

В. О. Тырва, канд. техн. наук, проф., v.tyrva@mail.ru,
 А. В. Саушев, д-р техн. наук, зав. каф., saushev@bk.ru,
 ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова», г. Санкт-Петербург

Целеуказание совместного управления в системе "человек—машина": моделирование и структуризация

Рассматривается категория "целеуказание" как верхний уровень совместного управления объектом в эргатической системе "человек—машина". Под целеуказанием понимается исходная потребность, которая предшествует планированию и исполнению управляемого движения некоторого объекта эргатической системы. Такое управление представляется как вариант ситуационного управления, определенного Д. С. Поспеловым на основе модели действий и ответных реакций человека-оператора и машины, принятой в инженерной психологии. Управляющему автомату системы придают свойства, присущие человеку-оператору. Антропоморфизм управляющих действий используется в конструировании целеуказания управляющему автомату на множестве неполных представлений элементарных движений изборажающей точки по траектории в пространстве состояний системы "человек—машина". Показано, что угловые точки траектории отмечают в пространстве состояний полные ситуации, смена которых вызывается сигналами дискретного антропоморфного управления. Смене ситуаций и элементарным движениям поставлены в соответствие элементарные цели и промежуточные цели в структурированной иерархии упорядоченной во времени полной системы целей целеуказания. Получены количественные оценки полной системы целей. Показана принципиальная возможность структурирования целеуказания на всем этапе эксплуатации жизненного цикла системы "человек—машина".

Описание принятого подхода к конструированию целеуказания сопровождается примером применения методов теории оптимального управления и экспертных мнений и оценок судоводителей для организации антропоморфного управления движением судна в условиях повышенной опасности. Приведены результаты анализа экспериментальных данных, по которым даны количественные оценки полных систем целей, реализованных в исполненных движениях судов при достижении главной цели — ввода судна в камеру шлюза. Аналогичные оценки для сравнения выполнены по шаблонам антропоморфного управления, разработанным для той же главной цели. Приведены итоги обсуждения полученных результатов исследования. Показаны возможности учета параметрических, сигнальных и координатных неопределенностей математических моделей для согласования целеуказания с планированием антропоморфного управления движением судна.

Ключевые слова: эргатическая система, цель, управление, ситуация, пространство состояний, модель, неопределенность, судно

Введение

Под целеуказанием (ЦУ) будем понимать исходную потребность, которая предшествует планированию и исполнению управляемого движения некоторого объекта эргатической системы [1], например объекта водного транспорта — судна, движущегося по морю, по реке или по другим водным путям. Во взаимодействии судоводителя (человека-оператора, ЧО) и технической части эргатической системы "судоводитель—судно" (системы "человек—машина", СЧМ) совмещаются функции управления движением судна (состоянием СЧМ) на уровнях целеуказания, планирования и исполнения [2]. Наделение технической части СЧМ — управляющего автомата (УА) — искусственным интеллектом открывает возможности компенсации и, в конечном счете, устранения таких недостатков, присущих человеку, как:

— субъективность принимаемых решений, особенно в условиях острого дефицита времени и отсутствия достаточно полной информации [3];

— возможность появления случайных и непреднамеренных ошибок при обработке информации или формировании информационных сообщений;

— низкая вычислительная мощность, неспособность воспринимать большое число вариантов исходов и быстро прогнозировать результаты принятых решений.

Повышению качества управления объектом СЧМ способствует дополнение управляющих воздействий на объект использованием специальных предназначенных для этого аппаратов человеко-машинного интерфейса (ЧМИ) — аппаратов совместного управления, которые посредством перемещения их органа управления позволяют реализовать антропоморфное управление объектом со стороны самого УА [4—8]. Намерения УА реализуются как антропоморфное управление в том случае, если с ними совпадают намерения ЧО, который, "соглашаясь" с УА, не корректирует действия УА. При совместном управлении ЧО имеет приоритет в управлении объектом СЧМ

и возможность его использования для корректировки намерений УА путем дополнительного перемещения органа управления аппарата совместного управления.

