

Ученые создали механический сенсор, который позволяет роботам чувствовать прикосновения без электроники



Дата публикации: 13.07.2026

Одной из главных задач современной робототехники остается создание машин, способных чувствовать окружающую среду так же естественно, как это делают живые организмы. Особенно актуально это для мягких роботов, изготовленных из гибких материалов, которые должны безопасно взаимодействовать с человеком, работать внутри организма или выполнять задачи в экстремальных условиях. Однако большинство подобных систем по-прежнему зависят от сложной электроники, которая увеличивает вес устройств, усложняет их конструкцию и ограничивает надежность.

Исследователи из Национального университета Сингапура предложили принципиально иной подход. Они разработали механический сенсор нового поколения, который способен воспринимать прикосновения и сразу преобразовывать их в действие без микропроцессоров, электронных схем и внешнего источника питания. Работа опубликована в журнале *Science Advances* и демонстрирует возможность создания полностью механической системы

«ощущение — реакция», напоминающей простейшие рефлексy живых организмов.

Авторы считают, что подобная технология может стать новым этапом развития мягкой робототехники. Исключение сложной электроники позволит создавать более легкие, дешевые и надежные устройства, способные работать там, где традиционные электронные компоненты быстро выходят из строя: под водой, при высоком давлении, повышенной температуре или сильных электромагнитных помехах.

Современные мягкие роботы обычно работают по сложной схеме. Сначала электронный датчик фиксирует прикосновение или давление, затем информация передается в процессор, который анализирует сигнал и отправляет команду исполнительному механизму. Несмотря на высокую эффективность, подобная архитектура требует большого количества компонентов, проводов, вычислений и постоянного источника питания.

Новая разработка устраняет практически всю эту цепочку. Созданный учеными сенсор получил название ME-SOFS (Mechanical Soft Force Sensor). Вместо электрических сигналов он использует движение жидкости внутри собственной конструкции, превращая механическое воздействие непосредственно в физическое действие.

Основой сенсора стала мягкая пористая структура, изготовленная методом трехмерной печати. Внутри нее расположена центральная опора, окруженная пятью заполненными жидкостью камерами. Четыре из них находятся по горизонтали, а одна — по вертикали.

Когда к сенсору прикладывается сила, центральная опора отклоняется в соответствующем направлении и сжимает одну или несколько камер. Жидкость начинает перемещаться по гибким каналам и сразу приводит в действие исполнительный механизм. Таким образом, прикосновение практически мгновенно превращается в движение без каких-либо вычислений.

Конструкция позволяет одновременно определять направление и величину приложенной силы. Сенсор способен различать воздействия по трем осям — вертикальной, продольной и боковой, что значительно расширяет его возможности по сравнению с простыми механическими датчиками.

Хотя система способна работать полностью без электроники, исследователи предусмотрели возможность регистрации измерений. Для этого внутри конструкции используются небольшие магниты, которые перемещаются вместе с жидкостью мимо металлических элементов, напечатанных на 3D-принтере. Возникающий при этом изменяющийся магнитный поток индуцирует короткие

электрические импульсы по тому же принципу, что и велосипедный динамо-генератор.

Такой подход позволяет получать измеряемый сигнал без применения активных электронных компонентов и дополнительного питания. Количество возникающих импульсов напрямую связано с величиной приложенной силы.

Еще одним преимуществом разработки стала возможность программирования чувствительности еще на этапе проектирования. Изменяя геометрию внутренних каналов, толщину перегородок, размеры отверстий и угол расположения центральной опоры, инженеры могут заранее настраивать сенсор под конкретную задачу без изменения принципа его работы.

Чтобы продемонстрировать практические возможности технологии, исследователи интегрировали сенсор сразу в несколько экспериментальных устройств.

Одним из наиболее впечатляющих примеров стала мягкая роботизированная перчатка. На каждом кончике пальца разместили миниатюрный датчик размером примерно с зеленую горошину. Вся конструкция была напечатана за один цикл на 3D-принтере без последующей ручной сборки.

