (2 Вт), SPL 2F81-2S, SPL 2F94-2S (1,5 Вт). Их длины волн варьируются от 650 нм (SPL CG65) до 975 нм (SPL CG98), дивергенция луча — от $40^\circ \times 8^\circ$ (SPL CG65) до $1,5^\circ \times 8^\circ$ (SPL 2Y94-2S).

Говоря о достижениях компании в области производства мощных лазерных диодов, необходимо отметить и промышленный рекорд OSRAM, который установлен лазерными баррами с волновой длиной 808 нм — компании удалось добиться 64% эффективности выхода в 120 Вт по мощности. Эти значения были измерены при комнатной температуре. (Разработчики компании OSRAM Opto Semiconductors работали вместе со специалистами DILAS в рамках исследовательского проекта BRILAS — Brilliant High-Power Laser Diodes for Industrial Applications).

Улучшения были достигнуты за счет дизайна и структуры эпитаксиальных слоев и активных методов водяного охлаждения. Эти бары являются прототипами новых диодных лазерных систем для промышленных применений. Их срок службы на 110 Вт оценивается в 20 000 часов. Коммерческая доступность устройств запланирована в 2008 году.

Лазерные вертикальные стеки на основе 20 лазерных баров, работающих в CW- или квази-CW-режимах, являются следующим расширением линейки продукции высоко-мощных полупроводниковых лазеров. Эти устройства были представлены компанией на мероприятии Photonics West в 2006 году.

Стандартные волновые длины — 808, 915, 940 или 975 нм. Стеки могут достигать выходов в киловаттном диапазоне и обеспечивать срок службы порядка 10 000 часов. Типичные применения включают твердотельные лазеры, обработку материалов, медицинский инжиниринг.

RayTools использует массивы лазерных диодов типа SIRILAS от OSRAM Opto Semiconductors. Каждый массив включает бар с 16 эмиттерами, что позволяет достичь выхода в 30 Вт. Тип SIRILAS принадлежит к группе диодных лазерных массивов со специальным теплоотводом. Лазерный бар цен-



Рис. 73. Семейство светодиодов Golden DRAGON™ с высокими рабочими характеристиками для активных систем ночного видения

трирован на специальных ребрах, обеспечивающих эффективное водяное охлаждение. Дизайн исключает возможность коррозии, защищает от пыли. Интегрированная линза обеспечивает почти параллельные лучи с вертикальным расхождением не более 1° .

Инновационное дополнение OSRAM Opto Semiconductors Inc. к линейке мощных лазеров, разработанных для автоэлектроники, включает семейство мощных инфракрасных светодиодов Golden DRAGON™ с высокими рабочими характеристиками (рис. 73). Это первые мощные устройства, коммерчески доступные в корпусах для поверхностного монтажа (SMT). OSRAM также продемонстрировала эту технологию на Photonics West в 2006 году.

IR семейство Golden DRAGON OSRAM оптимизировано для CCD- и CMOS-камер и предназначено для активных автомобильных систем ночного видения и систем охранной сигнализации.

Корпусирование IR LED Golden DRAGON с волновой длиной 850 нм выполнено с применением тонкопленочной технологии, позволяющей с использованием интегрированного рефлектора добиться высоких уровней излучения/яркости на широкой поверхности, компактного дизайна, снижения цены (до \$5 в количестве свыше 1000 шт.).

Обзор некоторых других современных ИК систем

Компания Omron Automotive Electronics разработала лидарные датчики для детектирования с высокой точностью автомобилей



Рис. 74. Лидарный датчик Omron

и пешеходов, причем датчики Omron (они продаются в Северной Америке с 2004 года) характеризуются повышенной способностью к обнаружению объектов в условиях плохой погоды.