Например, для СЧМ "судоводитель—судно" независимо от того, реализуется ли совместное управление движением судна или судно на некоторых интервалах времени используется как беспилотный объект, антропоморфное управление, вырабатываемое УА, является вариантом ситуационного управления [9—12]. Это управление целесообразно рассматривать на уровне исполнения для всего этапа эксплуатации жизненного цикла СЧМ. Представляя эргатическую систему "судоводитель—судно" как эргамат [13, 14], будем исходить из того, что на уровне ЦУ конечную (стратегическую) цель задает ЧО. Частные (тактические) цели, необходимые для достижения конечной цели, определяются УА самостоятельно или с участием ЧО. В связи с этим ЦУ как верхний уровень управления представляется результатом моделирования перехода из начального состояния СЧМ в новое состояние для достижения конечной цели в расчете на реализацию антропоморфного управления на уровне исполнения. При этом актуальной является задача представления целей управления в математической форме. Это требуется для того, чтобы УА выполнял необходимые расчеты при планировании и исполнении управляющих воздействий в СЧМ для достижения конечной цели. Однако такую цель для ситуационного управления на ограниченном отрезке времени жизненного цикла СЧМ при условии, что эксплуатация СЧМ на этом не завершается, только условно можно считать "конечной". Последующую условно конечную цель при эксплуатации СЧМ на жизненном цикле необходимо определить, по крайней мере, до перехода СЧМ в "конечное" состояние, соответствующее уже определенной цели. Поэтому ЦУ и планирование управления, имея ввиду ситуационное, а в рассматриваемой задаче — антропоморфное, управление, необходимо осуществлять в условиях, когда требуется определять начальное и конечное состояния СЧМ для интервала планирования путем экстраполяции траектории в пространстве состояний из какой-либо предшествующей ситуации. Целью работы является решение задачи "экстраполяции ЦУ" на примере эргатической системы "судоводитель—судно".

Моделирование целеуказания совместного управления объектом системы "человек—машина"

В работах [1, 4] на примере эргатической системы "судоводитель—судно" достаточно подробно описана процедура формализации вербальной модели действий и ответных реакций ЧО и машины с привлечением метода пространства состояний. В общем случае процедура формализации приводит к построению множества неполных представлений элементарных движений

$$\mathbf{Z} = \{\dot{X} = F^r(X), r = 1, 2, \dots, R\}, \quad (1)$$

где $F^r(X)$ — вектор-функция от вектора X , представляемого матрицей-столбцом фазовых координат x_1, x_2, \dots, x_N в $(1 + N)$ -мерном пространстве состояний $\{t \times x_1 \times x_2 \times \dots \times x_N\}$; r — порядковый номер вектор-функции $F^r(X)$ в множестве \mathbf{Z} . Точка над буквой X обозначает применение операции дифференцирования фазовых координат по времени t . Там, где это необходимо, зависимость координаты x_i ($i \in \overline{1, \dots, N}$) от времени t представляется в виде $x_i(t)$.

Каждый элемент множества (1) в развернутом виде представляет нормальную систему обыкновенных дифференциальных уравнений, в которой в математической форме выражены действия ЧО и реакция объекта СЧМ. Термин "неполное представление движения" заимствован из работы [15], в которой Г. В. Корнев показал конструктивность неполных представлений движения. В рассматриваемом случае это важно в том отношении, что каждому неполному представлению $\dot{X} = F^r(X)$ элементарного движения СЧМ из множества (1) может быть поставлено в соответствие в общем случае несколько возможно нечетких формулировок цели элементарного движения, вызванного определенным управляющим действием. Например, для системы "судоводитель—судно" перемещению органа управления главным двигателем в определенном направлении могут соответствовать формулировки намерения: увеличить скорость, двигаться быстрее, прибавить ход, увеличить "обороты" и т. п. Все формулировки относятся к определенному элементу из множества (1) при некотором значении r .

Отметим возможную неоднозначность требования к управляющему действию. Например, достижению цели (условно конечной), форму-

лируемой как "малый ход", может соответствовать намерение переместить орган управления в направлении "увеличить", если судно только начинает движение из состояния неподвижности, или переместить орган управления в направлении "уменьшить", если судно движется с большой скоростью при соответствующем положении органа управления главным двигателем. Двум разным исходным ситуациям соответствуют разные управляющие действия и соответствующие элементарные движения системы "судоводитель—судно". Это необходимо учитывать при экстраполяции ЦУ.

Исходной задачей для ЦУ является задание представления элементарного движения, непосредственно предшествующего началу антропоморфного управления целедостижением, и значений фазовых координат на момент начала управления для левого конца траектории в пространстве состояний. Совокупность этих требований отражает полную ситуацию по Д. А. Поспелову [9], которую можно соотнести с полной ситуацией, соответствующей конечной цели предыдущего этапа целедостижения. Вторая задача предусматривает задание значений фазовых координат на правом конце траектории при достижении актуальной цели и конкретизацию представления элементарного движения, к которому переходит СЧМ непосредственно после окончания антропоморфного управления на времени планирования. Таким образом, закладывается основа для последующего целеуказания — как бы для последующего "движения" по этапу эксплуатации СЧМ на жизненном цикле. Наглядная иллюстрация обеих задач на примере трехмерного пространства состояний показана на рис. 1.

