

## УДК 004.896

В. Г. ШЕРСТЮК<sup>1\*</sup>, И. В. СОКОЛ<sup>2</sup>, Е. Н. ТАРАСЕНКО<sup>2</sup><sup>1\*</sup>Каф. «Информационные технологии», Херсонский национальный технический университет, Бериславское шоссе, 24, Херсон, Украина, 73000, тел. +38 (050) 396 30 18, эл. почта v\_sherstyuk@bigmir.net, ORCID 0000-0002-9096-2582<sup>2</sup>Каф. «Судовождение», Морской институт последипломного образования имени контр-адмирала Ф. Ф. Ушакова, ул. Старообрядческая, 2, Херсон, Украина, 73000, тел. +38 (050) 714 28 60, эл. почта kherson.sokol@gmail.com, ORCID 0000-0002-7324-1441<sup>3</sup>Каф. «Судовождение», Морской институт последипломного образования имени контр-адмирала Ф. Ф. Ушакова, ул. Старообрядческая, 2, Херсон, Украина, 73000, эл. почта katyatarasenko@bk.ru, ORCID 0000-0002-0906-5770**СЦЕНАРНО-ПРЕЦЕДЕНТНЫЙ ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ ГЕТЕРОГЕННЫМ АНСАМБЛЕМ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ**

**Цель.** Статья посвящена разработке метода интеллектуального координационного управления сложным гетерогенным ансамблем динамических объектов. **Методика.** Решение поставленной задачи основано на использовании сценарно-прецедентного подхода, представляющего активность динамических объектов в виде шаблонов, адаптируемых к изменяемым условиям внешней среды с помощью сценариев. Для адаптации сценариев используется алгоритм удовлетворения критически важных временных ограничений. Предложенный метод позволяет адекватно отражать накопленный опыт и знания по групповому управлению динамическими объектами, основываясь на использовании стереотипов подобных решений по управлению объектами в схожих ситуациях. Рассмотрены основные элементы решений прецедентов: управляющие воздействия, операции управления, сценарии, планы. **Результаты.** Реализована гибридная система управления, нижний уровень которой выполнен на основе гибридной системы БРИЗ и сочетает подсистему, основанную на прецедентах, с подсистемой, реализующей модель движения и являющейся ведущей, в то время как прецедентная подсистема является ведомой. Верхний и средний уровни системы управления выполнены в виде гибридной событийно-ориентированной системы МУССОН, включающей в себя сценарно-прецедентную подсистему, хранилище прецедентов и подсистему вычисления пространственных областей, основанную на модели. Сценарии и триггеры для каждого класса событий описаны с помощью языка описания сценариев SCDL. **Научная новизна.** Впервые предложена трехуровневая система координационного управления ансамблем динамических объектов, основанная на сценарно-прецедентном подходе, при этом на нижнем уровне реализуется управление отдельным динамическим объектом, на среднем уровне реализуется координация совместно движущихся объектов, а на верхнем уровне обеспечивается управление ходом выполнения миссии для ансамбля динамических объектов в целом. **Практическая значимость.** Предложенный подход не чувствителен к неточности и неполноте наблюдений, он позволяет снизить информационную нагрузку при анализе текущей ситуации, сократить затраты времени на принятие решений, повысив тем самым эффективность координации ансамбля динамических объектов в процессе выполнения миссии. Важным условием реализации сценарно-прецедентного метода управления является обеспечение достаточной компетенции, что позволит своевременно находить уместный прецедент и выбирать адекватное множество сценариев управления, а также синхронизация баз прецедентов каждого из динамических объектов по времени и содержанию.

**Ключевые слова:** динамический объект; ситуационное возмущение; координация; прецедент; сценарий; управляющее воздействие; прототип; ограничение; адаптация

**Введение**

На сегодняшний день появились сложные технические системы, включающие множество (группы) пилотируемых и беспилотных динамических объектов (ДО), работающих совместно по некоторой заданной программе (миссии). Для решения многообразия сложных транспортных и поисково-спасательных задач, задач предотвращения и локализации чрезвычайных

ситуаций, а также широкого класса задач военного характера такие группы могут включать в себя воздушные, надводные, подводные, наземные и другие виды ДО.

Современные ДО не обязательно дистанционно управляются человеком-оператором или компьютерной программой. Они могут быть достаточно автономными, оснащенными сложными датчиками, исполнительными механизмами, бортовыми компьютерами для интеллектуально-

## ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

го управління. Таким образом, автономные ДО должны иметь возможность принимать свои собственные решения в динамичной, частично наблюдаемой и непредсказуемой среде.

Традиционно для координации групповых действий ДО в сложных, длительных, многоцелевых и многоэтапных операциях используются биоинспирированные методы, основанные на поведении роя или стаи (как у птиц или насекомых) [12]. Тем не менее, во многих случаях использование группы ДО в виде роя (стаи) является чрезмерно дорогим решением. Это особенно важно для военных применений, где стоимость универсальных ДО может быть весьма значительной.

