

УДК 004.932.4, 004.042

## **Бинаризация и сегментация изображений: определение, краткая классификация и осуществление в среде LabVIEW**

*Попов В. С., аспирант*

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н. Э. Баумана,  
кафедра «Информационные системы и телекоммуникации»*

*Дженгиз Х. (Heybetullah Cengiz), аспирант,*

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н. Э. Баумана,  
кафедра «Информационные системы и телекоммуникации»*

*Научный руководитель: Девятков В. В., д.т.н., профессор,*

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н. Э. Баумана*

[\*deviatkov@bmstu.ru\*](mailto:deviatkov@bmstu.ru)

### **1. Понятие и краткая классификация процессов бинаризации и сегментации цифровых изображений**

Процессы бинаризации и сегментации занимают краеугольное место в цифровой обработке изображений.

Под бинаризацией изображения в самом общем случае понимается получение нового бинарного изображения, пиксели которого могут принимать одно из двух значений, причём значение (или цвет) пикселя полученного изображения определяется значением (цветом) соответствующего пикселя исходного изображения, в общем случае содержащего большее количество цветов. Значение пикселя полученного бинарного изображения обычно определяется истинностью или ложностью некоторого логического выражения для соответствующего пикселя исходного изображения. Примерами таких выражений в случае исходного полутонового изображения являются:

$$\text{Im}(x, y) > 127 \tag{1}$$

$$64 \leq \text{Im}(x, y) \leq 128 \tag{2}$$

где  $\text{Im}(x, y)$  – значение пикселя исходного изображения с координатами  $(x, y)$ .

По типу логического выражения, определяющего значения пикселей бинарного изображения по соответствующим значениям пикселей исходного изображения, чаще всего выделяют следующие виды бинаризации: с нижним порогом, с верхним порогом, с двойным ограничением (например, в случае применения выражения (2)). Бинаризация с

нижним порогом и бинаризация с верхним порогом являются частными случаями бинаризации с двойным ограничением.

По типу исходного изображения можно выделить бинаризацию полутонового изображения (рис. 1) и бинаризацию цветного изображения путём бинаризации нескольких (двух и более) каналов цветного изображения и последующей конъюнкции изображений, являющихся результатом бинаризации по цветовым каналам (рис. 2).

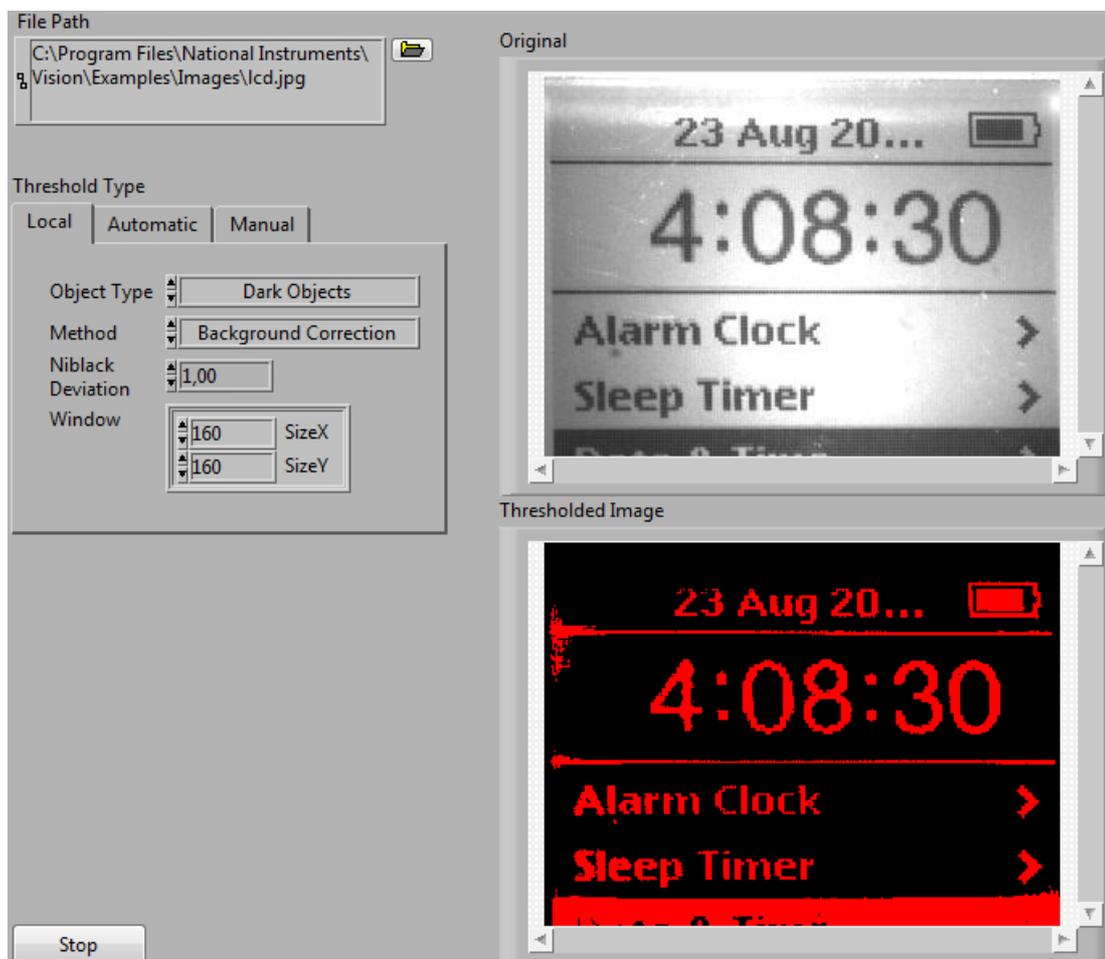


Рис. 1. Бинаризация полутонового изображения виртуальным прибором Threshold Example.vi (данный виртуальный прибор можно найти в диалоговом окне NI Example Folder, отображаемом командой Help → Find Examples...)

