

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
Факультет прикладной математики и информатики
Кафедра информационных систем управления

ТУМАШИК ИГОРЬ АЛЕКСАНДРОВИЧ
ПОЛУТОНОВЫЕ МАТРИЧНЫЕ ШТРИХКОДЫ

Дипломная работа
студента 5 курса 2 группы

Руководитель:

Абламейко Сергей Владимирович
академик, профессор кафедры ИСУ,
доктор технических наук

МИНСК
БГУ
2013

АННОТАЦИЯ

Тумашик И. А. Полутоновые матричные штрихкоды: Дипломная работа / Минск: БГУ, 2013. — 10 с.

АНАТАЦЫЯ

Тумашык І. А. Паўтонавыя матрычныя штрыхкоды: Дыпломная работа / Мінск: БДУ, 2013. — 10 с.

ANNOTATION

Tumashyk I. A. Grayscale matrix barcodes: Dyploma / Minsk: BSU, 2013 — 10 p.

РЕФЕРАТ

Дипломная работа, 10 с., ? рис., ? источников.

Ключевые слова: ШТРИХКОД, МАТРИЧНЫЙ ШТРИХКОД, РАСПОЗНАВАНИЕ ОБРАЗОВ, ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ.

Объект исследования — матричные штрихкоды, полутоновые штрихкоды.

Цель работы — разработать спецификацию полутонового матричного штрихкода, предложить реализацию.

Методы исследования — методы прикладной математики и информатики, технология программирования.

Результат исследования — разработан полутоновый матричный штрихкод, представлена реализация.

Областью применения являются системы использующие автоматическую идентификацию объектов находящихся в прямой видимости.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1 ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ СТАНДАРТОВ ШТРИХКОДОВ	7
1.1 Линейный штрихкоды	7
1.2 Двумерные штрихкоды	7
1.2.1 Стековые штрихкоды	7
1.2.2 QR-код	8
1.2.3 Data Matrix	8
1.2.4 Aztec Code	10
1.3 Эффективность кода	14
2 ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ И РАСПОЗНАВАНИЯ ДВУМЕРНЫХ ШТРИХКОДОВ	15
2.1 Коды Рида-Соломона	15
2.2 Перспективные преобразования	15
2.3 Общий алгоритм распознавания двумерных штрихкодов	15
3 ПОЛУТОНОВЫЕ МАТРИЧНЫЕ ШТРИХКОДЫ: СПЕЦИФИКАЦИЯ, РЕАЛИЗАЦИЯ	16
3.1 Спецификация полутонowego матричного штрихкода	16
3.2 Пример реализации	16
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	17
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	18
ПРИЛОЖЕНИЕ А ДИАГРАММА КЛАССОВ	19
ПРИЛОЖЕНИЕ В ИСХОДНЫЙ КОД	19

Список иллюстраций

1	Штрихкод в формате EAN	7
2	Штрихкод в формате Code 128	7
3	Штрихкод в формате ITF-14	7
4	Штрихкод в формате PDF417	8
5	Штрихкод в формате QR-код	8
6	Пример декодирования QR-кода	9
7	Штрихкод в формате Data Matrix	9
8	Шаблон поиска в штрихкоде Data Matrix	9
9	Расположение байтов в Data Matrix	10
10	Штрихкод Data Matrix нанесённый методом иглографии	10
11	«Компактный» символ Axtec Code	12
12	«Полноразмерный» символ Axtec Code	12
13	Структура Aztec Code	13

Список таблиц

1	Таблица возможностей Data Matrix	11
2	Соотношения размеров символов и ёмкости Aztec Code	12

ВВЕДЕНИЕ

Уже давно вычислительная техника используется не только в прямом взаимодействии с другими цифровыми устройствами, но и с предметами, имеющими аналоговую природу. В частности, в этой работе пойдёт речь о применении ЭВМ для считывания графических данных, непосредственно предназначенных для этого, посредством устройств ввода изображений. Важным аспектом является как раз то, что рассматриваемые объекты специально спроектированы для распознавания их цифровыми устройствами. Среди них особое место занимают *штрихкоды*¹.

