

Научная статья

УДК: 629.5/ 519.6/004.9

DOI: <https://doi.org/10.37220/MIT.2025.68.2.030>Алгоритм управления мультиагентной системой
для судоремонтного докаДанцевич И.М.¹ dantsevich65@mail.ru, Лютикова М.Н.¹ mnlyutikova@mail.ru,
Кравченко А.И.¹ nyanechkaanna@yahoo.com¹Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова

Аннотация. В работе строится алгоритм управления и организации сети судоремонтного производства плавучего дока с применением метода линейного программирования и принципов мультиагентного управления. Действительно интеллектуальным агентом является док, имеющий сеть смышлённых агентов – системы балластных танков. Интеллектуальный агент - докуемое судно, совместно с программой судоремонта, предусматривающей использование кранов, манипуляторов и ресурсов в рамках мультиагентной сети, позволяет эффективно организовать процессы ремонта судов, обеспечивая конвергенцию агентов при соблюдении ограничений системы безопасности. В работе рассматривается задача конвергенции смышленных агентов, основанной на условиях централизации и децентрализации смышленных агентов при наличии нескольких интеллектуальных агентов (докуемых судов). Условия ограничений конвергенции агентов – действительно интеллектуального агента, интеллектуального агента и смышлённых агентов должна предусматривать централизацию смышлённых агентов по принципам группового взаимодействия. Образование конвергентных групп предусматривает централизацию по принципам ограничений задач с центром интеллектуального агента при условии ограничений непосредственно уже действительно интеллектуальным агентом. Полученный алгоритм синтеза управления технологическими операциями, основанный на генерации целевых функций, повышает эффективность мультиагентной системы.

Ключевые слова: плавучий док, мультиагентная сеть, интеллектуальный агент, действительно интеллектуальный агент, смышленный агент, конвергенция, децентрализация и децентрализация мультиагентной сети, конвергентное взаимодействие мультиагентной сети.

Для цитирования: Данцевич И.М., Лютикова М.Н., Кравченко А.И. Алгоритм управления мультиагентной системой для судоремонтного дока, Морские интеллектуальные технологии. 2025. № 2 часть 1, С. 244—253. DOI: 10.37220/MIT.2025.68.2.030

Original article

DOI: <https://doi.org/10.37220/MIT.2025.68.2.030>

Algorithm of multi-agent system control for ship repair dock

Igor M. Dantsevich¹ dantsevich65@mail.ru, Marina N. Lyutikova¹ mnlyutikova@mail.ru,
Anna I. Kravchenko¹ nyanechkaanna@yahoo.com¹Admiral Ushakov Maritime State University

Abstract. The algorithm for managing the organization of a floating dock ship repair production network by means of the linear programming method and the principles of multi-agent management has been constructed. The truly intelligent agent is the dock, having both a network of intelligent agents and ballast tank systems. The intelligent agent docked vessel, together with the ship repair program, which provides for the use of cranes, manipulators and resources within a multi-agent network, makes it possible to arrange ship repair processes effectively, ensuring the convergence of agents while observing the limitations of the security system. The paper considers the problem of convergence of intelligent agents based on the conditions of centralization and decentralization of intelligent agents in the presence of several intelligent agents (docked vessels). The conditions for limiting the convergence of agents as a truly intelligent agent, an intelligent agent, and intelligent agents should provide for the centralization of intelligent agents according to the principles of group interaction. The formation of convergent groups provides for centralization according to the principles of task constraints with the center of an intelligent agent, subject to restrictions directly by a truly intelligent agent. The obtained algorithm for the synthesis of technological operations control, based on the generation of objective functions, increases the efficiency of a multi-agent system.

Keywords: floating dock, multi-agent network, intelligent agent, truly intelligent agent, intelligent agent, convergence, decentralization and decentralization of multi-agent network, converged interaction of multi-agent network.

For citation: Igor M. Dantsevich, Marina N. Lyutikova, Anna I. Kravchenko. Algorithm of Multi-agent System Control for Ship Repair Dock. Marine intellectual technologies. 2025. № 2 part 1, P. 244—253. DOI: 10.37220/MIT.2025.68.2.030

Введение

В последнее время многоагентные системы (МАС) находят применение в различных сферах, таких как сфера судоходства, морского транспорта,

благодаря своей способности моделировать сложные взаимодействия и координацию между множеством агентов [1-2].

Судоремонтный док — это специализированное сооружение технического флота, предназначенное

для проведения ремонта, обслуживания и модернизации морских судов.

В данной работе объектом исследования является док №190 (рисунок 1) [3], построенный в 1985 году на судовой верфи в г. Трогир (Хорватия). Плавдок стр. № 190 представляет из себя плавучий металлический четырехпалубный док с вертикальными башнями 1985 года постройки грузоподъемностью – 60 тыс. т., весом – 28 469 т., водоизмещением – 90 159 т., длиной – 311,28 м., шириной – 75,3 м., высотой – 22,5 м., осадкой – 12 м.

Построение судоремонтного производственного плана [4] для одновременного докования группы судов является сложной задачей, требующей учета множества факторов, таких как распределение ресурсов дока, обеспечивающей безопасное выполнение работ, время, ресурсы.

В настоящее время разработка алгоритмов и моделей управления судоремонтным доком с целью оптимизации, распределения ресурсов и времени ремонта судов является сложной, но актуальной задачей.

