



ОБЛАСТИ ПРОРЫВНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В РОБОТОТЕХНИКЕ

АЛЬБЕРТ ЕФИМОВ

aefimov@sk.ru

Последние сорок лет основными областями применения роботов и автоматов во многом были цеха заводов и освоение космоса. Но в течение последних пяти лет мы видим всплеск интереса к робототехнике, который вполне можно назвать «эпохой возрождения». Во многом это произошло благодаря тому, что сервисные роботы, выполняющие простые функции (телеприсутствие, уборка помещения) стали намного более доступны. Каковы основные направления для прорывных исследований, создающих основания к тому, чтобы роботы стали по-настоящему помощниками человека и вошли в нашу жизнь, не создав еще один «цикл разочарования»?

Действительно ли роботы станут next big thing? По крайней мере, если судить по прогнозам аналитиков, это так. По оценкам Международной федерации робототехники, крупнейшей аналитической организации в этой области, в ближайшие два года число сервисных роботов возрастет почти до 16 млн, при этом два из трех сервисных роботов будут

выполнять работы по хозяйству. Это создаст новый рынок объемом около \$4,8 млрд¹. Другая уважаемая организация, оценивающая перспективные для исследований и разработок технологии, McKinsey Global Institute, поставила индустриальную робототехни-

ку и автономные транспортные средства на пятое и шестое места в глобальном рейтинге из 12 технологий с совокупной оценкой рынков к 2025 г. в \$10 трлн.²

Агентство перспективных программ оборонных исследований США (DARPA) уже много лет

¹ Advance of the robots. 05.04.2013. <http://www.ft.com/intl/cms/s/2/dac6c388-9179-11e2-b839-00144feabdc0.html#axzz2PrgNcdSg>

² MGI, Disruptive technologies: Advances that will transform life, business, and the global economy. http://www.mckinsey.com/insights/business_technology/disruptive_technologies

занимается военным использованием робототехники. Результаты их исследовательских программ, таких как ATLAS, Big Dog, Petman и др., впечатляют. Однако, как и пятьдесят лет назад, мы видим, что гражданское применение инноваций получает сильный импульс от военного. Пример тому компания iRobot³ — один из главных производителей специальной и военной робототехники в США (в частности, PackBot). Она является также создателем самого популярного персонального робота на сегодняшний день — пылесоса Roomba. Подобная конверсия — от военного до гражданского применения — добавляет масла в огонь, который разгорается под котлом индустрии робототехники.

Интерес бизнеса, широкой публики и государственных организаций к теме робототехники был очень заметен на прошедшей в феврале 2013 г. международной тематической конференции в Инновационном центре «Сколково». В Гиперкубе Сколково собрались практически все участники этой отрасли, чтобы послушать мировых лидеров и обменяться идеями относительно дальнейшего развития⁴.

Тем не менее, все новое, как известно, хорошо забытое старое. В случае робототехники это «старое» даже еще не успело как следует забыться: и персональные роботы, и индустриальные придумывались и создавались изобретателями на волне космической романтики и научной фантастики в 60-х годах прошлого века. Тогда многим казалось, что венец творения — робот, внешне не отличимый от человека, но превосходящий его способности многократно, — появится совсем скоро. Задумайтесь над тем, что время действия романа Филиппа Дика «Мечтают ли андроиды об электроовцах?», написанного в конце шестидесятых — это практически наше время.

Казалось, что роботы вот-вот будут рядом с нами. Однако время шло, и основным полем применения роботов оставались цеха машиностроительных заводов, космонавтика и оборона. Роботов и людей, взаимодействующих друг с другом, можно было увидеть лишь в научно- (и не всегда научно) фантастических фильмах (рис. 1).



Определение, «что такое робот», зависит от того, эксперта в какой области мы спрашиваем. Чтобы немного ограничить вопрос, обсуждаемый в настоящей статье, автор считает роботом такую техническую систему (механическую, электронную или программную), которая способна к повторяющемуся выполнению одной или нескольких функций с различной

степенью (от полной автономности до телеуправления) независимости от управления человеком.

Теперь уже мало кого есть сомнения, что рано или поздно роботы, безусловно, займут свое место рядом с человеком. Этому способствует несколько объективных факторов, среди которых можно отме-

РИС. 1. ▲
Робот Робби из к/ф
«Запретная планета»
(США, 1956 г.)

