

# From PC to iPod, How Step-Change Drives Land Seismic

От PC до iPod,  
или Скачкообразное  
развитие наземной  
сейсморазведки

PHOTO: • ФОТО: INPUTOUTPUT

Bob Peebler, Chris Friedemann

Боб Пиблер и Крис Фридемман

All technology-based industries evolve similarly. Technology advances in slow increments over long periods only to be shaken up by a step-change that is often driven by technologies developed in another industry.

Consider the personal music player. Advances in magnetic tape recording technology and digital circuit miniaturization made the Sony Walkman® possible in 1979. The advent of CD-ROMs improved the music storage system, but the Walkman remained unchanged for 25 years. Then came the Apple iPod® in 2001, a product which Apple founder and CEO, Steve Jobs, understood could change the world of personal music forever by leveraging the convergence of data storage, power systems and data transmission technologies.

Apple's new iPod nano's, with 4GB of storage, can hold 1,000 songs on two solid-state flash memory chips each the size of a fingernail. Its rechargeable battery lasts for up to 14 hours. And iPod users can cherry pick their tunes in minutes off the Internet thanks to DSL, fiber, and cable-based systems. Most important: Apple's CEO saw the iPod not as a single product but as an enabling device within a comprehensive ecosystem.

Similarly the seismic industry today stands at a convergence point from which we are about to embark on a revolutionary journey into the next era of digital, full-wave seismic.

## The Big Bang in PC Technology

In the early 1970s, 24 channel seismic surveys were the norm and dedicated copper wire pairs linked every channel back to the central recording unit. Seismic acquisition systems recorded using 8-bit electronics. Microprocessors operated at slow clock speeds and digital computers featured 24k of memory and punch card inputs. Advances in microelectronics and networking, however, drove the seismic industry into a period of revolutionary change in the late 1970s.

By 1980, seismic recording systems were incorporating digital switching and other network technologies from the telecom industry. The first seismic systems with distributed digital telemetry entered the market, overcoming the "one wire pair per channel" constraint and supporting a rapid expansion in channel count.

Digital electronics replaced analog circuits in seismic systems, cutting costs and power consumption. The memory of acquisition systems increased, scaling to 16-bit and then 24-bit recording. The battle among Intel, Apple-Motorola, and



• Bob Peebler, president and CEO, I/O.  
• Боб Пиблер — президент и генеральный директор, I/O.



• Chris Friedemann, VP of Commercial Development, I/O.  
• Крис Фридемман — вице-президент по коммерческим разработкам, I/O.

Все отрасли промышленности эволюционируют по единому сценарию. В течение длительного времени технологии могут развиваться постепенно, а затем происходит скачок, часто под воздействием технологий из других отраслей.

Обратим внимание на персональные музыкальные проигрыватели. Усовершенствование технологий записи на магнитную ленту и миниатюризация цифровых микросхем привели к появлению в 1979 году портативного проигрывателя Walkman компании Sony. Появление на рынке оптических дисков улучшило хранение данных, но проигрыватель Walkman оставался неизменным на протяжении 25 лет. Затем, в 2001 году, пришло время карманного плеера Apple iPod® – устройства, которое, по мнению Стива Джобса, основателя и генерального директора компании Apple, навсегда изменило мир частного прослушивания музыки благодаря удачному сочетанию технологий хранения и передачи данных.

Новые версии iPod nano могут хранить 4 Гб информации или 1 000 песен на двух твердотельных чипах памяти, каждый из которых не больше ногтя. Аккумулятор работает до 14 часов, и обладатели iPod могут выбирать любимые мелодии и скачивать их из Интернета благодаря цифровым абонентским линиям (DSL), оптоволоконным и кабельным системам. Важный аспект: генеральный директор компании Apple рассматривал iPod не как отдельно взятый продукт, а как элемент совершенно нового стиля жизни.

Сегодня сейсморазведка также находится в той самой поворотной точке, с которой может начаться революционный прорыв в грядущую эру цифровой многоволновой сейсмологии.

