

Дормидошина Дарья Андреевна,  
Технический директор, АО «ЦКБ «Дейтон»  
Dormidoshina Daria A., Technical Director  
JSC «CDO «Deyton»

Рубцов Юрий Васильевич,  
Генеральный директор, АО «ЦКБ «Дейтон»  
Rubtsov Yuriy V., General Director  
JSC «CDO «Deyton»

**ОБЗОР, АНАЛИЗ И АПРОБИРОВАНИЕ МЕТОДОВ НАСТРОЙКИ КОНТРАСТА  
И ОСВЕЩЕНИЯ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ ОБНАРУЖЕНИЯ  
ДЕФЕКТОВ ИЗДЕЛИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ ВИЗУАЛЬНЫМ МЕТОДОМ**  
**REVIEW, ANALYSIS AND TESTING OF METHODS FOR ADJUSTING CONTRAST  
AND LIGHTING IN AUTOMATED SYSTEMS FOR DETECTING DEFECTS  
IN ELECTRONIC PRODUCTS BY THE VISUAL METHOD**

**Аннотация.** Компьютерное зрение значительно повышает эффективность, качество и надежность обнаружения дефектов изделий электронной техники. В визуальном контроле контраст изображения и освещение являются предпосылками для получения высококачественных изображений. Они являются источником информации для обработки и анализа изображений, являются ключевыми технологиями в получении данных о дефектах, в то время как машинное обучение оказывает значительное влияние на область анализа изображений. В этом исследовании обсуждается современное состояние контраста и освещения в получении изображений для дальнейшей обработки и анализа изображений в области визуального контроля. В статье представлены разработки в области обнаружения дефектов изделий электронной техники на основе компьютерного зрения, а также подробное описание методов обеспечения контраста и освещения в классификации, локализации и сегментации дефектов следует на основаниях обсуждения традиционных алгоритмов обнаружения дефектов и будущие перспективы развития технологии обеспечения контраста и освещения в системах.

**Abstract.** Computer vision significantly improves the efficiency, quality, and reliability of defect detection in electronic devices. In visual inspection, image contrast and illumination are prerequisites for obtaining high-quality images. They provide information for image processing and analysis and are key technologies in obtaining defect data, while machine learning has a significant impact on the field of image analysis. This study discusses the current state of contrast and illumination in image acquisition for further image processing and analysis in visual inspection. This article presents developments in the field of computer vision-based defect detection in electronic devices, as well as a detailed description of contrast and illumination methods for classification, localization, and segmentation of defects. This article discusses traditional defect detection algorithms and future prospects for the development of contrast and illumination technologies in these systems.

**Ключевые слова:** Компьютерное зрение, машинное обучение, изделия электронной техники, искусственный интеллект.

**Keywords:** Computer vision, machine learning, electronic products, artificial intelligence.

### **Введение**

Благодаря непрерывному развитию науки и техники, технологии компьютерного зрения (КЗ) становятся все более совершенными и широко используется для автоматизации обнаружения дефектов. Технология обнаружения дефектов, основанная на традиционной обработке



изображений технологом, имеет ограничения, связанные с ручным выбором признаков, и низкой способности к обобщению результатов. Развитие машинного обучения (МО) вдохнуло новую жизнь в КЗ и совершило значительный прорыв в области обнаружения дефектов. МО позволило автоматически извлекать и изучать признаки из больших объемов данных. Преимуществами КЗ являются высокая эффективность и точность.

Изображения, является важной информацией и отражает особенности объектов, составляют основу визуального контроля, поэтому их качество крайне важно. Для получения высококачественных изображений необходим подходящее оборудование для получения информации о дефектах.

Контраст является фактором, влияющим на качество изображения, он определяет разницу в значениях яркости изображения между проверяемым объектом и фоном [1]. Поэтому, в автоматизированных программно-аппаратных комплексах поиска дефектов изделий электронной техники с применением технологий искусственного интеллекта (далее – АПАК) очень важно устанавливать уровни яркости участков дефектов поверхностей изделий электронной техники (ИЭТ), которые имеют уровни, отличные от проверяемых, чтобы можно было различать дефекты при применении методов обработки изображений и выделения признаков. Контраст и другие факторы, влияющие на качество изображения, также могут зависеть от настроек освещения, поскольку камера не видит объект; она видит свет, отраженный объектом. Освещение может уменьшить тени, шумы и отражения и увеличить контрастность изображения, тем самым сокращая время обработки изображения и повышая его точность [2].

