…Since(синс) the late 1980s (найнтин эйтинс), there (там) has been a profound(профаунд-глубокий) change in the way we approach(эпроч-подход) the design of intelligent robots, which(который) is often(часто) characterized as ‘biological inspiration(вдохновлением-озорением)’, or just bio-inspired robotics. But this change goes(идут) much deeper(глубже) than(чем) just inspiration; we only need to think (нужно вспомнить) of Leonardo da Vinci to realize that designers and engineers have been inspired by nature for centuries (сенчуриз- столетиями). In intelligent robotics, bio-inspired means two things.

First, it means root-and-branch (коренным образом снизу до верху, всесторонне) revision of the way we approach (эпроач-подход) robot design, no longer treating(тритинг - лечение) it as an exercise(эксерсайз-упражнение) in pure engineering but instead as a multidisciplinary endeavour overlapping with the life sciences. Intelligent robotics research very often (часто) now encompasses(включает) biochemistry, biology, neuroscience, and animal ethology.

После окончания 1980-х годов (здесь) произошли глубокие изменения в том, как мы подходим к проектированию интеллектуальных роботов, которые часто называют «биологическим озорением» или просто биовдохновлённой робототехникой. Но это изменение гораздо глубже, чем просто вдохновение; достаточно вспомнить Леонардо да Винчи, чтобы понять, что дизайнеры и инженеры веками вдохновлялись природой. В интеллектуальной робототехнике биоинспирация означает две вещи.

Во-первых, это означает коренной пересмотр того, как мы подходим к конструированию роботов, и рассматривать его больше не как чисто инженерное упражнение, а как междисциплинарное усилие, пересекающееся с науками о жизни. Исследования в области интеллектуальной робототехники сейчас очень часто охватывают биохимию, биологию, неврологию и этологию животных.

Second, robots are not just inspired (инспаед- вдохновленный) by nature (нейча) but are instead(вместо) directly(напрямую) modelled on, or in some cases are models of, designs or systems found in nature. The latter are known as biomimetic robots. This means(означает) that we should(должны) no longer think of robots as simply machines to do a job, but—in some very limited sense(смысле)—models of living systems. Artificial animals, perhaps. In fact, a new discipline has grown up that is known as Artificial Life, or just *Alife*, that makes use of either computer simulation or real, physical robots to model living systems or processes.

Во-вторых, роботы не просто вдохновлены природой, а напрямую смоделированы или, в некоторых случаях, являются моделями конструкций или систем, найденных в природе. Последние известны как биомиметические роботы. Это означает, что мы больше не должны думать о роботах просто как о машинах для выполнения работы, а — в очень ограниченном смысле — о моделях живых систем. Возможно, искусственные животные. Фактически, возникла новая дисциплина, известная как «Искусственная жизнь» или просто «Живая жизнь», которая использует либо компьютерное моделирование, либо реальных физических роботов для моделирования живых систем или процессов.

**How to build an autonomous robot**

Take two very simple low-power motors, with wheels, and mount them on either(айта- любой) side of a small robot chassis. Then take two low-cost solar panels and place one solar panel on each side of the robot so that they look very much like wings. Then connect (wire) the output of the left-hand solar panel to the right-hand motor, and vice versa. Robotics engineer Chris Bytheway built such a robot.

Как построить автономный робот,

возьмите два очень простых мотора с низким энергопотреблением с колесами и смонтируете их по обе стороны от небольшого робота шасси. Затем возьмите две недорогими солнечными панелями и поместите одну солнечную панель на каждую сторону робота, чтобы они выглядели очень похожи на крылья. Затем подключите (провод) вывод левой панели солнечной панели на правый мотор и наоборот. Инженер робототехника Крис Битэй построил такой робот.

Called Solarbot, this little robot behaves in the following way. A strong light that shines with equal intensity on both of the robot’s wings will power both motors, more or less equally, and the robot will drive forward, toward the light source. If, on the other hand, the right-hand wing is in darkness but the left-hand wing is illuminated, then only the right-hand motor will have power; the left-hand motor will be stopped and the robot will therefore turn to its left—as if it were trying to get into the light. The opposite situation—left wing in darkness and right wing illuminated—will cause the robot to turn to its right. As a result, the robot is able to find its way through a simple obstacle course, toward the light. Solarbot is said to demonstrate positive phototaxis and a simple kind of obstacle avoidance.

. Называется Solarbot, этот маленький робот ведет себя следующим образом. Сильный свет, который сияет равной интенсивностью на обоих крыльях робота, сидит как двигателями, более или менее одинаково, и робот будет двигаться вперед, к источнику света. Если, с другой стороны, правое крыло в темноте, но левое крыло освещено, тогда только правый двигатель будет иметь мощность; Левый двигатель будет остановлен, и поэтому робот будет обращаться к слева, как если бы он пытался попасть в свет. Противоположная ситуация левая крыла в темноте и правом крыле освещена – приведет к поводу робота обратиться к своему праву. В результате робот может найти свой путь через простую препятствие, к свету. Говорят, что Solarbot демонстрирует положительную фототаксис и простой вид предотвращения препятствий.