## «Большой взрыв» в компьютерных технологиях

В начале 70-х годов прошлого века 24-канальные сейсмические съемки были нормой, и каждый датчик был соединен парой медных проводов с центральной регистрирующей станцией. Сейсмостанции записывали данные с помощью 8-разрядной электроники. Микропроцессоры имели низкую тактовую частоту и память 24 килобайта, а ввод данных осуществлялся через перфокарты. Однако, благодаря прогрессу в микроэлектронных и сетевых технологиях, ситуация в сейсморазведке в конце 70-х годов коренным образом изменилась.

К 1980 году сейсморазведочные станции уже были оснащены цифровой коммутацией и другими сетевыми технологиями, заимствованными из области телекоммуникаций. На рынке появились первые регистрирующие системы с распределенной цифровой телеметрией, позволившие преодолеть ограничен-

PHOTO: INPUT/OUTPUT

PHOTO: INPUT/OUTPUT

Oil & Gas Eurasia  
Нефть и Газ Евразия



- Seismologists are installing the equipment.
- Сейсморазведчики устанавливают аппаратуру.

IBM drove quantum leaps in microprocessor clock speed, which enabled equipment manufacturers to further increase channel counts, spatial sampling density, and system dynamic range, and to decrease unit size and weight per channel.

Fortunately, computing technology has kept pace with enhancements in recording systems, advancing according to Moore's law in all key areas – processing speed, storage, and memory. The decade of the 1980s was the Golden Age for mainframes featuring advanced data input systems and vector architectures. By employing multiple processors with ever-increasing clock speed, the industry was able to process large volumes of data using sophisticated techniques, including deconvolution and Kirchhoff pre-stack migration.

Ultimately, the 3D revolution was sealed with the advent of the interpretation workstation and visualization software, a derivative of computer-aided design (CAD) software that had been developed for the auto and aviation industries. Within a relatively short period, the convergence of these critical enabling technologies drove drilling success rates from 30-40 percent to 60-70 percent, earning 3D seismic its

ние «пара проводов на канал», и открывшие путь к быстрому росту каналности.

Цифровая электроника вытеснила аналоговые элементы на сейсморазведочных станциях, снизив их стоимость и потребление энергии. Память регистрирующих систем возросла, а разрядность повысилась сначала до 16, а затем до 24. Конкуренция между компаниями Intel, Apple-Motorola и IBM привела к скачкообразному повышению тактовой частоты микропроцессоров, что позволило производителям оборудования еще больше повысить каналность сейсмостанций, пространственную плотность пунктов наблюдения и динамический диапазон системы, а также уменьшить размер полевых модулей и снизить вес оборудования в расчете на канал.

К счастью, компьютерные технологии шли в ногу с разработкой регистрирующих систем, развиваясь, в соответствии с законом Мура, во всех ключевых областях (скорость обработки данных, хранение и память). Восемьдесятые годы прошлого столетия были «золотым веком» больших ЭВМ, обладавших развитыми системами ввода данных и векторной архитектурой. Благодаря использованию большого числа процессоров с рекордной тактовой частотой, большие массивы данных обрабатывались с использованием сложных процедур, включая деконволюцию и миграцию Кирхгофа до суммирования.

Успехи в развитии 3D сейсмики были закреплены появлением интерпретационных рабочих станций, а также программ визуализации данных – про-

изводных от пакетов автоматизированного проектирования (CAD), разработанных для автомобильной и авиационной отраслей. За короткое время сочетание этих критически важных технологий подняло процент успешного бурения с 30-40 до 60-70%. Это принесло 3D сейсмике заслуженную репутацию важной технологии, оказавшей наиболее сильное влияние на разведку и добычу углеводородов.

## Беспроводные технологии

Однако, на протяжении более чем 20 лет наземная сейсморазведка эволюционировала без резких скачков. Постепенно возрастало количество каналов, увеличивался вынос источника возбуждения, применялась широкоазимутальная съемка, и осуществлялся переход на управляемые операционной системой Linux кластеры для обеспечения необходимых вычислительных мощностей. Хотя регистрирующие системы используют современные сетевые протоколы, сейсмические данные все еще передаются по проводам. Производится регистрация большего объема данных, но для этого используются технологии и процедуры 80-х годов прошлого века. Отрасль вынуждена приспособливаться к ограниченным возможностям устаревшей кабельной архитектуры, работающей почти на пределе. Но, по-видимому, сейсморазведка подходит к поворотной точке, и к ней ее подталкивают технологии, реализо-

well-deserved reputation as the most significant technology to impact the E&P sector.

