

Технология решения задачи проектирования информационных систем восстановления динамических изображений

А. И. Алатар, А. А. Михайлов

*Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск*

Аннотация: В статье рассматриваются этапы технологии проектирования информационных систем пространственно-временного восстановления (реконструкции) динамических изображений в роботизированных системах обработки и анализа изображений. Проведен анализ нотации задачи восстановления динамических изображений, которые включает глобальные и локальные характеристики двумерных сигналов.

Ключевые слова: Технологическая операция, нотация, локальные особенности, текстура, глобальные и локальные дескрипторы изображения, текстурногеометрическая модель изображения.

Актуальность и постановка проблемы исследования

Широкое внедрение цифровых телевизионных систем, глобальных систем позиционирования и наблюдения [1, 2] приводит к увеличению актуальности решения задачи автоматического восстановления (реконструкции) искаженных изображений, путем уменьшения шумов и восстановления изображений для визуального и автоматического анализа, и ставит принципиально новые задачи разработки, исследования и реализации методов решения анализа, распознавания и оценивания изображений, которые являются одним из ведущих направлений информатики. В связи с этим формирование технологии проектирования информационных систем восстановления динамических изображений носит системный и фундаментальный характер в сфере разработки критических технологий проектирования программных комплексов сложных информационных, управляющих и навигационных систем (Указ Президента РФ от 07.07.2011 «Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечня критических технологий Российской Федерации»).

Результаты соответствующих фундаментальных и прикладных исследований непосредственно используются в технической диагностике, нераз-

рушающем контроле, дистанционном зондировании, экологическом мониторинге, прогнозировании и диагностике в медицине, планировании, поиске в геологии, прогнозировании в химии, автоматизации научных исследований. Так для повышения эффективности управленческих решений и мероприятий по предупреждению и ликвидации ЧС в системах МЧС, ГИБДД и в других приложениях на федеральном, региональном и местном уровнях интенсивно развивается мониторинг окружающей среды с применением беспилотных летательных аппаратов. При создании системы мониторинга предполагается непрерывность наблюдений, обеспечивающую необходимый темп обновления данных, соответствующий динамике развития чрезвычайной ситуации.

Целью статьи является разработка технологии проектирования информационных систем пространственно-временного восстановления (реконструкции) динамических изображений в роботизированных системах обработки и анализа изображений.

Общий анализ задачи проектирования информационных систем восстановления изображений

Проектирование ИС начинается с определения цели способа, который удовлетворяет требованиям функциональности системы средствами имеющихся технологий с учетом заданных ограничений и производительности системы, определяющим эффективность высокопроизводительной информационной системы автоматического восстановления (реконструкции) искаженных изображений (ИС АВИИ). Поэтому целью проектирования является в первую очередь подбор технического и формирование информационного, математического и программного обеспечения. Подбор технического обеспечения должен обеспечить своевременный сбор, регистрацию, передачу, хранение и обработку информации. Информационное обеспечение предусматривает создание и функционирование единого информационного фонда системы, представленного множеством информационных массивов, набором данных или базой данных.

Формирование математического обеспечения ИС включает комплектацию методов и алгоритмов решения функциональных задач. При формировании программного обеспечения систем создаются эффективные комплексы программ и инструкций пользователя.

При решении задачи восстановления динамических изображений, требуется оценить искажения пикселей изображений, а так же выбрать из большого числа уже имеющихся участков наиболее «похожий». Решение данной задачи предполагает ретушь и восстановление фрагментов изображений и т.д. При получении цифровых изображений источником шума могут быть CCD-детектор (спектрометр), а так же флуктуационные процессы в фотосенсорах. Поэтому под проектированием ИС АВИИ понимается процесс преобразования входной информации об объекте, методах и опыте проектирования объектов в соответствии с ГОСТом. Поэтому проектирование ИС АВИИ сводится к последовательной формализации проектных решений ИС АВИИ: планирования и анализа требований, технического и рабочего проектирования, внедрения и эксплуатации ИС АВИИ.