³ <http://www.irobot.com/en/us/learn/defense.aspx>

⁴ <http://community.sk.ru/press/events/contests/robotics/>



РИС. 2. ▲
 Робот Рейнджер,
 придуманный
 в Университете
 Корнелл, сумел пройти
 марафонскую дистанцию
 без подзарядки¹²

тить три основных, выделяемых большинством исследователей:

- Необходимость постоянного повышения производительности труда в условиях постоянно увеличивающейся международной конкуренции⁵.
- Повышение качества жизни людей в условиях стремительного старения населения. Это актуально и для стран с высоким уровнем жизни (например Япония, Германия), и для стран с тяжелой демографической ситуацией, подобно России⁶.
- Замена (помощь) человеку в условиях боевых действий, ЧС и т. п. Необходимо отметить, что военное применение роботов и автономных средств передвижения без сомнения еще долгие годы будет оставаться ключевым источником финансирования всех исследований в этой области⁷. А значит, и основным источником инноваций.

Скептицизм относительно использования роботов можно слышать от многих уважаемых экспертов⁸. Вообще, сомнения относительно того, будут ли роботы и вообще искусственный интеллект

действительно понимать людей в ближайшее время, имеют давнюю историю, начиная с самого начала компьютерной эры и работ Алана Тьюринга⁹.

В связи с этим уместно поставить такой вопрос: в какие области исследований следует направлять силы инноваторов и средства частных компаний и государства для того, чтобы робототехника действительно стала применяться повсеместно, а не попала в еще один цикл «забвения», как это произошло ранее? Автор, безусловно, не претендует на полноту ответа на данные вопросы, но попробует провести небольшой анализ.

Илла Реза Нурбакш, возглавляющий лабораторию городской робототехники в Институте Робототехники при Университете Карнеги Меллон (США), выделил шесть основных областей приоритетных исследований, без прорыва в которых мы не сможем обойтись и не достигнем показателей, о которых говорят упомянутые выше аналитические исследования¹⁰:

- структура и шасси роботов;
- энергооборуженность;
- электроника (сенсоры);
- программное обеспечение (облачное и бортовое);
- подключенность (connectivity);
- контроль.

Помимо этих шести ключевых направлений научного поиска, автор считает необходимым отметить еще одно, интегральное, холистическое направление прикладных исследований, которое можно назвать этикой робототехники. В этом направлении также много работы предстоит сделать, чтобы помочь человечеству адаптироваться к вхождению роботов во все аспекты нашей жизни.

СТРУКТУРА И ШАССИ РОБОТОВ

То, какая структура у робота, какой вид шасси используется для передвижения автомата, влияет на все остальные аспекты его использования, но прежде всего

на два основных. Во-первых, как долго и как быстро робот сможет передвигаться. Очевидно, что если робот имеет тяжелую конструкцию шасси, а манипуляторы очень неуклюжие, то вряд ли срок его автономной работы будет удовлетворительным для повседневного использования (рис. 2). Во-вторых, если робота предполагается использовать рядом с людьми, то восприятие робота человеком становится значительным фактором успешности его применения. В частности, «зловещая долина»¹¹ влияет на то, насколько комфортно человек будет чувствовать себя в окружении роботов. Робот не может быть лишь немного похож на человека: он должен быть или совсем не похож, или похож очень значительно, так как иначе люди будут испытывать психологический дискомфорт. Но преодоление «зловещей долины» в свою очередь снова накладывает ограничения на структуру, шасси и внешний вид устройства.

На большинстве научных или отраслевых конференциях, на которых автору довелось присутствовать, слушатели обычно задают один и тот же вопрос: «Зачем нужны человекоподобные роботы»? Ответов так же много, как и вариаций самого вопроса. Специалисты по коммерческому применению роботов могут сказать, что андроидная робототехника — бесперспективное направление, так как структура и форм-фактор робота должны определяться исключительно его утилитарностью. Однако ученые, изучающие антропоморфных роботов, часто говорят о том, что раз весь окружающий мир искусственных предметов построен человеком «под себя», то и робот, максимально похожий на нас, будет в наибольшей степени отвечать мечте о «механическом помощнике, не знающем усталости» (рис. 3). Автор полагает, что решение этой дилеммы будет идти путем, очень похожим на то, каким образом эволюционировала жизнь на нашей планете — первые организмы, вышедшие из моря, были мало похожи на нас, и их форма отвечала ровно тем серьезным испытаниям, которые ставила перед ними Природа. Со временем, роботы, безусловно, станут максимально похожи на нас. Однако до этого мы увидим

⁵ <http://italphaville.ft.com/2013/04/10/1456222/robots-china-and-demographics/>

⁶ <http://sovetunion.ru/gosudarstvo-i-vlast/demograficheskaya-propast>

⁷ <http://robotics-vo.us/sites/default/files/2013%20Robotics%20Roadmap-rs.pdf>

⁸ Пример такого скептицизма можно обнаружить в статье David Pogue из Scientific American Magazine: Technofiles: In Search of a Mind-Reading Machine; July 2013.