Одной из важнейших характеристик любого штрихкода является площадь занимаемая на рабочей поверхности. В то же время понятно, что невозможно бесконечно уменьшать размеры элементов кода (по условиям печати и качества распознавания). Вывод напрашивается сам собой: следует увеличить информативность наименьшего элемента кода, чтобы добиться уменьшения размера всего штрихкода. Логично использовать для этого градации яркости — от чёрного до белого (тон, всё-таки, очень зависит от освещённости). Будем такие коды называть *полутонными*. Ещё более реальной делают эту идею всё возрастающее мощности цифровых камер различных устройств. Вокруг этой простой задумки и построена данная работа. Кроме приведения спецификации полутонного кода, рассматриваются существующие разработки в этой области, проводится сравнение с существующими подходами (автору не известны другие штрихкоды построенные на этой идее), приводится реализация полутонного штрихкода.

¹ В настоящее время очень часто это слово пишут через дефис (см., например, «Википедию»). Однако, «Русский орфографический словарь: около 180 000 слов» под редакцией Лопатина В. В. [1] настаивает на слитном написании — *штрихкод*, в таком виде это слово и будет использовано в работе.

1 ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ СТАНДАРТОВ ШТРИХКОДОВ

Штрихкод (сокр. от «*штриховой код*», англ. «*bar code*») — графическая информация наносимая на поверхности предметов, предназначенная для обработки техническими средствами.

Выделяют две большие группы штрихкодов: *линейные* и *двухмерные*. В первом случае информационную нагрузку имеют только чередования участков различной яркости по одной из осей, во втором — по обеим.

1.1 ЛИНЕЙНЫЙ ШТРИХКОДЫ

Исторически, линейные штрихкоды появились первыми (50–70-ые годы XX века). Коды этой группы не отличаются особым разнообразием — чередование чёрных и белых полос, кодирующие цифры либо буквы. Вместе с тем, линейные коды наносятся практически на все товары (Рисунок 1), распространяемые в розницу (формат EAN — European Article Number), и потому наиболее широко распространены. Другие примеры рисунки 2, 3.

В этой работе мы не будем рассматривать линейные штрихкоды.



Рисунок 1 – Штрихкод в формате EAN



Рисунок 2 – Штрихкод в формате Code 128



Рисунок 3 – Штрихкод в формате ITF-14

1.2 ДВУМЕРНЫЕ ШТРИХКОДЫ

Как уже отмечалось, в двумерных штрихкодах информация кодируется по обеим осям. Выделяются два вида двумерных кодов: *стековые* и *матричные*.

1.2.1 Стековые штрихкоды

Стековые штрихкоды являются, в некоторой мере, переходным вариантом между линейными и двухмерными. Они представляю собой строки расположенные одна под одной. Каждая строка есть ни что иное, как одномерный штрихкод.

Несмотря на свою простоту, данный тип штрихкодов позволяет хранить значительные объёмы данных. Например, штрикод формата PDF417 (см. Рисунок 4) может содержать до 2710 знаков. Стековые штрихкоды также не является объектом рассмотрения данной работы.



Рисунок 4 – Штрихкод в формате PDF417

1.2.2 QR-код

Ниже будет приведено краткое описание QR-кода. Полное описание можно найти в спецификации ISO/IEC 18004:2006 [2].

QR-код представляет собой квадратную матрицу размером от 21×21 до 170×170 барселей. Технически выделяют от 1 (21×21) до 40 (170×170) версии кода (т.е. шаг равен 4).

Каждый барсель есть некоторый аналог бита при представлении информации в электронном виде. Среди этих барселей можно выделить следующие (Рисунок 5): *информационные* — содержат непосредственно данные, *корректирующие* — для исправления ошибок (используются коды Рида-Соломона (см. 2.1)), *заполняющие* — дополняют до правильно квадрата, *поисковые шаблоны* — служат для локации кода при распознавании (хорошо заметные квадраты по углам кода, а также чередующие чёрные и белые барсели чуть ниже них), *форматные* — содержат информацию о структуре кода (в QR-коде расположены по периметру поисковых шаблонов). Дополнительно смотрите Рисунок 6



Рисунок 5 – Штрихкод в формате QR-код

В одном коде можно сохранить до 7084 цифр, либо до 4296 цифр и символов, либо до 2953 байт произвольных данных, либо до 1817 иероглифов Канджи.

Дополнительно фиксируется уровень коррекции ошибок *L*, *M*, *Q*, *H*, что позволяет восстановить до 7%, 15%, 25%, 30% данных соответственно. Рекомендуются использовать уровень *M*.

При распечатке требуется обеспечить белые поля толщиной не менее четырёх барселей.

