

РАЗДЕЛ 1. МОДЕЛИРОВАНИЕ, РАСЧЕТ И ОБРАБОТКА ДАННЫХ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ

насколько отличаются друг от друга соседние значения, то есть проверить, является ли график прямой линией на интервале 0-2000 отсчетов, отсутствуют ли на нем точки экстремумов?

Надо отметить, что даже после низкочастотной фильтрации значения напряжения не будут одинаковыми, поэтому для проверки сравниваются не два соседних значения на интервале от 0 до 2000, а определенные суммы соседних значений. Суммируют по 50 значений (число было найдено экспериментально). Если полученные суммы отличаются незначительно (в тысячных и далее разрядах), то это прямой участок.

Для того, чтобы определить, было ли зерно проколото насквозь, необходимо проверить, сколько точек минимума или максимума имеются на интервале от 0 до 2000. Если фиксируется более двух точек минимума и одной точки максимума, то этот биоэлектрический сигнал не участвует в дальнейшем анализе.

Необходимо, чтобы после определения «бракованных» графиков биоэлектрических сигналов осталось не менее 75% графиков,

пригодных для дальнейшего анализа, то есть минимум 120 графиков из выборки в 160 графиков. В противном случае необходимо провести весь эксперимент повторно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лукоянычева О.В. Анализ измерений биоэлектрических потенциалов [Текст] / О.В. Лукоянычева // Ползуновский альманах. – Барнаул, 2012. - №2. – С. 167-170.
2. Лукоянычева О.В., Программно-аппаратный комплекс для исследований всхожести семян пшеницы [Текст] / О.В. Лукоянычева, С. П. Пронин. // Наука в центральной России. - Тамбов, 2013.-№ 2. – С. 30-35.
3. Лукоянычева О.В., Исследование электрических сигналов в зёрнах пшеницы с различной всхожестью и разработка рекомендаций по построению экспертной системы [Текст] / О.В. Лукоянычева, С.П.Пронин. // Вестник Алтайского Государственного Аграрного Университета. – Барнаул, 2014. - №1(111) - С. 109-114.

Зав. каф. ИТ д.т.н., проф., [@sppromim@mail.ru](mailto:Prinin.S.P.) – (3852)29-07-96; аспирант [Лукоянычева О.В.](mailto:ghisashir@mail.ru) - ghisashir@mail.ru, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова

УДК 519.24

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ И ОРИЕНТАЦИИ 3D-ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ГРАДИЕНТНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ИЗОБРАЖЕНИЯ

А.Е. Баринов, А.А. Захаров

Описан алгоритм определения положения и ориентации трехмерных объектов, основанный на построении графов по градиентным характеристикам изображений.

Ключевые слова: положение, ориентация, граф, градиент, HOG

Введение

Одной из задач систем технического зрения (СТЗ) является определение положения и ориентации трехмерных объектов. Положение и ориентацию объекта можно определить с помощью лазера, установки гироскопов, анализов прохождения звуковой волны или по электромагнитному полю. Но данная группа методов обладает серьезным недостатком – объект необходимо оснащать специальными датчиками. Поэтому в последнее время все большее развиваются методы бесконтактного анализа изображения сцены – области пространства, обозреваемого видеокамерой [1, 2].

На сегодняшний день проблема распознавания положения и ориентации не рас-

крыта полностью и постоянно идут разработки новых подходов к решению данной задачи. Наиболее популярными являются: анализ совпадений с шаблонами [3], методы, использующие геометрические особенности [4], методы нелинейной регрессии [5] и т.д. В целом они справляются с поставленной перед ними задачей, но часто оказываются неприменимыми при работе в реальном времени, так как используют характеристики изображения низкого уровня, предполагающие попиксельную обработку. Это в свою очередь ведет к высоким затратам ресурсов и времени, что не позволяет использовать их на реальных объектах. Напротив, алгоритмы, использующие графы, основаны на извлечении особенностей более высокого уровня, что

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 2, 2014

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ И ОРИЕНТАЦИИ 3D-ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ГРАДИЕНТНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ИЗОБРАЖЕНИЯ

положительно сказывается на производительности, точности и надежности распознавания [6].

