



ВОЕННЫЕ ПРИЛОЖЕНИЯ НАНОТЕХНОЛОГИЙ: ЭЛЕКТРОНИКА, ФОТОНИКА, КОМПЬЮТЕРНЫЕ СИСТЕМЫ

MILITARY APPLICATIONS OF NANOTECHNOLOGY: ELECTRONICS, PHOTONICS, COMPUTER SYSTEMS

Ю.Альтман
J.Altmann

В новой рубрике "Военные нанотехнологии" мы начинаем публиковать отрывки из книги Юргена Альтмана "Военные нанотехнологии. Возможности применения и превентивного контроля вооружений"^{*}. Хотя эта монография была написана около 10 лет назад, она не утратила актуальности и представляет интерес как для специалистов nanoиндустрии, так и для широкого круга читателей, интересующихся развитием нанотехнологий.

Under the heading "Military nanotechnology" we begin to publish excerpts from the book by Jurgen Altman, "Military nanotechnology: Potential applications and preventive arms control"^{*}. Although this monograph was written about 10 years ago, it has not lost relevance and is of interest for specialists in nanotechnology, and for a wide range of readers interested in the development of nanotechnology.

Обзор возможных военных приложений нанотехнологий (НТ) можно начать с использования наиболее известных свойств, присущих структурам и материалам в наномасштабе (биологи удачно называют такие характерные свойства "видовыми", так что, по-видимому, можно говорить даже о технологической "нише" существования нанотехнологии), а уже затем перейти к более специфическим применениям. В нашем случае наиболее характерной, "видовой" областью применения НТ можно считать, например, компьютеры и электронику, а специфической областью – новые типы оружия. При составлении предлагаемого обзора автору пришлось пользоваться самыми разнообразными источниками и во многом полагаться на собственные мнения и соображения. Пока совершенно неясно, какие именно исследования станут основой для создания реальных типов оружия будущего, поэтому предлагаемый ниже перечень является весьма неполным, тем более что многие, наиболее перспективные военные разработки в области НТ уже засекречены и не обсуждаются в открытой печати. Естественно, что многие потенциальные возможности использования НТ в военной технике остаются невыявленными, а их значение станет очевидным и важным лишь в будущем. С учетом

всего сказанного читатель вправе рассматривать предлагаемый обзор в качестве общего описания, являющегося исходной точкой для дальнейшего информационного поиска.

Автор опирался в основном на американские публикации (в частности, на отчеты DARPA), хотя в них, как отмечалось выше, отсутствуют сведения о некоторых весьма важных возможных применениях НТ в военной области (особенно для создания оружия массового уничтожения).

Разумеется, все приводимые ниже оценки сроков реализации проектов и внедрения результатов исследований в промышленное производство являются очень грубыми, поскольку время создания новой военной техники зависит от множества факторов (и не в последнюю очередь – от уровня финансирования). С другой стороны, необходимо помнить о "сюрпризах" и неожиданностях, неизбежно сопровождающих любые крупные научно-технические начинания. На этом пути вполне реальны как неожиданные успехи и резкие прорывы в каком-то узком направлении из-за междисциплинарного обмена идеями и методиками (биолог назвал бы это "перекрестным опылением"), так и неудачи, обусловленные, например, возникновением практически непреодолимых технических препятствий.

^{*} Альтман Ю. Военные нанотехнологии. Возможности применения и превентивного контроля вооружений / Изд. 2-е, доп. и испр. – М.: ТЕХНОС-ФЕРА, 2008. 424с.



ЭЛЕКТРОНИКА, ФОТОНИКА, МАГНИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

В микроэлектронике переход к нанотехнологиям является наиболее естественным и обещает прежде всего дальнейшую миниатюризацию отдельных компонент электронных схем, особенно после уже начавшегося внедрения устройств с применением нанотрубок и отдельных биомолекул. Общепринятая точка зрения сводится к тому, что технические применения в наномасштабе ограничены наличием квантовых эффектов, однако стоит учесть, что именно эти эффекты могут быть использованы разработчиками для достижения практических целей. Например, могут быть созданы быстродействующие вычислительные и другие устройства (практически не нуждающиеся в электропитании), основанные на использовании спиновых состояний электронов или атомов. В таких разработках, являющихся просто продолжением общего процесса миниатюризации электронных схем, внедрение нанотехнологий будет означать не просто дальнейшее уменьшение размеров транзисторов, но и в некоторых случаях создание принципиально новых электронных элементов типа механических резонаторов фильтров в гигагерцовом диапазоне частот.

