

УДК 656:51-7

ЭРГАТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ: УПРАВЛЕНИЕ, СЕЛЕКЦИЯ ИНФОРМАТИВНЫХ СИГНАЛОВ, МОДЕЛИРОВАНИЕ

Гарькина И.А., Данилов А.М., Дулатов Р.Л.

ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства», Пенза, Россия (440028, Пенза, ул. Германа Титова, 28), e-mail: fmatem@pguas.ru

Рассматриваются синтез, моделирование и управление качеством эргатических систем применительно к разработке тренажных и обучающих комплексов для подготовки операторов мобильных систем. Предлагается методика селекции информативных сигналов при формировании оператором управляющих воздействий в целостной эргатической системе с использованием последовательной процедуры распознавания образов на основе Байесовского подхода. Вводятся меры зависимостей случайных событий для решения задач распознавания образов и диагностики. Приводится алгоритм регрессионной параметрической идентификации, использованный при определении имитационных характеристик тренажера мобильной системы. Результаты исследований эффективно использовались при разработке тренажеров авиационных, автотранспортных, надводных и других транспортных средств, в том числе для оценки психофизиологической напряженности человека-оператора.

Ключевые слова: эргатические системы, управляющие воздействия оператора, селекция информативных сигналов, имитационные характеристики, тренажеры.

HUMAN-MACHINE SYSTEM: CONTROL, SELECTION INFORMATIVE SIGNALS, SIMULATION

Garkina I.A., Danilov A.M., Dulatov R.L.

Penza state university of architecture and construction (Russia, 440028, Penza, Titov str., 28), e-mail: fmatem@pguas.ru

Is given the synthesis, simulation and quality control ergatic systems (in the annex to the development of training systems for the training of operators of mobile systems) and the technique of selection of informative signals the formation of operator control actions in an integrated Human-machine system (using Bayesian sequential pattern recognition procedures);. Introduced measures dependent random events for solving pattern recognition and diagnostics. The algorithm of regression parametric identification, used in determining the characteristics of simulation simulator mobile system, is given. We consider applications to the modeling of lateral and longitudinal movement (emphasis on short-period component). The results of studies effectively used in the development of simulators aircraft, vehicles, surface ships and other vehicles, including the assessment of psychophysiological tension of the human operator.

Keywords: human-machine system, the control actions of the operator, the selection of informative signals, simulation characteristics, simulators.

В настоящее время при профессиональной подготовке водительского состава повсеместное распространение получили автомобильные тренажеры, обеспечивающие полную безопасность и высокую экономичность процессов обучения. К сожалению, ряд модификаций обладает условностью восприятия дорожной обстановки, связанной либо со статичностью кабин, или жесткой программой имитируемой ситуации, не связанной с управляющими действиями обучаемого. Поэтому используются ситуационные автотренажеры, позволяющие значительно повысить эффективность обучения. В них управление в процессе обучения производится вычислительным устройством, связанным с системой имитации дорожной обстановки. Предусматривается возможность воспроизведения неожиданного появления пешехода на проезжей части, внезапный выезд на перекресток других транспортных средств и т.д.

Одной из важнейших задач при создании тренажных и обучающих комплексов [1,4,5,6,7,9] для подготовки операторов мобильных систем является установление и последующее ранжирование стимулов (информативных сигналов), на основе которых человек-оператор и производит формирование управляющих воздействий (реакции на входные сигналы). Она тесно связана с определением психофизиологического статуса оператора (устанавливается на основе клинико-экспериментальной оценки). Обе задачи здесь решаются на основе рассмотрения человека-оператора как элемента многомерного информационного канала и по существу сводятся к решению основной задачи статистической теории распознавания образов. Вторая задача на первом этапе решается в условиях предельного случая (для контингента с выраженными характеристиками принятия решения; такой подход особенно часто используется в психиатрии). Участие в исследованиях практических психологов и психиатров в значительной степени позволили оценить комплексы стимулов при принятии решений операторами для решения конкретных задач.