Solarbot also orients itself toward(в направлении) the light if it’s not directly facing(лицевой) it. Solarbot provides us with a remarkable(замечательный) illustration that simple, apparently(вероятно) purposeful(целенаправленный) behaviours(поведение) require no computational machinery at all. Solarbot is an example of what roboticists refer(относится) to as a Braitenberg machine.

Solarbot также ориентируется на свет, если он не стоит прямо на него. Solarbot предоставляет нам замечательную иллюстрацию, что простое, по-видимому, целенаправленное поведение требует никаких вычислительных машин вообще. Solarbot является примером того, что роботики относятся к машине Бритенберга.

In his 1984 (найтиин эйти-фо) book, *Vehicles*, Braitenberg showed, with a wonderful set of thought (мысль) experiments, that just cross-connecting sensors and actuators in the way I have outlined here could achieve simple reflexive behaviours(поведение) of surprising(удивительный) sophistication(изысканность). What Solarbot also illustrates is that a simple robot without (in a sense) a brain can show interesting and useful behaviour while at the same time illustrating that the behaviours are a property of the interaction between a robot and its working environment.

В своей книге 1984 года «Транспортные средства» Брайтенберг показал с помощью замечательного набора мысленных экспериментов, что просто перекрестное соединение датчиков и исполнительных механизмов способом, который я описал здесь, может привести к простому рефлексивному поведению удивительной сложности. Что Solarbot также иллюстрирует, так это то, что простой робот без (в некотором смысле) мозга может демонстрировать интересное и полезное поведение, в то же время показывая, что поведение является свойством взаимодействия между роботом и его рабочей средой.

The robot’s behaviours are said to be an *emergent(возникший)* property of those interactions. Furthermore, the complexity of those behaviours is linked to the complexity of the environment. So Solarbot in a dark room does nothing at all. In an empty room with a single light source but no obstacles, the robot’s behaviour is marginally more interesting: it will simply go toward the light source until it crashes into it (fruitlessly then continuing to ‘feed’ on the solar energy and drive its motors forward forever). Only with a set of obstacles that create patches of shadow do we see Solarbot’s full repertoire of behaviours.

Говорят, что поведение робота является эмерджентным свойством этих взаимодействий. Кроме того, сложность такого поведения связана со сложностью окружающей среды. Так что Solarbot в темной комнате вообще ничего не делает. В пустой комнате с одним источником света, но без препятствий, поведение робота немного интереснее: он просто будет идти к источнику света, пока не врежется в него (безрезультатно, затем продолжая «питаться» солнечной энергией и приводя в действие свои двигатели). вперед навсегда). Только с набором препятствий, которые создают участки тени, мы видим полный репертуар поведения Солнечного робота.

Solarbot also shows us that an *autonomous(отономас)* robot doesn’t have to be complicated(сложный). In fact, counterintuitively(антилогично), autonomous robots are often simpler than tele-operated robots (imagine how much more complicated Solarbot’s control systems and electronics would need to be for you to be able (способный) to steer it through the maze by radio control). The realization that the behaviour of an autonomous robot is an emergent property of its interactions with the world has important and far-reaching consequences for the way we design autonomous robots.

Solarbot также показывает нам, что автономный робот не должен быть сложным. На самом деле, вопреки интуиции, автономные роботы часто проще, чем роботы с телеуправлением (представьте, насколько сложнее должны быть системы управления и электроника Solarbot, чтобы вы могли провести его через лабиринт с помощью радиоуправления). Осознание того, что поведение автономного робота является эмерджентным свойством его взаимодействия с миром, имеет важные и далеко идущие последствия для того, как мы проектируем автономных роботов.



*Fig. 8. The robot–world feedback loop*

Figure 8 illustrates what roboticists (роботисис) call the outer control loop, for autonomous robots. The loop is said to be: ‘closed through the robot’s working environment’. What this means is that the robot senses its environment, and the values received by its sensors in some way result in new motor outputs (directly(напрямую) in Solarbot’s case). The robot then moves (all or part of itself), and—in all likelihood(лайкихоуд - вероятность)—as a result of those(который) moves, the robot’s sensors will receive different values. Those new sensor values will perhaps generate different behaviours, which in turn cause the robot to move, and so on. In this way the sense–act loop of the robot is closed. What does this mean for roboticists?

Рисунок 8 иллюстрирует то, что робототехники называют внешним контуром управления для автономных роботов. Цикл, как говорят, является «замкнута в рабочей среде робота». Это означает, что робот ощущает свое окружение, и значения, полученные его датчиками, каким-то образом приводят к новым выходным характеристикам двигателя (непосредственно в случае Solarbot). Затем робот движется (весь или часть себя), и, по всей вероятности, в результате этих движений датчики робота будут получать разные значения. Эти новые значения датчика, возможно, будут генерировать другое поведение, которое, в свою очередь, заставит робота двигаться и так далее. Таким образом замыкается петля чувств-действий робота. Что это значит для робототехников?