Методологии, технологии и инструментальные средства проектирования (*CASE*-средства) составляют основу проекта ИС АВИИ. Методология проектирования предполагает наличие некоторой концепции, принципов проектирования, реализуемых набором методов, которые, в свою очередь, должны поддерживаться некоторыми средствами. Методология реализуется через конкретные технологии и поддерживающие их стандарты, методики и инструментальные средства, которые обеспечивают выполнение ТО. Технология проектирования ИС АВИИ – это совокупность методологии, которая определяет сущность, основные отличительные технологические особенности, и средств проектирования ИС АВИИ, а также методов и средств создания и модернизации проекта ИС АВИИ.

Технология проектирования определяется совокупностью трех составляющих:

- последовательно-параллельных, связанных и соподчиненных цепочек пошаговых процедур, определяющих последовательность технологических операций проектирования, т.е. алгоритма решения задачи проектирования, шагами которого являются технологические операции технологии проектирования. Технологической операцией проектирования информационных систем называется совокупность проектных действий выполняемых на одном рабочем месте с использованием одного вида средств проектирования, и описывается векторным кортежем:

$$TO = (V, \Pi, W, R, S),$$

где: V – вектор входа по отношению к данной ТО, состоящей из множества компонентов входа (V_i) , $i = 1, n$; Π – преобразователь ТО, функция проектирования формирующая проектное решение; W – вектор выхода по отношению к ТО (W_j) $j = 1, m$; состоящий из проектных решений; R – ресурсы (материальные, трудовые, финансовые), необходимые для выполнения ТО; S – средства проектирования, используемые при выполнении ТО;

- правил (технологические инструкции), используемых для синтеза технологических операций, и критериев оценки результатов их исполнения. Технологические инструкции, составляющие основное содержание технологии, должны состоять из описания последовательности технологических операций, условий, в зависимости от которых выполняется та или иная операция, и описаний самих операций;

- нотаций (графических и текстовых средств), используемых для описания проектируемой системы. Нотация (лат. *Notatio* – записывание, обозначение)-система условных обозначений, принятая в какой-либо области знаний или деятельности. Нотация включает множество символов, используемых

для представления понятий и их взаимоотношений, составляющее алфавит нотации, а также правила их применения.

На начальном этапе постановки задачи проектирования ИС АВИИ должно быть также определены

1. Организационно-техническая сущность решаемой задачи.
2. Нотация данных проектируемой ИС АВИИ, которая определяет:

- описание исходной (входной) информации:

- сбор информации о системе;
- поиск аналогов и анализ, имеющихся технических и программных средств;
- формулировка условия задачи;
- определение конечных целей решения задачи;

- описание выходной информации, т.е. определение формы выдачи результатов.

Нотация задачи восстановления динамических изображений

Нотация задачи восстановления динамических изображений включает глобальные и локальные характеристики двумерных сигналов. Изображение в большинстве случаев рассматривается как составная часть низкоуровневых особенностей. В роли таких особенностей могут выступать значения яркости, контурные точки или параметры текстуры, что позволяет сформировать текстурно-геометрическую модель изображения. Изображение в целом описывают глобальные дескрипторы и представляют его в виде векторов признаков.

Цвет является одной из наиболее важных характеристик для человека. При этом он обладает свойством инвариантности относительно размера и расположения объектов на изображении. Цветовая гистограмма является одним из вариантов представления цвета [3, 4], при этом необходимо учиты-

вать, что решаемая двумерная задача восстановления динамических изображений относится к классу некорректных задач [5].

Другая модель, предложенная Стрикером М., Орэнго М., описания цвета связана с вычислением цветовых моментов, в которой распределение цветовых каналов рассматриваются в виде совместного трехмерного распределения [6, 7].

Точка с характерной окрестностью, существенно отличающаяся от других точек по каким-то свойствам называется локальной особой точкой изображения.

Типы локальных особенностей [3]:

- 1) Угол – пересечение двух рёбер.
- 2) Пятно – яркие или тёмные области, которые отличаются от окружающих.
- 3) Край – это набор точек на границе между областями с различными яркостными характеристиками, то есть с большой величиной градиента.
- 4) Контур – представляет собой связанную границу между двумя или более областями изображения и может быть произвольной формы [3].
- 5) Текстура – важный пространственный признак, описывающий распределение цветов или интенсивности яркости.