При этом исключается стороннее освещение, поскольку оно меняется с изменением условий окружающей среды, и это может повлиять на качество изображения и, следовательно, на качество обнаружения дефектов. Поэтому в АПАК используются стабильные источники освещения [3].

Размер, цвет, особенности поверхности, геометрия, материал, условия проведения инспекции и требования к системе – все это важные факторы, которые следует учитывать при выборе правильного источника освещения. Светодиоды, флуоресцентные лампы и кварцевые галогенные лампы с волоконной оптикой используются в качестве источников освещения для АПАК. Кроме того, расположение источника освещения также играет важную роль, особенно при инспекции поверхностей (например, металлические выводные рамки ИЭТ и паяные соединения), которые зеркально отражают свет.

С другой стороны, тусклые поверхности, такие как пластик, рассеивают свет в нескольких направлениях [4]. Для них расположение источника освещения [1] особенно оказывает влияние на контраст изображения.

### **Разработки исследователей и применение полученных результатов в автоматизированных программно-аппаратных комплексах поиска дефектов изделий электронной техники с применением технологий искусственного интеллекта**

Бартлет и др. в [5] использовали четыре верхних люминесцентных лампы и одну люминесцентную кольцевую лампу для эффективной проверки паяных соединений и избежание теней на полученном изображении. Тем самым существенно повышая контраст изображения.

Капсон и др. в [6] предложили многослойный подход к многоуровневому цветовому освещению для проверки дефектов паяных соединений. Предложенная ими установка освещения состояла из круглых красных и синих люминесцентных ламп, выполненных в полусферической конфигурации и направленные на паяные соединения под разными углами, при этом синий и красный свет отражаются поверхностью, на которую падают лучи света. Отраженный свет имеет специальную геометрию контура в соответствии с качеством паяного соединения. Этот метод позволяет запечатлеть трехмерное поведение отражение паяного соединения в двухмерном изображении.



Ву и др. в [7] использовали 3 цвета (красный, зеленый и синий, RGB), сформированные в полусферическую решетку светодиодов, как показано на рисунке 1. Красный, зеленый и синий свет излучается на наклонную поверхность паяного соединения. Лучи света отражаются в камеру, соответственно, так что каждое состояние качества паяного соединения будет иметь уникальное распределение цвета на основе отражения света.

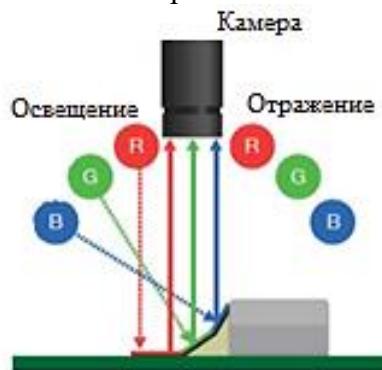


Рисунок 1 – Использование 3х цветов (RGB), сформированные в полусферическую решетку светодиодов

Зенг и др. в [8], [9] использовали многоуровневые цветные кольцевые светодиоды для подсветки элементов печатной платы, таких как маркировка и переходные отверстия. Направление распределения цвета каждого паяного соединения также оценивается, чтобы помочь в определении типа дефекта. Однако эти исследования считались основой для системы контроля и не применяли подход к классификации дефектов. Несмотря на способность цветного освещения эффективно выделять дефектные элементы паяных соединений, АПАК требует сканирования и обработки трех изображений каждого паяного соединения, что может значительно увеличить время вычислений.

Чиу и Пернг в [10] предложили единую настройку многоуровневого цветного освещения, выбрав оптимальный угол падения, который может выполнять проверку с обработкой только одного изображения, как показано на рисунке 2. Угол падения ( $\phi$ ) при этом необходимо тщательно выбирать, чтобы имитировать эффективность трехслойного многоуровневого цветного освещения. Исследования показывают: необходимо избегать теней на проверяемых компонентах. Поэтому угол падения  $\phi$  должен быть как можно меньше.