Математическое моделирование *замкнутой человеко-машинной системы (эргатическая система)* существенно усложняется в связи с действием в ней *организмического принципа (оператор достраивает свои параметры организмически оптимально)*. Практически авторами решалась частная задача идентификации с использованием результатов данных нормального функционирования. В частности, определялись [4,9]:

- распределение вероятностей дискретных значений фазовых координат,
- условные вероятности дискретных значений управляющих воздействий,
- числовые характеристики фазовых координат и управляющих воздействий, как случайных функций,
- меры зависимостей между управляющими воздействиями и значениями выходных координат,
- характеристики каналов управления, как дискретных информационных каналов, в том числе характеристики дублирования и взаимодействия в передаче стимулов (выходных координат) при выборе соответствующих реакций,
- корреляционные функции и спектральные характеристики фазовых координат и управляющих воздействий.

Обычно в качестве количественных характеристик зависимостей случайных величин рассматриваются смешанные центральные моменты и их аналоги, в частности, коэффициенты корреляции. Однако эти характеристики в ряде случаев слабо связаны с зависимостью случайных величин; правда, в некоторых случаях получаются вполне удовлетворительные результаты (например, в случае линейной функциональной зависимости).

Поэтому использовались количественные характеристики, на наш взгляд, более отражающие суть явлений. Это подтвердилось при исследовании ряда задач распознавания образов и диагностики. В качестве меры зависимости $\mu Y(X)$ случайного события Y от случайного события X принималась условная вероятность $P(Y|X)$; в общем случае $\mu Y(X) \neq \mu X(Y)$. Мерой зависимости события Y от событий X_1, X_2, \dots, X_n рассматривался вектор $(\mu Y(X_1), \mu Y(X_2), \dots, \mu Y(X_n))$. В случае, когда X_1, X_2, \dots, X_n – независимые события и $P(Y) = \sum P(X_i) \cdot P(Y|X_i)$, то Y рассматривается как линейная комбинация событий X_1, X_2, \dots, X_n :

$$Y = \sum \mu Y(X_i) \cdot X_i ;$$

здесь речь идет не о линейной функциональной зависимости Y от X_1, X_2, \dots, X_n (может быть нелинейной и более сложной). Для дискретной случайной величины Y в качестве меры зависимости принималась $\mu Y(X) = \sum P(y_i|x_j) \cdot P(x_j)$, x_1, x_2, \dots, x_m ; y_1, y_2, \dots, y_n – значения случайных величин X и Y соответственно, $P(y_i|x_j)$ – условная вероятность события $Y = y_i$ относительно события $X = x_j$, $P(x_j)$ – вероятность события $X = x_j$. При вычислении $\mu Y(X)$ по статистическим данным (по выборке объема N) полезно $\mu Y(X)$ вычислять как по всей выборке, так и по ее репрезентативным частям (с минимальным пересечением) и взять среднее значение.

Для селекции информативных сигналов и решения связанной с этим задачи диагностики использовался метод последовательного распознавания. В последовательной процедуре вместо одного порога, как в классической процедуре, задаются два порога: проверяемая гипотеза (основная или нулевая) H_0 и альтернативная гипотеза (конкурирующее с ней предположение) H_1 . Вследствие ограниченности выборки, полученной из генеральной совокупности, по которой проверяется гипотеза H_0 , возможны ошибки, как в ту, так и в другую сторону. В небольшой доле α случаев гипотеза H_0 может оказаться отвергнутой, в то время как на самом деле она является справедливой, или, наоборот, в доле β случаев принимается гипотеза H_0 , в то время как она является ошибочной, а справедливой оказывается H_1 .

Выбор величины уровня значимости α (ошибка первого рода – вероятность α ошибочного отклонения гипотезы H_0) зависит от сопоставления потерь вследствие ошибочных заключений (при $\alpha = 0,05$ в 5 случаях из 100 ошибочно отвергается гипотеза H_0); вероятность β принятия неправильной гипотезы H_0 – ошибка второго рода. Чем весомее потери от

ошибочного отказа от H_0 , тем меньше выбирается α (например, целесообразней признать доброкачественную опухоль онкологическим заболеванием, чем наоборот).