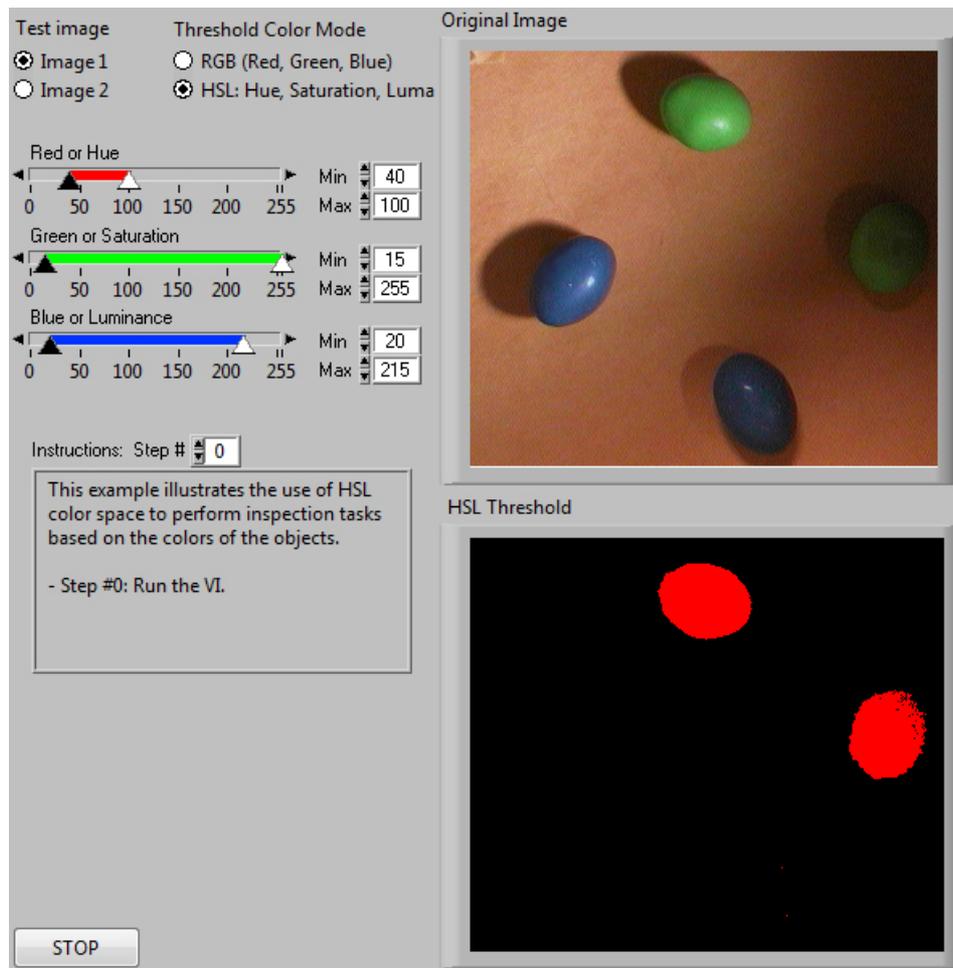


Рис. 2. Бинаризация цветного изображения виртуальным прибором ColorThreshold Example.vi (данный виртуальный прибор можно найти в диалоговом окне NI Example Folder): при бинаризации использовались каналы Hue, Saturation, Luminance цветовой модели HSL

На практике часто появляется потребность в более сложных видах бинаризации, где значение пикселя результирующего бинарного изображения может зависеть не только от нескольких значений соответствующих пикселей каналов цветного изображения, но и от их взаимного соотношения [1, стр. 145-148], которое может быть задано, например, набором неравенств или набором кластеров. К сожалению, более сложные виды бинаризации (один из которых описан в предыдущем предложении) зачастую выпадают из рассмотрения ввиду сложностей перевода: нужно заметить, что отечественное понятие «бинаризация» существенно отличается от зарубежного понятия «threshold». Понятие «бинаризация» (от англ. «binary» – двоичный) подразумевает уменьшение количества цветов изображения до двух, в то время как существительное «threshold» (англ.: порог, предел) предполагает применение выражений для установления факта пересечения порога

значениями пикселей исходного изображения при получении пикселей бинарного изображения. Таким образом, понятия «бинаризация» и «threshold» пересекаются, но не эквивалентны.

Также различают множество автоматических методов выбора порогового значения для осуществления бинаризации, рассмотрение которых выходит за рамки данной статьи. Кроме того, различают локальную и глобальную бинаризацию: для локальной бинаризации пороговое значение рассчитывается независимо для каждой области.

