ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ИНТЕРФЕЙСАХ

УДК 681.518

ТКАЧ Вера Алексеевна
старший преподаватель кафедры «Основы конструирования» Херсонского национального технического университета.
Научные интересы: информационные технологии и системы обработки данных.

РОЖКОВ Сергей Александрович
к.т.н., доцент кафедры Технической кибернетики Херсонского национального технического университета.
Научные интересы: управление сложными техническими системами, системы распознавания

ВВЕДЕНИЕ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В современных системах управления процесс обработки информации определяется как получение требуемых данных, что может выступать как единственная цель процесса обработки. Это свойство характерно для класса систем искусственного интеллекта, в составе которых присутствует база знаний и схема управления.

При этом интерфейсы современных SCADA-систем позволяют оператору автоматизированного рабочего места (АРМ) осуществлять управляющие действия для обслуживаемой им системы за достаточно короткий интервал времени. Однако для эффективного управления АРМ требуется большое количество разных алгоритмов деятельности оператора и при этом следует учитывать, что большую часть информации оператор получает визуально, а нагрузка на оператора распределяется неравномерно.

В задаче создания интеллектуального интерфейса важно определить понятие информативности изображения, которое в данном случае связано с понятием полезности. Под информативностью изображений, по Шеннону [1, 5], следует понимать снятую неопределенность наших знаний о графическом объекте, сцене.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Известно [1], что в случае, когда взаимные деформации элементов сцены в трехмерном пространстве не допускаются, сцену можно рассматривать как твердое тело, а движениям плоскости соответствует евклидова подгруппа, содержащая лишь преобразования сдвига и поворота

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \mathbf{R}\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} + \mathbf{t}\ , \qquad (1)$$

где $\mathbf{R} = \begin{pmatrix} \cos\phi & -\sin\phi \\ \sin\phi & \cos\phi \end{pmatrix}$ – матрица поворота на угол ϕ и $\mathbf{t} = \begin{pmatrix} t_x \\ t_y \end{pmatrix}$ – вектор сдвига.

Замена матрицы вращения на общую невырожденную матрицу $\mathbf{A}$ позволяет получить

$$x' = ax + by + c\ ,$$
$$y' = dx + ey + f\ .$$

В матричном виде

$$\mathbf{x}' = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{c}\ ,\ \mathbf{x}' = \begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix},\quad \mathbf{A} = \begin{pmatrix} a & b \\ d & e \end{pmatrix},\ \mathbf{c} = \begin{pmatrix} c \\ f \end{pmatrix}.$$

Вычислить параметры обратного преобразования $\begin{matrix} x = Ax' + By' + C\ , \\ y = Dx' + Ey' + F \end{matrix}$ можно, решив систему (1)

$$A = \frac{e}{\mathbf{detA}}\ ,\ B = \frac{-b}{\mathbf{detA}}\ ,\ C = \frac{(bf - ec)}{\mathbf{detA}}\ ,$$
$$D = \frac{-d}{\mathbf{detA}}\ ,\ E = \frac{a}{\mathbf{detA}}\ ,\ F = \frac{(cd - af)}{\mathbf{detA}}\ .$$

В случае, когда при получении алфавита образов V для набора типовых сцен S функционалом цели является время на принятие решения, задача сводится к определению оптимума времени $T_{пр}$, т.е. на поиск условий, при которых время на принятие решения будет минимальным:

$$T_{пр} \to \min ,$$

$$s_{ij} \in S, \quad i = 1,...,I; \;\; j = 1,...,J,$$
$$v_{kl} \in V, \quad k = 1,...,K; \;\; l = 1,...,L,$$

где s_{ij} – типовая сцена, v_{kl} – элементы изображения, n – множество типовых сцен.

При предъявлении изображения возможны его искажения (рис. 1).

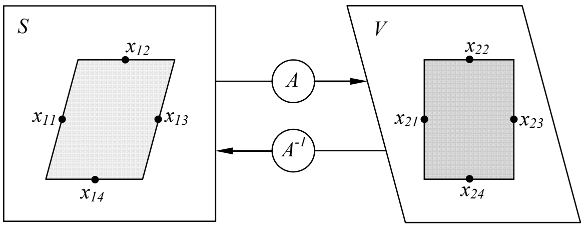

Рисунок 1 – Предполагаемая аффинность искажения

Каждой точке x_{ij} пространства можно поставить в соответствие точку $f(x_{ij})$, имеющую те же координаты относительно «новой» системы координат, что и x_{ij} в исходной, поэтому можно предполагать аффинность этих искажений [1].

