Стохастическое программирование и мультиагентные технологии II

Олег Николаевич Граничин

Санкт-Петербургский государственный университет

2-я лекция на VIII Традиционной школе Б.Т.Поляка
“Управление, информация и оптимизация”
16 июня 2016

План

1. Введение (Introduction)
2. Консенсусное управление (Consensus)
   - Планирование группы БПЛА (UAV Group Planning)
   - Балансировка загрузки (Load balancing)
3. Как действительно устроены сложные системы? (What is an actual structure of complex systems?)
4. Самолет с “перышками” (Airplane with “Feathers”)
5. Заключение (Conclusion)

План

1. Введение (Introduction)
2. Консенсусное управление (Consensus)
   - Планирование группы БПЛА (UAV Group Planning)
   - Балансировка загрузки (Load balancing)
3. Как действительно устроены сложные системы? (What is an actual structure of complex systems?)
4. Самолет с “перышками” (Airplane with “Feathers”)
5. Заключение (Conclusion)

Интеллектуальные встроенные системы

Информационные технологии

Усложнение сети взаимодействий

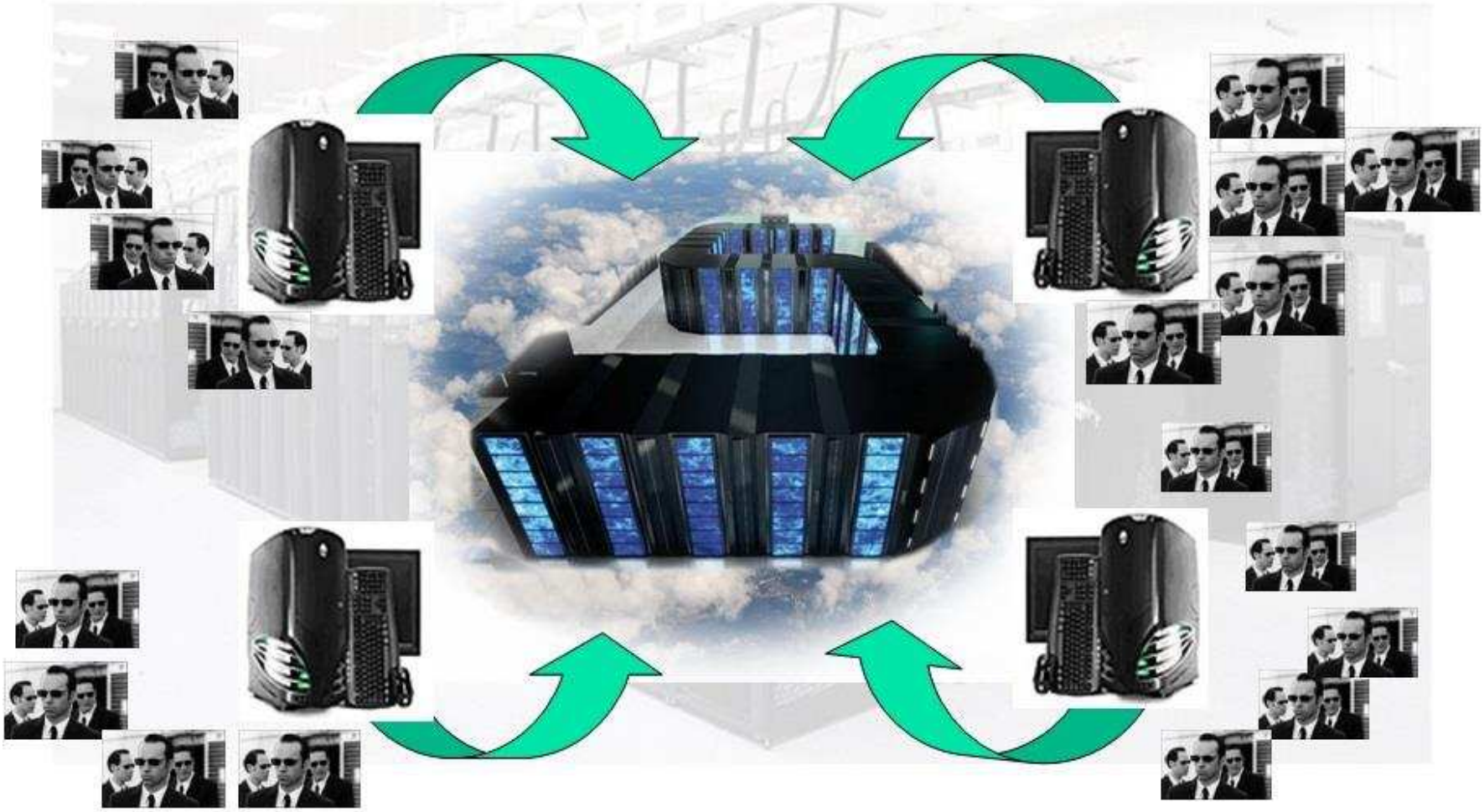
Усложнение сети взаимодействий

Усложнение сети взаимодействий

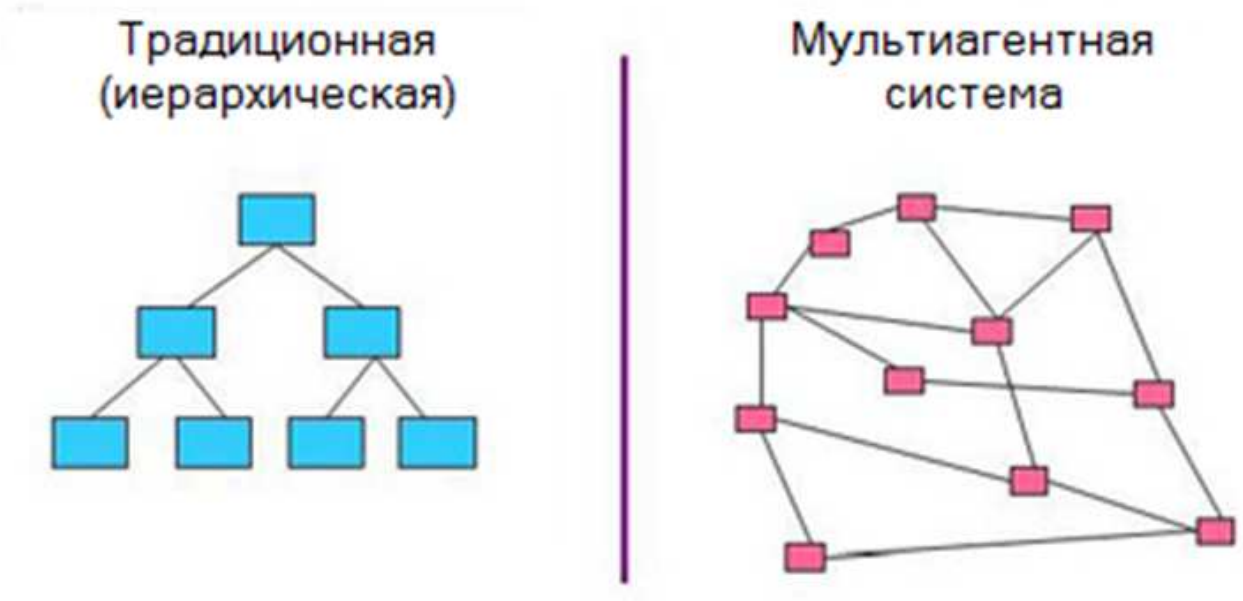
Усложнение сети взаимодействий

Усложнение сети взаимодействий

Время сбора и подготовки данных критично



Мультиагентные системы (начиная с 1990х)



В качестве основы были взяты достижения в следующих областях:

- системы искусственного интеллекта (Artificial Intelligence)
- параллельные вычисления (Parallel Computing)
- распределенное решение задач (Distributed Problem Solving)

Рациональность агента

У каждого агента есть:

- убеждения (beliefs) — представление о текущем состоянием среды
- желания (desires) — состояние, в которое агент стремится
- намерения (intentions) — множество избранных, совместимых и достижимых желаний

Интеллектуальный агент обладает следующими свойствами:

- реактивность (reactivity) — ощущает внешнюю среду и реагирует на изменения в ней, совершая действия, направленные на достижение целей
- проактивность (pro-activeness) — показывает управляемое целями поведение, проявляя инициативу, совершая действия, направленные на достижение целей
- социальность (social ability) — взаимодействует с другими сущностями внешней среды (другими агентами, людьми и т. д.) для достижения целей

Адаптивность агента

Сложность формулирования содержательных практически значимых задач и невозможность априорного точного задания всех условий функционирования выдвигают адаптивные постановки проблем, выделяя такую особенность агентов, как

- адаптивность — способность автоматически приспосабливаться к неопределенным и изменяющимся условиям в динамической среде