Группы ДО могут быть организованы гораздо сложнее, чем рой; они могут основываться на определенном порядке построения и конкретных ролях для каждого ДО в этом порядке. В то же время, ДО должны автономно выбирать соответствующий сценарий активности в динамической среде в рамках своей роли.

Таким образом, группа может представлять собой упорядоченное множество ДО с различными ролями и функциями, которые совместно и одновременно выполняют свои сценарии активности в рамках заданной миссии для достижения поставленной цели. Из-за разнообразия функций, назначения и ролей ДО в группе такие группы называют гетерогенными ансамблями. В то же время, чем более сложной является структура и функции ансамбля, тем сложнее координация ДО. Проблема, которая рассматривается в данной статье, связана с координационным управлением гетерогенными ансамблями ДО.

В рамках ансамбля ДО должны быть в состоянии общаться, координироваться и сотрудничать друг с другом. Существует много подходов для управления ансамблями ДО и обширная литература по этому вопросу. При этом проблемы координации и сотрудничества ДО в ансамбле могут широко варьироваться от избегания столкновений до распределенного планирования [12].

Большинство исследователей уделяли внимание решению конкретных задач координации роя, используя простые наборы правил, имитирующие поведение в естественных системах [2, 5]. Такой подход требует лишь ограниченного

объема информации и является устойчивым к отдельным неудачам, тем не менее он опирается на установление консенсуса между ДО, что может занимать много времени, – неприемлемо много для приложений реального времени [6].

В более сложной форме координация и сотрудничество ДО требуют формального описания правил и процедур. В основном для этого используют подходы, основанные на моделях и правилах, а также методы алгоритмизации процедур взаимодействия [4].

Однако сложность взаимодействия ДО не позволяет использовать напрямую подход на основе моделей. В то же время априорное построение исчерпывающего множества правил координации не представляется возможным, а проверка этого множества неосуществима в системах реального времени, поэтому подход на основе правил также является неприемлемым. Хотя эти подходы и позволяют детально описывать и анализировать поведение группы ДО, но их трудно адаптировать к решению реальных задач навигации и взаимодействия в сложных условиях [1], так как в сложных навигационных условиях на стесненных участках пространства при высокой плотности ДО и интенсивности их перемещения возникают противоречия между значительным объемом информации, требующей немедленной обработки для принятия решений, и дефицитом имеющегося времени на принятие решений.

Теоретико-графовые структуры [3] иногда используются для упрощения набора правил взаимодействия, поэтому взаимодействия могут быть представлены в виде графов или виртуальных структур, где вершины рассматриваются как ДО, а ребра – как отношения между ними. Тем не менее при использовании данного подхода из-за его высокой вычислительной сложности трудно гарантировать достаточную производительность [4]. Другие возможные методы упрощения набора правил, такие как гибридизация, абстрагирование, статистическая оценка, временная логика также подвержены этому недостатку [7].

### Цель

Предположим, что ансамбль формируется из группы беспилотных ДО для определенной миссии путем применения ограничений на их

## ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

функції и роли. Тогда поведение ДО в этом ансамбле подчиняется общим правилам, специфичным для данного класса ДО, и ограничивается: его ролью в миссии, техническими характеристиками, определяющими его возможности, гидрометеорологическими факторами и действиями противодействующих противников.

Таким образом, активность каждого ДО должна следовать основным принципам: ДО должны быть осведомлены о своей роли в миссии; ДО должны осуществлять непрерывное наблюдение для предотвращения столкновений и использовать каналы коммуникаций для обеспечения стабильности ансамбля; ДО должен стремиться к достижению своих задач в миссии ансамбля.

Целью данной работы является разработка метода интеллектуального управления сложным ансамблем ДО для снижения риска аварийных ситуаций в условиях воздействия интенсивных динамических, навигационных и ситуационных возмущений в различных точках пространства.

### Методика

В статье предлагается использовать сценарно-прецедентный подход к координированному управлению гетерогенными ансамблями ДО, близкий к [8], и сценарий активности в качестве основных динамических составляющих прецедентов, в отличие от классического прецедентного подхода, где прецеденты рассматриваются как статические.

Подход на основе прецедентов предложен в [10] для решения проблемы координации в больших группах ДО на основе следующих предположений: активность взаимодействия ДО воспроизводима и повторяема; активность взаимодействия ДО не может быть описана в виде адекватных моделей или четко определенных правил и/или процедур.

Таким образом, мы можем описать активность взаимодействий ДО в виде шаблонов. Это означает, что существуют определенные стереотипы координации для схожих ситуаций, и если существует возможность накопления шаблонов группового взаимодействия для различных классов ситуаций, мы можем использовать данный подход.

Рассмотрим основные элементы предлагаемого подхода. Многими специалистами отмечается повторяемость действий по управлению ДО на уровне достигнутых навыков в аналогичных (типовых) сложившихся ситуациях [10], что позволяет использовать для обучения стереотипы решения различных задач предметной области. Как правило, повторяемость действий обусловлена наличием нормативных регуляторов и сложившихся стереотипов решений.