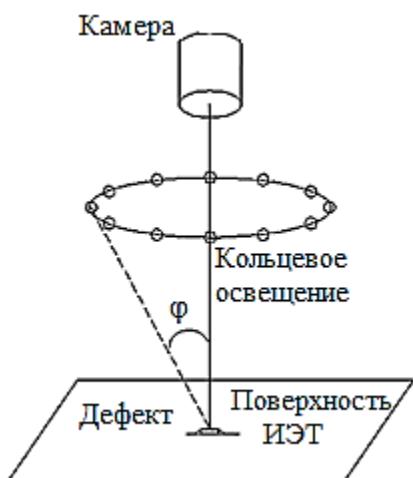


Рисунок 2 – Настройка контрастности, с выбором оптимального угла падения  $\phi$

В идеале ф должен быть равен нулю; однако в этом случае свет должен быть помещен либо перед камерой, либо на бесконечном расстоянии от камеры, что оба варианта нереалистичны. Поэтому методом проб и ошибок в исследовании был проверен небольшой диапазон углов между  $20^\circ$  и  $30^\circ$  для получения высококачественных контрольных изображений.

Лю и Юй в [11] предложили специальную механическую конфигурацию и настройки освещения для проверки дефектов поверхности с помощью инфракрасного фильтра (ИК-фильтра). Поскольку в оптический ИК-фильтр не попадает преломленный инфракрасный свет, на другой его стороне он не может быть зарегистрирован. Сконструирован переворачивающий механизм, чтобы видеть обе его стороны образцов. Многослойный инфракрасный светодиодный свет рассматривался в качестве системы освещения для этого способа, как показано на рисунке 3.

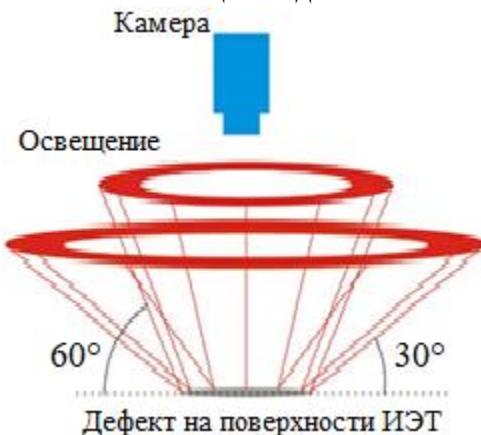


Рисунок 3 – Определение дефектов в инфракрасном освещении

Поскольку инфракрасный луч не может пройти через ИК-фильтр, и, следовательно, характер отраженного света будет указанием на обнаруженный дефект. Угол для инфракрасных лучей был тщательно выбран, таким образом, чтобы использовались два слоя инфракрасных лучей. Первый слой пропускает луч под углом  $30^\circ$ , который предназначен для отражения перпендикулярного луча от крупных обнаруженных дефектов поверхности. Наклонный луч под углом  $60^\circ$  предназначен для отражения света от мелких дефектов поверхности перпендикулярно камере. Если дефект не обнаружен, свет будет рассеян таким образом, что камера его не зафиксирует. Данный метод использован в АПАК для обнаружения дефектов полупроводниковых пластин [12].

Цай и др. в [13] использовали специфичные методы освещения и получения изображений для обнаружения дефектов Мура в жидкокристаллических дисплеях (ЖК-дисплеях). Дефекты Мура в ЖК-дисплеях приносят неравномерность яркости, цвета или контраста на экране дисплея, которые выглядят как пятна, полосы, или другие дефекты изображения. Этот дефект возникает из-за производственных ошибок, таких как неравномерное распределение жидких кристаллов. Он проявляется в виде артефактов, ухудшающих качество изображения ЖК-дисплея, таких как снижение четкости и контраста, искажение текста и появление мерцания.

В исследовании предполагается, что ЖК-дисплей движется по направляющей конвейера. Пока ЖК-дисплей проходит через неподвижную камеру, отражение света под разными углами может эффективно усиливать дефект Мура на низкоконтрастных изображениях. Поэтому проблема обнаружения дефектов Мура рассматривается как анализ движения в последовательностях изображений с использованием методов оптического потока. На рисунке 4 оказана конфигурация системы получения изображений.





