

Изучение курса «Системы искусственного интеллекта» в ТТИ ЮФУ включает выполнение практических, лабораторных и курсовых работ [5]. Использование для этих целей системы MatLab – шаг, позволяющий вывести преподавание дисциплины на качественно новый уровень. Изучение методов и алгоритмов ДМ с возможностями проведения анализа и экспериментов в среде MatLab дает возможность студентам технических специальностей более глубоко понять изучаемый материал, самостоятельно ставить эксперименты. Использование MatLab в процессе обучения дает возможность создания образовательного контента по дисциплине в рамках ведущихся в настоящее время работ по созданию в ЮФУ современных электронных образовательных ресурсов нового поколения.

В заключение отметим, что методы обработки изображений тесно связаны с многомерным интеллектуальным анализом данных. Это показывает наличие на рынке программных продуктов профессиональных решений, реализующих подобный симбиоз. Использование системы MatLab в сфере образования дает возможность решения задач предварительной обработки изображений на основе анализа многомерных данных, расширяет круг исследуемых моделей и задач при обучении. В частности, использование пакетов Image Processing Toolbox и Neural Network Toolbox позволяет решать задачи предварительной обработки изображений методами многомерной аналитической обработки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Журавель И.М. Краткий курс теории обработки изображений <http://matlab.exponenta.ru/imageprocess/book2/index.php>
2. Розенфельд А. Распознавание и обработка изображений. – М.: Мир, 1972. – 230 с.
3. Баргесян А.А., Куприянов М.С. Методы и модели анализа данных. – СПб: БХВ-Петербург, 2004. – 336 с.
4. Родзин С.И. Интеллектуальные системы. Генетические алгоритмы: базовая концепция, когнитивные возможности и проблемные вопросы теории / С.И. Родзин [и др.]. – М.: Физматлит, 2007. – 295 с.
5. Родзин С.И. Системы искусственного интеллекта: лабораторный практикум: Учебное пособие / С.И. Родзин [и др.] – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2007. – 128с.

А.А. Зори, В.Д. Корнев

КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

При разработке различных систем (управления, контроля, информационно-измерительных и др.) часто возникает необходимость оценить целесообразность использования того или иного варианта системы и выбрать оптимальный. Объективная оценка оптимальности системы может быть получена на основе показателя ее эффективности [1]. В общем случае под эффективностью системы понимают приспособленность ее для решения

поставленной задачи. При оптимизации системы необходимо, во-первых, правильно сформулировать задачу, которую она должна выполнять, и, во-вторых, цель оптимизации. Следовательно, получение оптимального решения связано с выбором показателя эффективности и одновременной разработкой метода (критерия) оценки эффективности по данному показателю [1...3].

Необходимость оценки эффективности ИИС обусловила разработку (синтез, формирование) показателей эффективности систем, желательно обобщенных, которыми можно было бы воспользоваться на практике для сравнения различных вариантов систем. Однако разработка обобщенного показателя эффективности является делом чрезвычайно сложным. Это определяется, прежде всего, предъявляемыми к нему требованиями: а) он должен быть функцией всех важнейших характеристик системы, б) отражать качество выполнения системой поставленных функций и задач, в) иметь простой физический смысл. Как видим, эти требования противоречивы. Поэтому, чем полнее обобщенный показатель должен отражать свойства системы, тем сложнее его сформировать.

Общий подход к синтезу обобщенного показателя эффективности системы должен базироваться на следующих положениях [2, 3]:

а) эффективность системы определяют путем сравнения ее с некоторой другой системой-аналогом;

б) обобщенный показатель представляют в виде суммы частных показателей с некоторыми весовыми коэффициентами; в простейшем случае обобщенный показатель записывают в виде линейной суммы

$$W = \sum p_i \times W_i,$$

где W_i – частный показатель, характеризующий i -й вариант системы или ее свойство, p_i – коэффициент, определяющий важность данного частного показателя (его «вес» или «вклад») в составе обобщенного (чаще всего весовые коэффициенты определяются на основе метода экспертных оценок);

в) при выборе обобщенного показателя устанавливают (если это удастся) взаимосвязь между набором технических характеристик системы и ее стоимостью, надежностью, ремонтпригодностью, массой, объемом и т.д.

В литературе мало информации по разработке критериев оценки эффективности (обобщенной, технической, информационной, экономической и др.) информационно-измерительных систем (ИИС). В тоже время известен ряд фундаментальных работ, посвященных оценке качества систем контроля и управления [5-7]. Поскольку процессы измерения и контроля сходны по информационной сущности и имеют ряд общих операций [3], нами принято решение использовать методологию оценки качества систем контроля в разработке показателей эффективности информационно-измерительных систем и критериев их оценки.

