

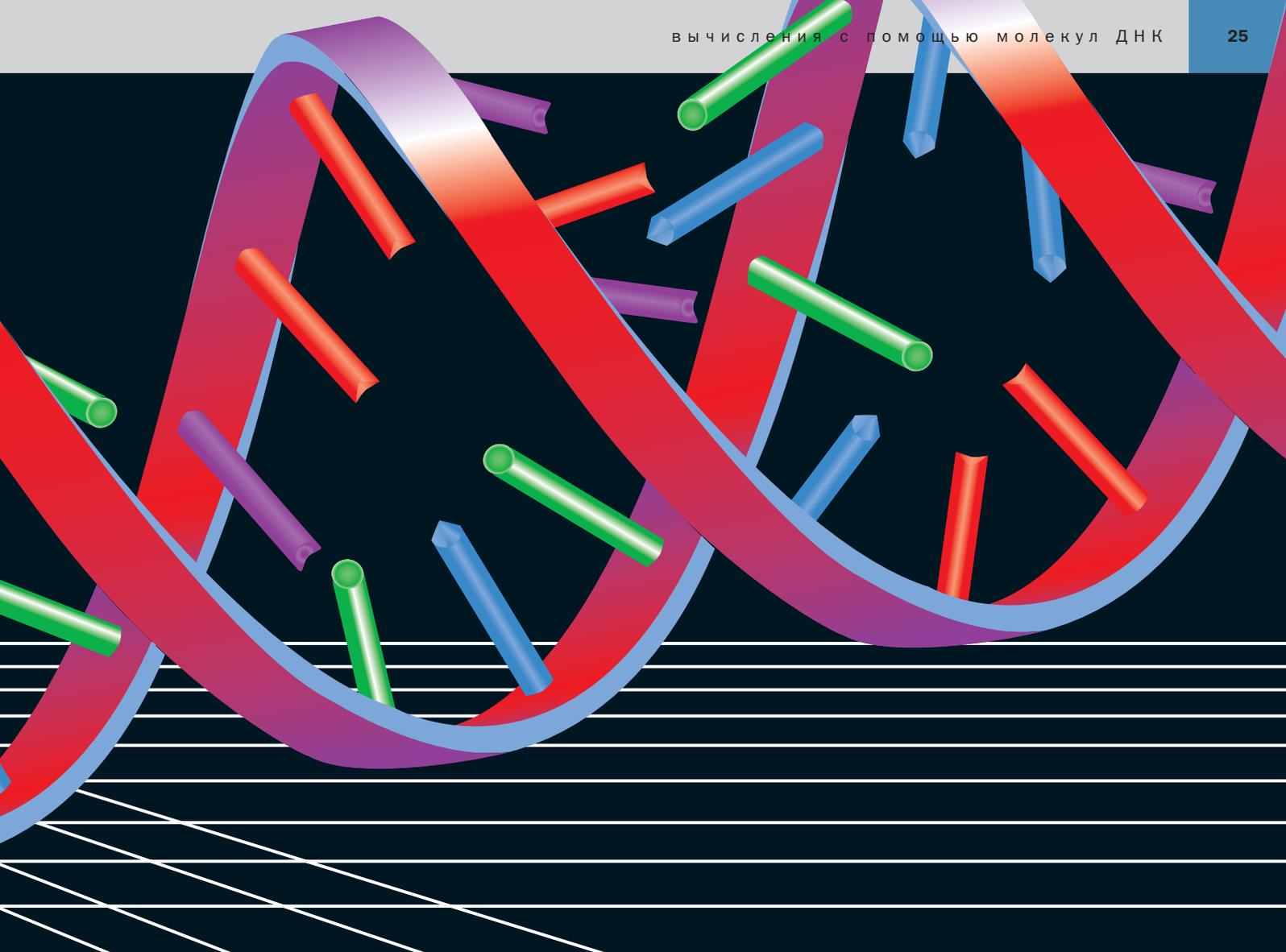
Вычисления с помощью молекул ДНК



КОМПЬЮТЕРЫ

Компьютеры становятся все быстрее, однако если говорить о высокопроизводительных машинах для решения сложных проблем, можно сказать, что IT-индустрия приблизилась к пределу своих возможностей. Теперь исследователи обращают свои взоры на живую природу и начинают учиться вычислять с использованием генов.