В фотонике (генерация, передача, переключение и обработка оптических сигналов) использование НТ создает массу новых возможностей для конструирования и производства принципиально новых типов волноводов, фильтров, переходных устройств, модуляторов и т.п., причем настройка в оптическом диапазоне может осуществляться поглощением и излучением квантовых точек. Фотонными кристаллами называют структуры с периодически меняющимся коэффициентом преломления, благодаря чему свет (подобно электронам в обычном кристалле) может распространяться лишь на некоторых заданных частотах и/или в определенных направлениях. Сочетание таких структур позволяет создавать разнообразные устройства (волноводы, переключатели и т.п.) для передачи и обработки оптических сигналов. Интегральные микроэлектронные и нанофотонные схемы и устройства отличаются поразительной миниатюрностью, высокой скоростью обработки данных (порядка нескольких терабит в секунду, т.е. около 10^{12} бит/сек) и экономичностью.

Нанотехнологии позволяют развить сразу несколько направлений совершенствования дисплеев. Прежде всего можно отметить эффект полевой эмиссии в электровакуумных приборах, позволяющий отказаться от нагреваемых катодов.

Устройства такого типа по-прежнему остаются вакуумными приборами, похожими по принципу действия на привычные электронные дисплеи, однако использование нанорешеток позволяет сделать их значительно более экономичными и (что гораздо важнее) плоскими.

В соответствии с еще одной предлагаемой нанотехнологией, в дисплеях могут использоваться органические молекулы, обеспечивающие очень яркое и легко регулируемое по цвету излучение. Метод позволяет, в принципе, создавать очень тонкие, легкие, гибкие и долговечные дисплеи (с размером пикселей в 12 мкм и даже меньше), пригодные к эксплуатации в очень широком температурном диапазоне, что дает возможность монтировать их внутри защитного шлема солдата или объединять с экипировкой каким-либо другим удобным способом.

В исследовании и использовании магнитных наноматериалов (наномангнетиков) важнейшей вехой стало открытие в 1988 году так называемого эффекта гигантского магнитосопротивления (GMR), обусловленного тем, что при наложении магнитного поля электрическое сопротивление между тонкими слоями ферромагнитных и немагнитных материалов резко уменьшается. Уже с 1997 года GMR-датчики стали использоваться в производстве считывающих головок для жестких дисков, позволяя добиться значительного увеличения плотности записи. Создавая очень тонкий слой изолятора (< 2 нм) между двумя слоями ферромагнетиков, можно обеспечить очень высокие значения туннельного тока, зависящие от взаимной магнитной ориентации участков магнитного материала, что позволяет использовать так называемые магнитные туннельные переходы в качестве ячеек памяти (запоминающих элементов). Уже сейчас такие магнитные запоминающие устройства прямого доступа (magnetic random access memory, magneticRAM) превосходят по характеристикам существующие динамические устройства этого типа (DRAM), поскольку не требуют постоянного использования так называемой "видеопамяти" данных и сохраняют записанную информацию даже при выключении управляющей сети.

Для иллюстрации ценности таких материалов можно упомянуть, что это позволит, например, мгновенно запускать компьютер без применения сложных загрузочных программ. Создание объемных образцов нанокompозитных магнитных материалов позволит также организовать производство мощных постоянных магнитов, что при-



ведет к существенному повышению эффективности широко используемых в промышленности электромоторов и генераторов.

