

# Применение высокопроизводительных компьютерных технологий в финансовых расчетах

В.Ю. Попов \*\*, М.Б. Кузьминский \*\*\*

\*Финансовый университет при правительстве РФ, Москва

\*\*Физический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова,

\*\*\* Институт органической химии им. Н.Д.Зелинского РАН,



**ОТКРЫТЫЕ  
СИСТЕМЫ**

Open Systems Publications



# Высокопроизводительные вычислительные системы



- Анализ ценообразования (оценки финансовых деривативов, оптимизация портфеля ценных бумаг, моделирование процессов на финансовых рынках,...)
- Торговые операции на финансовых рынках в режиме реального времени.
- Оперативный анализ и управление рисками (кредиты банков, страхование, расчеты VaR и т.д.)
- Оперативное формирование отчетности и соблюдения нормативных требований.
- Безопасность (обнаружение мошенничеств с кредитными картами, информационная безопасность...)

Merrill Mortgage Capital в 1992 г.  
предоставило пользователям Блумберг  
доступ к суперкомпьютеру Intel iPSC/860 с  
архитектурой гиперкуба

	KSR1
Clock cycle	50 ns
Theor. peak performance:	
Per Proc. (64-bits)	0.040 Gflop/s
Maximal (64-bits)	43.5 Gflop/s
Main memory	~34.8 GB
Memory/node	32 MB
Communication bandwidth:	
(aggregate)	1-4 GB/s
No. of processors	8-1088

РЫНОК ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ  
ВЫЧИСЛЕНИЙ (НРС)

```
graph TD; A[РЫНОК ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ (НРС)] --> B[высокоэффективные технические вычисления (НРТС)]; A --> C[высокоэффективные бизнес-вычисления (НРВС)]; B --> D[применение инструментов и технологий НРС в науке и промышленности]; C --> E[применение инструментов и технологий НРС к проблемам бизнеса];
```

высокоэффективные  
технические  
вычисления (НРТС)

применение  
инструментов и  
технологий НРС в  
науке и  
промышленности

высокоэффективные  
бизнес-вычисления  
(НРВС)

применение  
инструментов и  
технологий НРС к  
проблемам бизнеса

# Высокоэффективные бизнес-вычисления (НРВС)

```
graph TD; A[Высокоэффективные бизнес-вычисления (НРВС)] --> B[Применение инструментов и технологий НРС к проблемам бизнеса]; B --> C[Цели]; C --> D[• Оптимизации эффективности бизнеса]; D --> E[• Поддержка принятия решений]; E --> F[• Оперативный анализ]; E --> G[• Оперативный прогноз]; D --> H[• Оперативное моделирование сложных многомасштабных бизнес-процессов];
```



Применение инструментов и технологий НРС к проблемам бизнеса



## Цели

- Оптимизации эффективности бизнеса
  - Поддержка принятия решений
    - Оперативный анализ
    - Оперативный прогноз
  - Оперативное моделирование сложных многомасштабных бизнес-процессов