Стандартное применение лидарной технологии — для АКК (автоматического поддержания безопасного расстояния между двумя автомобилями), но датчики Omron (рис. 23 в первой части статьи, рис. 74) обладают также функцией обнаружения пешеходов с технологией опознавания волновых паттернов (образцов). Узкий луч лазерного луча направляется вперед и, если объект находится во фронте, блок лидарных фотодиодов получает отраженный свет, преобразуя его затем в электрический сигнал. Система анализирует длины волн паттернов. И в прошлом лидарные датчики были способны получить отраженный свет, сигнализируя о присутствии пассажира, но технология Omron позволяет детектировать все объекты, как с высокой отражающей способностью — автомобили, так и с низкой отражающей способностью — пешеходов.

Новая система также предлагает дополнительные, в сравнении с обычными лазерными системами, функции:

- ширина детектирования в боковом направлении $\pm 15^\circ$;
- ASIC — для увеличения объема предоставляемой информации и снижения цены;
- размер корпуса на 30% меньше обычных лазеров — для снижения трудоемкости корпусирования;
- диапазон детектирования в вертикальном направлении $\pm 5^\circ$;
- система может быть использована с камерой, которая обеспечивает опознавание изображения.

Компания Denso тоже отдает предпочтение лидарным АКК (рис. 75). Лидарный датчик Denso с лазерным диодом Denso и вращающимся многоугольным зеркалом с различными углами наклонных поверхностей позволяет использовать 2D-тип лазерного сканирования и вычислять информацию о положении автомобиля и его угол (азимут). Горизонтальный угол сканирования — $\pm 18^\circ$, мощность лазерных диодов — 34 Вт, время



Рис. 75. Лидарный датчик Denso для систем АКК

измерений в специальной схеме Large Scale Integrated (LSI) — 0,5 нс. Диапазон детектирования с ошибкой только в несколько сантиметров составляет порядка 100 м.

Блок контроля расстояния АКК Denso (ECU), показанный на рис. 76, действует, основываясь на данных лазерного радара и датчика угла рулевого колеса, вычисляет положение и относительную скорость объекта.



Рис. 76. Блок контроля расстояния АКК Denso (ECU)

Siemens VDO также отдает предпочтение лидарам в выборе датчиков для систем АКК, так как эти устройства допускают легкую интеграцию в автомобили (позади ветрового стекла) и гарантируют снижение цены. Лидарный датчик Siemens VDO состоит из ИК эмиттеров, фотодиода-ресивера и электроники оценки сигнала в соответствии с принципом ранжирования.

Лидарный датчик Siemens VDO (рис. 77) использует пять отдельных лучей, позволяя детектировать автомобили в диапазоне до 250 м, не только в полноскоростном режиме, но и в режиме Follow&Stop, предоставляя информацию как о расстоянии до впереди идущего автомобиля, так и об его относительной скорости.



Рис. 77. Лидарный датчик систем АКК Siemens VDO

Специальная джиттер-функция позволяет захватить очертания предмета, облегчая оптимальную идентификацию полосы и распознавание объектов.

Siemens VDO разработала систему pro.pilot, представляющую собой сетевую структуру СПВ, основным компонентом которой явля-



Рис. 78. Иллюстрация работы системы pro.pilot Siemens VDO

ется лидарный модуль АКК (рис. 78). Лидарные датчики, в противоположность радарным, могут определять дождь, туман, снег, аэрозоли. В условиях плохой видимости электроника может снизить скорость и увеличить расстояние в соответствии с предпочтениями водителя.

Некоторые другие лидарные технологии от ведущих производителей этого типа датчиков — Continental, Hella, а также лазерные сканеры Alaska Ibeo обсуждались в первой части статьи.

Активные системы ночного видения ADILIS Hella

Компания Hella является ведущим разработчиком и производителем активных систем ночного видения ADILIS (Advanced Infrared Lighting System) (рис. 9, рис. 79) [152–153].

Основные компоненты активной системы ночного видения — это инфракрасные фары, камера и дисплей.

