

Уэйт Гиббз

триумф роботов



МАШИНА В ПУТИ: На перевале Пивная бутылка *Sandstorm* повернул свой «глаз» со сканирующим лазером (внутри серебристого купола), чтобы заглянуть за крутой поворот. За роботом идет машина сопровождения *DARPA*. Автономный армянский джип прошел 212 км со средней скоростью 30 км/ч, но все же один из роботов немного обогнал его.

Захватывающие гонки автомобилей-роботов «Крепкий орешек», прошедшие в 2005 году, стимулировали развитие как автоматических средств навигации и машинного зрения, так и робототехники в целом.

В наши дни человек стал самой ценной, самой сложной и самой ненадежной частью любого транспортного средства. В большинстве случаев он оказывается не только жертвой, но и причиной дорожно-транспортного происшествия. Инженерное решение проблемы очевидно: нужно заменить легко отвлекающегося и быстро утомляющегося человека неизменно внимательным и не знающим усталости роботом.

Еще в начале 1990-х гг. министерство обороны США стало финансировать научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по созданию автономных наземных транспортных средств. Однако за десять лет удалось получить лишь несколько медленных и неуклюжих опытных образцов. Поэтому в 2002 г. Пентагон поручил своему Управлению перспективных исследований и разработок (DARPA) организовать открытые соревнования с призом в \$1 млн. В феврале 2003 г. директор DARPA Энтони Тетер (Anthony J. Tether) объявил, что в марте 2004 г. в пустыне Мохаве состоятся первые гонки автомобилей без водителей на длинной дистанции, которым было присвоено название «Крепкий орешек» (*Grand Challenge*). Позапрошлой весной ни один автомобиль-робот не дошел до финиша, и DARPA назначило новые гонки на октябрь 2005 г., увеличив приз в два раза.

Организаторы не надеялись, что участники соревнований создадут робота, которого можно будет сразу запустить в массовое производство. Истинная цель мероприятия была такова: побудить инженерное сообщество заняться решением технических проблем, которые мешают создать робота, способного самостоятельно выбирать дорогу и безопасно передвигаться по незнакомой местности с большой скоростью. Результаты впечатляют: 8 октября 2005 г. пять автомобилей-роботов пересекли финишную черту

212-километровой трассы, причем четыре из них прошли ее менее чем за 10 часов, в которые должны были уложиться претенденты на получение приза.

Важнее самих гонок оказались технические новинки, разработанные гоночными командами, причем даже теми, чьи роботы не дошли до финиша или даже не были допущены к старту. Со временем эти изобретения помогут создать качественно новый класс наземных самоходных машин, способных перевозить грузы, пахать, рыть шахты, убирать грязь, исследовать далекие миры и даже вести бой без вмешательства человека.

Что поставлено на карту?

«Крепкий орешек» выявил приоритетные направления развития автомобильной робототехники. Чтобы успешно участвовать в гонке, робот должен прежде всего наметить быстрый и проходимый маршрут. Он должен уметь точно отслеживать свое местоположение и находить дорогу (если она есть), а также обнаруживать все препятствия на пути. Наконец, машина должна планировать и выполнять маневры для объезда препятствий на трассе, особенно на большой скорости и на скользкой дороге.

За два часа до начала гонки представители DARPA вручили участникам гонок описание трассы — файл с перечнем 2935 контрольных точек маршрута, разнесенных в среднем на 70 м, указаниями предельных скоростей и ширины коридора. Одни команды просто скопировали эти данные без изменений в компьютеры своих роботов, другие же с помощью специального программного обеспечения попытались быстро составить соответствующий им оптимальный маршрут.

