

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ШУМА НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ В СИСТЕМАХ КОМПЬЮТЕРНОЙ МИКРОСКОПИИ

Е. В. Поляков

*Отделение биотехнологий офиса образовательных программ,
evrolyakov@terphi.ru; ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский
ядерный университет «МИФИ», г. Москва, Россия*

Ключевые слова: компьютерная микроскопия; структурный шум; фильтрация шума; цифровая обработка изображений.

Аннотация: Исследованы характеристики шума на изображениях в системах компьютерной микроскопии, что важно при решении задач автоматизированного анализа слабоконтрастных объектов. Определены параметры шума в системе компьютерной микроскопии с применением камеры Watec WAT-231S и моторизованного микроскопа Olympus CX31. Даны рекомендации по подавлению выявленных шумов.

Введение

Компьютерная микроскопия находит применение в широком круге приложений (биологии, медицине, научных исследованиях, промышленности и др.) [1]. С точки зрения исследуемой темы основные структурные элементы системы компьютерной микроскопии представлены на рис. 1.

Увеличенное с помощью микроскопа изображение объекта исследования проецируется на матрицу светочувствительных ячеек камеры. В них осуществляется преобразование светового потока в электрический сигнал, далее, посредством аналого-цифрового преобразователя, формируется цифровое изображение, передаваемое для последующей обработки в компьютер.

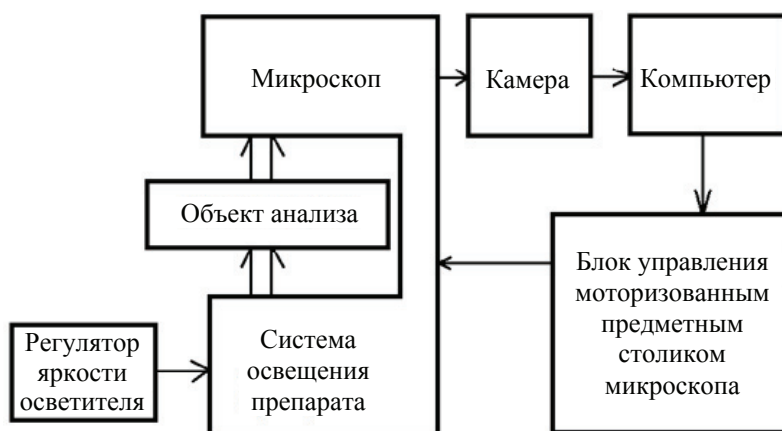


Рис. 1. Структурная схема системы компьютерной микроскопии

Одним из важных направлений применения компьютерной микроскопии является автоматизация медицинской диагностики, которая в практических приложениях позволяет снизить субъективизм принимаемых врачом решений и уменьшить трудоемкость традиционного визуального микроскопического анализа, тем самым повысить достоверность диагностики. Это в полной мере относится к диагностике опасных онкологических заболеваний – острых лейкозов [2]. Одним из этапов диагностики является онкоморфологический анализ микроскопических препаратов костного мозга. Диагностика означает распознавание, которое в компьютерных системах реализуется путем предобработки, измерения информативных признаков, классификации [3].

Эффективность автоматизированного микроскопического анализа в онкологической диагностике (включая диагностику острых лейкозов) зависит от целого ряда факторов. Условно их классифицируем как внешние и внутренние. К внешним факторам (в случае микроскопического анализа при диагностике острых лейкозов) отнесем условия приготовления препаратов крови и костного мозга, качество предметных стекол, условия работы системы компьютерной микроскопии (степень вибрации поверхности, на которой установлен микроскоп) и др. Внутренние факторы – помехи, шумы, разрешающая способность камеры; характеристики и качество настройки микроскопа (освещение, фокусировка, диафрагмирование) и др.

Учет значимых факторов важен при разработке и внедрении систем автоматизированного микроскопического анализа для распознавания злокачественных опухолей.

Одним из признаков классификации типов клеток костного мозга выступает структура хроматина ядра клетки, проявляющаяся на изображении слабоконтрастными изменениями яркости. В этих условиях существенное влияние на результат автоматизированного анализа оказывают шумы, присутствующие на изображении. Основным источником шумов на цифровом микроскопическом изображении является камера (фотонный шум, шумы темнового тока и др.) [4].