## Enabling Technologies to Remove the Cables

Over 20 years though, changes in land acquisition such as surveys with longer offsets and wider azimuths, the increase in channel counts, and the move to Linux-based clusters to supply computing capacity have been more evolutionary than revolutionary. Though today's recording systems employ the most advanced Ethernet- and Internet-based networking protocols, data is still sent back and forth along a wire. We're acquiring more data but we use the technologies and workflows of the 1980s. Our industry has conformed to the constraints of a legacy, cable-based acquisition architecture that is nearing its limit. Indeed, the seismic industry is reaching a revolutionizing convergence point, pushed by technologies found in the iPod, game consoles, PDAs, digital cameras, personal computers, and similar electronic gadgets.

Advancements in solid-state storage technology will change the design of seismic recording systems. We've reached a critical threshold in storage technology, where cost effective data capacity is now measured in gigabytes (GB), enough capacity to enable a single station to record seismic survey data over several days. If it is economically practical to store field data in the large volumes of seismic records (at the terabyte level across a distributed, multi-thousand station network), there is less reason to transmit data back to a central recorder via cables.

In conventional land acquisition systems, cables also supply power. But as battery manufacturers invest in R&D to find better ways to power cell phones, laptop and notebook computers, digital cameras, personal game players, and electric cars seismic applications will arise.

Lithium ion (Li-ion) batteries comprise one of the fastest growing segments in power systems, finding application in areas where energy density and weight are important. These batteries offer fast recharge times, longer supply windows between recharges, an increased number of charge-discharge cycles, and a wider operating temperature range, all features that are needed for seismic acquisition systems. As with data storage systems, Li-ion battery chemistry may be close to reaching the tipping point of performance and cost effectiveness for seismic application.

With the convergence of solid state storage and power systems technologies, seismic equipment manufacturers can rethink the architecture of field recording systems. Cable-less single-station recording systems eliminate the danger of one fault bringing down a serially-dependent network. Cable-less recording systems can also benefit logistics, field productivity, and health, safety, and environment (HSE). E&P operators gain the flexibility to design customized, high station-count surveys that fully sample reflected seismic energy without aliasing (or distortion). Surveys that record with 20,000 or more live stations will be increasingly common, improving image quality.

Then there are wireless technologies, such as 802.11 (WiFi), to transmit data from solid state storage in field station units to portable data collectors. The original WiFi protocols hit the market in 1997, driven by improvements in mobile phones, laptop computers, and PDAs. Current extensions of 802.11 are under development and will soon increase transmission rates to 500 Megabits/second (up from the original 1-2 Mbps).

ванные в плеере iPod, игровых джойстиках, персональных цифровых секретарях (PDA), цифровых фотокамерах, персональных компьютерах и других электронных новинках.

Технологическое развитие твердотельной памяти коренным образом изменит конструкцию сейсмических регистрирующих систем. Уже достигнут критический порог в технологиях хранения данных, когда экономически эффективная емкость памяти измеряется гигабайтами, а этого достаточно для записи сейсмических данных, регистрируемых одним пунктом приема в течение нескольких суток. Если хранение больших массивов данных в полевых модулях будет экономически оправдано (порядка терабайта в распределенной многотысячной сети пунктов приема), то передача данных по проводам станет необязательной.

В обычных наземных регистрирующих системах кабели используются еще и для передачи энергии. Но производители аккумуляторов разрабатывают все более эффективные источники питания для сотовых телефонов, портативных компьютеров, цифровых фотокамер и электромобилей. Конечно, сейсморазведка тоже не останется в стороне.

Литий-ионные аккумуляторы представляют собой один из наиболее быстро растущих сегментов источников энергии. Они находят применение в тех областях, где наиболее важны удельная энергия и вес. Эти аккумуляторы обладают коротким временем заряда, увеличенным количеством циклов «заряд-разряд», и широким диапазоном рабочих температур, а именно эти параметры очень важны для сейсморазведочных комплексов. Как и в случае с системами для хранения данных, если применение литий-ионных аккумуляторов окажется экономически выгодным, провода в наземной сейсморазведке будут не нужны.