«Красная команда» Университета Карнеги-Меллона организовала планирование маршрута по-военному. В мобильном штабе, расположившемся невдалеке от стартовой ▶

ИСПЫТАНИЕ НА ВЫНОСЛИВОСТЬ

Более 550 инженеров из семи стран и 42 штатов США собрались в августе 2004 г. в Пасадине, штат Калифорния, чтобы узнать правила гонок «Крепкий орешек». Многие из них отвлеклись от повседневных дел и вложили свои сбережения в создание автомобилей-роботов в надежде выиграть приз в \$2 млн. в октябре 2005 г. Мало кого остудили результаты первых соревнований, состоявшихся 13 марта 2004 г. Тогда лишь 13 команд вывели своих роботов на старт 230-километровой трассы, и ни один из них не смог преодолеть первый же горный перевал (см. «Роботы на старте», «ВМН», № 6, 2004 г.).

Sandstorm, сконструированный «Красной командой» из Университета Карнеги-Меллона, шел на гонках 2004 г. быстрее всех и покрыл наибольшее расстояние. Он развивал скорость до 58 км/ч, пока не застрял на двенадцатом километре при прохождении крутого поворота. И хотя *Sandstorm* не достиг тогда поставленной цели, его характеристики оказались рекордными для роботов-внедорожников и вдохновили многих специалистов по робототехнике, студентов и автомехаников-любителей.

Правила состязаний «Крепкий орешек» 2005 г. огласил программный менеджер DARPA Рон Курьянович (Ron Kurjanowicz). В гонке могло участвовать любое транспортное средство, приводимое в движение за счет сцепления колес с грунтом. Дисквалификации подлежали роботы, намеренно мешающие своим соперникам, разрушающие окружающую среду или поддерживающие какую бы то ни было связь с человеком во время заезда. Трасса, заданная перечнем контрольных GPS-точек, держалась в секрете до 4 часов утра дня проведения гонок. Претенденты на приз должны были проехать 282 км не более чем за 10 часов. На пути роботов должны были встретиться канавы, промоины, разбитые машины, проезды под путепроводами и мачты ЛЭП. Организаторы предупредили участников состязания, что утром, перед самым заездом, на трассе будет установлено несколько противотанковых ежей.



Среди множества разнообразных роботов, заявленных на гонку «Крепкий орешек» в 2005 г., было несколько экземпляров на основе военных машин, как *Spider* команды Корнеллского университета (слева). Многие участники взяли за основу пикапы и внедорожники, чтобы сосредоточиться на разработке новых программ и датчиков, таких как сканер из 64 лазеров (посередине), собранный командой DAD. Некоторые машины, например, *Тотту* команды Джефферсона (справа), были созданы с нуля.

полосы, компакт-диск от DARPA ждали 13 редакторов маршрута, три задатчика скорости, три менеджера, статистик и стратег. Как только были получены все необходимые файлы, система предварительного планирования, разработанная вместе с компанией *Science Applications International Corporation*, крупным подрядчиком министерства обороны США, начала накладывать на карту трассы изображения, взятые из базы данных объемом 1,8 Тбайт. Последняя была составлена на основе спутниковых фотографий с разрешением 1 м, аэрофотоснимков, цифровых моделей рельефа и профилей дорог, определенных по данным лазерного сканирования в ходе разведывательных поездок по

пустыне Мохаве, общая протяженность которых составила 4800 км.

Система автоматически построила предварительный вариант маршрута для двух машин команды — *Sandstorm* и *Highlander*. Компьютер применил технологию сглаживания углов, рассчитал безопасную скорость движения по рассчитанным кривым и откорректировал максимально допустимые скорости с учетом результатов многомесячных испытаний в Центре испытания автомобилей в Неваде. Затем программа разделила смоделированную трассу на участки, а менеджер распределил их между редакторами маршрута.

Анализируя изображения местности, топографические карты и

данные разведывательного сканирования, редакторы корректировали маршрут, чтобы робот мог пройти крутые повороты как опытный гонщик и держался подальше от скал и обрывов. Всем участкам маршрута вблизи узких проездов, промоин и мостов они присваивали метку «медленно», а отрезкам пути по твердому грунту и дну высохших озер — метку «прибавить скорость».

Менеджеры несколько раз перераспределяли участки маршрута, чтобы каждый из них был обследован как минимум четырьмя парами глаз. Тем временем руководители команды внимательно изучали гистограммы запланированных скоростей и оценивали время прохождения маршрута. Нахождение

САМОСТОЯТЕЛЬНЫЙ МОТОЦИКЛ



На испытаниях в пустыне робот-мотоцикл *Ghost Rider* самостоятельно проехал 32 км.