1.2.3 Data Matrix

Data Matrix — двумерный штрихкод (описывается стандартом ГОСТ Р ИСО/МЭК 16022–2008, аналогом ISO/IEC 16022:2006 [3]), позволяющий закодировать до 2335 алфавитно-цифровых символов, либо до 3116 цифр, либо до 1556 байтов информации (см. Рисунок 7). Data Matrix, как и все другие подобные штрихкоды, содержит информацию для восстановления, которая позволяет восстановить закодированную информацию при частичном повреждении кода.

Каждый код Data Matrix содержит две сплошные пересекающиеся линии в виде буквы L, для ориентации считывающего устройства, две другие границы кода состоят из перемежающихся чёрных и белых точек и служат для указания размеров кода считывающему

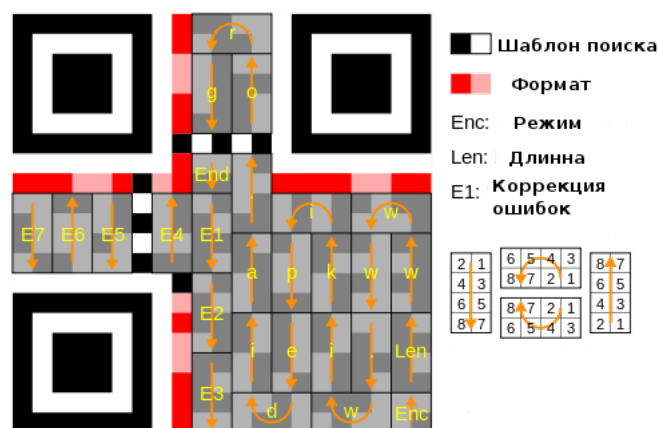


Рисунок 6 – Пример декодирования QR-кода



Рисунок 7 – Штрихкод в формате Data Matrix

устройству (см. Рисунок 8). Размер кода может быть от 10×10 до 144×144 барселей (существуют также прямоугольные версии для цилиндрических поверхностей). Дополнительно можно объединять до 16 кодов в один большой символ. На рисунке 9 показано, как размещаются байты в штрихкоде.

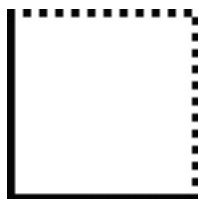


Рисунок 8 – Шаблон поиска в штрихкоде Data Matrix

Все коды используют коррекцию ошибок стандарта ECC200, который, в свою очередь, использует алгоритм Рида-Соломона для кодирования/декодирования данных. Это позволяет восстановить в случае повреждения кода до 30% полезной информации.

В промышленности Data Matrix применяют для маркировки различных элементов. Код может быть нанесён различными способами — струйной печатью, гравировкой, лазером, электролитическими способами и т.д. В зависимости от метода нанесения, код может оставаться на элементе на протяжении всего его цикла использования (Рисунок 10).

Основным положительным отличием Data Matrix от остальных двухмерных штрихкодов является то, что Data Matrix работает максимально быстро и небольшие объёмы данных осуществляются на минимальных площадях. Так, если кодировать 6 цифр, Data Matrix составит штрих-код размером 10×10 модулей, а вот если кодировать в Aztec, то эта площадь будет составлять 15×15 модулей. Но в то же время, данное преимущество теряется в процессе кодирования большого объёма информации: при одинаковых размерах символа в 132×132 модуля, Aztec закодирует почти 3000 цифр, а Data Matrix максимум 2608. И при кодировании