Для решения таких задач, управления судоремонтным доком, существует множество методов и подходов. Метод линейного программирования, мультиагентное управление, генетический алгоритм получил широкое применение при решении данных задач [5].

В разрабатываемой мультиагентной системе, док судна, считаем смысловыми агентами, входными информационными данными являются результаты измерения и контроля рабочих параметров дока (расстояний и углов, основных размеров дока) при выполнении программы докования и судоремонта [6].

Действительно интеллектуальный агент (ДИА – сам док) располагает базой ограничивающих условий расположения интеллектуальных агентов (ИА), применения машин и механизмов, использования запасов судоремонта.

Смысловые агенты (СА) – это система балластных танков балластно-зачистной системы дока.



Рис. 1. Докование группы судов в доке №190

Полный перечень задач выполняемых мультиагентной сетью состоит в следующем:

1. Проверка прочности, проектных характеристик плавучего дока 60000 тн., в том числе грузоподъемности в соответствии с РД 31.52.22-88 "Правила технической эксплуатации судоподъемных сооружений" со сроком введения в действие с 1 сентября 1989 года.

2. Создание диаграмм погружения и всплытия дока с целью анализа продольного изгиба дока.

3. Проверка прочности и устойчивости корпуса дока при общем продольном изгибе. Взаимное влияние продольного и поперечного изгибов.

4. Контроль устойчивости башен доков в горизонтальной плоскости (применение задачи Ф. С. Ясинского).

5. Калибровка пневмеркаторной (пьезометрической, электропневматической) системы измерения уровня в балластных/сервисных танках.

6. Обновление программного комплекса измерения, отображения и управления системы управления и контроля дока 60000 тн.

7. Оснащение автоматизированного рабочего места новой рабочей станцией с выводом служебной информации на дисплей, размещённый вместо демонтированной мнемонической электрифицированной схемы управления балластной системы дока 60000 тн.

8. Разработка комплекта программ регистрации режимов работы дока, включает в себя несколько ключевых компонентов:

- получение объективной информации о режимах работы дока и данных для анализа причин отказов узлов и механизмов управления, погружением и всплытием дока;

- документирование информации, как оперативной, так и долговременной.

9. Программа и данные для расчёта док-судно с применением метода конечных элементов на ЭВМ.

Требования к разработке смысловых агентов (измерительных станций) состоят в изучении и создании алгоритмов измерения и управления необходимых и достаточных измеряемых параметров прочности и устойчивости объекта мультиагентной сети, судоремонтного дока №190.

- расчёт и проверка эпюр допускаемых нагрузок на стпель-палубу дока 60000 тн.;

- уточнение и калибровка балластной, зачистной, измерительной систем и предупредительно-аварийной сигнализации дока 60000 тн.;

- уточнение и калибровка диаграммы затопления балластных отсеков;

- уточнение диаграммы теоретических элементов с кривыми моментов инерции балластных отсеков;

- уточнение балластировки с одним или группой судов;

- уточнение схемы общей прочности дока 60000 тн.;

- уточнение схемы раскрепления дока 60000 тн.;

- уточнение номограммы одного или группы судов дока 60000 тн.;

- разработка программы для расчёта системы док-судно с применением метода конечных элементов на ЭВМ;

- подготовка технической документации в соответствие с разделом 4 части I правил классификации и постройки морских судов Морского регистра РФ.

В соответствие с перечнем планов судоремонта, технического и технологического контроля, разработаем граф, описывающих структуру многоагентной сети, рисунок 2.

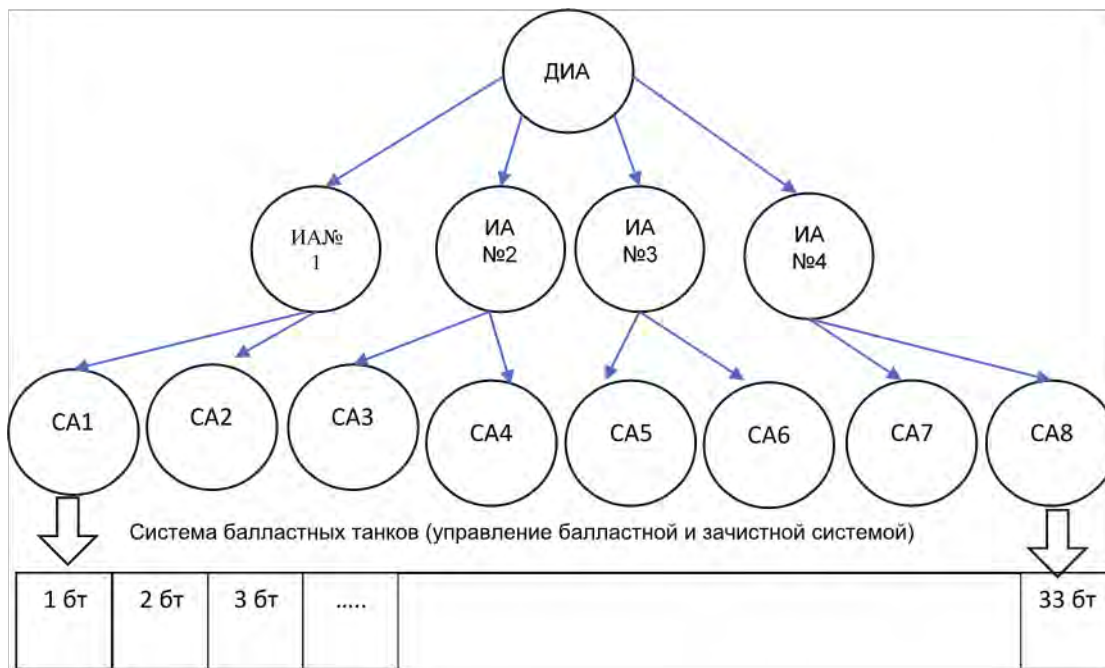


Рис. 2 Многоагентная система судоремонтного производства

Систему смысловых агентов запишем в матричном виде, обходя граф по часовой стрелке, начиная с точки один, группируя по три точки:

$$L = \begin{bmatrix} x_1 + x_2 + x_3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & x_3 + x_4 + x_5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & x_5 + x_6 + x_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & x_1 + x_5 + x_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & x_4 + x_2 + x_6 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} l_1 \\ l_2 \\ l_3 \\ l_4 \\ l_5 \end{bmatrix} \quad (1)$$

диагональные значения матрицы (1) образуют измерительную базу, и каждая тройка образует ортогональный базис измерения расстояний, пересчитываемый через косинусы направляющих прямых, соединяющих точки измерений в которых расположены измерительные станции.

Вычисление показателей устойчивости производится через вычисление относительных величин, базовый показатель прочности — это предельные значения механических напряжений, для особопрочной стали основного металла корпуса $\sigma = 255 \text{ Н/мм}^2$ для оценивания предельных эксплуатационных показателей используются относительные величины.

По измеренным значениям позиций контрольных точек действительно интеллектуального агента определяем порядок централизации, или децентрализации конвергентного поведения агентов.

Складирование запасов, или перемещение механизмов обслуживающего интеллектуального агента, может потребовать заполнения балластом определенного набора танков — децентрализация. Перевод судоремонтных технологических операций на определённую площадку, наоборот — централизации.

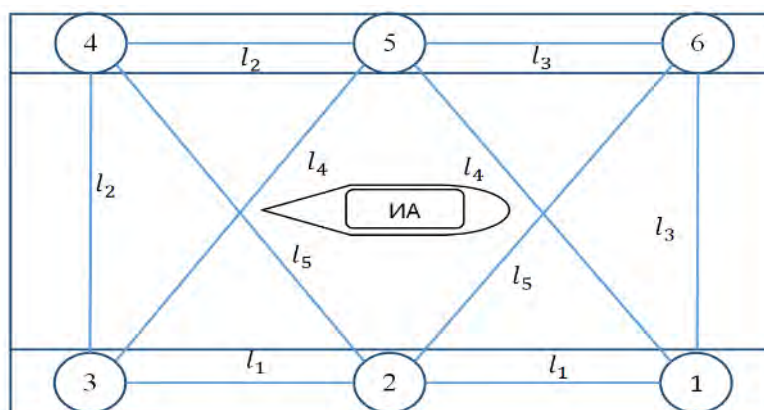


Рис. 3. Построение измерительного графа смысловых агентов

Относительной величиной измерительной базы будем считать показатель устойчивости [7]:

$$\mu = \gamma \frac{\sigma_{uzm}}{\sigma}, \quad (2)$$

где γ – калибровочный коэффициент системы в элементе измерительной базы.

Метод, рассмотренный выше, тем не менее, даёт только самые приближительные оценки, кроме того, необходимо измерять касательные напряжения, вызывающие общий изгиб дока в различных плоскостях.

Применение современных способов отображения динамики делает желательным рендеринг конструкции с выводом показателей в виде графических анимации нагрузок.

Рассмотрим трёхмерную поверхность анализируемой базы смышлённых агентов, которую можно аппроксимировать по узловым точкам

Например, тензорное произведение полиномов Бернштейна (графический образ Безье) описывается как:

$$B(x, y) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m L_{i,j} H_{n,i}(x) F_{m,j}(y) \quad (3)$$

где $H_{n,i}(x)$, $F_{m,j}(y)$ – соответствуют ортогональной форме разложения в виде:

$$H_{n,i}(x) = \binom{n}{i} x^i (1-x)^{n-i}, \quad (4)$$

$$F_{m,i}(y) = \binom{m}{j} z^j (1-y)^{m-j}, \quad (5)$$

с вычислением биномиальных коэффициентов по формулам (6) и (7):

$$\binom{n}{i} = \frac{n!}{i!(n-i)!}, \quad (6)$$

$$\binom{m}{j} = \frac{m!}{j!(m-j)!}. \quad (7)$$

Смышлённые агенты, по рассчитанным нормированным показателям, строят аналитическую экспертную базу и производят генерацию оценок, в режиме реального времени.

Рассчитанные показатели прочности в процентных значениях показывают оценки параметром механических нагрузок, которые создают поставленные в док суда, а также влияние дополнительных факторов, таких как погода (низкие, или высокие температуры) и штормовой ветер.

Смышлённые агенты могут использовать соотношение измеряемых величин для создания визуальных представлений, таких как рендеринг схематической поверхности дока, по точкам контроля. Теоретически возможно, методом увеличения точек интерполяции построить более подробную картину распределения напряжений, как показано на рисунке 4 [8-12].