1 Стоящий мотоцикл поддерживается выдвижной опорой (а).

2 Получая сигналы микроэлектромеханических датчиков, определяющих ориентацию мотоцикла, бортовой компьютер поворачивает переднее колесо немного вправо или влево, чтобы машина сохраняла вертикальное положение и ехала по прямой (б).

3 Чтобы сделать правый поворот, робот сначала немного поворачивает переднее колесо влево, чтобы мотоцикл накренился в обратную сторону (с).

Мотоциклист вводит машину в поворот, смещая вбок вес тела и поворачивая в ту же сторону руль. Руководитель «Синей команды» из Беркли, штат Калифорния, Энтони Левандовски (Anthony Levandowski) решил, что перемещать большие массы на «беспилотном» мотоцикле слишком хлопотно, и разработал новый способ управления, основанный исключительно на поворотах переднего колеса.

4 Затем робот возвращает переднее колесо в нейтральное положение, из-за чего угол крена продолжает увеличиваться (d), и, наконец, поворачивает переднее колесо вправо, чтобы предотвратить дальнейший крен (e). В ходе поворота мотоцикл сохраняет наклон, при котором центробежная сила уравновешивает силу тяготения.

5 Чтобы выйти из поворота, робот поворачивает переднее колесо еще немного вправо (f). В результате центробежная сила увеличивается и возвращает машину в вертикальное положение.

6 Быстрый поворот переднего колеса влево (g) прекращает поворот, и мотоцикл начинает двигаться по прямой (h).

всей трассы глава команды Уильям Уиттейкер отвел роботу *Highlander* 6,3 ч, а роботу *Sandstorm* — 7,0 ч. Затем система откорректировала скорости таким образом, чтобы каждый автомобиль мог уложиться в заданное время.

Эх, дороги!

Дороги — вещь непостоянная, особенно в пустыне, и поэтому карты быстро устаревают. Но даже идеально проложенный маршрут бесполезен, если робот не способен определить, где он находится и куда ему двигаться дальше. Все роботы, участвовавшие в гонке «Крепкий орешек», были оснащены дифференциальными GPS-приемниками. Как правило, они обеспечивают определение положения с погрешностью менее 1 м, но навесы над дорогой и стенки каньонов блокируют сигнал GPS, а иногда вносят непредсказуемые искаже-

ния. Поэтому большинство команд оснастило свои машины и другими средствами отслеживания положения, в основном инерциальными навигационными системами на основе микроэлектромеханических акселерометров или оптоволоконных гироскопов. Но два участника

создали более дешевые и потенциально более точные приборы.

Старшеклассники из Пало-Вердес, штат Калифорния, решили воспользоваться принципом действия оптических мышей для персональных компьютеров. В своем роботе «Роковой багги» (*Doom Buggy*) они ▶

ОБЗОР: «КРЕПКИЙ ОРЕШЕК» 2005

■ Из двадцати трех роботов, участвовавших в гонках «Крепкий орешек» в октябре 2005 г., пройти всю трассу протяженностью 212 км смогли всего пять. Чтобы претендовать на приз в \$2 млн., робот должен был проехать от старта до финиша за 10 часов. Четыре робота одолели ее менее чем за 7,5 ч.

■ На соревнованиях было продемонстрировано множество изобретений, благодаря которым автомобили с компьютерным управлением смогли быстро проехать по незнакомой пересеченной местности. Участвовавшие в заезде роботы хорошо справились с отслеживанием своего местоположения, планированием оптимального маршрута и распознаванием дороги и препятствий.

■ Технологии, разработанные для «Крепкого орешка», найдут применение в военных, сельскохозяйственных, промышленных и пассажирских транспортных средствах. Некоторые из них уже внедряются в производство.