Под сегментацией изображения (рис. 3) понимается разбиение изображения на совокупность непересекающихся связных областей, являющихся изображениями некоторых объектов или их частей [2]. Задачами сегментации являются выделение областей изображения с известными свойствами и разбиение изображения на однородные области [3]. Сегментация изображения может быть осуществлена различными методами, рассмотрение которых выходит за рамки данной статьи. В то время как результатом бинаризации изображения является бинарное изображение, пиксели которого могут принимать только два значения, результатом сегментации изображения является сегментированное изображение, пиксели которого по определению в общем случае принимают меньшее количество значений, чем пиксели исходного полутонового или цветного изображения. Бинаризацию изображения можно рассматривать как частный случай сегментации.

Процессы бинаризации и сегментации могут включать или сопровождаться процессами фильтрации изображения для уменьшения степени влияния шумов на результат бинаризации или сегментации изображения.

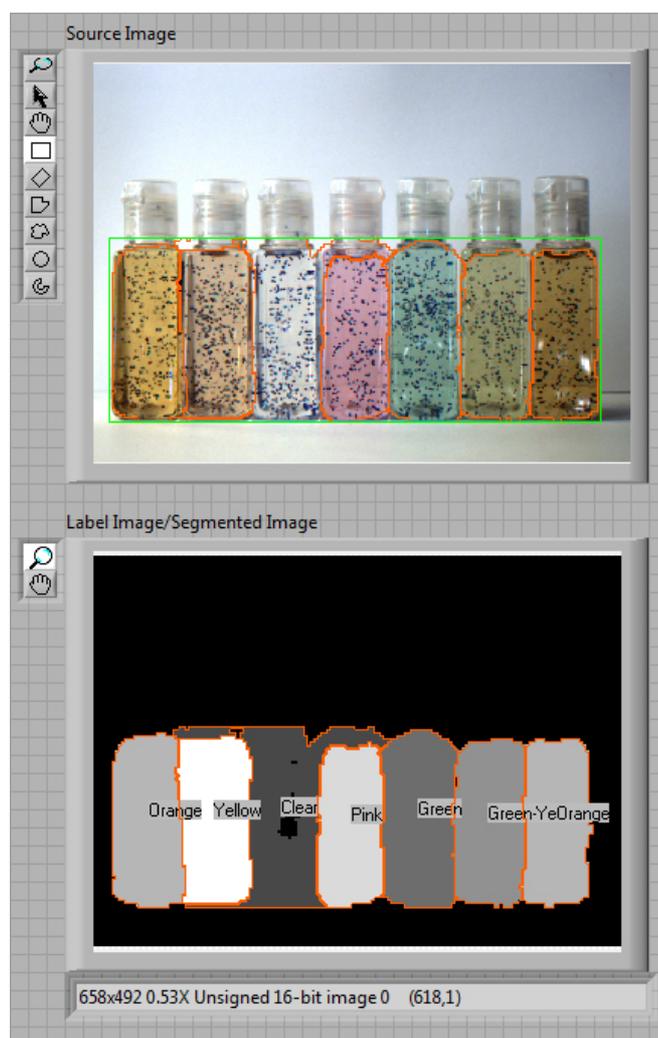


Рис. 3. Исходное изображение (сверху) и результат сегментации региона интереса исходного изображения (снизу) виртуальным прибором Color Segmentation.vi

## 2. Виртуальные приборы бинаризации и сегментации в LabVIEW 2011 Vision Development Module

Виртуальные приборы бинаризации и сегментации в LabVIEW становятся доступны после установки Vision Development Module и находятся в двух палитрах: Vision and Motion → Image Processing → Processing и Vision and Motion → Image Processing → Color Processing. Виртуальные приборы палитры Processing обрабатывают полутоновое изображение, тогда как виртуальные приборы палитры Color Processing осуществляют обработку цветного изображения. Говоря об использовании виртуальных приборов бинаризации и сегментации необходимо отметить, что при работе с данными виртуальными приборами особое внимание следует уделять типам обрабатываемых изображений.

**2.1. Виртуальный прибор IMAQ Threshold** (рис. 4) осуществляет бинаризацию с двойным ограничением; кроме получения бинарного изображения виртуальный прибор имеет возможность применения бинарной маски к исходному изображению, пропуская, подобно фильтру, только те пиксели, значения которых лежат в заданном диапазоне.

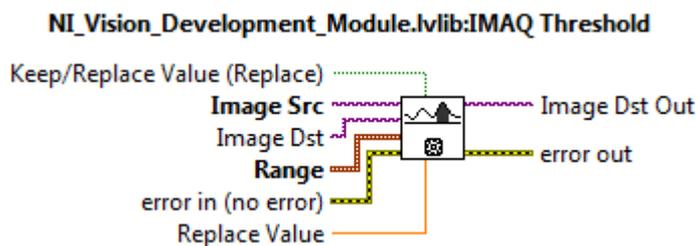


Рис. 4. Иконка виртуального прибора IMAQ Threshold

Входные данные:

1. Keep/Replace Value (Replace) – параметр типа Boolean, показывающий, заменять или оставлять неизменными значения пикселей изображения Image Src, которые лежат в заданном параметром Range диапазоне. В случае замены новое значение пикселей задаётся параметром Replace Value. Если значение некоторого пикселя изображения Image Src лежит вне заданного параметром Range диапазона, то соответствующий пиксель полученного изображения примет значение 0, т.е. будет окрашен в чёрный цвет.
2. Image Src – ссылка на исходное изображение. [Понятие ссылки – см. 4, стр. 636, 700]
3. Image Dst – ссылка на полученное изображение.
4. Range – кластер, содержащий элементы Lower Value и Upper Value типа SGL, задающие нижнюю и верхнюю границы диапазона для проведения бинаризации с двойным ограничением.
5. Replace Value – параметр типа SGL, значение которого примут те пиксели изображения Image Dst Out, для которых соответствующие пиксели изображения Image Src имеют значение, лежащее в заданном параметром Range диапазоне, если параметр Keep/Replace Value имеет значение True.