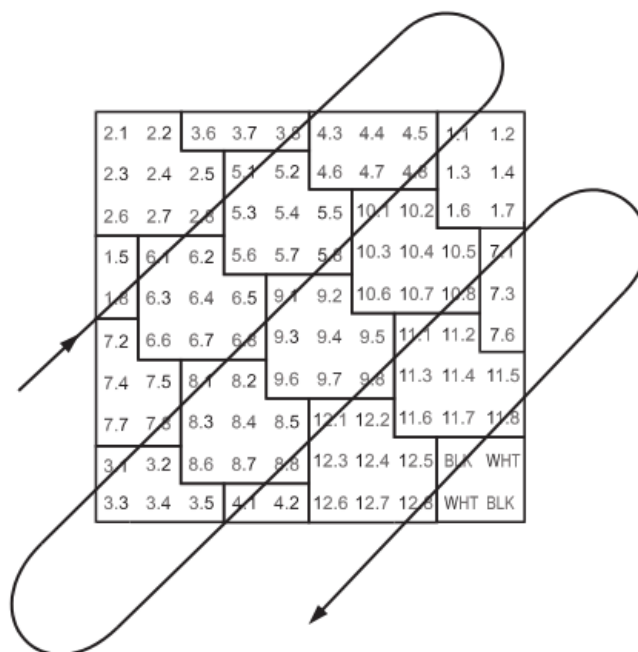


Рисунок 9 – Расположение байтов в Data Matrix



Рисунок 10 – Штрихкод Data Matrix нанесённый методом иглографии

нии буквенно-цифровых данных в 10 символов, штрих-код Data Matrix занимает одинаковую площадь с Aztec. Чем же объясняется столь успешное кодирование малых пользовательских данных? Прежде всего, малым количеством служебной информации в составляемом коде, экономия производится за счёт размеров и структуры данных штрих-кода, таким образом надёжность считывания несколько падает. Также, Data Matrix имеет ещё один недостаток — рост размера шаблона поиска символов увеличивается прямо пропорционально самому периметру символа, таким образом, становится невыгодным кодирование больших объёмов данных, у Aztec же шаблон поиска не изменяется.

1.2.4 Aztec Code

Aztec Code представляет собой универсальную символику двухмерного штрихового кода. Как показано на рисунках 11 и 12, код представляет собой квадрат, содержащий матрицу квадратных элементов, в центре которой располагается «мишень» («bullseye²»), составленная из концентрических квадратов. Aztec позволяет эффективно кодировать как малые, так и большие объёмы данных (цифры — до 3832, текст — до 3067 или байты — до 1914) с использованием высокоэффективного метода Рида-Соломона коррекции ошибок (см. 2.1). Код

²Т.е. «бычий глаз»

Таблица 1 – Таблица возможностей Data Matrix

Размер Ширина × Высота	Количество кодируемой информации		
	Шифры	Символы	Байты
10 × 10	6	3	1
12 × 12	10	6	3
14 × 14	16	10	6
16 × 16	24	16	10
18 × 18	36	25	16
20 × 20	44	31	20
22 × 22	60	43	28
24 × 24	72	52	34
26 × 26	88	64	42
32 × 32	124	91	60
40 × 40	228	169	112
44 × 44	288	214	142
48 × 48	348	259	172
52 × 52	408	304	202
64 × 64	560	418	278
72 × 72	736	550	366
80 × 80	912	682	454
88 × 88	1152	862	574
96 × 96	1392	1042	694
104 × 104	1632	1222	814
120 × 120	2100	1573	1048
132 × 132	2608	1954	1302
144 × 144	3116	2335	1556
8 × 18	10	6	3
8 × 32	20	13	8
12 × 26	32	22	14
12 × 36	44	31	20
16 × 36	64	46	30
16 × 48	98	72	47

Aztec разработан специалистами фирмы HandHeld Products (Andy Longacre и Rob Hussey) и защищен патентом, но частично выпущен для общего использования. Международная Спецификация Символики для кода Aztec утверждена AIM USA в формате ISO и доступна через филиалы AIM.

Квадратная «мишень», окружённая «слоями данных», сплетенными с решеткой «элементов привязк», расположенной по периметру квадрата, дают в результате изображения ассоциирующееся с искусством Центральной Америки, что и подсказало имя «Aztec Code» для символики.

Основные изменения в структуре кода и коррекции ошибок появились в Версии 2.0 спецификации в июне 1995 года, но основная конструкция кода осталась неизменной, выдержав процесс отладки считывающих устройств, пробные внедрения и даже критический анализ, проведённый Техническим Комитетом (Technical Symbology Committee) AIM USA без изменений. Международная спецификация Aztec Code опубликована AIM International в 1997 году.

Существуют два основных формата символа Aztec Code: «Compact» (Компактный) сим-



Рисунок 11 – «Компактный» символ Aztec Code



Рисунок 12 – «Полноразмерный» символ Aztec Code

вол с мишенью из двух квадратов (Рисунок 11) и «Full-Range» (Полный) символ с мишенью из трёх квадратов (Рисунок 12). Поскольку принтеры могут автоматически выбирать, а сканеры автоматически распознавать оба формата, вместе два формата образуют последовательность из символов 33 различных размеров, которые могут эффективно кодировать как малые, так и большие сообщения. В общем, символы Aztec Code:

1. могут кодировать любую байтовую последовательность в эффективных компактных режимах для текстовых и цифровых данных;
2. всегда квадратной формы, изменяясь в размерах от 15×15 модулей до 151×151 модулей. Свободной зоны вокруг символа не требуется вообще. Таблица 2 показывает информационную ёмкость некоторых размеров кода;
3. может быть использован в структурном объединении, соединяющем до 26 символов;
4. имеет специальный формат настройки сканера, удобный для настройки сканера с помощью штрихкода.

