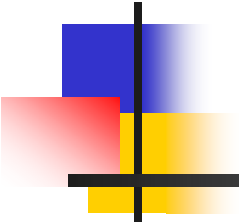
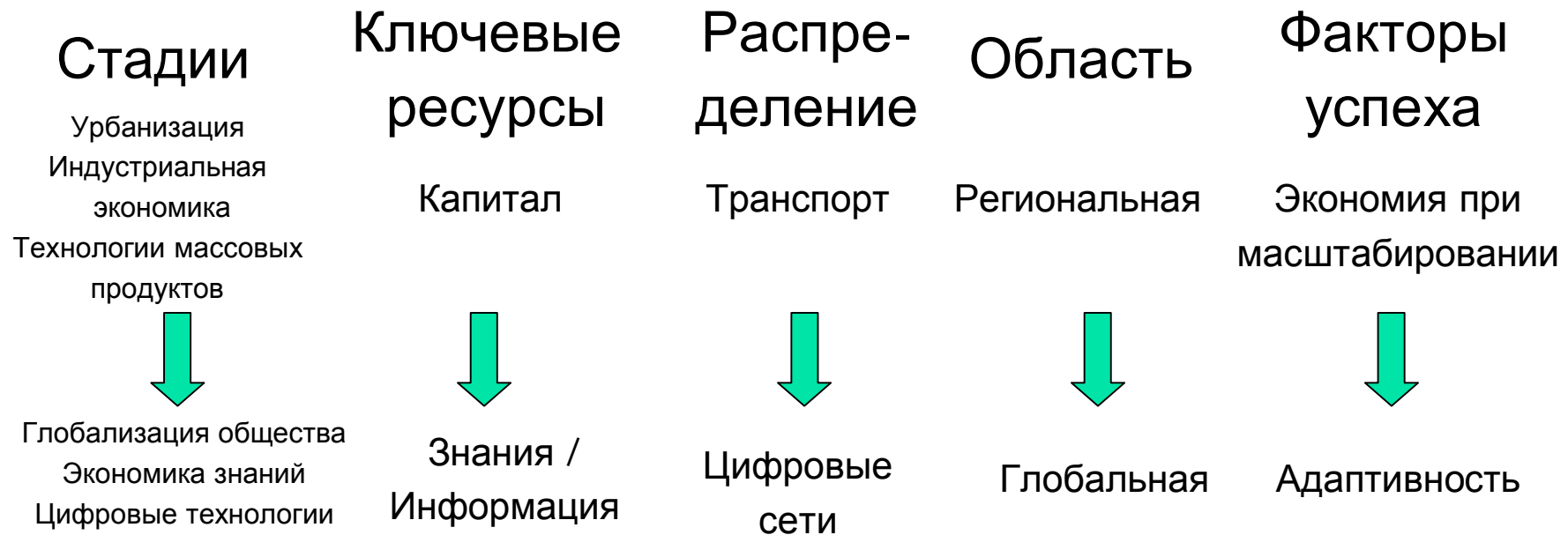


# Рандомизация, усреднение и мультиагентные технологии в извлечении знаний и управлении



Олег Николаевич Граничин  
Санкт-Петербургский  
государственный университет

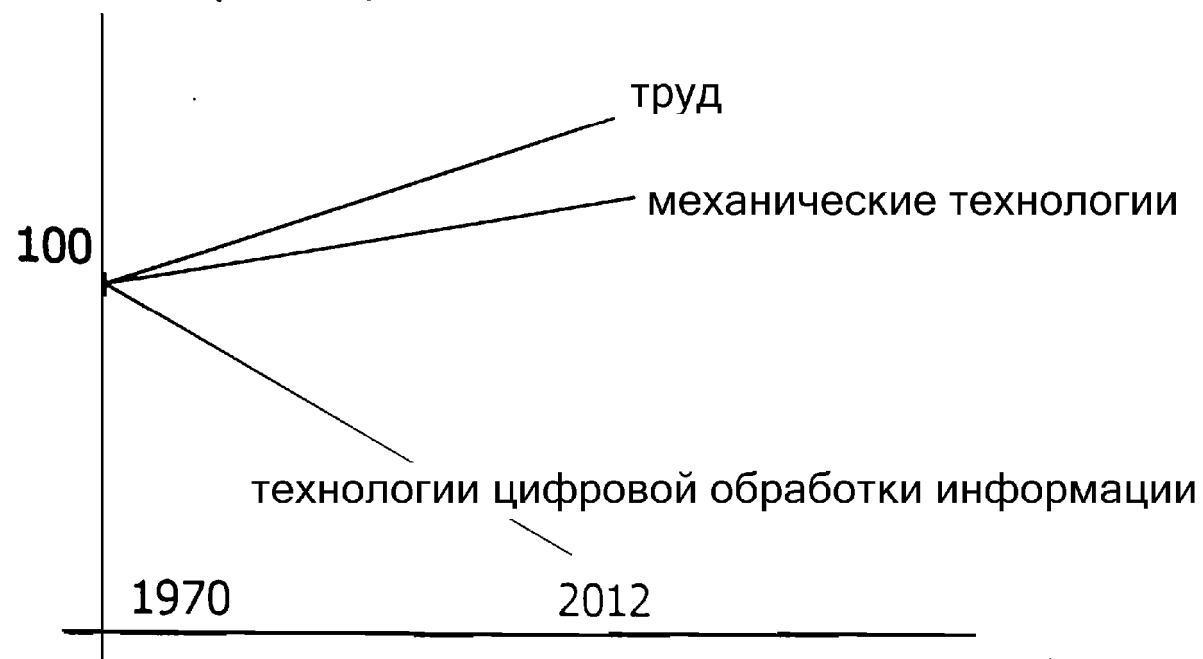
# Сдвиги в технологиях XXI в.