Рисунок 4 – Метод обнаружения дефектов с помощью оптического потока

Основываясь на этих пространственных расположениях, использован алгоритм оптического потока для выделения дефектов на поверхности ИЭТ. На основании такого алгоритма вычисляется смещение яркости от одного кадра к другому.

Существует два типа алгоритмов оптического потока. Первый тип вычисляет смещение яркости для всех пикселей изображения (так называемый алгоритм плотного оптического потока). Второй тип вычисляет смещение для определенных пикселей изображения (так называемый алгоритм разреженного оптического потока) [14]. Благодаря своей эффективности и точности, алгоритм разреженного оптического потока Лукаса-Канаде использовался для оперативного контроля дефектов на производстве. С помощью алгоритма Лукаса-Канаде были рассчитаны три типа значений признаков для выявления дефектов. Эти значения признаков включают величину потока, среднюю величину потока и плотность потока в оптическом поле потока. Для каждого значения признака был установлен определенный порог: если значение превышает порог, изображение образца считается имеющим дефект, и наоборот.

В приводимых исследованиях [15], [16] использовали явление, называемое оптической интерференционной картиной, для обнаружения дефектов. Это явление обусловлено интерференцией, возникающей при отражении и преломлении света от поверхностей. Это позволяет выявить дефекты на поверхности ИЭТ, как показано на рисунке 5.

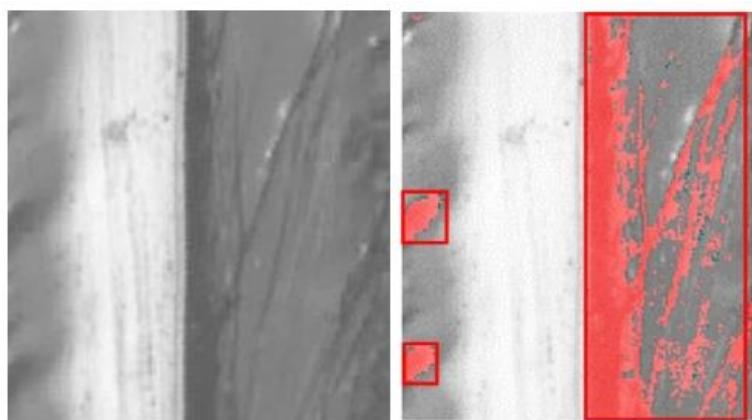


Рисунок 5 – Применение интерференции, возникающей при монохромном и натриевом свете

Изображение являются индикаторами дефектов. Натриевый свет (от газосветной электрической лампы, светящимся телом которой служат пары натрия с газовым разрядом в них) использовался для выделения дефектов, поскольку использовался монохромный свет. При обычном источнике света (например, флуоресцентной лампы) интерференционная картина будет без выделения дефектов. Однако, если использовать монохроматический источник света, такой как натриевая лампа, появляется возможность обнаружить дефекты.



Дэн и др. в [17] предложили бинарный структурный источник освещения для повышения контрастности изображения дефектов в полимерном поляризаторе ЖК-дисплея, как показано на рисунке 5.

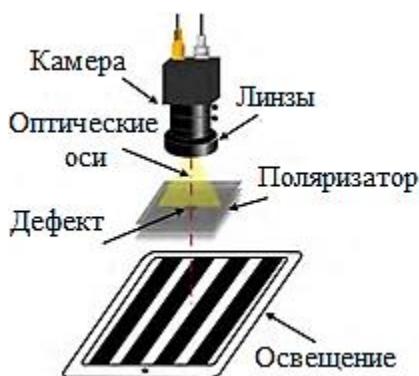


Рисунок 6 – Применение бинарного структурного источника освещения для повышения контрастности изображения дефектов

Освещение обеспечивается бинарными черными и белыми полосами, отображаемыми на дисплее, таким образом, что ширину полос можно контролировать, а образец дефекта помещается между камерой и светом с полосами. Для обеспечения четкости изображения использовался обычный источник света с равномерной яркостью. По сравнению с использованием традиционных настроек освещения, бинарное структурированное освещение улучшает контрастность дефектов в диапазоне от 36 до 84,7% в зависимости от характера дефекта [18].

На рисунке 5 показано применение бинарного структурного источника освещения для повышения контрастности изображения и обнаружения дефектов ИЭТ.

