

М.А. Бабицкий, С.А. Короткина, К.Г.Коротков, Э.В. Крыжановский, Д.И. Муромцев

СПбГИТМО(ТУ)

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ АНАЛИЗА ДИНАМИЧЕСКИХ ПОЛУТОНОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ГАЗОРАЗРЯДНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ

В статье рассмотрены вопросы проектирования систем анализа изображений газового разряда, полученных с помощью прибора «ГРВ камера», разработанного в СПбИТМО. Авторами разработаны алгоритмы расчета характеристик изображений и анализа временных рядов этих характеристик. Предложена гибкая, открытая информационная модель на основе фреймового представления данных в системах анализа.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из областей применения систем анализа видеоизображений является метод газоразрядной визуализации (ГРВ). Газоразрядная визуализация является относительно новой, интенсивно развивающейся методикой, которая находит применение в различных предметных областях, таких как: медицина, физика, психофизиология, косметология и многих других. В основе метода лежит получение информации о внутренних свойствах различных объектов путем анализа видеоизображений индуцированного свечения газового разряда вблизи этих объектов в электромагнитных полях высокой напряженности, регистрируемых с помощью прибора «ГРВ камера».

Современный уровень развития компьютерной техники и аппаратных средств цифровой видеосъемки позволили разработать новую методику – динамическую ГРВ, которая в отличие от традиционной статической ГРВ-графии, основана на анализе ГРВ-**видео**, отснятой в течение фиксированного интервала времени. Этот метод позволяет расширить область применения ГРВ-графии за счет использования нового набора количественных характеристик свечения, учитывающих динамическое изменение свойств объекта в процессе воздействия на него переменным электромагнитным полем.

Анализ ГРВ-грамм включает следующую последовательность шагов:

1. Автоматизированную компьютерную регистрацию ГРВ-грамм;

2. Сохранение зарегистрированных видеоизображений и сопутствующей информации в специализированной базе данных (БД);
3. Автоматизированную обработку видеоизображений;
4. Автоматизированный анализ временных рядов параметров ГРВ-грамм;
5. Интерпретация ГРВ-параметров на основании диагностических правил.

В настоящей статье изложены результаты работы по созданию методического и программного обеспечения обработки динамических ГРВ-грамм и анализа временных рядов параметров ГРВ-грамм в задаче проектирования систем анализа ГРВ-грамм.

СТРУКТУРА СИСТЕМЫ АНАЛИЗА

Общая структура основных блоков системы приведена на рисунке 1. Каждый отдельный модуль реализован в виде библиотеки объектно-ориентированных компонентов. Блок информационной подсистемы обеспечивает ведение базы данных, просмотр и редактирование списков исследуемых объектов, объявление и назначение объектам различных свойств, определение плана исследования и вызов других компонент системы. Также информационная подсистема предоставляет программный интерфейс генерации новых и редактирования существующих структур данных для других блоков системы. Блок газоразрядного тестирования обеспечивает взаимодействие с прибором «ГРВ камера», регистрацию и обработку динамических ГРВ-грамм. Блоки расчета и анализа временных рядов параметров ГРВ-грамм реализуют набор программных компонент, позволяющих в автоматизированном режиме формировать числовые характеристики ГРВ-грамм для анализа свойств исследуемых объектов. Разработан модуль выявления и визуализации полезного сигнала в зашумленном изображении ГРВ-граммы. Результаты расчета являются базой для экспертно-аналитического блока. Экспертно-аналитический блок содержит модуль экспертной системы (ЭС), программный интерфейс для формирования правил ЭС и процедур расчета аналитических параметров, а также модуль визуализации аналитических параметров системы.

ПАРАМЕТРЫ

Алгоритм анализа **ГРВ-видеоизображения** включает следующие этапы:

1. Выделение полезного сигнала из зашумленного изображения ГРВ-граммы.
2. Расчет количественных параметров для каждого кадра ГРВ-граммы и формирование временных рядов параметров.
3. Анализ характеристик временных рядов параметров ГРВ-грамм.

