

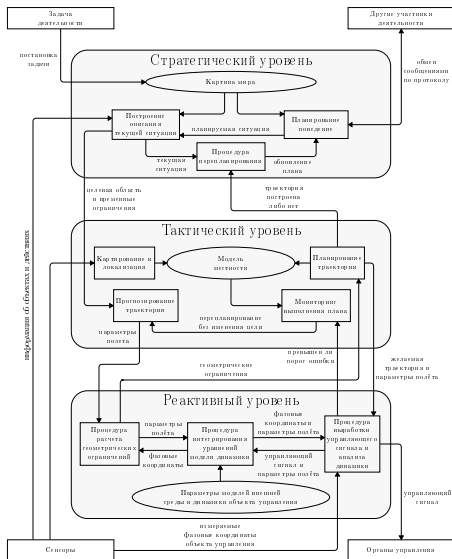
# Многоуровневая система управления коалициями сложных технических объектов

Дмитрий Макров, Константин Яковлев, Александр Панов

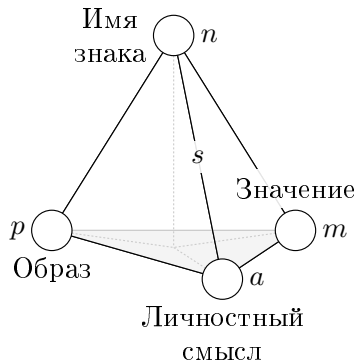
Институт системного анализа РАН

18 декабря 2014 г.

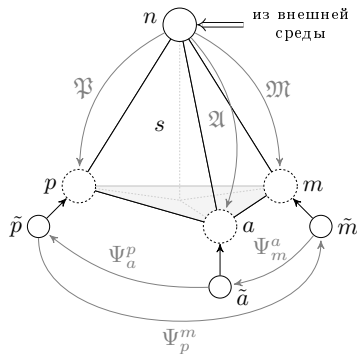
# Общий вид архитектуры



# Знаковая картина мира — новый способ представления знаний

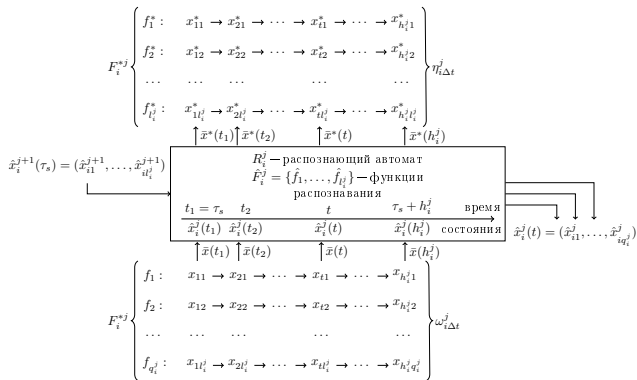


Структура знака.



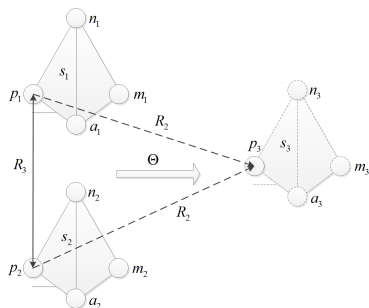
Процедура формирования знака.

# Распознающий автомат — модель компонент знака

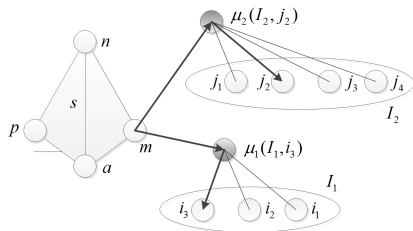


$R$ -автомат  $R_i^j$  является бесконечным автоматом Миля с переменной структурой и конечной памятью и определяется следующим набором  $R_i^j = \langle X_i^j \times \hat{X}_i^{j+1}, 2^{\mathbb{Z}_i^j}, X_i^{*j} \times \hat{X}_i^j, \varphi_i^j, \vec{\eta}_i^j \rangle$ .

# Процедуры самоорганизации и структуры на множестве знаков

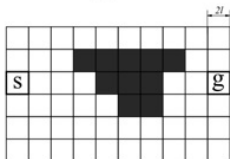
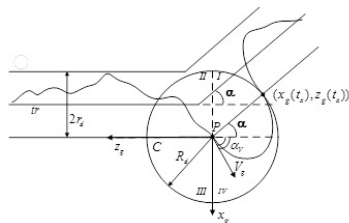
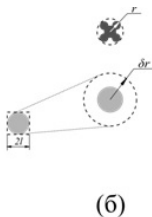
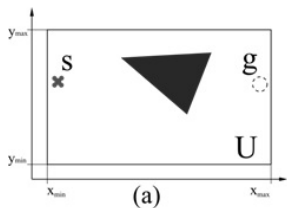


Обобщение по образам знаков с образованием нового знака.

