

УДК 621.397.13

## МНОГОКАНАЛЬНЫЙ ОРГАНИЧЕСКИЙ СВЕТОИЗЛУЧАЮЩИЙ RGB ДИОД, КАК ЭЛЕМЕНТ ТРОИЧНОЙ ЛОГИКИ

А. М. Бобрешов, А. Г. Кошелев, Е. В. Золотухин

*Воронежский государственный университет*

Поступила в редакцию 30.04.2016 г.

**Аннотация.** В работе приведено краткое описание преимущества троичной системы счисления по сравнению с двоичной. Представлено сравнение двоичных и троичных цифровых устройств на примере преобразования аналогового сигнала в цифровой код. Предложен метод цветовой кодировки видеоинформации с использованием троичного кода, где логическим уровням троичного сигнала соответствуют базовые цвета аддитивной модели. Представлена упрощенная конструкция нового троичного логического элемента на основе многоканального органического светодиода, способного эффективно работать с цветовым троичным кодом. Приведен пример применения троичного кодирования изображения в стандарте JPEG, обеспечивающее восьмикратное увеличение скорости передачи видеоинформации.

**Ключевые слова:** троичный код, трит, троичная логика, воксел, троичное логическое устройство.

## MULTICHANNEL ORGANIC LIGHT EMITTING RGB DIODE, AS TERNARY LOGIC ELEMENT

A. M. Bobreshov, A. G. Koshelev, E. V. Zolotukhin

**Abstract.** This paper provides a brief description of the advantages of the ternary numeral system in comparison with the binary. A comparison of binary and ternary digital devices on the example of converting an analog signal into a digital code is presented. A method of color-coding of video information using a ternary code, where the logic level signal corresponds to the threefold basic colors of the additive model is offered. A simplified design of the new ternary logic element on the basis of multi-channel organic LED is designed. This element is able to work effectively with a color ternary code. An example of ternary coding of images in the JPEG standard, providing an eight-fold increase in the rate of video-transmission, is presented.

**Keywords:** ternary code, trit, ternary logic, voxel, ternary logic element.

## ВВЕДЕНИЕ

Переход к цифровым методам и устройствам обработки, хранения и передачи видеoinформации, обусловленный, прежде всего, прогрессом в области создания новых технологий производства высокоэффективных изделий электронной техники, позволил значительно улучшить качество воспроизводимого изображения, увеличить число телевизионных программ, расширить диапазон исследований в области создания телевизоров и дисплеев нового поколения, включая трехмерные.

Однако наряду с повышением технико-экономических характеристик вышеупомянутых устройств существенно возрос и объем обрабатываемой и передаваемой ими информации. Например, для обработки и передачи трехмерных изображений, содержащих в глубину экрана сотни слайсов (слоев или кадров), использование традиционной двоичной системы счисления, становится малоэффективным. Поэтому, ежегодно проводимые под эгидой IEEE тематические симпозиумы (IEEE Symposium on Multiple Valued Logic) подтверждают внимание специалистов к разработкам на основе других систем счисления, включая троичную систему.

Анализ опубликованных материалов позволяет утверждать, что основные усилия на сегодняшний день сосредоточены в части построения алгоритмов обработки данных на основе троичной логики, тем более, что её применение предполагается учитывать при создании квантового компьютера.

Эта целесообразность исходит из того, что согласно теории [1, 2], наибольшей удельной плотностью записи информации обладает система счисления с основанием равным основанию натуральных логарифмов, то есть равным числу Эйлера ( $e = 2,71\dots$ ). В ней также приведено доказательство теоремы о представлении некоторого числа  $n$  минимальным набором символов в определенной системе счисления. С математической точки зрения доказательство сводится к поиску экстремума функции

$$f(x) = x^{\frac{n}{x}}, \quad (1)$$

где  $n$  представляется минимальным набором символов в определенной системе счисления.