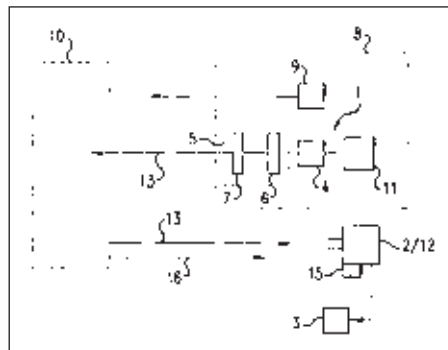


Рис. 79. Устройство активных систем ночного видения Hella [152]:

- 1 — излучающее устройство;
- 2 — устройство детектирования; 3 — дисплей;
- 4 — полупроводниковый источник излучения (IRED);
- 5 — оптический коллектор; 6 — линза Френеля;
- 7 — бифокальная линза для формирования дальнейшей фокусировки и формирования горизонтального распределения излучения;
- 8 — фара; 9 — дополнительный источник света видимого спектра; 10 — визуализируемая область освещения; 11 — блок управления;
- 12 — CCD-камера; 13 — импульсы излучения с частотой повторения 20–200 Гц;
- 15 — инфракрасный датчик для детектирования интерферирующего сигнала от встречного автомобиля;
- 16 — интерферирующий сигнал

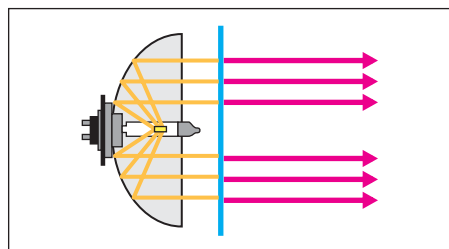


Рис. 80. Принцип получения ИК излучения от галогенового источника с фильтром [153]

Инфракрасное излучение NIR-диапазона может быть получено от галогенных источников, ИК светодиодов и инфракрасных лазеров — все перечисленные типы фар находятся в разработке.

Галогенный источник дает не только ИК излучение, но и излучение видимого спектра, которое подавляется фильтром (рис. 80). Сложность реализации этой системы объясняется тем, что чувствительность человеческого глаза в ИК диапазоне (NIR) не нулевая (рис. 81), поэтому применяются так называемые интерференционные фильтры, которые должны как регулировать появление луча, так и корректировать его цвет.

Инфракрасные фары с полупроводниковыми источниками ИК света отличаются монохроматичностью с приблизительно гауссовским распределением мощности относительно основной спектральной длины волны (коммерчески доступные устройства характеризуются длиной волны 850 нм). Возможность работы в импульсном режиме обеспечивается за счет синхронизации с временным окном экспонирования камеры. В импульсном режиме качество изображения улучшается за счет повышения SNR.

ИК диоды доступны в виде подложек, SMD-компонентов или в пластмассовых корпусах диаметром 3 или 5 мм. В техническом дизайне оптики необходимо предусматривать фокусировку лучей от одиночных источников в паттерн луча. Этот тип датчиков показан на рис. 9 в первой части статьи.

Дальнейшей альтернативой излучателей для систем ночного видения, разрабатываемых Hella, является использование импульс-

ных лазеров с более высокой плотностью частотной полосы (2 нм полуширины вместо 20 нм для ИК светодиодов). Применение оптического фильтра позволяет значительно ослабить интерференцию и повысить качество изображения, но этот тип датчиков отличается высокой ценой и необходимостью лазерной защиты. Системы активного видения должны быть задействованы только при превышении минимальной скорости, что предохраняет глаза пешеходов от длительного воздействия радиаторов.

Следующее поколение систем Hella рассчитано на детектирование как пешеходов, так и объектов. Так называемая Advanced Frontlighting System (AFS) позволяет контролировать освещение фар в зависимости от погодных условий, причем новые модули фар от Hella предполагают именно встраивание массивов светодиодов.