На первом этапе выполняется анализ и подавление высокочастотной и низкочастотной составляющих шума, вычисляется центр свечения разряда. Появление высокочастотной составляющей шума связано с работой видеотракта прибора «ГРВ камера», и проявляется в виде случайно распределенных по всей площади изображения пикселей слабой интенсивности. Источником низкочастотной составляющей шума являются погрешности проведения эксперимента, такие как качество заземления, запыленность электрода и др.

Подавление высокочастотной составляющей шума. Алгоритм основан на анализе гистограммы яркостного спектра $S(i)$, где $i \in [0, 255]$ (распределение интенсивностей пикселей) изображения ГРВ-грамм. Изображения газового разряда имеют специфическую природу и характерное несимметричное распределение пикселей с различным уровнем интенсивности, что позволяет на основании статистических величин этого распределения вычислить порог шума для изображения. Таким образом, уровень шума $n = N(i)$, где $i = 0 \dots 255$, вычисляется как $F(S(i))$, где F определяет характеристику положения i (математическое ожидание, мода, медиана) или сумму этих характеристик.

Подавление низкочастотной составляющей шума. В данной работе предложен подход, в основе которого лежит эвристически определяемая мера зашумленности ГРВ-граммы q минимальной площади фрагментов выбирается. Все фрагменты, площадью меньше q удаляются из изображения.

На втором этапе анализа динамической ГРВ-граммы формируются временные ряды параметров ГРВ-граммы. Для динамических ГРВ-грамм разработан следующий набор числовых характеристик изображения:

1. *Площадь изображения A* – количество точек с ненулевой интенсивностью;
2. *Средняя интенсивность* изображения \bar{I} всех точек с ненулевой интенсивностью;
3. *Средний радиус* контура разряда \bar{R} ;
4. *Нормализованное среднеквадратическое отклонение радиуса* контура $\sigma_{\bar{R}}$;
5. *Коэффициент формы* изображения разряда K_f ;

Временные ряды ГРВ-параметров представляют собой динамические случайно-детерминированные нестационарные процессы. Исходя из этого, в системе используются следующие методы анализа:

1. Анализ, и вычитание трендов временного ряда;
2. Расчет количественных характеристик временного ряда, включая различные методы статистического анализа, фрактальный и энтропийный анализ;
3. Спектральный анализ;
4. Статистический анализ совокупности рядов.

Фрактальный анализ предназначен для оценки сложности процесса изменения ГРВ-параметра в течение времени регистрации ГРВ-граммы. Так как длина временного ряда параметра ГРВ-граммы относительно невелика (до нескольких сотен точек), для расчета фрактальной размерности был выбран алгоритм Хигучи, требующий небольшие временные промежутки (от 100 до 500 точек временного ряда). Алгоритм Хигучи основан на измерении длины кривой $L(k)$, использующий k шаблонов как единиц измерения. Значение фрактальной размерности D_F рассчитывается подгонкой методом наименьших квадратов линии регрессии углового коэффициента на логарифмическом графике уравнения $L(k)=ak^{-D_F}$. Отсюда получаем

$$D_F = \frac{n \sum x_k y_k - \sum x_k \sum y_k}{n \sum (x_k^2) - (\sum x_k)^2}, \quad \bar{b} = \frac{1}{n} (\sum y_k - D_F \sum x_k),$$

со стандартными отклонениями

$$S_{D_F} = \sqrt{\frac{n(\sum y_k^2 - D_F \sum x_k y_k - \bar{b} \sum y_k)}{(n-2)[n \sum x_k^2 - (\sum x_k)^2]}}, \quad S_{\bar{b}} = \sqrt{\frac{1}{n} S_{D_F} \sum x_k^2}.$$

где $y_k = \ln(L(k))$, $x_k = \ln(I/k)$, $\bar{b} = \ln a$, $k = [k_{min}, k_{max}]$, и n – общее число различных значений k в интервале $[k_{min}, k_{max}]$ для которых рассчитываются значения длины кривой $L(k)$.

Энтропийный анализ позволяет вычислить характеристику информативности временного ряда параметра ГРВ-граммы. Величина энтропии вычисляется на основании вероятностей p_j получения параметром ГРВ-граммы значения X_j . определяется как

$$H(X) = -\sum_{j=1}^M p_j(X_j) \ln(p_j(X_j)),$$

где $p_j(X_j) = X_j/N$, M – общее количество значений величины x_i , а N – длина временного ряда.