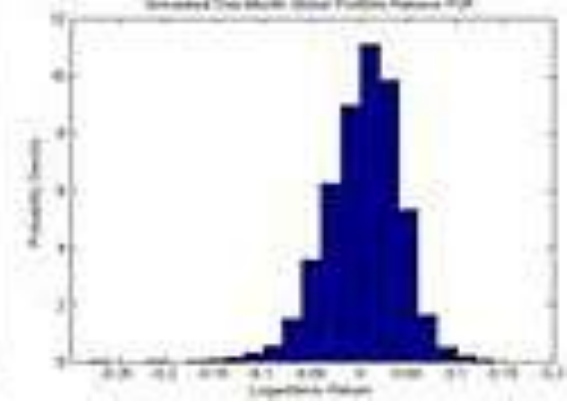
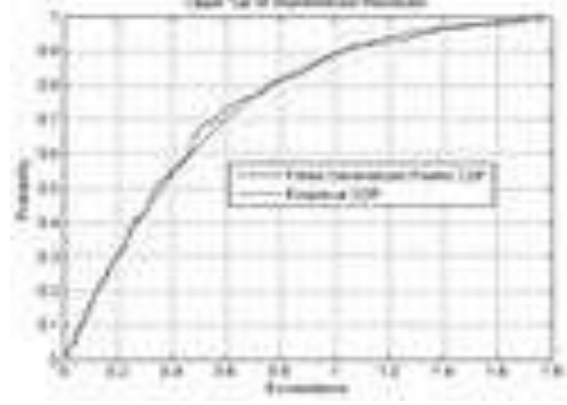
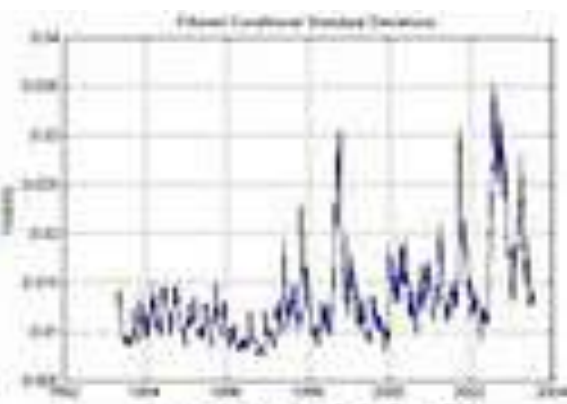
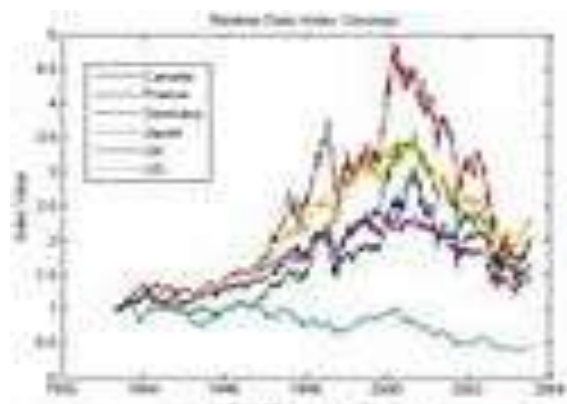
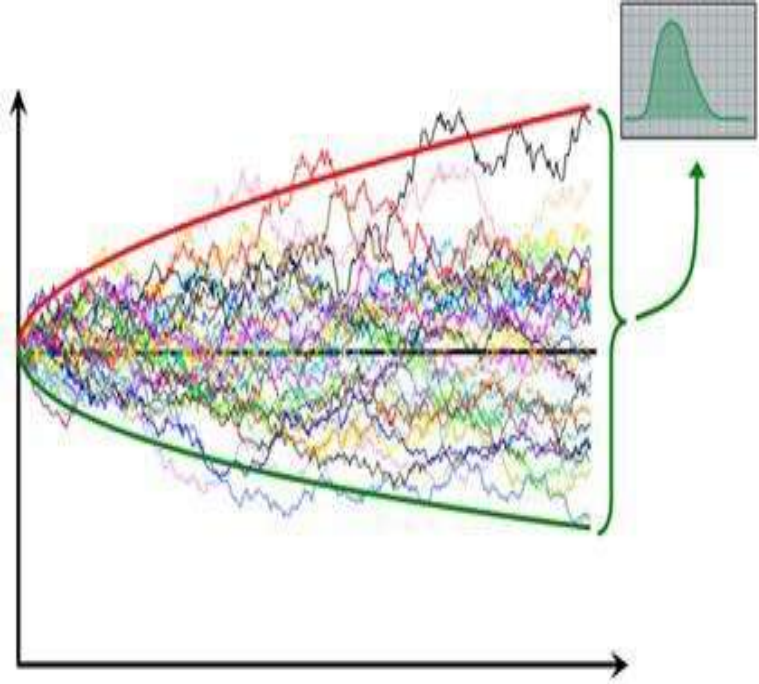
Почему же сейчас актуально использование высокопроизводительных вычислений в финансах?

I. Сложные численные проблемы риск-менеджмента:

- оперативное предсказание кризисов;
- вычисление цены риска (Value-At-Risk) и побочного риска для сложных бизнес-процессов;
- стресс-тестирование и подготовка к кризису;
- регулирование политики фирм с целью наиболее эффективного размещения капитала;
- быстрое формирование сложной отчетности (Базель III, Solvency II);

Почему же сейчас актуально использование высокопроизводительных вычислений в финансах?