Полная ситуация A на момент t_s начала антропоморфного управления на интервале $[t_s, t_f]$ его планирования определяется значениями t_s , $x_1(t_s)$, $x_2(t_s)$ и представлением (сплошная линия на рис. 1) элементарного движения $\dot{X} = F^r(X)$, включая точку $(t_s, x_1(t_s), x_2(t_s))$ в пространстве состояний $\{t \times x_1 \times x_2\}$. Аналогично системой данных $\{t_f, x_1(t_f), x_2(t_f), \dot{X} = F^k(X)\}$ определяется полная ситуация B на момент t_f окончания антропоморфного управления на интервале $[t_s, t_f]$. Представление элементарного движения с номером r непосредственно предшествует интервалу планирования $[t_s, t_f]$, а представление элементарного движения с номером k следует непосредственно за интервалом планирования. Эти представления достаточно определить на

малых интервалах времени $(t_s - \Delta t, t_s + \Delta t)$ и $(t_f - \Delta t, t_f + \Delta t)$ при $\Delta t > 0$.

Цель антропоморфного управления, т. е. указание перехода от начальной ситуации к конечной ситуации в рассмотренном выше смысле, иллюстрируется на рис. 1 с помощью штриховой линии со стрелкой. Как следует из вышесказанного, принцип формализации цели с помощью полных ситуаций относится в равной степени как к конечным (стратегическим) целям, так и к частным (тактическим) целям, рассмотренным в работе [13].

Обобщая содержание рис. 1, представим формально цель $C_{s \rightarrow f}$ антропоморфного управления в следующем виде:

$$C_{s \rightarrow f} =: \{[t_s, X(t_s), \dot{X}(t) = F^r(X(t))] \rightarrow [t_f, X(t_f), \dot{X}(t) = F^k(X(t))]\} \quad (2)$$

Эта цель характеризуется следующими свойствами:

- 1) $t_f \geq t_s$;
- 2) если $t_f = t_s$, то имеет место элементарная цель C_s , для которой в формуле (2) $k \neq r$, т. е. $F^k(X(t)) \neq F^r(X(t))$ (в множестве (1) нет попарно одинаковых элементов); причиной смены элементарного движения с представлением $\dot{X} = F^r(X)$ на элементарное движение с представлением $\dot{X} = F^k(X)$ является сигнал дискретного управления (СДУ)

$$U_r^k(t_s) = \{t_s, F^r(X(t_s)), F^k(X(t_s))\}, \quad (3)$$

исходящий от ЧО или УА [16, 17];

- 3) если $t_f > t_s$, то для конечной (стратегической) цели $C_{s \rightarrow f}$ в промежутке между ситуациями A и B формула (2) может содержать произвольное конечное множество полных ситуаций, элементарных целей и соответствующих СДУ вида (3).

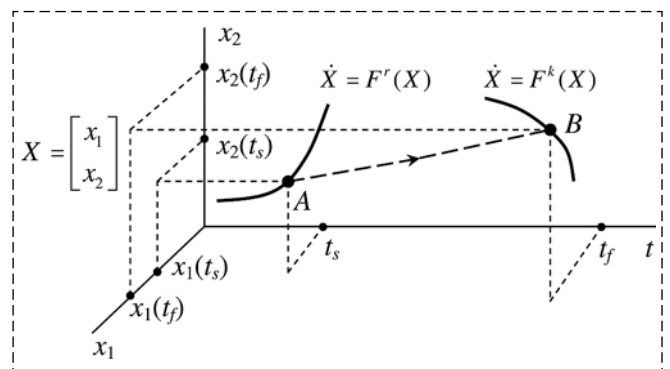


Рис. 1. Иллюстрация граничных ситуаций A, B целеуказания
Fig. 1. Illustration of boundary situations A, B of target designation

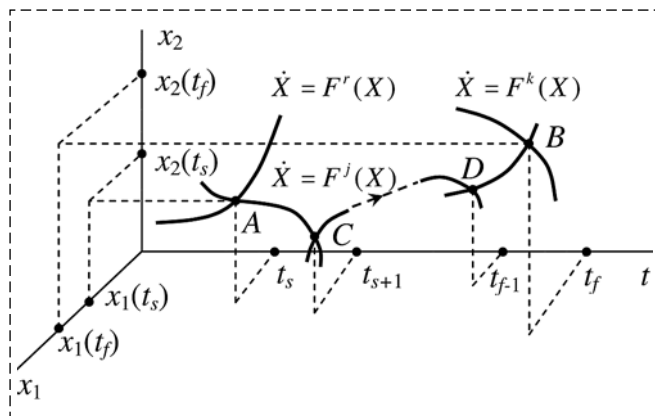


Рис. 2. Иллюстрация ситуаций *A, C, D, B* целеуказания
 Fig. 2. Illustration of target designation situations *A, C, D, B*

Рис. 2 конкретизирует рис. 1 и иллюстрирует последний (третий) вариант представления ситуаций и целей антропоморфного управления.