- Степень сложности в экономике и обществе растет

# Цифровые технологии в сравнении с механическими

Цена на единицу полезности





# Следствия роста сложности

---

Для живущих и работающих в сложных условиях частых непредсказуемых разрушительных событий

- хорошо структурированные общества и бизнесы не могут реагировать быстро на непредвиденные события
- неопределенности генерируют тревогу
- неопределенности дают возможности



# Принятие решений в реальном времени

---

Критические факторы:

- скорость – надо принять и реализовать решение до наступления следующего «разрушительного» события
- интеллект (природные и/или искусственный) – надо достичь цели в условиях неопределенности



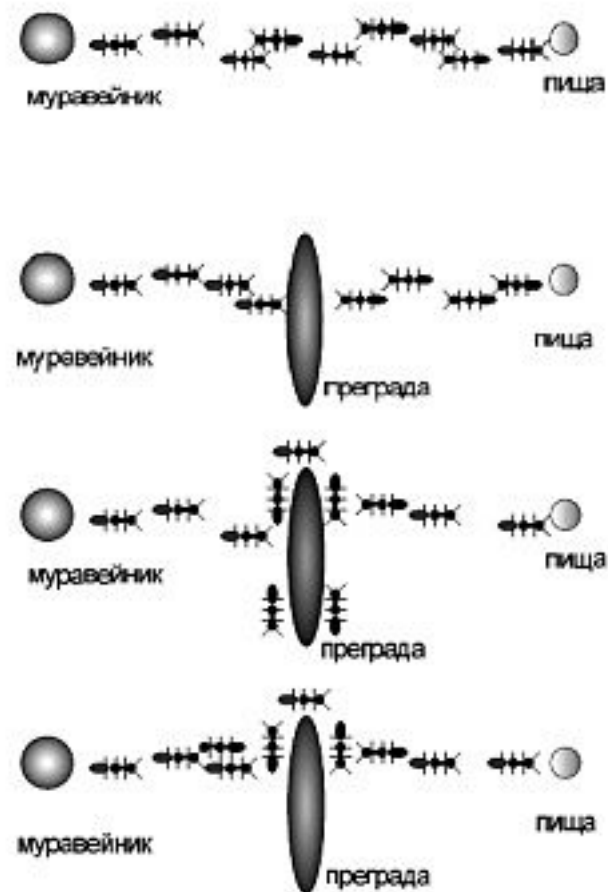
# Интеллект

---

Интеллект – это то, что

- отличает человека от компьютера, действующего строго по заложенной в него программе,
- позволяет человеку ориентироваться в сложной обстановке, иметь дело с нечетко поставленными задачами, адаптироваться к меняющимся условиям.

# А есть ли интеллект у колонии муравьев?



# Информационные технологии



---

«30 школа», Санкт-Петербург, 07 июня 2013 г.





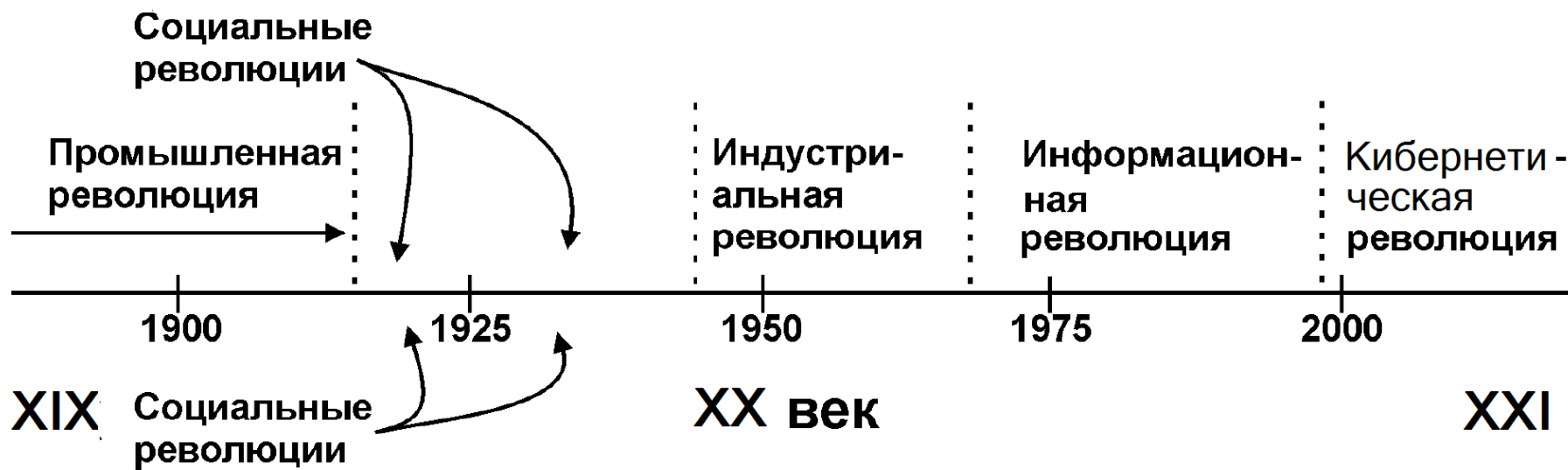
# Смена парадигмы

---

Надо ли разделять

- процессы обработки данных
- и управления?