В этом случае для плоских изображений существование обратной матрицы A^{-1}, которая обеспечивает устранение возмущений и определяет близость элементов s_{ij} и v_{kl}. Если изображение плоское, то необходимо решение системы четырех уравнений:

$$\vec{x}_1 = A^{-1}\vec{x}_1^* \qquad (2)$$

$$\left.\begin{aligned} \widetilde{x}_{11} &= a_{11}x_{11} + a_{12}x_{12} \\ \widetilde{x}_{12} &= a_{12}x_{11} + a_{22}x_{12} \\ \widetilde{x}_{21} &= a_{11}x_{21} + a_{12}x_{22} \\ \widetilde{x}_{22} &= a_{21}x_{21} + a_{22}x_{22} \end{aligned}\right\} ,$$

что в решении дает

$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & 22 \end{pmatrix} = A^{-1} .$$

Все изображение при этом может быть откорректировано матрицей A^{-1}. В случае, когда возникает ошибка между анализируемым изображением и преобразованным сигналом

$$\vec{\varepsilon} = \vec{x} - A^{-1}\widetilde{x} , \qquad (3)$$

ε – может стать мерой близости изображений.

Следовательно, можно выбрать среднеквадратическое расстояние

$$\left|\vec{\varepsilon}\right|^2 = D .$$

Тогда задача о максимальном быстродействии может быть представлена как $A^{-1*} \to \min T$, т.е. при заданных ограничениях достаточно решение системы (2) для всего изображения.

В случае, когда каждый отдельно рассматриваемый кадр изображения имеет различные элементы, требующие принятия частных решений, то целесообразно рассматривать задачу минимизации рисков при принятии частных решений.

Тогда формируется задача определения среднего риска, который должен быть минимальным:

$$\overline{C} \to \min ,$$
$$A = A^{-1*} .$$

Предположим, что изображение имеет n – фрагментов и каждому n_i соответствует вероятность P_i и штраф C_i.

Причем последовательность анализа новой, неизвестной сцены базируется на движении к фрагментам с максимальной дисперсией или отклонением (4) [2], а в известной сцене – к фрагментам с минимальным штрафом (5):

$$\nabla\sigma^2 \to 0 \qquad (4)$$
$$\nabla\overline{C} \to 0 \qquad (5)$$

Если источник изображения формирует (генерирует) образы $\vec{I}_0$ с определенными вероятностями, то приемник изображения выдвигает гипотезы $\vec{I}_n$ из заданного алфавита с соответствующими вероятностями. Степень достоверности гипотезы $\vec{I}_n$ определяется расстоянием между образом, реализованным источником и гипотезой приемника [3, 4]. Задачи оптимального управления могут быть связаны моделями систем, показанных на рис. 2, 3.

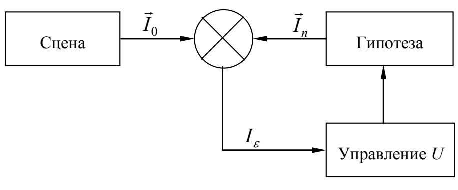

Рисунок 2 – Модель оптимальной системы компенсации

В этом случае качество исходного изображения определяется скоростью сходимости управления u и формированием (генерированием) гипотезы [4].

При этом следует учитывать, что:

1) отклонение изображений и модели должно оцениваться по критерию – сильному оптимуму, что позволит получить лучшее решение
$I = \max\left|X - \widetilde{X}\right|;$

2) предполагаем определение области размещения фрагмента – по дисперсии или (и) логически;

3) проверка близости изображения и гипотеза ведется по существованию аффинного преобразования [1].

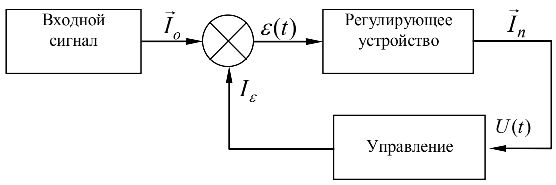

***Рисунок 3** – Модель системы взаимодействия с обратной связью*

Изображение представляется в виде матрицы, сравнивается с требуемым значением a_{ij} и выявляющиеся при этом отклонения ε преобразуется в управляющее воздействие $U(t)$, которое формируется как функция отклонения ε, и влияя на объект, стремится уменьшить или устранить это отклонение.

При получении изображения – информации, его анализ (восприятие) выполняется фрагментарно, т.е. для сложных изображений в начальный момент времени информации, поступающей на монитор, больше, чем может воспринимать оператор

$$I_s > I_e \ ,$$

где I_s – количество информации, которое возможно воспринять в начальный момент времени, I_e – количество информации воспринимаемое в единицу времени.

Чтобы решить задачу согласования, передаваемое изображение необходимо сократить [6]

$$F_e T_e D_e \geq F_s T_s D_s \ ,$$

где F – полоса частоты, T – время восприятия (передачи), D – динамический диапазон.

Для задачи обработки информации наиболее удобен алгоритм JPEG, так как при этом нет разрывов при дифференцировании [6].

Предположив, что ошибка восприятия информации экспоненциально убывает по времени восстановления изображения:

$$\varepsilon(t) = \vec{\varepsilon}_0 e^{-\alpha t} ,$$

что ведет к предположению линейной связи

$$\frac{d\vec{\varepsilon}}{dt} = A_\varepsilon \vec{\varepsilon} + B_\varepsilon \vec{u} \ .$$

Таким образом, получаем динамическую модель управления

$$\dot{\vec{x}} = A\vec{x} + B\vec{u} \ ,$$

в которой время принятия решения должно быть минимальным $T \to \min$, а управление и состояние системы в произвольный момент времени $\vec{u}^*, \vec{x}^* \to \min T$. Таким образом: $\vec{x}(t_0) = \vec{x}_0$.

