

Групповое командное управление автономными мобильными аппаратами

С.Н. Васильев, М.Э. Бузиков, Н.Ю. Морозов
(ИПУ РАН, МГУ)



vassilyev_sn@mail.ru

- Введение.
- Метод децентрализованного планирования действий автономных мобильных аппаратов на базе первопорядкового логического вывода.
- Программное обеспечение автоматизации вывода в исчислении с конструктивной и немонотонной семантикой.
- Модель и дополнительное программное обеспечение двухуровневого группового управления роботами, обслуживающими склад.
- Задачи и проблемы на будущее.

Цель исследования: создание технологии автоматизации управления автономными мобильными роботами, в т.ч. их движением и групповым поведением.

Основные задачи:

- разработка моделей представления среды и поведения робота;
- исследование и разработка методов обработки знаний для планирования поведения автономных мобильных роботов.

Эти задачи и разработанные средства их решения ориентированы на автоматизацию планирования действий на верхнем (командном) уровне управления роботами (в составе как минимум двухуровневого, управления).



Простейшим примером плана действий является список точек предписываемого маршрута движения как аналога программного движения. В процессе своего исполнения план может меняться с учетом складывающейся обстановки.

Такое формирование плана как программы и его выполнение с помощью командного управления («позиционного» типа, но на уровне логической модели с перепланированием по мере необходимости) подразумевает его реализацию традиционными средствами автоматического управления на базе уравнений динамики механической системы.

Категории автономных непилотируемых подводных аппаратов (АНПА)



Некоторые разработки институтов РАН

ИПМех РАН: новые принципы организации и оптимизации движения манипуляторов и роботов; роботы с перемещением по вертикальной стене, в трубе, ползающие и др.

ИПМТ ДВО РАН: система управления и движительный комплекс АНПА обеспечивают обход препятствий, зависание в нужной точке и движение в сложном или пересеченном рельефе.



Программно-позиционное и мультирежимное управление

Numerical computations have been conducted for a group of four AUVs (one leader and three followers) uniformly distributed around a circle of radius 10 m. Structure of the formation is given by connection graph presented in Fig. 2.

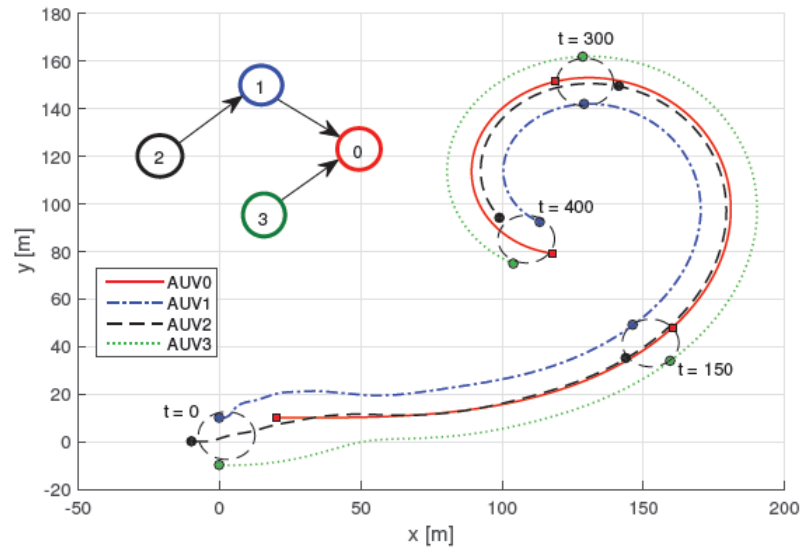


FIGURE 2: Trajectory of the formation.

We assume that all AUVs are identical and the model parameters are taken as follows: $v^* = 1 \text{ m s}^{-1}$ (nominal velocity of the formation), $m_i^* = 150 \text{ kg}$, $J_i^* = 100 \text{ kg m}^2$ (nominal values of masses and moments of inertia), $m_i^0 = 2 \text{ kg}$, $J_i^0 = 1 \text{ kg m}^2$ (uncertainties of the inertial parameters), $p_i^0 = p_i^{0\varphi} = 1$ (compensation errors), $s_i^0 = 0.3 \text{ m}$, $\theta_i^0 = 0.03 \text{ rad}$ (errors of sensors), $v_0^0 = 0.1 \text{ m s}^{-1}$, $\omega_0^0 = 0.05 \text{ rad s}^{-1}$, $w_0^0 = 0.01 \text{ m s}^{-2}$, $\varepsilon_0^0 = 0.01 \text{ rad s}^{-2}$ (constraints on the maneuvers of the formation leader).

[1] Vassilyev S.N., Ulyanov S.A., Maksimkin N.N. A VLF-based technique in applications to digital control of nonlinear hybrid multirate systems // AIP Conference Proc. – 2017, Vol. 1728, №1. – P. 0201701-02017010.

[2] Vassilyev S.N., Kozlov R.I., Ulyanov S.A. Stability of multimode formations // Doklady Mathematics. – 2014, Vol. 455, №3. – P. 269-274.

[3] Vassilyev S. N., Kosov A.A. Analysis of Hybrid Systems' Dynamics Using the Common Lyapunov Functions and Multiple Homomorphisms // Automation and Remote Control, - 2011, Vol. 72, N6. - P. 1163-1183.

The controller design was performed with the use of the proposed VLF-based technique taking into account uncertainties, sensor errors, restrictions on control actions, admissible maneuvers of the formation leader. Figure 2 shows the trajectory of the formation with the designed controller for a simulation scenario where the formation leader travels in a circle. At $t = 0$ all followers are static and the initial coordinates of the AUVs are $x_0 = 20$, $y_0 = 10$, $x_1 = 0$, $y_1 = 10$, $x_2 = -10$, $y_2 = 0$, $x_3 = 0$, $y_3 = -10$. Correspondent stabilization errors in distance and bearing angle for the followers are depicted in Fig. 3. Simulation results demonstrate good performance of the designed decentralized digital controller.