В литературе хорошо известен ряд методов подавления шума. Применительно к теме эффективности автоматизированного микроскопического анализа в онкологической диагностике отметим методы взвешенного усреднения яркости в окрестности точки, медианной фильтрации и их модификации [5, 6]. Подчеркнем существенный недостаток указанных методов – их реализация может привести к недопустимым искажениям границ объектов и мелких деталей. От данного недостатка свободен метод временной фильтрации, когда в результате формируется изображение путем усреднения несколько подряд зарегистрированных кадров. Это возможно в случае регистрации статических изображений.

Следует отметить, что на изображении как шум проявляются два типа искажений: случайные изменения сигнала в пикселе при постоянном входном световом потоке (собственный шум пикселя) и систематические искажения сигнала. Последние связаны с неидеальностью светочувствительных ячеек матрицы камеры (структурный шум матрицы). Структурный шум представляет изменение сигнала при переходе от пикселя к пикселю при постоянном входном световом потоке вследствие неоднородности чувствительности к свету ячеек по полю кадра. Процесс проектирования автоматизированных систем диагностики на базе компьютерной микроскопии, ориентированных на заданный класс объектов, требует конкретизации шумовых характеристик системы регистрации изображений.

Цель работы – исследование характеристик шума, присутствующего в изображениях, регистрируемых в системе компьютерной микроскопии на базе камеры Watec WAT-231S.

Материалы и методы

Для получения изображений использовалась система компьютерной микроскопии в составе роботизированного микроскопа Olympus CX31 с цветной камерой Watec WAT-231S и компьютера. Изображения размером 720×576 пикселей записывались в формате BMP с цветовым 24-битным кодированием RGB (по 8 бит на цветовой канал, что обеспечивает более 16 миллионов цветовых оттенков на пиксель цифрового изображения). В качестве объектов исследования рассматривалось изображение фонового освещения при разном уровне яркости лампы микроскопа.

Методика исследования основана на проведении серий съемок изображений в системе компьютерной микроскопии при разных уровнях освещенности поля зрения камеры. Были установлены десять разных позиций регулятора осветителя микроскопа, и в каждом из положений проводилась серия съемок по 768 кадров. Полученные серии использовались для оценки уровня шума в каждом из пикселей изображения и неоднородности чувствительности отдельных ячеек матрицы камеры. Уровень шума в отдельных пикселях оценивался путем расчета среднеквадратического отклонения разности сигнала в пикселе и среднего значения сигнала по всему кадру по выборке из 768 кадров. Неоднородность чувствительности характеризовалась оценкой среднего значения разности сигнала в пикселе и средней яркости по всему кадру по выборке из 768 кадров (структурный шум).

Обсуждение результатов

В качестве примера полученных результатов на рис. 2, а, представлена зависимость среднеквадратического отклонения (СКО) компоненты R в пикселе с координатами $x = 368$, $y = 471$ от ее среднего значения по всему изображению. Рисунок 2, б, иллюстрирует структурный шум – пример зависимости среднего значения отклонения компоненты R от ее среднего значения по изображению в пикселе с координатами $x = 368$, $y = 471$.

По результатам эксперимента установлено, что СКО сигнала в произвольном пикселе цифрового изображения для каждой из R , G , B компонент увеличивается с возрастанием сигнала и не превышает пяти градаций яркости. Анализ гистограмм распределения значений отклонения значений компонент в пикселе от среднего значения компонент по всему изображению по выборке 768 кадров показал, что они соответствуют нормальному распределению (распределению Гаусса). Проявление структурного шума также возрастает с увеличением освещенности и не превышает пяти градаций яркости.

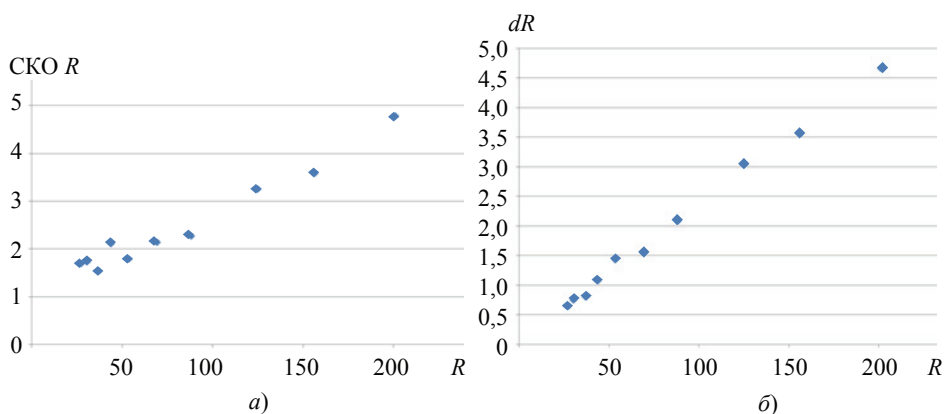


Рис. 2. Графики зависимостей среднеквадратического (а) и среднего значения (б) отклонений компоненты R в пикселе от ее среднего значения по изображению