Во время испытаний перчатка определяла силу захвата каждого пальца и даже позволяла оценивать массу удерживаемых предметов. Подобные технологии могут найти применение в интеллектуальных протезах нового поколения, экзоскелетах и системах взаимодействия человека с роботами.

Не менее интересным оказался эксперимент с тактильной обратной связью. Сенсор подключили к мягкой подушечке, надеваемой на палец оператора. Когда роботизированная рука захватывала предмет, давление жидкости передавалось обратно человеку, создавая ощущение силы захвата.

Во время испытаний оператор управлял роботом с закрытыми глазами, ориентируясь исключительно на тактильные ощущения. Система позволяла уверенно удерживать самые разные объекты — от хрупкого куриного яйца до деревянных брусков и бутылки с водой, не повреждая их.

Кроме управления в режиме реального времени, технология оказалась полезной и для обучения искусственного интеллекта. Все сигналы, возникавшие при успешном захвате предметов, записывались, после чего робот мог самостоятельно воспроизводить аналогичные движения без участия человека.

Авторы считают, что подобный принцип способен значительно ускорить обучение роботизированных систем выполнению сложных манипуляций, где

особенно важны точность и аккуратность.

Еще одной демонстрацией возможностей ME-SOFS стало управление микропотоками жидкости. Сенсор напрямую регулировал работу миниатюрного гидравлического контроллера без использования программного обеспечения и электронных блоков управления. Подобные решения могут использоваться в портативных медицинских лабораториях, системах экспресс-диагностики и устройствах доставки лекарственных препаратов.

Исследователи также испытали сенсор в составе гибких конструкций, напоминающих чувствительные волоски животных. Под действием внешней силы они изгибались в различных направлениях, демонстрируя способность воспринимать сложные механические воздействия.

Особое внимание разработчики уделили надежности устройства. Во время испытаний сенсор сохранял работоспособность в воде температурой около 90 °C и выдерживал давление, соответствующее глубине примерно 11 метров. Благодаря отсутствию электронной начинки система практически не чувствительна к электромагнитным помехам, которые способны нарушить работу обычных датчиков.

Еще одной особенностью конструкции стала способность автоматически компенсировать влияние окружающего давления. Благодаря открытым жидкостным каналам сенсор реагирует только на приложенную механическую силу, практически игнорируя изменения внешней среды.

Потенциальные области применения новой технологии: мягкая робототехника, хирургические роботы, интеллектуальные протезы, экзоскелеты, системы тактильной обратной связи, обучение искусственного интеллекта, портативная медицинская диагностика, микрофлюидные устройства, спасательная техника, глубоководные аппараты, промышленная автоматизация и роботизированный уход за пожилыми людьми.

По мнению авторов исследования, дальнейшее развитие технологии связано с миниатюризацией сенсора и расширением диапазона воспринимаемых нагрузок. В перспективе подобные механические системы смогут стать частью самого корпуса робота, формируя своеобразный «механический интеллект», при котором реакция возникает непосредственно благодаря конструкции устройства, а не за счет сложных вычислений.

Подобный принцип давно существует в природе. Многие живые организмы способны реагировать на внешние воздействия практически мгновенно благодаря особенностям строения тканей, не задействуя сложную обработку сигналов. Новая разработка показывает, что подобный подход может быть

успешно реализован и в инженерных системах.

Если технология получит дальнейшее развитие, мягкие роботы смогут стать значительно проще, надежнее и безопаснее. Они будут быстрее реагировать на прикосновения, точнее взаимодействовать с людьми и выполнять сложные задачи в условиях, где традиционная электроника оказывается слишком уязвимой. Именно поэтому разработка сингапурских инженеров уже сейчас рассматривается как один из наиболее перспективных шагов в создании робототехники нового поколения.

Ссылка: «Механический многоосевой датчик силы для прямого соединения сенсорики и гидродинамического привода» DOI: [10.1126/sciadv.aeb8052](https://doi.org/10.1126/sciadv.aeb8052).