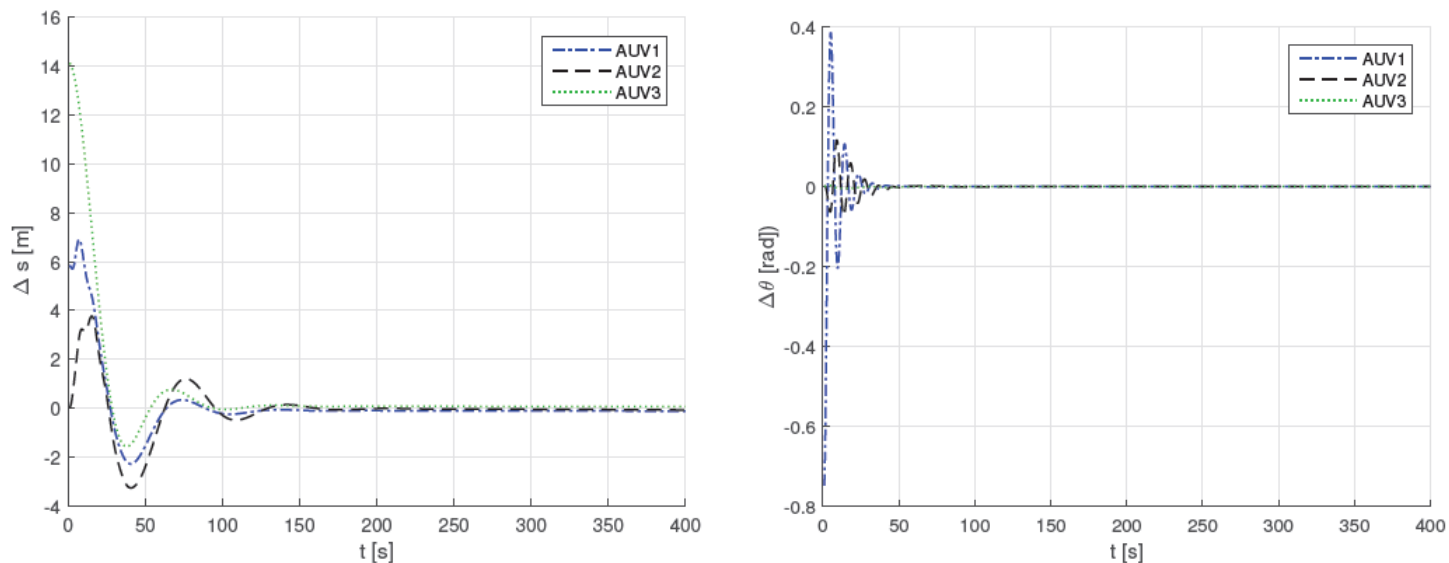
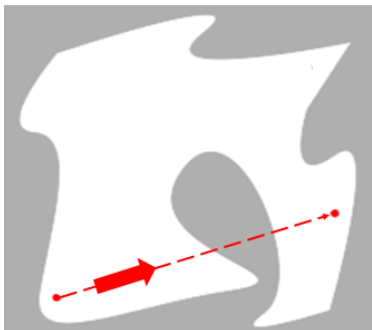
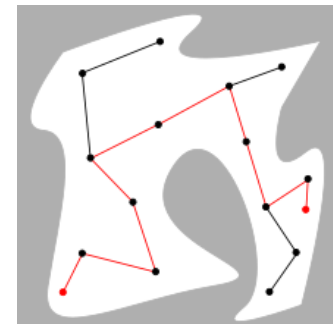


FIGURE 3: Stabilization errors in the distance (left) and the bearing angle (right).

- [1] Vassilyev S.N., Ulyanov S.A., Maksimkin N.N. A VLF-based technique in applications to digital control of nonlinear hybrid multirate systems // AIP Conference Proc. – 2017, Vol. 1728, №1. – P. 0201701-02017010.
- [2] Vassilyev S.N., Kozlov R.I., Ulyanov S.A. Stability of multimode formations // Doklady Mathematics. – 2014, Vol. 455, №3. – P. 269-274.
- [3] Vassilyev S. N., Kosov A.A. Analysis of Hybrid Systems' Dynamics Using the Common Lyapunov Functions and Multiple Homomorphisms // Automation and Remote Control, - 2011, Vol. 72, N6. - P. 1163-1183.



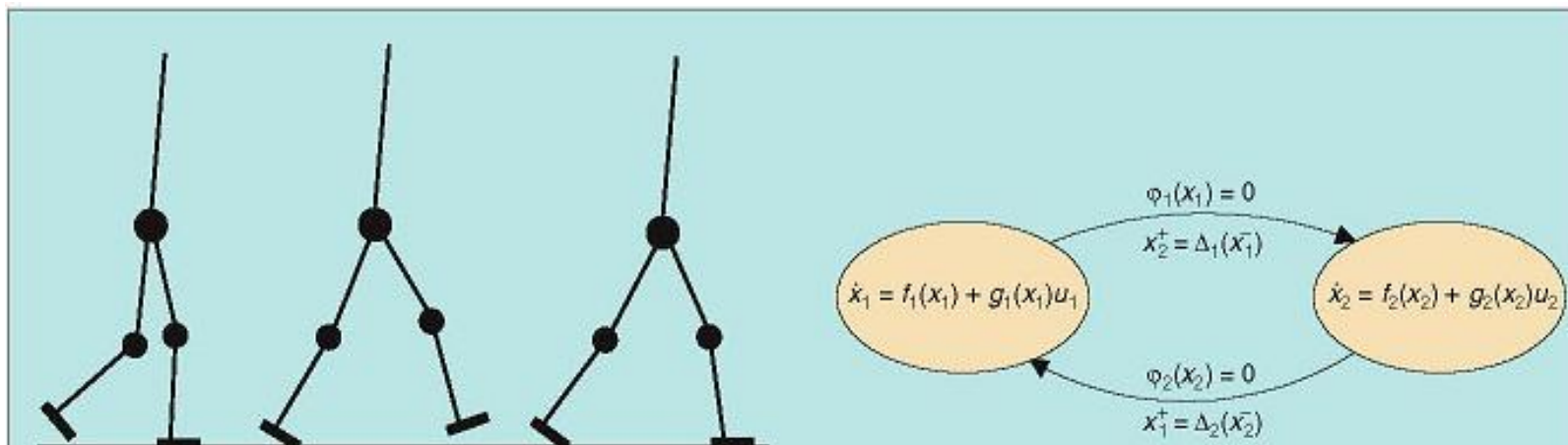
(в случае, когда миссия как последовательность действий априори не задана).



Model Checking Approach [1]: движения робота специфицируются в языке модальной логики и затем подбирается автоматная модель его полученной совокупности логических формул как программная модель движения. Другие подходы в [2]: шкала времени вводится явно и либо

- а) используется имитационное моделирование (вывод следствий), либо
- б) план извлекается из вывода теоремы о достижимости цели управления.

В докладе развивается логический подход к планированию действий роботов, использующий не модальные операторы, а немонотонные логики без явного времени и с конструктивной семантикой.



[1] Lomuscio A., Michaliszyn J. Verifying Multi-Agent Systems by Model Checking Three-valued Abstractions // Proc. of the 14th Intern. Conf. on Autonomous Agents and Multiagent Systems. – Istanbul, 2015. – P. 189-198.

[2] Васильев С.Н. Формализация знаний и управление на основе позитивно-образованных языков // Информационные технологии и вычислительные системы. – 2008. – С. 3-17.

Развивается метод интеллектуального децентрализованного планирования действий автономных мобильных аппаратов (роботов). В основе метода -- немонотонная первопорядковая логика с типово-кванторными формулами в конструктивной семантике [1,2]. В среде функционирования робота допускается появление неожиданных препятствий и других конфликтов, в т.ч. из-за неполной согласованности поведения членов группы.