Например, известен стереотип уклонения «помеха справа – отворот влево» (рис. 1).

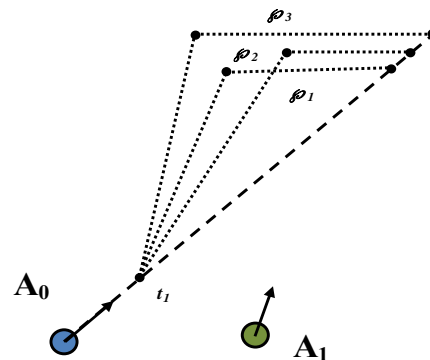


Рис. 1. Стереотип уклонения от помехи справа

Fig. 1. Deviation stereotype from obstacle at right

Прототип решения, соответствующий стереотипной ситуации, содержит последовательность (сценарий) применения ЛПР конкретных операций для решения поставленных задач.

На рис. 1 в момент времени  $t_1$  объект  $A_0$  отклоняется от запланированной траектории, уклоняясь от опасно движущегося объекта  $A_1$ . Маневр уклонения влево составляет прототип решения, состоящий из трех последовательных операций управления – повороты влево, вправо, снова влево. В зависимости от параметров операций, возможны различные варианты изменения траектории – на рис. 1 показаны три возможных множества допустимых скорректированных траектории при различных установках органов управления (например, угла поворота) ДО.

Таким образом, прототип содержит сценарий применения операций для достижения необходимой цели (результата решения задачи) в заданной пространственной области.

## ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

При конкретизації прототипа в сценарій подставляють определенні значення параметрів, що необхідно для формування управляючих впливів на ДО [9]. Разлічні конкретизації одного і того ж прототипа представляють собою різні рішення задачі, існуючі різні рівні відповідності некоторому еталонному рішення.

В залежності від значень параметрів ДО і зовнішньої середовищі в конкретний момент часу на сценарій активності можуть бути накладені явні і неявні обмеження (рис. 2): установка органів управління (максимально допустимий кут повороту  $\alpha_1$  для поточної швидкості руху  $v_1$ ); дотримання безпечної дистанції маневрування  $D_{min}$ ; звуження простору маневрування ( $L_1$ ) і т.д.

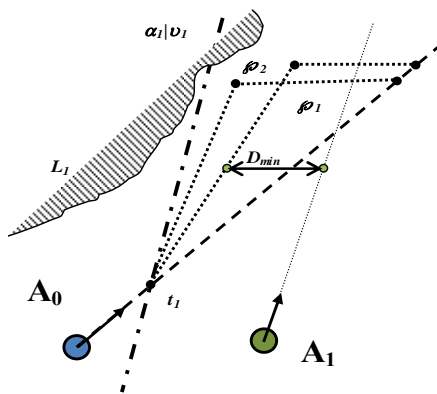


Рис. 2. Обмеження прототипу рішення задачі

Fig. 2. Limitations of solution problem prototype

Появлення в момент часу  $t$  впливу  $\omega_s$  (на рис. 1 –  $A_1$ ) створює для  $A_0$  проблемну ситуацію  $s(t) \in S$ , де  $S$  – множина можливих ситуацій предметної області.

Всяке впливу запланованої траєкторії потребує своєї компенсації, яка частіше за все може бути представлена як послідовність операцій управління  $M = [p_1, \dots, p_n]$ . Так, на рис. 2 послідовністю операцій управління являється маневр ухилення.

В свою чергу, кожна операція управління  $p_i$  може бути представлена як вектор прилагоджуваних управляючих впливів  $\bar{U} = \{u_1, \dots, u_m\}$  на множина виконавчих

механізмів ДО  $\Phi(A_0) = \{\phi_1, \dots, \phi_n\}$ , причому  $\{u_k, \dots, u_l\} \mapsto \phi_j$ . Далі, елементарне управляюче впливу  $u_l$  представляє собою зміну определенного параметра  $p_{\phi_j}^l$  відповідного органу управління  $\phi_j$ . Послідовність сюр'єктивних отображень  $f_{kj} : u_l \rightarrow \Delta p_{\phi_j}^l \rightarrow \Delta p^j$  дозволяє впливати на траєкторію активності ДО зміною одного її параметра  $\Delta p^j$ .

В той же час неопределенність  $f_{kj}$  внаслідок стохастического впливу зовнішніх впливів, нестационарності і суттєвої нелінійності ДО перешкоджає вирахуванню адекватних впливів  $u_l$  на ДО на основі його моделі.

Наличие впливів зовнішньої середовищі перешкоджає безпосередньому використанню передбачених шаблонів для определенных класів компенсацій. Виконання однієї і тієї ж послідовності операцій управління під впливом впливів  $\omega$  різної інтенсивності і напрямленості, а також при різних значеннях параметрів активності ДО потребує прикладання управляючих впливів, різних по величині і складу. Вирахування необхідного вектора управляючих впливів  $\bar{U}$  являється трудноформалізуемою задачею [6].