Доктор Йорг Акерман (Jorg Askermann) обращается с молекулами ДНК подобно самой природе, которая создает причудливые формы жизни. На экране монитора из так называемых нуклеотидов* аденина (А), гуанина (G), тимина (Т) и цитозина (С) он составлял все новые и новые комбинации, создавая молекулы, с помощью которых в будущем компьютеры смогут выполнять гигантские по сегодняшним меркам объемы вычислений. В природе эти четыре вещества, соединяясь попарно, образуют дезоксирибонуклеиновую кислоту (ДНК), которая имеет форму двойной спирали. Причем аденин может соединяться только с тиминном, а гуанин — с цитозином. »



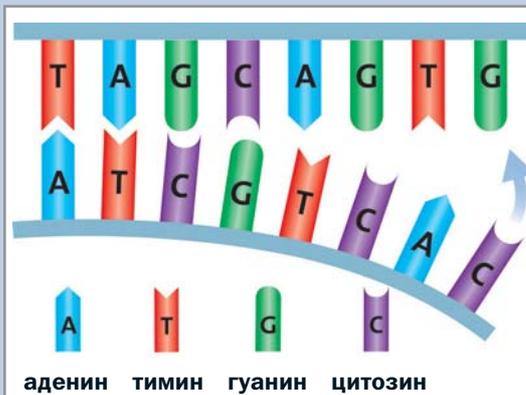
будущего

» При делении клетки — основополагающем принципе биологической репродукции живого существа — эта двойная спираль разворачивается, разделяется, генетический код считывается, и она опять соединяется. О сложных структурах типа двойной спирали Акерман как теоретический физик и не помышляет. Наоборот, он ищет простые решения и составляет из имеющихся в его распоряжении «букв» А, С, G и Т короткие «слова», соответствующие в реальности коротким молекулам. Он знает особенности отдельных молекул и выискивает среди огромного количества похожих комбинаций те, которые можно дейст-»



Молекула ДНК: материал для компьютера

Цифровой код ДНК



Последовательность нуклеотидов (оснований) на одной стороне определяет, какие нуклеотиды должны располагаться на другой стороне, чтобы они могли образовать двойную последовательность. Базовыми парами являются А-Т и G-С, которые соединяются водородным мостиком. В ДНК-компьютерах используются короткие нити, чтобы легко могли получаться пары, образующие решения.

* Нуклеотиды построены из азотистого основания (обычно пуринового или пиримидинового), углевода (рибозы или дезоксирибозы) и остатка фосфорной кислоты. Являются «строительным блоком» нуклеиновых кислот.



