

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 2, Number 336 (2021), 109 – 114

<https://doi.org/10.32014/2021.2518-1726.28>

УДК 0004.5

МРНТИ 20.53.19

Т. Ж. Мазаков^{1,2}, Ж. С. Әбілқайыр²¹Институт информационных и вычислительных технологий КН МОН РК, Алматы, Казахстан;²Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан.

E-mail: tmazakov@mail.ru, abilkhair.zhaina.98@gmail.com

**РАСПОЗНАВАНИЕ ШТРИХ-КОДА НА СИЛЬНО ИСКАЖЕННЫХ
ИЗОБРАЖЕНИЯХ И ИЗОБРАЖЕНИЯХ С НИЗКИМ РАЗРЕШЕНИЕМ**

Аннотация. Считывание штрих-кодов должно быть устойчивым к сложным условиям, таким как размытие, шум, низкое разрешение или низкое качество объективов камер, которые очень распространены. Удивительно, но даже самые продвинутые алгоритмы считывания штрих-кодов терпят неудачу, когда в игру вступают некоторые из этих факторов.

В этой статье мы представляем новый подход к обнаружению изображений штрих-кодов. Наш алгоритм специально разработан для распознавания штрих-кодов, когда изображение может иметь низкое разрешение, низкое качество или страдать от значительного размытия, расфокусировки, неравномерного освещения, шума и насыщенности цвета. Алгоритм является точным, быстрым, масштабируемым и может быть легко сконфигурирован для поиска допустимого результата в пределах временного ограничения. Наш алгоритм полезен для распознавания штрих-кодов в режиме реального времени на портативных устройствах с ограниченными возможностями обработки, таких как мобильные телефоны.

Ключевые слова: штрих-коды, EAN13, извлечение признаков, сегментация изображений, распознавание образов, обнаружение.

Введение. Штрих-коды по-прежнему являются распространенным механизмом кодирования машиночитаемой информации на большинстве товаров и услуг. Сегодня широкий спектр ручных устройств общего назначения, таких как мобильные телефоны поставляется с оптической системой визуализации. Включение этих универсальных ручных устройств с возможностью распознавания штрих-кодов является экономически эффективной альтернативой обычным сканерам штрих-кодов. Это оборудование доступно миллиардам людей. В сочетании с новыми услугами это может революционизировать повседневный опыт покупок, включая проверку цен в магазине, получение информации о продукте, доступ к обзорам продуктов, поиск похожих продуктов и услуг, а также сравнение цен на месте.

Обнаружение штрих-кодов на изображениях, полученных портативными устройствами общего назначения, является особенно сложной задачей из-за ограничений интегрированной системы визуализации и возможностей обработки данных устройства. Эти устройства часто имеют более низкое качество линзовых систем и более низкое разрешение схем визуализации по сравнению со специализированными цифровыми камерами. Оптическая система часто не предназначена для съемки в непосредственной близости от объектива, что приводит к расфокусированным и плохо освещенным изображениям с насыщенными цветами. Эти ограничения часто означают, что использование обычных методов порогового значения не может привести к созданию подходящего шаблона для распознавания штрих-кодов. Алгоритм, который неизменно может быть реализован на широком спектре ручных устройств, должен учитывать эти ограничения.

Методы. Алгоритм для обнаружения штрих-кодов в низком разрешении, сильно искаженных и зашумленных изображениях, где плотность кода может быть меньше двух пикселей. Такое

изображение изображено на рисунок 1. Длина штрих-кода EAN13 [1], отображаемого на изображении, составляет 147 пикселей, что приводит к плотности кода 1,54 пикселей.



Рисунок 1 – Низкое разрешение, сильно искаженный и шумный штрих-код

Изображение темное, сильно искаженное и страдает от сжатия JPEG низкого качества, но может быть успешно декодировано с помощью нашего алгоритма. Алгоритм обеспечивает субпиксельную точность за счет разделения краевых пикселей между двумя соседними модулями. Мы используем традиционный метод растрового сканирования, чтобы получить представление последовательности идеального двухуровневого изображения. Этот метод подвержен шумам. Мы решаем проблему удаления шума, применяя переменный порог пульсации, когда мы оцениваем местоположение локальных экстремумов последовательности. Методы обнаружения пиков и краев, обсуждаемые в [3], не всегда применимы к классу изображений, который мы рассматриваем в этой статье, где длина модуля меньше двух пикселей. Мы представляем алгоритм, который масштабирует высоту пиков и впадин и использует скользящий порог для оценки расположения краев. Это также позволяет нам успешно декодировать штрих-коды при неравномерном освещении, которое является основным источником искажений в изображениях, которые мы рассматриваем.

Расстояние от края до края и от экстремума до экстремума сохраняется в векторе признаков. Затем вектор признаков сравнивается с предварительно вычисленными векторами признаков идеального двухуровневого сигнала. Метод наименьших квадратов используется для декодирования входной последовательности путем выбора идеального сигнала, вектор признаков которого наиболее близок к оцененной последовательности. Мы также доказываем лемму о раннем обнаружении класса последовательностей, которая увеличивает скорость алгоритма.

Результаты. Алгоритм был реализован для штрих-кодов типа EAN13, который принадлежит к более сложному классу символов идентификации, известному как дельта-коды [1]. Это происходит из-за переменной ширины стержневых и пространственных модулей, а также из-за эффекта искажения более широких модулей на крайних положениях соседних узких модулей. Метод может применяться к двоичным символам, таким как Code39.

Обсуждение. Препроцессор. Препроцессор получает входные данные от устройства формирования изображения. Часто это происходит в виде сжатого потока JPEG. Затем входной поток распаковывается и преобразуется в карту интенсивности в градациях серого. Предполагая входное 24-битное изображение, мы имеем

$$i[m, n] = 1 - \frac{r[m, n] + g[m, n] + b[m, n]}{3 \times 255} \quad (1)$$

где r , g и b – красный, зеленый и синий компоненты входного сигнала, соответственно, а $i[m, n]$ – интенсивность серой шкалы в местоположении $[m, n]$ изображения. $i[m, n]$ масштабируется между 0 и 1, где 0 означает белый пиксель, а 1 – черный пиксель. Мы предпочитаем это представление черных и белых пикселей, поскольку оно будет связывать полосы с пиками, а пробелы с впадинами на более поздних этапах алгоритма. Большие изображения ($> 2MP$) отбираются, чтобы снизить затраты на обработку часто занимающего много времени детектора области интереса (ROI). Как только области интереса обнаружены, сегментатор использует изображение исходного размера.

ROI детектор. Детектор области интереса используется для поиска областей на входном изображении, где есть вероятность найти штрих-код. Для этой цели используется направленный характер ID штрих-кодов путем вычисления карты градиента входного изображения и выбора областей, где фаза градиента демонстрирует некоторые характеристики направления [2].

Величина и фаза градиента изображения рассчитываются с использованием масок Собеля 3x3:

$$S_h = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$S_v = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix},$$

$$G_h = I \otimes S_h$$

$$G_v = I \otimes S_v$$

где S_h и S_v – горизонтальная и вертикальная маски Собеля, G_h и G_v – карты горизонтального и вертикального градиента соответственно, а \otimes – оператор свертки.

Сегмент. Сегментер определяет границы штрих-кода и регулирует ориентацию. Ориентация будет рассчитана детектором ROI. Сегментатор поворачивает изображение таким образом, чтобы модули штрих-кода были параллельны вертикальной оси. Это упрощает процесс сканирования.

Чтобы найти границы, мы ищем горизонтальные тихие зоны (большие области фона вокруг модулей штрих-кода). Например, для символов EAN13 минимальная ширина тихой зоны должна составлять $9/d$, где d – плотность кода. На этом этапе плотность кода неизвестна, и мы предполагаем наименьшую возможную плотность кода, которая может быть обнаружена нашим алгоритмом (1 пиксель), чтобы гарантировать наиболее точные результаты. Это приведет к обнаружению недопустимых тихих зон внутри области штрих-кода для более крупных штрих-кодов. Мы можем быстро избавиться от этих потертостей, подсчитав количество экстремумов на этапе сканирования.

Из-за шума и искажений освещения в спокойной зоне могут наблюдаться вариации последовательности, напоминающие узкие модули штрих-кода высокой плотности. На рисунке 2 показана эта ситуация, когда рисунок штрих-пробела похож на рисунок шума в тихой зоне. Это говорит о том, что использование порога пульсации для удаления шума из тихой зоны может также смыть важную информацию об экстремумах, относящуюся к узким модулям. Чтобы решить эту проблему, нам нужно оценить постоянный порог T_q , который четко срезает тихую зону, но не влияет на пики низкой высоты.

Еще одна важная особенность алгоритма обнаружения – расстояние от края до края. Это метод, используемый сканерами с лазерным лучом для устранения эффекта равномерного искажения растекания краски, возникающего при печати штрих-кодов [1]. Здесь он служит той же цели, поскольку эффект нелинейного освещения вблизи кодового слова сродни просачиванию краев модуля в соседние области. Расстояние от края до края (между парами переднего и заднего фронтов) демонстрирует некоторую неизменность этого эффекта.

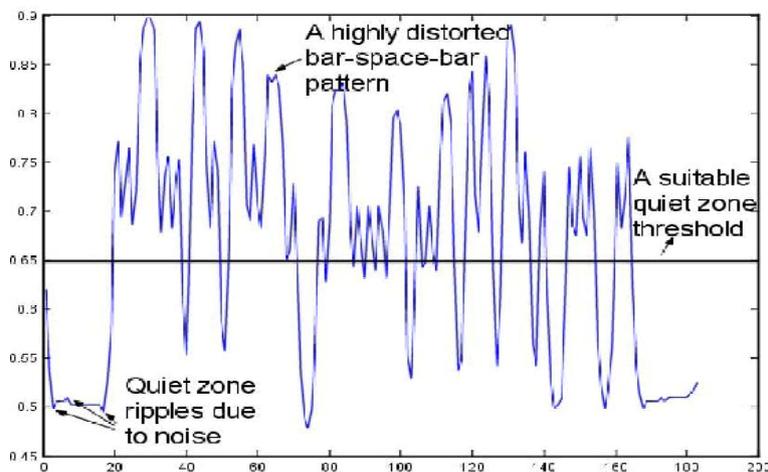


Рисунок 2 – Последовательность яркости выбранной строки изображения штрих-кода

Выход детектора ROI – это изображение, в основном занятое штрих-кодом и окружающей его тихой зоной. Эмпирически мы имеем

$$0.5 < \frac{A_{qz} + A_{space}}{A_{ROI}} < 0.65 \quad (2)$$

где A_{qz} – это площадь, занимаемая тихими зонами, A_{space} – это площадь, занимаемая космическими модулями, а A_{ROI} – общая площадь интересующей области. Поскольку нам приблизительно известна относительная площадь, занимаемая фоном, мы можем выбрать соответствующий уровень интенсивности для T_{qz} из гистограммы совокупной интенсивности (СИН) [8]. Для каждого уровня интенсивности L СИН предоставляет количество пикселей, интенсивность которых не превышает L . Мы выбираем T_{qz} таким образом, чтобы $H_{cumulative}[T_{qz}] = 0,55$. Затем мы заменяем интенсивности пикселей ниже уровня T_{qz} на T_{qz} . Этот метод позволяет нам исключить вариации интенсивности фона и нежелательные экстремумы формы сигнала, а также повышает надежность обнаружения тихих зон.

Сканер. Сканер преобразует входной сегмент изображения в дискретную одномерную последовательность и создает вектор признаков, который позже используется для декодирования символов. Мы используем метод растрового сканирования, который создает последовательность, отслеживая одну или несколько линий на изображении, и регистрирует информацию об интенсивности как значения последовательности.

Идеальную последовательность можно записать в виде ряда ступенчатых функций

$$b[n] = k \sum_{i=1}^N (-1)^{i-1} u[n - n_i] \quad (3)$$

где $u[n]$ – дискретная ступенчатая функция, N – количество модулей в штрих-коде, n_i – расположение i -го края, а k – постоянная высота.

На практике из-за искажения PSF, искажения освещения, ошибок выборки и шума результирующая последовательность отличается от идеального плоского двухуровневого сигнала, как показано на рисунке 2.

Сканер оценивает плотность кода и локальные экстремумы последовательности. Расположение и количество локальных экстремумов являются важными характеристиками. Местоположение локальных экстремумов изменяется из-за искажения, а нежелательные локальные экстремумы могут быть внесены из-за шума. Переменный порог пульсации T_{ripple} используется для удаления шума. T_{ripple} ограничивает обнаружение дальнейших экстремумов в непосредственной близости от уже выбранного экстремума и в пределах расстояния T_{ripple} от значения экстремума. Выбирается минимальное значение T_{ripple} , которое приводит к обнаружению правильного количества экстремумов, соответствующих профилю символов.

Наш модуль сканера оценивает среднюю плотность кода. Ориентация объекта и неплоская форма могут привести к изменению плотности кода в изображенном штрих-коде. Мы используем местоположения экстремумов для оценки границ кодовых слов. Затем коэффициент масштабирования применяется локально к каждому кодовому слову для нормализации и компенсации эффекта перспективы и отображения неплоских этикеток штрих-кода (например, штрих-кодов, напечатанных на банках).

Мы определяем порог, называемый порогом нормированного экстремума T_{ne} , чтобы оценить край. Мы предполагаем, что все пиксели выше T_{ne} принадлежат соседнему столбцу, а пиксели ниже – пространству, за исключением (до) двух пикселей, ближайших к порогу. Мы разделяем эти пиксели между двумя соседними модулями в зависимости от их расстояния до порога.

Декодер. Пусть $F_k = \{V_{k1}, V_{k2}, \dots, V_{km}\}$, будет набором векторов признаков V_{ki} , вычисленных для каждого идеального двухуровневого сигнала b_{ki} в позиции k -го кодового слова, и $i \in [1, m]$, где m – количество возможных кодировки в k -м позиции. Задачу декодирования можно определить как поиск символа, вектор признаков которого V_k удовлетворяет

$$\min \|V_{ki} - V_k\|, V_{ki} \in F_k \quad (4)$$

Выводы. Мы протестировали наш алгоритм на базе данных изображений штрих-кода EAN13. Изображения были сделаны при различном освещении, ориентации, расстоянии и условиях перспективы. Результаты показали улучшение на 57% по сравнению с популярным коммерческим считывателем штрих-кода.

Т. Ж. Мазакөв^{1,2}, Ж. С. Әбілқайыр²

¹ҚР БҒМ ҒК Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институты, Алматы, Қазақстан;

²Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан.

ҚАТТЫ БҰРМАЛАНҒАН СУРЕТТЕР МЕН ТӨМЕН АЖЫРАТЫМДЫЛЫҚТАҒЫ СУРЕТТЕРДЕ ШТРИХ-КОДТЫ ТАҢУ

Аңдатпа. Штрих-кодты оқу өте жиі кездесетін бұлыңғырлық, шу, төмен ажыратымдылық немесе төмен сапалы камера линзалары сияқты қатал жағдайларға төзімді болуы керек. Бір таңқаларлығы, штрих - кодты оқудың ең дамыған алгоритмдері де осы факторлардың кейбіреулері пайда болған кезде сәтсіздікке ұшырайды.

Бұл мақалада біз штрих-код кескіндерін табудың жаңа тәсілін ұсынамыз. Біздің алгоритміміз штрих-кодтарды таңу үшін арнайы жасалған, онда суреттің ажыратымдылығы төмен, сапасы төмен немесе айтарлықтай бұлыңғырлық, фокустау, біркелкі емес жарық, шу және түс қанықтылығы болуы мүмкін. Алгоритм дәл, жылдам, масштабталатын және уақыт шектеулігі кезінде қолайлы нәтижені табу үшін оңай конфигурациялануы мүмкін. Біздің алгоритміміз ұялы телефон сияқты өңдеу мүмкіндігі шектеулі қол құрылғыларында нақты уақыт режимінде штрих-кодты таңу үшін пайдалы.

Түйін сөздер: штрих-кодтар, EAN13, белгілерді шығару, кескін сегментациясы, үлгіні таңу, анықтау.

T. Zh. Mazakov^{1,2}, Zh. S. Abilkaiyr²

Institute of Information and Computational Technologies CS MES RK, Almaty, Kazakhstan

² Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

BAR CODE RECOGNITION IN STRONG DISTORTED AND LOW-RESOLUTION IMAGES

Abstract: Almost all products and items that exist on the market today have a unique code or identifier associated with them. We call this special identifier a barcode. Barcode detection is very common and is a necessity today as it makes our job easier. You can simply scan the code and easily get all the product information.

Barcodes are still the prevalent machine-readable encoding mechanism for most products and services. At this stage of development, the barcode was quite common. Most items and products present in the household now have their own unique barcodes. They can be scanned and easily get all the necessary information, such as price, product details and description. There are even various apps available to scan the barcode through our phones. This is due to the high-quality pixel cameras that are present in all iPhones, android devices, or windows phones. Today, a wide range of portable devices for general use, such as mobile phones, come with an optical imaging system. Providing these general-purpose portable devices with barcode recognition is a cost-effective alternative to conventional barcode scanners. The equipment is available to billions of people. Combined with new services, this could revolutionize day-to-day shopping, including checking in-store prices, getting product information, accessing product reviews, finding similar products and services, and comparing prices locally.

Detecting barcodes in images captured by general-purpose portable devices is particularly challenging due to the limitations of the integrated imaging system and on-device processing capabilities. These devices often have lower quality lens systems and lower resolution imaging circuits when compared to dedicated digital cameras. The optical system is often not designed for shooting close to the lens, resulting in out-of-focus and poorly lit images with rich colors. These limitations often mean that using conventional threshold detection methods cannot create a suitable template for barcode recognition. These limitations need to be considered in an algorithm that can invariably be implemented on a wide variety of portable devices.

Barcode reading must be resistant to harsh conditions such as blur, noise, low resolution or low-quality camera lenses, which are very common. Surprisingly, even the most advanced barcode reading algorithms fail when some of these factors come into play.

In this article, we present a new approach to barcode image detection. Our algorithm is specially designed to recognize barcodes when an image may be of low resolution, low quality, or suffer from significant blur, defocus, uneven lighting, noise and color saturation. The algorithm is accurate, fast, scalable and can be easily configured to find a valid result within a time constraint. Our algorithm is useful for real-time barcode recognition on handheld devices with limited processing capabilities such as mobile phones.

Keywords: Barcodes, EAN13, feature extraction, image segmentation, pattern recognition, detection

Information about authors:

Mazakov Talgat Zhakupovich-Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Chief Researcher, Institute of Information and Computing Technologies, tmazakov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9345-5167>;

Abilkaiyr Zhaina Serzhankyzy-Master's student of Al-Farabi Kazakh National University, abilkhair.zhaina.98@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6748-428X>;

ЛИТЕРАТУРА

[1] Pavlidis T., Swartz J., and Wang Y. P. (1990), "Fundamentals of bar code information theory," *Computer*, vol. 23, no. 4, pp. 74-86.

[2] Ouaviani E., Pavan A., Bottazzi M., Brunelli E., Caselli F., and Guerrero M. (1999), "A common image processing framework for 2d barcode reading," in *Proc. Seventh Int. Conf on Image Processing and Its Applications (Conf Publ. No. 465)*, vol. 2, pp. 652-655.

[3] Joseph E. and Pavlidis T. (1994), "Bar code waveform recognition using peak locations," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 16, no. 6, pp. 630-640.

[4] "Waveform recognition with application to bar codes," in *Proc. IEEE Int. Conf on Systems, Man, and Cybernetics. Decision Aiding for Complex Systems, Conference Proceedings.*, vol. 1, pp. 129-134.

[5] Adelman R, Langheinrich M, Flörkemeier C(2006). A toolkit for bar-code recognition and resolving on camera phones—jump starting the internet of things. *Workshop Mobile and Embedded Interactive Systems (MEIS06) at Informatik*;[Google Scholar]

[6] Chai D, Hock F(2005). Locating and decoding EAN-13 barcodes from images captured by digital cameras. 1595–9. [Google Scholar]

[7] Krešić-Jurić S, Madej D, Santosa F(2006). Applications of hidden Markov models in bar code decoding. *Pattern Recognition Letters*;27(14):1665–1672. [Google Scholar]

[8] Muniz R, Junco L, Otero A(1999). A robust software barcode reader using the Hough transform. *Information Intelligence and Systems. Proceedings. 1999 International Conference*; pp. 313–319. [Google Scholar]

[9] Hahn H. I. and Joung J. K. (2002), "Implementation of algorithm to decode two-dimensional barcode PDF-417," in *Proc. IEEE 6th Int. Conf on Signal Processing*, vol. 2, pp. 1791- 1794.

[10] Tekin E., Coughlan J. (2009). A Bayesian algorithm for reading 1D barcodes. *Sixth Canadian Conference on Computer and Robot Vision*; [PMC free article] [PubMed] [Google Scholar]

[11] Tropf A., Chai D. (2006). Locating 1-D bar codes in DCT-domain. *2006 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing. ICASSP 2006 Proceedings*; [Google Scholar]