Предлагаемое решение

Поэтому в данной работе для анализа положения трехмерного объекта предлагается использовать графы. Данный подход широко применяется в задачах анализа лиц человека, распознавания конкретного положения головы и идентификации личности [7]. Графы, как описательная модель, позволяют обрабатывать целые классы объектов. Также с их помощью можно выполнить оценку конкретного положения и ориентации трехмерного объекта. Основная особенность в такой модели – гарантированная инвариантность к изменениям положения и ориентации, что дает высокую вероятность успешного распознавания. Еще одной особенностью использования графов является возможность хранения структуры, характеризующей класс объекта.

Рассматривая алгоритм, в общем случае, необходимо ввести некоторые ограничения:

- форма объекта не может меняться во времени;
- движение объекта на сцене осуществляется либо поступательно, либо вращательно;
- информация получается с одной камеры, закрепленной в конкретной точке;
- условия освещения позволяют получить требуемое изображение сцены.

Перед тем, как алгоритм сможет начать свою работу, необходимо провести обучение, в результате которого будет сформирована база данных эталонов.

При обучении используется ограничение, что объект лежит на поверхности и может менять положение путем вращения вокруг вертикальной оси. На рисунке 1 видно, как предполагаемая сфера обзора сцены делится на равные части по n° , которые в сумме образуют 360° , то есть полный оборот объекта вокруг вертикальной оси. Таким образом, для обучения 12 положений каждого объекта, необходимо 12 различных изображений

Предполагается, что для построения графа необходимо получить составные части объекта. Например, если рассматриваемый объект представляет собой параллелепипед, его составными частями являются плоскости или грани. Таким же образом можно провести декомпозицию реального объекта. Для этой задачи хорошо подходят градиентные осо-

бенности. На их основе реализованы глобальные дескрипторы изображения – гистограммы ориентированных градиентов (HOG).



Рисунок 1 – Получение изображений всех положений объекта путем обхода всей области видимости

Они строятся следующим образом. Всё входное изображение разбивается на маленькие регионы – «ячейки», каждой из которых соответствует одномерная гистограмма направлений градиентов. Эта гистограмма содержит определенные диапазоны направлений и суммарную магнитуду градиентов соответствующего направления. Для инвариантности к перепадам освещения производится нормировка значений в полученных гистограммах относительно области, содержащей рассматриваемую ячейку. Соседние ячейки объединяются в группы, значения в гистограммах всех ячеек внутри этих групп нормируются на суммарное значение магнитуды. Такие группы или блоки являются HOG дескрипторами. Множество таких блоков, локализованных в одном регионе, позволяет судить о конкретной составной части объекта.

Получив эти особенности и проведя группировку, можно представить объект как набор плоскостей [6]. Затем необходимо найти центр каждой такой плоскости – это будут узлы графа. От каждого узла к ближайшему соседнему узлу проводится дуга, являющаяся расстоянием от центра к центру. В результате образуется граф. Такой граф рассчитывается для каждого положения каждого объекта и записывается в базу данных эталонов.

Графы представляются последовательностями дуг. Значение дуги – расстояние между узлами, которые эта дуга связывает. У каждого графа есть корневой узел, находящийся в вершине графа и представленный самой верхней обнаруженной плоскостью.

РАЗДЕЛ 1. МОДЕЛИРОВАНИЕ, РАСЧЕТ И ОБРАБОТКА ДАННЫХ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ

Граф обозначается следующим образом:

$$\Gamma = \{B_0, B_1, \dots, B_n\},$$

где B_i – значение дуги, n – количество дуг.

База эталонов состоит из графов, полученных в процессе обучения, и записывается как:

$$E = \{\Gamma_0, \Gamma_1, \dots, \Gamma_n\},$$

где Γ_i – граф, описывающий конкретное положение какого-либо объекта, n – количество графов в базе эталонов.

Обученная система может быть запущена для обработки на реальных объектах. На рисунке 2 показаны этапы создания графа по изображению объекта, находящегося в определенном положении.

