

УДК 004.932.001.57

С.Г. АНТОЩУК

Одесский национальный политехнический университет, Украина

ИНФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ В СИСТЕМАХ ОБРАБОТКИ ВИЗУАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Разработанный информационный семанто-статистический анализ позволил численно определять эффективность и качество систем обработки визуальной информации, производить сравнительную оценку и обоснованный выбор методов представления и обработки изображений. Разработанные методические основы построения СОВИ смогут сократить сроки проектирования и существенно повысить его эффективность.

эффективность, качество, анализ, системы обработки визуальной информации

Введение

Качественный рост возможностей и снижение стоимости технических средств сбора и обработки изображений привели на современном этапе к расширению области применения систем обработки визуальной информации (СОВИ) в различных практически важных системах – автоматизированного управления, биомедицинских, дистанционного зондирования и неразрушающего контроля и др. СОВИ, как элемент информационных систем (ИС), работают практически во всех диапазонах электромагнитных и акустических волн (оптическом, радио-, рентгеновском, ультразвуковом и др.). [1 – 3]. В состав обобщенная функциональная схема СОВИ, как правило, включают систему формирования изображений (СФИ) и автоматизированную систему обработки изображений (АСОИЗ). Для создания субоптимальных СОВИ, обоснованного выбора методов и средств обработки изображений, необходимы оценки качества и эффективности как системы в целом, так и ее отдельных блоков (процедур) [1 – 5]. Системы оценок, в полной мере соответствующей этой задаче, на современном этапе не существует и, следовательно, актуальной является ее разработка [6].

Анализ показал, что при разработке системы показателей определяющим является следующее: главная цель СОВИ – извлечение информации об объекте, определяющим является важность информации и вероятность достижения цели, решаемой системой в

целом, и происходящие в них процессы носят вероятностный характер. Кроме того, необходимо учесть то, что, во-первых, повышение качества блока (процедуры, метода) в общем случае не приводит к повышению процедурной эффективности и, во-вторых, улучшение показателей качества и процедурной эффективности блоков (процедур, методов), в общем случае не приводит к увеличению семантической меры информации СОВИ в целом.

В качестве семантической меры информации предложено применять числовую характеристику, полученную на базе критерия целесообразности А.А. Харкевича с использованием в качестве вероятности достижения цели среднего выигрыша [7]:

$$R = \log_2 R_i - \log_2 R_0 = \log_2 \frac{R_i}{R_0},$$

где R_i и R_0 – средний выигрыш СОВИ в целом для i -го (исследуемого) и 0-го (базового) варианта блоков (процедур, методов) соответственно.

Результаты исследований

При сравнении двух вариантов систем (блоков, процедур, методов) возможны следующие случаи:

– $R = 0$, в этом случае обе системы идентичны по эффективности. При выборе системы (блока, процедуры, метода) следует отдать предпочтение той, что имеет более высокие показатели качества функционирования и эффективности;

– $R > 0$, в этом случае исследуемая система лучше, чем базовая по эффективности. Следует выбрать исследуемую систему (блок, процедуру,

метод);

– $R < 0$, в этом случае базовая система лучше, чем исследуемая по эффективности. Следует выбрать базовую систему (блок, процедуру, метод).

Эта семантическая мера полнее всего удовлетворяет задаче распознавания изображений объектов.

Объединение всех данных, полученных при исследовании отдельных блоков (процедур, методов) производится с помощью информационной семанто-статистической модели оценки, которая представляет собой набор уравнений, функционалов и зависимостей, с помощью которых для отдельных блоков (процедур, методов) производится оценка показателей качества F , процедурной эффективности D и исследование влияния на семантическую меру информации СОВИ в целом $R = \Phi(F, D)$. В рамках создания этой модели с учетом целей применения СОВИ в ИС и процессов преобразования информации на разных уровнях глубины обработки [1] проведен системный анализ блоков (процедур, методов), предложены методы оценки качества и процедурной эффективности, исследована их взаимосвязь и влияние на семантическую меру информации. Разработанная методика расчета математической семанто-статистической модели ориентирована на функциональную модель СОВИ и рассматривает ее основные составляющие.