На рис. 1 приведен график этой функции для  $n = 8$ . Из него следует, что из целочисленных систем счисления наибольшей плотностью записи информации обладает троичная система счисления. Поэтому при одинаковом числе аппаратных элементов — инверторов, троичные ЭВМ (компьютеры) имеют большую удельную ёмкость памяти и большую удельную производительность процессора, чем двоичные компьютеры. Так, опираясь на данное утверждение, ученым МГУ Н. П. Брусенцовым, в 60-х годах прошлого века был разработан первый в мире уникальный троичный компьютер [3].

$$\frac{df(x)}{dx} = n \cdot x^{\frac{n}{x}-2} \cdot [1 - \ln(x)] = 0$$

$$\ln x = 1 \Rightarrow x = e$$

Основные характеристики, определяющие ценность троичного кода и трехзначной логики по сравнению с двоичной логикой следующие [4]:

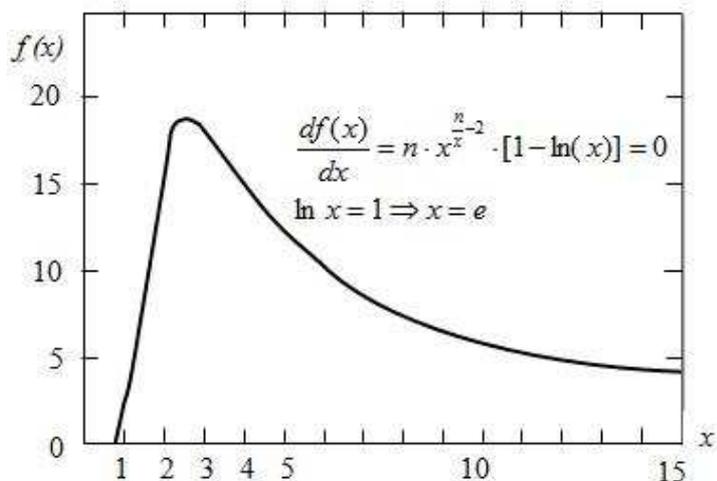


Рис. 1. Функция, характеризующая компактность систем счисления по основанию  $x$

- Естественное представление чисел со знаком, т.е. отсутствие приемов типа прямого, обратного, дополнительного кода.
- Отсутствие специального знакового бита.
- Сравнение значений чисел без учета знаков.
- Уменьшение времени для команды ветвления по знаку.
- Усечение длины числа равносильно правильному округлению.
- Троичный счетчик является реверсивным.
- Трехуровневый сигнал более устойчив к воздействию помех в линии передачи.

Таким образом, троичное кодирование целесообразно использовать в системах приема и передачи информации, например для кодирования сигнала изображения так как, весь его спектр формируется с помощью трех основных базовых цветов – красного, зеленого и синего [5], [6].

Преимущество троичного представления данных по сравнению с двоичным можно показать на примере преобразования аналогового сигнала в цифровой код. Для этого рассмотрим и сравним динамический диапазон троичного и двоичного аналого-цифровых преобразователей (АЦП) [5].

Интервал квантования определяется как:

$$\Delta_2 = \frac{U_{\text{оп}}}{2^N - 1}, \Delta_3 = \frac{U_{\text{оп}}}{3^N - 1} \quad (2)$$

Для двоичного и для троичного АЦП, соответственно, где  $U_{\text{оп}}$  — опорное напряжение,  $N$  — разрядность АЦП. Мощности шума квантования соответственно для двоичного и для троичного АЦП имеют вид:

$$\bar{U}_2^2 = \frac{\Delta_2^2}{12}, \quad \bar{U}_3^2 = \frac{\Delta_3^2}{12} \quad (3)$$

Среднеквадратичный шум троичного АЦП на основе формул (2) и (3) определяется как:

$$\sqrt{\bar{U}_3^2} = \frac{\Delta_2(2^N - 1)}{2\sqrt{3}(3^N - 1)}. \quad (4)$$

Максимальный сигнал для троичного АЦП есть:

$$U_{3\text{max}} = \frac{3^{N-1}\Delta_3}{\sqrt{2}} = \frac{3^{N-1}\Delta_2(2^N - 1)}{(3^N - 1)}. \quad (5)$$

На основании соотношений (4) и (5) динамический диапазон троичного АЦП можно оценить, как:

$$DD_3 = 3^{N-1}\sqrt{6} = 3^N\sqrt{2/3},$$

что в логарифмической шкале записывается в виде:

$$DD_3 = 9,54N - 1,76 \text{ [дБ]}. \quad (6)$$

Для динамического диапазона двоичного АЦП справедливо известное соотношение:

$$DD_2 = 6,02N - 1,76 \text{ [дБ]}. \quad (7)$$

На основании (6) и (7) можно сделать вывод: для представления данных с одинаковой точностью требуется в 1,58 раза меньше троичных разрядов, чем двоичных. Снижение числа разрядов в устройстве последовательного действия за счет троичного представления данных приводит к уменьшению времени выполнения операций примерно в 1,5 раза по сравнению с двоичным кодированием, что, например, в случае матричного умножителя, обусловлено уменьшением числа последовательных сложений.