Считаем с помощью микрофлюидов

Жемчужины в ДНК-каналах

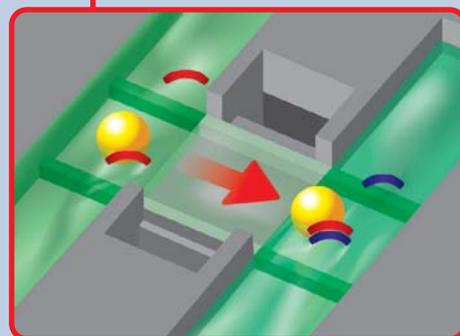
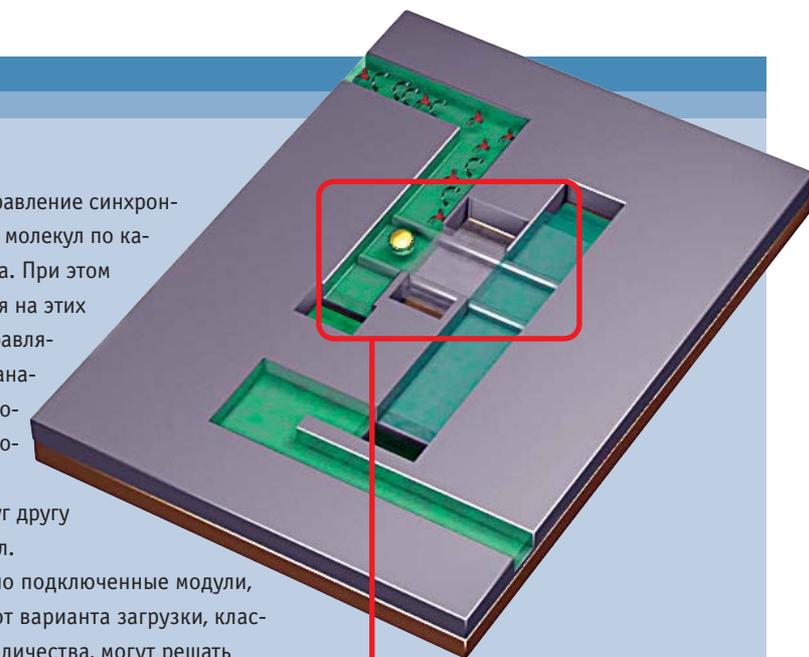
► В этом ДНК-компьютере, построенном исследовательской группой биомолекулярных информационных систем, в качестве носителей информации используются не электроны. Главная деталь аппаратуры лишь на первый взгляд похожа на подложку, из которой изготавливаются чипы. На кремниевой пластине вместо токоведущих дорожек располагаются каналы, по которым протекает раствор.

► На пластине размещены крошечные модули, что позволяет работать с молекулами ДНК параллельно или же производить последовательные вычисления.

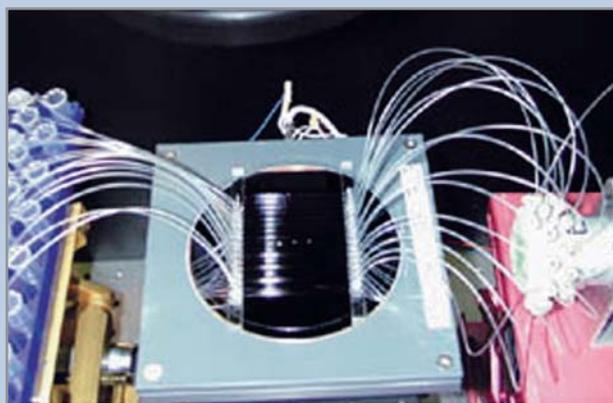
► В модули направляется жидкость, в которой находится смесь различных молекулярных нитей. С помощью маленьких магнитных шариков (бусинок) и магнита, который движется под кремниевой пластиной, осу-

ществляется управление синхронным движением молекул по каналам лабиринта. При этом нити собираются на этих бусинках и направляются в другие каналы, где после процесса очистки могут соединяться подходящие друг другу цепочки молекул.

Последовательно подключенные модули, в зависимости от варианта загрузки, классификации и количества, могут решать разнообразные проблемы. При этом наибольшая эффективность работы ДНК-компьютера достигается в том случае, когда из миллионов вариантов ему необходимо выбрать один правильный.



▲ Магнитные «жемчужины»: с помощью магнитов крошечные шарики проталкиваются по каналам. Молекулы ДНК присоединяются к ним, излишние молекулы протекают дальше. Справа молекулы соединяются в двойные цепочки



◀ Вычислительная машина: на кремниевой пластине имеются тончайшие каналы, по которым протекает раствор, содержащий нити молекул ДНК. И «задача», и возможные варианты «решений» вводятся через тонкие трубочки

» вительно создать посредством методов генной инженерии. Теоретически неподходящие комбинации отвергаются сразу же. При этом важна еще и форма

Такая кропотливая работа длится не один день, и ее результаты сохраняются в молекулярной библиотеке, из которой коллеги доктора Акермана — спе-

систем (BioMIP) Фраунгоферовского общества. Лабораторные эксперименты, проводимые коллегами Акермана, наглядно демонстрируют, подходят ли сконструированные человеческими руками гены для работы с битами и байтами информации в вычислительных машинах нового типа, так называемых ДНК-компьютерах. В них кремний заменен молекулами ДНК, которые выполняют роль транзисторов.