Предположим, что в проблемной ситуации  $s(t)$  можно использовать для решения задачи некоторый прототип  $e_{s(t)}$  (прецедент [11]). Прецедент  $e_{s(t)}$  содержит решение  $r_{s(t)}$ , представляющее собой сценарий  $\Sigma_{s(t)}$  компенсации ситуационного воздействия  $\omega_s$ . При одновременных или пересекающихся во времени множественных ( $m$ ) ситуационных воздействиях решение  $s(t)$  может принимать вид последовательности сценариев (плана) решения задачи  $Pl_{s(t)} = [\Sigma_{s(t)}^1, \dots, \Sigma_{s(t)}^m]$ .

План  $Pl_{s(t)}$  содержит цель  $G_{s(t)} \in S$ . Для каждой проблемной ситуации  $s(t)$  возможно су-

## ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

уществование множества прецедентов  $E_{s(t)} = \{e_{s(t)}^1, \dots, e_{s(t)}^n\}$ , предоставляющих различные прототипы решений  $R = \{r_{s(t)}^1, \dots, r_{s(t)}^n\}$  для достижения одной и той же цели  $G_{s(t)}$ , отличающиеся по соответствию критериям управления  $Q_{s(t)}$ , по степени согласования с ограничениями  $B_{s(t)}$ , а также по оценке возможности  $\mu$  достижения целевого состояния  $G_{s(t)}$ . Наиболее уместный прототип может быть выбран из множества  $R$  на основе заданной функции предпочтений  $\gamma(R)$ , учитывающей  $B_{s(t)}$ ,  $Q_{s(t)}$  и  $\mu(G_{s(t)})$ .

Конкретизация прототипа в прецеденте  $e_{s(t)}$  в момент времени  $t$  требует согласования сценария  $\Sigma_{s(t)}$  с множеством наложенных ограничений  $B_{s(t)}$  и наблюдаемым контекстом ситуации  $\text{Ctx}(s(t))$ , заданным на конечном множестве параметров активности, и поэтому может быть сведена к адаптации прецедента.

Исходя из представленных соображений, можно сформулировать следующие основные идеи сценарно-прецедентного подхода:

– прецедент  $e_{s(t)}$  есть прототип решения в проблемной ситуации  $s(t)$ ;

– поскольку процесс управления является целенаправленным, решение прецедента представляет собой план  $Pl_{s(t)} = [\Sigma_{s(t)}^1, \dots, \Sigma_{s(t)}^m]$ , ведущий к конечной цели управления  $G_{s(t)}$ ;

– план  $Pl_{s(t)}$  является композицией сценариев  $\Sigma_{s(t)}$ , каждый из которых направлен на компенсацию определенного возмущения  $\omega_S$ , воздействующего на траекторию активности ДО;

– сценарий  $\Sigma_{s(t)}$  представляет собой планируемую последовательность выполняемых последовательно или параллельно во времени операций управления  $[p_1, \dots, p_n]$ ;

– сценарий может содержать альтернатив-

ные последовательности операций управления, выбор одной из которых связан с актуальными на момент осуществления выбора  $t_z$  значениями параметров контекста ситуации  $\text{Ctx}(s(t_z))$ ;

– всякая операция управления  $p_i$  представлена вектором прилагаемых управляющих воздействий  $\bar{U} = \{u_1, \dots, u_m\}$  на множество исполнительных механизмов ДО  $\{\phi_1, \dots, \phi_n\}$ ;

– вследствие стохастических воздействий внешней среды, неполноты и неточности наблюдений, существенной динамики контекста ситуации претерпевает значительные изменения на временном интервале  $[t_1, t_2]$  выполнения сценария;

– выполнение сценария  $\Sigma_{s(t)}$  требует увязывания параметров управляющих воздействий с динамически изменяемыми параметрами ситуации и согласования с действующими в ситуации ограничениями  $B_{s(t)}$ , что требует проведения соответствующих расчетов на каждом шаге выполнения сценария при  $t_x \in [t_1, t_2]$ .

Согласно представленной интерпретации сценарий представляет собой адаптацию средств достижения поставленных целей к динамике среды. Если перенести данный подход к управлению отдельным ДО применительно к управлению ансамблем ДО, перечисленные принципы не изменятся – план  $Pl_{s(t)}$  будет состоять из множества сценариев  $\{\Sigma_{s(t)}^1, \dots, \Sigma_{s(t)}^m\}$  для каждого ДО, составляющего данный ансамбль. А описание ситуации  $s(t)$  будет задано как пространственная конфигурация  $V(t)$ , в которой каждый ДО представлен с помощью триады  $\langle \text{Pos}(A_i), t_i, \phi_j \rangle$ , где  $A_i$  – ДО;  $t_i$  – момент времени,  $\text{Pos}(A_i)$  – позиция ДО  $A_i$  в момент времени  $t_i$ ;  $\phi_j$  – функция, выполняемая ДО  $A_i$  в момент времени  $t_i$ .