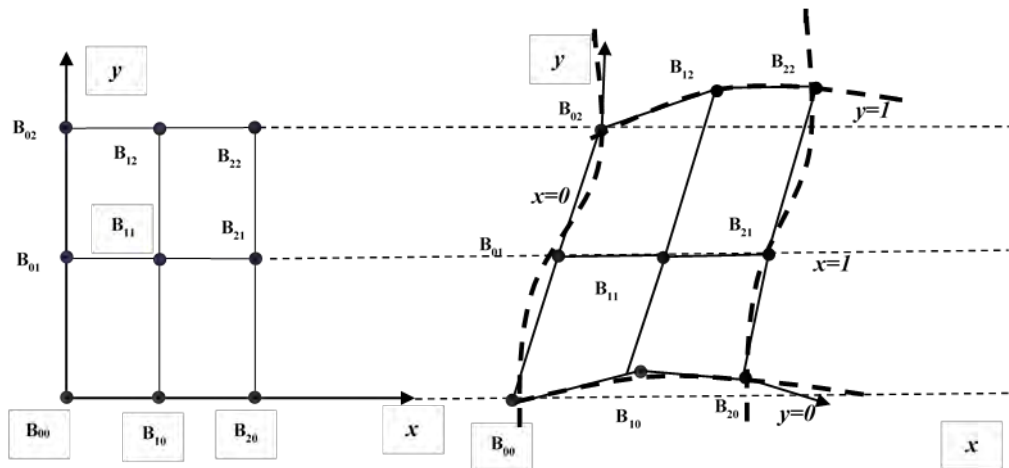


Рис. 4. Рендеринг параметрической поверхности схематической расчётной схемы дока

Оценка точности параметров, получаемых с базы смышлённых агентов, производится посредством измерения геометрии существующих форм по отношению к линейному удлинению балок и стрингеров набора. Распределение усилий в системе набора носит вероятностный характер, оцениваемый по матрице соответствия предельным состояниям.

В соответствии с формулой (3) для параметрической поверхности определяем набор оптимальных полиномов аппроксимации $H_{n,i}(x)$, $F_{m,i}(y)$ относительно вершин графа $B_{00}, B_{10} \dots B_{20}$ и $B_{01}, B_{11} \dots B_{21}$.

Приближение к вычисляемым показателям точности оценок можно получить вычислением производных базисных функций $H_{n,i}(x)$, $F_{m,i}(y)$:

$$B(x, y) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m L_{i,j} H'_{n,i}(x) F_{m,j}(y), \quad (8)$$

$$B(x, y) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m L_{i,j} H_{n,i}(x) F'_{m,j}(y) \quad (9)$$

$$B(x, y) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m L_{i,j} H''_{n,i}(x) F_{m,j}(y), \quad (10)$$

$$B(x, y) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m L_{i,j} H'_{n,i}(x) F''_{m,j}(y), \quad (11)$$

$$B(x, y) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m L_{i,j} H_{n,i}(x) F''_{m,j}(z), \quad (12)$$

$$F'_{m,j}(y) = \frac{F_{m,j}(y) + (y - \Delta y) F'_{m,j-1}(y)}{(y_{j+1} - y)}, \quad (13)$$

$$F''_{m,j}(y) = \frac{F'_{m,j}(y) + (y - \Delta y) F''_{m,j-1}(y)}{(y - y_j)}, \quad (14)$$

$$H''_{n,i}(x) = \frac{H'_{n,i}(x) + (x - \Delta x)H''_{n,i-1}(x)}{(x_{i+1} - x_i)} \quad (15)$$

Вторая производная даёт уже приближение второго порядка малости, дальнейшее приближение лежит в области шума измерений и практической ценности для измерений уже не представляет.

В отличие от первого способа интерполяции размерений по методу Лагранжа, метод аппроксимации по приближению полиномами Бернштейна, даёт большую точность и может учитывать нелинейности при нагрузках. Однако при использовании метода приближения полиномами Бернштейна, требуется размещение дополнительных точек агентов в плоскости дока.

Таковыми становятся интеллектуальные агенты, создающие дополнительный базис контроля при присутствии судна внутри дока. При постановке в док, действительно интеллектуальный агент, рассматривает систему поворотов и расстояний как базисную позицию, устанавливаемую по расчётам технологической подготовки производства. Установка судна по определённой позиции соответствует расстояниям и косинусам определяемыми относительно центра тяжести судна.

По рассчитанным позициям графа, новый базис сформируется как:

$$L_{\partial u} = c_{i,j}^{-1} \cdot \begin{vmatrix} B_{00} & B_{01} & B_{02} \\ B_{10} & B_{11} & B_{12} \\ B_{20} & B_{21} & B_{22} \end{vmatrix} \quad (16)$$

(2.16)

где $c_{i,j}^{-1}$ – расстояния между смыслёнными агентами $B_{00} - B_{11}$, $B_{20} - B_{11}$, $B_{02} - B_{11}$, $B_{22} - B_{11}$, тогда как $B_{01}, B_{10}, B_{02}, B_{21}$ – косинусы расчётных углов базы смыслённых агентов относительно интеллектуального агента – судна поставленного в док (его центра тяжести).

Второй подход даёт более точные оценки, позволяющие построить сетевую структуру взаимодействия смыслённых, интеллектуальных и действительно интеллектуального агента, собственно в интересах, которого и реализуются ресурсы сети.