При формировании показателя эффективности ИИС и разработке критерия оценки эффективности по этому показателю принято следующее положение: любой разрабатываемый критерий должен быть конструктивным, т.е. должен позволять определять численное значение показателя эф-

фективности, которое давало бы возможность оценить эффективность системы самой по себе (с точки зрения приближения к потенциальному совершенству) и относительно однотипных систем.

Информационный критерий. Количество информации, получаемое в информационно-измерительной системе от объекта измерения за интервал времени $(\tau-t)$, равно

$$I_p(t, \tau) = H_0(t, \tau) - H(t, \tau), \quad (1)$$

где $H_0(t, \tau)$ – начальная энтропия, характеризующая неопределенность объекта измерения и ИИС до выполнения измерения; $H(t, \tau)$ – остаточная энтропия, характеризующая остаточную неопределенность после выполнения измерений [3, 4, 8].

Равенство (1) характеризует реальную информационную систему, потенциальная возможность которой определяется следующим образом:

$$I_n(t, \tau) = H_0(t, \tau). \quad (2)$$

Эффективность ИИС с информационной точки зрения можно оценить критерием

$$W_I(t, \tau) = \frac{I_p(t, \tau)}{I_n(t, \tau)} = \frac{H_0(t, \tau) - H(t, \tau)}{H_0(t, \tau)}. \quad (3)$$

Этот критерий обладает следующими достоинствами:

- он имеет конкретный физический смысл и действительно характеризует эффективность системы однозначным числом, изменяющимся от 0 до 1, при этом идеальная система, выполняющая измерение без погрешности (без потерь информации), имеет эффективность, равную 1. Для любой реальной ИИС показатель $W_I(t, \tau) < 1$, при $W_I(t, \tau) \leq 0$ применять ИИС не имеет смысла, так как она не дает информации;

- критерий достаточно полно учитывает точность работы системы и качество алгоритма ее работы.

Наряду с указанными достоинствами информационный критерий (3) имеет следующие существенные недостатки:

- не учитывает сложности и стоимости не только процесса измерения, но и самой ИИС, а также некоторых других показателей (вес, энергопотребление, надежность и др.), которые в зависимости от условий применения системы могут оказаться важными;

- является статистической оценкой эффективности системы, не учитывающей динамики исследуемого процесса и динамики самой системы.

Обобщенный статистический критерий. Критерием, не обладающим недостатками информационного, можно считать обобщенный статистический критерий:

$$W(t, \tau) = \frac{K_I(t, \tau)}{K_{I0}(t, \tau)}. \quad (4)$$

Здесь:

$K_I(t, \tau) = [I_{max}(t, \tau) / C(t, \tau)]$ – обобщенная статистическая характеристика реальной системы;

$$I_{max}(t, \tau) = \sum_{i=1}^m I_{imax}(t, \tau) - \text{максимальное значение среднего количе-}$$

ства информации, получаемой за m опытов, выполняемых наилучшей ИИС;

$C(t, \tau) = W_{\Sigma}(t, \tau)$ – математическое ожидание стоимости реальной ИИС;

$K_{I0}(t, \tau) = [I_{maxmax}(t, \tau) / C_{min}(t, \tau)]$ – обобщенная «потенциальная» статистическая характеристика идеальной системы;

– максимальное значение среднего количества информации, получаемой за m опытов, выполняемых наилучшей ИИС при максимальной неопределенности объекта измерения (например, водной среды – при выполнении гидрофизических исследований);

$$C_{min}(t, \tau) = W_w(t, \tau) - \text{стоимость идеализированной системы.}$$

Достоинством обобщенного статистического критерия оценки эффективности ИИС является полнота, наглядность, сравнительная простота и общность, которая позволяет одним числом характеризовать не только всю систему, но и ее составные части. Обобщенный статистический критерий для систем, дающих информацию, может изменяться в диапазоне $0 < W(t, \tau) \leq 1$; несовершенные системы имеют $W(t, \tau) \leq 0$.

Таким образом, для оценки эффективности ИИС по информационному критерию необходимо определить соответствующие энтропии и использовать формулу (3), подсчитать эффективность системы. С учетом стоимости информационную оценку эффективности системы можно заполнить по формуле (4) с учетом ее первоначальной и реальной стоимости.