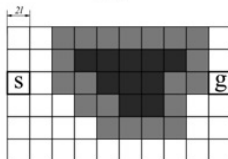


Сцена, образующаяся за счёт ролевой структуры действия, интерпретируемого экземпляром значения.

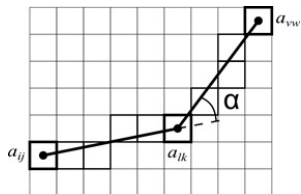
# Задача планирования как задача поиска пути на графе регулярной декомпозиции



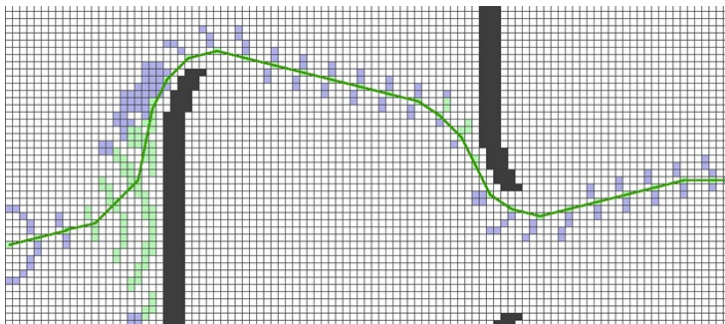
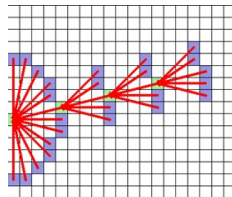
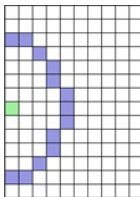
(B)



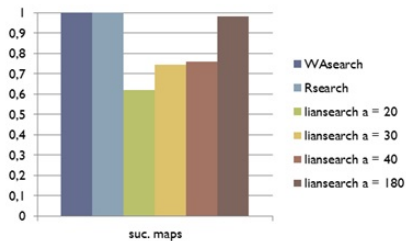
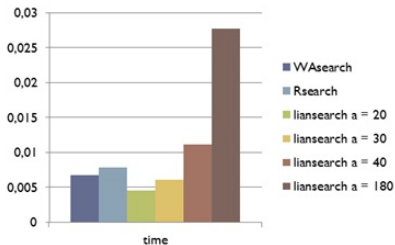
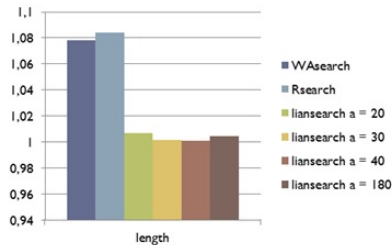
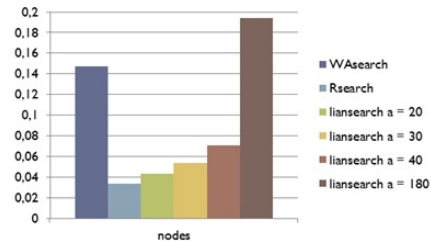
(Г)



# Алгоритм LIAN



# Результаты экспериментов планирования траекторий





# Задача задачи робастного управления сложным техническим объектом

Вид управляемой нелинейной системы

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= (A_0 + \varepsilon A_1(x, t))x + (B_0 + \varepsilon B_1(x, t))u = (A_{cl} + \varepsilon D(x, t, \varepsilon))x = F(x, t, \varepsilon), \\ x(0) &= x_0, \\ x &\in X \subset \mathbb{R}^n, u \in \mathbb{R}^r, t \in [0, \infty), 0 < \varepsilon \leq \varepsilon_0 \end{aligned}$$

I. Критерий оптимальности и общий вид формально оптимального управления для задачи синтеза робастного по параметру управления

$$\begin{aligned} I(u) &= \frac{1}{2} \int_0^\infty (x^T Q(x, \varepsilon)x + u^T R(x, \varepsilon)u) dt \rightarrow \min, \\ u &= -R^{-1}(x, \varepsilon)B^T(x, \varepsilon)K(x, \varepsilon)x, \\ -K(x, \varepsilon)A(x, \varepsilon) - A^T(x, \varepsilon)K(x, \varepsilon) + K(x, \varepsilon)S(x, \varepsilon)K(x, \varepsilon) - Q(x, \varepsilon) &= 0, \\ S(x, \varepsilon) &= B(x, \varepsilon)R^{-1}(x, \varepsilon)B^T(x, \varepsilon), R(x, \varepsilon), \\ Q &= Q_0 + \varepsilon Q_1(x) + \dots, \quad K(x, \varepsilon) = K_0 + \varepsilon K_1(x), \quad R(x, \varepsilon) = R_0 + \varepsilon R_1(x). \end{aligned}$$