## Результаты

Специфика проблемной области заставляет использовать в качестве хранимых в прецедентах решений сложные сценарии, допускающие

## ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

адаптацію некоторого базового плана формирования управляющих воздействий в достаточно широких пределах на основе моделей совместного перемещения множества ДО.

Координационное управление гетерогенными ансамблями ДО представляет собой сложный многоуровневый процесс, включающий:

1) операционный (высший) уровень, решающий задачу выбора адекватного плана миссии  $Pl_{s(t)}$  (прецедента) на основе пространственной конфигурации  $V(t)$ . Схема выполнения миссии, заданная в виде множества сценариев  $\{\Sigma_{s(t)}^1, \dots, \Sigma_{s(t)}^m\}$ , подстраивается к  $V(t)$  в результате выполнения процесса адаптации прецедента и далее разбивается на сценарии  $\Sigma_{s(t)}^k$  для всех ДО с назначенной ролью  $k$ , при этом каждый из ДО начинает выполнять свой собственный сценарий;

2) координационный (средний) уровень, задача которого состоит в совместном выполнении сценариев  $\{\Sigma_{s(t)}^1, \dots, \Sigma_{s(t)}^m\}$ . На данном уровне каждый сценарий преобразуется в последовательность триад  $\langle Pos(A_i), t_i, \varphi_j \rangle$ , принимая во внимание всю совокупность имеющихся навигационных, ситуационных и временных ограничений  $B_{s(t)}$ . В частности, этот уровень осуществляет контроль приемлемости для каждой позиции в триаде, так как всякая следующая позиция не должна попадать в область запрещенной или опасной активности [13]. Этот уровень также принимает наблюдаемые события и проверяет наличие изменений пространственной конфигурации. В случае имеющихся изменений об этом извещается операционный уровень, который запускает поиск нового плана миссии, основанного на новой пространственной конфигурации. В противном случае, уровень координации уточняет параметры позиции и времени для координации совместных действий ДО в соответствии со сценарием;

3) уровень управления отдельно взятым ДО (нижний), реализующий трансформацию маневров в управляющие воздействия низкого уровня  $\bar{U} = \{u_1, \dots, u_m\}$ . Данный уровень принимает последовательность триад на входе и ге-

нерирует значения параметров для исполнительных механизмов ДО на выходе.

Нижний уровень реализован в виде гибридной системы БРИЗ, сочетающей подсистему, основанную на прецедентах, с подсистемой, основанной на моделях. Последняя реализует модель движения и является ведущей, тогда как прецедентная подсистема является ведомой. Для адаптации сценариев используется алгоритм удовлетворения ограничений для соблюдения критически важных временных ограничений.

Верхний и средний уровни реализованы в виде гибридной событийно-ориентированной системы МУССОН [14], включающей в себя сценарно-прецедентную подсистему, хранилище прецедентов и подсистему, основанную на модели. Последняя используется для вычисления пространственных областей. Сценарии и триггеры для каждого класса событий написаны на языке описания сценариев SCDL, основанном на XML.

Прототип системы управления реализован с использованием языка программирования C++ в ОС Linux. Верхний и средний уровни этой системы основаны на веб-ориентированной геоинформационной системе реального времени, выполненной с использованием фреймворков Django/GeoDjango с PostgreSQL-совместимым движком базы данных.



Рис. 3. Фрагмент театра взаимодействия в ИС МУССОН

Fig. 3. Fragment of the theater of interaction in the IS MUSSON

Подсистема, основанная на моделях, использует многоагентную компьютерную модель совместной активности ДО, позволяющую, основываясь на наблюдаемых параметрах и логико-динамической модели нормативного регулятора, «проигрывать» возможные ситуа-



## ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

ции и события, просчитывать реакции на принимаемые решения по управлению. Много-агентная система реализована на основе логико-когнитивных интеллектуальных агентов.

Процесс адаптации решений для текущей навигационной ситуации учитывает особенности пространственной конфигурации ДО, гидрометеорологические условия, временные и функциональные ограничения, поэтому требует выполнения совместного поиска в пространстве описания ситуации и на множестве имеющихся правил, описывающих проблемную область.

### Научная новизна и практическая значимость

Впервые предложена трехуровневая система координационного управления ансамблем динамических объектов, основанная на сценарно-прецедентном подходе, что позволяет снизить информационную перегрузку при анализе текущей ситуации, сократить затраты времени на принятие решений, повысив тем самым эффективность координации ансамбля динамических объектов в процессе выполнения миссии.

### Выводы

Анализ особенностей управления ДО показал возможность использования сценарно-прецедентного подхода, позволяющего рассматривать задачу управления ДО как задачу поиска решения по прецедентам, адаптируя к текущей ситуации хранящееся в прецеденте множество сценариев управляющих воздействий, представляющих план достижения целевого состояния.