План

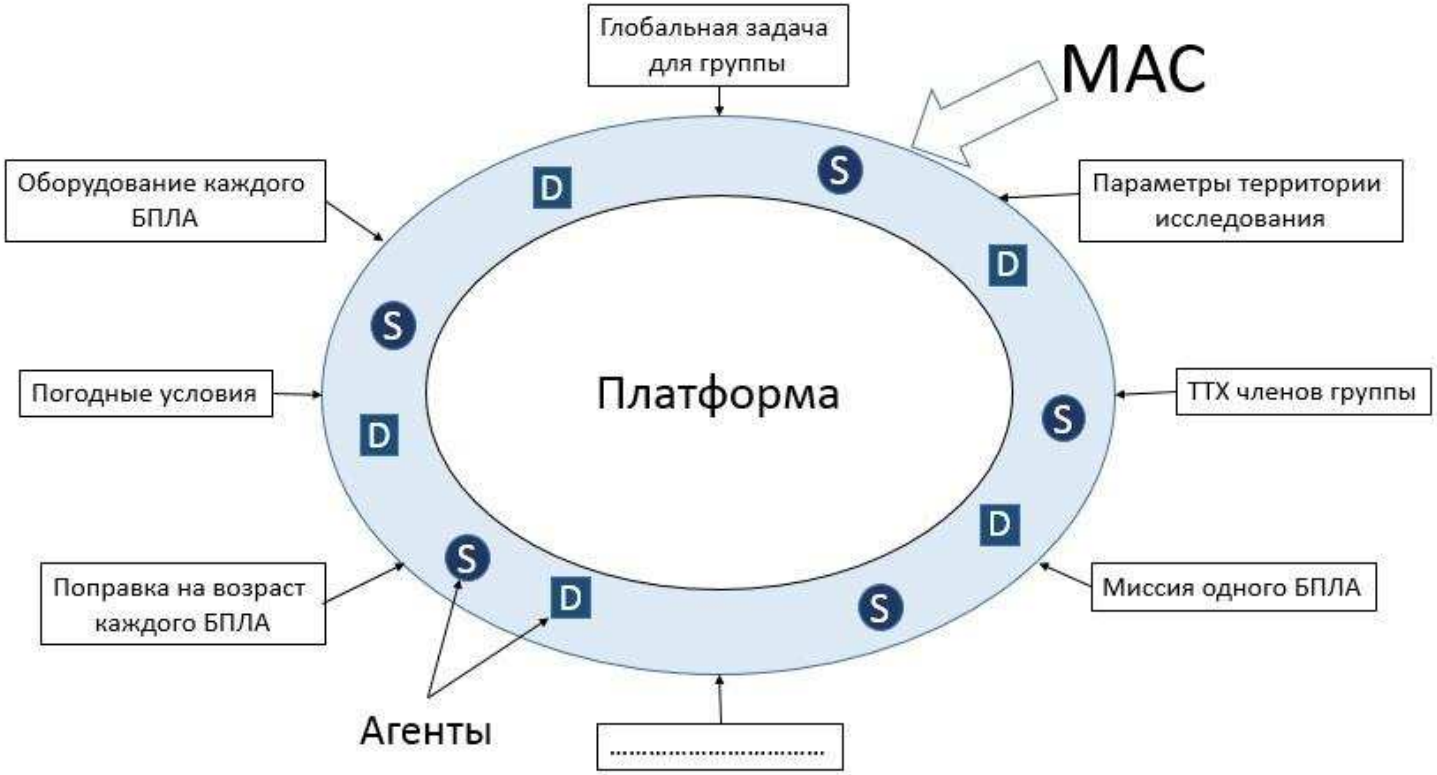
1. Введение (Introduction)
2. Консенсусное управление (Consensus)
   - Планирование группы БПЛА (UAV Group Planning)
   - Балансировка загрузки (Load balancing)
3. Как действительно устроены сложные системы? (What is an actual structure of complex systems?)
4. Самолет с “перышками” (Airplane with “Feathers”)
5. Заключение (Conclusion)

Проект “Планирование полетов группы БПЛА”

Централизованный подход (классический)

При увеличении потока новой информации загрузка блока “планировщик” растет

Децентрализованный подход (МАС)



Новая информация попадает в систему, агенты ее “расхватывают” и используют. Существуют два типа агентов, которые “ищут” друг друга

Согласованное решение

Две группы агентов:

- агент потребности — предоставляет в систему потребность на выполнение задания
- агент возможности — предоставляет в систему параметры и характеристики БПЛА в настоящий момент времени

Согласованное решение строится эволюционно и итеративно агентами потребностей и возможностей посредством переговоров и взаимных уступок от грубого и быстрого решения до сложного “равновесия”, когда все агенты довольны своим состоянием или не могут его улучшить

Балансировка загрузки сети

Пусть $x_t^i = q_t^i / p_t^i$, где

- q_t^i — очередь заданий агента i в момент времени t
- p_t^i — производительность агента i в момент времени t

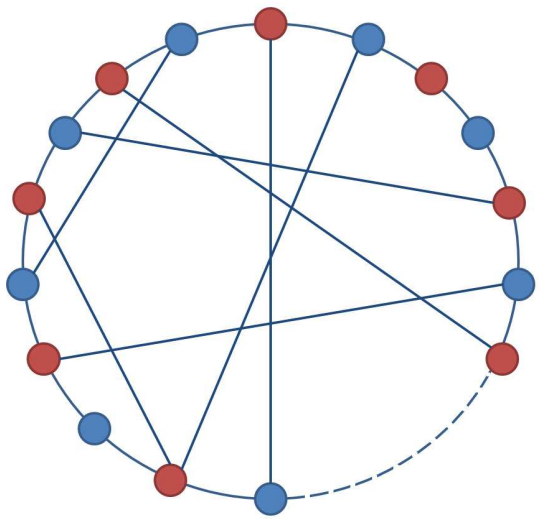
Динамическая модель:

$$x_{t+1}^i = x_t^i + f_t^i + u_t^i,\ i \in N = \{1, \ldots, n\},$$

или

$$q_{t+1}^i = q_t^i - p_t^i + z_t^i + p_t^i u_t^i;\ \ i \in N,\ t = 0, 1, \ldots$$

Пример топологии сети:



Оптимальное решение

IEEE TAC 2015, АиТ 2015 (Граничин, Амелина)

$$z_t = \sum_{i=1}^{n} \bar{u}_i, \ \bar{u}_i = ?$$

$$T(\mathbf{u}) = \max_{i \in N} \ time_i(\bar{u}_i) \to \min_{\mathbf{u}}$$

Согласованность:

$$p_1 \bar{u}_1 = p_2 \bar{u}_2 = \cdots = p_n \bar{u}_n$$

Функционал среднего риска (Потенциал Лапласа):

$$F(\mathbf{u}) = \sum_{i,j=1}^{m} a_t^{i,j} (time_t^i - time_t^j)^2 \ \to \ \min_{\mathbf{u}}$$

Консенсусное управление

IEEE TIT 2015 (Амелина, Фрадков и др.)
Динамика агентов:

$$x_{t+1}^i = f(x_t^i, u_t^i),\ i \in N = \{1, \ldots, n\}$$

Согласованное поведение:

$$x_t^i \approx x_t^j,\ i,j \in N$$

Наблюдения:

$$y_t^{i,j} = x_{t-d_t^{i,j}}^j + w_t^{i,j},\ j \in N_t^i$$

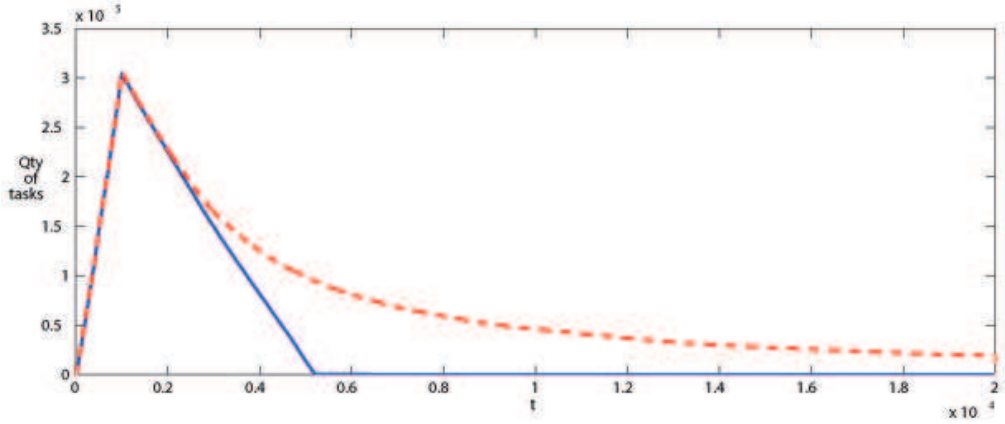
Протокол локального голосования:

$$u_t^i = \gamma \sum_{j \in \bar{N}_t^i} a_t^{i,j}(y_t^{i,j} - y_t^{i,i})$$

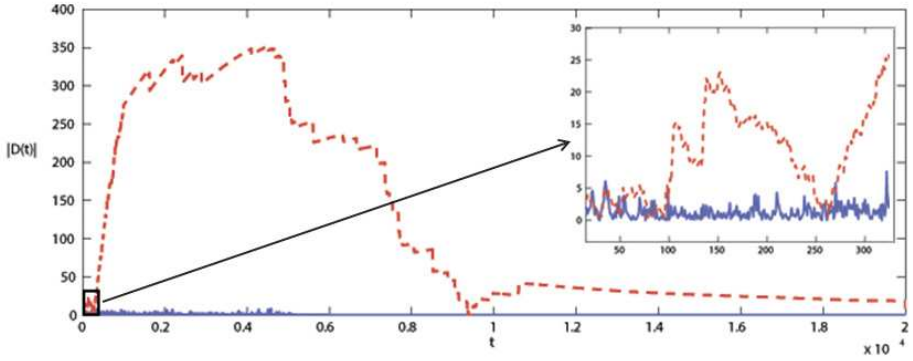
Моделирование

- $n = 1024$
- Число заданий 10^6 (поступают на интервале от 1 до 2000)

Количество заданий в очередях:



Среднее отклонение от консенсуса:



План

1. Введение (Introduction)
2. Консенсусное управление (Consensus)
   - Планирование группы БПЛА (UAV Group Planning)
   - Балансировка загрузки (Load balancing)
3. Как действительно устроены сложные системы? (What is an actual structure of complex systems?)
4. Самолет с “перышками” (Airplane with “Feathers”)
5. Заключение (Conclusion)

Модель динамики

Сложные системы:

$X(t)$ — вектор состояний, $W = \begin{pmatrix} u \\ w \end{pmatrix}$ — внешнее воздействие