По результатам эксперимента можно сделать следующие выводы. Для подавления собственного шума пикселя до уровня его СКО, равного половине градации яркости, необходимо усреднение не менее чем 100 отсчетов сигнала. Надо учитывать, что применение пространственной фильтрации с окном усреднения размером 10×10 пикселей приведет к существенному размытию границ объектов и подавлению на изображении мелких структурных элементов. В таком случае более предпочтительна временная фильтрация. Усреднение по 100 последовательным кадрам обеспечит требуемое уменьшение аддитивного гауссового шума в 10 раз. Для съемки такой серии потребуется четыре секунды (при скорости съемки 25 кадров в секунду), что вполне приемлемо при съемке статических объектов. Для устранения структурной составляющей шума на изображении необходимо применение корректирующей функции [7].

Заключение

Исследованы характеристики шума изображения в системе компьютерной микроскопии с камерой Watec WAT-231S: зависимость собственного шума пикселя цифрового изображения и структурного шума светочувствительной матрицы камеры от яркости R, G, B компонент сигнала. Выявлено, что структурный шум светочувствительной матрицы камеры и собственный шум в пикселе цифрового изображения не превышают пяти градаций яркости. Даны рекомендации по уменьшению указанных шумов: для подавления собственных шумов пикселей до уровня шума со среднеквадратическим отклонением, равным половине градации яркости, необходимо усреднение не менее чем 100 отсчетов сигнала с использованием временной фильтрации, а для подавления структурного шума – применение корректирующей функции [7]. Учет данных рекомендаций особо важен в задачах компьютерного анализа слабоконтрастных объектов, к которым относится решение задачи распознавания клеток крови и костного мозга в системах автоматизированной диагностики острых лейкозов.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (проект № 18-07-01456).

Список литературы

1. Пантелеев, В. Г. Компьютерная микроскопия / В. Г. Пантелеев, О. В. Егорова, Е. И. Клыкова. – М. : Техносфера, 2005. – 303 с.
2. The use of Optical Microscope Equipped with Multispectral Detector to Distinguish Different Types of Acute Lymphoblastic Leukemia / A. N. Pronichev, E. V. Polyakov, N. N. Tupitsyn [et al.] // Journal of Physics: Conference Series. – 2017. – Vol. 784. – P. 012003.
3. Поляков, Е. В. Анализ эффективности методов и моделей обработки изображений препаратов крови и костного мозга для автоматизированной диагностики острых лейкозов / Е. В. Поляков // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – 2019. – Т. 18, № 2. – С. 133 – 144. doi: 10.25987/VSTU.2019.18.2.021
4. Твердотельные телекамеры: накопление качества информации / А. К. Цыцулин, Д. Ю. Адамов, А. А. Манцетов, И. А. Зубакин. – СПб. : Изд-во СПбГЭТУ, 2014. – 271 с.
5. Прэтт, У. Цифровая обработка изображений : в 2-х кн. / У. Прэтт : пер. с англ. под ред. Д. С. Лебедева. – М. : Мир, 1982. – Кн. 2. – 480 с.
6. Эльдарова, Э. Э. Оценка эффективности методов подавления шума цифровых изображений / Э. Э. Эльдарова, В. В. Старовойтов, К. Т. Исаков // Вестн. Евразийского национ. ун-та имени Л. Н. Гумилева. Серия: Технические науки и технологии. – 2020. – № 1 (130). – С. 114 – 121. doi: 10.32523/2616-68-36-2020-130-1-114-121

7. Method for Optical Radiation Sensor Signal Irregularity Correction in the Computer Microscopy System / V. G. Nikitaev, O. V. Nagornov, A. N. Pronichev [et al.] // Journal of Physics: Conference Series. – 2019. – Vol. 1189. – P. 012026. doi: 10.1088/1742-6596/1189/1/012026

A Study of Noise Characteristics on Images in Computer Microscopy Systems

E. V. Polyakov

*Department of Computer Medical Systems, evpolyakov@mephi.ru;
National Research Nuclear University "MEPhI", Moscow, Russia*

Keywords: computer microscopy; structural noise; noise filtering; digital image processing.