Парные ситуации *A, C* и *D, B* "разделяются" некоторыми элементарными движениями $\dot{X} = F^j(X)$ из множества (1). Этим ситуациям соответствуют элементарные цели $C_s, C_{s+1}, \dots, C_{f-1}, C_f$.

Конечная цель $C_{s \rightarrow f}$, частные цели $C_{s \rightarrow s+1}$ и $C_{f-1 \rightarrow f}$, определяющие переходы от ситуации *A* к ситуации *C* и от ситуации *D* к ситуации *B*, а также элементарные цели $C_s, C_{s+1}, \dots, C_{f-1}, C_f$ являются элементами ЦУ антропоморфного управления. В полном объеме ЦУ антропоморфного управления определяется целями различных уровней, образующих полную систему целей ЦУ [18].

Представим полную систему целей ЦУ на примере рис. 3 в виде иерархической системы со слабыми связями, взяв за основу рис. 2 и положив $s = 1, f = 5$.

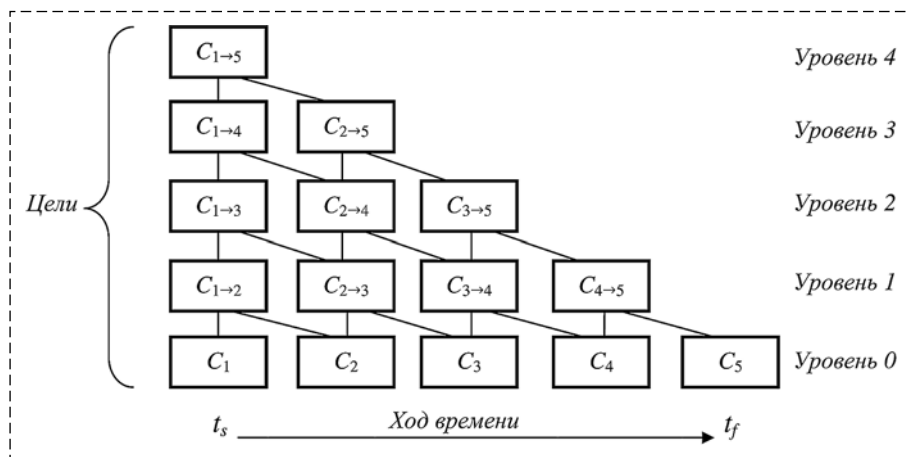


Рис. 3. Пример иерархической структуры полной системы целей антропоморфного управления системы человек-машина

Fig. 3. An example of the hierarchical structure of the complete system of goals of anthropomorphic management of the man-machine system

Уровень цели в ЦУ антропоморфного управления определяется в соответствии с представлением (2) как разность $f - s$. Число уровней Q равно $f - s + 1$. Нижнему уровню присваивается номер 0. В общем случае, если ЦУ рассматривается на $Q = f - s + 1$ уровнях целей, то полное (максимальное) число целей в ЦУ равно

$$P(Q) = \frac{Q(Q+1)}{2}. \quad (4)$$

Таким образом, ЦУ как составляющая антропоморфного управления СЧМ определяется до начала исполнения управления объектом СЧМ на некотором отрезке времени $[t_s, t_f]$ этапа эксплуатации в полном объеме упорядоченной во времени иерархической системой целей со слабыми связями. На каждом уровне целей ЦУ вербальным представлениям целей соответствуют их математические модели в пространстве состояний, что дает возможность при планировании антропоморфного управления ставить и решать задачи расчета СДУ численными методами.

Обсуждение

Последовательность ситуаций, иллюстрируемая рис. 2, и соответствующая ей полная система целей, представленная на рис. 3, рассматриваются как фрагмент ЦУ на этапе жизненного цикла СЧМ. Практическим примером подобного фрагмента может служить ЦУ антропоморфного управления упомянутым выше вводом судна в камеру шлюза (рис. 4).

По результатам осциллографирования управляющих действий судоводителей более чем

на 20 судах в натурных экспериментах было установлено, что судоводители при ручном управлении судном вырабатывают от 17 до 35 сигналов дискретного управления в форме (3) на интервале времени движения судна из неподвижного состояния у причальной стенки вне шлюза в неподвижное состояние в камере шлюза [19]. Этим экспериментальным данным соответствует согласно (4) полное число целей ЦУ $P(17) = 153$ и $P(35) = 630$. Такое число целей ЦУ судоводитель не способен сформировать

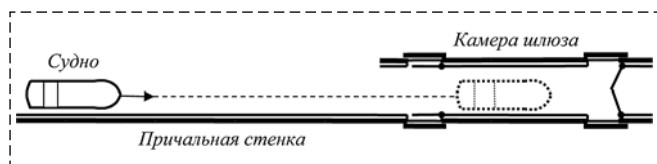


Рис. 4. Иллюстрация процесса ввода судна в камеру шлюза
 Fig. 4. Illustration of the process of entering the vessel into the lock chamber

для УА непосредственно перед реализацией антропоморфного управления из-за их больших значений. Судоводитель оперирует относительно небольшим числом целей разного уровня, как правило, априори, не конкретизируя цели нулевого уровня — элементарные цели.

По результатам проведенных исследований построен шаблон оптимального по быстродействию антропоморфного управления для одновинтовых судов, предусматривающий реализацию 10 СДУ [1]. Для построения шаблона использовались методы теории оптимального управления, мнения и экспертные оценки судоводителей. С каждым СДУ соотнесена цель нулевого уровня. Такому числу элементарных целей соответствует полная система из $P(10) = 55$ целей на 10 уровнях иерархии. Анализ целей на разных уровнях иерархии при движении от цели верхнего уровня к элементарным целям нулевого уровня позволил выявить особенности конструирования ЦУ.

Показана возможность применения решения задачи оптимального управления по методу принципа максимума Л. С. Понтрягина в качестве первого шага для определения ЦУ для управления одновинтовым судном. В местах разрыва функции управления переход к антропоморфному управлению осуществлен с привлечением экспертных оценок судоводителей. В результате определены цели нулевого уровня и соответствующие СДУ пропульсивным комплексом судна. Построен шаблон оптимального по быстродействию антропоморфного управления. Благодаря свойству инвариантности шаблона управления к расстоянию, на которое перемещается судно, ЦУ оказывается универсальным в том отношении, что применимо к различным проектам одновинтовых судов и расстояниям перемещения к шлюзу или в аналогичных условиях из состояния неподвижности также в неподвижное состояние в другом месте [1].

Выявлена возможность построения ЦУ, специфичная в том отношении, что уровень планирования антропоморфного управления

при этом может не затрагиваться. Для постановки и решения задачи оптимального управления может использоваться упрощенная модель динамики одновинтового судна, вплоть до такой, которая позволяет получить аналитическое решение в общем виде. Это связано с тем, что при конструировании ЦУ, "спускаясь" на нулевой уровень, не нужно рассчитывать моменты действия СДУ в формуле (3). Поэтому для решения задачи на основе теоремы А. А. Фельдбаума об n интервалах определяется число интервалов управлений, оптимальных по быстродействию [20, 21], и этим интервалам ставятся в соответствие элементарные цели ЦУ.

Для двухвинтового судна задача оптимального управления в классическом варианте метода принципа максимума не является корректной в том смысле, что получаемое решение не является единственным [17]. Поэтому за основу взято решение по одновинтовому судну. Далее при переходе к антропоморфному управлению на бесконечном множестве решений с помощью экспертов без нарушения оптимальности по быстродействию построен шаблон антропоморфного управления, которое, по мнению экспертов, имеет максимальную надежность в том смысле, что минимизирует вероятность навала судна на ворота шлюза при вводе в камеру и возникновения тем самым аварийной ситуации [17]. Шаблон антропоморфного управления и соответствующее ЦУ для двухвинтового судна универсальны в рассмотренном выше смысле. Полная система целей ЦУ антропоморфного управления двухвинтовым судном составляет $P(12) = 78$, образуя 12 уровней иерархии.

Ограничением интервала времени $[t_s, t_f]$, для которого конкретизируется ЦУ, помимо большого объема целей в ЦУ является существование неопределенности моделей СЧМ и внешней среды. Неопределенность необходимо учитывать при планировании антропоморфного управления. Она проявляется в возникновении ситуаций, содержание которых априори не может быть спрогнозировано. Это обстоятельство рассмотрено в работе [1] на примере учета априорных параметрических, сигнальных и координатных неопределенностей, приводящих к образованию областей координатной неопределенности в пространстве состояний, через которые проходит расчетная траектория программного движения СЧМ в соответствии с ЦУ. Поэтому в качестве ограничения времени (t_f), на которое конкретизируется ЦУ до нуле-

вого уровня целей, выбирается первый момент времени, при котором координатная неопределенность выходит за пределы допустимых значений по фазовым координатам в пространстве состояний. Решение такой задачи уже связано с выходом на уровень планирования антропоморфного управления. Поэтому процесс конструирования ЦУ может быть итерационным, переходящим на уровень планирования антропоморфного управления и после решения задачи планирования с учетом неопределенностей возвращающимся на уровень ЦУ. В этом случае становится обоснованным применение "гипотезы полной определенности", сформулированной Н. Н. Моисеевым для оптимального программного управления объектом [22].

