

Валерий Чумаков

# ПОМНИТЬ ВСЕ

*Новый вид памяти может произвести переворот  
в компьютерной индустрии и привести к появлению  
искусственного интеллекта*

**В** одной из пещер — местообитаний первобытного человека на стене нарисован человек с рыбой, а рядом — три горизонтальные стрелы. В этой картинке скрыто послание: «На расстоянии трех полетов стрелы от этого места я поймал огромную рыбу». Такую информацию передал своим потомкам древний кроманьонец. По сути, подобное послание представляет собой случай одного из первых примеров использования человеком долговременной энергонезависимой памяти.

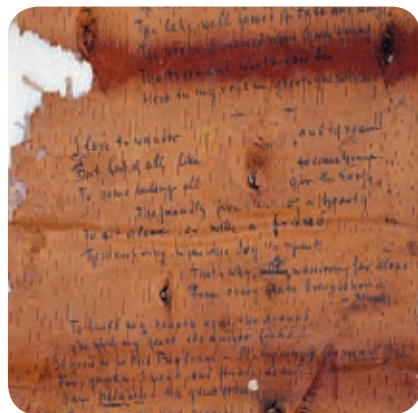
## Узелки истории

Память — один из важнейших спутников разума. Без нее живое существо в принципе может существовать, но превращается в слепого раба рефлексов и инстинктов. Своеобразный механизм наподобие арифмометра, «нажми на кнопку — получишь результат». Нет памяти — нет опыта, нет необходимой дополнительной информации и обратной связи. И наоборот: чем лучше, мощнее, объемнее, быстрее память, тем лучше жизнь. Поэтому

человек неустанно старается усилить то, что было дано ему природой. И если ему нельзя «прокачать» мозги, то он стремится (и весьма успешно) создать для своего пользования память искусственную.

Первым видом стандартной энергонезависимой памяти прямого доступа можно назвать письменность. Здесь в качестве физического носителя выступал целый ряд материалов, от камня до березовой коры. В качестве альтернативных видов внешних запоминающих устройств можно с полным правом рассматривать различные счетные приборы, абаки, ранние счетные машины и даже носовые платки с их узелками на уголках. Но все эти «приборы» были рассчитаны на работу непосредственно с человеком. Между тем человечество постепенно входило в эру механики, для которой своя память тоже могла пригодиться.

Мы привыкли считать, что станки с программным управлением появились тогда, когда появились первые компьютеры. Между тем первые станки с ЧПУ, а значит с системами механической памяти, были созданы



И пещерные рисунки, и каменные руны, и все виды письменности вполне можно отнести к вариантам долговременной искусственной памяти

значительно раньше — в самом начале XIX в. Еще в 1808 г. на ткацкие станки Жаккара стали устанавливать механизмы, программировавшие их на определенные узоры. Сама программа и ее данные вводились в машину с помощью перфокарт, которые можно считать первым образцом чисто машинной памяти. Несколько позже, в 1832 г., на их основе была построена «интеллектуальная машина» коллежского советника Семена Николаевича Корсакова. В 1834 г. один из пионеров вычислительной техники, английский математик Чарльз Бэббидж использовал их в проекте первой аналитической вычислительной машины. Кстати, именно Бэббидж выделил память машины в отдельный функциональный блок. Он назвал его *store* (англ. «склад»).

## От барабана...

Перфокарты служили людям почти 200 лет, вплоть до конца 1980-х гг. прошлого века, но уже в основном как средства ввода данных. С электронной памятью компьютеров такая чистая механика тягаться не могла ни по скорости, ни по плотности информации, ни по производительности. Уже в первых машинах в 1950–1960-х гг. использовалась изобретенная австрийцем Густавом Таушеком «память на магнитном барабане». Это был большой металлический цилиндр, поверхность которого покрывалась специальным ферромагнитным материалом. В сущности, это был цилиндрический вариант хорошо знакомого нам современного жесткого диска. Магнитные барабаны использовались тогда так широко, что вычислительные машины часто назывались барабанными компьютерами.

## Мнение экспертов:

**Кен Маккей, директор компании Crocus по разработке магнитных технологий:**

«Компания Crocus приветствует открывающиеся возможности сотрудничества с «Кинтех Лаб» в области детального моделирования наших технологий. Первоклассные специалисты «Кинтех» и накопленный опыт в области физических исследований и средств моделирования придутся как нельзя кстати для компании Crocus в момент переноса наших технологических разработок на современное литографическое оборудование».