Следующий компонент системы ADILIS — ресивер, включающий камеру и линзу. Линза отображает сцену на датчик изображения, с апертурными углами $\pm 8,5\text{--}11^\circ$. Увеличение фокальных длин и сужение области обзора приводит к эффекту зуммирования, но с большими апертурными углами достигается лучшее отображение краев.

Hella работает над оптимизацией и других системных параметров, главными из которых являются чувствительность и динамический диапазон. Предпочтение в системах ночного видения отдается CCD-камерам ввиду их более высокой чувствительности (50 В/лк·с), но CMOS-камеры обеспечивают более высокий динамический диапазон порядка 120 дБ. Так как общее направление в автоэлектронике — уменьшение числа лишних компонентов и расширение сетевых связей, желательно использовать один многофункциональный датчик изображения трафика как в ночное, так и в дневное время, на что ориентированы будущие разработки.

Визуализированное посредством камеры изображение дороги затем отображается на HUD, разрешение которого в системе Hella составляет 360×180 пикселей. Многие стандартные TFT дисплеи обычно характеризуются разрешением 320×240 и динамическим диапазоном, редко превышающим 36 дБ, что вы-

зывает также необходимость обработки изображения прежде его отображения на дисплее.

ИК 3D-камеры Canesta

Современные и будущие применения становятся все более сложными в осуществлении, так как многочисленные признаки безопасности должны являться атрибутами одной и той же машины, что предполагает сетевую архитектуру подключения разнообразных датчиков. Причем новые применения (такие как обнаружение пешеходов, запланированное в Европе и Японии) требуют одновременного выполнения функций обнаружения (опознавания) объекта/препятствия и ранжирования. Объединение для выполнения этой задачи двух технологий, например, радаров и видеокamer с функциональностью обработки сцен — дорогостоящий и трудоемкий метод.

Так, надежные и дорогие радарные системы (впрочем, как и менее надежные и дорогие лидары и ультразвуковые датчики) не могут отличать объекты друг от друга, видеокamеры отличаются наиболее высокой чувствительностью к условиям освещения, что отражается на их цене, и не вычисляют расстояние до объекта.

Один из наиболее актуальных способов решения данной проблемы предложен компанией Canesta (www.canesta.com). Технология компании Canesta Electronic Perception Technology (EPT) обеспечивает как функции ранжирования, так и опознавание посредством недорогой системы, размещенной в одном малом корпусе (рис. 82).

Датчики изображений от Canesta по размерам, сложности, преимуществам и цене уже сейчас приблизительно эквивалентны камерам-чипам CoC по следующим параметрам: это однокристалльный дизайн, производство по обычной технологии CMOS, легкая интеграция в автомобиль. Но они более функциональны: обеспечивают 3D-считывание сцен-

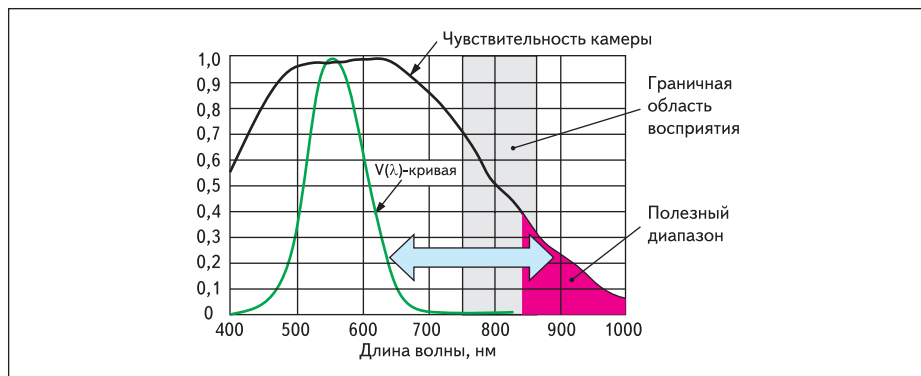


Рис. 81. Сравнение спектральной чувствительности человеческого глаза и камеры [153]