Заключение

В настоящее время ЦУ как верхний уровень совместного управления в СЧМ является малоисследованной темой в теории эргатических систем. В данной работе совместное управление, осуществляемое при взаимодействии ЧО и УА СЧМ, представлено вариантом ситуационного управления, построенного по модели действий и ответных реакций ЧО и машины, принятой в инженерной психологии. Исходной математической моделью такого управления, приближенного по свойствам к действиям ЧО, является множество неполных представлений элементарных движений СЧМ в пространстве состояний. Соответствующие элементарные действия ЧО целенаправлены, что предложено учесть и использовать в ЦУ, чтобы можно было сконструировать антропоморфное управление объектом СЧМ, которое осуществимо и ЧО, и УА. При этом возрастают преимущества ЧО и УА в организации управления СЧМ и ослабляются их недостатки. Таким образом, актуализируется задача распределения функций управления между ЧО и машиной, которая была сформулирована еще в самом начале развития теории эргатических систем "человек—машина".

Содержание ЦУ определено упорядоченной во времени иерархической системой целей со слабыми связями. Нижний уровень образует последовательность элементарных целей, которой соответствует последовательность элементарных движений СЧМ в пространстве состояний. Верхний уровень занимает генеральная (главная) цель над последовательностью элементарных целей. Промежуточные по уровням

цели достаточно информативны, поскольку, как показали экспериментальные исследования, они способствуют "взаимопониманию" во взаимодействии ЧО и УА СЧМ через человеко-машинный интерфейс. Конструирование ЦУ построено таким образом, что оно предусматривает возможность продолжения данного процесса в новом ЦУ на последующих интервалах времени на этапе жизненного цикла СЧМ. При этом учитываются параметрическая, сигнальная и координатная неопределенности используемых математических моделей и измерений фазовых координат.

Прикладной основой постановки и решения поставленной задачи послужили натурные эксперименты по изучению нескольких десятков управляемых процессов ввода судна в камеру шлюза в условиях повышенной опасности, управляющих действий судоводителей и целей, которые побуждают действия.

Список литературы

1. **Тырва В. О., Саушев А. В.** Аналитический подход к конструированию совместного управления движением эргатической системы "судоводитель—судно" // Мехатроника, автоматизация, управление. 2021. Т. 22, № 9. С. 459—467.
2. **Ющенко А. С.** Человек и робот — совместимость и взаимодействие // Робототехника и техническая кибернетика. 2014. № 1 (2). С. 4—9.
3. **Endsley M. R.** The divergence of objective and subjective situation awareness: A meta-analysis // Journal of Cognitive Engineering and Decision Making. 2020. Vol. 14(1). P. 34—53.
4. **Тырва В. О., Саушев А. В.** О реализации совмещаемых управляющих воздействий на объект в системах "человек—машина" // Мехатроника, автоматизация, управление. 2020. № 21 (5). С. 274—281.
5. **Tyrva V. O., Saushev A. V., Shergina O. V.** Anthropomorphic Control over Electromechanical System Motion: Simulation and Implementation // Proceedings — 2020 International Russian Automation Conference, RusAutoCon. 2020. P. 374—379.
6. **Cataldi E.** Set-based inverse kinematics control of an anthropomorphic dual arm aerial manipulator // 2019 International Conference on Robotics and Automation (ICRA). IEEE. 2019. P. 2960—2966.
7. **Lee H., Kim H. J.** Constraint-based cooperative control of multiple aerial manipulators for handling an unknown payload // IEEE Transactions on Industrial Informatics. 2017. Vol. 13, N. 6. P. 2780—2790.
8. **Jimenez-Cano A. E.** Modelling and control of an aerial manipulator consisting of an autonomous helicopter equipped with a multi-link robotic arm // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part G: Journal of Aerospace Engineering. 2016. Vol. 230, N. 10. P. 1860—1870.
9. **Поспелов Д. А.** Ситуационное управление: теория и практика. М.: Наука. Физ.мат.лит., 1986. 288 с.
10. **Суютинов С. И., Булдакова Т. И., Вишневская Ю. А.** Синергетическая модель ситуационной осведомленности человека-оператора в эргатических системах управления подвижными объектами // Мехатроника, автоматизация, управление. 2022. Т. 23, № 6. С. 302—308. DOI: 10.17587/mau.23.302-308.

11. **Филимонов А. Б., Филимонов Н. Б.** Ситуационный подход в задачах автоматизации управления техническими объектами // Мехатроника, автоматизация, управление. 2018. Т. 19, № 9. С. 563—578.

12. **Endsley M. R.** Situation Models: An Avenue to the Modeling of Mental Models // Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting Proceedings. 2000. Vol. 44 (1). P. 61—64. DOI: 10.1177/154193120004400117.

13. **Ющенко А. С.** Ситуационное управление и робототехника // Материалы III Пospelовских чтений "Искусственный интеллект сегодня. Проблемы и перспективы". М., 2007. URL: <http://www.posp.raai.org/?arch> (дата обращения: 28.10.2019).

