

УДК 62-50

УПРАВЛЕНИЕ ОБЪЕКТОМ В СИСТЕМЕ «ЧЕЛОВЕК-МАШИНА» ПО МНОЖЕСТВУ НЕПОЛНЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ДВИЖЕНИЙ

В.О. Тырва

Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова
Россия, 198035, Санкт-Петербург, ул. Двинская, 5/7
E-mail: v.tyrva@mail.ru

А.В. Саушев

Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова
Россия, 198035, Санкт-Петербург, ул. Двинская, 5/7
E-mail: saushev@bk.ru

Ключевые слова: система «человек-машина», эргатическая система, математическая модель, совместное управление.

Аннотация: Предложен метод организации управления техническим объектом в эргатической системе «человек-машина», предусматривающий возможность совмещения во времени управляющих действий человека-оператора и автомата системы. На основе известной из инженерной психологии модели действий и ответных реакций человека-оператора и машины построены математические модели действия командоаппаратов человеко-машинного интерфейса системы. Получено описание ответных реакций объекта в пространстве состояний эргатической системы в виде множества неполных представлений элементарных движений, каждое из которых в форме нормальной системы обыкновенных дифференциальных уравнений. Процедура синтеза управления предусматривает решение задач построения последовательности неполных представлений элементарных движений и определение для нее моментов времени смены элементарных движений, исходя из целей и критериев оптимальности управления.

1. Введение

Повышение качества управления объектом в некоторых эргатических системах «человек-машина» может быть достигнуто путем применения совместного управления объектом человеком-оператором и автоматом системы. Об этом свидетельствуют положительные отзывы о применении элементов совместного управления, например, в авиации при реализации принципа NOTAS [1], на водном транспорте в условиях повышенной опасности движения судна [2]. Можно предположить, что реализованное надлежащим образом совместное управление в системе «человек-машина» будет способствовать наилучшему распределению функций управления между человеком-оператором и автоматом. С этой целью получены решения некоторых задач синтеза совместного управления объектом в системе «человек-машина», результаты которых представлены ниже. Используются следующие не общепринятые термины и понятия:

- «неполное представление движения» – понятие, определенное в [3] и распространяемое на целенаправленное поведение человека-оператора и автомата эргатической системы;
- «совместное управление» – понятие (в отличие от используемого также термина «совмещенное управление») обязательно предполагающее возможность реализации одновременного (аддитивного) управления объектом в системе «человек-машина» и человеком-оператором, и автоматом (например, с искусственным интеллектом, понимаемом в соответствии с [4]).

2. Математические модели управляющих действий

Исходное требование к математической модели управляющего действия для реализации совместного управления заключается в том, что она должна служить неполным представлением управления, вырабатываемого человеком-оператором, а также управления, вырабатываемого автоматом системы «человек-машина». Наука «Инженерная психология» предоставляет возможность учесть это требование с помощью дискретной модели «действий и ответных реакций человека-оператора и машины» [5]. На основе этой модели получены математические выражения, характеризующие перемещения органа управления командоаппаратов человеко-машинного интерфейса в соответствии с ГОСТ Р МЭК 60447-2000 [6]. Обозначим через u координату положения органа управления (ОрУ) командоаппарата. Тогда получим:

– модель действия командоаппарата с двухпозиционным органом управления (модель 2П):

$$(1) \quad \begin{cases} u = u_0 - \text{"включено"}, \\ u = 0 - \text{"выключено"}; \end{cases}$$

– модель действия командоаппарата с трехпозиционным органом управления (модель 3П):

$$(2) \quad \begin{cases} u = u_B - \text{включено "вверх" ("вперед", "влево", ...)}, \\ u = 0 - \text{отключено}, \\ u = -u_H - \text{включено "вниз" ("назад", "вправо", ...)}; \end{cases}$$

– модель действия командоаппарата с многопозиционным органом управления (модель МП):

$$(3) \quad \dot{i} = \omega,$$

$$(4) \quad \begin{cases} \omega = \omega_B - \text{изменить "вверх" положение ОрУ}, \\ \omega = 0 - \text{оставить неизменным положение ОрУ}, \\ \omega = -\omega_H - \text{изменить "вниз" положение ОрУ}; \end{cases}$$

– модель действия командоаппарата с многопозиционным многоскоростным органом управления (модель МПС):

$$(5) \quad \begin{cases} \dot{i} = \omega, \\ \dot{\omega} = \varepsilon, \end{cases}$$

$$(6) \quad \begin{cases} \varepsilon = \varepsilon_B - \text{изменить "вверх" скорость перемещения ОрУ}, \\ \varepsilon = 0 - \text{оставить неизменной скорость перемещения ОрУ}, \\ \varepsilon = -\varepsilon_H - \text{изменить "вниз" скорость перемещения ОрУ}. \end{cases}$$

Здесь и далее точкой над буквой обозначается операция дифференцирования по времени t . Параметрам $u_o, u_b, u_n, \omega_b, \omega_n, \varepsilon_b, \varepsilon_n$ придаются некоторые числовые положительные значения.