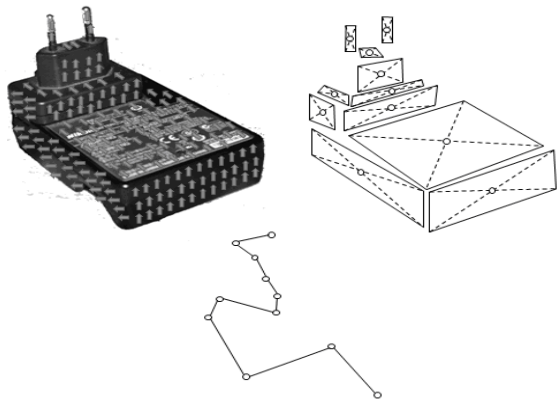


Рисунок 2 – Этапы построения графа объекта

После обнаружения объекта необходимо по вышеописанному методу построить его граф. Процесс определения положения и ориентации состоит в сравнении полученного графа с графами, хранящимися в базе эталонов.

Рассчитанный граф, аналогично графам из базы данных эталонов, описывается значениями дуг, но может иметь другое их количество – N .

Так как количество дуг у полученного графа и графов, хранящихся в базе эталонов, могут быть различными, производится фильтрация по условию:

$$N = n$$

Далее, для осуществления сравнения графов необходимо рассчитать коэффициент масштабирования. Для этого понадобится значение B_0 – дуги от корневого узла графа.

$$K_m = \frac{B_0}{B_{o\bar{o}_0}}$$

Нет необходимости рассчитывать коэффициент масштабирования для каждой дуги графа, так как все они одинаково пропорционально изменяются в процессе увеличения или уменьшения размера.

Так как известно, что части объекта связаны между собой, в процессе сравнения графов не нужно проводить проверку на изоморфизм, это позволяет сократить расходы на процессорное время.

Для нахождения степени различия необходимо пройти по всем графам, которые удовлетворили фильтру:

$$P_0 = \sum_{i=0}^N (B_i - K_m B_{o\bar{o}_i}),$$

где P_0 – степень различия с первым графом отфильтрованной последовательности, N – количество дуг графа.

Этот процесс проводится для всех отобранных графов из базы эталонов. После получения степени различия, можно сделать вывод о наиболее удовлетворяющем графе путем нахождения минимума:

$$\arg \min (P_0, P_1, \dots, P_n)$$

Разработанный алгоритм проверялся на работоспособность с помощью среды Matlab. Для теста были получены изображения реальных объектов при помощи зеркальной фотокамеры. Специально были выбраны объекты разнообразной формы, а условия освещения приемлемыми для получения четкого изображения (использовался источник равномерного освещения). На рисунке 3 показан пример извлечения HOG-особенностей из изображений реального объекта. В ходе тестирования было выявлено, что алгоритм ведет себя адекватно, если на объекте нет областей с повышенной яркостью. При засветке области, например вспышкой, не удастся получить HOG-особенности, даже после процесса нормализации яркости. Но на реальных объектах такое – редкость, так как чаще всего они освещаются равномерно. Также алгоритм устойчив к наличию большого числа изменений в структуре объекта. Это порождает большее количество плоскостей – составных частей объекта.

Наряду с этим было обнаружено, что простого графа недостаточно для правильного определения объекта и получения его положения и ориентации. У простого графа каждая вершина связана с соседней. Как видно на рисунке 4, одна из вершин может менять свое расположение в пространстве, в то же время, сохраняя вес дуги.

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ И ОРИЕНТАЦИИ 3D-ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ГРАДИЕНТНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ИЗОБРАЖЕНИЯ