II. Сложное стохастическое моделирование, использование метода Монте-Карло во вложенных стохастических моделях.





## II. Сложное стохастическое моделирование, использование метода Монте-Карло во вложенных стохастических моделях.

$$\left. \begin{aligned}
 & \sum_{i \in a,b} y^i dr^i, p^i \left[ p^i - \mu^i 1 - dr^i \right] - \tau K^i \rightarrow \max_{K^a, K^b, p^a, p^b} \\
 & dr^a = \frac{e^{-r}}{L_0^a} E_Q \left[ \max \left( L_1^a - A_1^a - Z_1^{b \rightarrow a}, 0 \right) \right] \\
 & dr^b = \frac{e^{-r}}{L_0^b} E_Q \left[ \max \left( L_1^b - A_1^b - Z_1^{a \rightarrow b}, 0 \right) \right] \\
 & A_0^i = 1 - \tau K^i + y^i dr^i, p^i p^i, i = a, b \\
 & L_0^i = y^i dr^i, p^i \mu^i, i = a, b
 \end{aligned} \right\} P_2$$

$$dL_t^i = r^i L_t^i dt + \sigma_L^i L_t^i dW_{L,t}^Q{}^i$$

$$dA_t^i = r^i A_t^i dt + \sigma_A^i A_t^i dW_{A,t}^Q{}^i$$

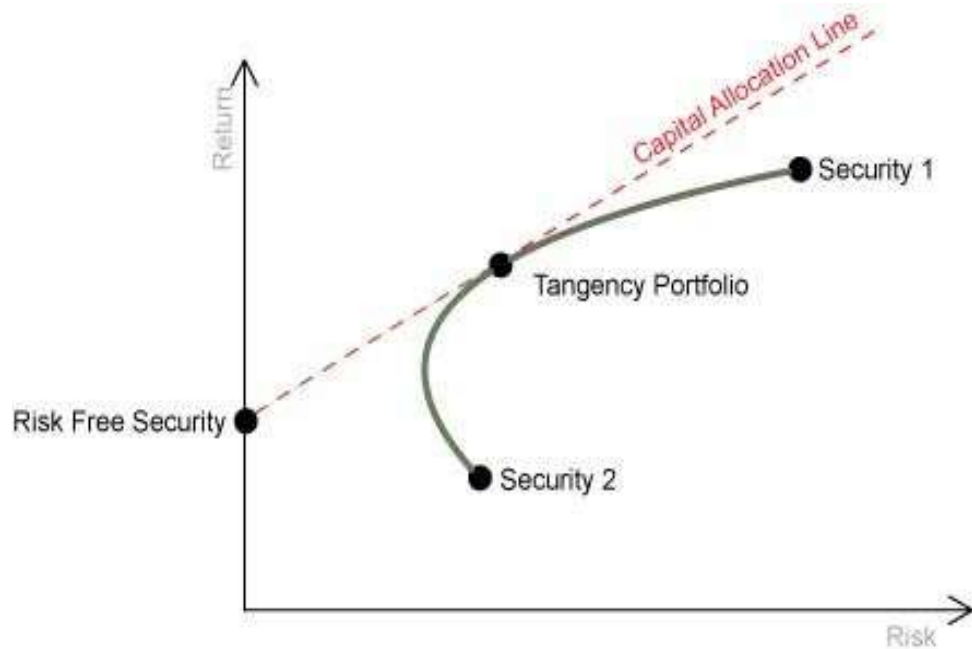
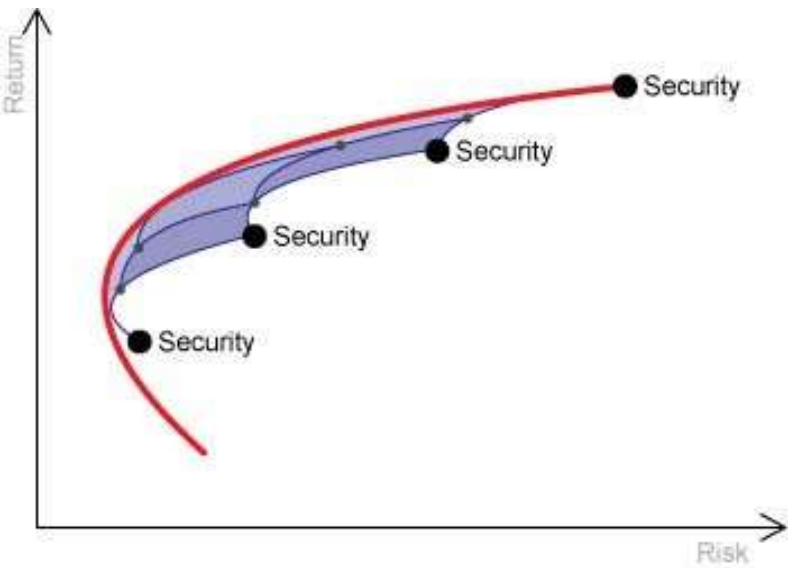
Почему же сейчас актуально использование высокопроизводительных вычислений в финансах?

