УДК 004.94

В.А. Ткач

МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ИНТЕРФЕЙСАХ

Аннотация. В статье рассматривается метод оптимизации интеллектуального интерфейса на основе информационного поля при создании интеллектуальных систем автоматического управления. Задача оптимизации интерфейса рассмотрена в смысле обеспечения минимального времени на восприятие и обработку информации.

Ключевые слова. Интерфейсные системы, оптимальный графический интерфейс, информационное пространство, информационное поле, оптимальное управление.

Постановка проблемы

Основой современных методов разработки интерфейсных систем является системный подход, рассматривающий обобщенное изображение и механизмы его обработки и восприятия. Развитие уровня современной технической базы и программного обеспечения позволяет реализовывать быстродействующие алгоритмы генерации, управления и сравнения изображений в структуре интеллектуального интерфейса. Направление этой работы определяют требования по повышению эффективности систем представления информации в смысле обеспечения минимального времени на восприятие и обработку информации при создании оптимальных интерфейсных систем.

Анализ публикаций

Задача создания современных оптимальных интерфейсных систем основывается на комплексном рассмотрении всех процессов генерации, представления и оценки информации в задаче восприятия визуальной информации [1]. Особое внимание вызывает описание информационных подходов к описанию систем на основе интеллектуальных интерфейсов, которые базируются на описании k-го образа интерфейса $\omega_k(I)$ в пространстве образов, физической реализации $\psi_k(x, y, I)$ в пространстве сигналов и принятия решения в информа-

 ISSN 1562-9945

ционном пространстве $I_k(x, y)$ (рис. 1). Это обеспечивает единство решения задачи и обобщенного описания функционирования системы.

При построении интеллектуальных систем автоматического управления необходимо учитывать, что они обеспечивают автоматическое принятие управляющих решений на основе контекстного и ситуационного анализа объекта.

Рисунок 1 - Система на основе интеллектуального интерфейса

Постановка задачи

Разработка методов оптимизации интеллектуального интерфейса на основе понятия информационного поля.

Основная часть

Ограничивая задачу рассмотрением плоских изображений, возникающих на устройствах индикации интерфейсного комплекса, рассмотрим особенности формирования информационного пространства. Изображение, принадлежащее k-му образу, формирует в пространстве сигналов скалярное поле $\psi_k(x, y, I)$, где координаты точки поля определяются вектором x с компонентами x и y. В информационном пространстве порождается скалярное поле $I = I(x)$ с декартовыми координатами точек изображения. Так как изображение $A(x)$, принадлежащее алфавиту A кадров интерфейса, формируется композицией образов, то поле в виде функции $A(x)$, описывает изображение, как сцену. Следовательно, пространство изображения порождает информационное поле $V(x)$, если каждому элементу $I(x)$ поставлено в соответствие элемент набора типовых сцен из алфавита A

$$\begin{aligned} &A_k(x) \in A, \quad k = 1, \ldots, j; \\ &I_k(x) \in V, \quad k = 1, \ldots, j. \end{aligned} \tag{1}$$

где $A_k(x)$ – типовая сцена, $I_k(x)$ – информативность элемента изображения.

Особенностью информационного поля является наличие поля изображения, выступающего как эталон. Собственно, под эталоном понимается изображение, которое может построить система принятия решения, исходя из хранящейся в ней информации. При этом «эталон» может быть гораздо беднее, чем реальное изображение, но его должно быть достаточно для правильного принятия решения о предъявленном изображении.

Информационное поле может быть представлено в виде линий равного уровня [2], описывающие положение точек с равной информативностью в пределах поля кадра

$$A_k(x) = C. \tag{2}$$

Так как основной интерес в задаче связан с пространством образов и его отображением в информационном поле, целесообразно рассматривать задачу поиска критерия соответствия образа и эталона. Элементы изображения представляют собой входные образы, которые принадлежат линейному нормированному метрическому пространству V с нормой $\|v\|$ и метрикой $\alpha(v_1, v_2)$ [3]. Элемент из пространства образов ω_k принадлежит вероятностному пространству Ω, где его основным свойством является присутствие в сцене, оцениваемое вероятностью появления. Описывая вероятностные свойства пространства образов через двумерные функции распределения плотности вероятности $f_k(x)$ и предположив существование линейного отображения элемента из пространства образов Ω в информационное пространство A получаем