Рис. 82. Иллюстрация принципов работы 3D-камеры Canesta на основе технологии Electronic Perception Technology: 1 — невидимый источник света освещает объект; 2 — сенсорный чип измеряет расстояние, пройденное светом, до каждого пикселя датчика; 3 — уникальное встроенное программное обеспечение обработки изображений использует «карту глубины» для восприятия и идентификации объектов в реальном времени; 4 — устройство конечного пользователя адекватно реагирует

ны, причем скомбинированы — обладают способностью к обнаружению и ранжированию, что требует меньше аппаратной части и мощности при обработке изображений и дает высокую помехозащищенность системы.

В отличие от КМОП или CCD-датчиков цифровых видеокамер, которые воспринимают мир «плоско», 3D-камера Canesta измеряет расстояние с помощью импульсов инфракрасного света от лазеров или светоизлучающих диодов, освещающая область обзора, затем измеряет time of flight ИК фотонов, возвратившихся от объектов (принцип ранжирования). Сенсорный чип формирует трехмерное изображение со скоростью 30 кадров в секунду или выше, которое используется для распознавания объектов, причем с ранжированием. Технология CanestaVision™ в реальном времени воспроизводит расстояние от датчика до сцены для каждого пикселя изображения.

Получение первичных 3D-изображений требует значительно меньшей обрабатываемой мощности, чем необходимо для интерпретации изображений, полученных с помощью стереоскопических камер. Эта система использует только один сенсорный модуль, а не два, как в стереоскопическом методе.

Потенциальное использование этой технологии включает разнообразные применения активных и пассивных систем безопасности. Одна и та же 3D-информация с сетевой архитектурой может поставаться для многих применений в пределах транспортного средства, которые включают «умные» воздушные мешки, адаптивный круиз-контроль, мониторинг «мертвых зон», обнаружение пешеходов, помощь при парковке и другие. 3D-камеры Canesta могут, например, заменить датчики веса, используемые для классификации пассажиров в системах развертывания подушек безопасности, или датчики, разрабатываемые для проверки бдительности водителя, в противоугонных системах (охранной сигнализации), для идентификации ребенка или домашнего животного, оставшегося в припаркованной машине, обнаружения препятствий при закрытии дверей, окон, люков и других. Инвестиции в любое из этих применений приведут к снижению цены технологии и ее дальнейшему продвижению на автомобильный рынок.

Honda Motor Co. Ltd. (<http://www.honda.com/>), например, инвестировала в технологию Canesta более чем \$5 млн в течение трех лет.

Снижение цены может ускорить перемещение продвинутых технологий активной безопасности Canesta из машин верхнего ценового класса до среднего и недорогих автомобилей.

Технология компании EPT Canesta защищается большим числом фундаментальных патентов. Canesta получила также US патент № 6,919,549 “Method and System to Differentially Enhance Sensor Dynamic Range”, защищающий технологию SunShield, кото-

рая позволяет датчикам изображения эффективно работать при экстремальном солнечном освещении и резко изменяющихся условиях освещения.

За разработку основанной на 3D-камерах высокофункциональной и коммерчески доступной сенсорной технологии, повышающей безопасность транспортных средств, организация Frost & Sullivan присудила компании Canesta премию за 2006 год.

Руководители компании Canesta, лауреата премии года, верят в неограниченность будущих применений технологии EPT, особенно по мере включения интеллектуальных функций, расширяющих возможности автоматической обработки любой информации — как динамической классификации и наблюдения положения пассажиров, так и систем security, отличающих событие появления злоумышленника от нормальной активности оставшегося в машине ребенка.

CanestaVision™ Camera Modules — это недорогие 3D-компоненты, сконструированные для интеграции во многие системы, которые интерпретируют данные в реальном времени.