Уранения динамики

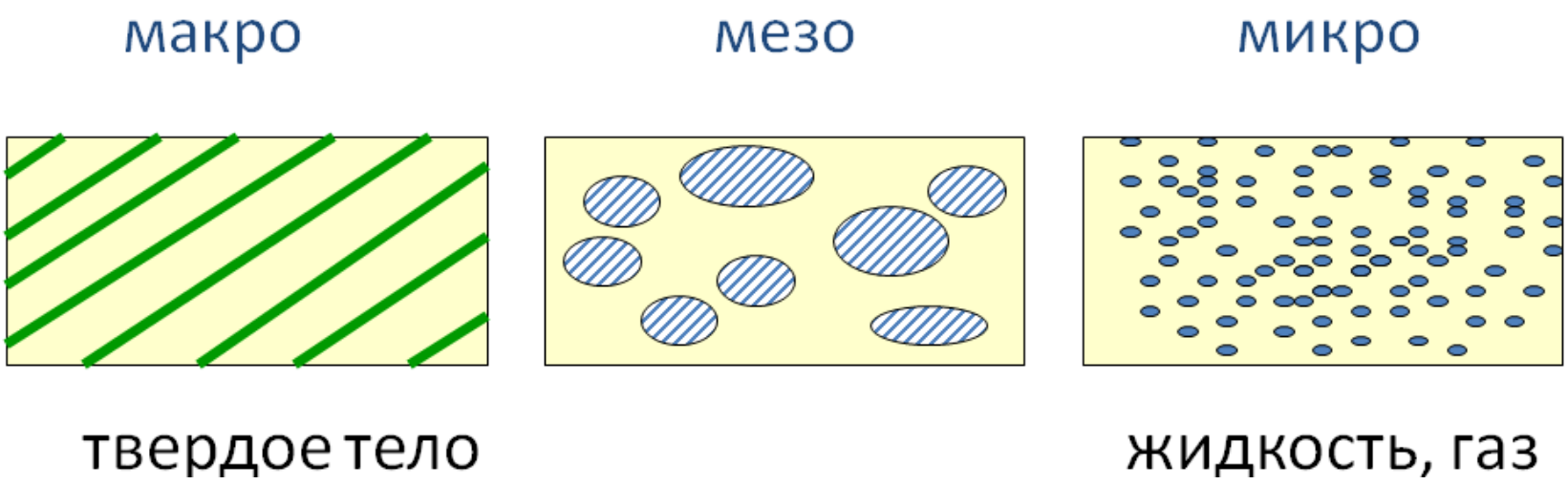
$$\dot{x}_i = g_i(X, W),\ i = 1, 2, \ldots, n,\ X \in \mathbb{R}^n \tag{1}$$

Обобщение

$$\dot{x}_\gamma = g_\gamma(X, W),\ X = \{x_\gamma\},\ \gamma \in [0, 1] \tag{2}$$

Результаты многочисленных экспериментов показывают возникновение в неравновесных процессах подсистем мезоскопического масштаба (между микро и макро)

Уровни описания модели, самоорганизация



Синергетические процессы формирования динамических структур в мезоскопических открытых термодинамических системах связаны с появлением структур и внутреннего управления по обратной связи, которые вместе с внешним управлением, подаваемым в систему через граничные условия, приводят к дискретизации пространства и времени неравновесных систем

Кластерные потоки

Предположим, что внешнее воздействие W — структурированное, структура меняется в моменты времени $T_0, T_1, T_2, \ldots$, структуры s_k имеют конечный порядок
Кластеризация пространства состояний:

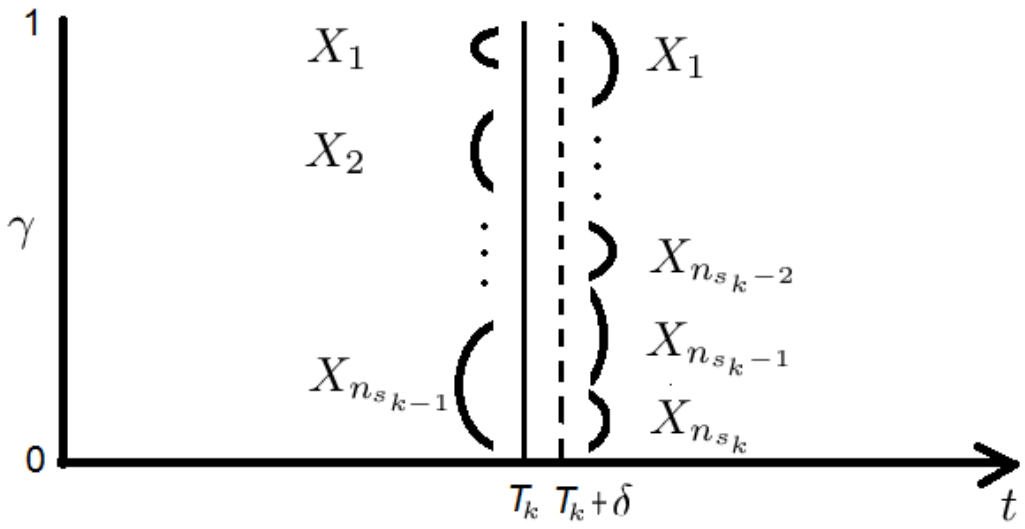
$$\mathscr{X}_{s_k} = \{X_1, X_2, \ldots, X_{n_{s_k}}\} : \; X = \cup_{i=1,2,\ldots,n_{s_k}} X_i, \; X_i \subset X \tag{3}$$

Уранения динамики:

$$\dot{\bar{x}}_i = \bar{g}_i(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \ldots, \bar{x}_{n_{s_k}}, u, w, \theta_{s_k}), \; i = 1, 2, \ldots, n_{s_k}, \tag{4}$$

где $\bar{x}_i$ — наборы усредненных по кластеру X_i переменных x_γ, θ_{s_k} — конечномерный набор “текущих” параметров

Изменение структуры пространства состояний



$$\delta << \zeta = \min_k |T_{k+1} - T_k|$$

Идентификация системы (измерения)

Измерения — обычно процесс усреднения:

$$Y(t) = \int_{t-\Delta}^{t} \int_{\mathbb{M}} f(X, W) dX dt' = \int_{t-\Delta}^{t} \bar{f}_k(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \ldots, \bar{x}_{n_{s_k}}, u, w, \theta_{s_k}) dt' \quad (5)$$

После дискретизации для $y_i = Y(t_i)$, $t_i \in [T_k, T_{k+1}]$, используя некоторые упрощающие предположения о модели наблюдений, можно получить:

$$y_i = \tilde{f}_k(x_i, u_i, w_i, \theta(s_k)) + \xi_i. \quad (6)$$

где $\tilde{f}_k(\cdot)$ — некоторые функции от

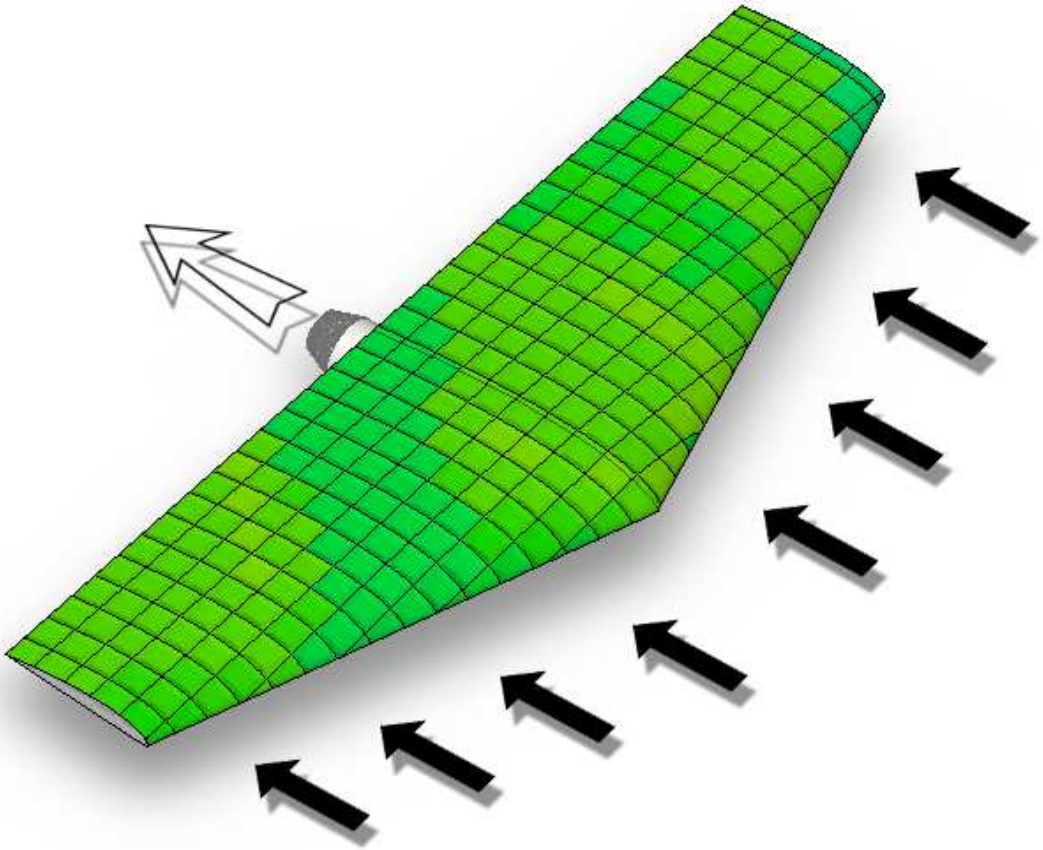
$$x_i = col(\bar{x}_1(t_i), \bar{x}_2(t_i), \ldots, \bar{x}_{n_{s_k}}(t_i)),\ u_i = u(t_i),\ w_i = w(t_i),\ \theta_{s_k},$$

а $\xi_i = \xi_i' + \xi_i(s_k)''$ — стандартная ошибка в наблюдении (помеха), состоящая обычно из статистической (случайной) погрешности ξ_i' и систематической $\xi_i(s_k)''$ (погрешности модели)