Минимальная единица информации в троичной системе счисления получила название трит. Значения трита могут быть различны, например: 0,1,2 либо  $-1,0,+1$ .

Как известно, оценка качества изображения в цифровом телевидении определяется четкостью изображения (разрешением), связанной с частотой дискретизации и количеством дискретных значений (уровней квантования) относительно входного сигнала, подаваемого на вход АЦП. Иными словами разрешение АЦП — минимальное изменение величины аналогового сигнала, которое может быть преобразовано данным АЦП, что связано с его разрядностью. В случае единичного измерения без учёта шумов разрешение напрямую определяется разрядностью АЦП. Если различие соседних уровней входного сигнала становится невозможным, то разрешение ухудшается. При этом реально достижимое разрешение описывается эффективной разрядностью (effective number of bits — ENOB), которая меньше, чем реальная разрядность АЦП. При преобразовании сильно зашумленного сигнала младшие разряды выходного кода практически бесполезны, так как содержат шум.

Таким образом, разрядность АЦП характеризует количество дискретных значений, которые преобразователь может выдать на выходе. На вход двоичных АЦП данные поступают в виде битов информации, а на входе троичной АЦП данные уже будут в виде тритов. В таблице 1 приведены характеристики двоичных и троичных АЦП.

Таблица 1. Сравнение троичных и двоичных АЦП

	Разрядность	Количество дискретных значений	Диапазон входных значений	Разрешение по напряжению, В (шаг квантования)
Двоичное АЦП	8 бит	$2^8 = 256$ (0...255)	(0-1)В	0,039
Троичное АЦП	8 трит	$3^8 = 6561$ (0...6560)	(0-1)В	$1,5 \times 10^{-4}$
Троичное АЦП	5 трит	$3^5 = 243$ (0...242)	(0-1)В	0,043

## УСТРОЙСТВА ТРОИЧНОЙ ЛОГИКИ НА ОСНОВЕ МНОГОКАНАЛЬНОГО RGB СВЕТОДИОДА

Одной из проблем троичного кодирования является то, что большая часть элементов троичной логики является адаптацией элементов бинарной логики. В связи с этим в данной статье была предпринята попытка разработать троичный элемент, который работал бы непосредственно с трехуровневым сигналом. В качестве такого троичного элемента был использован многоканальный органический светоизлучающий RGB диод (воксел) в разрезе (Рис. 2) [7].

По принципу образования цветов в телевидении и компьютерной графике выделяют две большие группы (модели): *аддитивную* (RGB) и *субтрактивную* (CMY).

Модель RGB (*Red* — красный, *Green* — зеленый, *Blue* — синий) описывает излучаемые цвета. Модель CMY (*Cyan* — голубой, *Magenta* — пурпурный, *Yellow* — желтый) описывает отраженные цвета.