⁹ <http://loebner.net/Prizef/TuringArticle.html>

¹⁰ <http://mitpress.mit.edu/books/robot-futures-0>

¹¹ http://ru.wikipedia.org/wiki/Зловещая_долина

¹² http://ruina.tam.cornell.edu/research/topics/locomotion_and_robotics/ranger/ranger2011/



РИС. 3. ◀
Известный ученый в области андронидной робототехники Хироши Ишигуро и созданный им робот Геминиоид



РИС. 4. ▶
Манипулятор, созданный компанией Shadow Robot, имеет 20 степеней свободы

мир, в котором они будут больше интегрированы со многими окружающими нас вещами, представляя скорее утилитарное направление.

Еще одним из направлений, связанных со структурой и шасси роботов, является создание практичных и надежных манипуляторов. Есть много интересных разработок, идущих в этом направлении, однако ключевым здесь будет является не столько универсальность манипулятора, сколько его доступность для массового использования, в том числе экономики. По-настоящему технологическим вызовом будет создание манипулятора, имеющего степени свободы, близкие к человеческой руке¹³, но по цене менее \$1,000 (рис. 4).

Динамика роста энергоэффективности аккумуляторных батарей явно не отвечает стремительному росту вычислительной мощности. Так, за сто с небольшим лет, прошедших с момента появления первой химической батареи в 60-х годах 19 столетия (1860 г., 30 Вт·ч/кг), удельная емкость возросла лишь в два раза с появлением никель-металл-гидридных аккумуляторов (1988 г., 60 Вт·ч/кг). Через 10 лет новое поколение химических литиево-полимерных элементов позволило увеличить удельную емкость батарей

в три раза (1997 г., 180 Вт·час/кг). Однако все это не идет ни в какое сравнение с удельной емкостью двигателей внутреннего сгорания — 13 кВт·ч/кг. Иными словами, для функционирования человекоподобного робота весом в 50 кг необходимо примерно 350 Вт энергии для обеспечения работы без подзарядки

РИС. 5. ▼
Asimo, разработанный инженерами Honda, является наиболее продвинутым андронидным роботом на сегодняшний день

ЭНЕРГОВООРУЖЕННОСТЬ

Один из инженеров, создавших робота Asimo в корпорации Honda (рис. 5), признался, что поворотным пунктом в разработке технологии «внутри» этого наиболее продвинутого человекоподобного устройства было использование моторов. Как только стало понятно, как «заставить моторы» делать то, что нужно, дальнейшее было уже «делом техники»¹⁴.



¹³Человеческая рука имеет 27 степеней свободы: плечо — 3 (вниз—вверх, влево—вправо, поворот); локоть — 2 (сгиб, поворот); кисть — 2 (вниз—вверх, влево—вправо); пальцы — 2 фаланги на каждом пальце по 1 степени (2х5х1 = 10), сустав пальца — 2 степени (1х2х5 = 10). Лучшая искусственная рука на сегодняшний день, созданная британской компанией Shadow Robot, имеет 20 степеней свободы <http://www.shadowrobot.com/products/dexterous-hand/>
¹⁴ Robot Futures, Illah Reza Nourbakhsh, <http://mitpress.mit.edu/books/robot-futures-c0>



РИС. 6. ▶
Робот Big Dog, разработанный компанией Boston Dynamics¹⁵, использует двигатель внутреннего сгорания



в течение 6 ч. Это можно получить с помощью:

- 70 кг свинцово-кислотных аккумуляторов;
- 35 кг NiMH аккумуляторов;
- 12 кг качественных литиевых батарей;
- 10 столовых ложек бензина.

Именно это обстоятельство заставляет разработчиков использовать во всех автономных системах с большим временем работы двигатели внутреннего сгорания (например Big dog, рис. 6).