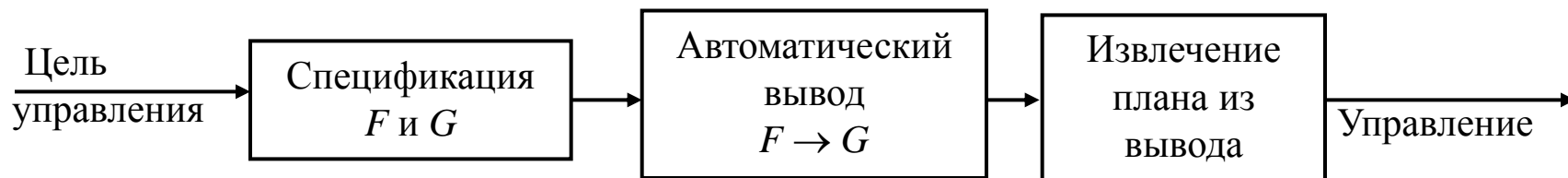
Цель и возможности средств достижения цели описываются в языке L (позитивно-образованных формул) [1] формулами F и G соответственно, вывод – в исчислении I^* [2].

Достижимость цели \Leftrightarrow конструктивной выводимости формулы $F \rightarrow G$, где

$$G = \forall x : A \bigvee_{j=1}^m \exists y_j : B_j, \quad F - \text{любая из языка } L.$$

Из вывода извлекается последовательность действий.

Разработанные алгоритмы и программное обеспечение позволяют извлекать искомые планы из логических выводов спецификаций целей управления.



[1] Васильев С.Н. Формализация знаний и управление на основе позитивно-образованных языков // Информационные технологии и вычислительные системы. – 2008. – С. 3-17

[2] Васильев С.Н., Галяев А.А. Логико-оптимизационный подход в задачах преследования группы целей // Доклады Академии наук. – 2017. – Т. 474, №6. – С. 1-7.

Групповое управление автономными мобильными аппаратами в помещениях*

С.Н. Васильев, С.А. Браништов, М.Э. Бузиков, Н.Ю. Морозов
(ИПУ им. В.А. Трапезникова РАН, МГУ им. М.В. Ломоносова) *



* С.Н. Васильев, С.А. Браништов, М.Э. Бузиков, Н.Ю. Морозов. Групповое командное управление автономными мобильными аппаратами // Материалы 10-й Всероссийской мультikonференции по проблемам управления, т. 2 «Робототехника и мехатроника» , с. 251-252.

Исчисление I^* для автоматизации планирования действий

Поведение автономных средств моделируется в **немонотонном конструктивном** **первопорядковом исчислении I^*** в языке L . Задачи имеют вид $F \rightarrow G$, где $F, G \in L$, причем G – спецификация цели вида:

$$\forall \bar{x} : A \quad \bigvee_{i=1}^k \exists \bar{y}_i : B_i$$

Исчисление I^* для автоматизации планирования действий

Поведение автономных средств моделируется в **немонотонном конструктивном** **первопорядковом исчислении I^*** в языке L . Задачи имеют вид $F \rightarrow G$, где $F, G \in L$, причем G – спецификация цели в булевском фрагменте языка L вида:

$$\forall: A \quad \bigvee_{i=1}^k \exists: B_i$$

Исчисление I^* для автоматизации планирования действий

Поведение автономных средств моделируется в **немонотонном конструктивном** **первопорядковом исчислении I^*** в языке L . Задачи имеют вид $F \rightarrow G$, где $F, G \in L$, причем G – спецификация цели вида:

$$\forall : A \bigvee_{i=1}^k \exists : B_i = \forall : A \begin{cases} \exists : B_1 \\ \dots \\ \exists : B_k. \end{cases}$$

Дедуктивно-абдуктивное исчисление I^* для автоматизации планирования действий

Поведение автономных средств моделируется в **немонотонном конструктивном первопорядковом исчислении I^*** в языке L . Задачи имеют вид $F \rightarrow G$, где $F, G \in L$, причем G – спецификация цели вида:

$$G = \forall : A \begin{cases} \exists : B_1 \\ \dots \\ \exists : B_k. \end{cases}$$

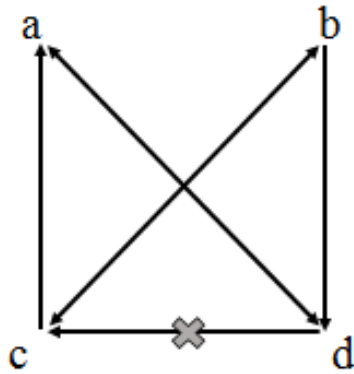
Правило дедукции ω в пропозициональном случае при $H = \forall : True$ $\exists : A \begin{cases} \forall : B \begin{cases} \exists : C_1 & \Psi_1 \\ \dots \\ \exists : C_n & \Psi_n \end{cases} \\ \Phi \end{cases}$

имеет вид: если $B \setminus C \subseteq A$, $f_\alpha(C) = True$, $\omega H = \forall : True$ $\begin{cases} \exists : A \cup C_1 & \Psi_1 \\ \dots \\ \exists : A \cup C_n & \Psi_n \\ \Phi. \end{cases}$

В процессе планирования своего поведения робот может одни действия включать в план свободно, а другие – только при специальном разрешении (например, Центра). Автоматизация соответствующего вывода основывается на дедуктивно-абдуктивном выводе [1].

Дедуктивно-абдуктивное исчисление I^* для автоматизации планирования действий

Пример. Следующий граф задает возможные переходы из того или иного состояния в другие.



Здесь:

\rightleftarrows } свободные переходы;

$\leftarrow \otimes$ переход при получении разрешения.

- 1) Задача перехода из c в d имеет два решения: c-a-d и c-b-d. Разрешений не требуется. Используется только правило ω .
- 2) Переход из a в b осуществляется при разрешении из d в c: a-d-c-b. Запрос на такой переход синтезируется по правилу ω' .

Правило абдукции ω' в пропозициональном случае при $H = \forall : True \quad \exists : D \begin{cases} \forall : K_1 & \Omega_1 \\ \dots \\ \forall : K_m & \Omega_m \end{cases}$

имеет вид: если к H неприменимо ω , а конструктивным ответом на вопрос $\forall : D \bigvee_{i=1}^m \exists : K_i$

является $\forall : D \quad \exists : K_s$, где $s = 1, \dots, m$, то $\omega' H = \forall : True \quad \exists : D, K_s \begin{cases} \forall : K_1 & \Omega_1 \\ \dots \\ \forall : K_m & \Omega_m \end{cases}$
и тем самым открывается возможность продолжить вывод.

Теорема. Для задач $S = F \rightarrow G$ с целевыми спецификациями вида G исчисление I^* не только корректно, но и конструктивно в том смысле, что любому \vee -связке и квантору существования формулы G можно поставить в соответствие композицию из процедур, отвечающих \vee -связкам и кванторам существования формулы F [1]. Стратегия автоматического доказательства S использует решения других конструктивных задач S_i в виде доказанных формул $(S_i)^L = (F_i \rightarrow G_i)^L$, вкладываемых в H как подформулы, управляемые корневым типовым квантором существования формулы H .