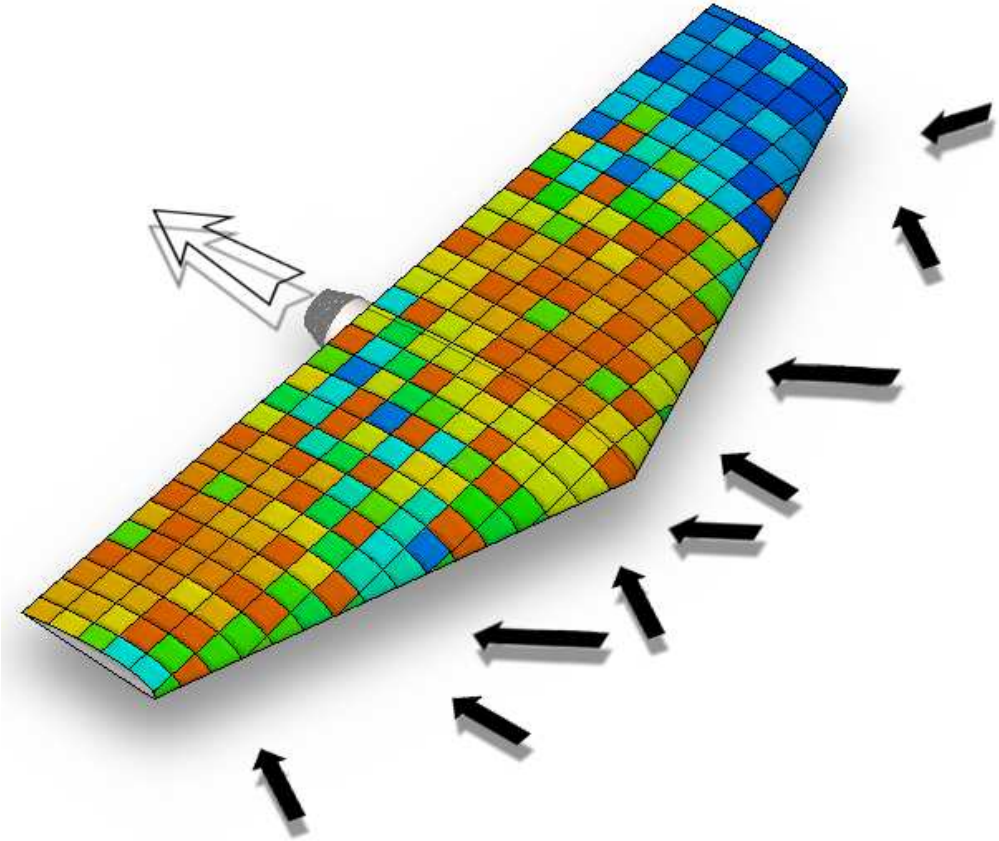
План

1. Введение (Introduction)
2. Консенсусное управление (Consensus)
   - Планирование группы БПЛА (UAV Group Planning)
   - Балансировка загрузки (Load balancing)
3. Как действительно устроены сложные системы? (What is an actual structure of complex systems?)
4. Самолет с “перышками” (Airplane with “Feathers”)
5. Заключение (Conclusion)

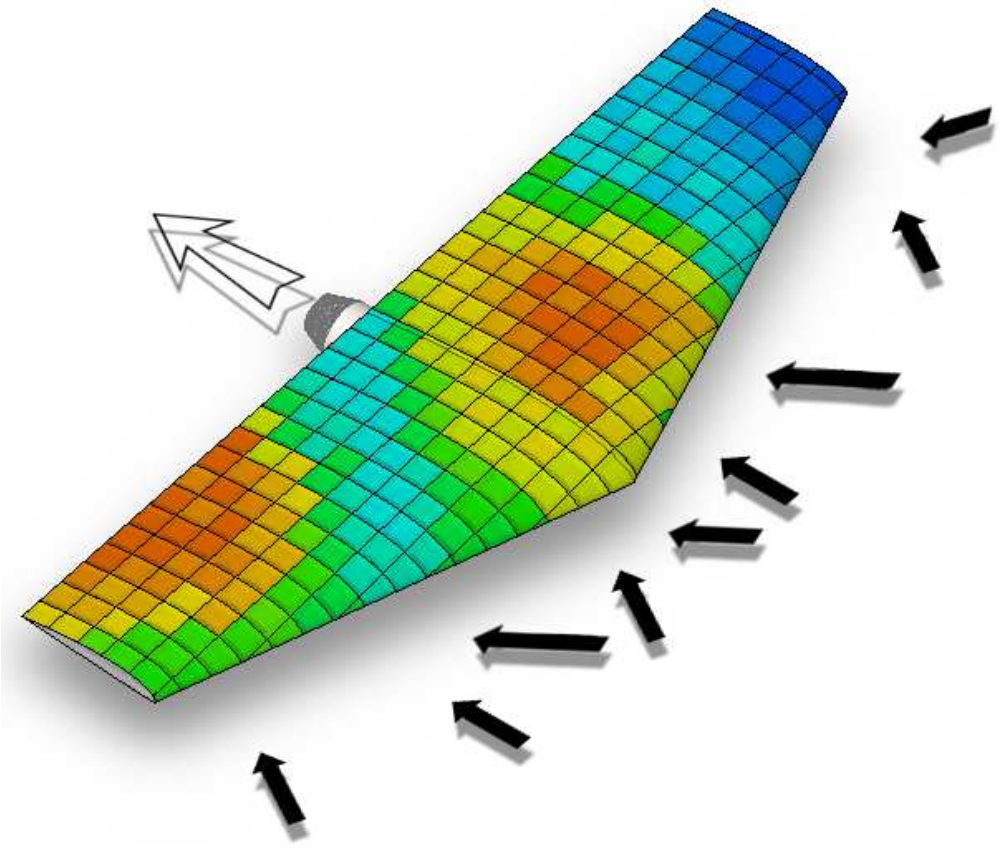
Самолет с “перышками” в ламинарном потоке