# Кибернетическая революция





# Кибернетика

---

- Н.Винер: «информационно-управленческую связь в разнообразных явлениях и процессах («живых» и машинных) надо рассматривать как неотъемлемую их составную часть»
- Кибернетика – область науки, техники и биологии

# Разделение кибернетики к 1970-м



Роботы,  
Квантовые компьютеры



# Задачи кибернетики к 2050

---

Доклад Мюррея CDC-2000

- Управление через Интернет
- Асинхронная теория управления
- Динамически реконфигурируемое интеллектуальное управление
- Перепрограммировать систему управления бактерией
- Создание команды роботов-футболистов



# Информация, сигналы, данные, знания и управления

---

- Что такое



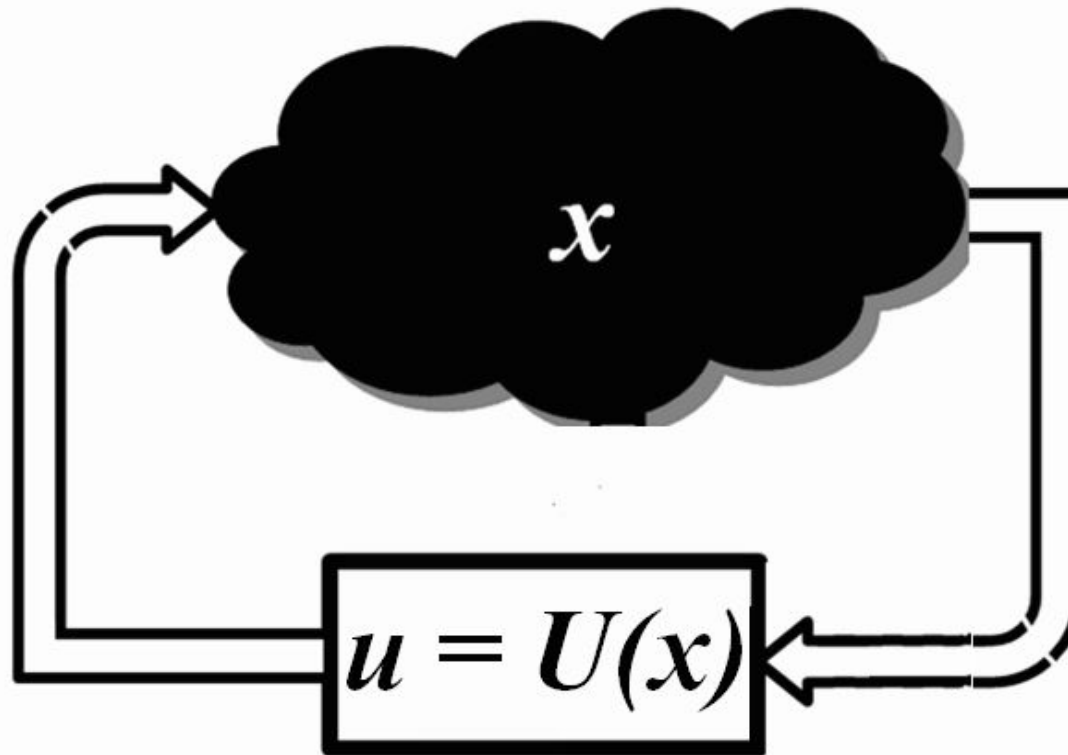
**Информация ?**

# Обратная связь по СОСТОЯНИЮ

- $x$  – информация (состояние системы)
- $u$  – управление

$$u = U(x)$$

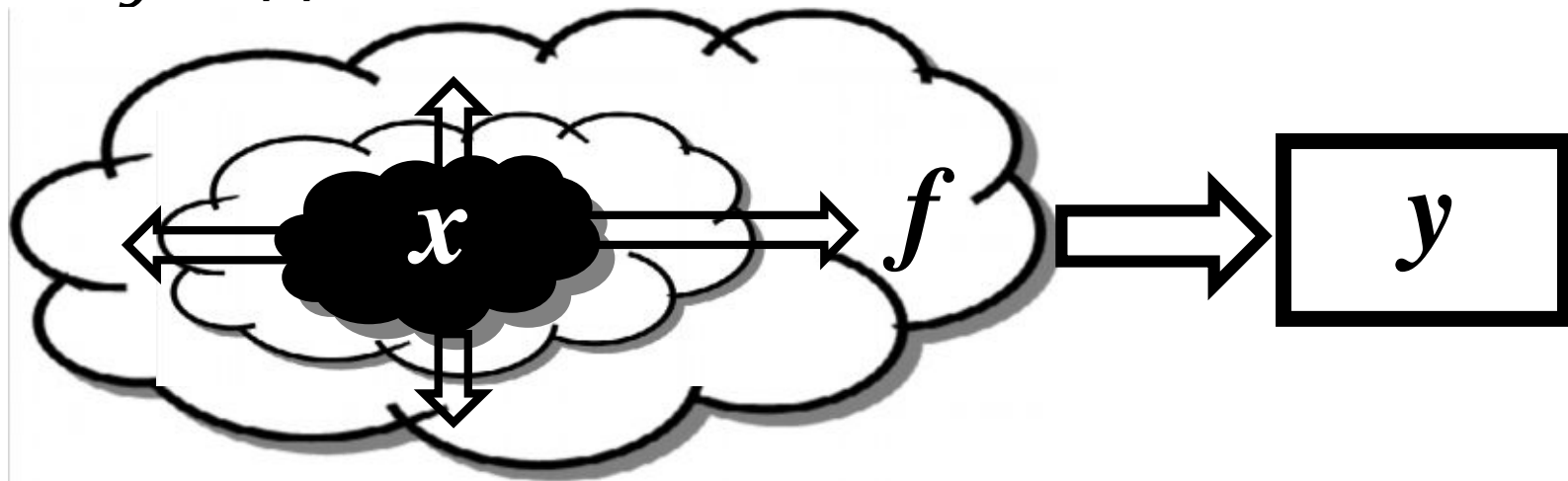
# Взаимное влияние информации и управления





# Сигналы и данные

- $f$  – сигналы
- $y$  – данные





# Обратная связь по наблюдениям

---

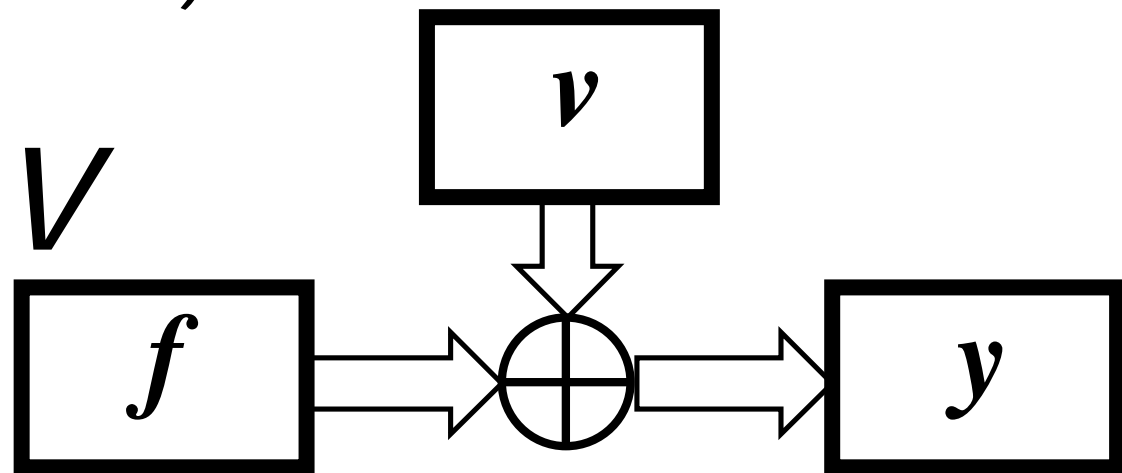
- $y$  – наблюдения (данные)
- $u$  – управление

$$u = U(y)$$

# Наблюдения с помехами

- $f$  – сигнал
- $y$  – наблюдения (данные)
- $v$  – ошибки (помехи)

$$y = f + v$$



# Типы помех и усреднение наблюдений



---

$$y = f + v$$

# Типы помех и усреднение наблюдений



---

$$y = f + v$$

- помех нет:  $f = y$

# Типы помех и усреднение наблюдений



---

$$y = f + v$$

- помех нет:  $f = y$
- помехи малы:  $f \approx y$

# Типы помех и усреднение наблюдений

$$y = f + V$$

- помех нет:  $f = y$
- помехи малы:  $f \approx y$
- помехи малы с течением времени:  $y \rightarrow f$

# Типы помех и усреднение наблюдений

$$y = f + v$$

- помех нет:  $f = y$
- помехи малы:  $f \approx y$
- помехи малы с течением времени:  $y \rightarrow f$
- помехи нормальные (гауссовские)

$$\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T y(t) = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T f(t) + \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T v(t) \Rightarrow \bar{f} \approx \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T y(t)$$



# Типы помех и усреднение наблюдений

$$y = f + v$$

- помех нет:  $f = y$
- помехи малы:  $f \approx y$
- помехи малы с течением времени:  $y \rightarrow f$
- помехи нормальные (гауссовские)

$$\frac{1}{T} \sum_{\mathbb{H}} y(t) = \frac{1}{T} \sum_{\mathbb{H}} f(t) + \frac{1}{T} \sum_{\mathbb{H}} v(t) \Rightarrow f \approx \frac{1}{T} \sum_{\mathbb{H}} y(t)$$