Решение проблемы энергооборуженности может лежать как в плоскости повышения емкости химических батарей, так и в плоскости использования нетрадиционных

источников энергии. В частности, планируется, что разрабатываемый в США по оборонной программе робот-медуза Суго будет использовать гидродинамическую энергию для поддержания автономной работы в течение многих месяцев¹⁶. Другим способом повысить энергооборуженность роботов является использование ядерной энергетики. В космонавтике это давно и успешно практикуется: Вояджер 1 и 2, питающиеся из изотопного генератора, десятилетиями шлют исследователям ценную научную информацию. Однако серьезным научным вызовом является разработка малогабаритных и безопасных для человека атомных источников питания автономных роботов.

Не стоит забывать и в таком многообещающем направлении, как топливные элементы fuel cells. Военные инженеры в США уже имеют прототипы роботов с такими инновационными батареями¹⁷.

ЭЛЕКТРОНИКА (СЕНСОРЫ)

Прогресс в микроэлектронике, следующий эмпирическому закону Мура, привел к тому, что появилось огромное количество платформ управления и сенсоров для роботов, включая Open Source

проекты, такие как Arduino. Появилось два главных технологических тренда, которые определяют то, где находится центр управления роботом: весь «интеллект» можно оставить «на борту» или его можно разместить в «облаке». От решения этого вопроса («на борту» или «в облаке») зависят вопросы стоимости, энергетики и т.д. В случае, если интеллект, когнитивные способности робота находятся «в облаке», то, по сути, вся остающаяся «на борту» электроника - это сенсоры, которые через коммуникационные сети передают информацию дальше, для обработки «в облаке». В этом случае вся электроника «на борту» — по сути, сенсоры, которые передают информацию для обработки «в облаке». Появление дешевых визуальных сенсоров типа Microsoft Kinect (рис. 7) сделало возможным перевести взаимодействие человек-машина на новый уровень. Появились приложения, позволяющие человеку научить робота выполнять что-то новое, «показывая» а не программируя. На экосистеме Microsoft Kinect возникло сразу множество приложений и подражаний, что в какой-то степени привело к мини-

РИС. 7. ▼
Использование сенсора Microsoft Kinect, интегрированного с платформой Create компании iRobot



¹⁵ <http://www.bostondynamics.com/>

¹⁶ <http://www.wired.com/dangerroom/2013/03/robot-jellyfish/>

¹⁷ <http://www1.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/pdfs/128.pdf>

революции в робототехнических исследованиях¹⁸.

Все это в какой-то степени будет делать большинство роботов сенсорными интеграционными платформами, состоящими из множества сложных сенсоров, воспринимающих визуальную и аудиоинформацию, считывающих сигналы GPS и окружающего Wi-Fi и освещения для наилучшего определения местоположения. Возможно, именно в такой интеграции сенсоров и устройств с помощью программного обеспечения и будет заключено одно из перспективных направлений исследований и коммерциализации. Ситуация во многом напоминает состояние компьютерной отрасли в 70-х годах, когда многие устройства и программы были несовместимы друг с другом, а появление открытой архитектуры IBM PC, а затем и MS-DOS во многом способствовало общему росту отрасли.

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Как было выше сказано, программное обеспечение роботов выполняет во многом интеграционную функцию между всеми составляющими автомата. Однако не только это. Прогресс в данной области во многом также связан с когнитивными способностями роботов — зрение, машинное обучение. С 2008 г. успешно развивается Open Source проект по созданию открытой операционной системы ROS. Хотя многое еще предстоит сделать в этой части, особенно для того, чтобы приблизить способности роботов к работе с предметами физического мира к способностям человека. Например, элементарная функция складывания носков, на которую у человека уходят секунды, может занимать до 30 мин у самого продвинутого робота¹⁹ PR2 (рис. 8). Ускорение и повышение качества обработки информации — вот одно из важнейших направлений исследований. Не случайно