III. Расчеты с использованием большого числа разнообразных сложных финансовых инструментов:

- смешанные финансово-страховые инструменты;
- гибридные (кросс-активные) портфели акций, облигаций, валюты, сырья, производных финансовых инструментов.

$$\frac{\partial V}{\partial t} + \frac{\sigma^2 S^2}{2} \frac{\partial^2 V}{\partial S^2} + r \frac{\partial V}{\partial S} \cdot S - rV = 0$$

Уравнение Блэка – Шоулса



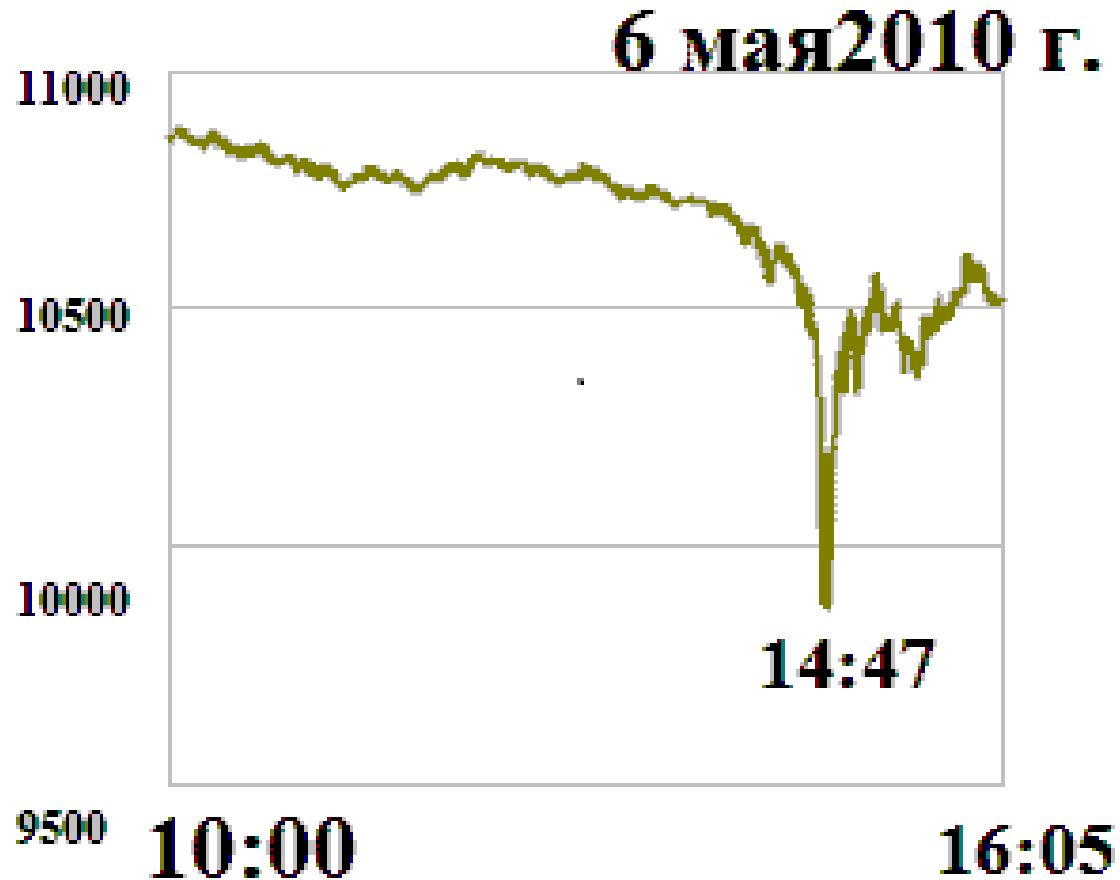
Если речь идет об оценке стоимости опциона, не являющегося европейским, аналитического решения нет, и решение необходимо искать прямым перебором по биномиальному дереву, либо используя численные методы.

Почему же сейчас актуально использование высокопроизводительных вычислений в финансах?