Критерий эффективности функционирования сложной системы. Автоматические и автоматизированные ИИС (в том числе и гидрофизические, являющиеся предметом научных интересов авторов) относятся к сложным системам, которые характеризуются не только большим количеством структурных элементов, но и сложностью внутренней структуры (обратными связями, различного рода избыточностями и т.п.). Для обобщенной количественной оценки эффективности сложной системы можно использовать критерий эффективности функционирования [5, 7].

Сложной системой называют непосредственно рассматриваемую систему в целом, а элементом сложной системы – некоторую часть системы, способную выполнять определенную операцию в общем процессе функционирования системы. Разделение сложной системы на элементы достаточно условно и зависит не только от структуры сложной системы, но и от вида выполняемых задач, продолжительности периодов функционирования, требуемой точности оценки показателей эффективности и др. Сложная система в процессе функционирования переходит из одного состояния в другое из-за изменения состояния элементов, входящих в ее состав. Процесс изменения состояний сложной системы во времени называют эволюцией, а последовательность таких состояний во времени – траекторией эволюции. Эффективность сложной системы зависит от конкретной траектории эволюции ее состояний в процессе функционирования.

Пусть в процессе эволюции система принимает ряд возможных состояний $S_0, S_1, S_2 \dots S_n$ с вероятностями $P_0, P_1, P_2 \dots P_n$. Поскольку все возможные состояния сложной системы составляют полную группу событий, то

$$\sum_{i=0}^n P_i = 1.$$

Пусть показатели технической эффективности состояний $S_0, S_1, S_2 \dots S_n$ сложной системы соответственно равны $W_0, W_1, W_2 \dots W_n$. Тогда эффективность функционирования сложной системы можно определить как математическое ожидание показателей технической эффективности по формуле

$$W = W_0 \cdot P_0 + W_1 \cdot P_1 + W_2 \cdot P_2 + \dots + W_n \cdot P_n. \quad (5)$$

На основе обобщенного показателя эффективности функционирования сложной системы (5) можно синтезировать показатели эффективности ИИС с учетом различных критериев: информационного, технического, стоимостного, эксплуатационного и др. Так в работе [5] предложен критерий оценки эксплуатационной эффективности системы, учитывающий и динамику подготовки системы, и динамику ее применения. Здесь для учета степени влияния надежности и технической готовности на общую эффективность системы введено понятие показателя эксплуатационной пригодности системы. Предложено определять его по формуле

$$P_{\text{эп}}(t) = \frac{W(t)}{W_0(t)},$$

где $W(t)$ – эффективность использования реальной системы с учетом ее подготовки к применению; $W_0(t)$ – эффективность идеальной (в смысле надежности и технической готовности) системы, т.е. такой, которая не имеет отказов и не требует выполнения операций на подготовку.

Критерии оценивания эффективности гидрофизической системы. Для оценки эффективности ИИС можно синтезировать ряд простых критериев, которые характеризовали бы эффективность системы с разных сторон. Для обобщенной оценки эффективности гидрофизических ИИС, являющихся предметом научных интересов авторов, наиболее приемлемым является комплексный показатель, который можно сформировать на основе критерия эффективности функционирования сложной системы.

Известно, что первичными измеряемыми параметрами морской среды при гидрофизических исследованиях является температура « T », удельная электрическая проводимость « χ », гидростатическое давление « P » и скорость « V ». Для измерения этих параметров в составе гидрофизической ИИС предусмотрены соответствующие измерительные каналы. Инструментальные погрешности каналов определяют апостериорную энтропию, которая характеризует остаточную неопределенность о значении параметров среды после выполнения измерений, и соответственно количество информации о состоянии исследуемой среды, которое получает система во время зондирования. Учитывая значительный вес расходов на изготовление и эксплуатацию гидрофизических ИИС, целесообразно применить комплексный критерий для оценки эффективности исследуемой гидрофи-

зической ИИС в сравнении с системой, выбранной в качестве образцовой (базовой), следующего вида:

$$W = \frac{\sum a_i \cdot W_{0i}}{K_0 + C_0}, \quad (6)$$

где W_{0i} – частный i -й безразмерный показатель технической эффективности ИИС; a_i – весовой коэффициент i -го безразмерного показателя.