0

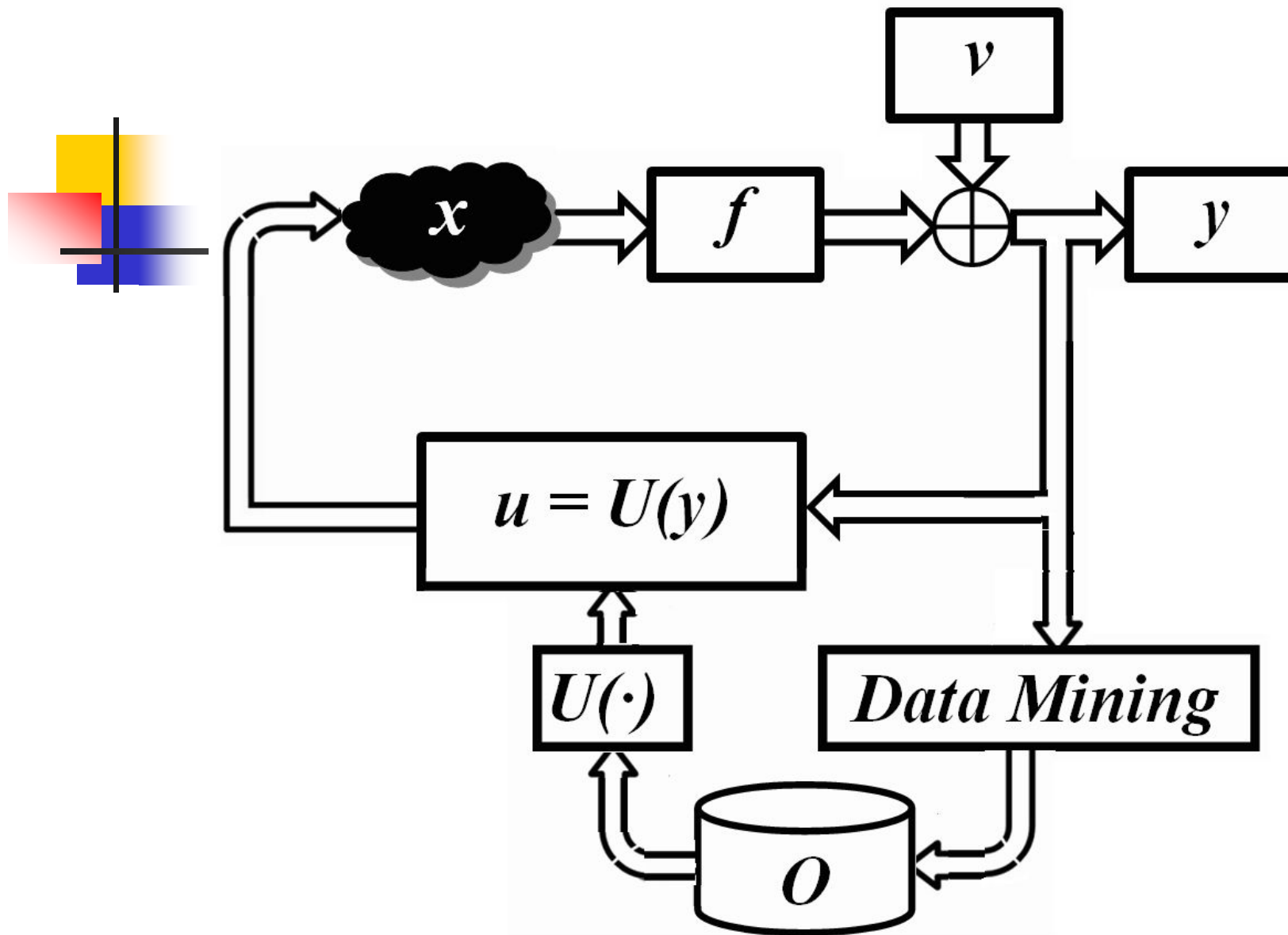


# Произвольные помехи?

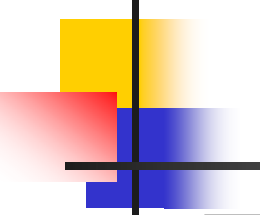
---

$$y = f + v$$

- помех нет
- помехи малы
- помехи малы с течением времени
- помехи нормальные (гауссовские)
- помехи произвольные



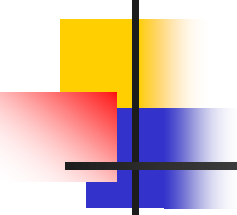
# Соединение процессов обработки данных и управления



---

## Примеры:

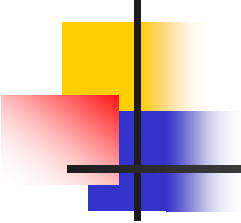
- Усреднение наблюдений и рандомизация
- Мультиагентные технологии
- Эффективность замкнутых стратегий в условиях неопределенностей



# Пример: оценивание неизвестного параметра

---

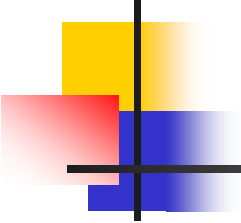
$$f(t) = x \cdot u(t)$$



# Пример: оценивание неизвестного параметра

---

$$f(t) = x \cdot u(t)$$
$$y(t) = x \cdot u(t) + v(t), \quad t = 1, 2, \dots, T$$



# Пример: оценивание неизвестного параметра

---

$$f(t) = x \cdot u(t)$$

$$y(t) = x \cdot u(t) + v(t), \quad t = 1, 2, \dots, T$$

Мы можем

- выбирать входы  $u(t)$
- измерять выходы  $y(t)$

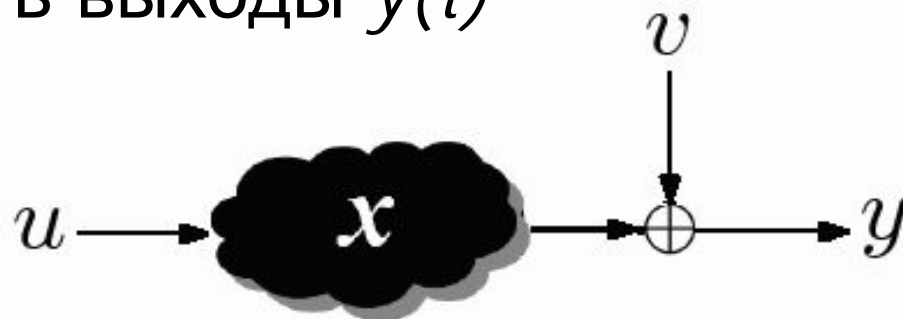
# Пример: оценивание неизвестного параметра