Выходные данные:

1. Image Dst Out – ссылка на полученное изображение.

Здесь и далее: входные и выходные данные error in (no error) и error out – кластеры, необходимые для обработки ошибок.

**2.2. Виртуальный прибор IMAQ MultiThreshold** (рис. 5) последовательно осуществляет несколько процессов бинаризации одного изображения с двойным ограничением. Как и виртуальный прибор IMAQ Threshold, IMAQ MultiThreshold имеет возможность применения бинарной маски к исходному изображению.

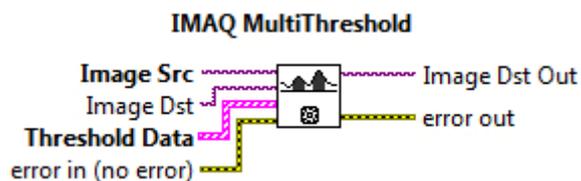


Рис. 5. Иконка виртуального прибора IMAQ MultiThreshold

Входные данные:

1. Image Src – ссылка на исходное изображение.
2. Image Dst – ссылка на полученное изображение.
3. Threshold Data – массив кластеров, содержащих элементы Lower Value, Upper Value, Replace Value типа SGL и значение Keep/Replace Value типа Boolean (см. описание ВП IMAQ Threshold).

Выходные данные:

1. Image Dst Out – ссылка на полученное изображение.

Особенности применения виртуального прибора:

В случае перекрытия диапазонов [Lower Value; Upper Value] различных элементов-кластеров массива кластеров Threshold Data и попадания значения пикселя  $Im(x, y)$  исходного изображения Image Src в перекрывающийся диапазон, значение пикселя полученного изображения с координатами  $(x, y)$  определяется значениями Replace Value и Keep/Replace Value последнего кластера  $i$ , где значение  $Im(x, y)$  принадлежит диапазону [Lower Value; Upper Value].

**2.3. Виртуальный прибор IMAQ AutoVThreshold 2** (рис. 6) осуществляет бинаризацию с нижним порогом или бинаризацию с верхним порогом изображения целиком или региона интереса изображения различными методами.

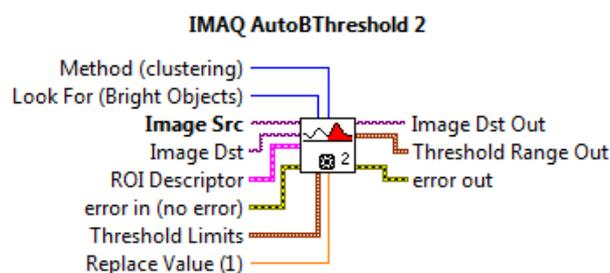


Рис. 6. Иконка виртуального прибора IMAQ AutoBThreshold 2

Входные данные:

1. Method (clustering) – целочисленный параметр типа I32, указывающий метод бинаризации. Может быть выбран один из следующих методов: clustering (0), entropy (1), metric (2), moments (3), inter-class variance (4).
2. Look For (Bright Objects) – целочисленный параметр типа U32, указывающий желаемый тип пикселей объекта. Данный параметр может принимать значение Bright Objects (0) или Dark Objects (1). Например, в случае выбора значения Bright Objects виртуальный прибор выделяет объекты на изображении, пиксели которых имеют значения большие, чем значение, полученное методом бинаризации, указанным с помощью параметра Method. Фактически значение Look For задаёт вид бинаризации – с нижним порогом или с верхним порогом.
3. Image Src – ссылка на исходное изображение.
4. Image Dst – ссылка на полученное изображение.
5. ROI Descriptor – кластер, определяющий регион интереса, где будет выполнена бинаризация.
6. Threshold Limits – кластер, содержащий элементы Lower Value и Upper Value типа SGL, задающие предельно допустимую границу диапазона для проведения бинаризации с нижним порогом или с верхним порогом. В случае выбора значения Bright Object параметра Look For значение Lower Value кластера Threshold Range Out принадлежит диапазону [Lower Value, Upper Value] кластера Threshold Limits. В случае выбора значения Dark Object параметра Look For значение Upper Value кластера Threshold Range Out принадлежит диапазону [Lower Value, Upper Value] кластера Threshold Limits.
7. Replace Value (1) – см. описание виртуального прибора IMAQ Threshold.

Выходные данные:

1. Image Dst Out – ссылка на полученное изображение.

2. Threshold Range Out – кластер, содержащий элементы Lower Value и Upper Value типа SGL, используемые в качестве границ диапазона для проведения бинаризации с нижним порогом или бинаризации с верхним порогом.

**2.4. Виртуальный прибор IMAQ AutoMThreshold 2** (рис. 7) вычисляет оптимальные значения для разбиения полутонового изображения на заданное количество кластеров (классов) по цветовому признаку.

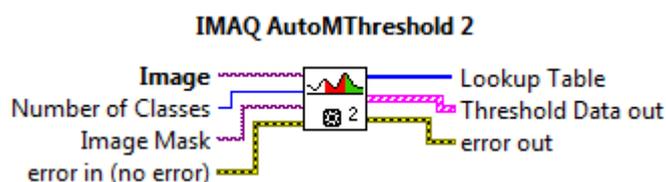


Рис. 7. Иконка виртуального прибора AutoMThreshold 2

Входные данные:

1. Image – ссылка на исходное изображение.
2. Number of Classes – параметр типа I32, задающий количество кластеров, на которые необходимо разбить изображение.
3. Image Mask – ссылка на изображение-маску.