**drillquest.net**  
Drill Quest Engineering GmbH

**High quality drilling equipment (new and used) for Oil and Gas Industry. Complete rigs and spare parts (most of them located in Europe, China and USA)**

**Буровое оборудование высокого качества (новое и б/у). Мобильные и стационарные станки и другие узлы и зап. части к ним. Поставки из Европы, Китая, Америки**

Drill Quest Eng. GmbH, Gewerbestrasse 5, 6330 Switzerland  
Phone: +41 41 740 59 25 / Fax: +41 41 740 59 30  
E-mail: sales@drillquest.net www.drillquest.net

Concurrently, advances in semiconductor manufacturing have made the production of MEMS (micro-electro-mechanical systems) chips reliable and cost competitive. In seismic applications, three MEMS accelerometers in an orthogonal configuration are increasingly being acknowledged as the sensor of choice by geophysicists. Digital 3C MEMS sensors record the full seismic wavefield (including pressure, shear/converted, and surface waves) with high vector fidelity. When combined with advanced pre-processing techniques like vector filtering, MEMS accelerometers deliver seismic data with exceptional dynamic range and bandwidth. Noise can be recorded and eliminated mathematically, rather than filtered mechanically using geophone arrays. The end result is improved seismic image quality and utility (which is further enhanced when the energy is fully sampled).

Besides recording systems and sensors, converging technologies will also affect field operations, processing, and interpretation. In the field, we expect to see greater use of LiDAR (Light Detection and Ranging), GPS (global positioning system), and heads-up display (HUD) technologies. LiDAR, GPS, and HUD systems will be tightly integrated into survey design and field acquisition processes, improving the productivity, accuracy, and HSE risk profiles of the seismic operation.

## A Whole New World

Today's seismic survey crews manually mark shot points and receiver and line locations with flags, stakes, and biodegradable paint. Delays between surveying and acquisition gives the weather, other humans, and animals time to degrade the survey preparations. While one could attempt a re-survey using off-the-shelf GPS units, the majority of commercial units today have only a +/- 30 meter accuracy, a tolerance that is probably insufficient for the majority of seismic applications.

LiDAR and heads-up display (HUD) technologies promise to change the world of seismic surveying and field operations. LiDAR is a portfolio of technologies derived from the aerospace, defense, and agriculture industries in which a digital elevation model (DEM) is output with the intent of accurately mapping the topography of an environment. The DEM significantly adds to a comprehensive geographic information system (GIS), which helps integrate and display geographically-referenced information in a digitized, computerized format.

The DEM can be integrated with other datasets including vegetation and urbanization models. This creates a 'real life'

Благодаря слиянию технологий твердотельной памяти и систем питания, производители сейсмозондировочного оборудования могут переосмыслить архитектуру полевых комплексов. Бескабельные регистрирующие системы с одноканальными блоками исключают опасность того, что одна неисправность выведет из строя всю сеть с последовательной архитектурой. Бескабельные регистрирующие системы имеют преимущества в материально-техническом обеспечении, полевой производительности, а также в вопросах техники безопасности и охраны окружающей среды. Нефтегазовые компании-операторы получают дополнительные возможности для проектирования специализированных сверхмногоканальных съемок, позволяющих получить более полную волновую картину без алейсинга (или без искажений). Съемки с числом каналов от 20 000 и более будут становиться все более распространенными, что позволит улучшить качество изображений среды.

Для передачи данных из твердотельных носителей в полевых модулях в портативные устройства хранения данных имеются беспроводные технологии, такие как 802.11 (WiFi). Первые протоколы WiFi появились на рынке в 1997 году, как результат совершенствования мобильных телефонов, портативных компьютеров и персональных цифровых секретарей. Технология 802.11 развивается, и в ближайшее время обеспечит передачу данных со скоростью 500 Мб/с (исходная скорость составляла 1-2 Мб/с).