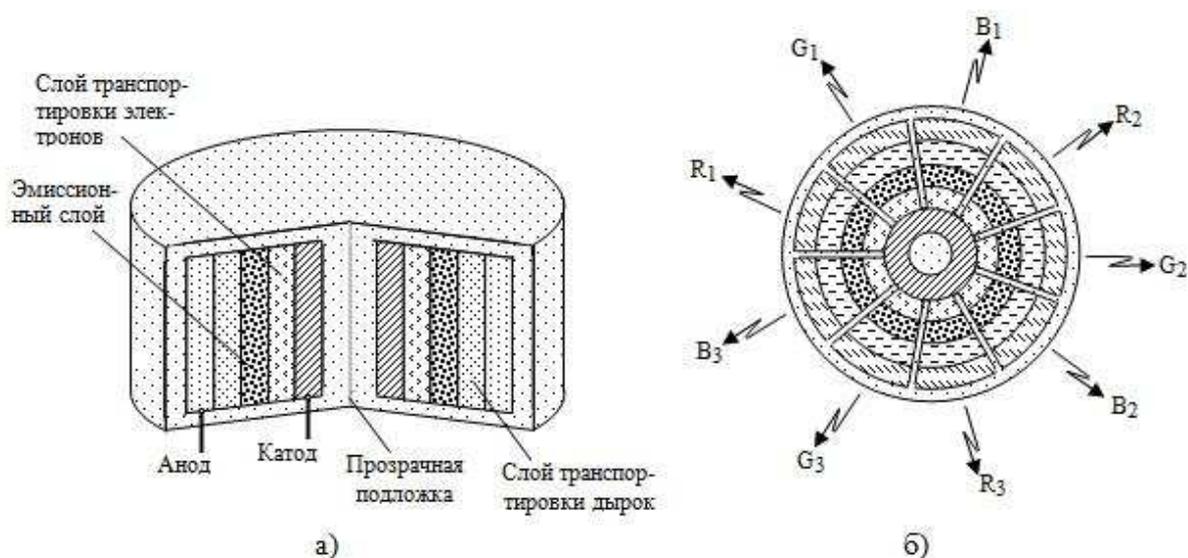


Рис. 2. Упрощенная конструкция многоканального органического RGB вокселя в разрезе

Так как в нашей работе в качестве формирования цвета используется светоизлучающий диод, то будем рассматривать модель RGB. Базовыми компонентами такой модели являются три цвета излучений - красный, зеленый, синий. Каждому базовому цвету присваивается соответствующий тритовый символ, например, красному – (1), зеленому – (0), синему (-1) (Таблица 2).

Рассмотрим блок-схему и принцип действия элемента троичной логики. В качестве основы возьмем логическую операцию “И” (Таблица 3).

Таблица 2. Вариант кодировки цветов с помощью троичной логики

Цвет	Обозначение	Кодировка
Синий	B	0
Зеленый	G	1
Красный	R	2

Таблица 3. Таблица истинности для троичного логического умножения

$X \wedge Y$	0	1	2
0	0	0	0
1	0	1	1
2	0	1	2

Если сопоставить результаты выполнения логической функции “И” с цветовой кодировкой сигналов, то можно заметить, что в результате логического умножения двух сигналов получается сигнал, которому соответствует цвет с меньшей длиной волны. Таким образом, троичный логический элемент будет работать следующим образом: на два канала многоканального светодиода приходят сигналы, которые затем попадают на фильтр, пропускающий сигнал с большей частотой. Сигнал на выходе фильтра и будет результатом выполнения операции логического умножения. Упрощенная функциональная схема устройства представлена на Рис. 3.

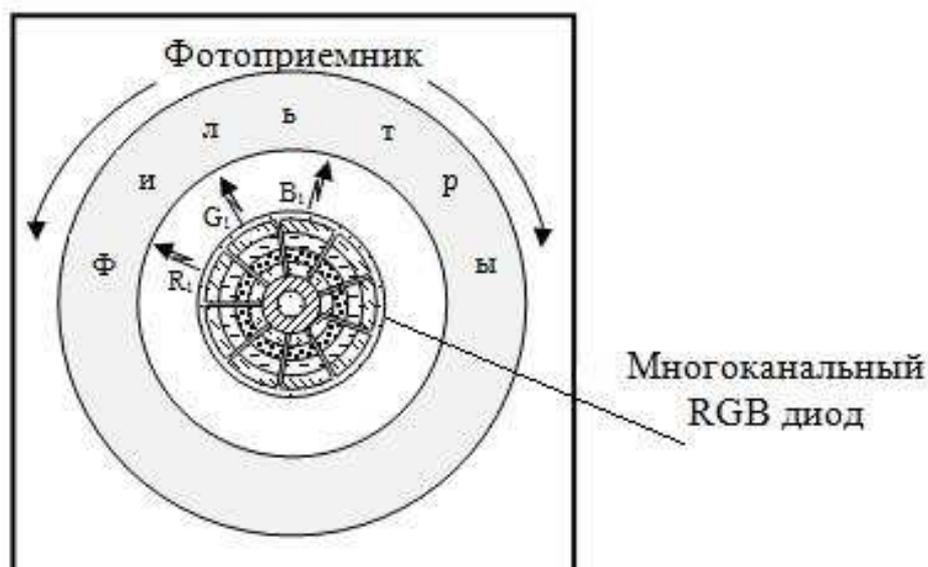


Рис. 3. Функциональная схема логического троичного элемента “И” на основе многоканального RGB-воксела

## ВАРИАНТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТРОИЧНОГО КОДИРОВАНИЯ

В предыдущем разделе была предложена цветовая кодировка троичного сигнала. Однако остается открытым вопрос об устройстве, которое позволит передавать троичный код, закодированный цветом. Такой троичный передатчик можно построить на устройстве передачи информации, основанном на объемном многоканальном RGB светоизлучающем диоде (вокселе) [7], способном излучать одновременно наборы красного (R), зеленого (G) и синего (B) излучения.

Рассмотрим работу этого передатчика на примере кодирования изображения по стандарту JPEG. Данный стандарт относится к методам сжатия изображений с потерями и используется в основном при записи неподвижных изображений с целью экономии объема запоминающих устройств.

Последовательность операций при кодировании, поясняемая структурной схемой на рис. 4, включает:

- разбиение изображения на блоки 8x8 пикселей;
- выполнение быстрого ДКП (БДКП) в каждом блоке;
- квантование полученных коэффициентов ДКП с использованием таблицы коэффициентов квантования (таблица Q);
- энтропийное кодирование квантованных коэффициентов ДКП каждого блока изображения.

При этом развертка каждого блока 8x8 происходит построчно – слева направо и сверху вниз.

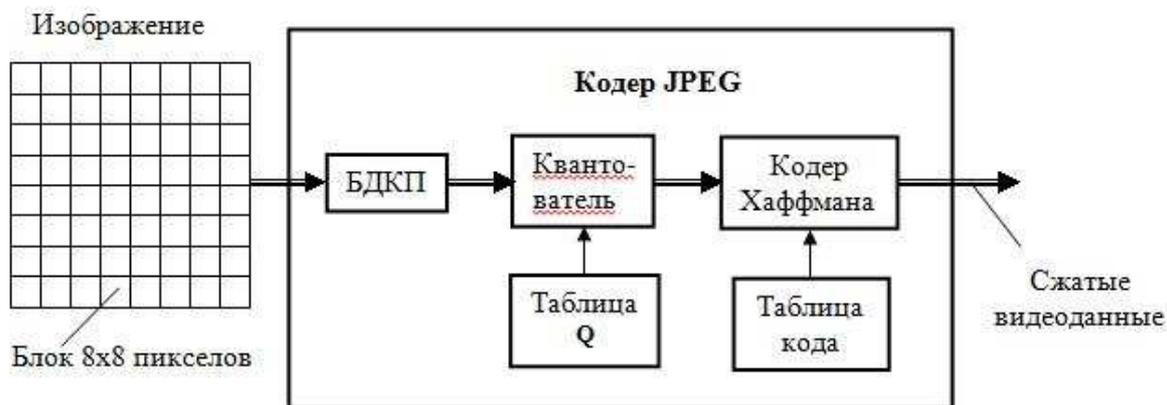


Рис. 4. Структурная схема кодирования по стандарту JPEG

Последняя операция выполняется кодером Хаффмана с использованием таблицы кодирования (таблица кодов). Вместо кодера Хаффмана может использоваться арифметический кодер.

В соответствии с данным стандартом блок 8x8 пикселей развертывается построчно. Цветное изображение представляется в формате RGB, когда для каждого пикселя задаются значения трех цветов. В этом случае каждый блок 8x8 пикселей представляется тремя блоками 8x8 чисел, и каждый из них развертывается построчно [8]. Соответственно повышается время передачи информации об изображении. За счет многоканальности воксела и троичного кодирования можно не только передавать одновременно все цвета для каждого пикселя, но можно также заменить построчную развертку одновременной разверткой сразу всех восьми строк из восьми пикселей. Каждый сегмент воксела будет отвечать за конкретный пиксел в соответствующей строке блока. Это позволит существенно сократить время, требуемое для передачи изображения.