Выходные данные:

1. Lookup Table – массив, элементы которого предназначены для замены исходных значений (исходное значение в массиве Lookup Table задаётся индексом элемента) пикселей на значения между 0 и (Number of Classes - 1). Элементы массива имеют тип I16. Данный массив может быть подан на вход Lookup Table виртуального прибора IMAQ UserLookup 2 для разбиения изображения на заданное количество кластеров.
2. Threshold Data out – массив кластеров, содержащих элементы Lower Value, Upper Value, Replace Value типа SGL и значение Keep/Replace Value типа Boolean (см. описание ВП IMAQ Threshold). Данный массив кластеров можно подать на вход Threshold Data вышеописанного виртуального прибора IMAQ MultiThreshold.

**2.5. Виртуальный прибор IMAQ Local Threshold** (рис. 8) осуществляет бинаризацию исходного изображения путём многократного осуществления локальной бинаризации.

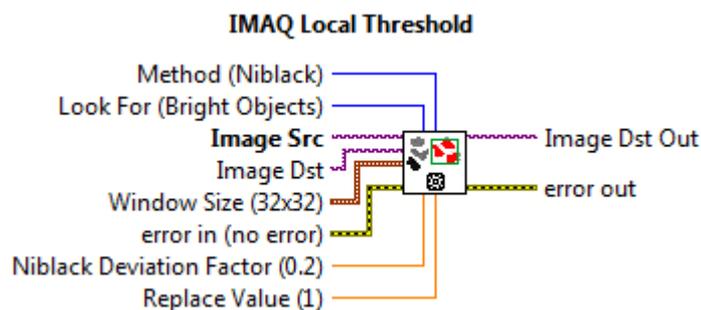


Рис. 8. Иконка виртуального прибора IMAQ Local Threshold

Входные данные:

1. Method (Niblack) – параметр типа U32, задающий метод локальной бинаризации. Данный параметр может принимать значение Niblack (0) или Background Correction (1).
2. Look For (Bright Objects) – целочисленный параметр типа U32, указывающий желаемый тип пикселей объекта. Данный параметр может принимать значение Bright Objects (0) или Dark Objects (1).
3. Image Src – ссылка на исходное изображение.
4. Image Dst – ссылка на полученное изображение.
5. Window Size (32x32) – кластер, указывающий размер окна для локальной бинаризации. Кластер Window Size содержит элементы SizeX и SizeY типа I32, задающие размеры окна в пикселях по оси абсцисс и оси ординат соответственно.
6. Niblack Deviation Factor (0.2) – параметр типа DBL от 0 до 1, указывающий константу, используемую алгоритмом локальной бинаризации Niblack.
7. Replace Value (1) – параметр типа SGL, значение которого примут те пиксели изображения Image Dst Out, для которых соответствующие пиксели изображения Image Src имеют значение, принадлежащее интервалу, рассчитанному по текущей обрабатываемой локальной области методом Method.

Выходные данные:

1. Image Dst Out – ссылка на полученное изображение.

**2.6. Виртуальный прибор IMAQ ColorThreshold** (рис. 9) осуществляет бинаризацию цветного изображения.

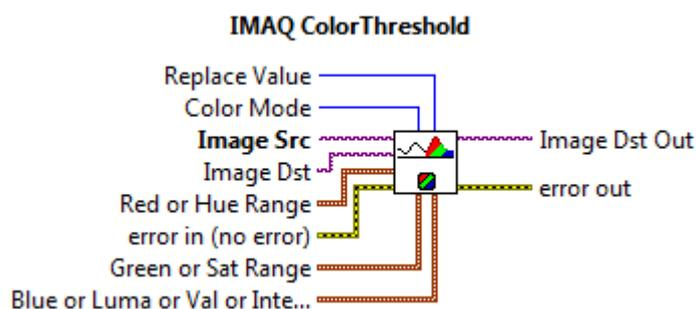


Рис. 9. Иконка виртуального прибора IMAQ Color Threshold

Входные данные:

1. **Replace Value** – параметр типа I32, значение которого примут те пиксели изображения **Image Dst Out**, для которых соответствующие пиксели изображения **Image Src** имеют значения, которые по каждому из каналов цветного изображения принадлежат указанным диапазонам.
2. **Color Mode** – параметр типа U16, определяющий цветовую модель, используемую для бинаризации. Доступны следующие цветовые модели: RGB (0), HSL (1), HSV (2), HSI (3).
3. **Image Src** – ссылка на исходное изображение.
4. **Image Dst** – ссылка на полученное изображение.
5. **Red or Hue Range**, **Green or Sat Range**, **Blue or Luma or Val or Inten Range** – кластеры, содержащие элементы **Lower Value** и **Upper Value** типа I32, задающие границы диапазона для проведения бинаризации с двойным ограничением по указанному каналу цветовой модели, задаваемой параметром **Color Mode**.

Выходные данные:

1. **Image Dst Out** – ссылка на полученное изображение.