Рассмотрим подмножество выборок, которые приводят к гипотезе H_1 , и определим вероятность того, что последовательный процесс закончится принятием гипотезы H_1 (отклонением H_0). Эта вероятность равна или меньше α в случае, когда на самом деле имеет место гипотеза H_0 , и равна или меньше $1 - \beta$, если на самом деле имеет место гипотеза H_1 . Последнее положение следует из того, что по определению вероятность принятия H_0 , когда верна H_1 , равна β . Доказана сходимость последовательной процедуры за конечное число шагов n , поэтому можно утверждать, что вероятность отклонения H_0 (принятия H_1), когда верна H_1 , должна быть равна $1 - \beta$. На каждом шаге (включая последний) справедливо соотношение

$$p(x|H_1) \geq A_p(x|H_0), \text{ откуда следует } 1 - \beta \geq A\alpha \text{ или } A \leq \frac{1 - \beta}{\alpha}; \text{ аналогично}$$

$$B \leq \frac{\beta}{1 - \alpha}. \text{ Так что: } 0 < \frac{\beta}{1 - \alpha} \leq B \leq 1 \leq A \leq \frac{1 - \beta}{\alpha}.$$

Практически последовательная процедура будет завершена, когда выборка перестанет попадать в область, определяемую двойным неравенством $B < \frac{p(x|H_1)}{p(x|H_0)} < A$.

Неотрицательный результат статистической проверки гипотезы H_0 не означает, что высказанное предположительное утверждение является наилучшим, единственно подходящим. Из этого лишь следует, что она не противоречит имеющимся выборочным данным. При этом таким же качеством могут обладать, наряду с H_0 , и другие гипотезы [8].

Вероятность каждого из возможных состояний A_1, A_2, \dots, A_k объекта по методу последовательного распознавания (следует из формулы Байеса; позволяет установить вероятности состояний A_1, A_2, \dots, A_k при наличии комплекса признаков (симптомов) $X_\nu, \nu = \overline{1, q}$, вообще говоря, зависимых) определяется в виде:

$$P(A_i | X_1 X_2 \dots X_q) = \frac{P(A_i)P(X_1 | A_i)P(X_2 | A_i X_1) \dots P(X_q | A_i X_1 \dots X_{q-1})}{\sum_{i=1}^q P(A_i)P(X_1 | A_i)P(X_2 | A_i X_1) \dots P(X_q | A_i X_1 \dots X_{q-1})}.$$

При этом отношение

$$\frac{P(A_i | X_1 X_2 \dots X_q)}{P(A_j | X_1 X_2 \dots X_q)} = \frac{P(A_i)P(X_1 | A_i)P(X_2 | A_i X_1) \dots P(X_q | A_i X_1 \dots X_{q-1})}{P(A_j)P(X_1 | A_j)P(X_2 | A_j X_1) \dots P(X_q | A_j X_1 \dots X_{q-1})}$$

показывает, во сколько состояние A_i вероятнее состояния A_j .

Значение количества q признаков устанавливается исходя из заранее выбранных допустимых уровней диагностических ошибок (после достижения порога A_i или A_j принимается решение: «состояние A_i » или «состояние A_j »). При последовательной процедуре распознавания для пары (A_1, A_2) возможны варианты: состояние A_1 , или A_2 , или имеющейся информации недостаточно для принятия решения с намеченным уровнем надежности (или существует промежуточное состояние между A_1 и A_2).

Для принятия одного из решений правая часть последнего равенства сравнивается с диагностическим порогом. Если α – ошибочная диагностика состояния, β – ошибка пропуска состояния; α, β – ошибки второго и первого родов, то отношение вероятностей правильных и ошибочных диагнозов состояний A_1 равно $\frac{1-\beta}{\alpha}$. Аналогично отношение оши-

бочных и правильных диагнозов $A_2 = \frac{\beta}{1-\alpha}$.

При $D = \frac{P(A_1 | X_1 X_2 \dots X_q)}{P(A_2 | X_1 X_2 \dots X_q)} \geq \frac{1-\beta}{\alpha}$ принимается состояние A_1 ; при $D \leq \frac{\beta}{1-\alpha}$ – состо-

яние A_2 ; если $\frac{\beta}{1-\alpha} < D < \frac{1-\beta}{\alpha}$, то последовательная процедура продолжается.

Если под классами понимать стили управления, а под признаками – источники информации, то решение задачи прогнозирования управления на тренажных комплексах легко осуществляется с использованием последовательной процедуры распознавания. Информация о взаимодействии двух входов X_1 и X_2 без учета дублируемой информации для различных классов управлений (по выходу) определится величиной

$$T(X_1, X_2, A) - [T(X_1, A) + T(X_2, A)],$$

где $T(X_i, A)$, $T(X_1, X_2, A)$ – соответственно количество информации, передаваемых от X_i к A и парой (X_1, X_2) к A .