14. **Гарькина И. А., Данилов А. М., Нашивочников В. В.** Когнитивные модели эргамата // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1-1. С. 258.

15. **Корнев Г. В.** Цель и приспособляемость движения М.: Наука. 1974. 528 с.

16. **Тырва В. О.** Моделирование эргатической системы совместного управления движением судна // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. 2021. № 2 (66). С. 266—277.

17. **Тырва В. О.** Автоматизация эргатической системы "человек-машина" на основе применения в ней антропоморфного управления // Автоматизация в промышленно-сти. 2021. № 2. С. 3—7.

18. **Тырва В. О.** Применение математических моделей для коррекции дискретных сигналов управления объектом эргатической системы // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. 2014. Вып. 1 (29). С. 171—178.

19. **Тырва В. О.** Совместное управление объектом в эргатической системе: модели и реализации // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. 2018. № 2 (48). С. 430—443.

20. **Сурков А. В., Сухинин Б. В., Сурков В. В.** Количество интервалов управлений оптимальных по быстродействию систем // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 1. 2010. С. 138—148.

21. **Сухинин Б. В., Сурков В. В., Соловьев А. Э.** Синтез оптимальных по быстродействию систем на основании использования теоремы об интервалах управления // Вести высших учебных заведений Черноземья. 2010. № 2 (20). С. 57—63.

22. **Моисеев Н. Н.** Элементы теории оптимальных систем М.: Наука, 1975. 526 с.

Targeting of Joint Control in the "Man-Machine" System: Modeling and Structuring

V. O. Tyrva, v.tyrva@mail.ru, A. V. Saushev, saushev@bk.ru,

Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, St. Petersburg, 198035, Russian Federation

Corresponding author: **Tyrva Vladimir O.**, Cand. of Tech. Sc., Professor, Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, St. Petersburg, 198035, Russian Federation, e-mail: v.tyrva@mail.ru

Accepted on September 27, 2022

Abstract

The category of target designation is considered as the upper level of joint control of an object in the ergatic system "man-machine". Target designation refers to the initial need that precedes the planning and execution of the controlled movement of some object of the ergatic system. Such management is presented as a variant of situational management, defined by D. S. Pospelov on the basis of a model of actions and responses of a human operator and a machine adopted in engineering psychology. The control automaton of the system is given the properties inherent in the human operator. The anthropomorphism of control actions is used in the construction of the designation of the control automaton on a set of incomplete representations of elementary movements of the depicting point along the trajectory in the space of states of the "man-machine" system. It is shown that the angular points of the trajectory mark complete situations in the state space, the change of which is caused by signals of discrete anthropomorphic control. The change of situations and elementary movements are matched with the elementary goals and intermediate goals in a structured hierarchy of a complete system of target designation goals, arranged in time. Quantitative estimates of the complete system of goals were obtained. The principal possibility of structuring target designation at the entire stage of operation of the vital cycle of the "man-machine" system is shown. The description of the adopted approach to the design of target designation is accompanied by an example of the application of methods of the theory of optimal control and expert opinions and assessments of boatmasters for the organization of anthropomorphic control of the vessel's movement in conditions of increased danger. The results of the analysis of experimental data are presented, according to which quantitative estimates of the complete systems of goals implemented in the executed movements of ships are given when the main goal is achieved — the entry of the vessel into the lock chamber. The analogous estimates for comparison are made according to the patterns of anthropomorphic management developed for the same main purpose. The results of the discussion of the results of the study are presented. The possibilities of taking into account the parametric, signal and coordinate uncertainties of mathematical models for the coordination of target designation with the planning of anthropomorphic ship movement control are shown.

Keywords: ergatic system, goal, management, situation, state space, model, uncertainty, vessel

For citation:

Tyrva V. O., Saushev A. V. Targeting of Joint Control in the "Man-Machine" System: Modeling and Structuring, *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2023, vol. 24, no. 2, pp. 67—74.