НЕЛЕГКИЙ ПУТЬ К СТАРТУ

28 сентября 2005 г. на внутреннем поле спидвей-трека в Фонтане, штат Калифорния, выстроились 43 автономные машины, допущенные к полуфинальным гонкам «Крепкий орешек». Каждому роботу — от 125-килограммового мотоцикла до 15-тонного военного грузовика — предстояло с четырех попыток пройти скоростную трассу длиной около 3,5 км, на которой представители DARPA разместили заборы с воротами, старые автомобили, штабеля шин и тоннель, блокирующий GPS-сигналы.

Полуфиналисты были отобраны из гораздо большей группы. DARPA приняло заявки от 195 групп, в числе которых были три школьные команды, 35 университетских и 15 финалистов «Крепкого орешка» 2004 г. В состязаниях приняли участие Массачусетский технологический институт (MIT), Стэнфордский, Корнеллский, Принстонский и Калифорнийский университеты, пропустившие соревнование в прошлый раз.

Первый отсев по техническим характеристикам и видеофильмам, демонстрирующим машины в действии, прошли только 118 команд. В мае 2005 г. представители DARPA посетили каждую из них, чтобы осмотреть машины на месте и провести три демонстрационных заезда по зигзагообразному маршруту длиной 200 м. Наблюдатели засекали время, за которое робот проходит трассу, и расставляли на ней мусорные баки, чтобы оценить его способность объезжать препятствия.

Самые успешные команды проводили четвертый заезд на более длинную дистанцию, чтобы показать «водительское искусство» роботов. В Сидар-Рапидс, штат Айова, грузовик *Oshkosh* команды *Terratax* изящно справился с замысловатыми виражами, порой проходя в нескольких сантиметрах от вешек. На заброшенном металлургическом заводе в Питтсбурге *Hummer Highlander* «Красной команды» лихо промчался по усыпанной камнями дороге со скоростью 40 км/ч, а после со снайперской точностью проскочил под железнодорожным мостом.

С первого дня квалификационных заездов стало ясно, что за последние полтора года техника сделала гигантский скачок. Одиннадцать из 43 претендентов преодолели полосу препятствий с первой попытки, а к концу испытаний ее прошли 25 роботов, причем некоторые из них разогнались до 65 км/ч. Два финалиста сильно пострадали в ходе заездов и были сняты с гонок. Оставшиеся 23 отправились в Примм, штат Невада, чтобы бороться за приз в \$2 млн.



Неудачники: *Manticore* команды Массачусетского технологического института (слева) не прошел технический осмотр. *IRV* команды *Indy Robot Racing* (посередине) загорелся на тюках сена в Фонтане. Робот *Dexter* команды *ENSCO* (справа) претендовал на приз, пока не налетел на валун на 130 км трассы.

установили яркую лампу и по световоду направили луч белого света на землю. Видеокамера, нацеленная на освещенное пятно, регистрировала движение в любом горизонтальном направлении, выполняя функции двухмерного одометра, обеспечивающего точность до миллиметра. Ребята назвали свое устройство «земляной мышью».