$$f(t) = x \cdot u(t)$$

$$y(t) = x \cdot u(t) + v(t), \quad t = 1, 2, \dots, T$$

Мы можем

- выбирать входы  $u(t)$
- измерять выходы  $y(t)$



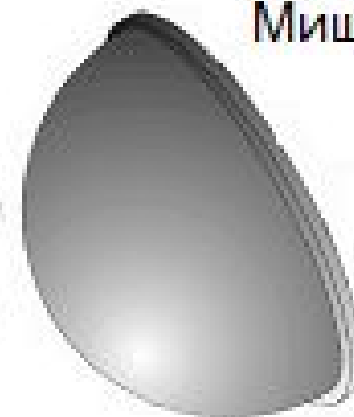


# Модель эксперимента

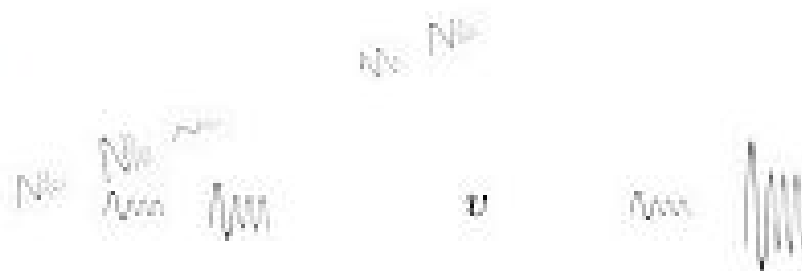
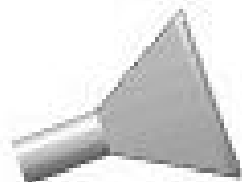
Инжектор



Мишень



Детектор



Помеха

# Усреднение наблюдений при нормальных помехах

$$x = 3$$

$t$	1	2	3	4	5	6	7
$u_t$	1	1	1	1	1	1	1
$v_t = rand() - 0.5$							
$y_t$	2.9	2.8	3.2	3.3	2.6	3.4	2.7
$\hat{\theta}_t$	2.9	2.85	2.97	3.05	2.96	3.03	2.99

$$\hat{\theta}_t = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T y(t)$$

При произвольных внешних помехах

**НЕТ РЕШЕНИЯ** в классе

детерминированных алгоритмов!

$$x = 3$$

$t$	1	2	3	4	5	6	7
$u_t$	1	1	1	1	1	1	1
$v_t = rand() - 0.5 + m, m = 1$							
$y_t$	3.9	3.8	4.2	4.3	3.6	3.9	4.2
$\hat{\theta}_t$	3.9	3.85	3.97	4.05	3.96	4.03	3.99

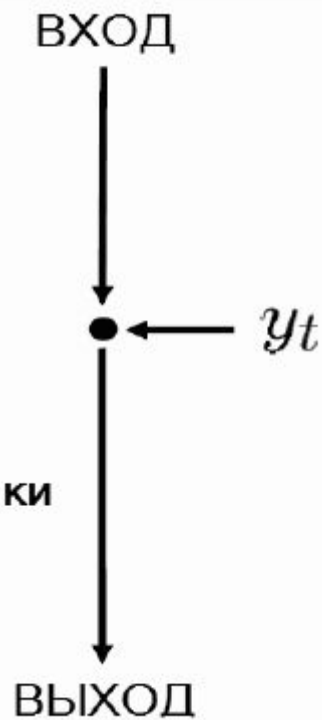
$$\hat{\theta}_t = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T y(t) \approx x + m$$

# Два типа алгоритмов

а)