Теоретически молекула ДНК могла бы образовываться и тремя, и четырьмя, и пятью нуклеотидами, но природа использует только четыре. «Мы еще не поняли, в чем состоит преимущество именно четырех составных элементов, и поэтому просто работаем только с четырьмя», — говорит доктор Акерман. »



«Мы не знаем, почему природа использует ровно четыре нуклеотида, и поэтому мы просто тоже работаем только с четырьмя».

Доктор Йорг Акерман, группа биомолекулярных информационных систем Фраунгоферовского общества

полученной молекулы ДНК: она должна иметь вид прямой вытянутой нити. Петли и скручивания устраняются благодаря тому, что все нуклеотиды состыкованы попарно.

циалисты в области молекулярной биологии — берут материал для своих экспериментов. Теоретик доктор Акерман работает в исследовательской группе биомолекулярных информационных

» О том, какой огромный потенциал скрывается в ДНК, можно судить по следующим фактам. Крошечная трубочка с жидкостью содержит от 1014 до 1017 нитей ДНК, каждая из которых может обрабатывать информацию. То, что в современной вычислительной технике является нулями и единицами, в ДНК-компьютере представлено системой, работающей со значениями А, G, С и Т: составные части ДНК заменяют бинарные биты. Тем самым в принципе можно достичь скорости вычислений до 1012 операций в секунду. Самое интересное во всем этом следующее: для того чтобы повысить производительность системы и решать более сложные задачи, достаточно увеличить количество активной материи. Особенность ДНК-компьютера заключается в том, что он может выбрать правильное решение задачи из миллионов возможных вариантов. При этом информация о задаче закодирована в ДНК. Возможные решения представляются в форме «цепочек слов» длиной в несколько оснований.

При обработке информации используется специфическая энергия создания молекулярных связей. Большинство нитей могут и не образовывать связей, лишь у некоторых из них структура совпадает, что можно понимать как вычислительную операцию. Важное отличие ДНК-компьютеров заключается в том, что многие процессы у них протекают параллельно.

Лабораторные эксперименты выглядят не очень зрелищно. Основной элемент аппаратуры — так называемый «микрориджидкостный чип». Он представляет собой кремниевую пластину, в тончайших каналах которой протекает раствор и происходят молекулярные реакции. При этом в нескольких модулях осуществляются различные этапы вычислений. Для переноса носителя информации ученые применяют не только магнитные шарики, но и заряженные электроды. Какие соединения возникают при этом, показывают «встроенные» в молекулу флуоресцентные маркеры, которые можно наблюдать в микроскоп.

Компьютер, в котором информация обрабатывается за такт продолжительностью в десятые доли секунды, на первый взгляд может показаться медленным. «Сверхбыстрым этот компьютер не назовешь, — говорит его создатель, руководитель группы из Санкт-Августина Джон МакКаскилл (John McCaskill, BioMIP), — но благодаря параллелизму протекающих вычислений он может быть очень эффективным». Может, поскольку действительно эффективных компьютеров, способных выполнять параллельные вычисления, на сегодняшний день нет. Не существует пока и запатентованного принципа их работы.

Разработка ДНК-компьютеров — относительно молодое направление. После нескольких важных прорывов в генных исследованиях эксперименты американского ученого Леонарда Адлемана (Leonard Adleman) послужили толчком для начала работ над их созданием. Ему первому удалось научиться производить вычисления с помощью молекул ДНК.

Кроме того, он продемонстрировал возможность построения на базе ДНК универсального вычислительного устройства, способного вычислять любую функцию. Но то, что возможно в принципе, необязательно интересно с практиче- »

Oki B4200L



ВЫЖМИ МАКСИМУМ ИЗ СВОЕГО ПРИНТЕРА!

С 1 СЕНТЯБРЯ 2003г. В КОМПЛЕКТЕ С ПРИНТЕРОМ OKI B4200L ПОСТАВЛЯЕТСЯ БЕСПЛАТНЫЙ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ ТОНЕР-КАРТРИДЖ!