DOI: 10.17587/mau.24.67-74

References

1. **Tyrva V. O., Saushev A. V.** Analytical approach to the design of joint motion control of the ergatic system "skipper-ship", *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2021, vol. 22, no. 9, pp. 459–467 (in Russian)
2. **Yushchenko A. S.** Man and robot — compatibility and interaction, *Ro-bototekhnika and technical cybernetics*, 2014, no. 1 (2), pp. 4–9 (in Russian).
3. **Endsley M. R.** The divergence of objective and subjective situation awareness: A meta-analysis, *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making*, 2020, vol. 14, no. 1, pp. 34–53.
4. **Tyrva V. O., Saushev A. V.** On the implementation of combined control actions on an object in man-machine systems, *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2020, vol. 21, no. 5, pp. 274–281 (in Russian).
5. **Tyrva V. O., Saushev A. V., Shergina O. V.** Anthropomorphic Control over Electromechanical System Motion: Simulation and Implementation, *Proceedings — 2020 International Russian Automation Conference, RusAutoCon.*, 2020, pp. 374–379.
6. **Cataldi E.** Set-based inverse kinematics control of an anthropomorphic dual arm aerial manipulator, *2019 International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, IEEE, 2019, pp. 2960–2966.
7. **Lee H., Kim H. J.** Constraint-based cooperative control of multiple aerial ma-nipulators for handling an unknown payload, *IEEE Transactions on Industrial Infor-matics*, 2017, vol. 13, no. 6, pp. 2780–2790.
8. **Jimenez-Cano A. E.** Modelling and control of an aerial manipulator consist-ing of an autonomous helicopter equipped with a multi-link robotic arm, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part G: Journal of Aerospace Engineering*, 2016, vol. 230, no. 10, pp. 1860–1870.
9. **Pospelov D. A.** Situational management: theory and practice, Moscow, Nauka. Fiz.mat.lit., 1986, 288 p. (in Russian).
10. **Suyatinov S. I., Buldakova T. I., Vishnevskaya Yu. A.** Synergetic model of situational awareness of a human operator in ergatic systems of control of mobile objects, *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2022, vol. 23, no. 6, pp. 302–308, doi: 10.17587/mau.23.302-308 (in Russian).
11. **Filimonov A. B., Filimonov N. B.** Situational approach in tasks of automation of control of technical objects, *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2018, vol. 19, no. 9, pp. 563–578 (in Russian).
12. **Endsley M. R.** Situation Models: An Avenue to the Modeling of Mental Models, *Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting Proceedings*, 2000, vol. 44 (1), pp. 61–64, doi: 10.1177/154193120004400117/
13. **Yushchenko A. S.** Situational management and robotics // Materials of the III Pospelov readings "Artificial Intelligence today. Problems and prospects". Moscow, 2007, available at: <http://www.posp.raai.org/?arch> (accessed: 28.10.2019) (in Russian)
14. **Garkina I. A., Danilov A. M., Nashivochnikov V. V.** Cognitive models of ergamat, *Modern problems of science and education*, 2015, no. 1-1, p. 258 (in Russian).
15. **Korenev G. V.** Purpose and adaptability of movement, Moscow, Nauka, 1974, 528 p. (in Russian).
16. **Tyrva V. O.** Modeling of the ergatic system of joint vessel motion control, *Bulletin of the Admiral S. O. Makarov State University of the Sea and River Fleet*, 2021, no. 2 (66), pp. 266–277 (in Russian).
17. **Tyrva V. O.** Automation of the ergatic system "man-machine" based on the application of anthropomorphic control in it, *Automation in industry*, 2021, no. 2, pp. 3–7 (in Russian).
18. **Tyrva V. O.** Application of mathematical models for correction of specific control signals of an ergatic system object, *Bulletin of the State University of the Sea and River Fleet named after Admiral S. O. Makarov*, 2014, iss. 1 (29), pp. 171–178 (in Russian).
19. **Tyrva V. O.** Joint management of an object in an ergatic system: models and implementations, *Bulletin of the Admiral S. O. Makarov State University of Marine and River Fleet*, 2018, no. 2 (48), pp. 430–443 (in Russian).
20. **Surkov A. V., Sukhinin B. V., Surkov V. V.** Number of control intervals of optimal performance systems, *News of TulSU. Technical sciences*, 2010, iss. 1, pp. 138–148 (in Russian).
21. **Sukhinin B. V., Surkov V. V., Soloviev A. E.** Synthesis of optimal performance systems based on the use of the control interval theorem, *Conduct of higher educational institutions of the Chernozem region*, 2010, no. 2 (20)n pp. 57–63 (in Russian).
22. **Moiseev N. N.** Elements of the theory of optimal systems, Moscow, Nauka, 1975, 526 p. (in Russian).



29–31 мая 2023 г.

г. Санкт-Петербург, Россия

АО "Концерн "ЦНИИ "Электроприбор"



XXX Санкт-Петербургская Международная конференция по интегрированным навигационным системам

Тематика конференции

- Инерциальные датчики, системы навигации и ориентации
- Интегрированные системы навигации и управления движением
- Глобальные навигационные спутниковые системы
- Средства гравиметрической поддержки навигации

В рамках каждого направления рассматриваются:

- схемы построения и конструктивные особенности;
- методы и алгоритмы;
- особенности разработки и применения для различных подвижных объектов и условий движения (аэрокосмические, морские, наземные, подземные);
- испытания и метрология.

Контактная информация:

Тел.: +7 (812) 499 82 10 +7 (812) 499 81 57

Факс: +7 (812) 232 33 76 E-mail: icins@eprib.ru