## Будущее полевых работ, обработки данных и интерпретации

Одновременно, прогресс в полупроводниковой технике позволил выпустить надежные и экономически привлекательные чипы MEMS (микроэлектронно-механические системы). В сейсмозондировочной отрасли три ортогональных MEMS-акселерометра все чаще используются для приема сейсмических волн. Такие цифровые трехкомпонентные датчики регистрируют полное волновое поле (включая продольные волны, поперечные и обменные волны, поверхностные волны) с высокой надежностью определения вектора колебаний. В сочетании с векторной фильтрацией, MEMS-акселерометры позволяют получить сейсмические данные с исключительным динамическим диапазоном и широкой полосой частот. Шумы можно подавить с помощью математических процедур, а не путем механической фильтрации группами геофонов. В результате повышается качество изображения исследуемой среды (которое будет еще лучше, если обеспечивается полный сбор информации).

Помимо влияния на регистрирующие системы и датчики колебаний, комплексные технологии также влияют на полевые работы, обработку и интерпретацию данных. Специалисты предполагают, что лазерные локаторы и дальнометры (LiDAR), спутниковые навигационные системы (GPS) и технологии визуализации в воздухе или на лобовом стекле автомобилей (HUD) получат более широкое распространение.

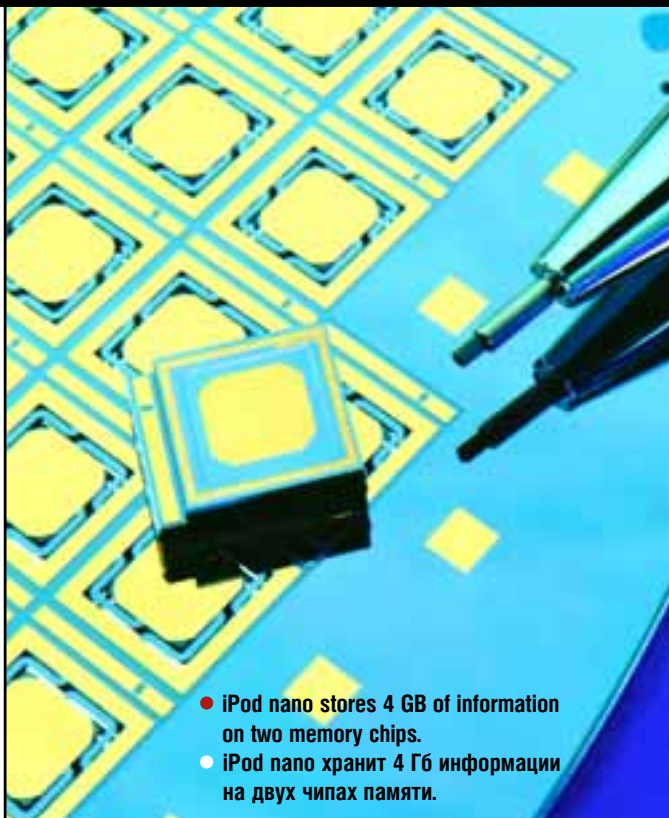
Системы LiDAR, GPS и HUD будут тесно связаны с

- Application of visualization systems on automobile windshields will be extended (HUD).
- Расширится область применения систем визуализации на лобовом стекле автомобилей (HUD).



PHOTO: • ФОТО: ИНТЕРОУТРИТ

PHOTO: • ФОТО: INPUTOUTPUT



- iPod nano stores 4 GB of information on two memory chips.
- iPod nano хранит 4 Гб информации на двух чипах памяти.

look for the targeted acquisition area which can be visualized in 3D with the appropriate planning and navigation tools in the office and with HUD technology in the field. Thus, the stakes, flags, and paper maps would disappear along with the time lost to re-processing seismic data and correcting geometry errors.

Ongoing enhancements to microprocessor clock speed, data storage, and transmission capacity will improve processing. Parallel processing using cluster technology will still be the primary computational architecture for the next decade or two, but we'll likely see the concept of grid computing gain increasing acceptance. The first implementation of parallel processing happened within a single box: the high-end mainframe. The second implementation took place across a cluster of multiple boxes, but within a single computer center. Round three is likely to involve simultaneous processing across multiple centers, allowing oil and gas companies, seismic processors, and third-party providers to share their computational capacity across a distributed grid. IBM has been leading the way here, but others will follow (or compete for leadership).