Под текстурой понимают специфические повторяющиеся изменения тона (цвета) в изображении объекта или его некоторой части [8]. Текстура представляется упорядоченным изменением тона, геометрическими или стохастическими рисунками. Последним типом текстуры, как правило, описываются естественные объекты природы. При построении модели изображений используются как глобальные, так и локальные свойства изображений [3]. Применение глобальных дескрипторов в большинстве случаев ограничено решением задачи поиска по содержанию изображений, то есть используется информация обо все изображении, а не об его отдельных частях. При

решении задачи распознавания точечных особенностей изображений более предпочтительными являются локальные дескрипторы, содержащие информацию в виде текстур, точек и особых областей.

Дескрипторы могут быть представлены в виде двух типов – граница области с ее внешними или внутренними характеристиками [4]. В качестве дескрипторов границ стоит отметить следующие подходы [3, 4]: цепные коды, сигнатура, аппроксимация многоугольниками; описание области в виде графа.

В качестве дескрипторов областей используются [3, 4, 6]:

- площадь области;
- ориентация объекта;
- периметр области;
- дескриптор текстуры.

По типу локальных особенностей методы их обнаружения можно классифицировать на следующие классы [8]:

- методы обнаружения углов;
- методы обнаружения точек;
- методы обнаружения пятен;
- методы обнаружения краёв.

Средства оценки нотационных параметров задачи восстановления динамических изображений

Для полной характеристики нотации задачи восстановления динамических изображений рассмотрим примеры инструментальных средств, которые могут быть использованы при оценке нотационных параметров.

Так метод Моравека (*Moravec*) является одним из алгоритмов обнаружения углов и позволяет анализировать области пикселей на проверку каждого элемента в изображении на принадлежность к углам [9, 10], однако данный метод не является изотропным.

В работах [11, 12] предлагается детектор Харриса, который оценивает дифференциальную оценку угла по отношению к направлению, вместо использования сдвинутых областей [12]. К достоинствам данного подхода относится инвариантность к повороту, к смещению и частичная инвариантность к изменению яркости, однако он не инвариантен к изменению масштаба изображения.

В работе [13, 14] предложен метод *SURF*, который позволяет детектировать особые точки на изображении. Особые точки *SURF* достигают экстремума при максимальном изменении градиента яркости и вычисляются с помощью детерминанта матрицы Гессе [14]. Данный подход позволяет получить дескрипторы устойчивые к вращению с ограничением при обработке изображений без выраженной текстуры.

В работе [15] представлен детектор *Blob*, который основан на вычислении лапласиан-гауссиана и приводит к уменьшению соотношения сигнал/шум из-за чувствительности к изменению яркости в параллельном направлении.

Нелинейный оператор Кирша, предложенный в работе [6] позволяет определять толщину края в нескольких направлениях. К недостатку детектора стоит отнести значительные вычислительные затраты.

В работе [16] рассмотрен алгоритм поиска углов Ши-Томаси (Канаде-Томаси), в котором для обнаружения углов используется оценка кривизны линий и значение градиента, причем данный детектор чувствителен к присутствию шума на изображении.

Анизотропный детектор углов Тайковича и Хедли описан в работе [17]. Блочность цифровых изображений, что особо проявляется при сжатии, приводит к погрешности в детектировании диагональных линий. В работе [18] представлен *FAST* детектор особенностей, к главному достоинству которого стоит отнести скорость обработки. Метод *SIFT* (*Scale Invariant Feature Trans-*

form), предложенный в работах [19] позволяет обнаруживать и описывать локальные особенности на основе построения пирамиды и разностей гауссианов. Метод инвариантен относительно параметров аффинных преобразований, таких как перемещение, вращение и масштаб. Для оценивания текстурных характеристик широко используется матрица смежности (*Grey Level Co-occurrence Matrices, GLCM*) [9]. Признаки Тамуры так же позволяют получить текстурные признаки с учетом особенности зрительного восприятия человека [9] и включают в себя свойства зернистости, контрастности, направленности, линейности, регулярности и грубости.

При анализе текстуры изображения в различных масштабах используется вейвлет-анализ, примерами эффективных фильтров данного класса являются фильтры Габора и *ICA*-фильтры (*Independent Component Analysis*) [5, 19].