Система формирования изображений. Целью СФИ является формирование входного информационного поля. Идеальная по качеству СФИ позволяет получить изображения, определяемые только отражательными свойствами объекта. Следовательно, показателем качества может быть какой-либо метрический показатель близости между идеальным изображением и полученным на выходе СФИ. Определим критерий, по которому оценивается степень идеальности изображения. Если количество входной информации, определенное с помощью статистического подхода [3, 4], обозначить Q' , а количество информации в выходном образе – $Q_{вых}$, потери информации об образе на каждой ступени

преобразования при m -каскадной системе – ΔQ_i , то критерий оценки качества всей системы:

$$\delta = \frac{Q_{вых}}{Q'} = 1 - \frac{\Delta Q}{Q'}$$

где $\Delta Q = \sum_{i=1}^m \Delta Q_i$ – результирующие потери информации в реальной системе.

Теоретическое значение δ находится в интервале $[0, 1]$. Если $\delta \rightarrow 1$, систему называют квазиидеальной системой отображения. Назначением СФИ является формирование входного информационного поля (изображения). В качестве показателя качества СФИ используется СКО между реальным $I_{i,j}^t$ и квазиидеальным $I_{i,j}^{zm}$ изображениями

$$F_{C\Phi\Phi}^t = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (I_{i,j}^t - I_{i,j}^{zm})^2}}{m \cdot n}$$

где m, n – размеры изображения в пикселях.

Для косвенной оценки качества СФИ используют также технические характеристики системы отображения изображений (угловые размеры изображения объекта, уровень яркости, контраст между изображением объекта и фона и др.).

Для оценки эффективности СФИ предлагается использовать статистический подход и информационную энтропию. Анализ существующих СОВИ позволяет выделить два подхода к оценке эффективности в зависимости от назначения СОВИ: при первом СОВИ используется для наблюдения за объектом управления, во втором – для автоматизированного обнаружения и/или опознавания объекта наблюдения. При первом подходе целью СФИ является формирование физиологически либо психологически точного изображения. Поскольку если целью СОВИ является наблюдение за объектом управления, то качество изображения определяется зрительным анализатором человека-оператора. В случае если искажения в системе настолько малы, что качество выходного образа соответствует зрительному восприятию при оптимальном значении каждого парциального коэффициента качества (максимальная четкость, минималь-

ные геометрические искажения и т.д.), то такую систему называют *физиологически точной*.

В случае, когда при помощи системы отображения получают всю интересующую человека-оператора информацию без искажений, но не интересующая информация потеряна, систему называют *психологически точной*. Ее качество оценивают соотношением:

$$\delta' = Q_{\text{ВЫХ}} / Q_{\text{ВЫХ МАХ}} ,$$

где $Q_{\text{ВЫХМАХ}}$ – максимальное количество информации на выходе квазиидеальной системы.

Коэффициенты δ и δ' позволяют сравнить качество разных систем формирования изображений. Понятие психологически точной системы представляет значительный интерес при разработке ИС, где СОВИ используются для наблюдения за объектом, позволяет упростить СФИ СОВИ, учитывая особенности решаемой прикладной задачи. При оценке таких систем широко используются модели зрительного анализатора человека-оператора [2]. Для оценки характеристик систем отображения может быть использован показатель качества [1, 2, 5], который численно выражается некоторым функционалом $Q \leq 1$, представляющим собой произведение N сенсорных характеристик зрительного анализатора $q_i \leq 1$:

$$Q = \prod_{i=1}^N q_i .$$

Каждая сенсорная характеристика изображения соответствует i -му показателю качества изображения (зашумленности, разрешающей способности, резкости, контрасту и др.) и представляет собой зависимость данного показателя, оцениваемого рядом наблюдателей по принятой в психофизике субъективной шкале отношений, от некоторой объективно измеряемой величины. Недостаток такого критерия – одинаковое весовое соотношение всех сенсорных характеристик, может быть исправлен учетом весовых соотношений между ними. Весовые соотношения (w_i) определяют значимость характеристик и связаны со спецификой решаемой задачи:

$$Q = \prod_{i=1}^N w_i q_i .$$

Для оценки эффективности предложено применять коэффициент изменения информационной энтропии: отношение энтропий в квазиидеальном (H_0) и психологически точном изображении ($H^P_{\text{СФИ}}$):

$$DH^P_{\text{СФИ}} = \frac{H_0}{H^P_{\text{СФИ}}} .$$

В случае, если целью СОВИ являются более высокие уровни обработки ВИ (второй подход), для оценки эффективности такой СФИ предложено применять отношение информационных энтропий в квазиидеальном (H_0) и семантически достаточном ($H^S_{\text{СФИ}}$) изображениях

$$DH^S_{\text{СФИ}} = \frac{H_0}{H^S_{\text{СФИ}}} .$$

Если при помощи системы формирования получено изображение, на основании которого СОВИ в целом обеспечивает требуемое значение семантической информации, но не интересующая информация потеряна, систему будем называть *семантически достаточной*.

С помощью показателя эффективности можно оценить степень информационного сжатия ВИ СФИ и производить их сравнительную оценку. Следует отметить, что даже СФИ с наилучшим показателем качества в общем случае не обеспечивают наивысшую эффективность, так как не учитывают целевое назначение СОВИ. В частности, если распознавание проводится по форме силуэта объекта, то наличие на изображении мелких деталей только снижает вероятность правильного опознавания и семантическую меру информации в СОВИ в целом. Выбор конкретной СФИ на этапе проектирования СОВИ должен осуществляться как с учетом показателя качества, так и с учетом показателя эффективности. Окончательное решение принимается в соответствии с семанто-статистическим подходом, с учетом влияния показателей качества СФИ на семантическую меру информации СОВИ в целом.

Блок *предварительной обработки* (ПрО). Целе-

вое назначение предварительной обработки – снижение уровня помех. Показателем качества выбран метрический показатель близости между тестовым (идеальным) изображением ($I_{i,j}^{эм}$) и полученным в результате обработки ($I_{i,j}^t$).

$$F_{ПрО}^t = \sqrt{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (I_{i,j}^t - I_{i,j}^{эм})^2} / \sqrt{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (I_{i,j}^0 - I_{i,j}^{эм})^2}.$$

Для нормирования используется метрический показатель близости между тестовым (идеальным) изображением ($I_{i,j}^{эм}$) и изображением на входе блока ПрО ($I_{i,j}^0$). ПрО с наилучшим показателем качества в общем случае не обеспечивают наивысшую эффективность, т.к. не учитывают целевое назначение СОВИ. В частности, если распознавание проводится по форме силуэта объекта, то наличие на изображении мелких деталей только снижает вероятность правильного опознавания и семантическую меру информации в СОВИ в целом.

Снижение уровня помех приводит к уменьшению энтропии изображений, полученных с помощью СФИ. Для оценки эффективности ПрО предложено использовать коэффициент уменьшения энтропии

$$DH_{ПрО}^t = H^S_{СФИ} / H_{ПрО}.$$

С помощью такого показателя эффективности оценивалась степень информационного сжатия ВИ после ПрО.

Блок сегментации. На этапе сегментации производится разделение изображения на однородные области по какому-либо признаку. На практике наиболее часто применяются два вида сегментации – выделение характерного фрагмента и/или разбиение объекта на подобъекты и контурная сегментация и/или бинаризация.

Назначение первого – выделение области, в которой находится объект и/или подобъект (ы) на изображении объекта. Целью является уменьшение объема обрабатываемой ВИ. Показателем качества, характеризующим точность определения границ

объекта (подобъекта), выбран метрический показатель близости между границами тестовым (идеально сегментированным изображением $I_{i,j}^{эм}$) и сегментированным t -м методом обработки

$$F_C^e = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (I_{i,j}^t - I_{i,j}^{эм})^2}}{P},$$

где P – длина границ выделенных сегментов в пикселях. Для определения показателя эффективности сегментации использован структурный подход с геометрической мерой информации: отношение площади изображения S к суммарной площади сегментов S_i^t (в пикселях)

$$DS^t = S / \sum_{i=1}^N S_i^t.$$

Поскольку обычно не имеется априорной информации о вероятности появления подобъектов и не всегда задана функция штрафов, эффективность разработанных методов сегментации оценивалась по вероятности правильного обнаружения сегмента и вероятности ложной тревоги (принятие локальной флуктуации шума за подобъект). Сегментация существенно снижает объем обрабатываемой ВИ и во многом определяет быстрдействие СОВИ в целом.