## 2.7 Виртуальный прибор IMAQ Color Segmentation Supervised (рис. 10)

осуществляет сегментацию цифрового изображения

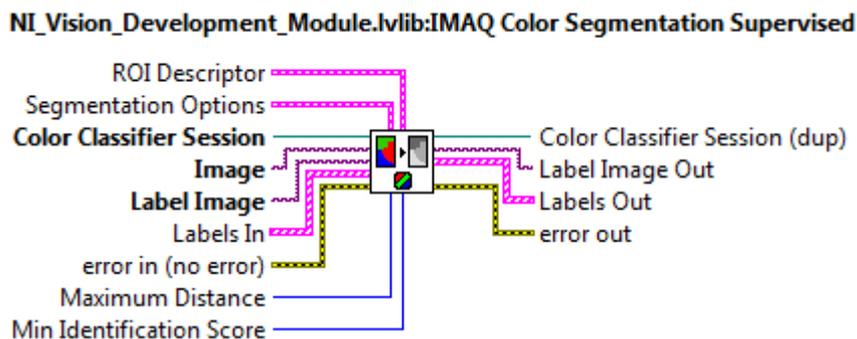


Рис. 10. Иконка виртуального прибора IMAQ Color Segmentation Supervised

Входные данные:

1. ROI Descriptor – кластер, определяющий регион интереса, где будет выполнена сегментация.
2. Segmentation Options – кластер, включающий параметры для конфигурации алгоритма сегментации: кластер Window Size, включающий элементы X и Y типа U32, задающие размеры окна, элементы Step Size (расстояние между двумя окнами), Min Particle Area (минимальное количество пикселей для сегмента), Max Particle Area (максимальное количество пикселей для сегмента) типа U32, элемент Refine Segmentation? типа Boolean, предназначенный для повышения качества сегментации.
3. Color Classifier Session – ссылка на сессию классификатора.
4. Image – ссылка на исходное изображение.
5. Label Image – ссылка на сегментированное изображение.
6. Labels in – массив кластеров, содержащих элементы Class Name (строка) и Label (U32) для указания меток сегментов (см. рис. 3).
7. Maximum Distance – параметр типа I32, задающий максимально разрешённое расстояние в пространстве цветовой координатной системы между цветами для группировки пикселей.
8. Min Identification Score – параметр типа I32, задающий минимальное количество меток идентификации для сегмента.

Выходные данные:

1. Color Classifier Session (dup) – ссылка на сессию классификатора.

2. Label Image Out – ссылка на сегментированное изображение.
3. Labels Out – массив кластеров, содержащих элементы Class Name (строка) и Label (U32).

**2.8 Виртуальный прибор IMAQ Get Color Segmentation Distance** (рис. 11) вычисляет максимально разрешённое цветовое расстояние для группировки пикселей в сегменты.

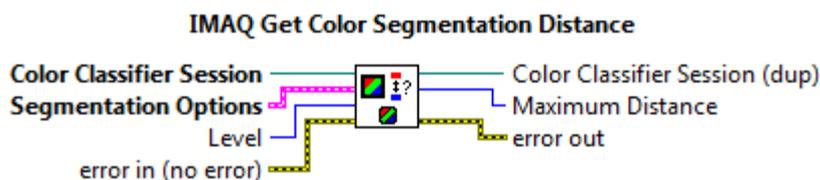


Рис. 11. Иконка виртуального прибора IMAQ Color Segmentation Distance

Входные данные:

1. Color Classifier Session – ссылка на сессию классификатора.
2. Segmentation Options – кластер, включающий параметры для конфигурации алгоритма сегментации (см. описание ВП IMAQ Color Segmentation Supervised).
3. Level – параметр, указывающий чувствительность алгоритма определения параметра Maximum Distance. Возможны два значения параметра Level: Conservative (0) и Aggressive (1).

Выходные данные:

1. Color Classifier Session (dup) – ссылка на сессию классификатора.
2. Maximum Distance – параметр типа I32, задающий максимально разрешённое расстояние в пространстве цветовой координатной системы между цветами для группировки пикселей.

### 3. Реализация алгоритмов бинаризации в LabVIEW

#### 3.1 Виртуальный прибор, использующий IMAQ Threshold

Лицевая панель и блок-диаграмма виртуального прибора, использующего IMAQ Threshold, приведены на рис. 12, 13.