Аналогичная теорема справедлива для первогопорядкового случая с конструктивной семантикой кванторов существования.

[1] Васильев С.Н., Галяев А.А. Логико-оптимизационный подход в задачах преследования группы целей // ДАН. – 2017. – Т. 474, №6. – С. 1-7.

Теорема. Для задач $S = F \rightarrow G$ с целевыми спецификациями вида G исчисление I^* не только корректно, но и конструктивно в том смысле, что любому \forall -связке и квантору существования формулы G можно поставить в соответствие композицию из процедур, отвечающих \forall -связкам и кванторам существования формулы F [1]. Стратегия автоматического доказательства S использует решения других конструктивных задач S_i в виде доказанных формул $(S_i)^L = (F_i \rightarrow G_i)^L$, вкладываемых в H как подформулы, управляемые корневым типовым квантором существования формулы H .

Аналогичная теорема справедлива для первогопорядкового случая с конструктивной семантикой кванторов существования.

В нерезолюционных методах, в т.ч. *NanoCoP* [2], отказом от дизъюнктивной (clausal) формы знаний упрощаются поиск вывода и его преобразование к более естественному виду:

$\forall K > 0$ существует последовательность f_1, \dots, f_N, \dots функций алгебры логики такая, что:

$$\{\text{сложность } L\text{-представления}\} \cdot K^{K^{\lceil N-1/2 \rceil}} < \{\text{сложность ДНФ-представления}\} \text{ [3].}$$

[1] Васильев С.Н., Галяев А.А. Логико-оптимизационный подход в задачах преследования группы целей // ДАН. – 2017. – Т. 474, №6. – С. 1-7.

[2] Otten J. *NanoCoP: A Non-clausal Connection Prover* // Internat. Joint Conference on Automated Reasoning. – Springer Internat. Publ. – 2016. – С. 302-312.

[3] Васильев С.Н., Жерлов А.К., Федосов Е.А., Федун Б.Е. Интеллектуальное управление динамическими системами. – М.: Физматлит, 2000. – 352 с.

Теорема. Для задач $S = F \rightarrow G$ с целевыми спецификациями вида G исчисление I^* не только корректно, но и конструктивно в том смысле, что любому \forall -связке и квантору существования формулы G можно поставить в соответствие композицию из процедур, отвечающих \forall -связкам и кванторам существования формулы F [1]. Стратегия автоматического доказательства S использует решения других конструктивных задач S_i в виде доказанных формул $(S_i)^L = (F_i \rightarrow G_i)^L$, вкладываемых в H как подформулы, управляемые корневым типовым квантором существования формулы H .

Аналогичная теорема справедлива для первопорядкового случая с конструктивной семантикой кванторов существования.

В нерезолюционных методах, в т.ч. *NanoCoP* [2], отказом от дизъюнктивной (clausal) формы знаний упрощаются поиск вывода и его преобразование к более естественному виду:

$\forall K > 0$ существует последовательность f_1, \dots, f_N, \dots функций алгебры логики такая, что:

$$\{\text{сложность } L\text{-представления}\} \cdot K^{K^{\lceil N-1/2 \rceil}} < \{\text{сложность ДНФ-представления}\} \text{ [3].}$$

Но *NanoCoP* использует 4 трехместных правила дедукции, что усложняет вывод в сравнении с I^* , где всего 1 правило ω , причем одноместное. А по естественности формы знаний и самого вывода, то I^* выигрывает как у резолюционных методов, так и у *NanoCoP*. Кроме того, I^* снабжено правилом абдукции ω' для "проталкивания" непродолжимых выводов.

[1] Васильев С.Н., Галяев А.А. Логико-оптимизационный подход в задачах преследования группы целей // ДАН. – 2017. – Т. 474, №6. – С. 1-7.

[2] Otten J. *NanoCoP: A Non-clausal Connection Prover* // Internat. Joint Conference on Automated Reasoning. – Springer Internat. Publ. – 2016. – С. 302-312.

[3] Васильев С.Н., Жерлов А.К., Федосов Е.А., Федун Б.Е. Интеллектуальное управление динамическими системами.– М.: Физматлит, 2000. – 352 с.

Язык L лаконичнее дизъюнктного и сохраняет эвристическую структуру знаний.

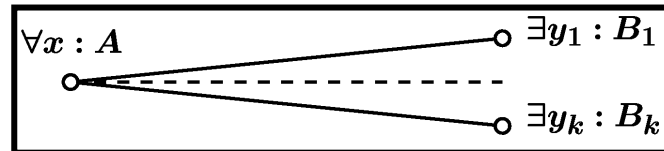
Пример. Для формулы

$$\forall x(A \rightarrow (\exists y_1 B_1 \vee \dots \vee \exists y_k B_k)),$$

где $B_i = C_1^i \& \dots \& C_n^i$, $A = A_1 \& \dots \& A_l$,
 A_j, C_j^i — атомы, в языке дизъюнктов

$$\&_{(i_1, \dots, i_k) \in (\overline{1, n})^k} (\neg A_1 \vee \dots \vee \neg A_l \vee C_{i_1}^1 \vee \dots \vee C_{i_k}^k)$$

порождается $(l + k) \cdot n^k$ атомов (!) по сравнению с $l + n \cdot k$ атомами в языке L :



В системах логической обработки знаний «общего» вида остается проблема **неполноты описания предметной области**, что может приводить к неразрешимости задачи, а также проблема **быстродействия** в задачах жесткого реального времени. Исчисление I^* позволяет построить метод дооснащения без расширения сигнатуры уравнения.

Пример абдуктивного построения выводов в I^* при неполной информации :
 проверить правильность заключения

*«Если правительственные расходы не возрастут (P) , то налоги будут снижены (H). Если капиталовложения останутся постоянными (K), то возрастут правительственные расходы или возникнет безработица (B). Если налоги будут снижены и капиталовложения останутся постоянными, то безработица не возникнет. **Если правительственные расходы не возрастут, а налоги будут снижены, то капиталовложения останутся постоянными.** Следовательно, правительственные расходы возрастут» [1].*

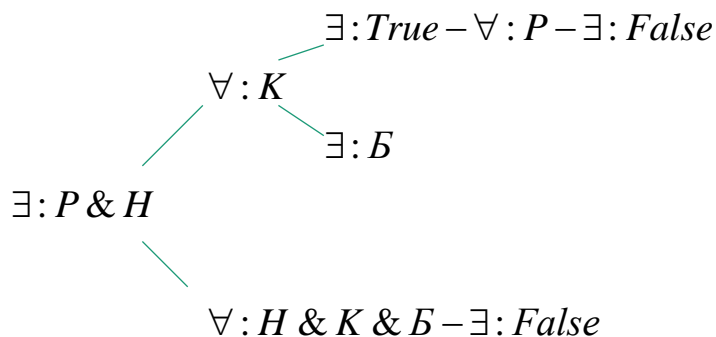
Пусть последнее условие этого утверждения отсутствует. Одно из возможных формализаций этого утверждения в исчислении высказываний имеет вид:

$$(P \rightarrow H) \ \& \ (K \rightarrow \neg P \vee B) \ \& \ (H \ \& \ K \rightarrow \neg B) \ \& \ (P \ \& \ H \rightarrow K) \ \rightarrow \ \neg P$$