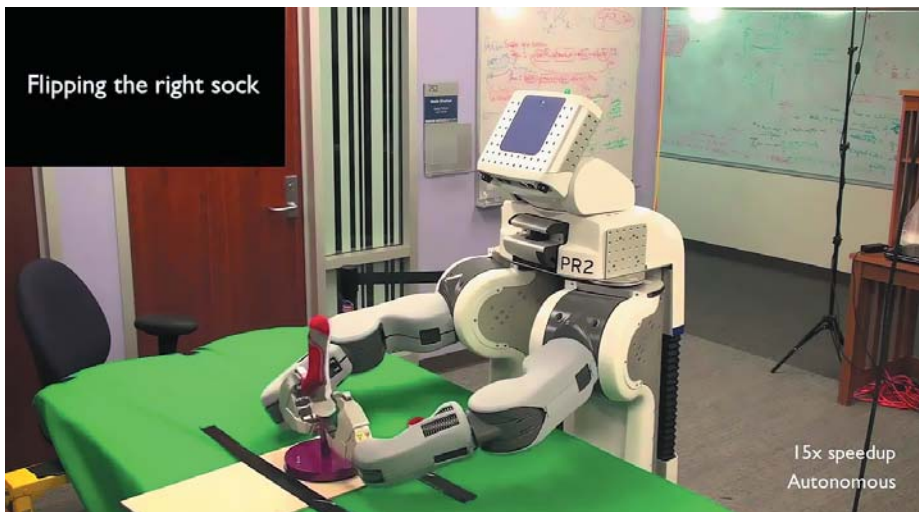


РИС. 8. ▲
Робот PR2 медленно складывает носки

проходит много робототехнических соревнований, связанных с этими функциями — от робофутбола²⁰, до приготовления завтрака²¹.

На взгляд автора, именно в отношении разработки специализированного программного обеспечения для роботов и вообще всех видов робототехнических систем есть наибольшие шансы у российских разработчиков. Программное обеспечение необходимо для развития систем компьютерного зрения и понимания роботов, навигации (в том числе и внутри помещений) и машинного обучения с помощью естественных интерфейсов. В России много таких проектов, но упомянем лишь некоторые. Системы компьютерного зрения — VisionLabs²²; навигация — Indoorgo²³; понимание естественных языков — Speereo²⁴.

ПОДКЛЮЧЕННОСТЬ (CONNECTIVITY)

Технологический стек будущего, описанный в упомянутом выше отчете MGI, является очень сильно и взаимозависанным. Робототехника в большой степени зависит от других технологий, которые по доле будущей рыночной значимости оказались выше: мобильный интернет, автоматическое понимание, «Интернет вещей» и облачные технологии. С этой точки зрения вполне уместно говорить про Интернет для роботов. Знания, доступные всему Интернету, могут быть доступны любому роботу мгновенно. Для тех, кто видел фильм «Робот и Фрэнк», очень показателен момент, когда робот спрашивает раз-

решение у Фрэнка, героя фильма, на то, чтобы обновить свою память и загрузить весь гражданский и уголовный кодекс США. Знания, размещенные в Сети, становятся доступны всем роботам: «робоинтернет» и «робогугл». Такая подключенность и доступность информации, основанной на нашем предыдущем, записанном в недрах Интернета, опыте, будет основной для десятков новых бизнесов и бизнес-моделей. Так же, как сейчас веб-сайты e-commerce собирают информацию о привычках своих посетителей, роботы будут собирать информацию о физическом мире, чтобы лучше служить своим создателям.

КОНТРОЛЬ

В робототехнике есть два полярных подхода к управлению: телеуправление и автономность. Первый означает, что робот управляется человеком, и управляющих может быть целая бригада. Например, боевым дроном Predator управляет команда из пяти человек²⁵ (рис. 9).

РИС. 9. ▼
Модуль управления боевым дроном Predator



¹⁸ http://www.nytimes.com/2012/06/03/magazine/how-kinect-spawned-a-commercial-ecosystem.html?pagewanted=all&_r=0
¹⁹ http://www.youtube.com/watch?v=uKilHPrzS_8&feature=youtu.be
²⁰ <http://www.robocup.org>
²¹ <http://mobilemanipulationchallenge.org/#task1>
²² <http://www.visionlabs.ru>
²³ <http://indoorgo.net>
²⁴ <http://www.speereo.com>
²⁵ <http://www.nytimes.com/2012/07/08/magazine/the-drone-zone.html?pagewanted=all>

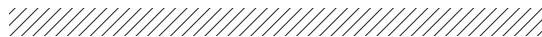


РИС. 10. ►
Кресло для инвалида,
реализующее функции
assisted robotics



Второй подход означает, что робот является полностью автономным во всех аспектах своего существования. В каком-то смысле второй подход в своей крайней форме должен быть воплощением искусственного интеллекта, делающего работу не хуже, а то и лучше человека хотя бы в одной конкретно взятой области. Если посмотреть на оба подхода с точки зрения роли человека, то она меняется от роли (теле)оператора до роли супервайзера (наблюдателя). Как обычно, истина будет где-то посередине. Становятся все более популярными исследования по adjusted control and assisted robotics, когда человек берет на себя базовые функции управления в определенные моменты времени, предоставляя машине выполнять более простые действия. Примерами такого подхода могут служить объединение полуавтономных автомобилей в группы, называемое platooning²⁶.