Модифицированные оценки позволяют построить структуру ортогональных базисов, связанных между собой правилами взаимодействия (централизация и децентрализация), имеющей возможность самообучения. Для синтеза самообучающейся системы необходимо модифицировать схему построения многоагентной сети, приведенной на рисунке 4. В результате получается новая система, генерирующая локальные ортогональные базисы, как показано на рисунке 5.

Задача централизации предусматривает конвергентное поведение мультиагентной сети. Конвергенция мультиагентной сети – это сближение задачи распределения сил и моментов, вызванных взаимодействием интеллектуальных агентов по ограничениям накладываемых действительно интеллектуальным агентом. Непосредственно решение о централизации или децентрализации определяет конвергентное поведение мультиагентной сети.

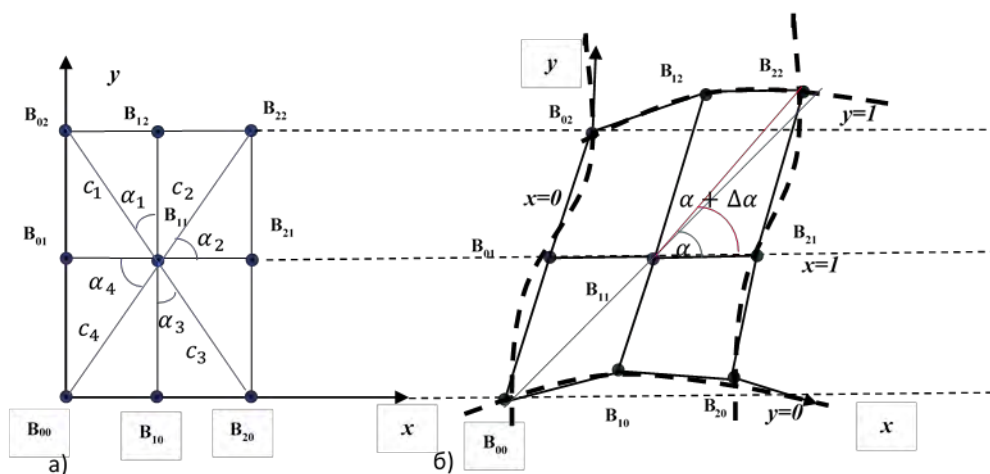


Рис. 5. Формирование базисов оценок интеллектуальных и смыслённых агентов: а) формирование ортогональных базисов по вертикальным углам и направлениям $c_1 \dots c_4$; б) фиксация ошибки угла базиса $\alpha + \Delta\alpha$

На рисунке 5 показаны вычисление углов базисных ортогональных планов оценивания геометрии (рисунок 5, а)). Углы $\alpha_1 \dots \alpha_4$ образованные между направлениями: $B_{12}B_{11}B_{01}$ – угол α_1 и вертикальный ему $B_{10}B_{11}B_{21}$ – угол α_3 ; попарно вертикальные углы $B_{12}B_{11}B_{21}$ – угол α_2 и $B_{10}B_{11}B_{01}$ – угол α_4 позволяют сгенерировать локальные ортогональные базисы.

Действительно интеллектуальный агент, которым собственно и является док, имеет возможность управления состоянием, как самой системы, так и состоянием интеллектуального агента. В первом

случае используется система управления балластной и зачистной системой, во втором изменение позиции, как самого интеллектуального агента, так и его компонентов, используемых в ходе судоремонта.

На рисунке рассматривается случай, наличия одного интеллектуального агента, одного докуемого объекта, на деле интеллектуальных агентов может быть несколько, как показано на рисунке 1.

В этом случае алгоритм взаимодействия мультиагентной системы должен сгенерировать новый набор базисов, как показано на рисунке 6.

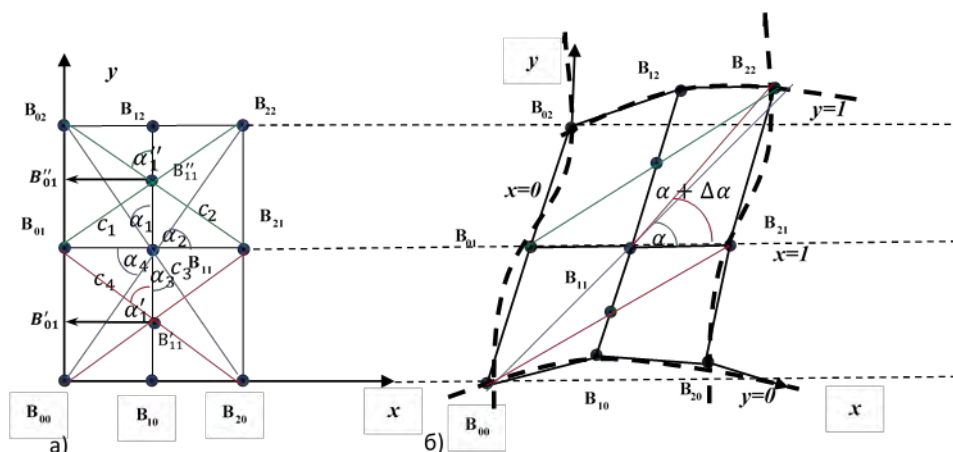


Рис. 6. Формирование базисов мультиагентной сети при взаимодействии нескольких интеллектуальных агентов: а) формирование трёх ортогональных базисов: $B_{01}''B_{11}''B_{12}''$; $B_{01}B_{11}B_{12}$; $B_{01}'B_{11}'B_{10}'$; б) фиксация ошибки углов базиса