Объединение описанных возможностей в микроэлектронике, фотонике и разработке новых магнитных материалов может привести к существенному прогрессу в развитии компьютеров и коммуникационных сетей, так как эти качественно новые технологии обещают дальнейшую миниатюризацию используемых устройств с одновременным повышением их экономичности и быстродействия. Например, уже обнаружено, что углеродные нанотрубки могут выступать в качестве обычных электрических проводов, а на базе двух пересекающихся нанотрубок можно даже сформировать транзисторный переключатель.

Уже существует так называемая молекулярная электроника, в которой роль всех элементов электрической цепи (проводов, переключателей, ячеек памяти и т.д.) выполняют отдельные, специально подобранные молекулы. В связанной с этой проблемой программе DARPA отмечается, что "плотность монтажа" при использовании молекул может достигать уровня 10^{12} элементов/см², а плотность записи в запоминающих устройствах достигнет 10^{15} бит/см³. Стоит отметить, что приведенные выше значения плотности записи на четыре порядка (!) превосходят значения, достигаемые в запоминающих устройствах, основанных на двумерных МОП-структурах.

Производственные процессы с использованием НТ уже сейчас позволяют обеспечивать очень высокую степень миниатюризации и интеграции и собирать целые электронные системы многих типов в объемах порядка 1 мм³ или меньше. Конечно, у разработчиков остается еще много проблем технического порядка, связанных, например, с питанием таких микроскопических устройств (пока не созданы батарейки столь же малых размеров и т.д.). В некоторых случаях, когда проблему электропитания цепей удастся решить новыми нестандартными способами, дальнейшее уменьшение общего объема схемы может сдерживаться другими вторичными факторами.

Большие сложности связаны, в частности, с обеспечением надежной радиосвязи микроустройств друг с другом или с внешней системой управления, так как связь обычно зависит не столько от источников питания, сколько от наличия антенн относительно большого размера (например, они должны иметь длину порядка нескольких сантиметров). Подытоживая сказанное, можно утверж-

дать, что уже сейчас вполне реальным представляется создание сложных электронных устройств и систем весом в несколько десятков грамм и размером в несколько сантиметров. Такие параметры должны позволить легко "включать", то есть монтировать, эти устройства в личное обмундирование военнослужащего или в какое-либо оборудование обычного типа. В очень близком будущем самые сложные электронные системы будут монтироваться не только в крупногабаритных предметах армейского оборудования (автомобили, контейнеры и т.п.), но и в самых небольших и привычных деталях снаряжения (например, в винтовках, на биноклях или даже в элементах военной формы и обмундирования).

Возможные сроки реализации военных НТ-разработок оценить очень трудно, прежде всего, из-за разнообразия предлагаемых применений.

Во многих областях использование НТ уже привело к началу длительного процесса модификации и совершенствования конкретных видов оружия, который может продолжаться десятки лет.

КОМПЬЮТЕРЫ И КОММУНИКАЦИОННЫЕ УСТРОЙСТВА

Развитие вычислительной техники в течение последних десятилетий характеризуется непрерывным ростом ее быстродействия и мощности, сопровождаемым столь же непрерывным уменьшением характерных размеров микроэлектронных деталей и целых структур. Экстраполяция известного закона Мура позволяет предполагать, что разработчики компьютерного и коммуникационного оборудования должны перейти к использованию каких-то существенно новых принципов работы и структурных элементов. Например, электронные схемы, возможно, будут действительно создаваться на основе нанотрубок или даже отдельных молекул, а жесткие диски сменят наноразмерные запоминающие устройства без вращающихся деталей и т.д. В кибернетике, вероятно, получит дальнейшее развитие новая парадигма, основанная на решении очень сложных задач при параллельной работе огромных массивов или комплексов вычислительных систем (возможно, построенных из молекул ДНК и квантовых компьютеров), архитектура которых будет напоминать нейронную сеть человеческого мозга.

В технике связи НТ-электроника и фотоника позволят значительно расширить частотные диапазоны и повысить эффективность их использо-



вания. Будут созданы новые высокоскоростные системы оптоволоконной связи.