$$\omega_k(I) \to f_k(x, y, I) = f_k(I). \tag{3}$$

Таким образом, можно определить соответствие входных образов ω и их информативность I_k. Предполагая [2], что в задаче распознавания плотность вероятности по информации пропорциональна вероятности, получаем информационное пространство с нормой и метрикой

$$\|v_k\| = -\log_\alpha f_k(x) = I_k(x),$$

$$\alpha(v_k, v_j) = -\log_a f_{k/j}(x); = I_{k/j}(x)\ . \tag{4}$$

Действительно, для соответствия Γ между пространством образов Ω и информационным пространством I

$\Gamma : \omega \to I$,

 ISSN 1562-9945

где Γ – множество соответствий, то в этом случае для неотрицательного $\omega \geq 0$ справедливо

$$\Gamma : \|\omega\| \to \|I\|.$$

Для взаимно-однозначного отображения, где для Γ существует обратное отображение Γ^{-1} норму для пространства Ω можно выразить через норму в пространстве V, для которого имеется возможность измерения

$$\Gamma^{-1} : \|I\| \to \|\omega\|.$$

Функция распределения в общем случае представляет собой плотность распределения вероятности появления объекта и зависит от координат и информации

$$f = f(x, y, I). \qquad (5)$$

Тогда расстояние между объектами можно представить в виде ряда [2]:

$$f(x, y, I) = f_{x^* I^*} + \left.\frac{\partial f}{\partial x}\right|_{\substack{x^* \\ I^*}} \Delta x + \left.\frac{\partial f}{\partial y}\right|_{\substack{x^* \\ I^*}} \Delta y + \left.\frac{\partial f}{\partial I}\right|_{\substack{x^* \\ I^*}} \Delta I + \ldots + R,$$

$$\frac{\partial f(x, y, I)}{\partial I} \Delta I = \phi(x, y, I) \quad , \qquad (6)$$

где x и y – параметры.

Оценка информации в каждом конкретном случае требует знания градиента функции цели по информации, либо как гипотезы, либо как полученной зависимости. На основе физических свойств задачи можно выдвинуть гипотезу

$$\left.\begin{aligned} \frac{\partial A}{\partial x} &= \phi_1(x, y, I) \\ \frac{\partial A}{\partial y} &= \phi_2(x, y, I) \\ \frac{\partial A}{\partial I} &= \phi_3(x, y, I) \end{aligned}\right\} = \nabla A \quad . \qquad (7)$$

Решая систему дифференциальных уравнений (7), получаем зависимость информации от координат (рис. 2), которые определяют скалярное поле:

$$I = \Phi(x, y, \text{const}).$$

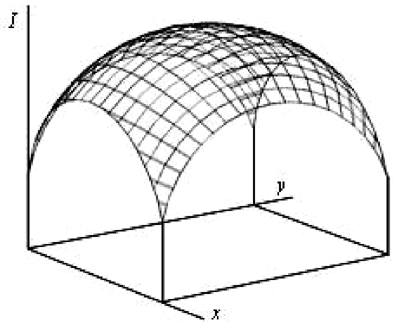

Рисунок 2 - Информационное поле

Для того, чтобы мера информации имела практическую ценность **[Ошибка! Источник ссылки не найден.]**, она должна быть такой, чтобы она отражала количество информации пропорционально плотности распределения

$$\frac{\partial f(x,y,I)}{\partial I} = \alpha f(x,y,I) \ . \tag{8}$$

Далее получаем норму и метрику в виде

$$I_{(x,y)} = -\ln f(x) = \|I\|,$$

$$\alpha\left(f_i, f_j\right) = \ln\left(f_j(x) / f_i(x)\right). \tag{9}$$

Образ ν_{kl} связан с его реализацией и для оптических образов $\nu_{kl} \to \psi(x,y)$ – это двумерное скалярное поле в декартовых координатах. Элементы изображения представляют собой входные образы, которые принадлежат нормированному метрическому пространству V с нормой $\|\nu_k\| = P(\nu_k)$ и метрикой $\alpha(\nu_l, \nu_k) = 1 - P(\nu_l, \nu_k)$, определяющей расстояние между входным событием и выдвинутой гипотезой.