Well, first, when we design robots, and especially(эспешелли-- особенно) when we come to decide(приходим к решению) what behaviours(behaviours) to programme the robot’s AI with, we cannot think about the robot on its own. We must take into account every detail of the robot’s working environment. If that environment is simple, in the sense that the designer can measure or (установить) specify more or less everything(всего) that the robot will encounter(сталкиваться) and interact with (and how those(те) objects themselves(земселвс-- самих себя) will behave(вести себя)), then the job of designing the robot and its behaviours may not be too challenging(вызывающий).

Ну, во-первых, когда мы проектируем роботов, и особенно когда мы решаем, какое поведение запрограммировать для ИИ робота, мы не можем думать о роботе как таковом. Мы должны учитывать каждую деталь рабочей среды робота. Если эта среда проста в том смысле, что разработчик может измерить или указать более или менее все, с чем робот столкнется и с чем будет взаимодействовать (и как будут вести себя эти объекты), то работа по проектированию робота и его поведения может не выполняться. быть слишком сложным.

If, on the other hand(с другой стороны), the environment in which(которой) the robot has to operate is unknown (like the surface(поверхность) of an unexplored(неисследованный) planet), or known but unpredictable(непредсказуемый), then(даллее) it becomes(становится) not just difficult but impossible to predict(прогнозировать) every possible situation the robot might find itself in, and therefore design for all of those eventualities. The latter case, *known but unpredictable*, covers, of course, pretty(хорошенький) much every human environment in which we might need robots: human living, play, and work spaces, including roads and outdoor urban spaces.

Если, с другой стороны, среда, в которой должен работать робот, неизвестна (например, поверхность неизведанной планеты) или известна, но непредсказуема, то становится не просто трудно, а невозможно предсказать каждую возможную ситуацию, в которой может оказаться робот. себя, и, следовательно, дизайн для всех этих возможностей. Последний случай, известный, но непредсказуемый, охватывает, конечно, практически любую человеческую среду, в которой нам могут понадобиться роботы: человеческие жилые, игровые и рабочие пространства, включая дороги и открытые городские пространства.

Second, it makes it difficult to test an autonomous robot, and especially(особенно) to prove(доказывать) that it will always(всегда) behave(вести себя) as expected(ожидаемый) (remember, those(которые) behaviours(поведение) are emergent(возникший) properties of robot-working environment interaction). When you place even(даже) a simple robot with completely(комплитли--полностью) determined(определенный) behaviours (like Solarbot) in an unpredictable(непредсказуемый) environment, then it becomes impossible to predict exactly what the robot will do. This is not a problem for lab robots like Solarbot, but if the robot is required to work, for instance(пример) with humans, then proving (and certifying) that the robot will always be safe becomes a very significant challenge.

Во-вторых, это затрудняет тестирование автономного робота и особенно доказательство того, что он всегда будет вести себя так, как ожидается (помните, что такое поведение является эмерджентным свойством взаимодействия робота с рабочей средой). Когда вы помещаете даже простого робота с полностью определенным поведением (например, Solarbot) в непредсказуемую среду, становится невозможно точно предсказать, что робот будет делать. Это не проблема для лабораторных роботов, таких как Solarbot, но если робот должен работать, например, с людьми, то доказательство (и сертификация), что робот всегда будет в безопасности, становится очень серьезной проблемой.

Autonomous robots in unpredictable(непредсказуемый) (especially(особенно) human) working environments are, of course, still(все еще) a new and emerging(возникающий) technology, but it may be that new approaches to design and certification are needed — approaches(подходы) that perhaps(техапс - возможно) depart radically from traditional engineering practice in which everything is precisely specified, designed, and tested. The natural world (мир природы) is a complex(сложный) place and most(наибольший) simple animals make a living(живущий) without being 100 per cent aware of everything that’s going on around them, or having behavioural responses for every possible eventuality. A bio-inspired(вдохновленный) approach(подход) would suggest that autonomous robots are designed to be good enough, and safe enough, to do the job required of them, but no more.

Автономные роботы в непредсказуемых (особенно человеческих) условиях работы — это, конечно, все еще новая и появляющаяся технология, но, возможно, нужны новые подходы к проектированию и сертификации — подходы, которые, возможно, радикально отличаются от традиционной инженерной практики, в которой все точно определены, спроектированы и испытаны. Мир природы — сложное место, и большинство простых животных зарабатывают на жизнь, не зная на 100% обо всем, что происходит вокруг них, и не имея поведенческих реакций на все возможные случайности. Биологический подход предполагает, что автономные роботы спроектированы так, чтобы быть достаточно хорошими и достаточно безопасными, чтобы выполнять требуемую от них работу, но не более того.