Рассматривая эту модель, как управляемую динамическую систему, можно определить оптимальное управление в смысле минимизации времени переходного процесса.

В данном случае целевой функционал

$$J(\mathbf{x}, \mathbf{u}, t) = T = \int_0^T dt \ . \qquad (6)$$

Используя принцип максимума Понтрягина [5], управляемость системы и вид функционала цели гарантирует применимость принципа максимума. Функция Гамильтона в данном случае имеет вид:

$$H(\mathbf{x}, \mathbf{u}, \boldsymbol{\lambda}, t) = \lambda_0 + \left\langle \boldsymbol{\lambda}, (A\mathbf{x} + B\mathbf{u}) \right\rangle \qquad (7)$$

При этом условия стационарности по управлению не могут быть выполнены в виду линейности функции Гамильтона по управлению:

$$\frac{\partial H}{\partial \mathbf{u}} = B\boldsymbol{\lambda} \neq \mathbf{0}.$$

Однако, вводя ограничение на управление $a_i \leq u \leq b_i$, $i = 1,2,\ldots,m$, и учитывая, что в задаче линейного программирования оптимум лежит на границе, можем найти последовательность управлений U_j, каждый из элементов которой принадлежит границам управления и обеспечивает условие стационарности.

Аналогично удовлетворяется собственно принцип максимума:

$$\mathbf{u}^* \to \max H(\mathbf{x}^*, \mathbf{u}, \boldsymbol{\lambda}^*, t) = \qquad (8)$$
$$= \max\{\lambda_0 + \langle \boldsymbol{\lambda}, (A\mathbf{x} + B\mathbf{u})\rangle\} = 0 \ ,$$

как линейная задача на множестве граничных управлений U_j, следовательно, для получения оптимального быстродействия необходимо задействовать весь ресурс управления.

Учитывая, что в этом случае управление будет иметь $n+1$ интервал знакопостоянства, или в нашем случае – интервал концентрации внимания. С другой стороны, необходимо выполнение условия стационарности по управлению

$$\frac{\partial H}{\partial \mathbf{u}} = \vec{\mathbf{0}}.$$

Введя в функционал цели затраты на управление, и учитывая его неотрицательность, получим

$$J = T + \int_0^T u^2 dt \ . \qquad (9)$$

Тогда функция Гамильтона приобретает вид

$$H = \lambda_0 + u^2 + \langle \boldsymbol{\lambda}, (A\mathbf{x} + B\mathbf{u})\rangle. , \qquad (10)$$

В свою очередь, условие стационарности дает

$$\frac{\partial H}{\partial \mathbf{u}} = 2\vec{u} + \langle \lambda^T B\rangle = \vec{\mathbf{0}}, \qquad (11)$$

откуда $\mathbf{u}^* = B\vec{\lambda}$, так как $\lambda = \dfrac{\partial J}{\partial X}$, где X – траектория движения.

Таким образом, получаем управление, определяемое чувствительностью функции цели по траектории анализа изображения.

ВЫВОДЫ

При представлении изображения для анализа, коррекцию возмущений целесообразно выполнить в виде аффинного преобразования, что позволяет значительно сократить объем вычислений.

Задача восприятия изображения может быть рассмотрена как задача оптимального управления с функционалом цели, зависящим от времени и затрат управления на анализ изображения.

При анализе системы управления необходимо учитывать изменения полосы частот, которые занимает анализируемое изображение и сжатое изображение, что позволяет распределить время генерации фрагментов изображения.

Восприятие оператора может быть аппроксимировано линейным приближением с порядком матрицы объекта, равным количеству фрагментов изображения.

Управление в данной задаче подчиняется правилу о n-интервалах и зависит от распределения чувствительности функции цели к траектории анализа изображения.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Грузман И.С. Цифровая обработка изображений в информационных системах: Учебное пособие /И.С. Грузман, В.С. Киричук, В.П. Косых, Г.И. Перетягин и др. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. – 352 с.
2. Гренандер У. Лекции по теории образов /У. Гренандер: в 3-х т. – Т.1. Синтез образов; под ред. Журавлева, пер.с англ. И. Гуревича, Т. Дадашева. – М.: Мир, 1979. –384 с.
3. Гренандер У. Лекции по теории образов /У. Гренандер: в 3-х т. – Т.2. Анализ образов; под ред. Журавлева, пер.с англ. И. Гуревича. – М.: Мир, 1981. – 448 с.
4. Бражник Д.А. Информационная модель инвариантной системы распознавания /Д.А. Бражник, Ф.Б. Рогальский, В.А. Ткач //Проблемы информационных технологий. – 2009. – №1 (005). – С.31-37.
5. Справочник по теории автоматического управления /А.А. Красовский; под. ред. А.А. Красовского. – М.: Наука, Гл.ред.физ.-математ. лит., 1987. – 712 с.
6. Ватолин Д. Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео /Д. Ватолин, А. Ратушняк, М. Смирнов, В. Юкин. – М.: Диалог-МИФИ, 2003. – 384 с.