



ОБ АВТОРЕ

Сезар Идальго (César A. Hidalgo) — адъюнкт-профессор медиаискусств и наук Массачусетского технологического института, руководитель исследовательского проекта *Macro Connections* Медиалаборатории МТИ.



МЫСЛЕННЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

ЖЕСТКИЙ ДИСК ПЛАНЕТЫ

Какова информационная емкость Земли и насколько она сегодня заполнена? Ответ на этот вопрос наводит на удивительные размышления о росте порядка во Вселенной

Сезар Идальго

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Если считать информацию мерой порядка и вычислить объем информации, который может вместить наша планета, то получится, что «жесткий диск» Земли практически пуст — несмотря на то что жизнь на Земле существует миллиарды лет и тысячи лет человек занимается на ней преобразующей деятельностью.
- Из этого мысленного эксперимента мы узнаем много интересного о возникновении порядка во Вселенной. Хотя Вселенная сопротивляется порядку (в целом энтропия всегда возрастает), количество информации со временем увеличивается.
- Рост объема информации на Земле отчасти объясняется деятельностью человека, однако наша способность творить порядок жестко ограничена.

В

2002 г. профессор Сет Ллойд (Seth Lloyd), работающий в Массачусетском технологическом институте над созданием квантового компьютера, опубликовал формулу для оценки количества битов информации во Вселенной. Бит — это элементарная единица информации, имеющая два значения — «да» и «нет». В компьютере для хранения одного бита требуется один полупроводниковый триггер, но бит можно также закодировать состоянием элементарной частицы, например спином электрона. В формуле Ллойда используются физические свойства информации

для оценки скорости, с которой физические системы могут производить и записывать информацию; в эту формулу входят постоянная Планка (элементарный квант действия, основная константа квантовой механики), скорость света и возраст Вселенной. Ллойд пришел к выводу, что наша Вселенная может вместить колоссальное количество информации — 10^{90} бит или триллион триллионов триллионов триллионов триллионов триллионов мегабит.

Ллойд получил свою формулу в процессе работы над квантовыми компьютерами, где отдельные атомы используются для кодирования информации и выполнения вычислений, что и натолкнуло его на мысль о Вселенной как о битах информации, хранящихся в атомах. Он проделал мысленный эксперимент, задавшись вопросом: что представлял бы собой самый большой компьютер в мире? И ответил себе: это компьютер, который задействовал бы каждый атом во Вселенной. И этот компьютер хранил бы 10^{90} бит информации.

Но красота формулы Ллойда в том, что она позволяет оценить информационную емкость любой физической системы, не только Вселенной. Недавно я почерпнул вдохновение из формулы Ллойда, когда исследовал вычислительную мощность стран и экономик. Формула не учитывает многие из сложных социально-экономических факторов, действующих в экономиках стран и сообществ, но дает нам грубую оценку способности систем хранить и перерабатывать информацию. Итак, представьте себе, что Земля — это жесткий диск. В соответствии с формулой Ллойда, планета может хранить до 10^{56} бит информации — приблизительно триллион триллионов триллионов триллионов гигабит. Но этот планетарный жесткий диск — он скорее пуст или скорее полон?

Чтобы ответить на этот вопрос, обратимся к исследованиям Мартина Хилберта (Martin Hilbert) и Присциллы Липес (Priscilla Luyez). В 2011 г.

Хилберт и Липес, которые тогда работали в Университете Южной Калифорнии и в Открытом университете Каталонии в Испании соответственно, опубликовали оценку объема культурной информации, хранящейся по всей планете в виде текстов, рисунков и видео. Они пришли к выводу, что к 2007 г. человечество накопило 2×10^{21} бит, или два триллиона гигабит информации. Но на планете гораздо больше данных, чем те, что содержатся в культурных артефактах. Информация воплощена в предметах, которые появляются в результате человеческой деятельности, как, например, ваш автомобиль или туфли, а также в биологических системах, таких как рибосомы, митохондрии и ДНК. Действительно, оказывается, что имеющаяся на Земле информация в основном хранится в форме биомассы. На основе формулы Ллойда я оцениваю информационное содержание Земли примерно в 10^{44} бит. Эта цифра может показаться большой, но это лишь малая часть емкости Земли. Если бы люди продолжали ежегодно генерировать 10^{21} бит информации, все равно потребовалось бы более триллиона столетий, чтобы заполнить жесткий диск планеты.

Что нам дают эти вычисления? Хотя Земля обладает колоссальной емкостью для хранения информации, до порядка здесь все еще далеко. Эта мысль, в свою очередь, многое говорит нам о том, как планета производит и обрабатывает информацию, а также о том, что может ограничить информационный рост в будущем.