Ожидается, что в течение ближайших двадцати лет объем памяти и быстродействие компьютеров возрастут на четыре порядка, что, естественно, потребует столь же значительного понижения их размеров и энергопотребления. При этом будет постоянно снижаться стоимость как самой вычислительной техники, так и ее эксплуатации, включая реальную стоимость в пересчете на отдельный процессор.

Ожидается, что физический объем процессоров (обладающих характеристиками современных ПК) уменьшится до нескольких кубических сантиметров (или даже нескольких кубических миллиметров!), что позволит широко использовать их для самых разных целей и легко монтировать внутри самых разнообразных предметов военного оборудования и амуниции (от средств транспорта и винтовок до формы и отдельных боеприпасов). При необходимости микропроцессоры могут быть интегрированы с коммуникационными устройствами, дисплеями, устройствами ввода информации (клавиатурой и микрофонами), микродатчиками и приводами. Дальнейшая миниатюризация приведет к принципиально новым возможным применениям, таким как создание объединенных систем микродатчиков, систем наведения для самых небольших поражающих средств (снарядов и пуль), имплантируемых вычислительных устройств, микророботов и т.п. Более того, при массовом производстве такие вычислительные и коммуникационные устройства могут затем быть объединены в более сложные и "гибкие" сети, способные непрерывно менять свою конфигурацию в зависимости от условий окружения. Сказанное может относиться не только к интересующей военных специалистов "боевой ситуации на поле боя", но и к самым разнообразным задачам логистики и управления.

В принципе, распределенная система датчиков позволит автоматически отслеживать изменение разнообразных параметров (например, ускорение, влажность, температуру и т.п.) в крупных системах (большие склады, огромные самолеты), передавать данные в центральную систему управления и осуществлять автоматическое регулирование условий.

С другой стороны, безусловно, будет продолжаться и совершенствование стационарных, крупных вычислительных систем, для которых стремление к миниатюризации вовсе не является существенным фактором развития. Рост памяти и быстродействия позволит исследователям значительно расширить и усовершенствовать методы моделирования слож-

ных физических процессов, а также материалов в особых условиях и даже живых организмов. Будут созданы новые типы тренажеров, позволяющие имитировать сложные ситуации и процессы, создавать "полноценное" виртуальное окружение и т.п. Прогресс в развитии программного обеспечения и систем искусственного интеллекта позволит охватить автоматическим планированием, принятием решений и управлением боевую деятельность практически на всех уровнях: от командования действиями взвода до управления высшими стратегическими операциями. Возможно, такие подходы, постепенно трансформируясь, превратятся в некую новую систему почти автоматического принятия решений в военной сфере, очень напоминающую пути развития логистики и методов планирования в гражданском секторе экономики.

Практическое воплощение планов создания квантовых компьютеров на основе НТ приведет одновременно и к росту защищенности и секретности передаваемой информации, и к разработке более мощных средств расшифровки вражеских кодов. Фантастические возможности квантовых компьютеров создают новые возможности и обещают использование совершенно неожиданных методов решения сверхсложных задач оптимизации и ускорения расчетов при моделировании физических явлений.

По-видимому, развитие вычислительной техники будет связано с прогрессом в области различных НТ, а общие характеристики вычислительных устройств будут изменяться (по крайней мере, в общих чертах) в соответствии с законом Мура. Естественно, совершенствование компьютеров должно создавать новые возможности их использования в военной сфере, однако сроки реального внедрения новшеств определить очень сложно (например, сама возможность разработки и практического использования упоминавшихся выше квантовых компьютеров может затянуться на десятилетия).

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ И ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ

Программное обеспечение, или software (подразумевая под этим всю совокупность концепций, алгоритмов, теорий архитектуры компьютеров и т.п., относящихся к вычислительным системам), на первый взгляд представляется независимым от собственно технических или аппаратных средств, или hardware. С другой стороны, конечно, реальная ситуация выглядит гораздо сложнее, так как значительное усиление возможностей аппаратуры практически всегда приводит к развитию новых концепций, позволяющих расширить области применения



программного обеспечения. Читатель может вспомнить, например, блестящие результаты использования звука и изображений в существовавших ранее текстовых информационных файлах обычных персональных компьютеров. Именно таких неожиданных и эффектных результатов следует ожидать от новейших ИТ-разработок в области технического совершенствования аппаратных средств.