We'll need this increased computing capacity to handle the explosion in data that is likely to take place as land surveys move to three channels per station (to record full-wave 3C data) and station counts expand to 20,000 (or more) from the typical 3,000 stations of today. The increased computing capacity will not only allow us to manage the greater data load, but also to apply a broader array of increasingly sophisticated algorithms to the data. Pre-stack depth migration (both Kirchhoff and wave equation) will become more commonplace for onshore prospects, while the industry will be able to apply the next generation of migration algorithms, like reverse time migration (RTM).

Indeed, in 10 years the seismic industry will look very different from what we inherited from the 1980s. We will take advantage of key technology developments and modify our workflows with the ultimate goals of improving image quality, reducing HSE, and increasing operational productivity. ●

процессами проектирования съемок и полевыми работами, повышая производительность, точность и безопасность сейсморазведочных работ.

Сегодняшний геодезический отряд сейсмопартии вручную обозначает пункты возбуждения и приема с помощью флажков, кольшкков и саморазлагающихся красителей. Разрыв между геодезическими работами и регистрацией данных снижает качество подготовки к началу полевых работ из-за погоды, диких и домашних животных и посторонних людей. Хотя можно попытаться выполнить геодезическую привязку с помощью спутникового определителя координат, большинство таких устройств имеют точность 30 м, что недостаточно для большинства сейсмических съемок.

Технологии LiDAR и HUD обещают изменить характер геодезических и полевых работ. LiDAR – это набор технологий, заимствованных из аэрокосмической, оборонной и сельскохозяйственной сфер, в которых используются цифровые модели рельефа (DEM) для точного картирования рельефа окружающей среды. Цифровые модели рельефа являются важной частью комплексных географических информационных систем (GIS), которые помогают интегрировать и представить географическую информацию в цифровом виде.

Цифровые модели рельефа могут быть интегрированы с другими массивами данных, включая модели растительности и урбанизации. Это позволяет создать «реальный образ» площади исследований, которую можно визуализировать в трехмерном виде с соответствующими средствами навигации не только в офисе, но и в поле с помощью технологии HUD. Таким образом, кольшкки, флажки и бумажные карты вскоре исчезнут, как исчезнет и необходимость переработки сейсмических данных и коррекции геометрических ошибок.

Продолжающееся повышение тактовой частоты микропроцессоров и совершенствование систем памяти и передающих устройств улучшит качество и увеличит скорость обработки данных. Параллельная обработка данных с использованием кластерных систем станет основой вычислительной архитектуры в течение последующих десяти-двадцати лет, но также, по-видимому, будет наблюдаться и рост распределенных вычислительных сетей. Впервые параллельная обработка данных велась в пределах одного модуля – высокопроизводительного компьютера. В дальнейшем для параллельной обработки использовалось несколько компьютеров, однако все они находились в пределах одного вычислительного центра. На третьем этапе параллельная обработка данных, вероятно, может быть реализована на нескольких вычислительных центрах, позволяя нефтяным и газовым компаниям, обработчикам сейсмических данных и сторонним провайдерам совместно использовать свои вычислительные мощности в распределенной сети. Компания IBM уже пошла по этому пути, но и другие следуют за ней (или будут бороться за лидерство).

Увеличение вычислительных мощностей необходимо для того, чтобы справиться с взрывным ростом массивов регистрируемых данных, который вызван использованием наземной сейсморазведкой трех каналов на каждый датчик (для регистрации полного волнового поля 3D датчиками) и увеличением количества датчиков до 20 000 и более (по сравнению с нынешними 3 000 пунктами приема). Возросшие вычислительные мощности позволят не только справляться с огромными массивами данных, но и применять более широкий набор совершенных алгоритмов обработки. Глубинная миграция до суммирования (Кирхгофа и волновая) станет общепринятой при обработке данных наземных съемок, и на рынке появятся алгоритмы миграции нового поколения, такие как двусторонняя волновая временная миграция.

Несомненно, через 10 лет сейсморазведка будет сильно отличаться от «наследия» 1980-х годов. И за это мы должны быть благодарны создателям iPod. ●