В заключение следует отметить, что анализ различных локальных особенностей позволяет сделать вывод, что в настоящее время отсутствует универсальный способ вычисления различных локальных особенностей. Каждый из рассмотренных в литературе методов эффективен для определенного класса таких особенностей, в роли которых могут выступать значения яркости, контурные точки или параметры текстуры. Соответственно для построения математической модели изображения необходимо использовать составное описание сигналов, в котором используются понятия текстуры и краев (контуров), что позволит сформировать текстурногеометрическую модель изображения.

Выводы

Системное исследование этапов формирования технологии проектирования информационных систем пространственно-временного восстановления (реконструкции) динамических изображений в роботизированных системах обработки и анализа изображений показал, что:

1. Общий анализ задачи проектирования информационной системы автоматического восстановления (реконструкции) искаженных изображений (ИС АВИИ) определяет цель проектирования как формирование обеспечения: технического, включающего своевременный сбор, регистрацию, передачу, хранение и обработку информации, а также информационного, в виде единого информационного фонда системы, представленного множеством информационных массивов, набором данных или базой данных, математического, состоящего из комплекта методов и алгоритмов решения функциональных задач, и программного, включающие эффективные комплексы программ и инструкций пользователя.

2. Анализ современных методов восстановления динамических двумерных сигналов позволяет сделать вывод, что в настоящее время при восстановлении изображения конструируется обратный оператор, то есть решается некорректно поставленная обратная задача. Схему восстановлений динамических двумерных сигналов можно представить как поэтапную работу, при этом фильтрация предшествует экстраполяции утраченных значений двумерного сигнала.

3. Под реконструкцией понимается восстановление элементов изображения с целью коррекции искажений, интерполяции или экстраполяции. В большинстве случаев, при решении задачи реконструкции требуется оценить отсутствующие значения пикселей изображений и видеопоследовательностей, а так же выбрать из большого числа уже имеющихся участков наиболее «похожий».

4. При обосновании методики обработки динамических двумерных изображений необходимо учитывать, что каждый из известных методов восстановления динамических двумерных сигналов имеет специфические применения, связанные с ограничениями на класс модели изображений. Анализ современных методов восстановления динамических двумерных сигналов позволяет

сделать вывод, что в настоящее время перспективными являются методы, которые позволяют одновременно эффективно восстанавливать структурные и текстурные характеристики двумерных сигналов.

5. При формировании текстурно-геометрической модели изображения используется нотация задачи восстановления динамических изображений, которая включает глобальные и локальные характеристики двумерных сигналов. Изображение в большинстве случаев рассматривается как составная часть низкоуровневых особенностей. В роли таких особенностей могут выступать значения яркости, контурные точки или параметры текстуры. Изображение в целом описывают глобальные дескрипторы и представляют его в виде векторов признаков.

Литература

1. Франц В.А., Воронин В.В., Марчук В.И., Фисунов А.В., Письменскова М.М. Алгоритм построения траектории движения объектов в видеопотоке на основе оптического потока // Инженерный вестник Дона, 2013, №3. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n3y2013/1856.
2. Воронин В.В., Сизякин Р.А., Гапон Н.В., Франц В.А., Колосов А.Ю. Алгоритм реконструкции изображений на основе анализа локальных бинарных окрестностей // Инженерный вестник Дона, 2013, №3. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n3y2013/1857.
3. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений // М.: Техносфера, 2005. – С. 1072
4. Грузман И.С., Киричук В.С., Косых В.П., Перетягин Г.И. Цифровая обработка изображений в информационных системах // Новосибирск: изд-во НГТУ, 2000. – С. 168
5. Тихонов А. Н., Арсенин В. Я. Методы решения некорректных задач. – М.: Наука, 1979. – 285 С.