Вселенная вычисляет

То, что жесткий диск нашей планеты не заполнен, прежде всего указывает на трудности, связанные с накоплением информации: ее сложно производить, сложно хранить и сложно объединять в новые формы. Этот вывод вполне согласуется с прежними научными исследованиями и объясняется тем, что Вселенная сопротивляется установлению порядка. Второй закон термодинамики гласит, что наша Вселенная имеет естественную тенденцию к усреднению, выравниванию, к росту меры беспорядка. Тепло передается от горячего к холодному, музыка стихает по мере удаления, молочко-кофейные спирали в вашем латте быстро превращаются в одну неразличимую взбитую массу. Это движение от порядка к беспорядку называется ростом энтропии.

Однако там, где этот закон удается обмануть, создаются зоны упорядоченности. Таковы живая клетка, человеческое тело или построенная человеком экономика. Эти высокоорганизованные системы сопротивляются, хотя и на локальном уровне, закону роста физической энтропии, действующему для всей Вселенной. Информационно насыщенные системы могут существовать, пока они испускают энтропийную испарину: эвакуация тепла — расплата за высокий уровень организации. Как тонко подметил лауреат Нобелевской премии химик Илья Пригожин, «энтропия — цена порядка».

Порядок возникает и поддерживается во Вселенной благодаря трем особенностям. Первая (и, вероятно, наиболее нам знакомая) имеет отношение к потоку энергии. Представьте себе ванну, полную воды: молекулы воды двигаются хаотично, сталкиваясь друг с другом, пока мы не вынули пробку. Как только вода устремляется в сливное отверстие, кинетическая энергия жидкости растет и возникает водоворот. В этой воронке устанавливается порядок: молекулы воды, вовлеченные в водоворот, имеют почти ту же величину и вектор скорости, что и соседние с ними молекулы. Эти соотношения между ними и составляют первооснову макроскопической информации. Чтобы понять причины не только возникновения, но и устойчивости порядка, нужно иметь в виду вторую особенность: наличие твердых тел. Твердые структуры, такие как ДНК, сохраняют упорядоченность в течение долгого времени. Без них информация была бы слишком непрочной и не могла бы храниться, рекомбинировать и умножаться.

Но для того чтобы объяснить появление более сложных форм порядка (например, информации, на основе которой строятся города и экономики) или создание порядка, давшего начало жизни на планете и организации на ней сообществ, нам понадобится третья особенность: способность материи к вычислениям. Например, дерево —

это компьютер, знающий, в каком направлении выпускать корни и листья. Деревья знают, когда включать и выключать гены, отвечающие за борьбу с вредителями, когда давать побеги или сбрасывать листву и как забирать из воздуха углерод путем фотосинтеза. Компьютер-дерево устанавливает порядок в макроструктуре своих ветвей и микроструктурах клеток. Нам зачастую трудно признать, что деревья — это вычислительные машины, но факт остается фактом: деревья вносят свой вклад в умножение информации на планете, потому что они производят вычисления.

Овеществленное воображение

Рассматривая нашу планету как жесткий диск, мы узнаем еще об одной, не менее удивительной вещи: несмотря на силы, препятствующие установлению порядка, объем информации постепенно растет. Жесткий диск Земли сегодня более полон, чем вчера или миллиард лет назад. Диск заполняется, в частности, благодаря рождению жизни: биомасса содержит огромное количество информации. Но увеличение меры порядка на Земле также объясняется производством культурной информации.

Чтобы понять, почему так происходит, сравним яблоки, которые растут на дереве, с гаджетами фирмы *Apple*. Нас в особенности интересует происхождение физического порядка, воплощенного в каждом объекте. В первом яблоке закодирован порядок, который существовал в мире до появления человека. Яблоки были уже тогда, когда мы еще не придумали им названия и не установили на них цену на рынке яблок. Второе «яблоко» отличается от первого тем, что вначале оно родилось у кого-то в голове и лишь затем пришло в материальный мир. Это овеществленный фрагмент порядка, который сначала появился в воображении. Как мы увидим, объекты такого рода имеют отличительную особенность.