На рис. 5 показан в упрощенном виде в разрезе многоканальный RGB воксел, содержащий по 8 RGB сегментов направленных равномерно по окружности к соответствующим фотоприемникам, преобразующим свет определенного цвета и интенсивности в электрический сигнал.

Далее производится троичная кодировка сигналов в соответствии с определенными цветами, например, для красного цвета (R) – (-1), для зеленого цвета (G) – (0), для синего цвета (B) – (+1). Затем каждый кодированный сигнал подается на вход соответствующего кодера, например, кодера JPEG. Причем, все кодированные сигналы подаются на соответствующие кодеры одновременно (Рис.6).

Таким образом, скорость развертки блоков кадра возрастает в 8 раз.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исходя из полученных выше результатов анализа многоканального органического светодиода кругового RGB излучения, а также целесообразности использования цветового кодирования троичного сигнала с помощью трех основных базовых цветов – красного, зеленого и синего, можно заключить следующее.

Конструктивно-технологические и выходные электрические характеристики многоканального органического светодиода кругового RGB излучения (его многоканальность и круговое одновременное излучение разных длин световых волн в заданной последовательности), позволяют:

Применять его для создания логических элементов на базе троичной логики.

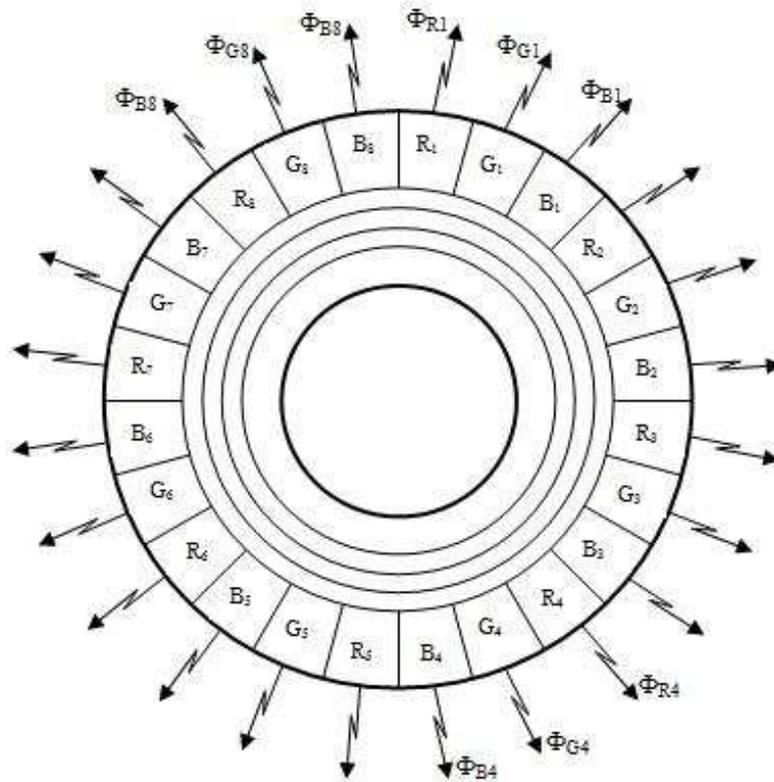


Рис. 5. Упрощенный вид сверху многоканального RGB вокселя

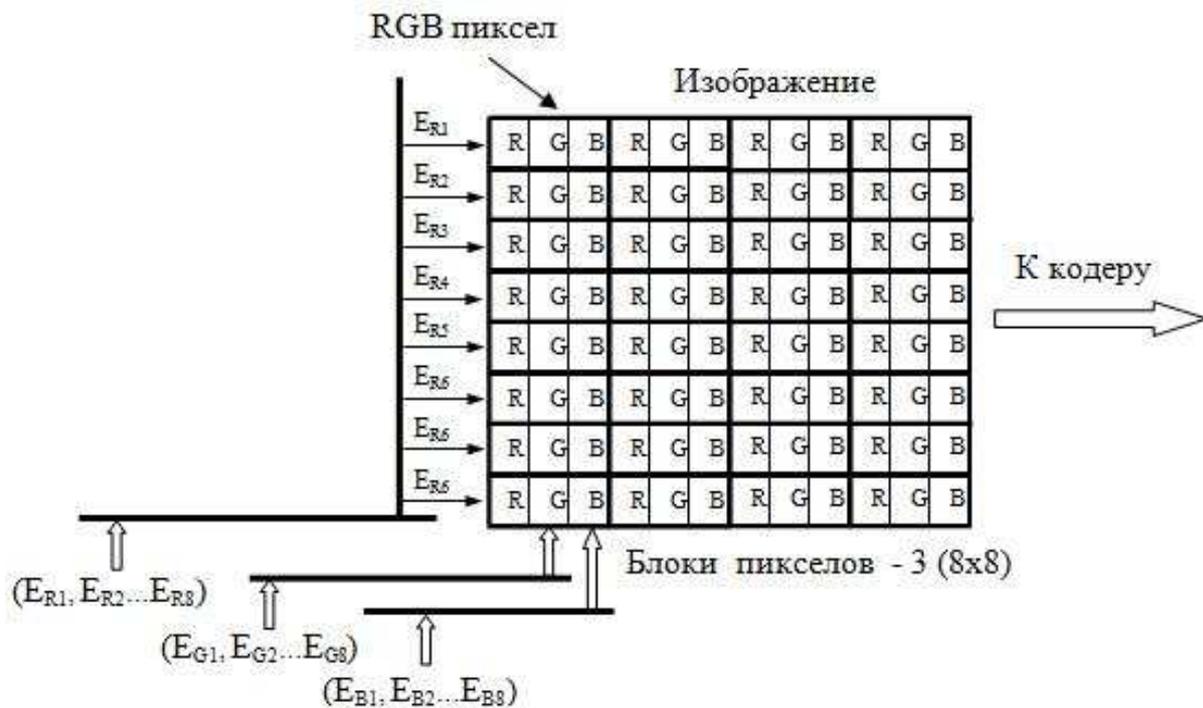


Рис. 6. Одновременная (параллельная) развертка 8 строк каждого блока RGB пикселей

Использовать троичный передатчик на его основе, как в беспроводной передаче данных на расстояние по оптическому каналу связи, так и по каналам межблочной связи.

К основным преимуществам такого способа передачи информации можно отнести: высокие скорости передачи, простота инсталляции, а также работа в свободной области частотного диапазона.