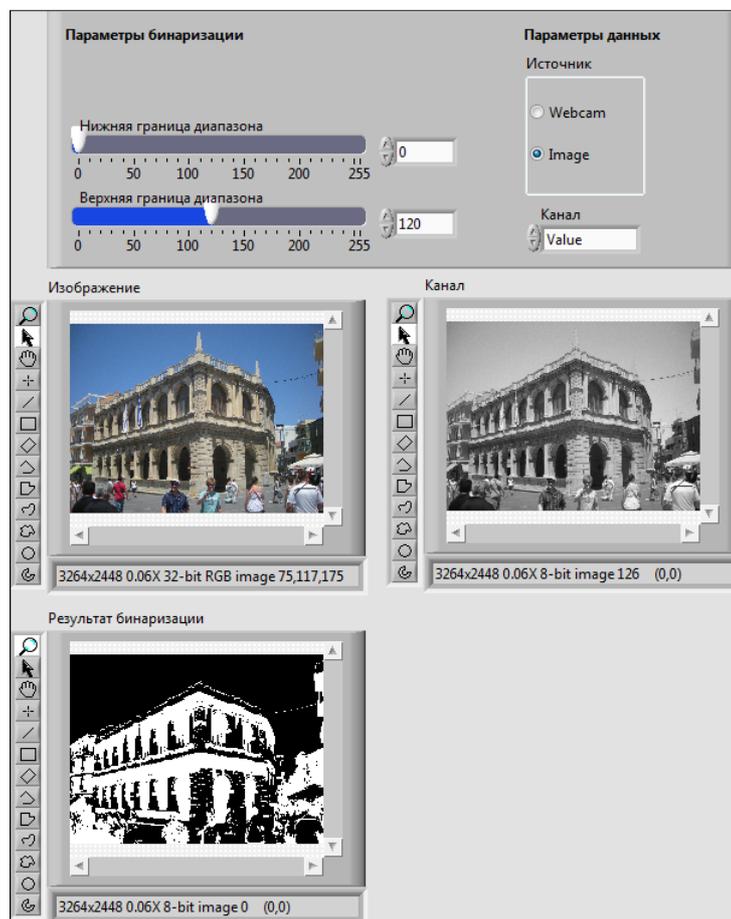


Рис. 12. Лицевая панель виртуального прибора бинаризации изображений, использующего IMAQ Threshold

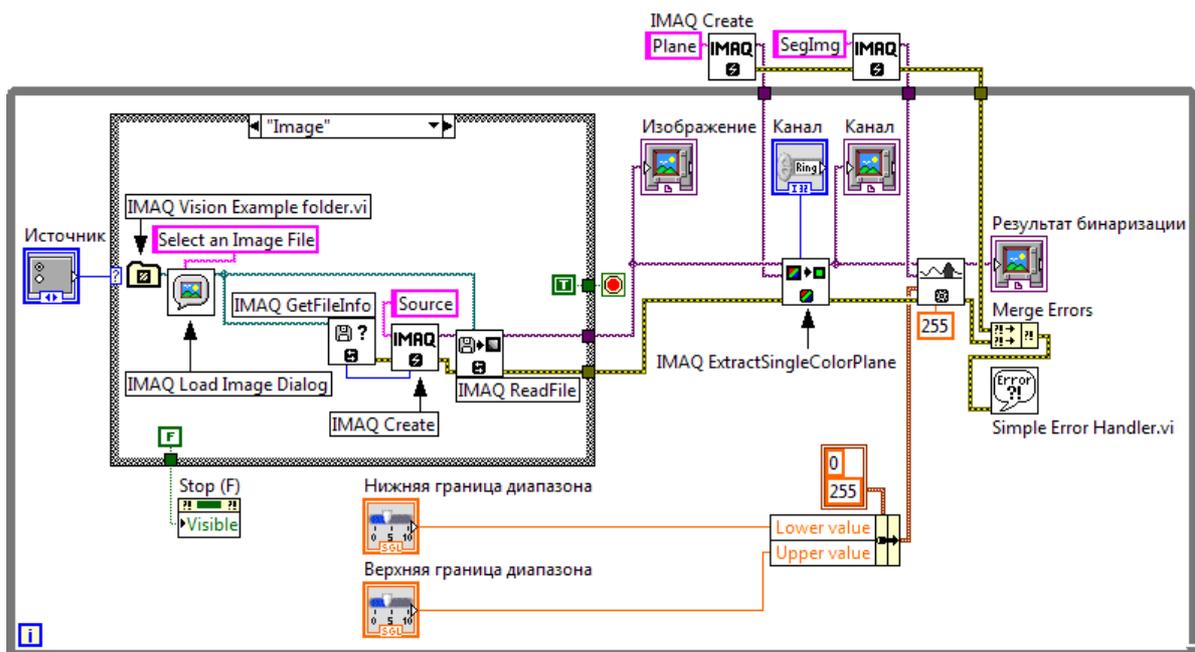


Рис. 13. Блок-диаграмма виртуального прибора бинаризации изображений, использующего IMAQ Threshold

Разработанный виртуальный прибор позволяет обрабатывать цветное цифровое изображение из файла или с веб-камеры. ВП IMAQ ExtractSingleColorPlane выделяет выбранный канал цифрового изображения, после чего ВП IMAQ Threshold производит бинаризацию полутонового изображения данного канала.

### 3.2 Бинаризация без использования виртуальных приборов палитр Processing и Color Processing

На рис. 14 изображена часть блок-диаграммы виртуального прибора бинаризации цифрового изображения, созданного без использования виртуальных приборов палитр Processing и Color Processing. Созданный виртуальный прибор обладает возможностью осуществления бинаризации как по заданному диапазону, так и по всем возможным значениям цвета полутонового изображения за исключением значений, входящих в заданный диапазон. Реализация такого алгоритма посредством палитры Processing становится возможна либо с использованием двух виртуальных приборов IMAQ Threshold, результаты работы которых могут быть объединены с помощью средств алгебры логики, либо с использованием виртуального прибора IMAQ MultiThreshold. В случае применения вышеописанных виртуальных приборов палитры Processing и выбора режима «Исключить значения из диапазона» существует необходимость формирования новых диапазонов значений, не входящих в заданный диапазон.

ВП IMAQ ExtractSingleColorPlane выделяет выбранный канал цифрового изображения, после чего ВП ImageToArray преобразует полученное полутоновое изображение канала в двумерный целочисленный массив, поэлементная обработка которого осуществляется во вложенной структуре For Loop. Циклы For Loop генерируют изображения «Результат бинаризации» и «Маска». На обоих изображениях чёрный цвет имеют все пиксели, значения которых не вошли в заданный диапазон по выбранному каналу; остальные пиксели на изображении «Результат бинаризации» остаются без изменений, а на изображении «Маска» имеют белый цвет (в случае выбора режима «Включить значения из диапазона»).