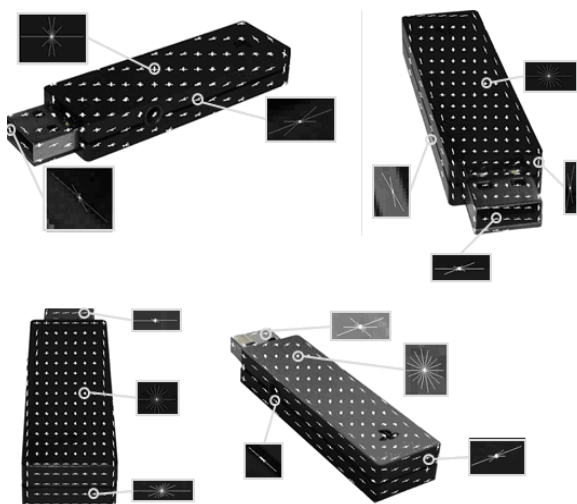


Рисунок 3 – Извлечение HOG характеристик

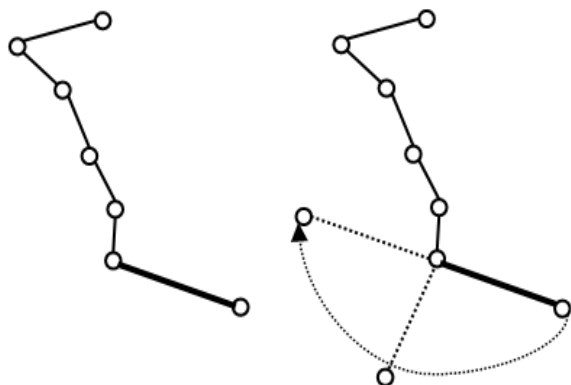


Рисунок 4 – Расположение вершины может меняться, однако вес дуги остается прежним, что приводит к неправильному определению объекта

Это говорит о том, что идет работа уже с другим объектом, но алгоритм не сможет установить это изменение, так как пространственная информация о вершинах не сохраняется. Для решения этой проблемы необходимо более полно описать граф, например, проведение дуг от каждой вершины к каждой, тем самым образовав сильно связанный граф. Добавление дополнительных дуг приводит к увеличению времени обработки. На рисунке 5 показано, как изменяется количество дуг в зависимости от числа вершин.

Поэтому для представления объекта в виде графа решено использовать связывание вершин через одну, что повышает надежность распознавания, и в то же время не так сильно влияет на скорость обработки. На рисунке 6 видно, что вероятность удачного распознавания не повышается значительно при добавлении дополнительных вершин.

А.Е. БАРИНОВ, А.А. ЗАХАРОВ

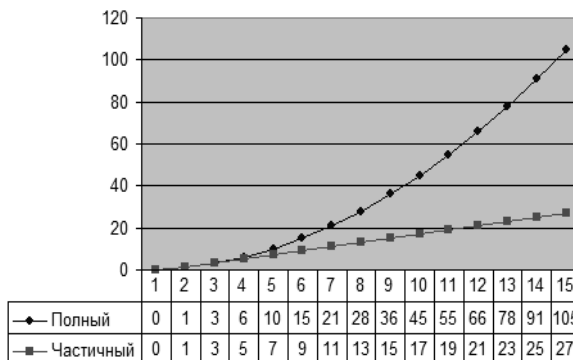


Рисунок 5 – Рост числа дуг графа. Здесь «Полный» - сильно-связанный граф. «Частичный» - вершины дополнительно связываются через одну

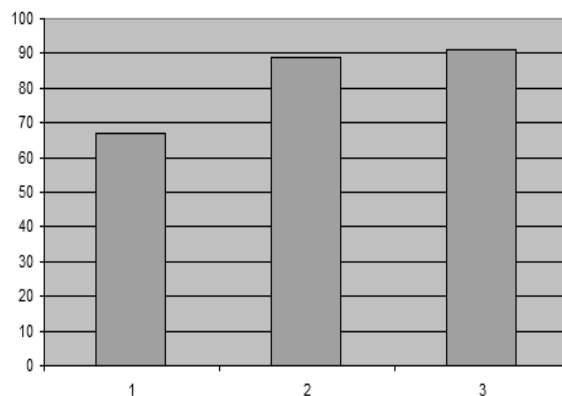


Рисунок 6 – Вероятность распознавания. 1 – Простой граф, 2 – Связь вершин через одну, 3 – Сильно связанный граф

Выводы

Таким образом, алгоритм определения положения и ориентации трехмерных объектов на основе извлечения градиентных особенностей изображения дает правильный результат в большинстве случаев.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 13-07-97523), задания №2014/13 на выполнение государственных работ в сфере научной деятельности в рамках базовой части государственного задания Минобрнауки России

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Холопов, В.А. Классификация автоматизированных производств для определения уровня и метода их автоматизации [Текст] / В.А. Холопов, И.Н. Голубцов // Ползуновский Вестник 2012, №1 – С. 315-317 с.
2. Баринов, А.Е. Анализ проблемной ситуации контроля процесса производства слябов [Текст] / А.Е. Баринов, С.П. Фомин // Алгоритмы, методы и системы обработки данных, 2012, №1. – С. 16-22.