Другим интересным примером синтеза автономного управления и телеуправления является инвалидное кресло, разработанное учеными Imperial College of London в лаборатории Human-Robotics Interaction под руководством Яниса Демириса²⁷ (рис. 10). Особенность этого кресла в том, что пользователь может не просто задавать общее направление движения, а кресло само

разбирается как проехать. Также, это кресло «понимает», куда хочет добраться пользователь, и помогает ему туда доехать, даже если пользователь совершает ошибки, вызванные неточным управлением (дрожь в руках или недостаток мускульной силы).

ЭТИКА РОБОТОТЕХНИКИ

Это совершенно новое направление, которому ранее не уделялось значительного внимания, но которое набирает популярность как в академической среде, так и в СМИ. Основная причина заключается в том, что появление автономных роботов, представляющих потенциальную опасность для человека, сопряжено с рядом юридических и моральных коллизий. Приведем лишь несколько их примеров, которые уже циркулируют в популярной литературе:

- Автономное транспортное средство будущего пытается избежать наезда на пешехода с тележкой из супермаркета. Как в этом случае быть с ситуацией, когда рядом может оказаться детская коляска без человека? Решение, которое принял бы человек, будет совершенно не равно тому, которое примет автомат²⁸.
- Если уйти на уровень абстракции выше, то кто будет виноват

в аварии с участием автономного транспортного средства? Производитель транспортного средства? Но это противоречит существующим правилам дорожного движения, когда вся ответственность лежит людях — участниках дорожного движения.

- Много споров вызывает использование боевых дронов и других роботов. Солдат может принимать моральные решения, но робот запрограммирован только на конкретные ситуации. Как быть, когда автономная система получит возможность совершить убийство? Кто будет отвечать за возможную ошибку применения? Ведь нет очевидного лица, принявшего ошибочное решение²⁹.
- Можно ли роботу-няншке настаивать на том, чтобы пациент, о котором он заботится, принял лекарство? В какой момент робот должен настаивать на этом больше, чем раньше?³⁰

* * *

Прогресс робототехники не останавливать, нет магической кнопки, с помощью которой можно нажать «стоп» и откатить все назад. Именно поэтому всем исследователям, изобретателям и бизнесменам, устремившимся в «окно возможностей», созданное в робототехнике, следует внимательно рассчитывать возможные последствия всех идей, которые они рассчитывают воплотить в жизнь.

Отметим, что, хотя в России и ведутся интенсивные и интересные исследования по всем упомянутым аспектам робототехники, нам предстоит много сделать для того, чтобы быть наравне с другими развитыми странами в этой области. Этому способствуют многие организации у нас в стране, в том числе и инновационный центр «Сколково», который является организатором конкурса Russian Robotics Challenge³¹. Но делать надо больше. «Надо очень быстро бежать, чтобы остаться на месте, — говорила Черная Королева Алисе. Но если хочешь куда-то попасть, то надо бежать в два раза быстрее». ●

Данная статья основана на докладе автора, прозвучавшем на конференции AINL в Санкт-Петербурге 18 мая 2013 г.

²⁶ [http://en.wikipedia.org/wiki/Platoon_\(automobile\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Platoon_(automobile))

²⁷ <http://www.is.ee.ic.ac.uk/yianis/webcontent/Publications.html>

²⁸ <http://www.newyorker.com/online/blogs/newsdesk/2012/11/google-driverless-car-morality.html>

²⁹ <http://atwar.blogs.nytimes.com/2013/06/17/how-cyberwarfare-and-drones-have-revolutionized-warfare/?src=recpb> <http://www.nytimes.com/2010/06/03/world/03drones.html?pagewanted=all>

³⁰ Robot Be Good // Scientific American Magazine, by Michael Anderson, Susan Leigh Anderson. 2010.

³¹ <http://community.sk.ru/press/events/contests/robotics/>