При этом следует обратить внимание на то, что при принятом допущении о выполнении условий органического роста связи информации с вероятностью в пространстве образов, в информационном поле расстояние между точками оценивается логарифмическим отношением правдоподобия. Однако это справедливо только в рамках принятой гипотезы о зависимости вероятности от информации, принятой при построении пространства объектов. Таким образом, информационное поле можно рассматривать как скалярную функцию от вектора x:

$$I = I_k(x). \tag{10}$$

Предположение об аналитичности информационного поля позволяет представить его в виде ряда Тейлора в окрестностях x^*:

ISSN 1562-9945

$$A = A_{|x^*} + \frac{1}{1!}\nabla A_{|x^*}\Delta x + \ldots + R. \tag{11}$$

Так как информационное поле представляет собой скалярное поле аргумента x, то на него распространяются свойства скалярных полей [2]. Локальное свойство скалярного поля – изменение величины $A(V)$ при переходе от данного элемента изображения ν_{kl} к ближайшему $\nu_{(k+1,l+1)}$. Для этого используем производную поля $A(V)$ по направлению $\frac{\partial A(V)}{\partial \lambda}$, где λ – фиксированный единичный вектор и его направление совпадает с направлением отрезка между элементами изображения.

Производная характеризует скорость изменения $A(V)$в направлении λ. Если элементы изображения очень близки, т.е. расстояние между ними можно принять равным нулю, получаем

$$\frac{\partial A(\nu_{k,l})}{\partial \lambda} = \left.\frac{\partial A(\nu_{(k+1,l+1)})}{\partial h}\right|_{h=0} = \frac{\partial A}{\partial x}\cos\alpha + \frac{\partial A}{\partial y}\cos\beta, \tag{12}$$

где h – расстояние между ближайшими элементами изображения, α, β – расстояние между осями координат и направлением λ.

Выражение (1) можно рассматривать как скалярное произведение двух векторов: единичного вектора, определяющего направление $\lambda = (\cos\alpha, \cos\beta)$ и вектора, имеющего компоненты $\frac{\partial A}{\partial x}, \frac{\partial A}{\partial y}$. Этот вектор называют градиентом скалярного поля A, и таким образом

$$\mathrm{grad}A = \left(\frac{\partial A}{\partial x}, \frac{\partial A}{\partial y}\right). \tag{13}$$

Следовательно,

$$\frac{\partial A}{\partial \lambda} = (\mathrm{grad}A, \lambda). \tag{14}$$

При этом следует учитывать, что градиент скалярного поля зависит не от выбора системы координат, а от самого поля.

Если B – векторное поле, можно получить некоторую функцию области $\Phi(\Omega)$, поставив в соответствие каждой пространственной области Ω, ограниченной гладкой или кусочно-гладкой поверхностью Σ, поток вектора B через внешнюю сторону поверхности Σ.

Дивергенцией векторного поля B будет производная функции $\Phi(\Omega)$ по объему

$$\operatorname{div} B = \lim_{\Omega \to v_{kl}} \frac{\iint_{\Sigma} B_n d\sigma}{V(\Omega)} \tag{15}$$

Поток вектора B через внешнюю сторону замкнутой поверхности Σ равен интегралу от дивергенции поля B, взятому по области ограниченной поверхностью Σ

$$\iint_{\Sigma} B_n \, d\sigma = \iiint_{\Omega} \operatorname{div} B \, dv. \tag{16}$$

Это выражение представляет собой суммарную мощность источников, расположенных в области Σ, а $\operatorname{div} B$ – это плотность источников.

Информационное поле, полученное при обработке изображения, будет обладать следующими свойствами:

Анализируя изображение, коррекцию возмущений целесообразно выполнить в виде аффинного преобразования, что позволяет значительно сократить объем вычислений, при этом аффинное преобразование окрестности точки в информационном поле сохраняет сверенность. Хотя при вырожденности матрицы аффинного преобразования возможна потеря информации.