Использование цветового кодирования троичного сигнала повышает скорость и объем передаваемой информации, а также упрощает само устройство. Особенно это видно при обработке изображения по стандарту JPEG. Если воксел адаптировать к работе с троичной логикой, то можно добиться перехода от построчной развертки изображения к одновременной развертке трех и более строк. При этом основные константы троичной системы счисления 0, 1 и -1 должны кодироваться зеленым, красным и синим цветом соответственно. Таким образом, в перспективе можно получить системы передачи изображения, превосходящие современные по скорости и объему передаваемой информации.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Использование троичного кода и трёхзначной логики в цифровых машинах: научный отчет / Н. П. Брусенцов — М. : Изд-во ВЦ МГУ, 1969. — 27 с. — № 24–ВТ.
2. Фомин, С. В. Системы счисления / С. В. Фомин. — М. : Издательство “Наука”, 1987. — 52 с.
3. Малая цифровая вычислительная машина “Сетунь” / Н. П. Брусенцов, С. П. Маслов, В. П. Розин, А. М. Тишулина. — М. : Издательство Моск. ун-та, 1965. — 145 с.
4. Кушнеров А. Троичная цифровая техника. Ретроспектива и современность // Университет им. Бен-Гуриона, Беэр-Шева. — 2005. — С. 1–5. — Режим доступа: <http://314159.ru/kushnerov/kushnerov1.pdf>
5. Прэтт, У. Цифровая обработка изображений : Пер. с англ. / У. Прэтт. — М. : Мир, 1982. — Кн. 1. — 312 с.
6. Ложкин, Л. Д. Дифференциальная колориметрия. Монография / Л. Д. Ложкин. — Самара : ИУНЛ ПГУТИ, 2010. — 320 с.
7. Органический светоизлучающий диод : пат. 2548603 (Рос. Федерация) : МПК Н 01 L 51/50 / А. Г. Кошелев, А. М. Бобрешов, Е. В. Золотухин. — опубл. 20.04.2015, Бюлл. № 11.
8. Бобрешов, А. М. Цифровая обработка ТВ сигналов. Часть 2 : Учебное пособие / А. М. Бобрешов, А. Г. Кошелев. — Воронеж : Изд-во ВГУ, 2005. — 47 с.