ШАГ 1:  
выбор  $u_t$

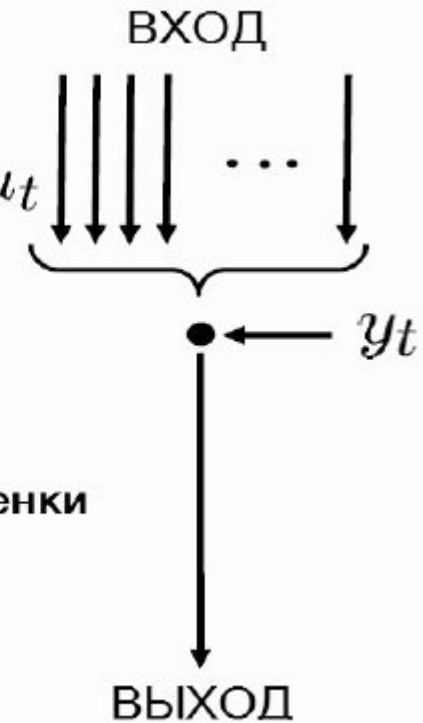
ШАГ 2:  
вычисление оценки



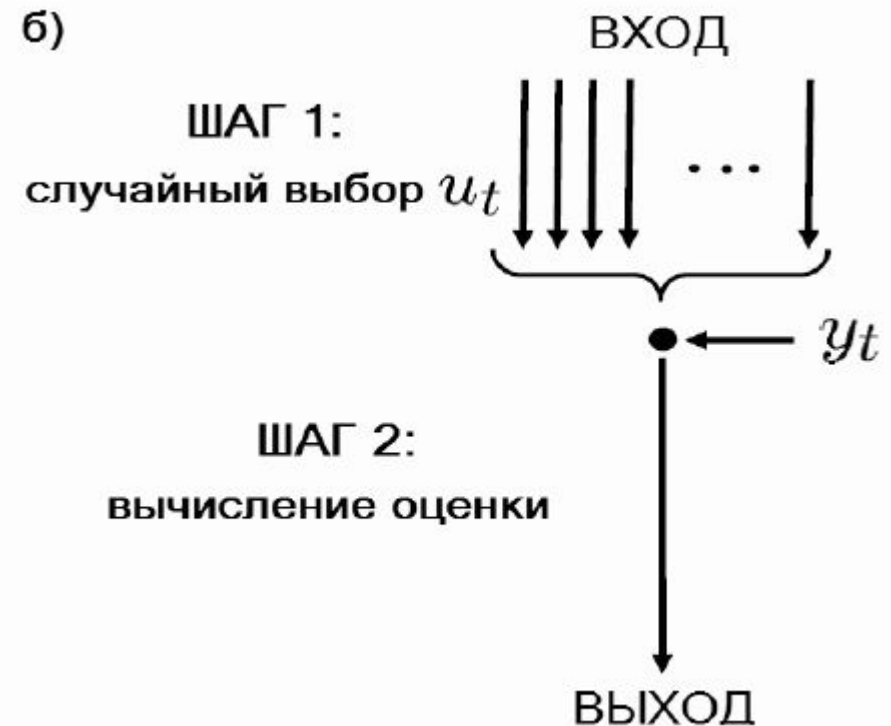
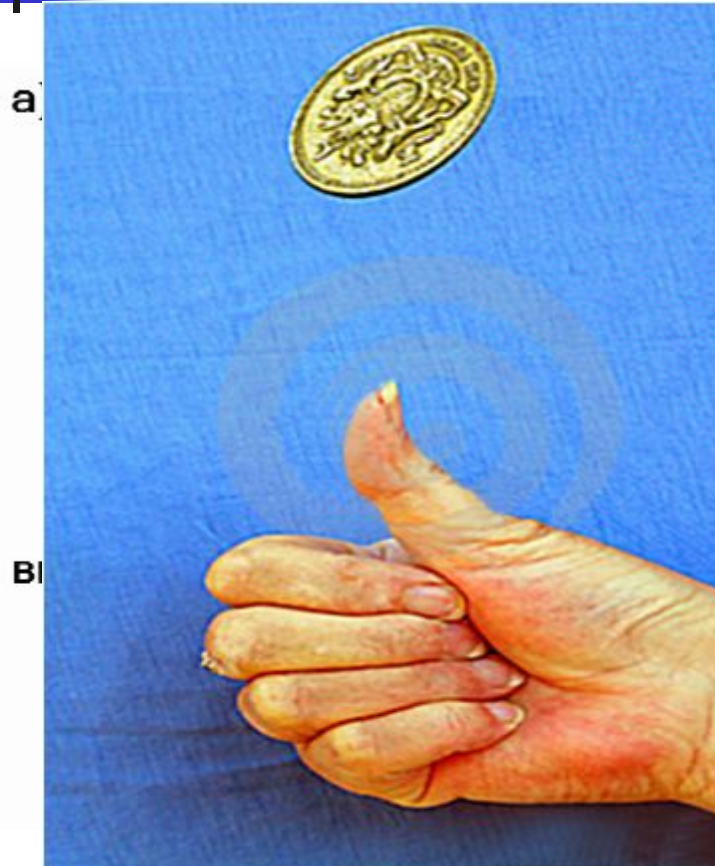
б)

ШАГ 1:  
случайный выбор  $u_t$

ШАГ 2:  
вычисление оценки



# Два типа алгоритмов





# «Обогащенные» наблюдения

На первом шаге

$$u_t = \begin{cases} +1, & \text{с вероятностью } \frac{1}{2}, \\ -1, & \text{с вероятностью } \frac{1}{2}, \end{cases}$$

На втором шаге формируем величины

$$\bar{y}_t = u_t \cdot y_t.$$

Для “новой” последовательности наблюдений

$$\bar{y}_t = \mathbf{x} \cdot \bar{u}_t + \bar{v}_t, \quad \bar{u}_t = u_t^2 \text{ и } \bar{v}_t = u_t \cdot v_t.$$

# Предварительный результат

$$\mathbf{x} = 3$$

$t$	1	2	3	4	5	6	7
$u_t$	-1	1	-1	1	1	1	-1
$v_t = \text{rand}() - 0.5 + m, m = 1$							
$y_t$	-2.1	3.8	-1.8	4.3	3.6	4.4	-2.3
$\bar{u}_t$	1	1	1	1	1	1	1
$\bar{y}_t$	2.1	3.8	1.8	4.3	3.6	4.4	2.3
$\hat{\theta}_t$	2.1	2.95	2.57	3.00	3.12	3.33	3.19

# Гарантированное множество

1. Пусть  $M = 8$ , выберем случайно семь ( $= M - 1$ ) разных групп по четыре индекса  $T_1, \dots, T_7$ .
2. Вычислим семь частичных сумм  $\bar{s}_i = \sum_{j \in T_i} \bar{y}_j$ ,  $i = 1, \dots, 7$ .
3. Сформируем доверительный интервал

$$\hat{\Theta} = [\min_{i \in 1:7} \bar{s}_i; \max_{i \in 1:7} \bar{s}_i],$$

содержащий  $\theta^*$  с вероятностью  $p = 75\%$  ( $= 1 - 2 \cdot 1/M$ ).