Назначением контурной сегментации является выделение областей изображений, в которых локализованы перепады интенсивности. Целью выделения контуров (бинаризации) является уменьшение объема обрабатываемой ВИ и обеспечение инвариантности к трансформациям интенсивности. Показателем качества процедуры выделения контуров является мера близости между идеально выделенным перепадом интенсивности тестового изображения и результатом контурной обработки. Как правило, показатель качества рассчитывается по критерию Прэтта [8]. В качестве показателя эффективности процедур бинаризации и выделения контуров предложено отношение количества информации в контурном препарате (бинаризованном изображении) объекта (подобъекта) к количеству информации в изображении сегмента. Для оценки количест-

ва информации использован структурный подход с аддитивной мерой информации (Хартли) с учетом уменьшения глубины

$$DE_k = \frac{n \cdot \log_2 q}{k},$$

где n – количество пикселей в обрабатываемом полутоновом изображении; q – количество градаций интенсивности; k – количество значащих пикселей в контурном препарате либо в бинаризованном изображении.

Блок *идентификации (вычисления признаков)*. Назначение процедуры вычисления признаков – получение геометрических и атрибутивных идентификационных данных об объекте распознавания. Целью является сокращение объема обрабатываемой ВИ, обеспечение инвариантности к преобразованиям подобия. Мерой качества процедуры идентификации выбрано нормированное внутримножественное расстояние вектора признаков, полученного в результате идентификации t -м из оцениваемых методов и «идеальным» методом (при $t = 0$):

$$F_t^D = \frac{\sum_{k=1}^K (\sigma_k^t)^2}{\sum_{k=1}^K (\sigma_k^0)^2},$$

где $(\sigma_k^t)^2 = \frac{1}{L-1} \sum_{j=1}^L (C_{kj}^t - \bar{C}_k^t)^2$ – несмещенная дисперсия (L – количество элементов класса).

При оценке эффективности идентификации использовалась геометрическая мера информации, определяемая отношением числа пикселей в прослеженном контуре m к размерности вектора признаков l .

$$DE_p = m/l.$$

Размерность вектора признаков выбирается исходя из требований семантической достаточности.

При идентификации используется процедура минимизации и ортогонализации признакового пространства. При ортогонализации достигается повышение условной энтропии путем обеспечения взаимной независимости признаков (условие максимума энтропии Шеннона). Показателем эффективности процедуры ортогонализации является коэффициент увеличения условной энтропии.

При минимизации признакового пространства

достигается уменьшение объема обрабатываемой информации путем отбора наиболее информативных признаков. Для оценки эффективности процедуры минимизации применяется структурный подход и геометрическая мера информации. Показателем эффективности процедуры является отношение размерности вторичного и первичного вектора признаков.

Учет процедуры вычисления признаков на эффективность СОВИ в целом оценивается также в соответствии с семанто-статистическим подходом, с учетом влияния показателей качества и эффективности идентификации на семантическую меру информации. Верный выбор вектора признаков существенно повышает семантическую меру информации, во многом определяет структуру классификатора, эффективность и качество его работы, является определяющим для эффективности СОВИ в целом.

Блок *классификации*. Назначение – формирование решающего правила в признаковом пространстве. Целью классификации является получение решения о принадлежности объекта (подобъекта) к определенному классу. В качестве показателя качества классификатора предлагается использовать меру близости (СКО) между реально полученными вероятностями решений \mathbf{P} и единичной матрицей $\mathbf{q} = \|\mathbf{P} - \mathbf{E}\|$. Элементами матрицы \mathbf{P} являются вероятности $p_{ij} = P(Y \in D_j / \Omega_i)$ того, что классификатор принимает решение об отнесении вектора признаков некоторого объекта к области D_j , в то время, когда сам объект принадлежит к классу Ω_i . При $i \neq j$ вероятности p_{ij} характеризуют ошибки распознавания и называются вероятностями неверной или ошибочной классификации, при $i = j$ вероятности p_{ij} задают вероятности правильной классификации представителей соответствующего класса. У идеального классификатора эта матрица является единичной \mathbf{E} ($p_{ij} = 1$ при $i = j$). Предложено показатель эффективности классификации оценивать на основе статистического подхода, как отношение