**Анатолий Чубайс, председатель правления ОАО «РОСНАНО»:**

«Мы выбрали Crocus, поскольку уверены: эта компания обладает лучшей в своем классе технологией и способна вывести на рынок продукцию, не имеющую мировых аналогов. Руководство Crocus имеет большой опыт сотрудничества с российскими разработчиками. Компании CNE и Crocus занимают важное место в стратегии «РОСНАНО» по созданию в России микроэлектронной индустрии на базе передовых мировых технологий».

**Борис Потапкин, генеральный директор «Кинтех Лаб»:**

«Данная инициатива со стороны Crocus создает фундамент для передовых наномагнитных исследований в России на основе использования предсказательных физических моделей. Мы надеемся на успешную работу с компанией Crocus в этой новой и перспективной области».

**Дмитрий Лисенков, управляющий директор ОАО «РОСНАНО»:**

«Проект производства TAS MRAM служит примером использования самых перспективных мировых разработок для развития российской микроэлектронной промышленности. Он станет первым в России предприятием для обработки 300-миллиметровых кремниевых пластин. Но наш проект, ориентированный на глобальный рынок, — больше, чем просто трансфер технологий. В его развитии будут активно участвовать российские инженеры и ученые из создающихся центров R&D».

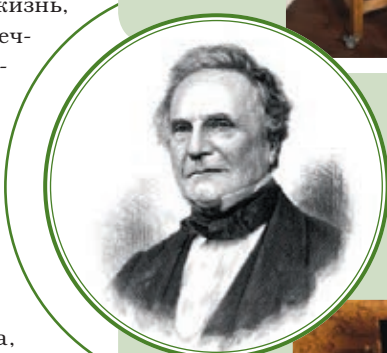
Главным недостатком такой памяти было большое количество механических деталей и, как следствие, низкая скорость и малая надежность. И неудивительно, что начиная с середины 1950-х гг. ее начала постепенно вытеснять память на магнитных сердечниках, которую некоторые производители называли еще ферритовой памятью. В ней информация хранилась в намагниченных металлических сердечниках, вставленных в ферритовые кольца. Намагничен сердечник в одну сторону — 1 бит информации, намагничен в другую — 0 бит. Придумал такой электронный «памятник» еще в 1945 г. один из создателей знаменитого прототипа компьютера *ENIAC* Джон Преспер Эккерт, а воплотили в жизнь, создав сдвиговые регистры на магнитных сердечниках, два работавших в Гарвардском университете китайца — Ван Ань и Во Вайдунь. В 1949 г. они подали заявку на патент, а в 1955 г. их патент за сумасшедшие по тем временам полмиллиона долларов выкупила компания *IBM*. В 1956 г. она же продает первое устройство для хранения информации на магнитных дисках — *RAMAC (Random Access Method of Accounting and Control)*. *RAMAC* состоял из 50 металлических дисков диаметром 24 дюйма, по 100 дорожек с каждой стороны. Устройство хранило до 5 Мб данных и стоило по \$10 тыс. США за мегабайт. Сегодня удельная стоимость информации на жестком диске составляет менее \$0,001 за мегабайт.

Конец эпохи ферритовой памяти наступил в 1970 г., когда компания *Intel* выпустила первый образец серийной компьютерной памяти на полупроводниковой микросхеме. Положенная в ее основу технология получила название *DRAM — (Dynamic Random Access Memory)* — динамическая память с произвольным доступом. Постепенно видов памяти для компьютеров становилось все больше, и у каждой были свои плюсы и неизбежные минусы. Барабанная энергонезависимая память, пройдя период дискет, прочно закрепилась в виде жесткого диска, иногда именуемого в память первого производителя винчестером. Но она применяется почти исключительно для длительного хранения данных и программ. Для непосредственной работы машины и процессора чаще всего используют микросхемы *DRAM* и *SRAM — (Static Random Access Memory)* — статическая память с произвольным доступом. Ячейку первого очень грубо можно сравнить с наноскопическим конденсатором. Если на нем присутствует заряд, значит она (ячейка) содержит бит информации, если заряда нет — нет и этого бита. Цепочка из заряженных и разряженных ячеек содержит информацию в двоичном коде: 00110100111 и т.д. Достоинство такой памяти — дешевизна производства, недостаток — низкая скорость работы. Для того чтобы понять, есть заряд на конденсаторе или нет, его надо разрядить, а потом зарядить снова, чтобы вернуть ситуацию в первоначальное состояние.