Эффективность использования комплексов для обучения операторов определяется имитационными характеристиками тренажера, определяющими формирование оператором управляющих воздействий.

Ограничимся эргатическими системами, для которых уравнения движения имеют вид:

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= Ax(t) + Bu(t) \\ \dot{i}(t) + P_1 u(t) + P_2 u(t) &= P_3 \ddot{x}(t) + P_4 \dot{x}(t) + P_5 x(t) + P_6 x(t - \tau) \end{aligned} \quad (1)$$

или

$$\dot{x}(t) = x_1(t), \quad \dot{x}_1(t) = Ax_1(t) + Bu_1(t), \quad \dot{i}(t) = u_1(t),$$

$$\mathcal{X} = \begin{bmatrix} x_1^{s+r} \dots x_n^{s+r} & \dot{x}_1^{s+r} \dots \dot{x}_n^{s+r} & u_1^{s+r} \dots u_m^{s+r} & \dot{u}_1^{s+r} \dots \dot{u}_m^{s+r} \\ & & \dots & \\ x_1^r \dots x_n^r & \dot{x}_1^r \dots \dot{x}_n^r & u_1^r \dots u_m^r & \dot{u}_1^r \dots \dot{u}_m^r \end{bmatrix},$$

τ – символ транспонирования, $r \geq 5n + 4m + s + 1$.

Непосредственно из вида Φ , ее блочной структуры, при заданной системе уравнений вида (1) появляется возможность идентифицировать параметры как объекта, так и оператора.

Рассматриваемый алгоритм многократно использовался [2,3] при параметрической идентификации как продольного, так и бокового движений эргатической системы (для короткопериодической составляющей ограничивались случаем

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix},$$

$$B = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix}, u = [u]).$$

Список литературы

1. Авиационные тренажеры модульной архитектуры: монография; под редакцией Лапшина Э.В., д.т.н., проф. Данилова А.М. – Пенза: ИИЦ ПГУ, 2005. – 146 с.
2. Будылина Е.А., Гарькина И.А., Данилов А.М. Моделирование с позиций управления в технических системах // Региональная архитектура и строительство. – 2012. – № 2. – С. 138.
3. Будылина Е.А., Гарькина И.А., Данилов А.М. Приближенные методы декомпозиции при настройке имитаторов динамических систем // Региональная архитектура и строительство. – 2013. – № 3. – С. 150-156.
4. Будылина Е.А., Гарькина И.А., Данилов А.М., Пылайкин С.А. Аналитическое определение имитационных характеристик тренажных и обучающих комплексов // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 6. – С. 698.
5. Будылина Е.А., Данилов А.М., Пылайкин С.А., Лапшин Э.В. Тренажеры по подготовке операторов эргатических систем: состояние и перспективы // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 4. – С. 154.
6. Гарькина И.А., Данилов А.М., Пылайкин С.А. Транспортные эргатические системы: информационные модели и управление // Мир транспорта и технологических машин. – 2013. – № 1 (40). – С. 115-122.
7. Гарькина И.А., Данилов А.М., Пылайкин С.А. Тренажеры и имитаторы транспортных систем: выбор параметров вычислений, оценка качества // Мир транспорта и технологических машин. – 2013. – № 3 (42). – С. 115-120.

8. Данилов А.М., Гарькина И.А. Теория вероятностей и математическая статистика с инженерными приложениями: учебное пособие. – Пенза: ПГУАС, 2010. – 228 с.
9. Данилов А.М., Гарькина И.А., Домке Э.Р. Математическое моделирование управляющих воздействий оператора в эргатической системе // Вестник МАДИ. – 2011. – № 2. – С.18-23.

Рецензенты:

Родионов Ю.В., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Эксплуатация автомобильного транспорта», декан автомобильно-дорожного института ПГУАС, г. Пенза;

Кошев А.Н., д.х.н., профессор, профессор кафедры «Информационно-вычислительные системы» Пензенского государственного университета архитектуры и строительства, г. Пенза.