В первом приближении можно принять все $a_i = 1$ и использовать следующие безразмерные показатели:

$$\text{а) } W_{01} = \Delta_{1T} / \Delta_{2T},$$

где Δ_{1T} , Δ_{2T} – погрешности измерения температуры среды в базовой и исследуемой системах соответственно;

$$\text{б) } W_{02} = \Delta_{1\chi} / \Delta_{2\chi},$$

где $\Delta_{1\chi}$, $\Delta_{2\chi}$ – погрешности измерения удельной электрической проводимости среды в базовой и исследуемой системах соответственно;

$$\text{в) } W_{03} = \Delta_{1P} / \Delta_{2P},$$

где Δ_{1P} , Δ_{2P} – погрешности измерения гидростатического давления в базовой и исследуемой системах соответственно;

$$\text{г) } W_{04} = \Delta_{1V} / \Delta_{2V},$$

где Δ_{1V} , Δ_{2V} – погрешности измерения скорости в базовой и исследуемой системах соответственно;

$$\text{д) } K_0 = K_2 / K_1,$$

где K_1 , K_2 – капитальные затраты на изготовление базовой и исследуемой систем соответственно;

$$\text{е) } C_0 = C_2 / C_1,$$

где C_1 , C_2 – текущие затраты на эксплуатацию базовой и исследуемой систем соответственно.

Если же в комплексном критерии (6) при определении показателей W_{0i} в качестве погрешностей измерений „базовой” системы выбрать соответствующие „теоретические” погрешности измерения первичных гидрофизических параметров среды ($\pm 0,005^\circ\text{C}$ по температуре, $\pm 0,01\text{См/м}$ по УЭП, $\pm 0,1\%$ по давлению, $\pm 0,005\text{м/с}$ по скорости), которые обеспечивают нужную для океанологов точность расчетов вторичных параметров среды (плотности, солёности, глубины, скорости распространения звука и т.д.), то критерий будет определять «потенциальную» эффективность системы, т.е. эффективность относительно некоторой «идеальной системы», которая имеет такие же расходы на изготовление и эксплуатацию.

Выводы:

1. Объективным критерием целесообразности использования того или иного варианта системы при ее оптимизации может быть эффективность системы.

2. Разработку показателя эффективности системы и оценку ее эффективности в соответствии с этим показателем следует начинать с выбора и обоснования критерия оценки эффективности системы. Критерий должен быть конструктивным, т.е. иметь численное значение, что давало бы воз-

возможность оценить эффективность системы самой по себе и относительно однотипных систем.

3. Гидрофизическую ИИС при анализе ее эффективности следует рассматривать как сложную систему. Для обобщенной оценки ее эффективности целесообразно применение комплексного показателя, формируемого на основе критерия эффективности функционирования сложной системы и обобщенного статистического (информационного) критерия.

4. Для повышения эффективности гидрофизических систем следует повышать точность измерений первичных параметров водной среды, снижать расходы на производство и эксплуатацию систем, повышать быстродействие, надежность, уровень автоматизации измерений и обработки информации, снижать энергопотребление и т.п.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кузнєцов Д.М. Інформаційно-вимірювальна система градування термоанемометричних вимірювальних перетворювачів швидкості газу. Автореф. дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. Донецький національний технічний університет. Донецьк, –2005.
2. Новопашенный Г.Н. Информационно-измерительные системы: Учебн. пособие для специальности „Информационно-измерительная техника” вузов. – М.: Высш. школа, 1977. –208 с.
3. Рабинович В.И., Цапенко М.И. Информационные характеристики средств измерения и контроля. – М.: Энергия, 1968. – 96 с.
4. Кузьмин И.В., Кедров В.А. Основы теории информации и кодирования. – К.: Вища шк., 1997.
5. Касаткин А.С., Кузьмин И.В. Оценка эффективности автоматизированных систем контроля. – М.: Энергия, 1967. – 80 с.
6. Солодов А.В. Теория информации и ее применение к задачам измерения и контроля. М.: Наука, 1967. – 432 с.
7. Кузьмин И.В. Оценка эффективности и оптимизация автоматических систем контроля и управления. – М.: Советское радио, 1971. – 296 с.
8. Тарасенко Ф.П. Введение в курс теории информации. –Томск: Изд-во Томского университета, 1963. – 240 с.

Е.В. Мирошниченко, Е.С. Семенистая

ОСОБЕННОСТИ БИОИМПЕДАНСНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ НА ВЫСОКИХ ЧАСТОТАХ

Рассмотрим возможные методы биоимпедансных измерений, в основе которых лежит использование токопроводящих контактных электродов. К таким методам относятся:

- двухэлектродный метод;
- трехэлектродный метод;
- четырехэлектродный метод;
- пятиэлектродный метод.

Наиболее простым способом измерения электрического импеданса является *двухэлектродный метод*, который также известен как биполяр-