РАЗДЕЛ 1. МОДЕЛИРОВАНИЕ, РАСЧЕТ И ОБРАБОТКА ДАННЫХ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ

3. Georghiades, A.S. From Few to Many: Generative Models for Recognition Under Variable Pose and Illumination / A.S. Georghiades, P.N. Belhumeur, D.J. Kriegman // Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on (Volume:23, Issue: 6), 2001. - Pages 643 – 660
4. Chutorian, E. Head Pose Estimation for Driver Assistance Systems / E. Chutorian, M.Trivedi // Proc. 10th Int'l IEEE Conf. Intelligent Transportation Systems, 2007. - pp. 709-714
5. Sommer, G. Pose estimation using geometric constraints / G. Sommer, B. Rosenhahn, Y. Zhang // in Multi-Image Search and Analysis, R. Klette, Th. Huang, and G. Gimmelfarb (Eds.), LNCS 2032, Springer-Verlag, Heidelberg, 2001. - pp. 153–170.
6. Xiang, Y. Estimating the aspect layout of object categories. / Y. Xiang, S. Savarese. - In CVPR, 2012.
7. Murphy-Chutorian E. Head pose estimation in computer vision: a survey / E. Murphy-Chutorian, M.M. Trivedi // IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. 31 (4) (2009) 607–626.

Аспирант **Баринов А.Е.** – alexey.barinov.murom@yandex.ru; к.т.н. **Захаров А.А.** – aa-zaharov@yandex.ru - Владимирский Государственный Университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых

УДК 620.178.4/6

ТРЕХМЕРНОЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЗУБА И ПЛОМБЫ

Е.Ю. Шелковников, А.И. Кириллов, С.М. Ефремов, Т.Л. Рединова,
А.А. Тимофеев, Т.Ю. Метелева

В работе рассмотрены вопросы трехмерного моделирования напряженно-деформированного состояния зуба и пломбы методом конечных элементов. Разработано программное обеспечение в среде Delphi 7 для вычисления коэффициентов концентрации напряжений в соединении зуб-пломба. Показано, что в эмали зуба происходит концентрация напряжений, а дентин «экранирован» от нее эмалью.

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние, трехмерная модель, зуб с пломбой, дентин, эмаль

Введение

Возникновение собственных напряжений в зубе после реставрации кариозных полостей приводит к образованию трещин дентина и эмали, нарушению краевого прилегания пломбы, рассасыванию и выпадению пломбирочного материала. Это обуславливает необходимость изучения соотношения механических свойств пломбирочного материала и зуба для обеспечения их надежного и долговечного соединения [1].

Теоретические исследования надежности пломбирования необходимо проводить на математической модели механического поведения зуба с пломбой при воздействии жевательного усилия [2].

Постановка задачи

Такие исследования целесообразно выполнять на трехмерной модели с использованием метода конечных элементов (КЭ) [3], так как большинство реальных объектов невозможно упростить до плоской задачи (например, зуб с ограниченной по глубине пломбой и др.). Необходимо отметить, что при построении сетки КЭ узлы сетки размещаются как на поверхности модели, так и внутри нее. Для построения такой сетки и мо-

делирования напряженно-деформированного состояния объекта применяется программная система КЭ-анализа Ansys Mechanical.

На начальном этапе моделирования рассматривается упругий деформируемый зуб с пломбой при статическом нагружении равномерно распределенным жевательным усилием P (рисунок 1). Модель зуба имеет форму куба с ребром a и содержит сквозное цилиндрическое упругое включение диаметром d . В однородном теле при подобном нагружении возникает в направлении оси Y сжимающее номинальное напряжение:

$$\sigma_{НОМ} = \frac{P}{a^2}. \quad (1)$$

Другие напряжения в такой модели отсутствуют или пренебрежимо малы. Однако применение этой формулы для определения механического напряжения ограничено случаем, когда упругие свойства материала включения и основного материала совпадают [4].

В случае, когда упругие характеристики материала включения отличаются от упругих характеристик основного материала, напряжения распределяются неравномерно и мо-