IV. Проведения в реальном времени расчетов ценообразования, риска, торговли:

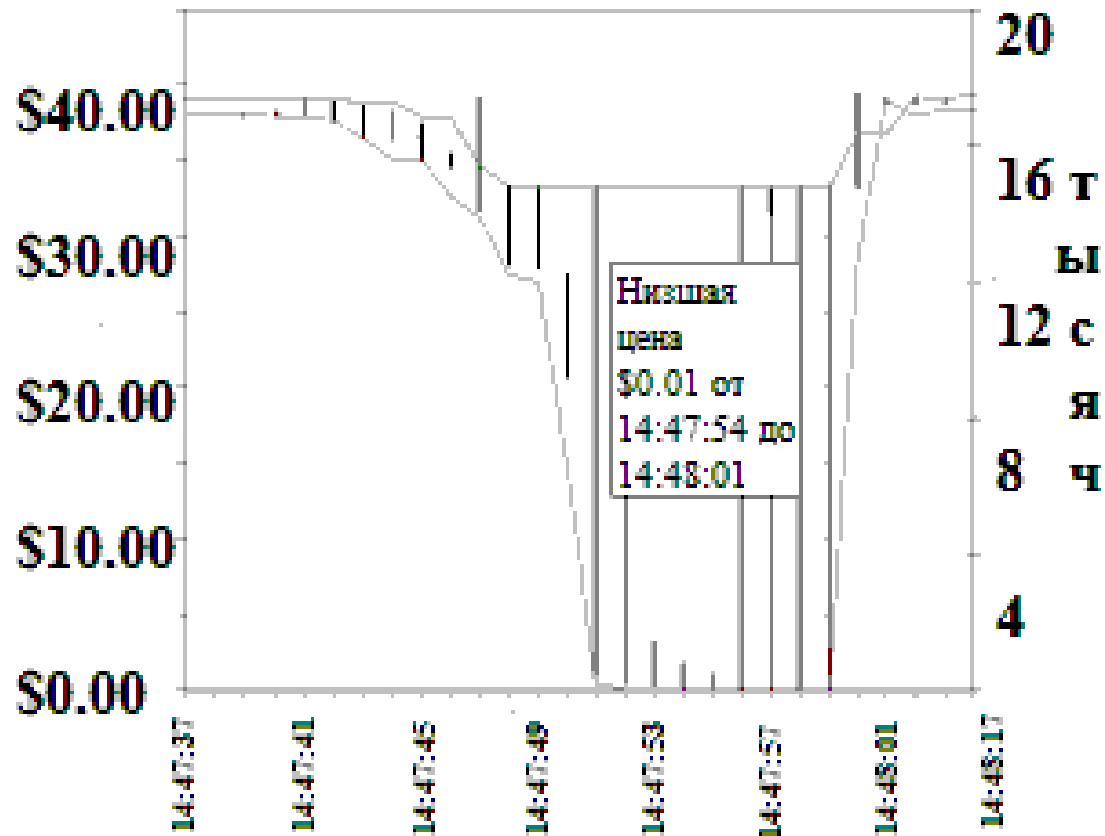
- высокочастотный трейдинг;
- динамическое хеджирование;
- многомасштабное моделирование и прогнозирование финансового рынка с учетом иррационального поведения агентов, системных нестабильностей, локальных и глобальных процессов.

# 15-минутное обрушение индекса Доу-Джонса 6 мая 2010 г. ("черный вторник")



Кривая индекса Доу-Джонса (среднее по промышленности). Индекс упал примерно на 9%.

# Динамика цены акций



Автоматическое направление приказа происходит в интервале от микросекунд до миллисекунд

# **Почему же сейчас актуально использование высокопроизводительных вычислений в финансах?**

**V. Необходимость учета в балансовых оптимизационных моделях и моделях риска постоянно происходящих процессы слияния, поглощения и реструктуризации.**



# **Почему же сейчас актуально использование высокопроизводительных вычислений в финансах?**

**Применение высокопроизводительных компьютерных вычислений (HPC-технологий) необходимо не только трейдерам и аналитикам, но и регулирующим организациям.**

## **Особенности финансовых вычислений.**

**Типичные портфели ценных бумаг, например, рассчитываемых по методу Блэка-Шоулза, имеют размерность 1000-10000.**

**Такие расчеты выполняются на узлах, скажем с графическими процессорами видеокарты (GPGPU) в диапазоне от 10 до 1000 сек, а некоторые более простые вообще могут выполняться в миллисекундном диапазоне.**

**В этом случае часто речь может идти о высокочастотной торговле ценными бумагами в реальном времени.**

**Работа в реальном времени для суперкомпьютера в общем-то скорее нетипична.**

# **Крупные финансовые организации ( Блумберг, банк JP Morgan)**

**Расчет десятков миллионов опционов.**

**JP Morgan использует у себя свыше 1000 узлов графическими процессорами видеокарты (GPUs)**

**Блумберг- свыше 200.**

**Банк J.P. Morgan сократил время расчетов рисков с нескольких часов до нескольких минут с помощью графических процессоров NVIDIA Tesla.**

# Применение ПЛИС (FPGA)

Анализ	До внедрения FPGA	При использовании FPGA	Ускорение
Блэк-Шоулзовский расчет (SP FP) 2М точек	2.3 М экспериментов/с на Pentium 4/2.8 ГГц	299 М экспериментов/с	130X
ВМ финансовый анализ	5М путей 6300 сек на Pentium 4/1.5 ГГц	242 сек	26X

**Использованный FPGA: Altera Stratix III 48 GFLOPS (SP)**

# Технологии “Big Data”

Суперкомпьютерные системы теперь применяются только в наиболее крупных организациях типа того же Bloomberg и используются они в составе больших центров обработки данных.