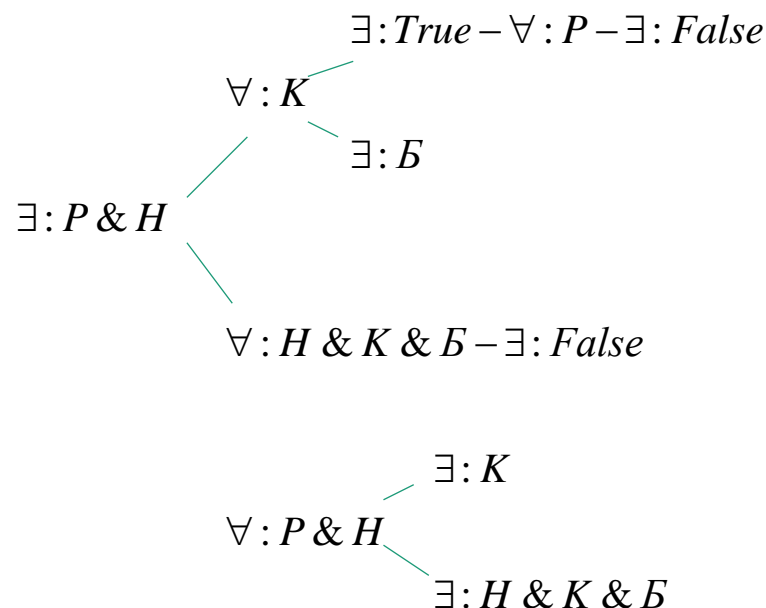
[1] Мендельсон Э. Введение в математическую логику, М.: Наука, 1971.

ПРИМЕР построения выводов при неполной информации методом дооснащения в булевом фрагменте исчисления I^*

После применений правила ω



После дооснащения

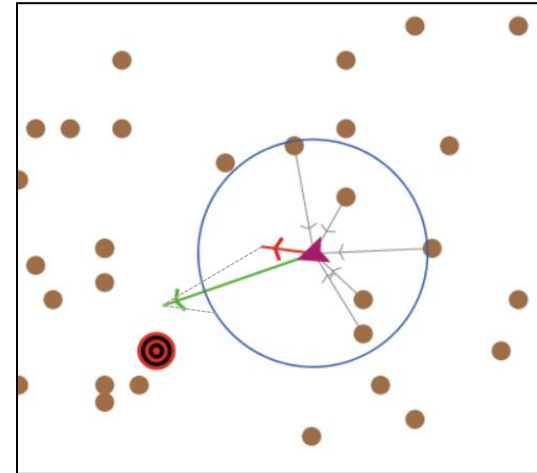


Т.к. $K \vee (H \& K \& B) \leftrightarrow K$, то $P \& H \rightarrow K$ – минимальное дооснащение, т.е. восстанавливается ранее «недоданное» в условиях упражнения.

Применимы эвристики (например, метод локальных сил отталкивания [1, 2])

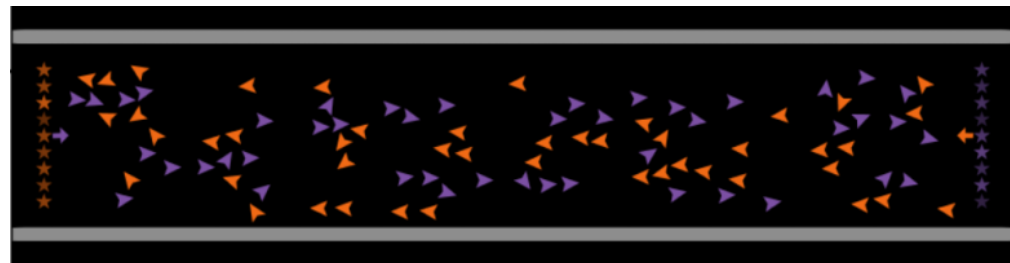
Сила отталкивания между точкой стены и роботом:

$$\vec{F}_{rw}(\vec{r}) = \begin{cases} -C_{rw} \exp(m_w) \frac{\vec{r}}{|\vec{r}|}, & |\vec{r}| < \frac{R_{rw}}{m_w} \\ -C_{rw} \exp\left(\frac{R_{rw}}{|\vec{r}|}\right) \frac{\vec{r}}{|\vec{r}|}, & |\vec{r}| \geq \frac{R_{rw}}{m_w} \end{cases}$$



Сила отталкивания между роботами:

$$\vec{F}_{rr}(\vec{r}) = \begin{cases} -C_{rr} \exp(m_r) \frac{\vec{r}}{|\vec{r}|}, & |\vec{r}| < \frac{R_{rr}}{m_r} \\ -C_{rr} \exp\left(\frac{R_{rr}}{|\vec{r}|}\right) \frac{\vec{r}}{|\vec{r}|}, & |\vec{r}| \geq \frac{R_{rr}}{m_r} \end{cases}$$



$C_{rr}, C_{rw}, m_r, m_w, R_{rr}, R_{rw}$ - константы взаимодействия.

[1] Helbing D., Molnar P. Social force model for pedestrian dynamics // Phys. Rev. E. — 1995. — Vol. 51. — P. 4282–4286.

[2] Аптуков А.М., Брацун Д.А., Люшин А.В. Моделирование поведения паникующей толпы в многоуровневом разветвленном помещении // Компьютерные исследования и моделирование. 2013. Т. 5, № 3. С. 491-508.

Для исчисления I^* разработано программное обеспечение, которое реализует процесс автоматического доказательства и строит гипотезы, в т.ч. в случае неразрешимости задачи, проявившейся в непродолжимости вывода. Реализован поиск стратегий вывода для задач планирования.

Prover

[Home](#) [Features](#) [Contacts](#)

```

\forall x_1: True \quad \exists x_2: Man(Socrates)
\begin{cases}
& \forall x_1: Man(x_2) \quad \exists x_1: Mortal(x_1) \\
& \forall x_1: Mortal(Socrates) \quad \exists x_1: False
\end{cases}
    
```

Preview

Clear

$$\forall: True \quad \exists: Man(Socrates) \left\{ \begin{array}{l} \forall x_1: Man(x_2) \quad \exists: Mortal(x_1) \\ \forall: Mortal(Socrates) \quad \exists: False \end{array} \right.$$

Prove

Prover

[Home](#) [Features](#) [Contacts](#)

Original pcf-tree:

$$\forall: True \quad \exists: Man(Socrates) \left\{ \begin{array}{l} \forall x_1: Man(x_1) \quad \exists: Mortal(x_1) \\ \forall: Mortal(Socrates) \quad \exists: False \end{array} \right.$$

Simplification results:

$$\forall: True \quad \exists: Man(Socrates) \left\{ \begin{array}{l} \forall x_1: Man(x_1) \quad \exists: Mortal(x_1) \\ \forall: Mortal(Socrates) \quad \exists: False \end{array} \right.$$

Substitution:

$$x_1 \rightarrow Socrates$$

Elaboration:

$$\emptyset$$

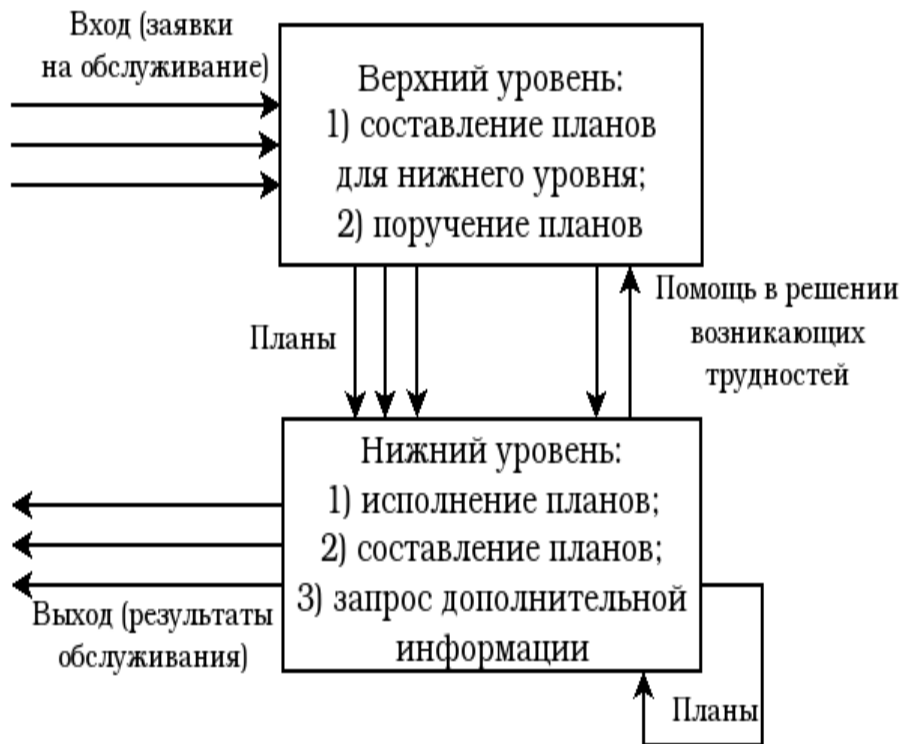
Result of substitution and elaboration:

$$\forall: True \quad \exists: Man(Socrates), Mortal(Socrates) \left\{ \begin{array}{l} \forall x_1: Man(x_1) \quad \exists: Mortal(x_1) \\ \forall: Mortal(Socrates) \quad \exists: False \end{array} \right.$$

Substitution:

$$\emptyset$$

К управлению группой мобильных роботов в транспортно-логистической системе [1]



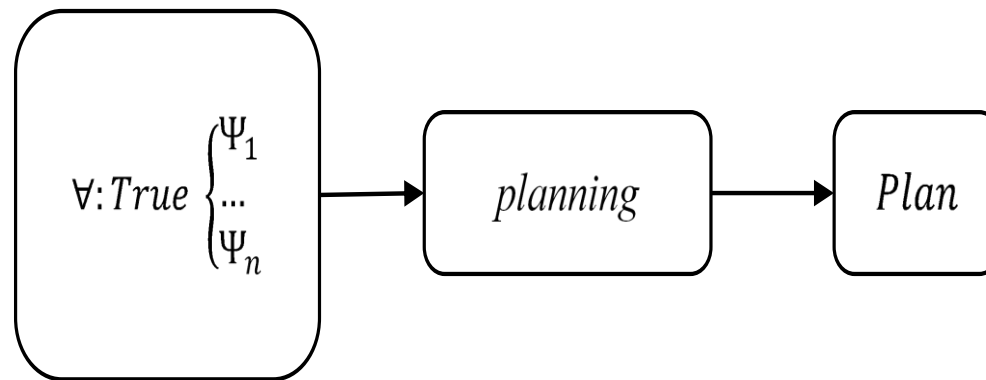
Разработанные средства планирования поведения роботов применимы в разных задачах. Рассмотрены двухуровневые системы группового управления с иллюстрацией на задаче приема на хранение и выдачи товаров со склада.

Разработаны модель и дополнительное программное обеспечение группового управления роботами, обслуживающими поступающие заявки. Предполагается, что верхний уровень представлен компьютерной программой как агентом-координатором, который составляет планы и поручает их агентам-исполнителям (представителям нижнего уровня). Координатор может руководствоваться некоторыми эвристиками предметной области при распределении сгенерированных планов между исполнителями.

Метапланы исполнителей в процессе исполнения на нижнем уровне допускают неоднозначность решения некоторых промежуточных подзадач, что возлагает на исполнителя задачу планирования собственных действий по их решению, в том числе с горизонтальным взаимодействием исполнителей, например, для бесстолкновительности движения или оказания взаимопомощи, когда исполнитель не в силах справиться с подзадачей в одиночку.

Визуализация процессов выполнена анимированным набором геометрических примитивов в 2D и частично в 3D-представлении (прием-размещение грузов по стеллажам).

Разработанное программное обеспечение автоматизации вывода с параллельной стратегией поиска выводов извлекает планы из логических выводов спецификаций целей управления.



Пример плана на выходе алгоритма планирования:

$$Take^a(box) \rightarrow GoTo^a(entrance) \rightarrow \begin{cases} Put^a(box, top) \\ Put^a(box, middle) \\ Put^a(box, bottom). \end{cases}$$

Исполняющее устройство должно: 1) поднять ящик, 2) переместиться к некоторому стеллажу и 3) выбрать одну из трех полок для размещения ящика с учетом обстоятельств.

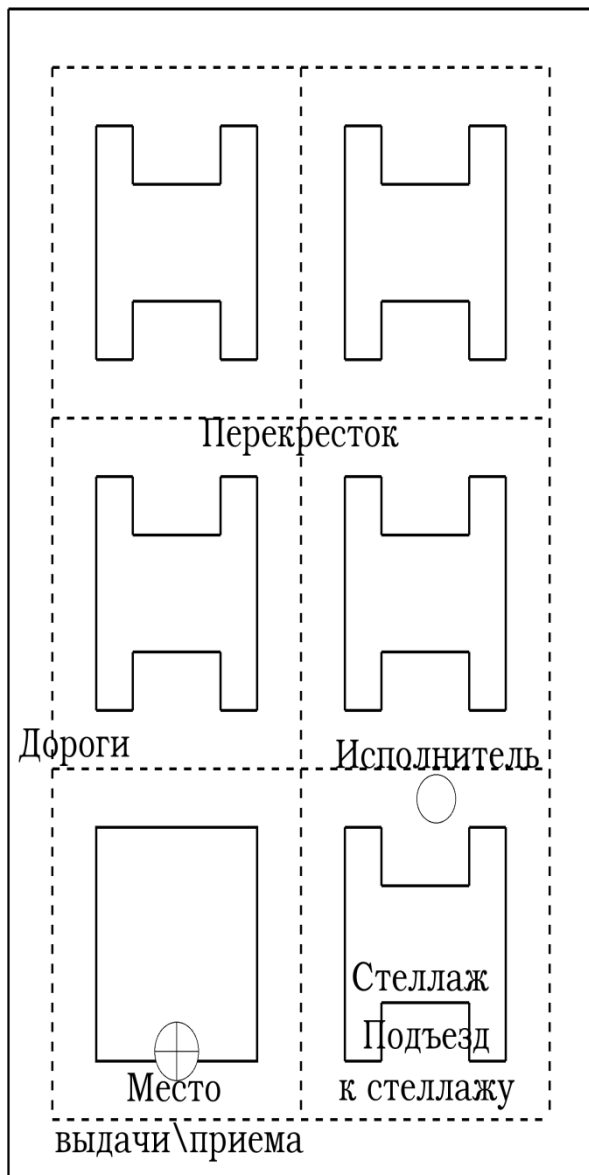
План

$$Take^a(box) \rightarrow GoTo^a(entrance) \rightarrow \begin{cases} Put^a(box, top) \\ Put^a(box, middle) \\ Put^a(box, bottom). \end{cases}$$

извлекается из вывода с использованием фрагмента знаний:

$$\exists: Base \left\{ \begin{array}{l} \forall b_1 x_1: Charged(no, None), At(robot, x_1), At(b_1, x_1), Box^c(b_1) \dots \\ \dots \exists: Charged^*(yes, b_1), At^*(b_1, robot), Take^a(b_1) \\ \forall b_2 x_2: Charged(yes, b_2), At(robot, x_2), \dots \\ \dots EntranceToFreeShelf^c(x_2) \left\{ \begin{array}{l} \exists: Charged^*(no, None), \dots \\ \dots At^*(b_2, x_2), Put^a(b_2, top) \\ \exists: Charged^*(no, None), \dots \\ \dots At^*(b_2, x_2), Put^a(b_2, middle) \\ \exists: Charged^*(no, None), \dots \\ \dots At^*(b_2, x_2), Put^a(b_2, bottom) \end{array} \right. \\ \forall xy: At(robot, x) \exists: At^*(robot, y), GoTo^a(y) \\ \forall s: At(box, s), NearestFreeShelf^c(s) \exists: False. \end{array} \right.$$

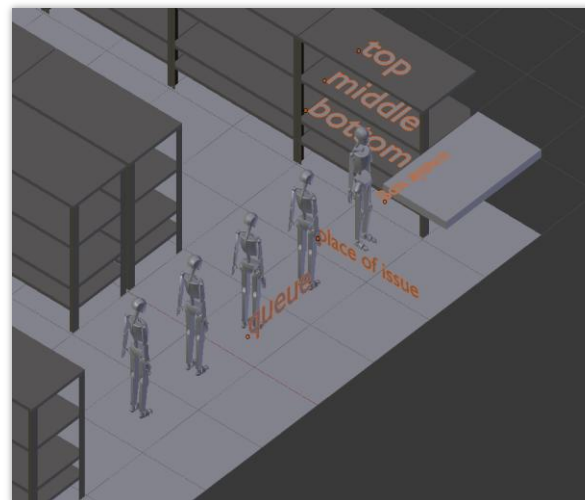
Здесь последняя строка является отрицанием целевой спецификации G .



Выполнена визуализация процесса обслуживания заявок анимированным набором геометрических примитивов, изображающих исполнителей, склад и товары. На рис. – стеллажи с указанным местом выдачи-приема, местами погрузки, дороги, исполнитель-робот.

Модель реализована в 2D и в упрощенном представлении в 3D (только задачи по размещению грузов по стеллажам с применением модели социальных сил).

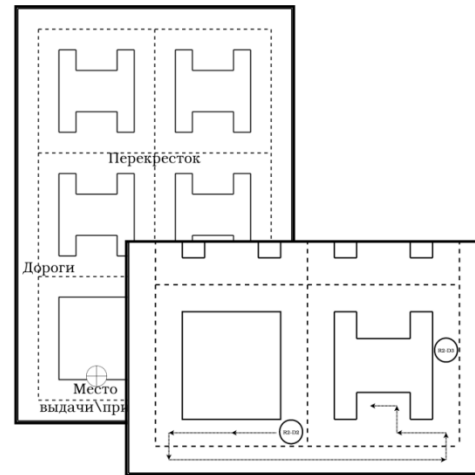
Видеоиллюстрация функционирования дана в предположении, что изображения роботов могут накладываться в местах погрузки/выгрузки товаров (для простоты реализации). В остальных местах это считается за столкновения.



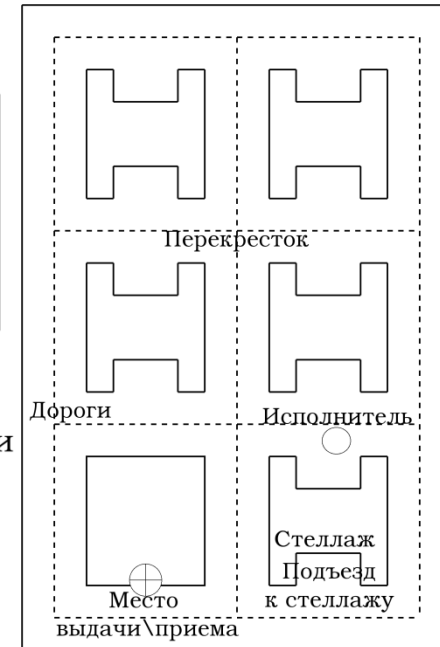
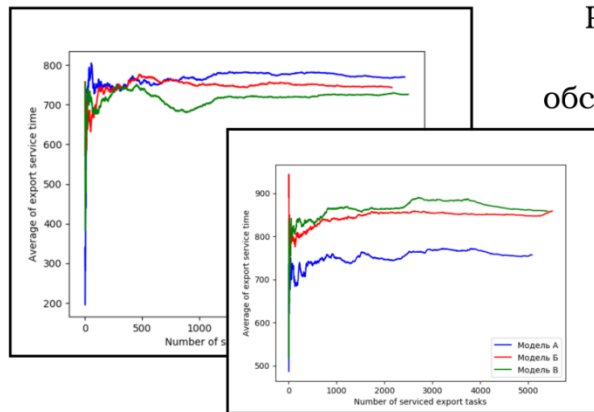
Групповое управление по приему- размещению- выдаче грузов на складе [1,2]



Разработано алгоритмическое ПО поиска вывода в исчислении ПОФ с двумя правилами вывода



Разработана транспортно-логистическая модель обслуживания склада роботами



Проведены машинные эксперименты с оценкой производительности двухуровневой системы децентрализованного группового управления роботами

[1] Бузиков М.Э., Васильев С.Н., Морозов Н.Ю. Автоматизация планирования действий группы мобильных роботов // Сб. тез. докл. Научной конф. «Ломоносовские чтения», секц. физ. МГУ, 2017. - С. 155-158.