Выжми максимум из своего офисного монохромного принтера:

- **печатай быстро:** скорость Oki B4200L - не менее 16 стр/мин, всего 6,2 секунды ожидания до выхода первой страницы!
- **печатай бесплатно:** стандартного и дополнительного тонеров, входящих в комплект, хватит на 5000 страниц!
- **печатай много:** максимальная месячная нагрузка - до 15000 страниц!
- **печатай с комфортом:** стандартная память 8МБ, поддержка PCL6!



OKI

Oki, Network Solutions
for a Global Society

Московское представительство Oki Europe Ltd.,
тел.: (+ 7 501/095) 258-6065, www.oki.ru

- Где купить:
- Москва: NBZ Computers (095) 792-58-00, Мультимедиа Дено (095) 932-61-01
 - С.Петербург: Информ Бизнес Компьютер (812) 324-60-34, Foray (812) 327-59-93
 - Смоленск: Этна Холдинг (0812) 52-09-05
 - Екатеринбург: Оргтехника+ (3432) 71-63-68
 - Балаково: ASD (8453) 66-00-00,
 - Н.Новгород: Ником-Медиа (8312) 78-00-60

» ской точки зрения. «ДНК-компьютер считает очень медленно, если только не использовать его возможности производства параллельных вычислений», — подчеркивает МакКаскилл. Он занимался проблемами обработки информации на молекулярном уровне задолго до Адлемана, а с 1997 года работает над созданием программируемого ДНК-компьютера, который функционировал бы без вмешательства человека.



«Мы объединяем «смирительную рубашку» компьютерной программы со свободой жизни».

Проф. Джон МакКаскилл, BioMIP

«Это совсем не то, что люди понимают под традиционным компьютером», — говорит профессор МакКаскилл. Его первый ДНК-компьютер был создан примерно два года назад. Сегодня за счет использования магнитного управления и разделительных модулей некоторые элементы в ДНК-компьюте-

ре автоматизированы. Вместе с тем, данное устройство приспособлено для решения всего одной единственной задачи — проблемы Гамильтона с количеством узлов до шести. Наглядно она продемонстрирована в так называемой задаче коммивояжера, которому нужно проехать по оптимальному маршруту через различные города, посетив каждый из них лишь один раз. Проблема Гамильтона считается классической за-

Компьютеры для параллельных вычислений будут востребованы в таких областях как, например, прогнозирование погоды, криптография, добыча полезных ископаемых, фармацевтика, шахматы. «У ДНК-компьютеров на первый план выходит не скорость, а совершенно новое качество вычислительной работы: терпимость к ошибкам, способность к самоорганизации и эволюции», — разъясняет МакКаскилл. Эволюцию цифровых микросхем ученый считает делом весьма неустойчивым, поскольку малейшая ошибка в сложной структуре микросхемы способна привести к ее отказу.

Вот почему ученые обращают свои взоры в сторону биологии. Когда природа достигает более высокой ступени эволюции, она поначалу тоже допускает ошибки. Этот принцип используется в ДНК-компьютере, чтобы сделать его еще более эффективным. Ошибки при создании новых молекул вполне допустимы. Каждый новый вариант, который при этом возникает, может быть искомым решением. Таким образом, «смирительная рубашка» компьютерной программы объединяется со свободой жизни. **СНИП**

дачей для компьютеров параллельного вычисления, проверяющих все возможные пути и находящих самый оптимальный из них. Для обычного компьютера едва ли возможно отыскать подходящий алгоритм решения подобной проблемы, тем более когда количество узлов велико.



Пионеры генетики

1950 год

Эрвин Чаргаф (Erwin Chargaff) открывает, что четыре основания, составляющих молекулы ДНК, существуют в определенном соотношении друг к другу: аденин и тимин, гуанин и цитозин образуют пары только друг с другом.

1957 год

Математик **Джон фон Нейманн** (John von Neumann), интенсивно работающий над теоретическими основами компьютера, развивает идею клеточных автоматов, которые обладают способностью к самовоспроизведению.



1994 год

Леонард Адлеман экспериментальным путем доказывает возможность использования молекул ДНК для производства вычислений.