Чан и др. в работе [19] предложили систему обнаружения дефектов для фильтрации и классификации дефектов стекла сенсорной панели. Их настройка освещения состояла из двух светодиодов с веерообразным светопропусканием. Для идеально гладкой поверхности камера снимает преимущественно темное изображение, поскольку большая часть отраженного света является зеркальной. Это будет указывать на отсутствие дефекта, как показано на рисунке 6 а).

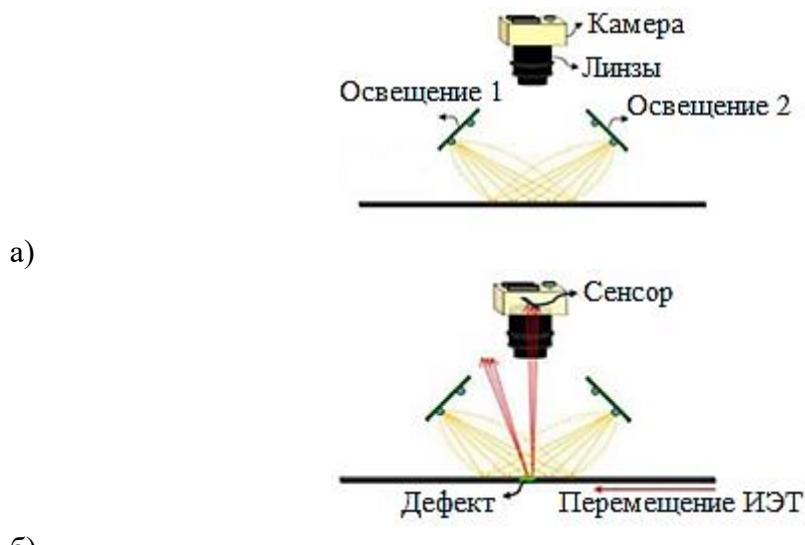


Рисунок 7 – Применение освещения светодиодами

с веерообразным светопропусканием.

а) отсутствие дефекта б) наличие дефекта.



Наличие дефекта приведет к рассеиванию света в направлении камеры, что будет выглядеть как яркая область на темном фоне, как показано на рисунке 6 б). Для снижения уровня ложных срабатываний подложка проверяемых пластин покрывается высокоотражающим веществом, чтобы поверхность изделия выглядела темнее.

Выше представленные исследования, позволили использовать метод расчета контрастности в АПАК по максимальной яркости участков изображений дефектов и фона [20]. В АПАК контраст выражается безразмерной величиной, отношением яркости для наиболее ярких участков изображений дефектов и других участков поверхности ИЭТ без дефектов (фона), как показано в (1):

$$K = \frac{B_d - B_f}{B_d}, \quad (1)$$

где: Bd – максимальная величина яркости дефекта,

Bf – максимальная величина яркости фона.

Отношение расчета контраста (1) используется при оптимизации изображения с помощью программных средств АПАК.

### Заключение

Одной из самых сложных проблем в области обнаружения дефектов, для повышения качества изображений, является проблема повышения контрастности. Она может решаться путем регулировки яркости темных или светлых участков поверхности ИЭТ. При этом, для повышения контрастности в АПАК также используются:

- конструкции и структура освещения, проверяемого ИЭТ;
- характеристики камер;
- специальные покрытия ИЭТ;
- алгоритмы программного обеспечения.

Такие методы нуждаются в дальнейшем исследовании и применении результатов для повышения эффективности работы АПАК

### Список литературы:

1. T. Brosnan and D.-W. Sun // Improving quality inspection of food products by computer vision – A review J. Food Eng., – 2004 – vol. 61, no. 1, pp. 3–16.
2. M. Teena, A. Manickavasagan, A. Mothershaw, S. El Hadi, and D. S. Jayas // Potential of machine vision techniques for detecting fecal and microbial contamination of food products: – A review Food Bioprocess Technol., – 2013 – vol. 6, no. 7, pp. 1621–1634.
3. V. Chauhan and B. Surgenor // Fault detection and classification in auto- mated assembly machines using machine visionInt. – 2017 – J. Adv. Manuf. Technol., vol. 90, nos. 9–12, pp. 2491–2512.
4. C. Vedang, F. Heshan, and S. Bariant // Effect of illumination techniques on machine vision inspection for automated assembly machines – 2014 – in Proc. Can. Soc. Mech. Eng. Int. Congr., pp. 1–6.
5. S. L. Bartlett, P. J. Besl, C. L. Cole, R. Jain, D. Mukherjee, and K. D. Skifstad, // Automatic solder joint inspection – 1988 – IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell., vol. PAMI-10, no. 1, pp. 31–43.
6. D. W. Capson and S.-K. Eng // A tiered-color illumination approach for machine inspection of solder joints – 1988 – IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell., vol. PAMI-10, no. 3, pp. 387–393.
7. H. Wu, X. Zhang, H. Xie, Y. Kuang, and G. Ouyang // Classification of solder joint using feature selection based on Bayes and support vector machine – 2013 – IEEE Trans. Compon., Packag., Manuf. Technol., vol. 3, no. 3, pp. 516–522.
8. Z. Zeng, L. Z. Ma, and Z. Y. Zheng // Automated extraction of PCB components based on specularity using layered illumination – 2011 – J. Intell. Manuf., vol. 22, no. 6, pp. 919–932.
9. Z. Zeng, L. Ma, and M. Suwa // Algorithm of locating PCB components based on colour distribution of solder joints – 2011 – Int. J. Adv. Manuf. Technol., vol. 53, nos. 5–8, pp. 601–614.



10. S.-N. Chiu and M.-H. Perng // Reflection-area-based feature descriptor for solder joint inspection – 2007 – Mach. Vis. Appl., vol. 18, no. 2, pp. 95–106.
11. Y. Liu and F. Yu // Automatic inspection system of surface defects on optical IR-CUT filter based on machine vision – 2014 – Opt. Lasers Eng., vol. 55, pp. 243–257.
12. 22. Дормидошина Д. А., Евстифеев Ю. А., Рубцов Ю.В. Разработка и внедрение АПАК для поиска дефектов изделий микроэлектроники с помощью искусственного интеллекта – Часть 3. Обнаружение дефектов полупроводниковых пластин в поляризованном свете // Электронные компоненты. 2025. №3. Стр. 10-17.
13. D.-M. Tsai and H.-Y. Tsai // Low-contrast surface inspection of mura defects in liquid crystal displays using optical flow-based motion analysis – 2011 – Mach. Vis. Appl., vol. 22, no. 4, pp. 629–649.
14. N. Nourani-Vatani, P. V. K. Borges, and J. M. Roberts // A study of feature extraction algorithms for optical flow tracking – 2012 – in Proc. Australas. Conf. Robot. Automat. (ACRA), pp. 3–5.
15. T.-Y. Li, J.-Z. Tsai, R.-S. Chang, L.-W. Ho, and C.-F. Yang // Pretest gap mura on TFT LCDs using the optical interference pattern sensing method and neural network classification – 2013 – IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 60, no. 9, pp. 3976–3982.
16. J. Z. Tsai, R.-S. Chang, and T.-Y. Li // Detection of gap mura in TFT LCDs by the interference pattern and image sensing method – 2013 – IEEE Trans. Instrum. Meas., vol. 62, no. 11, pp. 3087–3092.
17. Y. Deng, X. Pan, X. Wang, and X. Zhong // Vision-based 3D shape measurement system for transparent microdefect characterization – 2019 – IEEE Access, vol. 7, pp. 105721–105733.
18. Y.-L. Deng, S.-P. Xu, and W.-W. Lai // A novel imaging-enhancement- based inspection method for transparent aesthetic defects in a polymeric polarizer – 2017 – Polym. Test., vol. 61, pp. 333–340.
19. C.-F.-J. Kuo, C.-Y. Lai, C.-H. Kao, and C.-H. Chiu // Integrating image processing and classification technology into automated polarizing film defect inspection – 2018 – Opt. Lasers Eng., vol. 104, pp. 204–219.
20. Раухваргер А.Б., Абунагимов Р.И. Об алгоритме изменения контраста цифрового изображения с учетом локальных статистических характеристик распределения яркости пикселей. Вестник Астраханского государственного технического университета. серия: управление, вычислительная техника и информатика. Рубрики: компьютерное обеспечение и вычислительная техника 2020 г. №2, с. 26–33