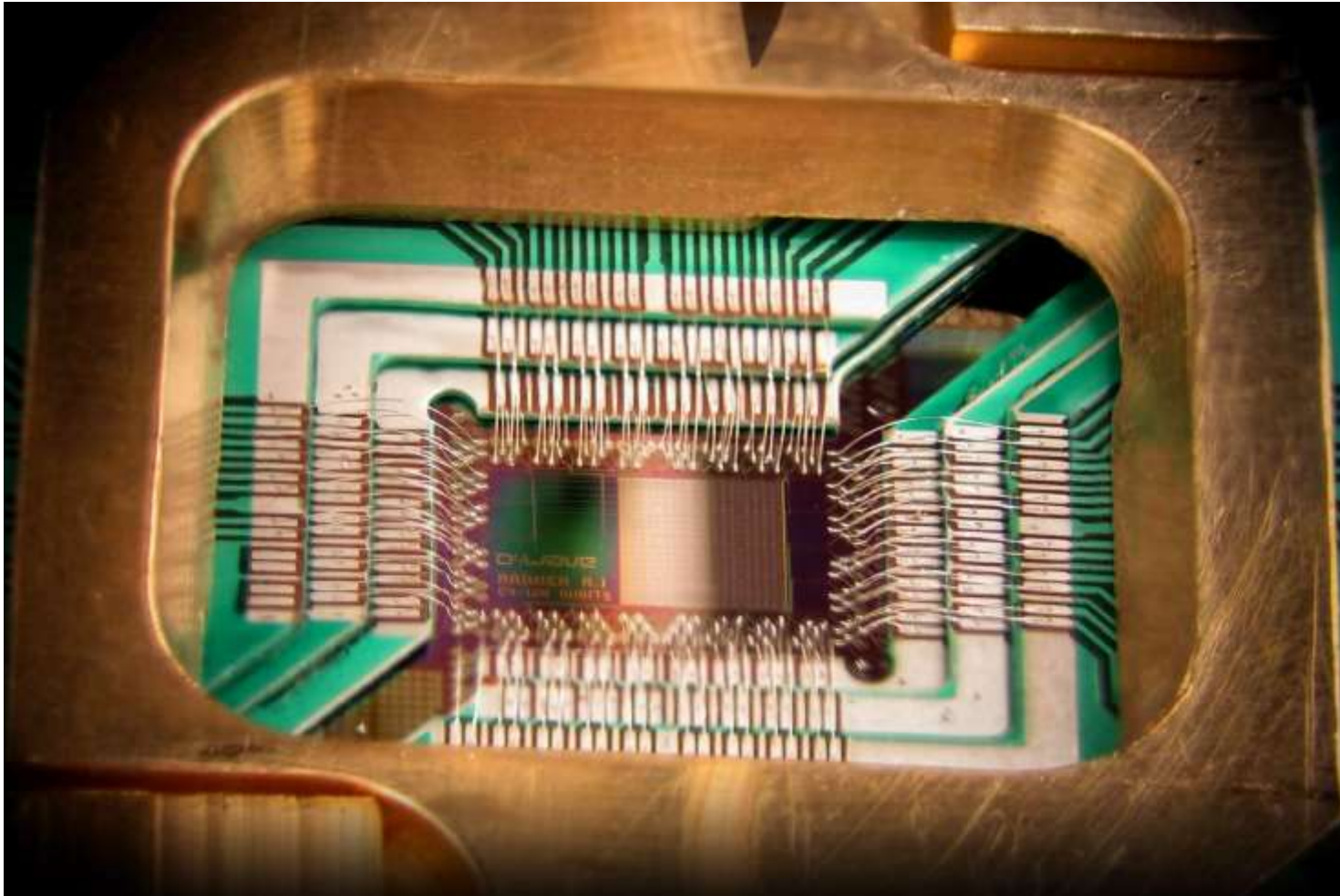
Тогда там встают обычные для суперкомпьютерных центров проблемы - например, электропитания (для ЭВМ и систем их охлаждения) и нехватки площадей. Особенно на последнее обращают внимание в Лондоне, который часто называют "финансовой столицей мира".