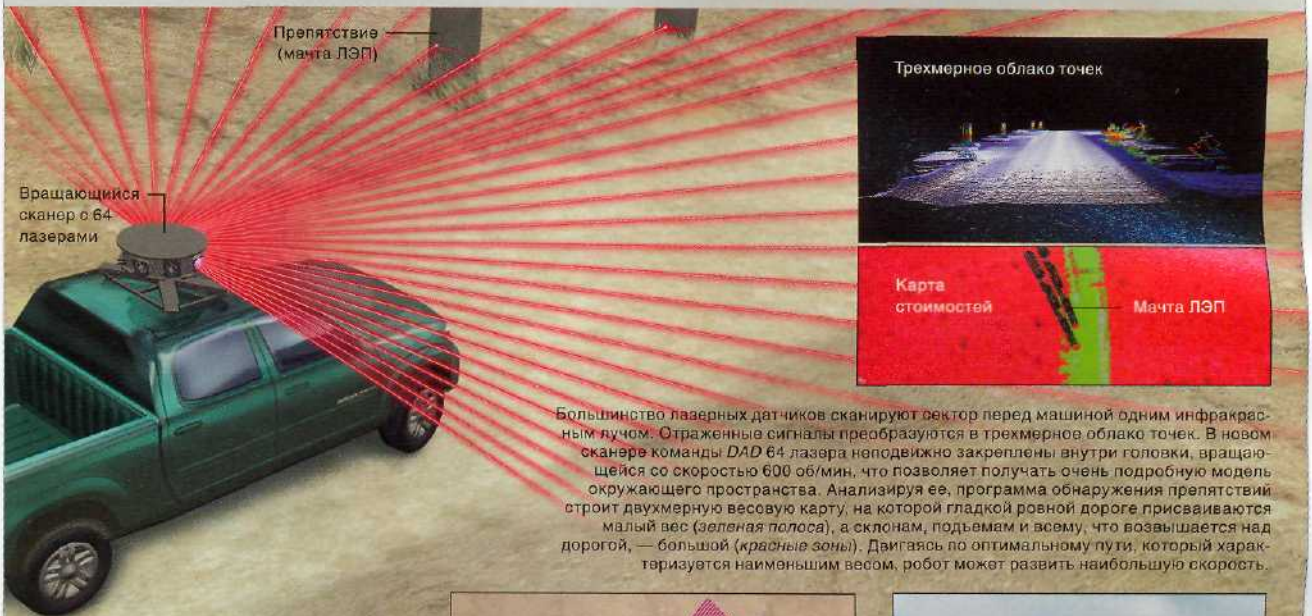
Похожий метод применила и команда *Intelligent Vehicle Safety Technologies (IVST)*, возглавляемая профессиональными инженерами из компаний *Ford*, *Honeywell*, *Delphi* и *Perceptek*. На автономный пикап был

установлен направленный на землю радар, регистрировавший доплеровские сдвиги частоты отраженного сигнала, по которым с высокой точностью рассчитывались относительные перемещения автомобиля. Когда сигналы системы *GPS* блокируются особенностями рельефа или какими-нибудь постройками, робот может обратиться к собственной навигационной системе счисления пути на основе радарного одометра.

В пустыне даже человек за рулем иногда с трудом находит путь, и нужна очень умная программа, способная определять, где, возмож-

но, лежит дорога, а где ее, возможно, нет. Опыт гонок «Крепкий орешек» показывает, что наиболее удобное для робота изображение окружающей местности получается в результате лазерного сканирования. Быстрая развертка инфракрасного (ИК) лазерного луча по полосе обзора перед машиной позволяет сканеру создавать трехмерное облако точек сцены. Однако один лазерный луч дает недостаточно качественное изображение удаленных объектов и самой дороги, поэтому обычно применяется несколько лазеров, работающих согласованно.

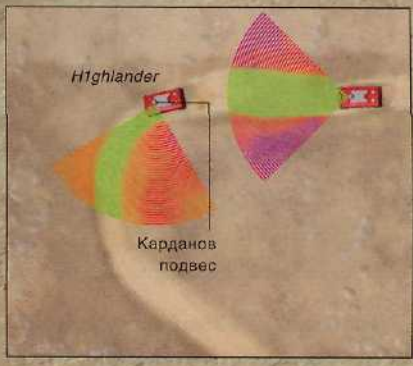
РОБОТЫ ЗАГЛЯДЫВАЮТ ЗА УГОЛ



Большинство лазерных датчиков сканируют сектор перед машиной одним инфракрасным лучом. Отраженные сигналы преобразуются в трехмерное облако точек. В новом сканере команды DAD 64 лазера неподвижно закреплены внутри головки, вращающейся со скоростью 600 об/мин, что позволяет получать очень подробную модель окружающего пространства. Анализируя ее, программа обнаружения препятствий строит двумерную весовую карту, на которой гладкой ровной дороге присваиваются малый вес (зеленая полоса), а склонам, подъемам и всему, что возвышается над дорогой, — большой (красные зоны). Двигаясь по оптимальному пути, который характеризуется наименьшим весом, робот может развить наибольшую скорость.