# Нелинейный закон управления

$$\begin{aligned}
 -K_0 A_0 - A_0^T K_0 + K_0 S_0 K_0 - Q_0 &= 0, \quad S_0 = B_0 R_0^{-1} B_0^T. \\
 K_1(x) &= \int_0^\infty \exp((A_0 - S_0 K_0)^T \sigma) \tilde{Q}_1(x) \exp((A_0 - S_0 K_0) \sigma) d\sigma, \\
 \tilde{Q}_1(x) &> 0 \quad x \in X \\
 Q_2 &= -K_1 (A_1 - B_1 R_0^{-1} B_0^T K_0) - (A_1 - B_1 R_0^{-1} B_0^T K_0)^T K_1 + \\
 &\quad + (K_1 B_0 + K_0 B_1) R_0^{-1} (K_1 B_0 + K_0 B_1)^T, \\
 Q_3 &= K_1 B_1 R_0^{-1} (K_1 B_0 + K_0 B_1)^T + (K_1 B_0 + K_0 B_1) R_0^{-1} B_1^T K_1, \\
 Q_4 &= K_1 B_1 R_0^{-1} B_1^T K_1.
 \end{aligned}$$

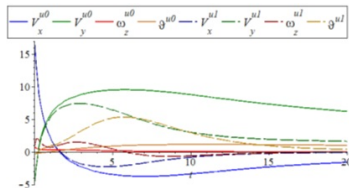
II. Условие устойчивости замкнутой системы относительно одного класса нестационарных возмущений.

$$\begin{aligned}
 \int_{t_0}^{t_0+l} \varphi(\bar{x}(t, t_0, x_0, \varepsilon), t, \varepsilon) dt &< -\delta \|x_0\|^d l, \quad d, \delta, l = \text{const}, \\
 \varphi(\bar{x}, t, \varepsilon) &= \varepsilon x_0^T \exp(A_{cl}^T \cdot (t - t_0)) K_0 D(\bar{x}, t, \varepsilon) \exp(A_{cl} \cdot (t - t_0)) x_0
 \end{aligned}$$

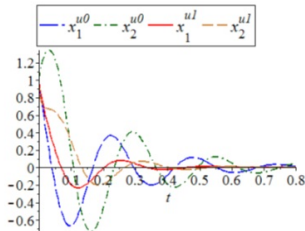
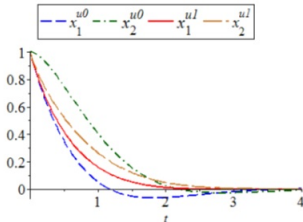
# Примеры задач реактивного управления

1. Вывод продольных характеристик полета самолета вертикального взлета и посадки на заданный режим

$$\begin{aligned}\dot{V}_x &= 0.0174(V_y \omega_z - g \vartheta) + C_x \rho S V^2 + \\ &\quad + 2 \cdot 10^{-4} P + 1.15 \cdot 10^{-3} P, \\ \dot{V}_y &= -0.0174 V_x \omega_z + C_y \rho S V^2 - g + 1.14 \cdot 10^{-3} P, \\ \dot{\omega}_z &= -4.5 \cdot 10^{-3} V \omega_z + \varepsilon_z^\delta \delta, \\ \dot{\vartheta} &= \omega_z,\end{aligned}$$



2. Управления абстрактной нелинейной системой второго порядка



## Ожидаемые в 2015 г. научные результаты

- Новые алгоритмы планирования поведения и целеполагания, использующие разработанный способ представления знаний на основе элементов индивидуального знания.
- Новый декомпозиционный алгоритм планирования траектории, реализующий декомпозицию по детерминированным критериям.
- Новый метод построения нелинейного закона управления субоптимального относительно заданного интегрального квадратичного критерия качества с параметрами, зависящими от состояния системы.
- Новый метод построения нелинейного закона управления для дискретных нелинейных управляемых систем, основанный на решении уравнений с параметрами, зависящими от состояния системы.

## Вопросы к обсуждению

- Модельная задача и наполнение базы знаний.
- Публикации по итогам 2015 г. (журналы, конференции).
- Программная реализация и модельные эксперименты в рамках задачи.
- Практическое воплощение на реальном техническом объекте (квадрокоптере).