Типичный модуль включает чип Canesta Vision, линзу, источник света, ассоциируемую электронную схему. Источник света представляет собой массив светодиодов (лазерных диодов), чип детектора характеризуется разрешением 160×120 пикселей, ассоциируемая схема представляет собой процессор, адаптированный для обработки сигнала согласно применению. Одна камера в применении может замещать стереосистему, радар или лидар. Canesta дополнительно предоставляет руководство Reference Designs по применению Camera Module во встроенных системах.

Canesta в настоящем разрабатывает другие модули по заказам клиентов.

Доступен также набор разработчика CanestaVision™ Electronic Perception Development Kit (EP DevKit), который включает средства разработки приложения:

- 3D-камеру с источником ИК света;
- программное обеспечение C/C++ Software Development Kit (SDK);
- программный интерфейс Windows “EP Toolkit” GUI для контроля и визуализации работы;
- демо-приложения.

В настоящее время Canesta предлагает уже третье поколение комплектов разработчика DP300, значительно улучшенное по системному диапазону, разрешению, сбросу окружающего освещения, динамическому диапазону и размерности массива.

Заключение

Оптоэлектронные компоненты активных ИК систем, такие как лазерные диоды, светодиоды в пластмассовых корпусах, массивы и модули, являются весьма недорогими ус-

ройствами, они производятся в массовых объемах, что позволяет использовать их как основные компоненты новых активных автомобильных систем.

Лидарные системы АКК, как следует из обзора, значительно упрощают сборку и позволяют снизить цену датчиков и модулей АКК, являясь высоконадежным и недорогим решением для распространения среди систем для автомобилей среднего ценового класса. Активные системы ночного видения NIR-диапазона, возможно, проигрывают FIR-системам в дальности действия и используют дополнительный оптоэлектронный источник освещения, но ввиду более низкой цены CCD NIR детекторов выигрывают в цене.

Наконец, 3D-камеры ИК диапазона Canesta обеспечивают максимальную функциональность для мониторинга динамически изменяющихся дорожных условий, объединяя принцип ранжирования с методами пиксельного изображения. ■

Литература

141. McCormack P. LIDAR System Design for Automotive/Industrial/Military Applications. National Semiconductor Corporation, 2006.
142. Nagappan S. Adaptive Cruise Control: Laser Diodes as an Alternative to Millimeter-Wave Radars. Ward's Auto Electronics | September/October, 2005.
143. http://www.ghcc.msfc.nasa.gov/sparcle/sparcle_tutorial_clr.ht ml
144. Method for operating a pre-crash sensing system in a vehicle having a countermeasure system using stereo cameras. US Patent 7,009,500. Оpubл. March 2006. (Rao, et al., Ford Global Technologies, LLC).
145. Radar device for a vehicle. US Patent 6,831,591. Оpubл. Dec 2004. (Horibe, Omron Corporation).
146. Radar device for automobile. US Patent 6,700,529. Оpubл. March 2004. (Matsuura, Omron Corporation).
147. Vehicular radar device. US Patent 7,158,218. Оpubл. Jan 2007. (Arita, et al., Omron Corporation).
148. Roll over stability control for an automotive vehicle. US Patent 7,130,735. Оpubл. Oct 2006. (Brown, et al., Ford Global Technologies, LLC).
149. Flash lidar system. US Patent 7,135,672. Оpubл. Nov 2006. (Land, United States of America as represented by the Secretary of the Army).
150. System and method for determining a wheel departure angle for a rollover control system. US Patent 7,194,351. Оpubл. March 2007. (Lu, et al., Ford Global Technologies, LLC)/
151. Laser radar for a vehicle lateral guidance system. US Patent 5,202,742. Оpubл. April 1993. (Frank, et al., Aisin Seiki Kabushiki Kaisha)/
152. Night vision device for vehicles. US Patent 6,803,574. Оpubл. Oct 2004 (Abel, et al., Hella KG Hueck & Co.)/
153. Light — ADILIS® Night Vision System. Техническая информация Hella, Aug 2005. www.hella.com