Модели 2П, 3П, МП и МПС характеризуют действия существующих командоаппаратов ручного управления по упомянутому ГОСТ Р. Однако для совместного управления объектом в системе «человек-машина» они не подходят. Требуется применение командоаппаратов нового типа, которые упрощенно могут рассматриваться так, что к аппарату ручного управления добавлено приводное устройство дистанционного действия, создающее усилие на орган управления, подобное мускульному усилию человека-оператора и способное переместить орган управления по сигналам от автомата системы «человек-машина» [6]. Используя терминологию, примененную в работе [7], можно считать, что в управлении объектом принимают участие человек-оператор и «рациональный агент» (интеллектуальная система управления), оба воздействующие на ОрУ. Таким образом, рациональный агент, то есть автомат системы и приводное устройство командоаппарата должны генерировать управляющие воздействия подобные тем, которые формирует человек-оператор. Следовательно, для их описания применим приведенные выше модели 2П, 3П, МП и МПС.

3. Моделирование ответных реакций системы «человек-машина» на совместное управление

Пусть в составе человеко-машинного интерфейса рассматриваемой эргатической системы имеем:

- P_a аппаратов с двухпозиционным ОрУ модели 2П (1), характеризуемых координатами u_1, u_2, \dots, u_{P_a} положения ОрУ;
- P_b аппаратов с трехпозиционным ОрУ модели 3П (2), характеризуемых координатами $u_{P_a+1}, u_{P_a+2}, \dots, u_{P_a+P_b}$ положения ОрУ;
- P_c аппаратов с многопозиционным ОрУ модели МП (3), (4), характеризуемых координатами $u_{P_a+P_b+1}, u_{P_a+P_b+2}, \dots, u_{P_a+P_b+P_c}$ положения ОрУ;
- P_d аппаратов с многопозиционным ОрУ модели МПС (5), (6), характеризуемых координатами $u_{P_a+P_b+P_c+1}, u_{P_a+P_b+P_c+2}, \dots, u_P$ положения ОрУ.

Опишем (используя законы физики) динамику состояния объекта управления системы «человек-машина» нормальной системой обыкновенных дифференциальных уравнений

$$(7) \quad \begin{cases} \dot{x}_1 = f_1(x_1, x_2, \dots, x_{N_o}, u_1, u_2, \dots, u_P), \\ \dot{x}_2 = f_2(x_1, x_2, \dots, x_{N_o}, u_1, u_2, \dots, u_P), \\ \vdots \\ \dot{x}_1 = f_{N_o}(x_1, x_2, \dots, x_{N_o}, u_1, u_2, \dots, u_P), \end{cases}$$

где x_1, x_2, \dots, x_{N_o} – переменные состояния объекта (фазовые координаты объекта). Предполагается, что функции $f_1(*), f_2(*), \dots, f_{N_o}(*)$ правых частей уравнений (7) дифференцируемы по переменным состояниям.

Введем дополнительно:

1) P_c переменных состояния $x_{N_o+1}, x_{N_o+2}, \dots, x_{N_o+P_c}$ ВМЕСТО $u_{P_a+P_b+1}, u_{P_a+P_b+2}, \dots, u_{P_a+P_b+P_c}$ в соответствии с (3);

2) P_d переменных состояния $x_{N_o+P_c+1}, x_{N_o+P_c+3}, \dots, x_{N_o+P_c+2P_d-1}$ ВМЕСТО $u_{P_a+P_b+P_c+1}, u_{P_a+P_b+P_c+2}, \dots, u_P$ и еще P_d переменных состояния $x_{N_o+P_c+2}, x_{N_o+P_c+4}, \dots, x_{N_o+P_c+2P_d}$ В СООТВЕТСТВИИ С (5).

Таким образом, количество переменных состояния x_i в (7) для рассматриваемой системы «человек-машина» увеличено на $Pc+2Pd$ фазовых координат $x_{No+1}, x_{No+2}, \dots, x_{No+Pc+2Pd}$.

Обозначим $N=No+Pc+2Pd$ общее количество переменных состояния $x_1, x_2, \dots, x_{No}, x_{No+1}, \dots, x_N$ системы «человек-машина» и объединим переменные состояния в вектор (матрицу-столбец) X . Тогда, используя для каждого управления u_1, u_2, \dots, u_P его модель в соответствии с (1)-(6), получим множество Z неполных представлений элементарных движений объекта управления

$$(8) \quad Z = \{\dot{X} = F^r(X), r = 1, 2, \dots, R\},$$

в котором все неполные представления элементарных движений объекта (в соответствии с [3])

$$(9) \quad \dot{X} = F^r(X)$$

при $r=1, 2, \dots, R$ имеют попарно различные вектор-функции правых частей

$$(10) \quad F^r(X) = \begin{bmatrix} f_1^r(x_1, x_2, \dots, x_N) \\ f_2^r(x_1, x_2, \dots, x_N) \\ \vdots \\ f_N^r(x_1, x_2, \dots, x_N) \end{bmatrix} \neq \begin{bmatrix} f_1^k(x_1, x_2, \dots, x_N) \\ f_2^k(x_1, x_2, \dots, x_N) \\ \vdots \\ f_N^k(x_1, x_2, \dots, x_N) \end{bmatrix} = F^k(X)$$