Предлагаемый подход позволяет адекватно отражать накопленный опыт и знания по групповому управлению ДО в схожих ситуациях, а его идея состоит в том, что подобие ситуаций является основанием для использования подобных решений по управлению. Данный подход не чувствителен к неточности и неполноте наблюдений. Основным условием его реализации является синхронизация баз прецедентов каждого ДО по времени и содержанию. Другим условием является наличие достаточной компетенции, позволяющей находить уместный прецедент и выбрать адекватный набор сценариев управления.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Шерстюк, В. Г. Модель вывода по прецедентам в интеллектуальной системе «Муссон» / В. Г. Шерстюк // Штучний інтелект. – 2015. – № 1/2. – С. 103–111.
2. A CBR system for autonomous robot navigation / R. Ros, R. López De Màntaras, C. Sierra, J. L. Arcos // Proc. of the 2005 Conf. on Artificial Intelligence Research and Development. – Amsterdam, 2005. – Vol. 131. – P. 299–306.
3. Distributed Decision and Control for Cooperative UAVs using Ad-Hoc Communication / Y. Ben-Asher, S. Feldman, P. Gurl, M. Feldman // IEEE Transactions on Control Systems Technology. – 2008. – Vol. 16. – Iss. 3. – P. 511–516. doi: 10.1109/tcst.2007.906314.
4. Jadbabaie, A. Coordination of groups of mobile autonomous agents using nearest neighbor rules / A. Jadbabaie, J. Lin, A. Morse // IEEE Transactions on Automatic Control. – 2003. – Vol. 48. – Iss. 6. – P. 988–1001. doi: 10.1109/TAC.2003.812781.
5. Jaidee, U. Case-Based Goal-Driven Coordination of Multiple Learning Agents / U. Jaidee, H. Muñoz-Avila, D. W. Aha // Case-Based Reasoning Research and Development : Lecture Notes in Computer Science. – Berlin ; Heidelberg, 2013. – Vol. 7969. – P. 164–178. doi: 10.1007/978-3-642-39056-2\_12.
6. Lawton, J. R. T. A decentralized approach to formation maneuvers / J. R. T. Lawton, R. W. Beard, B. J. Young // IEEE Transactions on Robotics and Automation. – 2003. – Vol. 19. – Iss. 6. – P. 933–941. doi: 10.1109/tra.2003.819598.
7. Mataric, M. J. Designing and Understanding Adaptive Group Behaviors / M. J. Mataric // Adaptive Behavior. – 1995. – Vol. 4. – Iss. 1. – P. 51–80. doi: 10.1177/105971239500400104.
8. Michael, N. Control of Ensembles of Aerial Robots / N. Michael, V. Kumar // Proc. of the IEEE. – 2011. – Vol. 99. – Iss. 9. – P. 1587–1602. doi: 10.1109/jproc.2011.2157275.
9. Patlasov, O. M. The measurement methodology improvement of the horizontal irregularities in plan / O. M. Patlasov, S. O. Tokariiev // Наука та прогрес транспорту. – 2015. – № 4 (58). – С. 121–129. doi: 10.15802/STP2015/49219.
10. Sherstjuk, V. G. Scenario-Case Coordinated Control of Heterogeneous Ensembles of Unmanned Aerial Vehicles / V. G. Sherstjuk // Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments (APUAVD) : Proc.

## ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

- of 2015 IEEE 3<sup>rd</sup> Int. Conf. (13.10–15.10.2015). – Kyiv, Ukraine, 2015. – P. 275–279. doi: 10.1109/apuavd.2015.7346620.
11. Sherstjuk, V. The case-scenario approach to control the dynamic objects / V. Sherstjuk // Pressing Issues and Priorities in Development of the Scientific and Technological Complex : Proc. of the Conf. – San Francisco, California (USA), 2013. – Vol. 17. – P. 97–103.
  12. Toner, J. Flocks, herds, and schools: A quantitative theory of flocking / J. Toner, T. Yuhai // Physical Review E. – 1998. – Vol. 58. – Iss. 4. – P. 4828–4858. doi: 10.1103/physreve.58.4828.
  13. Tošić, P. T. A Unified Framework for Reinforcement Learning, Co-Learning and Meta-Learning: How to Coordinate in Collaborative Multi-Agent Systems / P. T. Tošić, R. Vilalta // Procedia Computer Science. – 2010. – Vol. 1. – Iss. 1. – P. 2217–2226. doi: 10.1016/j.procs.2010.04.248.
  14. Zharikova, M. Threat Assessment Method for Intelligent Disaster Decision Support System / M. Zharikova, V. Sherstjuk // Advances in Intelligent Systems and Computing. – Berlin, 2016. – Vol. 512. – P. 81–99. doi: 10.1007/978-3-319-45991-2\_6.