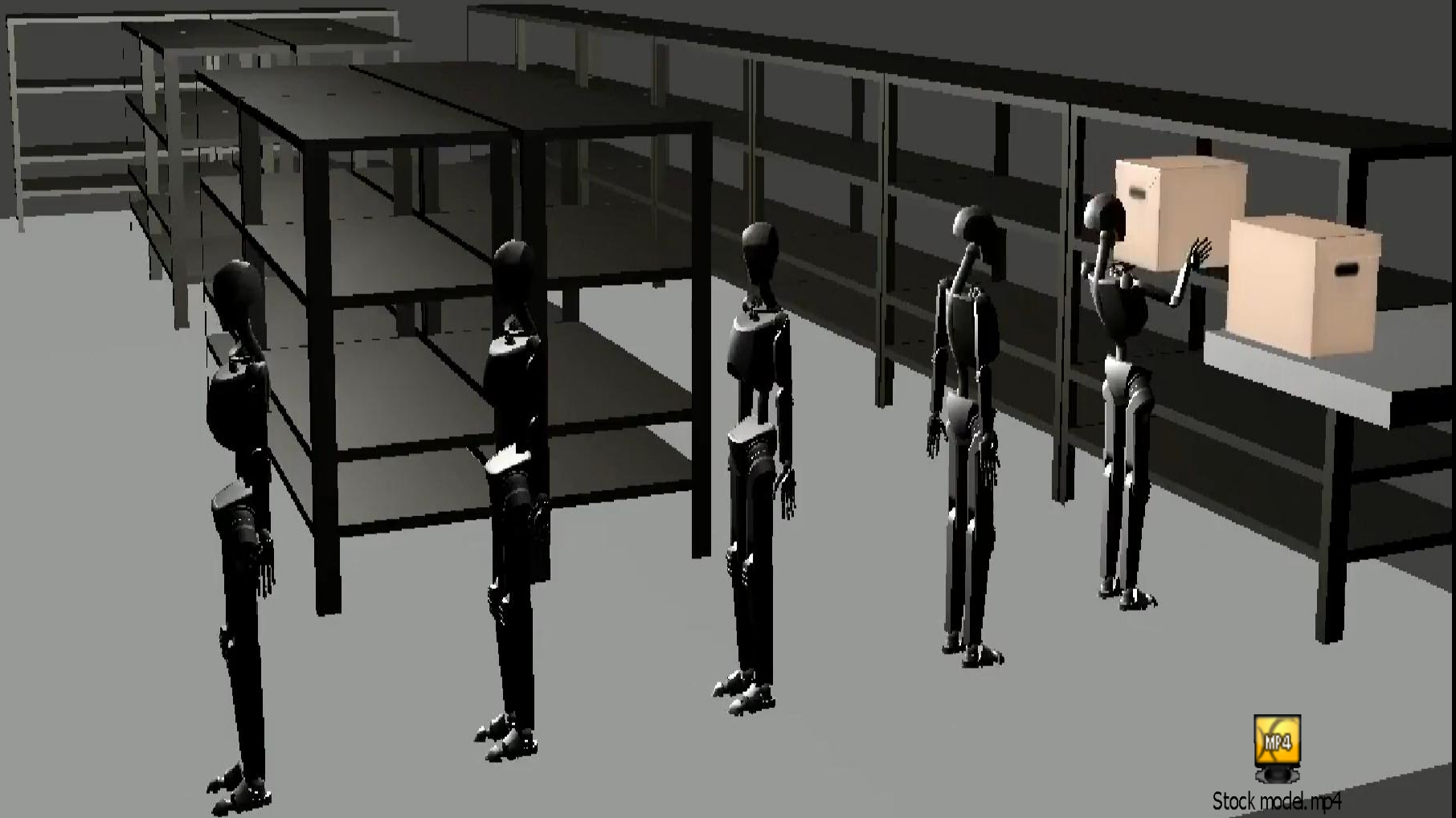
[2] Васильев С.Н., Браништов С.А., Бузиков М.Э., Морозов Н.Ю. Групповое командное управление автономными мобильными аппаратами // Материалы 10-й Всероссийской мультikonференции по проблемам управления, 2017. Т. 2 «Робототехника и мехатроника». С. 251-252.

Реализованная система управления успешно справляется с процессом обслуживания возникающих заявок. Роботы производят обслуживание заявок на ввоз и вывоз товаров со склада, а также помогают друг другу при погрузке товара на верхнюю полку.

Логика алгоритмов наглядна для пользователя благодаря особенностям языка L . Особая структура L обеспечивает содержательное восприятие формульных структур в процессе вывода. Это позволяет эвристически варьировать L , исходя из тех или иных соображений оптимальности, и следить за показателями качества системы. Например, изменение или ввод новых правил движения, не нуждающихся в расширении прежнего набора предикатов (сигнатуры) логической модели системы, легко осуществимы благодаря семантической наглядности текстов модели.

Если автоматизировать процесс перевода L на естественный язык, то можно ожидать от реализованного программного обеспечения не только желаемой функциональности, но и его отчуждаемость и возможность задействования экспертов, которые смогут достаточно просто анализировать оправданность действий агентов и вносить необходимые коррективы в их поведение.





Stock model.mp4

- Развита метод интеллектуального децентрализованного планирования действий автономных мобильных аппаратов (роботов) в недетерминированной среде на дедуктивно-абдуктивного вывода.
- Разработано программное обеспечение автоматизации логического дедуктивно-абдуктивного вывода, в т.ч. в исчислении I^* с конструктивной и немонотонной семантикой.
- Разработаны модель и дополнительное программное обеспечение двухуровневого группового управления роботами, обслуживающими склад.

Задачи и проблемы на будущее

- Построение нечеткого аналога логического исчисления I^* .
- Автоматизация процесса перевода языка L в естественный язык и обратная задача.
- Комбинация нейросетевых и логических методов языка L .
- Сопряжение с моделями программно-позиционного управления движением аппарата в конкретном приложении.
- Достижения в автоматизации целеполагания и пересмотра критериев качества управления совсем незначительны, что и определяет наиболее трудные проблемы интеллектуального управления на будущее. Здесь проблемы:
 - автоматизации самомотивации и использования механизма типа эмоций;
 - автоматизации пересмотра критериев эффективности (качества) достижения цели;
 - самоцелеполагания;
 - группового взаимодействия (кооперативного, конкурентного и смешанного) с пересмотром целей (мультиагентные системы).

Спасибо за внимание