Лазерные сканеры роботов Highlander и Sandstorm «Красной команды» закреплены на кардановых подвесах, которые позволяют изменять углы тангажа, крена и рыскания и нацеливать луч в любом направлении.



Роботы DAD, Highlander и Sandstorm могут заранее узнать, что их ждет за крутым поворотом: DAD имеет поле зрения шириной 180°, а детища «Красной команды» способны поворачивать свои сканеры на карданных подвесах.



На неровной дороге неподвижно закрепленные лазеры трясутся, и в трехмерной картинке возникают пробелы. Карданный подвес «Красной команды» с системой стабилизации на основе оптоволоконных гироскопов смягчает тряску. В результате надежность сканирования возрастает.

JOHN KOSON (иллюстрация), JOSHUA AMHALL AND TUBERUI GALATALL, RED TEAM (трехмерное облако точек), LUCY READING, HIGHLANDER AND RED TEAM (карта стоимостей)

Увеличение количества лазеров не всегда идет роботу на пользу. На автономном джипе IRV команды Indy Robot Racing Team их было одиннадцать. Но когда юстировка нарушилась, машина наехала на стога сена, загорелась и была снята с соревнований еще на этапе квалификационных заездов. Без точной калибровки лазерные сканеры неправильно размещают изображения объектов на карте, хранящейся в бортовом компьютере, из-за чего робот может наехать на объект, который ему следовало бы обогнуть. Дэвид Холл (David Hall) из команды DAD (Морган-Хилл,

штат Калифорния) создал новый лазерный датчик, в котором проблема калибровки решается за счет использования 64 лазеров, установленных на платформе, вращающейся со скоростью 10 об/с (см. сверху). Поток получаемых данных обрабатывает система сигнальных процессоров, запрограммированных на языке ассемблера. В ходе предварительных испытаний этот датчик обнаруживал препятствия размером с человека со 150 м.

«Красная команда» применила в двух своих роботах иной, но не менее новаторский подход. На каждом

автомобиле был установлен один лазер дальнего действия на карданном подвесе, который обеспечивает три степени свободы и позволяет одному лазеру выполнять работу нескольких. Система, защищенная куполом с прозрачным окном, поворачивает лазер вверх или вниз, когда машина идет на подъем или спускается под уклон, а также влево или вправо, чтобы он оставался нацеленным на дорожку при поворотах.

Инженеры «Красной команды» оснастили каждую ось карданного подвеса оптоволоконным гироскопом, ▶

ИТАК, ПОБЕДИЛ...



Победитель *Stanley*, прошедший трассу за 6,9 часа, завоевал для команды Стэнфордского университета приз в \$2 млн. Всю трассу прошли еще четыре робота: *Sandstorm* (7,1 ч), *Highlander* (7,2 ч), *KAT-5* (7,5 ч) и *Terramax* (12,9 ч).

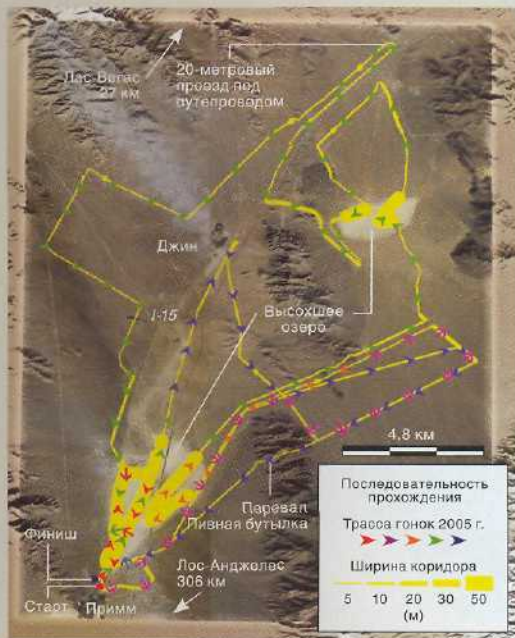
Stanley уходил все дальше от *Sandstorm*'а, который, по замыслу «Красной команды», должен был пройти трассу за 7 часов. Прекрасный темп показывал *Dexter* команды *ENSCO*, стартовавший в середине группы.