6. Шапиро Л., Стокман Дж. Компьютерное зрение. Издательство: Бинном. Лаборатория знаний, 2006. –752 С.
 7. Astola J., Kuosmanen P. Fundamentals of nonlinear digital filtering // Boca Raton (USA): CRC Press LLC, 1997. – p. 276.
 8. Petrou M., Garcia P. Image Processing: Dealing With Texture. John Wiley, 2006. – 631 p.
 9. Борисенко Д.И. Методы поиска угловых особенностей на изображениях / Д.И.Борисенко // Молодой учёный. – 2011. - №5. Т.1. – С. 120–123
 10. Moravec H. Obstacle Avoidance and Navigation in the Real World by a Seeing Robot Rover//Computer Science Department Stanford University. 1980. – 170 p.
 11. Harric C. and Stephens M. A combined corner and edge detector// Proceedings of the 4th Alvey Visions Conference. – 1988. – pp. 147–157
 12. Кухаренко Б.Г. Алгоритмы анализа изображений для определения локальных особенностей и распознавания объектов и панорам. Приложение к журналу “Информационные технологии” №7, 2011. – С. 1–32
 13. Bay H., Tuytelaars T. (2006) Ess A. Speeded-Up Robust Reatures (SURF) in LNCS 3951 (ECCV’06), vol. 1, 2006. – pp. 404–417
 14. Lowe D. Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints. In International Journal of Computer Vision, v. 60, 2004.– pp. 91–110
 15. Lindeberg T. Feature detection with automatic scale selection. International Journal of Computer Vision 30 (2): 1998. –pp. 77–116.
 16. Shi J. and Tomasi C. Good Reatures to Track, 9th IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Springer. June 1994. –pp. 593–600.
 17. Trajkovic M. and Hedley M. Fast corner detection. Image and Vision Computing 16 (2): 1998. –pp. 75–87.
 18. Методы компьютерной обработки изображений / Под ред. В.А. Сойфера, М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001. 784 С. 7
-

19. David G. Lowe. Distinctive image features from scale-invariant keypoints, *International Journal of Computer Vision*, 60, 2(2004). – pp. 91–110.

References

1. Franc V.A., Voronin V.V., Marchuk V.I., Fisunov A.V., Pis'menskova M.M. *Inženernyj vestnik Dona (Rus)*, 2013, №3. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n3y2013/1856.
2. Voronin V.V., Sizjakin R.A., Gapon N.V., Franc V.A., Kolosov A. Ju. *Inženernyj vestnik Dona (Rus)*, 2013, №3. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n3y2013/1857.
3. Gonsales R., Vuds R. *Cifrovaja obrabotka izobrazhenij*. [Digital image processing]. M.: Tehnosfera, 2005. 1072 p.
4. Gruzman I.S., Kirichuk V.S., Kosyh V.P., Peretjagin G.I. *Cifrovaja obrabotka izobrazhenij v informacionnyh sistemah*. [Digital image processing in information systems]. Novosibirsk: izd-vo NGTU, 2000. 168 p.
5. Tihonov A. N., Arsenin V. Ja. *Metody reshenija nekorrektnyh zadach*. [Methods of solving ill-posed problems]. M.: Nauka, 1974. 285 p.
6. Shapiro L., Stokman Dzh. *Komp'juternoe zrenie*. [Computer vision]. Izdatel'stvo: Binom. Laboratorija znanij, 2006. 752 p.
7. Astola J., Kuosmanen P. Boca Raton (USA): CRC Press LLC, 1997. 276 p.
8. Petrou M., Garcia P. John Wiley, 2006. 631 p.
9. Borisenko D.I. *Molodoj uchjonyj*. 2011. №5. V.1. pp. 120–123
10. Moravec H. Computer Science Department Stanford University. 1980. 170 p.
11. Harric C. and Stephens M. *Proceedings of the 4th Alvey Visions Conference*. 1988. pp. 147–157
12. Kuharenko B.G. *Prilozhenie k zhurnalu "Informacionnye tehnologii"* №7, 2011. pp. 1–32



13. Bay H., Tuytelaars T. (2006) Ess A. Speeded-Up Robust Features (SURF) in LNCS 3951 (ECCV'06), vol. 1, 2006. pp. 404–417
14. Lowe D. In International Journal of Computer Vision, volume 60, 2004. pp. 91–110
15. Lindeberg T. International Journal of Computer Vision 30 (2): 1998. pp. 77–116.
16. Shi J. and Tomasi C. 9th IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Springer. June 1994. pp. 593–600
17. Trajkovic M. and Hedley M. Image and Vision Computing 16 (2): 1998. pp. 75–87.
18. Metody komp'yuternoj obrabotki izobrazhenij. [Methods of computer image processing]. Pod red. V.A. Sojfera, M.: FIZMATLIT, 2001. 784 p. 7
19. David G. Lowe. International Journal of Computer Vision, 60, 2(2004). pp. 91–110.