Биологические особи, способные создавать объекты в своем воображении и затем воплощать их в реальной жизни, получают важное преимущество перед другими животными видами. Реальные, хотя и воображаемые, инструменты, пронизывающие нашу экономику, расширяют наши возможности, поскольку они дают нам доступ к практическому использованию знания и технологий, родившихся в головах других людей. Взять хотя бы тюбик зубной пасты. Большинство людей ежедневно пользуются зубной пастой, не зная при этом, откуда берется ее действующий элемент — фторид натрия. Отсутствие этого знания, однако, не мешает им получать выгоду от практического использования условий, необходимых для производства фторида натрия. Люди на практике используют знания других людей посредством

результатов производства, которые, по сути, представляют собой овеществленное представление о них. Изделия производства вооружают нас, а рынки делают нас не только богаче, но и умнее.

Проблема, однако, в том, что создавать эти изделия нелегко. Это зачастую требует сотрудничества огромного количества людей. Чтобы внести вклад в умножение информации, людям требуется формировать сообщества, обладающие способностью вычислять конечный результат их деятельности. Сетевые структуры необходимы, потому что вычислительные мощности систем, как и их информационная емкость, имеют свой предел. Живая клетка — это компьютер, имеющий ограниченную производительность, но это ограничение снимается в многоклеточных структурах. Так же и у людей: вычислительная способность одного человека ограничена, но путем формирования социальных и профессиональных сообществ это ограничение снимается. Экономика — это распределенная вычислительная сеть, работающая на оборудовании под названием «социум». В конечном итоге именно эта вычислительная система, переоплотившаяся из отдельных клеток — посредством человека — в экономические системы, позволяет, пусть не без труда, развиваться сложным формам информации.

Пределы роста

И последнее: проведенный мысленный эксперимент убеждает нас в том, что способность человеческих сообществ производить информацию имеет серьезные ограничения. Забудьте все, что говорят о «больших данных»: в глобальной перспективе мы генерируем на удивление мало информации (хотя в процессе сжигаем довольно много энергии, выбрасывая в атмосферу окислы углерода, из-за чего на планете происходит потепление). Наши возможности производить информацию ограничены в частности тем, что наша способность формировать социальные связи сдерживается историческими, институциональными и технологическими факторами. Языковой барьер, например, дробит население Земли на части и препятствует установлению связей между людьми, живущими в отдаленных частях планеты. Достижения технологий помогают снимать эти барьеры. Развитие воздушных перевозок и систем дальней связи снизило стоимость взаимодействия на больших расстояниях, что дает нам возможность раскидывать сети социальных связей по всему миру и наращивать мощности по обработке информации. Однако технологии — не панацея, и наша способность коллективно обрабатывать информацию хоть и выросла по сравнению с предыдущими десятилетиями, но пока остается скромной.

Так каким же образом будет идти накопление информации на Земле в ближайшие столетия? Оптимистический сценарий таков: глобализующая

сила технологий и упадок охранительных институтов, таких как патриотизм и религия, будут способствовать сглаживанию исторических различий, все еще порождающих вражду между людьми разных языков, этносов, наций и религий. Тем временем развитие технологий откроет перед нами эру коммуникативных сверхвозможностей. Эволюция электроники — от портативных устройств к носимым и далее к встраиваемым — породит новые формы социальных взаимодействий, опосредованных технологиями.

Тысячелетиями способность человечества производить информацию подкреплялась умением размещать ее в окружающей среде — в форме каменного топора или поэтического эпоса. Это свойство обеспечивало прирост человечества и согласованное взаимодействие между людьми, необходимое для увеличения вычислительной мощности нашего вида. Мы выступаем свидетелями новой революции, которая может видоизменить эту динамику и придать ей еще большую силу. В нынешнем тысячелетии будет достигнуто слияние человека и машины посредством устройств, которые объединят биологические компьютеры у нас в головах и цифровые компьютеры, ставшие продуктом наших любознательных умов. В итоге будет достигнуто общество коммуникативных сверхвозможностей, и оно поставит перед людьми самые сложные этические проблемы за всю человеческую историю. Мы можем утратить некоторые стороны человеческой природы, которые считаются очень важными: например, сможем научиться обманывать смерть. Но подобное слияние между нами и устройствами по обработке информации, которые родились у нас в мозгу, может стать единственным способом добиться приращения информации. Мы — дети информации, однако сегодня в гораздо большей мере становимся ее родителями. ■

Перевод: С.В. Гогин

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Ллойд С., Энджи Д. Сингулярный компьютер // ВМН, № 2, 2005.
- Information Is Physical. Rolf Landauer in Physics Today, Vol. 44, No. 5, pages 23–29; May 1991.
- Computational Capacity of the Universe. Seth Lloyd in Physical Review Letters, Vol. 88, No. 23, Article No. 237901; June 10, 2002.
- Why Information Grows: The Evolution of Order, from Atoms to Economies. César Hidalgo. Basic Books, 2015.