Но вот *Highlander* пересек железную дорогу и попал на холмистую местность. На середине склона одного из холмов он остановился, соскользнул назад, снова начал подъем и снова скатился. С третьей попытки робот перевалил холм, но его двигатель уже начал сдавать. *Stanley* нагнал его, и вскоре после полудня толпа болельщиков Стэнфорда и *Volkswagen*'а радостными криками приветствовала его выход в лидеры.

В 13:51 *Stanley* пересек финишную черту. Вскоре за ним финишировали *Highlander* и *Sandstorm*. *KAT-5* команды *Gray* пришел к финишу на закате, когда представители *DARPA* остановили *Terramax*. Он провел ночь в пустыне и финишировал утром следующего дня. После проверки бортовых журналов победителем гонок «Крепкий орешек» 2005 г. был признан робот *Stanley*, опередивший ближайшего соперника на 11 мин.

В четыре часа утра организаторы соревнований раздали участникам компакт-диски с описанием трассы. Первым навстречу занимающемуся рассвету выехал *Highlander*. По плану он должен был прийти к финишу в 13:00, через 6,3 ч после старта. Спустя 5 мин. в путь отправился *Stanley*, затем пошел *Sandstorm*, а за ним — остальные 20 роботов с интервалами от 5 до 10 мин.

К 8:35 пикап команды *DAD* обошел грузовик *IVST* и стал нагнать *Sandstorm*. Еще через час *Highlander* миновал пыльную бурю, в которой скорость ветра достигала 65 км/ч, и увеличил свой отрыв от *Stanley* на 7 мин. Тем временем



Трасса гонок «Крепкий орешек» начиналась и оканчивалась в Примме, штат Невада. Ее протяженность составляла 211,9 км. Гонщики ждали два длинных проезда под путепроводами, несколько железнодорожных переездов и горный перевал.

связанным цепью обратной связи с исполнительным механизмом, чтобы вся система сохраняла направление лазерного луча неизменным, как бы ни трясся робот. К началу гонок команда не успела объединить систему стабилизации с остальными системами робота. Однако фирма *Motton Zero*, созданная «Синей командой» в Беркли, штат Калифорния, и компания *HD Systems* из Хоппога, штат Нью-Йорк, уже занимаются миниатюризацией этой технологии и намерены предлагать ее для использования в искусственных спутниках Земли, военных системах и платформах для кино- и видеокамер.

Дорога в будущее

Несмотря на то что обойтись без лазеров, по-видимому, невозможно, у них есть и недостатки. Лазерные сканеры дальнего действия очень до-

роги и стоят от \$25 тыс. до \$100 тыс. Другие датчики, например, видеокамеры и радары, «видят» дальше и обходятся дешевле. С другой стороны, они выдают огромные потоки данных, которые очень трудно обрабатывать и интерпретировать. Многие команды оснастили своих роботов датчиками разных типов, но лишь некоторым удалось создать системы, способные за доли секунды объединять разнородные картины для нахождения быстрого и безопасного пути.

Пятнадцатитонный грузовик-робот *Oshkosh* команды *Terramax* смог пройти всю дистанцию благодаря новой тринокулярной системе зрения, которую разработала группа Альберто Броджи (Alberto Broggi) из Пармского университета в Италии. Для получения точного изображения местности на ближних, средних и дальних расстояниях про-

грамма выбирала одну из трех пар видеокамер. Чем больше была скорость робота, тем дальше он видел.

Ключевым преимуществом робота *Stanley* стэнфордской команды, выигравшей гонку, была система управления скоростью, основанная на анализе изображений местности, получаемых во время движения. Робот-победитель просто прибавлял газу каждый раз, когда впереди показывался протяженный участок ровной дороги (рис. стр. 47).

Некоторые перспективные новшества были применены в роботах, которые не дошли до финиша. Так, команда *IVST* в ходе испытаний в пустыне определила оптимальные сочетания датчиков своей «Пустынной черепахи» (*Desert Tortoise*) в различных режимах движения: на «стиральной доске», на дороге с твердым покрытием,

ДАЛЬШЕ ВИДИШЬ — БЫСТРЕЕ ЕДЕШЬ!