при $k \neq r$. Теоретически максимальное количество элементов множества представлений элементарных движений (9) равно

$$(11) \quad R = 2^{Pa} \times 3^{Pb+Pc+Pd}.$$

Таким образом, ответные реакции системы «человек-машина» на управляющие действия человека-оператора и автомата при совместном управлении охарактеризованы множеством (8) неполных представлений элементарных движений в пространстве состояний системы.

4. Компоненты синтеза управления объектом на множестве неполных представлений элементарных движений

Синтез управления объектом на основе множества неполных представлений элементарных движений системы предусматривает последовательное решение задач построения последовательности представлений элементарных движений, выбираемых из множества (8) для достижения поставленных целей, расчет и однокритериальную или многокритериальную оптимизацию моментов времени смены элементарных движений. При этом управление объектом предлагается рассматривать как разновидность структурного управления на этапе эксплуатации жизненного цикла системы, определенного А.В. Саушевым [8], а систему «человек-машина» – как систему с переменной структурой в формализации по С.В. Емельянову, В.И. Уткину [9]. К настоящему времени получены частные решения первой задачи для управляемого движения судна в условиях повышенной опасности плавания [2, 7] и предложены процедуры решения второй задачи на основе параллельного интегрирования дифференциальных уравнений элементарных движений и соответствующих им уравнений в вариациях [10].

Множество (8) неполных представлений элементарных движений построено для двухвинтового судна с использованием модели МП (3), (4). Полное количество элементов множества Z согласно (11) составляет $R=9$. Из-за особенностей ручного управления упорами винтов судна использовались восемь элементов из Z . Последовательности из неполных представлений элементарных движений содержали в проведенных натуральных экспериментах от 9 (по априорному представлению оптимального управляемого дви-

жения судна) до 35 (для исполненного движения судна) элементов [6]. Оптимизация управления движением судна осуществлена по критерию максимального быстродействия при условии повышенной безопасности перемещения судна в камеру шлюза. При построении последовательности представлений элементарных движений в задаче оптимизации управления движением судна использовались экспертные оценки капитанов судов. Натурные эксперименты свидетельствуют об эффективности управления судном по множеству неполных представлений элементарных движений.

5. Заключение

Выполненные разработки применимы для реализации совместного управления объектом в эргатической системе «человек-машина» и имеют ту особенность, что позволяют выполнить оптимизацию и обеспечить повышенную надежность управления: управление объектом не прерывается в случае, когда один из компонентов системы, а именно, человек-оператор или автомат по той или иной причине перестает формировать управляющие воздействия на органы управления человеко-машинного интерфейса. Возможна также организация взаимного обучения человека-оператора и автомата в процессе управляемого движения объекта.

Представленные результаты исследования можно использовать для определения оптимального структурного управления применительно к автоматической системе (без участия человека) в форме синтеза управления по последовательности неполных представлений элементарных движений.

Список литературы

1. Почему Су-35 самый опасный истребитель в мире? [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.kramola.info/vesti/novosti/pochemu-su-35-samyu-opasnyu-istrebitel-v-mire> (дата обращения 23.08.2017).
2. Тырва В.О. Оптимизация управления движением судна в технологическом процессе шлюзования // Материалы Всероссийской НПК «Проблемы развития транспортной инфраструктуры северных территорий». СПб: ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова, 2015. С. 22-29.
3. Корнев Г.В. Цель и приспособляемость движения. М.: Наука, 1974. 528 с.
4. Искусственный интеллект и интеллектуальные системы управления / Под ред. И.М. Макарова. М.: Наука, 2006. 333 с.
5. Денисов В.Г., Онищенко В.Ф. Инженерная психология в авиации и космонавтике. М.: Машиностроение, 1972. 316 с.
6. Тырва В. О. Совместное управление объектом в эргатической системе: модели и реализации // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. Т. 10. № 2. СПб.: ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова, 2018. С. 439-443.
7. Стюарт Р., Питер Н. Искусственный интеллект: современный подход / 2-е изд.: Пер. с англ. М.: Вильямс, 2006. 1408 с.
8. Саушев А.В., Тырва В.О. Моделирование процесса управления режимами функционирования электротехнических систем // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество» в 2 т. Том 1. Пенза.: ПГУ, 2014. С.219-222.
9. Уткин В.И. Системы с переменной структурой // Автоматика и телемеханика. 1983. Выпуск 9. С. 5-25.
10. 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. Вып. 1 (23). СПб.: ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова. 2014. С. 171-178.