Нормирование – отношение интегрального поля к нормированному значению поля всегда равно 1.

Для замены переменных [0] $x = x(\gamma, \eta)$ и $y = y(\gamma, \eta)$ в двойном интеграле функции $f(x, y)$ в пространстве V нужно подставить в функцию f вместо x и y их выражения, и заменить элемент площади $dx\,dy$ его выражением в криволинейных координатах

$$\iint_{V} f(x, y)\, dx\, dy = \iint_{\Delta} f\left(x(\gamma, \eta), y(\gamma, \eta)\right) \left|J(\gamma, \eta)\right| d\gamma\, d\eta. \tag{17}$$

Математическое ожидание в информационном поле определяет частотную характеристику поля или уменьшение разрешающей способности системы.

 ISSN 1562-9945

Градиент информационного поля $A(V)$ зависит от самого поля, а не от выбора системы координат и характеризует скорость изменения типовых сцен A.

Дивергенция информационного поля представляет собой плотность распространения образов.

Связь между поверхностным интегралом по замкнутой поверхности и тройным интегралом по пространственной области, ограниченной этой поверхностью, устанавливает формула Остроградского [2].

$$\iiint\limits_V \left(\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial y} + \frac{\partial R}{\partial I} \right) dxdydI = \iint\limits_S PdydI + QdIdx + Rdxdy. \qquad (18)$$

где V – замкнутая пространственная область, S – поверхность, ограничивающая эту область; $P(x,y,I)$, $Q(x,y,I)$, $R(x,y,I)$ – функции непрерывные вместе со своими частными производными первого порядка в данной области.

Формула Остроградского для плоскопараллельного поля имеет вид

$$\int\limits_L \left[P\cos(n,\ x) + Q\cos(n,\ y) \right] \, dl = \iint\limits_V \left(\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial y} \right) dx\,dy, \qquad (19)$$

которая означает, что двойной интеграл от дивергенции плоского поля A по некоторой области V равен потоку вектора A через границу L этой области, где n – нормаль к контуру L.

Задача восприятия изображения может быть рассмотрена как задача оптимального управления с функционалом цели, зависящим от времени и затрат управления на анализ изображения. Если функция цели имеет единственный максимум или минимум, ее называют унимодальной, в противном случае полимодальной [5]. Для полимодальной функции цели можно определить точную верхнюю границу

$$\sup J(x) = \max \max J(x) \;,$$

и точную нижнюю границу

$$\inf J(x) = \min \min J(x) \,.$$

При анализе экстремальных свойств функции цели, возможна различная постановка задачи, однако простейшей задачей оптимизации является задача безусловной минимизации функции цели.

Выводы:

Задача оптимизации графического интерфейса относится к задачам анализа информационных полей.

Расстояние между объектами в информационном поле, при выполнении гипотезы Хартли, описывается логарифмической функцией правдоподобия.

При построении оптимального графического интерфейса решается задача оптимизации траектории анализа изображения за счет обеспечения выпуклости информационного поля изображения.

Для реального информационного поля изображения функция цели полимодальна.

ЛИТЕРАТУРА

1. Катыс Г.П. Обработка визуальной информации / Г.П. Катыс. – М.: Машиностроение, 1990. – 320 с.
2. Будак Б.М. Кратные интегралы и ряды/ Б.М. Будак, С.В. Фомин. – М.:Наука. 1965. – 608 с.
3. 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.
4. Вентцель Е.С. Теория вероятностей/ Е.С. Вентцель. – М.:Наука, 1964. – 576 с.
5. Пантелеев А.В. Методы оптимизации в примерах и задачах: Учебное пособие/ А.В. Пантелеев, Т.А. Летова – М.: Высшая школа, 2002. – 544 с.
Фихтенгольц Г.М. Курс дифференциального и интегрального исчисления. Т.3/ Г.М. Фихтенгольц. – М.:Наука, 1970. – 656 с.

 ISSN 1562-9945