В. Г. ШЕРСТЮК<sup>1\*</sup>, І. В. СОКОЛ<sup>2</sup>, К. М. ТАРАСЕНКО<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Інформаційні технології», Херсонський національний технічний університет, Бериславське шосе, 24, Херсон, Україна, 73000, тел. +38 (050) 396 30 18, ел. пошта v\_sherstyuk@bigmir.net, ORCID 0000-0002-9096-2582

<sup>2</sup>Каф. «Судноводіння», Морський інститут післядипломної освіти імені контр-адмірала Ф. Ф. Ушакова, вул. Старообрядська, 2, Херсон, Україна, 73000, тел. +38 (050) 714 28 60, ел. пошта kherson.sokol@gmail.com, ORCID 0000-0002-7324-1441

<sup>3</sup>Каф. «Судноводіння», Морський інститут післядипломної освіти імені контр-адмірала Ф. Ф. Ушакова, вул. Старообрядська, 2, Херсон, Україна, 73000, ел. пошта katuatarasenko@bk.ru, ORCID 0000-0002-0906-5770

## СЦЕНАРНО-ПРЕЦЕДЕНТНИЙ ПІДХІД ДО УПРАВЛІННЯ ГЕТЕРОГЕННИМ АНСАМБЛЕМ ДИНАМІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

**Мета.** Стаття присвячена розробці методу інтелектуального координаційного управління складним гетерогенним ансамблем динамічних об'єктів. **Методика.** Вирішення поставленого завдання засноване на використанні сценарно-прецедентного підходу, що подає активність динамічних об'єктів у вигляді шаблонів, які адаптуються до змінюваних умов зовнішнього середовища за допомогою сценаріїв. Для адаптації сценаріїв використовується алгоритм задоволення критично важливих обмежень за часом. Запропонований метод дозволяє адекватно використовувати накопичений досвід та знання щодо групового управління динамічними об'єктами, ґрунтуючись на використанні стереотипів подібних рішень із управління об'єктами в подібних ситуаціях. Розглянуто основні елементи рішень прецедентів: керуючі впливи, операції управління, сценарії, плани. **Результати.** Реалізовано гібридну систему управління, нижній рівень якої виконано на основі гібридної системи БРИЗ, що поєднує підсистему, засновану на прецедентах, із підсистемою, яка реалізує модель руху та є провідною, в той час як прецедентна підсистема є веденою. Верхній та середній рівні системи управління виконано у вигляді гібридної подійно-орієнтованої системи МУССОН, що включає в себе сценарно-прецедентну підсистему, сховище прецедентів та підсистему обчислення просторових областей, засновану на моделі. Сценарії та тригери для кожного класу подій описані за допомогою мови опису сценаріїв SCDL. **Наукова новизна.** Вперше запропоновано тривірневу систему координаційного управління ансамблем динамічних об'єктів, засновану на сценарно-прецедентному підході, при цьому на нижньому рівні реалізується управління окремим динамічним об'єктом, на середньому рівні реалізується координація об'єктів, що спільно рухаються, а на верхньому рівні забезпечується управління ходом виконання місії для ансамблю динамічних об'єктів у цілому. **Практична значимість.** Запропонований підхід є нечутливим до неточності та неповноти спостережень, він дозволяє знизити інформаційне навантаження при аналізі поточної ситуації, скоротити витрати часу на прийняття рішень, підвищивши тим самим ефективність координації ансамблю динамічних об'єктів у процесі виконання місії. Важливою умовою реалізації сценарно-прецедентного методу управління є забезпечення достатньої компетенції, що дозволяє своєчасно знаходити доречний прецедент та обирати адекватну множину сценаріїв управління, а також синхронізація баз прецедентів кожного з динамічних об'єктів за часом та змістом.

**Ключові слова:** динамічний об'єкт; ситуаційне збурення; координація; прецедент; сценарій; керуючий вплив; прототип; обмеження; адаптація



V. G. SHERSTYUK<sup>1\*</sup>, I. V. SOKOL<sup>2</sup>, E. N. TARASENKO<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup>Dep. «Information Technologies», Kherson National Technical University, Beryslavske Shosse, 24, Kherson, Ukraine, 73000, tel. +38 (050) 396 30 18, e-mail v\_sherstyuk@bigmir.net, ORCID 0000-0002-9096-2582

<sup>2</sup>Dep. «Navigation», Admiral Ushakov Maritime Institute of Postgraduate Education, Staroobryadcheska St., 2, Kherson, Ukraine, 73000, tel. +38 (050) 714 28 60, e-mail kherson.sokol@gmail.com, ORCID 0000-0002-7324-1441

<sup>3</sup>Dep. «Navigation», Admiral Ushakov Maritime Institute of Postgraduate Education, Staroobryadcheska St., 2, Kherson, Ukraine, 73000, e-mail katyatarasenko@bk.ru, ORCID 0000-0002-0906-5770