**Особенностью финансовых расчетов является почти идеальное ("естественное") распараллеливание, когда речь идет о большом наборе независимых расчетов, например, для разных ценных бумаг.**

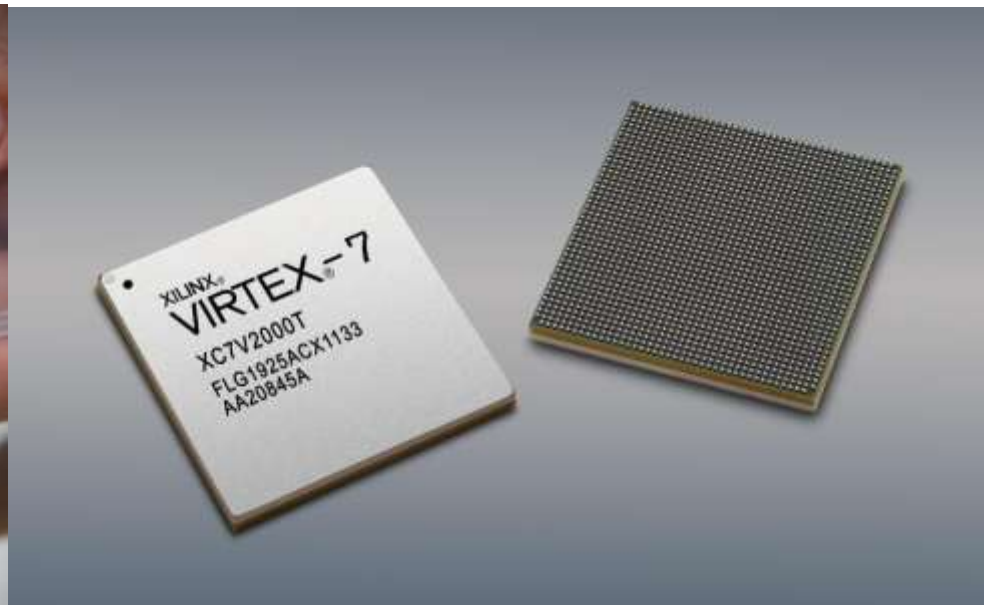
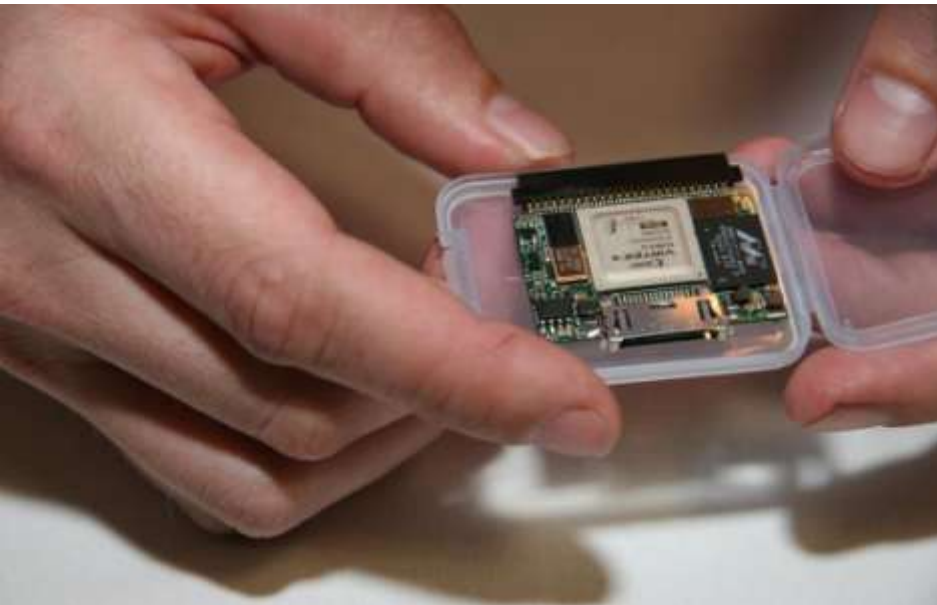
**Поэтому, возможно применение распределённых вычислений, в которой «виртуальный суперкомпьютер» представлен в виде кластеров, соединённых с помощью сети, слабосвязанных гетерогенных компьютеров, работающих совместно для выполнения большого объема операций (GRID-технологии).**