В общетеоретическом аспекте для развития кибернетики огромную роль сыграла и продолжает играть проблема достижения компьютером интеллектуального уровня, сравнимого с уровнем человека (можно напомнить, что идея "искусственного разума" является классической и восходит к Средневековью). Еще на ранних этапах развития кибернетики ученые пытались "обучить" компьютер выполнению некоторых действий, которые привычно ассоциируются с сознательной, т.е. интеллектуальной, деятельностью человека. В частности, к задачам, связанным с созданием искусственного интеллекта, можно отнести распознавание изображений, игру в шахматы, перевод с языка на язык и т.д., так как большинство людей в нормальных условиях часто и легко осуществляют такие операции. Можно сразу отметить, что ни одну из этих задач пока не удалось решить полностью, хотя почти во всех направлениях достигнуты явные и внушительные успехи.

Известны проекты DARPA, ставящие своей целью достижение компьютерами интеллектуального уровня человека в смысле понимания окружающей обстановки и взаимодействия с другими людьми или устройствами. Ни одну из этих задач пока не удалось решить полностью, однако даже скептики признают, что в обозримом будущем вычислительные системы уже смогут вполне эффективно выполнять следующие действия, напоминающие обычное поведение человека:

- общаться с использованием разговорной речи;
- достаточно правильно переводить речь с одного языка на другой в реальном масштабе времени;
- создавать обширные базы данных и находить в них необходимые сведения об инструментах и орудиях, требующихся для повседневной деятельности человека;
- зрительно воспринимать окружение в достаточной степени, чтобы перемещаться в этом окружении и даже манипулировать его элементами.

Уже сейчас создаются мощные вычислительные комплексы, предназначенные для осуществления стратегического планирования или решения боевых и управленческих задач. Проведение крупномасштабных боевых действий требует одновре-

менного принятия множества отдельных автономных решений на всех уровнях управления, вследствие чего в будущих войнах станет привычным использование беспилотных автоматических боевых устройств и роботов самых различных типов. Управляющие такими устройствами системы сами должны обладать способностью адаптации к изменениям боевой обстановки и (в более широком смысле) к обучению либо в процессе работы, либо при общении с человеком-оператором.

Развитие программного обеспечения будет продолжаться непрерывно и должно привести к новым достижениям в области искусственного интеллекта, так что (в конечном итоге) этот термин почти неизбежно станет восприниматься и использоваться в своем буквальном смысле.

Конечно, очень трудно указать точно, когда ученым удастся совершить прорыв в этом направлении, но еще сложнее представить, как люди начнут воспринимать программное обеспечение, компьютер или робот в качестве реальных "существ", намечающих и целенаправленно решающих какие-то собственные задачи или замыслы. В настоящее время совершенно неясно, приобретут ли реально компьютеры (это можно назвать "квазиавтоматическим" приобретением) с таким или большим быстродействием какие-то черты или особенности, характерные для человеческого интеллекта. Возможно, что для достижения указанной цели исследователям необходимо добиться существенного "прорыва" в какой-то особой области программирования или в изучении механизмов функционирования самого мозга.

В целом можно отметить постепенное и непрерывное совершенствование программных средств (идущее параллельно с развитием аппаратных средств), которое должно в ближайшие 5-10 лет привести к появлению первых роботов нового типа, способных почти "нормально" разговаривать с человеком и даже обладать довольно сложным и автономным "характером". Так называемое полное (на жаргоне американских кибернетиков "бесшовное") слияние или объединение автономных физических устройств, средств программного обеспечения и человеческого интеллекта пока продолжает оставаться весьма удаленной целью.

К этому же далекому будущему можно отнести и создание компьютерных систем, интеллект которых будет сравним с человеческим. Опыт прежних прогнозов развития науки учит нас скромности, но одновременно позволяет надеяться на неожиданности, открывающие совершенно новые перспективы. ■