## SCENARIO-CASE APPROACH TO THE CONTROL OF HETEROGENEOUS ENSEMBLES OF DYNAMIC OBJECTS

**Purpose.** The article is devoted to developing the method of intelligent coordination control of a complex heterogeneous ensemble of dynamic objects. **Methodology.** The method of solving this problem is based on the case-scenario approach presenting the activity of dynamic objects as templates that adapt to changing external conditions by using scenarios. The algorithm of satisfaction of critical time constraints was used to adapt scenarios. The proposed method can adequately reflect the experience and knowledge of control of a dynamic objects' group using similar decision stereotypes to control in similar situations. The main elements of case decisions such as control actions, operations, scenarios, and plans were described. **Findings.** The hybrid control system was implemented. The lower level of the system was developed based on the hybrid system BRIZ, which combining the subsystem based on cases with the subsystem that implements the movement model and so is master, while case subsystem is slave. The middle and top levels of the system were developed as the event-based hybrid system MUSSON, which includes case-scenario subsystem, storage subsystem and subsystem that calculating spatial regions based on the model. Scripts and triggers for each class of events were described by scripting language SCDL. **Originality.** The three-tier coordination control system for ensembles of dynamic objects based on case-scenario approach was proposed for the first time. The lower level is dedicated to control of separate dynamic objects, the second level is aimed to coordination of objects that jointly move, and the upper level provide the mission of the whole ensemble of dynamic objects. **Practical value.** The proposed approach is insensitive to inaccuracies and incomplete observations. It can reduce the information overload in the situation analysis, as well as decision-making time, thus increasing the efficiency of coordination of ensembles of dynamic objects during their mission's execution process. Important conditions for the implementation of scenario-case method are to ensure sufficient competence that allows to find appropriate case and choose an adequate set of scenarios in time, and to synchronize each dynamic object's case base in time and content.

**Keywords:** dynamic object; situational disturbance; coordination; case; scenario; control action; prototype; constraint; adaptation

### REFERENCES

1. Sherstyuk, V. G. (2015). Case inference model in the «Monsoon» intelligent system. *Artificial Intelligence*, 1-2, 103-111.
2. Ros, R., López De Mántaras R., Sierra C., & Arcos J. L. (2005). A CBR system for autonomous robot navigation. *Proceedings of the 2005 Conf. on Artificial Intelligence Research and Development*, 131, 299-306. Netherlands: IOS Press Amsterdam.
3. Ben-Asher, Y., Feldman S., Gurl P., & Feldman M. (2008). Distributed Decision and Control for Cooperative UAVs using Ad-Hoc Communication. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 16(3), 511-516. doi: 10.1109/tcst.2007.906314
4. Jadbabaie, A., Lin, J., & Morse, A. (2003). Coordination of groups of mobile autonomous agents using nearest neighbor rules. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 48(6), 988-1001.
5. Jaidee, U., Muñoz-Avila H., & Aha, D. W. (ICCBR 2013). Case-Based Goal-Driven Coordination of Multiple Learning Agents. *Lecture Notes in Computer Science: Case-Based Reasoning Research and Development*, 7969, 164-178. doi: 10.1007/978-3-642-39056-2\_12
6. Lawton, J. R. T., Beard, R. W., & Young, B. J. (2003). A decentralized approach to formation maneuvers. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 19(6), 933-941. doi: 10.1109/tra.2003.819598
7. Mataric, M. J. (1995). Designing and Understanding Adaptive Group Behaviors. *Adaptive Behavior*, 4(1), 51-80. doi: 10.1177/105971239500400104

## ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

8. Michael, N., & Kumar, V. (2011). Control of Ensembles of Aerial Robots. *Proceedings of the IEEE*, 99(9), 1587-1602. doi: 10.1109/jproc.2011.2157275
9. Patlasov, O. M., & Tokariyev, S. O. (2015). The measurement methodology improvement of the horizontal irregularities in plan. *Science and Transport Progress*, 4(58), 121-129. doi 10.15802/STP2015/49219
10. Sherstjuk, V. G. (2015). Scenario-case coordinated control of heterogeneous ensembles of unmanned aerial vehicles. *Proc. of International Conference IEEE Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments (APUAVD), October 13-15, 2015*. 275-279. doi: 10.1109/apuavd.2015.7346620
11. Sherstjuk, V. (2013). The case-scenario approach to control the dynamic objects. *Pressing issues and priorities in development of the scientific and technological complex*, 17, 97-103. CA, USA: B&M Publishing.
12. Toner, J., & Yuhai, T. (1998). Flocks, herds, and schools: A quantitative theory of flocking. *Physical Review E*, 58(4), 4828-4858. doi: 10.1103/physreve.58.4828
13. Tošić, P. T., & Vilalta, R. (2010). A Unified Framework for Reinforcement Learning, Co-Learning and Meta-Learning: How to Coordinate in Collaborative Multi-Agent Systems. *Procedia Computer Science*, 1(1), 2217-2226. doi: 10.1016/j.procs.2010.04.248
14. Zharikova, M., & Sherstjuk, V. (2016). Threat Assessment Method for Intelligent Disaster Decision Support System. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 512, 81-99. doi: 10.1007/978-3-319-45991-2\_6

Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. В. И. Литвиненко (Украина); научным комитетом X Международной научно-практической конференции «Современные информационные и коммуникационные технологии на транспорте, в промышленности и образовании-2016»

Поступила в редколлегию: 05.12.2016

Принята к печати: 01.03.2017