Дискретное преобразование Фурье вычисляет частотный спектр, соответствующий процессу колебания ГРВ-параметра. Если $x_p(t)$ – детрендрованный временной ряд динамической ГРВ граммы длительностью T , то ряд Фурье имеет следующий вид:

$$x_p(t) = a_0 + \sum_i [\alpha_i \cos(2\pi f_i t) + \beta_i \sin(2\pi f_i t)],$$

где a_i и b_i – коэффициенты ряда Фурье и f_i частоты соответствующих гармонических компонент.

МОДЕЛЬ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ДАННЫХ

Наиболее распространенный в современной практике подход к разработке информационных систем основывается на реляционной модели данных. Однако, реляционный подход не обеспечивает достаточной гибкости, необходимой для задач анализа объектов методами динамической и статической ГРВ-графии, в связи с рядом ограничений на представление данных. В частности, речь идет о фиксированном формате всех полей, используемых для кодирования значений признаков, постоянстве признакового состава записей и фиксированном порядке следования признаков в записи. Преодоление этих ограничений возможно путем реорганизации хранимой базы данных. Указанные ограничения затрудняют, также, представление

специфического вида данных экспертно-аналитической подсистемы – производимых знаний о предметной области.

Объектно-ориентированная модель данных позволяет создавать и сохранять любые типы данных, но в ней отсутствуют ряд фундаментальных возможностей баз данных, а именно: физическая независимость данных, поддержка представлений и логическая независимость данных, ориентированность на конкретное приложение системы. Основным аргументом против применения этой модели служит типовая зависимость различных модулей системы – независимая разработка компонент системы становится практически невозможной, так как передача данных от одного модуля к другому подразумевает его «осведомленность» о структуре передаваемого объекта.

Исходя из анализа реляционной и объектной моделей данных, предложена концепция информационной объектно-реляционной модели на основе теории фреймов. В основе модели лежит двухуровневое представление данных. На каждом уровне определяется простейшая грамматика описания данных и язык трансляции формата представления данных с одного уровня на другой.

Информационная модель низкого уровня M_p , ориентирована на реализацию в виде реляционных таблиц данных и предназначена для создания типизированного хранилища признаков объектов системы.

Информационная модель высокого уровня M_f обеспечивает представление данных в виде набора фреймов, представляющих иерархию признаков объектов исследования. Каждый функциональный модуль системы может иметь свою ветвь в этой иерархии или обращаться к произвольному признаку, исходя из правил и методов интерпретации данных, входящих в подсистему.

Модель вида M_f должна обеспечивать возможность использования данных при решении задач описания признаков исследуемого объекта в структурах знаний (нижний уровень иерархии знаний включает наборы числовых характеристик ГРВ-грамм, а верхний – количественную оценку какого-либо аналитического параметра),

экспертного анализа свойств объекта исследования или состояния испытуемого, принятия решения о достаточности и достоверности проведения тестирования.

Введенный уровень абстракции информационной модели позволяет представлять произвольные структуры данных и знаний. Подсистемы не обращаются к базе данных напрямую, а оперируют с сетью фреймов – объектов предметной области, при этом семантическая нагрузка каждого объекта осуществляется модулями системы самостоятельно. На уровне информационной подсистемы все фреймы трактуются единообразно, в соответствии с определяющей грамматикой.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, авторами разработана технология проектирования систем анализа ГРВ-видеоизображений, основанная на адаптации предложенной обобщенной архитектуры системы под конкретную задачу, за счет:

1. Разработки математических методик и алгоритмов для автоматизированной системы регистрации и анализа динамики газового разряда;
2. Изменения набора и структуры фреймов данных;
3. Определения набора предметно-ориентированных диагностических правил.

С использованием данной технологии разработано два программных комплекса: система анализа психофизического потенциала спортсменов (используемая в училищах олимпийского резерва №1 и №2 г. Санкт-Петербурга) и система анализа свойств ароматических масел (используемая в лабораториях фирм «Aveda» и «Estee Lauder», США).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Коротков К.Г.* Основы ГРВ биоэлектрографии. СПб: Из-во СПбГИТМО, 2001.