### REFERENCES

1. The use of ternary coding and ternary logic in digital devices: research report / N. P. Brusentsov. [Ispolzovanie troichnogo koda i trehznachnoy logiki v tsifrovyyh mashinah : nauchnyy otchet / N. P. Brusentsov]. Moscow: RCC MSU publishing house, 1969, 27 p., no. 24–VT.
2. Fomin S.V. Numeral System. [Fomin S.V. Sistemy schisleniya]. Moscow: Science, 1987, 52 p.
3. Brusentsov N.P., Maslov S.P., Rozin V.P., Tishulina A.M. Small digital computer "Setun". [Brusentsov N.P., Maslov S.P., Rozin V.P., Tishulina A.M. Malaya tsifrovaya mashina "Setun"]. Moscow: Moscow state university publishing house, 1965, 145 p.
4. Kushnerov A. Ternary digital technology. Retrospective and contemporary state. [Kushnerov A. Troichnaya tsifrovaya tehnika. Retrospektiva I sovremennost]. Ben-Gurion University, Beersheba 2005, pp. 1–5. Mode of Access: <http://314159.ru/kushnerov/kushnerov1.pdf>.
5. Pratt W. K. Digital image processing, translate from English. [Pre'tt U. Cifrovaya obrabotka izobrazhenij]. Moscow: Mir, 1982, Book 1, 312 p.
6. Lozhkin L.D. Differential colorimetry. Monograph. [Lozhkin L.D. Differentsialnaya kolorimetriya. Monographiya]. Samara: Povolzhskiy state university of Telecommunications and

Informatics publishing house, 2010, 320 p.

7. Organic light emitting diode : patent no. 2548603 (Russian Federation) : Koshelev A.G., Bobreshov A.M., Zolotukhin E.V., published on 20.04.2015, bulletin no. 11. [Organicheskiy svetoizluchayushhiy diod : pat. 2548603 (Ros. Federaciya) : MPK H 01 L 51/50 / A. G. Koshelev, A. M. Bobreshov, E. V. Zolotuxin. — opubl. 20.04.2015, Byull. № 11].

8. Bobreshov A.M., Koshelev A.G. Digital TV signal processing. Part 2. Tutorial. [Bobreshov A.M., Koshelev A.G. Tsifrovaya obrabotka TV signalov. Chast 2. Uchebnoe posobie]. Voronezh: Voronezh state university publishing house, 2005, 47 p.

*Бобрешов Анатолий Михайлович, доктор физико-математических наук, декан физического факультета Воронежского государственного университета, Воронеж, Российская Федерация*  
*E-mail: bobreshov@phys.vsu.ru*  
*Тел.: 8-910-749-79-45*

*Bobreshov Anatoly M., doctor of physics and mathematical Sciences, dean of physics department of Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation*  
*E-mail: bobreshov@phys.vsu.ru*  
*Tel.: 8-910-749-79-45*

*Кошелев Александр Георгиевич, кандидат технических наук, доцент кафедры электроники Воронежского государственного университета, Воронеж, Российская Федерация*  
*E-mail: koshelev.44@mail.ru*  
*Тел.: 8-960-137-23-28*

*Koshelev Alexander G., Candidate of technical sciences, Associate Professor of the Electronic Chair of Voronezh state University, Voronezh, Russian Federation*  
*E-mail: koshelev.44@mail.ru*  
*Tel.: 8-960-137-23-28*

*Золотухин Евгений Викторович, аспирант кафедры электроники, Воронежский государственный университет, Воронеж, Российская Федерация*  
*E-mail: nhbaj@mail.ru*  
*Тел.: 8-906-584-97-87*

*Zolotukhin Evgeniy V., postgraduate student of the Electronic Chair of Voronezh state University, Voronezh, Russian Federation*  
*E-mail: nhbaj@mail.ru*  
*Tel.: 8-906-584-97-87*