Таблица 2 – Соотношения размеров символов и ёмкости Aztec Code

# of Data Layers	Symbol Size (H x W, in X)	Symbol Data Capacities		
		Digits	Text	Bytes
1 *	15 x 15	13	12	6
4 *	27 x 27	110	89	53
7	45 x 45	294	236	145
11	61 x 61	601	482	298
15	79 x 79	1008	808	502
20	101 x 101	1653	1324	824
26	125 x 125	2632	2107	1314
32 **	151 x 151	3832	3067	1914
* indicates Compact symbols; the rest are Full-Range.				
** exceeds the resolution capability of current readers.				

Вид символа Aztec Code очень систематичен с чётко разграниченными функциями частей, обеспечивает простоту процедур кодирования и декодирования, в то же время его математическая структура необычайно гибка и надёжна.

Рисунок 13 показывает структуру полного символа Aztec Code. Вы можете увидеть три постоянных элемента:

1. центральный указатель «мишень»;
2. элементы ориентации по углам указателя;
3. решётка привязки, пронизывающая область данных.

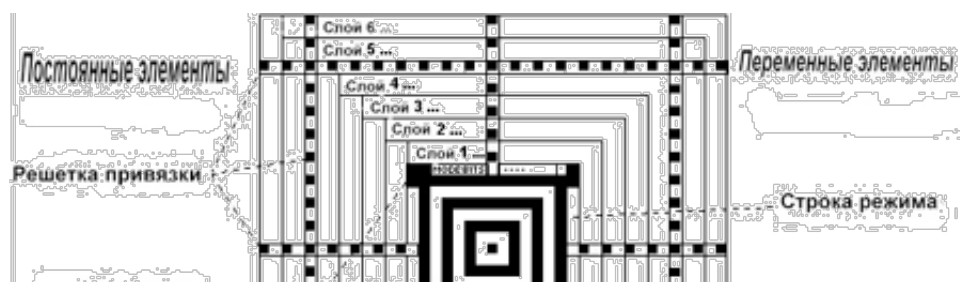


Рисунок 13 – Структура Aztec Code

Два переменных элемента структуры³

1. строка короткого режима, обернутая вокруг «мишени»;
2. от одного до 32 слоев данных толщиной в 2 барселя, спиралью расходящихся от центра.

Строка короткого режима и слои данных закодированы с защитой от ошибок по методу Рида-Соломона. Строка режима — это строка фиксированной длины, которая просто кодирует два параметра, несущие информацию о слоях данных, а именно: сколько слоев данных содержит данный символ и сколько слов содержится в сообщении (остаток места в области данных заполняется контрольными словами). Таким образом, уровень коррекции ошибок в Aztec Code становится регулируемым по указанию пользователя, и в принципе, слои данных могут содержать от 5% до 95 % контрольных слов, но на практике обычно нецелесообразно изменять стандартное значение в 23% контрольных слов.

Слои данных, конечно, содержат последовательность кодовых слов, которые сперва кодируют пользовательские данные, затем добавляют к ним выявление и коррекцию ошибок. Защита от ошибок, кроме того, регулируемая пользователем и использующая дополнительные контрольные слова для заполнения, дополнительно усилена двумя путями: во-первых, размер кодового слова зависит от размера символа, от 6 бит для наименьших символов до 12 бит для наибольших, исключая необходимость чередующихся полей и обеспечивая хорошую зернистость для всех размеров символов. Во-вторых, слова сообщения, занимающие внешние слои символа, поддерживают чистовую коррекцию ошибок в стёртых углах символа.

В результате представленного рассмотрения технологии становятся понятными некоторые особенности Aztec Code:

1. Слоёная природа полей данных обеспечивает целостность символов 33 различных размеров и информационной ёмкости.
2. Указатель в виде мишени обеспечивает считывание при большом изменении угла сканирования.
3. Элементы ориентации дают возможность считывания при любой ориентации символа, включая зеркальное отражение.
4. Решётка привязки позволяет учитывать существенные искривления больших символов.
5. Декодирование от центра к краю исключает необходимость полей (свободной зоны) вокруг символа.
6. Надёжный управляемый пользователем механизм коррекции ошибок по методу Рида-Соломона обеспечивает высокую производительность и надёжную защиту от ошибок.

³Компактный символ Aztec Code содержит маленькую мишень без решётки привязки и только 4 слоя данных.