Первые перфокарты появились на ткацких станках француза Жозефа Жаккара (1752–1834) в 1808 г.



Проект первой универсальной вычислительной машины с отдельным блоком памяти («складом») английский математик Чарльз Бэббидж создал еще в 1833 г.



Один из первых действующих компьютеров — *ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Computer, «Электронный числовой интегратор и вычислитель»)*, 1946 г.



Современный суперкомпьютер *Sequoia* обладает оперативной памятью 1,6 петабит (приблизительно 1,6 млрд Мбайт) и потребляет 6 МВт мощности, что сравнимо с небольшой промышленной электростанцией. Более продвинутый вариант — *Mira* — будет иметь память уже 70 петабит



Ячейки второго вида памяти представляют собой триггеры, т.е. устройства, способные долгое время находиться в одном из двух устойчивых состояний. Триггером можно назвать обычный выключатель, который в каждый данный момент времени либо «вкл.», либо «выкл.». Здесь считывание информации осуществляется просто и быстро: проходит сигнал через ячейку — 1 бит, не проходит — 0 бит. Беда в том, что такой микроскопический триггер на деле представляет собой относительно сложную схему из нескольких транзисторов. Соответственно, память *SRAM* существенно больше по размерам, чем *DRAM*, и стоит в разы дороже. Поэтому конструкторы компьютеров обычно идут на компромисс: основную память он делают на базе микросхем *DRAM*, а маленькие блоки *SRAM* загоняют туда, где высокая скорость имеет определяющее значение, сразу в процессор в качестве кэш-памяти, ускоряющей его работу.

Кроме того, у обоих видов памяти есть еще один существенный недостаток: они энергозависимы. Стоит только отключить у компьютера питание, как все их ячейки обращаются в 0. Этого недостатка лишен относительно новый, но уже всем хорошо знакомый вид — память *FLASH*, в основе которой лежит технология электрически перепрограммируемой памяти (*EEPROM*, *Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory*) — электрически стираемое перепрограммируемое постоянное запоминающее устройство. Флешка стоит недорого,

скорость работы у нее приличная, а хранить информацию независимо от источника питания она может достаточно долго. Многим уже сейчас кажется, что скоро мы перейдем на *FLASH*-компьютеры. И действительно, в продаже уже можно найти нетбуки и планшеты, использующие *FLASH* как замену жесткого диска. Но и у нее есть свой серьезный недостаток — ограниченное число перезаписей. Дело в том, что для того чтобы переписать ячейку *FLASH*, к ней необходимо подвести довольно высокое напряжение — от 5 до 9 вольт. Такое «насилие» не может пройти бесследно, поэтому после определенного количества перезаписей (от 10 тыс. до 1 млрд) ячейка разрушается.

Но прогресс, как известно, не имеет привычки стоять на месте, и новый вид памяти уже незаметно подбирается к нашим машинам.

### Где был *SRAM*

Хотя назвать технологию магниторезистивной оперативной памяти (*MRAM* — *Magnetoresistive Random-Access Memory*) уж очень новой вряд ли можно. По сути своей она восходит к памяти на магнитных сердечниках, о которой мы говорили. Магниторезистивная память имеет быстрое действие, сравнимое с памятью *SRAM*, такую же плотность ячеек, но меньшее энергопотребление, чем у памяти *DRAM*, она более быстрая и не разрушается от перезаписи в отличие от памяти *FLASH*.

### СПРАВКА

■ **Crocus Technology** — ведущий разработчик магнитных полупроводниковых технологий, позволяющих создавать высокоскоростные энергозависимые чипы памяти высокой плотности для общих и специализированных применений. Разработанная компанией архитектура магнитных логических ячеек (*MLU* — *Magnetic Logic Unit*) с революционной технологией самоадресации представляет собой развитие запатентованной технологии изменения состояния ячейки с использованием локального нагрева (*TAS* — *thermally assisted switching*). *MLU* позволяет реализовать средствами *MRAM* не только хранение, но и логическую обработку информации. Первое поколение магнитных устройств *Crocus* изначально разрабатывалось в Гренобле, Франция, ведущей мировой лабораторией в области магнитных исследований *Spintec*, действующей совместно с двумя ведущими французскими лабораториями *CEA* и *CNRS*. Дальнейшая разработка проводилась с целью открытия производства в Калифорнии на мощностях *SVTC*, а завершающий этап реализации проводился в *Tower Jazz Semiconductor*. В октябре 2011 г. компания *Crocus* объявила о соглашении с компанией *IBM* о совместной доработке технологии, в первую очередь ориентируясь на усовершенствование архитектуры *MLU*. Технология *Crocus* защищена обширным патентным портфелем. В мае 2011 г. *Crocus* и «РОСНАНО» образовали совместное предприятие *Crocus Nano Electronics (CNE)* для производства магнитных полупроводниковых приборов.

■ «Кинтех Лаб» разрабатывает и внедряет интегрированные компьютерные программы и информационные системы для предсказательного, основанного на первых принципах, моделирования и анализа свойств новых материалов, процессов и устройств. «Кинтех Лаб» также выполняет научно-исследовательские проекты в области нанотехнологий и технологий получения новых материалов, разработки эффективных технологий горения, каталитических и плазменных технологий, новых энергетических систем, включая топливные элементы, солнечные батареи и источники света. В 2011 г. «Кинтех Лаб» получила статус участника инновационного центра Сколково, а в январе 2012 г. получила грант в размере \$1,3 млн на реализацию проекта «Технология предсказательного многоуровневого моделирования и разработки механизмов процессов для эффективной энергетики, химической индустрии и получении новых материалов».

■ **Открытое акционерное общество «РОСНАНО»** создано в марте 2011 г. путем реорганизации государственной корпорации «Российская корпорация нанотехнологий». ОАО «РОСНАНО» реализует государственную политику по развитию нанотехнологической индустрии, выступая соинвестором в нанотехнологических проектах со значительным экономическим или социальным потенциалом. 100% акций ОАО «РОСНАНО» находятся в собственности государства. Председателем правления ОАО «РОСНАНО» назначен Анатолий Чубайс. Задачи государственной корпорации «Российская корпорация нанотехнологий» по созданию нанотехнологической инфраструктуры и реализации образовательных программ выполняются Фондом инфраструктурных и образовательных программ, также созданным в результате реорганизации госкорпорации.

	MRAM	SRAM	DRAM	FLASH
Скорость чтения	Высокая	Очень высокая	Средняя	Высокая
Скорость записи	Высокая	Очень высокая	Средняя	Низкая
Масштабируемость	Хорошая	Хорошая	Ограниченная	Ограниченная
Плотность ячеек	Средняя / Высокая	Низкая	Высокая	Средняя
Энергонезависимость	Да	Нет	Нет	Да
Число циклов стирания/записи	Неограниченное	Неограниченное	Неограниченное	Ограниченное
Ток утечки ячеек	Низкий	Низкий / Высокий	Высокий	Низкий
Работа при низких напряжениях	Да	Да	Ограниченная	Ограниченная
Сложность производства	Средняя	Низкая	Средняя	Средняя

В первом приближении стандартная ячейка MRAM состоит из одного транзистора и одного магнитного туннельного перехода. В свою очередь этот переход построен из тончайшего диэлектрического слоя оксида алюминия, расположенного между двумя магнитными слоями. Каждый из таких слоев имеет свой вектор магнитного поля. Верхний называют свободным слоем, он может изменять свой вектор под действием создающих магнитное поле специальных магнитных проводников. Магнитный слой основания называют фиксированным, вектор его поля заблокирован и не изменяется. Если векторы свободного и фиксированного слоя совпадают, ячейка содержит 1 бит информации, если же они противоположны — 0 бит. Определяется это состояние векторов предельно просто: по электрическому сопротивлению перехода. Если они совпадают — сопротивление низкое, если нет — высокое. Время считывания в микросхемах MRAM фактически эквивалентно на сегодня времени записи и составляет порядка 35 наносекунд, что вполне сопоставимо с «быстрой» SRAM. Работать эти микросхемы могут в самых экстремальных условиях при температурах от 0° до 105° С. Данные в них могут сохраняться без изменения более десяти лет. Считается, что перезаписывать информацию на MRAM можно бесконечное количество раз, однако

ученые, не особенно доверяющие понятию «бесконечное», все-таки перестраховались и поставили свой предел — 100 000 000 000 000 000 раз — сто квадриллионов циклов перезаписи. Во время тестирования, проведенного компанией Freescale, одним из лидеров в деле разработки MRAM, информация в микросхеме была перезаписана 58 трлн раз, и при этом не было зарегистрировано ни одного сбоя. Кстати, микросхема эта, названная MR2A16A и имеющая емкость 4 Мб, по всем параметрам ввода/вывода полностью соответствует подобным микросхемам типа SRAM. Иначе говоря, для того чтобы начать ее использование, не требуется изменять конфигурацию железа, можно уже сейчас вставлять MRAM туда, где стояла SRAM.



Недостатки, безусловно, есть и у MRAM, но они свойственны всем без исключения новым высокотехнологичным продуктам: дороговизна, неотработанность технологии и узость линейки продуктов. Все без исключения эксперты считают, что недостатки исчезнут после начала массового серийного производства микросхем MRAM, которое должно стартовать уже в ближайшие годы. Сомневаться в этом

вряд ли стоит, поскольку потребительский и весьма объемный заказ на этот продукт уже существует.

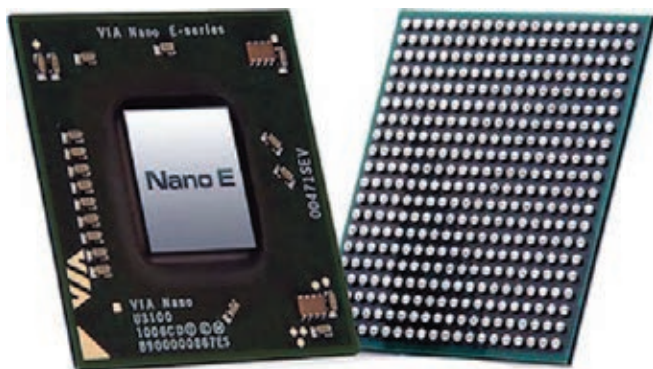
## Куда ставить?

Как ни странно, но первыми заказчиками, по предположениям экспертов, станут не компьютерщики, а автомобилестроители. Совсем скоро автомобильные аварийные регистраторы должны стать не опцией, а частью стандарта современного серийного автомобиля. Такому регистратору за короткие доли секунды, какие длится авария, надо собрать огромное количество информации: как вел себя двигатель, тормоза, в каком состоянии было освещение, как шла подача топлива, насколько адекватно было управление, не говоря об аудио- и видеоинформации. Ее надо не только собрать, но и надежно сохранить. Все это в самом лучшем виде сможет сделать именно *MRAM*, и ее высокая цена здесь не имеет особого значения. Согласитесь, что для автомобиля стоимостью несколько десятков тысяч прибавка в \$150–200 особой роли не сыграет. Другими «локомотивами», но уже больше в плане отработки технологий, станут военная и авиакосмическая промышленность.

По мере удешевления технологии появятся компьютеры, в которых все виды памяти, от кэша в процессоре и до жесткого диска, будут заменены на память *MRAM*. Такая машина будет загружаться за доли секунды, а при включении на ней будет продолжаться выполнение задачи, которое происходило до выключения. Потерять в подобном компьютере информацию будет крайне сложно, если только самому очень не постараться. И, конечно, он будет полностью защищен от перебоев питания. Такие крутые изменения иначе как революцией не назовешь.

## Откуда что...

Особенно приятно то, что одним из форпостов революционного движения уже сейчас пытается стать Россия. В мае прошлого года ОАО «РОСНАНО» заключило с ведущим мировым разработчиком полупроводников



с использованием магнитных материалов *Crocus Technology* инвестиционное соглашение о строительстве в России завода по производству памяти *MRAM* нового поколения. Объем сделки составляет \$300 млн США. В соответствии с договором «РОСНАНО» и *Crocus* создали компанию *Crocus Nano Electronics (CNE)*, которая и займется постройкой завода в России.

ОАО «РОСНАНО» планирует вложить в проект до 3,8 млрд руб (около \$140 млн). Соинвесторами выступят венчурные фонды *CDC Innovation*, *Ventech*, *IDInvest Partners*, *NanoDimension* и *Sqfinnova Ventures*. На первом этапе они вместе с «РОСНАНО» вложат в уставный капитал *Crocus* \$55 млн. Около \$125 млн будет инвестировано в строительство завода. Еще \$120 млн пойдут на расширение производства и в перспективе — совершенствование технологического процесса и доведения его с проектных норм 90 и 65 нм до 45 нм.

*CNE* планирует запустить завод в ближайшие два года. На нем на стандартные 300-миллиметровые кремниевые пластины будут наноситься дополнительные слои для создания устройств *MRAM*. Таких пластин будет выпускаться до 500 в неделю. На второй фазе инвестиций мощность предприятия будет увеличена

## Технологическая справка

*MRAM* (*Magnetoresistive Random Access Memory*, магнито-резистивная память с произвольным доступом) — технология компьютерной памяти, которая объединяет преимущества традиционных полупроводниковых и магнитных технологий. Микросхемы *MRAM* обладают достоинствами хорошо известных типов памяти — *DRAM*, *SRAM* и *FLASH* — и в то же время лишены многих их недостатков. Данные в *MRAM* записываются не с помощью электрических зарядов, а с помощью магнитной поляризации элементов памяти, что обеспечивает важное для этого типа памяти свойство — энергонезависимость, т.е. возможность сохранять записанные в ячейки данные даже в случае отключения питания микросхемы *Crocus MRAM* сочетают низкое энергопотребление, высокую скорость и практически неограниченное число циклов чтения и записи памяти *DRAM* с низкой стоимостью и энергонезависимостью *FLASH*.

Создание миниатюрных чипов *MRAM* во многом стало возможным благодаря открытию в 1988 г. эффекта гигантского магнитосопротивления, за которое в 2007 г. физикам Альберу Феру и Петеру Грюнбергу была присуждена Нобелевская премия. В середине 1990-х гг. интенсивные разработки *MRAM* начали сразу несколько компаний, среди которых преуспела *Motorola*, выпустившая в 2005 г. первый чип емкостью 1 Мбит, созданный по нормам 180 нм. Однако только компании *Crocus* на текущий момент удалось создать действующий 130-нм чип и продемонстрировать возможность производства 90-нм магнито-резистивной памяти по технологии термического переключения. Технология термического переключения (*Thermally Assisted Switching — TAS™*) — разработанная *Crocus* и защищенная патентами технология, в которой запись производится при нагревании ячейки памяти.

до 1000 пластин в неделю. В России планируется не только производить, но и разрабатывать магнитную память. В марте этого года *Crocus Technology* подписала с российской компанией «Кинтех Лаб» соглашение о проведении совместных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области детального моделирования элементов памяти *MRAM*. На этом этапе *Crocus* инвестировал в «Кинтех» \$5 млн.

Производство магниторезистивной памяти по нормам 90 и 65 нм позволит создать устройства *MRAM* с самой высокой на сегодня плотностью элементов. Ключевыми рынками для производимой продукции станут системы хранения данных, мобильные и сетевые устройства, а также сервисы по развитию облачных вычислений. Кроме устройств общего назначения, память *TAS MRAM* можно будет использовать в смарт-картах, сетевых коммутаторах, устройствах биометрической аутентификации, коммуникационных устройствах малого радиуса действия и защищенной памяти. В приложениях будут востребованы такие преимущества памяти *Crocus MRAM*, как неограниченное число циклов перезаписи, энергонезависимость и высокая производительность как при чтении, так и при записи данных. Потенциальный объем мирового рынка для продукции проекта составляет более 40 млрд в год. Но главное даже не это, а то, что проект помогает России встроиться в мировую экономическую систему. И тогда, возможно, в мире о России будут судить не только по нефти, газу, ракетам и балету, но и по крепкой памяти. ■

## Где нужна MRAM

- персональные компьютеры, офисная техника, мобильные и стационарные ПК, принтеры, факсы, сканеры и т.п.;
- сотовые телефоны, MP3-плееры, фото- и видекамеры, КПК, электронные книги;
- бытовая техника: телевизоры, видеоплееры, музыкальные центры, ресиверы, стиральные машины, холодильники, кондиционеры, роботизированные пылесосы;
- выносные и сменные устройства для хранения и переноса данных;
- магазинные кассы и самые различные виды ридеров для чиповых технологий;
- счетчики и расходомеры электричества, тепла, воды и прочего;
- авиационная техника, военные приложения;
- охранно-пожарные системы;
- медицинское оборудование;
- системы автоматизированного проектирования, управления, искусственного интеллекта.