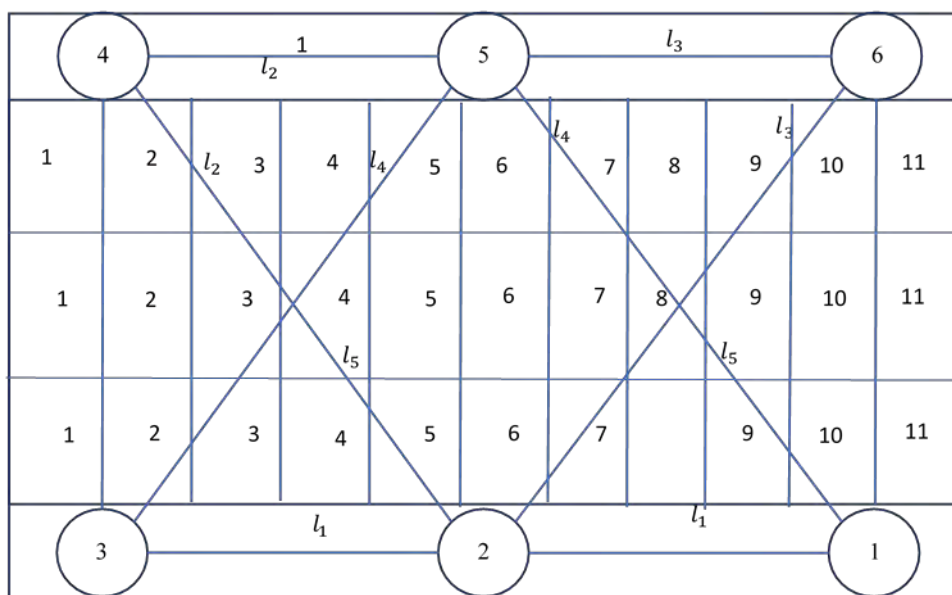


Рис. 7. Расположение агентов исполнителей нижнего уровня иерархии действительно интеллектуального агента

В случае, взаимодействия нескольких интеллектуальных агентов, показанном на рисунке 7, генерация новых базисов оценок производится по наблюдаемым позициям группы интеллектуальных агентов.

Действительно интеллектуальный агент, формирует базу распределения ресурсов сети уже по наборам новых базисов оценок. В иерархии смысловых агентов существует группа агентов исполнителей (курьеров). На самой вершине иерархии расположен действительно интеллектуальный агент, ниже уровнем смысловые агенты, на самом низком уровне агенты исполнители.

Агенты-исполнители представляют собой систему балластных танков балластно-зачистной системы. По сечению дока расположены 11 шпаций, в плоскости каждой из которых имеется по три балластных танка, всего их насчитывается тридцать

три. Взятием балласта агент-исполнитель может обеспечить выравнивание нагрузок в плоскости шпаций, распределяя изменение сил, нагружающих понтон в плоскости шпации.

Динамика агентов исполнителей представляется, как работа балластно-зачистной системы дока по исполнению целевого плана взаимодействия мультиагентной сети при выполнении комплекса (кейса) целевых функций сети.

Синтез алгоритмов взаимодействия многоагентной сети (МС)

Синтез алгоритма наблюдателей, интеллектуальных агентов, по позиции смысловых агентов, выполним по принципу проверки парности косинусов вертикальных углов. Вертикальные углы, измеряемые с позиции интеллектуальных агентов должны соответствовать заранее рассчитанной

Однако, суждения, выносимые интеллектуальными агентами, служат базой знаний действительно интеллектуального агента, собственно самого дока. Накопленная база знаний, дополняется матрицей соответствия распределения сил поддержания и веса, получаемые с системы балластных танков. Информация, получаемая с балластно-зачистной системы, формирует процесс определения мотивированного поведения действительно интеллектуального агента, как системы векторов усилий и компенсации динамики мультиагентной системы.

Позиционирование интеллектуальных агентов, составляет сущность сложной задачи

перемещений и динамики производственных заданий. В результате вычислений углов, можно определить распределение сил в наборе дока. Так при положительной разнице $\gamma_1 = \cos \alpha_1 - \cos \alpha_3$ зафиксированной при позиции интеллектуального агента в случае его единственности, потребуется взятие дополнительного водяного балласта в балластные танки 6-11. Алгоритм частной задачи вычислений позиции и программы динамики интеллектуальных агентов при положительной разнице показанный на рисунках 8-9 является типовым при определении целевых функций мультиагентной сети.