7. Расположение полей, устойчивых к появлению ошибок и повреждений, по краям символа, компенсирует влияние оптических искажений, возникающих по краям зоны сканирования.

Aztec Code представляет собой универсальную символику матричного штрихового кода, хорошо приспособленную для визуальной технологии считывания и для кодирования как малых, так и больших объёмов данных. Aztec Code интересен для применений, требующих размещения кода на ограниченном пространстве (производство, коммерция, медицина, фармацевтика и т.д.), поскольку код обеспечивает высокую плотность размещения информации и не требует свободного пространства вокруг кода. Некоторые почтовые ведомства рассматривают возможность использования Aztec Code в качестве «электронного штампа» почтового отправления, в то же время электронное кодирование подписи с помощью Aztec привлекло внимание некоторых транспортных компаний.

1.3 ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОДА

Эффективностью штрихкода C назовём величину

$$\theta_C(b, q) = \frac{b}{d(b, q)}, \quad (1)$$

где $d(b, q)$ — число барселей, которые необходимы для того, чтобы зашифровать сообщение длиной b бит при конфигурации кода q (отражает уровень коррекции ошибок и т.д.).

Другими словами, эффективность кода отражает число бит полезной информации которое несёт в себе каждый барсель рассматриваемого кода C .

Предельной эффективностью кода назовём величину

$$\Theta_C(q) = \lim_{b \rightarrow \infty} \theta_C(b, q). \quad (2)$$

Для рассмотренных выше кодов имеет место (принимая во внимание, что коды чёрно-белые, а значит один барсель — один бит):

$$d(b, q) = b + 2\lceil bg(q) \rceil + f(b, q) + s(b, q),$$

где $g(q)$ — текущий уровень коррекции ошибок (везде используется коды Рида-Соломона, поэтому на исправление одной ошибки требуется два дополнительных символа (см. 2.1)), $f(b, q)$ — свободное место в матрице, $s(b, q)$ — служебная информация в коде⁴. Принимая во внимание тот факт, что $f(b, q) = o(b)$, а также $f(b, q) = o(b)$ (действительно, в рассматриваемых кодах информация записывается таким образом, что свободное место минимизируется; а служебные данные с возрастанием информации практически не возрастают) имеем⁵

$$\Theta_C(q) = \lim_{b \rightarrow \infty} \frac{b}{b + 2\lceil bg(q) \rceil + o(b)} = \frac{1}{1 + 2g(q)}. \quad (4)$$

⁴В случае, когда каждый барсель может находиться в более чем двух состояниях k будем иметь:

$$d(b, q) = \frac{b + 2\lceil bg(q) \rceil}{\log_2 k} + f(b, q) + s(b, q),$$

⁵Соответственно, для случая, описанного в предыдущем примечании:

$$\Theta_C(q) = \frac{\log_2 k}{1 + 2g(q)}. \quad (3)$$

2 ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ И РАСПОЗНАВАНИЯ ДВУМЕРНЫХ ШТРИХКОДОВ

2.1 Коды Рида-Соломона

2.2 ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

2.3 ОБЩИЙ АЛГОРИТМ РАСПОЗНАВАНИЯ ДВУМЕРНЫХ ШТРИХКОДОВ

3 ПОЛУТОНОВЫЕ МАТРИЧНЫЕ ШТРИХКОДЫ: СПЕЦИФИКАЦИЯ, РЕАЛИЗАЦИЯ

3.1 СПЕЦИФИКАЦИЯ ПОЛУТОНОВОГО МАТРИЧНОГО ШТРИХКОДА

3.2 ПРИМЕР РЕАЛИЗАЦИИ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- [1] *Лопатин В. В. и др.* Русский орфографический словарь: около 180 000 слов / Иванова О. Е., Лопатин В. В., Нечаева И. В., Чельцова Л. К. Отв. ред. В. В. Лопатин. — 2-е изд., испр. и доп. — М.: Институт русского языка имени В. В. Виноградова РАН, 2004. — 960 с.
- [2] ISO/IEC 18004:2006. Information technology – Automatic identification and data capture techniques – QR Code 2005 bar code symbology specification. — 2 edition (Monolingual). — 114 p.
- [3] ГОСТ Р ИСО/МЭК 16022 — 2008. Автоматическая идентификация. Кодирование штриховое. Спецификация символики Data Matrix. ISO/IEC 16022:2006. Information technology – Automatic identification and data capture techniques – Data Matrix bar code symbology specification (IDN). — М., 2009 — 125 с.

А ДИАГРАММА КЛАССОВ

В ИСХОДНЫЙ КОД