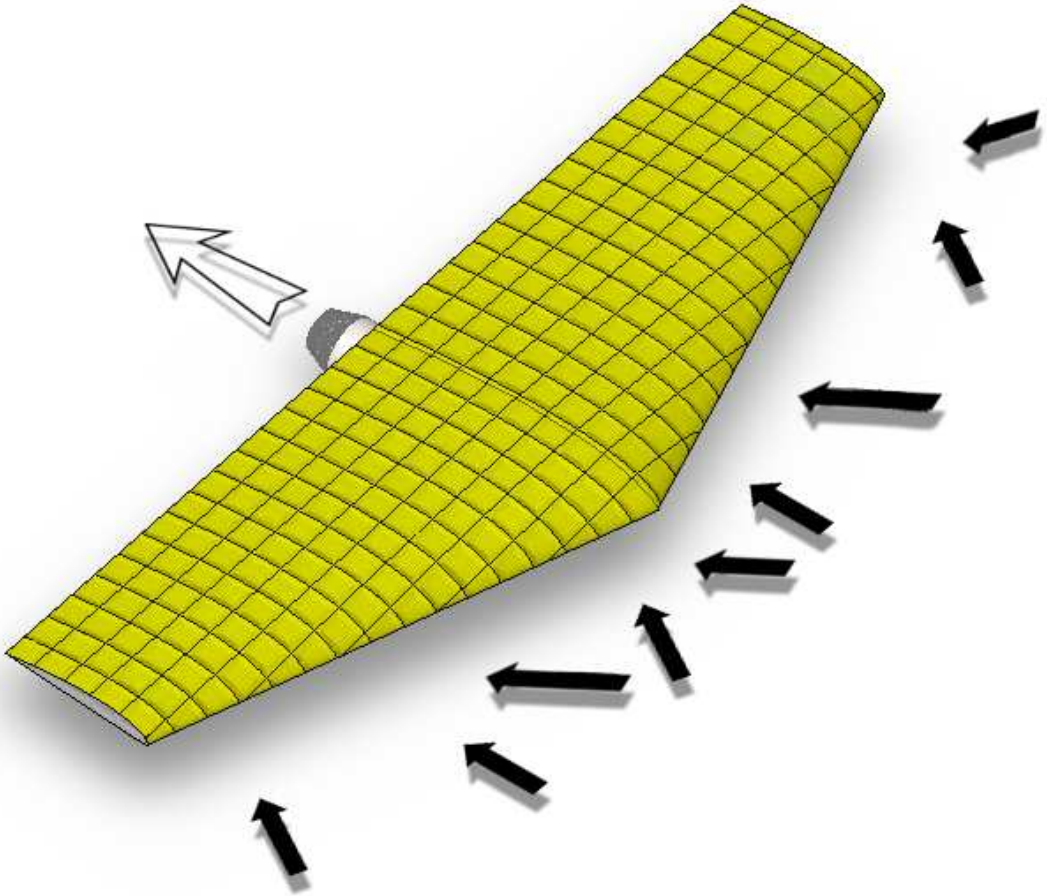
Турбулентный поток



Кластеризация “перьев”



“Выравнивание” давлений в турбулентном потоке ветра



План

1. Введение (Introduction)
2. Консенсусное управление (Consensus)
   - Планирование группы БПЛА (UAV Group Planning)
   - Балансировка загрузки (Load balancing)
3. Как действительно устроены сложные системы? (What is an actual structure of complex systems?)
4. Самолет с “перышками” (Airplane with “Feathers”)
5. Заключение (Conclusion)

Принятие решений в реальном времени

Критические факторы:

- скорость — надо принять и реализовать решение до наступления следующего “разрушительного” события
- интеллект (природный и/или искусственный) — надо достичь цели в условиях неопределенности

Критическая технология:

- стохастическое программирование и мультиагентные технологии для поддержки (или замены) процесса принятия решения человеком

Спасибо за внимание!

Новые задачи

- формирование многомасштабных вихревых структур в турбулентных потоках жидкостей и при пластическом течении твердых тел при импульсном нагружении
- кластеризация в потоке концентрированных дисперсионных смесей
- распространение фронта ударной волны внутри вещества
- переходные слои вблизи межфазных границ
- процессы образования белка в клетках
- иерархия структур в живых системах
- поведение групп людей

Следствия роста сложности

В сложных условиях частых непредсказуемых разрушительных событий

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