**Также возможно применение не только GRID, но и облачных технологий, например для расчета большого числа американских опционов**

## D-Wave 128-Qubit Superconducting Adiabatic Quantum Processor



## Field-Programmable Gate Arrays – Computational Pipeline for Dataflow

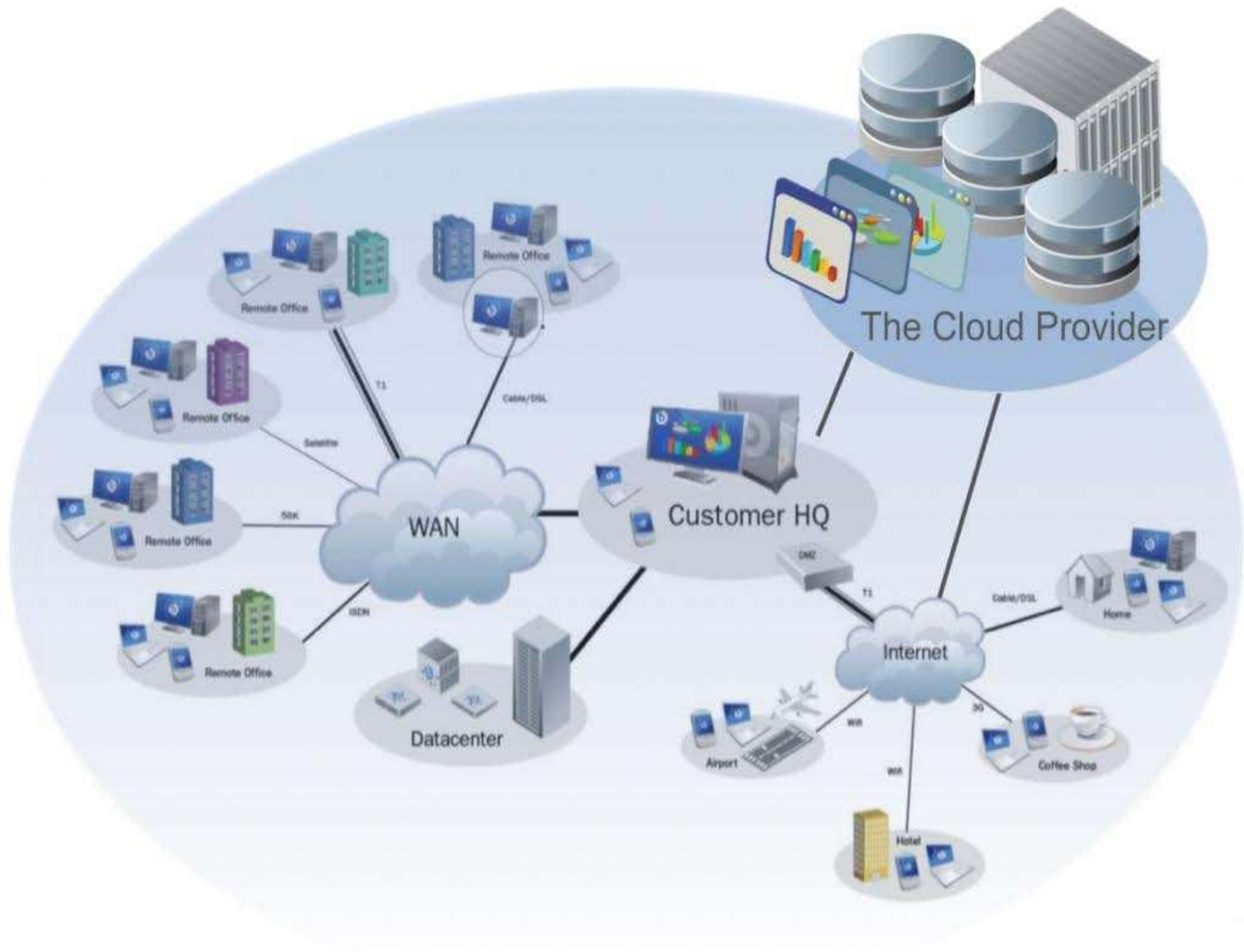




## NVIDIA (GeForce, Tesla, Kepler)



## The Grid Has Become a Cloud



**Очень интересный проект HPCFinance,  
который, на наш взгляд, наиболее полно  
раскрывает возможные области приложения  
высокопроизводительных вычислений в  
финансовой сфере.**

[URL:http://www.hpcfinance.eu/](http://www.hpcfinance.eu/)

**Спасибо за  
внимание!**