$$DI_k = \frac{I(\Omega, D)}{I_{\max}},$$

где $I(\Omega, \mathbf{D})$ – количество информации, полученное при классификации:

$$I(\Omega, \mathbf{D}) = -\sum_{i=1}^L P(D_i) \log_2(P(D_i)) + \sum_{j=1}^L P(\Omega_j) \sum_{i=1}^L P(D_i / \Omega_j) \log_2(P(D_i / \Omega_j)),$$

I_{\max} – максимально возможное количество информации $I_{\max} = \log_2(L)$.

Предлагаемый информационный семанто-статистический анализ эффективности и качества систем обработки визуальной информации заключается в следующем:

1. Производится изучение класса сигналов изображений. Определяются параметры сигнально-статистической модели предъявляемых изображений. В соответствии с целями СОВИ в АСУ определяется семантическая мера информации.

2. Определяется структура, необходимые уровни обработки ВИ, варианты базовых процедур СОВИ.

3. Вычисляются показатели эффективности и качества процедур обработки ВИ. Выбираются наиболее перспективные по этим показателям методы обработки изображений.

4. Исследуется влияние отдельных процедур на эффективность СОВИ в целом.

5. По результатам этапа 4 производится окончательный выбор СФИ и процедур обработки изображений.

6. Создается, исследуется и испытывается СОВИ, работающая в реальном времени.

Заключение

Представлена в виде семанто-статистической модели оценки система показателей качества и эффективности основных процедур представления и обработки изображений в системах обработки визуальной информации. Использование разработанной системы показателей и критериев позволяет численно определять эффективность и качество блоков (процедур) на этапах формирования, анализа и распознавания изображений, производить сравнительную оценку и обос-

нованный выбор методов и процедур обработки изображений, оценить влияние отдельных процедур обработки ВИ на эффективность СОВИ в целом. Разработанный метод информационного семанто-статистического анализа создает методологическую базу для проектирования СОВИ в составе информационных систем различного прикладного применения. Разработанная модель оценки рекомендуется для использования в широком круге задач, связанных с обработкой и распознаванием двумерных полей (изображений).

Литература

1. Абакумов В.Г., Антошук С.Г., Крылов В.Н. Распознавание визуальной информации в автоматизированных системах // *Электроника и связь*. – 2003. – № 19. – С. 46-48.
2. Абакумов В.Г., Рыбин А.Н., Сватош Й., Синек Ю.С. Системы отображения в медицине. – К.: Юніверс, 2001. – 320 с.
3. Ананьев С.Н., Вакареин А.Н., Куренков Н.И. О построении показателей эффективности функционирования алгоритмов автоматического распознавания // *Информационные технологии*. – 2001. – №1. – С. 35-38.
4. Арлазаров В.Л., Логинов А.С., Славин О.А. Характеристика программ оптического опознавания текста // *Программирование*. – 2002. – № 3 – С. 45-63.
5. Грязин Г.Н. Системы прикладного телевидения. – СПб.: Политехника, 2000. – 432 с.
6. Абакумов В.Г., Крылов В.Н., Антошук С.Г. Повышение эффективности обработки образной информации в автоматизированных системах // *Электроника и связь. Тематический выпуск «Проблемы электроники»*. – 2005. – Т. 1. – С. 100-105.
7. Шилейко, Кочетов В.Ф., Химушин Ф.Ф. Введение в информационную теорию систем / Под ред. А.В. Шилейко. – М. Радио и связь, 1985. – 456 с.
8. Прэтт У. Цифровая обработка изображений: В 2 т. – М.: Мир, 1982. – Т.2. – 380 с.

Поступила в редакцию 28.02.2007

Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.В. Дрозд, Одесский национальный политехнический университет, Одесса.