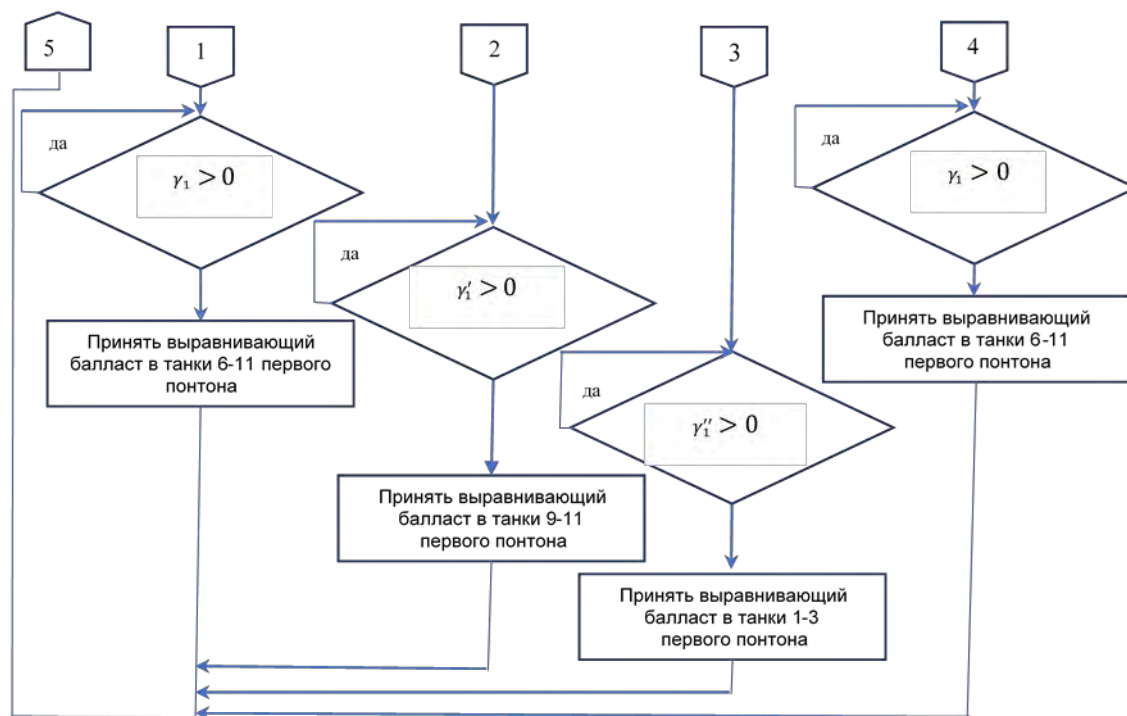


Рис. 9. Продолжение алгоритма рисунок 8

Сторонняя база знаний мультиагентной сети, формируется также показателями возмущения системы за счёт природных факторов. При этом свежая штормовая погода не является основанием функционирования мультиагентной сети по достижению показателей её эффективности.

Важным фактором является изменение параметров самих интеллектуальных агентов, их функционирование не состоит в статическом положении, постоянно происходит монтаж (или демонтаж) элементов набора корпуса, силовой установки каждого из судов, что может приводить к изменению позиции центра масс, а, следовательно, и изменению косинусов вертикальных углов.

Мультиагентная сеть функционирует на базе протоколов IEEE 802.15 и частотные метки интерфейса [13], служат для выполнения синхронных измерений, тем самым формируя опорный план. В качестве измерительных первичных преобразователей стоит использовать трёхосевые акселерометры. Акселерометры позволяют вычислять ускорение, скорость и смещения в позиции смысловых агентов.

Выводы

При построении мультиагентной сети выявлены и обоснованы целевые функции опорного плана генерируемой сети. Построение иерархии действительно интеллектуального агента обосновано на базе синтеза графа, допускающего генерирование альтернативных обходов ребер (путей) опорного плана сети. Сам действительно интеллектуальный агент (док) имеет сеть смысловых агентов и агентов исполнителей, многозадачность опорного плана реализуется набором целевых функций (направлений обхода графа). На низшем уровне иерархии находятся агенты-исполнители, реализующие выполнение опорного плана (алгоритма управления действительно интеллектуальным агентом).

Понятие интеллектуальный агент, относится к судам, проходящим программу судоремонта. В этой связи, каждый из них может менять своё состояние, статус, и непосредственно за счёт создания запасов,

или монтажа (демонтажа) составных компонентов способен сам генерировать новую сеть агентов.

Сгенерированные собственные сети реализуют на среде действительно интеллектуального агента новые целевые функции, не выходящие за опорный план действительно интеллектуального агента.

Разработанная методика, синтеза мультиагентной сети, основанной на генерации целевых функций опорного плана, позволяет гибко менять структуру и содержание.

Литература

1. Wood, M. F., & DeLoach, S. A. An overview of the multiagent systems engineering methodology. In *International Workshop on Agent-Oriented Software Engineering* Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. 2000, pp. 207-221.
2. V. Li, H. Zhang, Y. Zhou and Yu. Wang, "Tracking bidirectional formations in multi-agent systems using a fully distributed dynamic protocol triggered by edge events," *IEEE.CAA Journal of Automatica Sinica*, 2022. volume 9, No. 5, pp. 847-853.
3. Жумаев Ж.Ж., Бузенков И.И., Лютикова М.Н., Огризко К.А. Применение многоагентной системы для решения задачи взаимодействия и функционирования док-группы судов. Эксплуатация морского транспорта. 2024. № 2 (111). С. 230-235.
4. Герман Г.В., Никитин, Н. В. Методы оценки производственно-технологических работ в судостроении. Морские интеллектуальные технологии. 2021, № 4 том 2, С. 135.
5. Мину, М. Математическое программирование. *Теория и алгоритмы*. 1990. Наука.
6. DeLoach, Scott A., Mark F. Wood, and Clint H. Sparkman. "Multiagent systems engineering." *International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering* 11.03 (2001): 231-258.
7. Смирнов, А. Г. Аварии плавучих доков, аварийные ситуации и их причины. *Судостроение*. 2017. (3), 52-58.
8. Lewis, F. L., Zhang, H., Hengster-Movric, K., & Das, A. (2013). Cooperative control of multi-agent systems: optimal and adaptive design approaches. Springer Science & Business Media.
9. Olfati-Saber, R., Fax, J. A., & Murray, R. M. (2007). Consensus and cooperation in networked multi-agent systems. *Proceedings of the IEEE*, 95(1), 215-233.
10. Yong-Zheng, S., & Jiong, R. Leader-follower consensus problems of multi-agent systems with noise perturbation and time delays. *Chinese Physics Letters*. 2008. 25(9), 3493.
11. Singh, M. P. *Multiagent systems* Springer Berlin Heidelberg. 1994.(pp. 1-14).
12. Лютикова М.Н. Мультиагентная сеть управления группой автономных морских подвижных объектов. Морские интеллектуальные технологии. 2023. № 2-1 (60). С. 144-154.
13. Данцевич И.М., Новосильский А.А., Лютикова М.Н., Малахов С.О. Программный комплекс «Веб-интерфейс для мониторинга состояния судового дока в реальном режиме времени». Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2025612665, 03.02.2025. Заявка № 2024692580 от 24.12.2024.