Система интеллектуального управления скоростью, которая помогла роботу *Stanley* выиграть гонки «Крепкий орешек» 2005 г., использовала лазерные сканеры и видеоканеры. Сначала робот отфильтровывал лазерные данные, чтобы установить, что перед ним лежит участок ровной горизонтальной дороги (зеленая зона). Затем программа находила соответствующий участок дороги на изображении, передаваемом видеоканерой (голубой контур), и выделяла на нем похожие области, соответствующие хорошей дороге (розовые зоны). Если они заполняли весь участок пути на 40 м вперед (оранжевая рамка), то система делала вывод, что перед роботом лежит длинный участок хорошей дороги, и сообщала бортовому компьютеру, что можно прибавить газу.

«Трехглазый» *Tegatax* (справа) строил трехмерные изображения ландшафта с помощью трех возможных пар видеоканер (показаны стрелками). Две самые близкие камеры (синяя стрелка) использовались на малой скорости и позволяли обнаруживать препятствия на расстояниях до 15 м. На большой скорости робот выбирал пару с наибольшим разнесением камер (оранжевая стрелка), чтобы видеть на расстояниях от 20 м до 50 м. Третья пара (розовая стрелка) обеспечивала золотую середину.



Изображения с бортовой видеоканеры

Строки лазерного сканирования

Видеоканера и пять лазерных сканеров



Изображения с бортовой видеоканеры

Сначала *Tegatax* с помощью двух самых разнесенных видеоканер (показано оранжевой стрелкой на снимке сверху) обнаруживал опоры путепровода. По мере снижения скорости он переключался на пары камер средней, а затем ближней зоны, чтобы удостовериться, что обнаружены все препятствия в поле зрения (врез).

в туннелях и под мостами. В пути робот выбирает подходящий режим движения и соответственно выключает одни датчики, включает другие, переназначает пороговые уровни для каждого из них. Это позволяет сохранять хорошие характеристики при переходе из одной местности в другую, загружая в программу соответствующие наборы режимов движения.

В своем роботе *IRV* команда *Indy Robot Racing Team* применила систему *plug-and-play*-датчиков, которая, вероятно, станет необходимым условием создания промышленных автомобилей-роботов. Команде из более чем ста инженеров был нужен легкий способ замены датчиков и программных модулей в ходе испытаний и усовершенствований системы. Поэтому для своего робота они разработали специальный сетевой протокол обмена.

Каждый датчик *IRV* подключается к выделенному для него компьютеру, который обрабатывает получаемые данные и определяет координаты и размеры препятствий. Затем компьютеры датчиков передают список препятствий всем другим датчикам и центральной ЭВМ, которая выбирает путь робота. Разработанный стандарт позволяет без особого труда заменять неисправные радары и совершенствовать алгоритм машинного зрения.

Пыль на гоночной трассе уже улеглась, а дальнейший путь автомобилей-роботов не ясен. Военным нужны автомобили-роботы, способные следовать в колонне за машиной с живым водителем. Уиттейкер разрабатывает роботов на колесах для сельского хозяйства и исследования планет. Наряду с руководителями других команд

он еще до начала гонок получил заманчивые предложения от инвесторов. Одним словом, что бы ни случилось, автомобилей-роботов уже не остановить! ■

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

- High Speed Navigation of Unrehearsed Terrain: Red Team Technology for Grand Challenge 2004. Chris Urmson et al. Carnegie Mellon University Technical Report CMU-RI-TR-04-37; June 2004.
- Adaptive Road Following Using Self-Supervised Learning and Reverse Optical Flow. David Lieb, Andrew Lookingbill and Sebastian Thrun in *Processing of Robotics: Science and Systems I*; June 2005. Доступно на roboticsproceedings.org
- Веб-сайты конкурса «Крепкий орешек»: www.darpa.mil/grandchallenge и grandchallenge.org