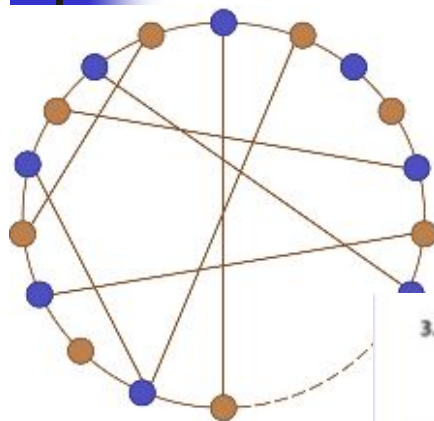


# Результат

$i$	$T_i$	$\bar{s}_i$
1	{2, 3, 4, 5}	3.375
2	{1, 3, 4, 6}	3.15
3	{2, 3, 5, 6}	3.4
4	{1, 2, 6, 7}	3.15
5	{1, 4, 5, 7}	3.075
6	{2, 3, 5, 7}	2.875
7	{1, 4, 6, 7}	3.275

- интервал  $\hat{\Theta} = [2.875; 3.4]$  содержит  $\mathbf{x}$  с вероятностью  $p = 75\%$ ,

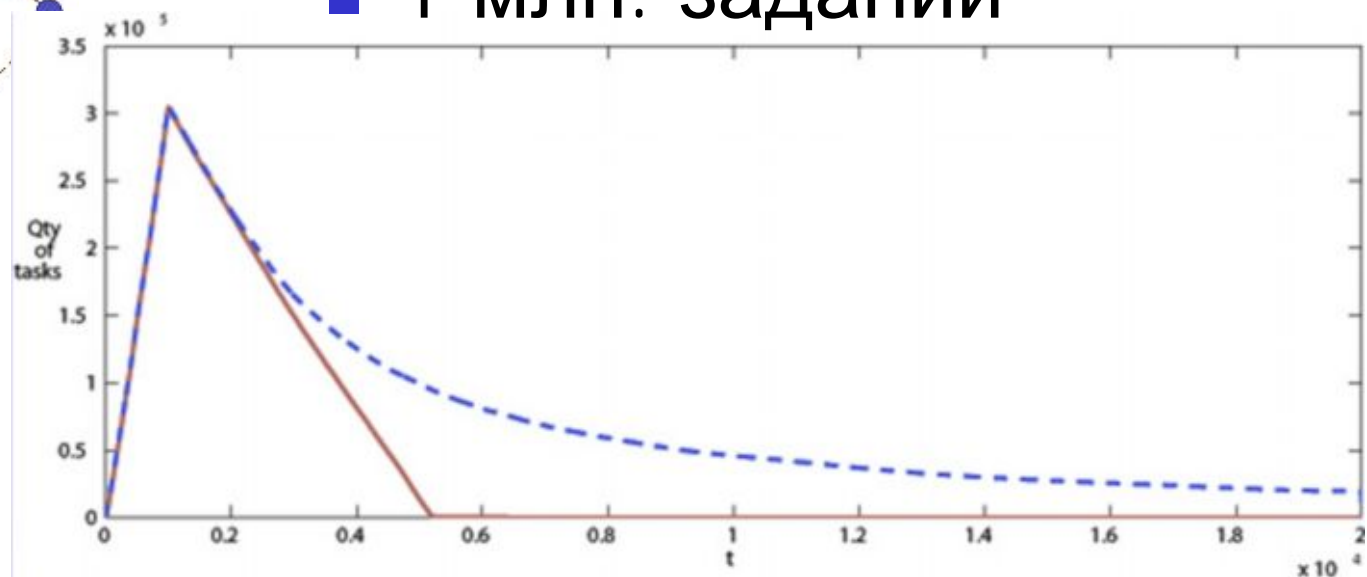
# Мультиагентные технологии



Сеть из 1024 узлов

- 2048 связей

- 1 млн. заданий



# Эффективность замкнутых стратегий в условиях неопределенностей

Для ОУ задано  $y(0) = 1$ , и динамика при  $t = 1, 2$  описывается уравнением

$$y(t) + ay(t-1) = u(t-1) + v(t)$$

с неопределенностями  $v(t)$  и  $a$  двух типов:

- динамические возмущения  $v(t)$  неизвестны и ограничены для всех  $t$ :  $|v(t)| \leq 1$ , но могут меняться со временем;
- коэффициент модели  $a$  также неизвестен и ограничен:  $1 \leq a \leq 5$ , но он не может изменяться со временем.

Можно выбирать входы  $u(0)$  и  $u(1)$ . Цель – минимизировать  $|y(2)|$ .

При сравнении качества минимаксной оптимизации для двух классов допустимых стратегий управления:

- программных (всевозможные пары  $u(0), u(1)$ ) и
- замкнутых (в которых в момент времени  $t = 1$  можно использовать наблюдение  $y(1)$  и управление  $u(0)$ ), получаются два существенно разных ответа

8,25 и 2,125

# Student Best Paper Finalist

## Konstantin Amelin

Is hereby selected as a

Student Best Paper Finalist  
at the 2012 American Control Conference  
June 27–29, Montréal, Canada

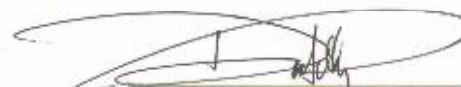
for authoring and presenting the paper

**“Randomized Controls for Linear Plants and Confidence Regions  
for Parameters under External Arbitrary Noise”**

on behalf of the 2012 ACC Student Best Paper Committee



Tariq Samad, General Chair



Dawn Tilbury, Program Chair





САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ



Благодарю за внимание!

Вопросы?

---

«30 школа», Санкт-Петербург, 07 июня 2013 г.