1953 год

Джейм Уотсон (James Watson) и **Фрэнсис Крик** (Francis Crick) расшифровывают структуру ДНК. В 1962 году они получают Нобелевскую премию за открытие двойной спирали.



1965 год

Маршалл Ниренберг (Marshall Nirenberg) совместно с Генрихом Матэем (Heinrich Mathaei) расшифровывает генетический код и получает в 1968 году Нобелевскую премию.





Гибридные компьютеры

Симбиоз молекулярной биологии и электроники

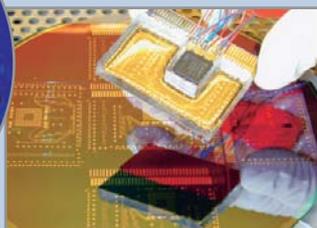
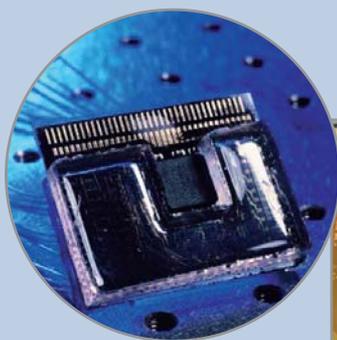
► Параллельные вычисления в ДНК-компьютере по сравнению с обычным компьютером намного эффективнее, но для решения каждой возникающей проблемы создавать новый процессор — это хлопотно. И хотя молекулярный компьютер никогда не станет таким же универсальным, как обычный, он все равно должен быть программируемым. Ученые из Санкт-Августина предложили «гибрид» — чип, у которого наряду с трубочками для переноса молекул ДНК имеется электрическая схема управления с использованием обычного компьютера.

► В этом «гибридном» чипе различные напряжения на электродах обеспечивают продвижение молекул — электрическое поле управляет биологическими молекулами и заставляет их выполнять вычислительные операции.

Этот способ не только более гибкий, но и более быстрый, чем перенос молекулярных нитей с помощью магнитного поля. Молекулы между электродами могут перемещаться за 50–100 мс. Более быстрый перенос невозможен из-за того, что молекулы разрушаются в результате химических реакций.



▲ Электроника и биология: на данной фотографии под сильным увеличением представлен участок гибридного чипа. По каналам, обозначенным желтым цветом, через электроды (светлые) течет жидкость, содержащая нити молекул



▲ Гибридный чип: в центре располагается управляющий электронный блок, снаружи в подковообразной области находятся каналы для «молекулярной жидкости»

Oki C5000



ВЫЖМИ МАКСИМУМ ИЗ СВОЕГО ПРИНТЕРА!



- **печатай быстро:** скорость печати в цвете с максимальным разрешением - до 12 страниц в минуту!
- **печатай много:** месячная нагрузка - до 50 000 страниц!
- **печатай в нужном формате:** помимо стандартных размеров, возможна печать на баннерах длиной до 1200 мм!
- **печатай с комфортом:** совместимость со всеми основными ОС, прекрасные эксплуатационные характеристики и высокая надежность!

Принтеры Oki C5000 - первые и пока единственные в мире цветные однопроходные (тандемные) устройства по цене менее 1000 Евро, созданы на базе разработанной и впервые внедренной Oki инновационной технологии.

ОКИ

Oki, Network Solutions
for a Global Society

Oki Europe Ltd., тел.: (+7 501/095) 258-6065, www.oki.ru

Где купить:
 Москва: Comline (095) 913-83-94, Мультимедиа Дено (095) 932-61-01, NBZ Group (095) 792-58-00, Printer Club (095) 258-42-02;
 Санкт-Петербург: Foray (812) 327-59-93, Информ Бизнес Компьютер (812) 324-60-34, NBZ Computers (812) 118-52-20;
 Воронеж: Риан (0732) 512-412; Екатеринбург: Оргтехника+ (3432) 71-63-68;
 Балаково: ASD (8453) 66-00-00; Самара: Железная Логика (8462) 35-58-83;
 Смоленск: Этна Холдинг (0812) 52-09-05