Функцией In Range and Coerce устанавливается входение значения каждого элемента двумерного массива в диапазон [Нижняя граница диапазона; Верхняя граница диапазона]. Булев результат функции In Range and Coerce служит условием для вложенной структуры Case, где формируются значения пикселей изображений «Результат бинаризации» и «Маска».

Виртуальный прибор IMAQ ArrayToImage преобразует двумерный массив в цифровое изображение.

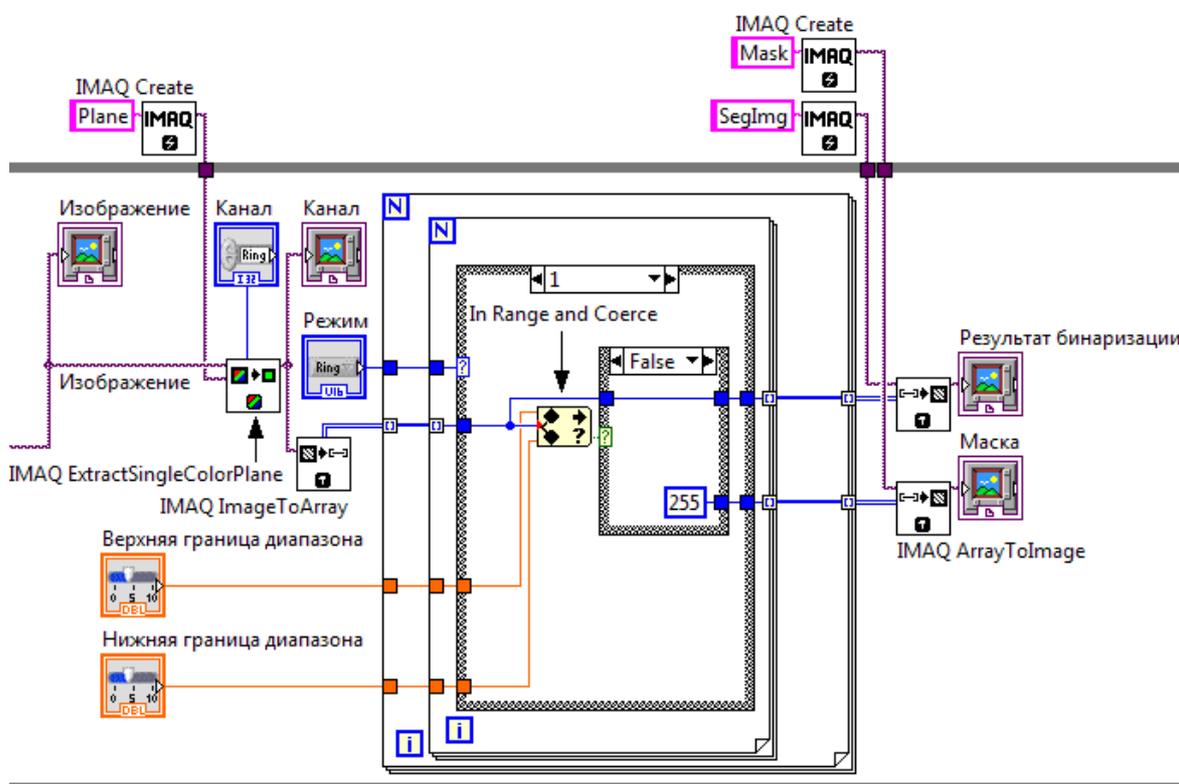


Рис. 14. Часть блок-диаграммы виртуального прибора бинаризации цифрового изображения

## **Выводы**

В статье рассмотрено различие терминов «бинаризация», «threshold», «сегментация». Приведена краткая классификация процессов бинаризации изображения.

Виртуальные приборы бинаризации и сегментации Vision Development Module предоставляют большие возможности для разработчика программного обеспечения в LabVIEW. В то же время существует необходимость создания виртуальных приборов бинаризации и сегментации с новыми функциональными возможностями, как то:

1. Возможности задавать функциональные зависимости значений цветовых компонент пикселей;
2. Возможности осуществлять бинаризацию как по диапазону [Lower Value; Upper Value], так и по множеству всех значений, исключаящему диапазон [Lower Value; Upper Value] без применения виртуального прибора IMAQ MultiThreshold.

## **Список литературы**

1. Визильтер Ю. В., Желтов С. Ю., Князь В. А., Ходарев А. Н., Моржин А. В. Обработка и анализ цифровых изображений с примерами на LabVIEW IMAQ Vision. М.: ДМК Пресс, 2007. 464 с.
2. Котович Н. В. Исследование методов сегментации изображений // Программные продукты и системы. 2008. № 4. НИИ «Центрпрограммсистем». Режим доступа: <http://www.swsys.ru/index.php?page=article&id=1607> (дата обращения 01.12.2014).
3. Вежневцев А., Баринаова О. Методы сегментации изображений: автоматическая сегментация // Компьютерная графика и мультимедиа. Факультет вычислительной математики и кибернетики МГУ им. М. В. Ломоносова. 2006. № 4. Режим доступа: <http://cgm.computergraphics.ru/content/view/147> (дата обращения 01.12.2014).
4. Трэвис Дж., Кринг Дж. LabVIEW для всех. М.: ДМК Пресс, 2008. 880 с.