References

1. Wood, M. F., & DeLoach, S. A. An overview of the multiagent systems engineering methodology. In *International Workshop on Agent-Oriented Software Engineering* Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. 2000, pp. 207-221.
2. V. Li, H. Zhang, Y. Zhou and Yu. Wang, "Tracking bidirectional formations in multi-agent systems using a fully distributed dynamic protocol triggered by edge events," *IEEE.CAA Journal of Automatica Sinica*, 2022. volume 9, No. 5, pp. 847-853.
3. Zhumaev Zh.Zh., Buzenkov I.I., Lyutikova M.N., Ogrizko K.A. Application of a multi-agent system to solve the problem of interaction and functioning of a dock group of vessels. Operation of marine transport. 2024.No. 2 (111). pp. 230-235.
4. German G.V., Nikitin, N.V. Methods for assessing production and technological work in shipbuilding. Marine intelligent technology. 2021, No. 4 vol. 2, P. 135.
5. Minu, M. Mathematical programming. Theory and algorithms. 1990. Science.
6. DeLoach, Scott A., Mark F. Wood, and Clint H. Sparkman. "Multiagent systems engineering." *International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering* 11.03 (2001): 231-258.
7. Smirnov, A. G. Accidents of floating docks, emergencies and their causes. Shipbuilding. 2017. (3), 52-58.
8. Lewis, F. L., Zhang, H., Hengster-Movric, K., & Das, A. (2013). Cooperative control of multi-agent systems: optimal and adaptive design approaches. Springer Science & Business Media.
9. Olfati-Saber, R., Fax, J. A., & Murray, R. M. (2007). Consensus and cooperation in networked multi-agent systems. *Proceedings of the IEEE*, 95(1), 215-233.
10. Yong-Zheng, S., & Jiong, R. Leader-follower consensus problems of multi-agent systems with noise perturbation and time delays. *Chinese Physics Letters*. 2008. 25(9), 3493.
11. Singh, M. P. *Multiagent systems* (pp. 1-14). Springer Berlin Heidelberg. 1994.
12. Lyutikova M.N. Multi-agent management network for a group of autonomous marine mobile facilities. Marine intelligent technologies. 2023. No. 2-1 (60). pp. 144-154.
13. Dantsevich I.M., Novosilsky A.A., Lyutikova M.N., Malakhov S.O. Software package "Web interface for monitoring the state of the ship dock in real time." Certificate of registration of the computer program RU 2025612665, 02/03/2025. Application No. 2024692580 dated 12/24/2024

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Данцевич Игорь Михайлович кандидат технических наук, старший научный сотрудник ФГБОУ ВО «ГМУ им. адм. Ф.Ф. Ушакова», 353924, Краснодарский край, г. Новороссийск, проспект Ленина, 93, e-mail: dantsevich.aumsu@gmail.com

Лютикова Марина Николаевна, кандидат технических наук, доцент кафедры радиоэлектроники и информационных технологий, Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова», 353924, Краснодарский край, г. Новороссийск, проспект Ленина, 93., e-mail: mnlyutikova@mail.ru

Кравченко Анна Ивановна, кандидат педагогических наук, доцент кафедры иностранных языков, Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова», 353924, Краснодарский край, г. Новороссийск, проспект Ленина, 93., e-mail: nyanechkaanna@yahoo.com

Dantsevich Igor M. Ph.D. (Eng), Candidate of Technical Science, Senior Researcher: Admiral Ushakov maritime state university, 353924, Russia, Krasnodar region, Novorossiysk, Lenin Avenue, 93, e-mail: dantsevich.aumsu@gmail.com

Marina N. Lyutikova, Ph.D.(Eng), Candidate of Technical Science, Department of Radioelectronics and Information Technologies, Admiral Ushakov Maritime State University 353924, Krasnodar region, Novorossiysk, Lenin Avenue, 93, e-mail: mnlyutikova@mail.ru

Anna I. Kravchenko, Ph.D. (Edu), Associate Professor. Foreign Languages Department lecturer, admiral Ushakov State University, 353924, Krasnodar region, Novorossiysk, Lenin Avenue, 93, e-mail nyanechkaanna@yahoo.com

Статья поступила в редакцию/the article was submitted 16.03.2025.

Одобрена после рецензирования/approved after reviewing 19.03.2025.

Принята к публикации/accepted for publication 24.03.2025.