Abstract: The characteristics of noise on images in computer microscopy systems are investigated, which is important when solving problems of automated analysis of low-contrast objects. The parameters of noise in a computer microscopy system were determined using a Watec 231 camera and an Olympus CX31 motorized microscope. Recommendations for suppressing the detected noise are given.

References

1. Panteleyev V.G., Yegorova O.V., Klykova Ye.I. *Komp'yuternaya mikroskopiya* [Computer microscopy], Moscow: Tekhnosfera, 2005, 303 p. (In Russ.)
2. Pronichev A.N., Polyakov E.V., Tupitsyn N.N., Frenkel M.A., Mozhenkova A.V. The use of Optical Microscope Equipped with Multispectral Detector to Distinguish Different Types of Acute Lymphoblastic Leukemia, *Journal of Physics: Conference Series*, 2017, vol. 784, p. 012003.
3. Polyakov Ye.V. [Analysis of the effectiveness of methods and models of image processing of blood and bone marrow preparations for automated diagnosis of acute leukemia], *Sistemnyy analiz i upravleniye v biomeditsinskikh sistemakh* [System analysis and control in biomedical systems], 2019, vol. 18, no. 2, pp. 133-144, doi: 10.25987/VSTU.2019.18.2.021 (In Russ., abstract in Eng.)
4. Tsytulin A.K., Adamov D.Yu., Mantsvetov A.A., Zubakin I.A. *Tverdotel'nyye telekamery: nakopleniye kachestva informatsii* [Solid-state television cameras: accumulation of information quality], St. Petersburg: Izdatel'stvo SPbGETU, 2014, 271 p. (In Russ.)
5. Prett U., Lebedev D.S. [Ed.] *Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy: v 2-kh kn.* [Digital image processing: in 2 books], Moscow: Mir, 1982, Book 2, 480 p. (In Russ.)
6. El'darova E.E., Starovoytov V.V., Isakov K.T. [Evaluation of the effectiveness of digital image noise suppression methods], *Vestnik Yevraziyskogo natsional'nogo universiteta imeni L. N. Gumileva. Seriya: Tekhnicheskkiye nauki i tekhnologii* [Bulletin of the LN Gumilyov Eurasian National University. Series: Engineering Science and Technology], 2020, no. 1 (130), pp. 114-121, doi: 10.32523/2616-68-36-2020-130-1-114-121 (In Russ., abstract in Eng.)
7. Nikitaev V.G., Nagornov O.V., Pronichev A.N., Polyakov E.V., Dmitrieva V.V. Method for Optical Radiation Sensor Signal Irregularity Correction in the Computer Microscopy System, *Journal of Physics: Conference Series*, 2019, vol. 1189, p. 012026, doi: 10.1088/1742-6596/1189/1/012026

Untersuchung der Rauschcharakteristiken auf Bildern in Systemen der Computermikroskopie

Zusammenfassung: Es sind die Eigenschaften von Rauschen auf Bildern in Computermikroskopiesystemen untersucht, was bei der Lösung der Probleme der automatisierten Analyse kontrastarmer Objekte wichtig ist. Die Rauschparameter in einem Computermikroskopiesystem sind unter Verwendung der Watec 231-Kamera und des motorisierten Olympus CX31-Mikroskops bestimmt. Es sind Empfehlungen zur Unterdrückung des erkannten Rauschens gegeben.

Étude des caractéristiques du bruit sur les images dans les systèmes de microscopie informatique

Résumé: Sont étudiées les caractéristiques du bruit sur les images de microscopie assistée par ordinateur ce qui est important pour résoudre les problèmes d'analyse automatisée d'objets à faible contraste. Sont déterminés les paramètres de bruit du système de microscopie assistée par ordinateur à l'aide de la caméra Watec 231 et du microscope à balayage Olympus cx31. Sont données des recommandations pour supprimer les bruits détectés.

Автор: Поляков Евгений Валерьевич – ассистент отделения биотехнологий офиса образовательных программ, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Москва, Россия.

Рецензент: Муромцев Дмитрий Юрьевич – доктор технических наук, профессор кафедры «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем», проректор по научно-инновационной деятельности, ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия.