

через n обозначена длительность операции (трудоемкость) в тысячах тактов процессора, через t – в миллисекундах (мс). Эти и последующие экспериментальные данные получены при использовании процессора Л1879ВМ1 (NM6403), работающего на частоте 40 МГц.

Таблица 1. Длительность операции поиска при использовании процессора NM6403

X	Y	dx	dy	n [тыс. тактов]	t [мс]
32	32	10	10	185	4,63
32	32	20	20	650	16,25
32	32	30	30	1400	35

В системе обработки изображений, рассмотренной в [1], сопровождение организовано иначе. Именно этот подход и именуется ниже бинарным сопровождением. В указанной системе для каждого объекта формируется компактный образ размерностью порядка 20×8 бит, что существенно меньше образа, соответствующего варианту «К», имеющего размерность $32 \times 32 \times 8$ бит = 1024×8 бит. Поиск объекта на текущем кадре сводится к идентификации образа, сформированного по предыдущему кадру, с одним из образов (гипотез объектов), сформированных по текущему кадру. В данной системе типичное число гипотез объектов, формируемых на отдельном кадре, обычно не превосходит 20. Тогда как при сопровождении по варианту «К» для одного объекта число таких сравнений составляет $dx \times dy = 20 \times 20$.

Таким образом, при бинарном сопровождении длительность операции идентификации (операция «И») менее трудоемка, чем при сопровождении по варианту «К». Однако для реализации операции «И» и бинарного сопровождения в целом требуется сформировать образ объекта, что можно рассматривать, как дополнительные вычислительные затраты. Ниже проводится анализ этих затрат.

В упомянутой выше системе обработки изображений бинарное сопровождение основано на использовании образов объектов, сформированных из бинарного изображения, полученного из исходного за счет выделения перепадов яркости. Для выделения перепадов яркости можно использовать такие локальные операторы, как, например, операторы Робертса (Roberts) или Собела (Sobel) [2]. Приняв, что накладные расходы на формирование образа из бинарного изображения пренебрежимо малы, можно заключить, что затраты времени на бинарное сопровождение складываются из затрат на следующие операции:

- преобразование изображения в бинарную форму – операция «П»;
- сегментация образов объектов на бинарном изображении – операция «С»;
- идентификация объекта по сегментированному образу – операция «И».

В зависимости от конкретной реализации системы обработки изображений операции «П» и «С» могут быть уже выполнены для других нужд, помимо организации сопровождения или нет. Первый случай соответствует упомянутой системе обработки изображений.

Таким образом, имеет смысл рассмотреть варианты, в которых расходы времени, связанные с организацией бинарного сопровождения обуславливаются операциями, перечисление которых содержит Таблица 2:

Таблица 2. Варианты организации бинарного сопровождения

Вариант	Операция «П»	Операция «С»	Операция «И»
А	+	+	+
Б	+		+
В		+	+

Как уже отмечалось операция «И» при бинарном сопровождении существенно менее трудоемка, чем при сопровождении по варианту «К», поэтому в дальнейшем длительность этой операции не рассматривается.

Экспериментальные оценки длительности операции «П» и результаты их усреднения (строка «Усредненное») для изображения форматом 384×288(×8 бит) содержит Таблица 3.

Таблица 3. Длительность операции «П»

Используемый оператор	n [тыс. таков]	t [мс]
оператор Собела (Sobel)	770	19,25
оператор Робертса (Roberts)	720	18
Усредненное	745	18,63

Данные о длительности операции «С» взяты из [3] и соответствуют наиболее универсальному из рассмотренных там алгоритмов, основанному на анализе соседства пикселей. Представленные оценки, получены при обработке изображений, условно обозначенных, как «самолеты», «звезды», «пятно». Эти оценки и результаты их усреднения (строка «Усредненное») содержит Таблица 4, соответствующая изображению, имеющему формат 384×288(×8 бит).

Таблица 4. Длительность операции «С» [3]

Изображение	n [тыс. таков]	t [мс]
«Самолеты»	700	17,5
«Звезды»	230	5,75
«Пятно»	250	6,25
Усредненное	393,33	9,83

Следует учесть, что для осуществления бинарного сопровождения операции «П» и «С» достаточно проводить не для всего изображения, а только для области поиска (Рисунок 1), имеющей размеры $(X + dx) \times (Y + dy)$. Это определяет необходимость пересчета данных, которые содержат Таблица 3, Таблица 4. Для пересчета брались значения из строки «Усредненное». Пересчет проводился в предположении, что длительность рассматриваемых операций пропорциональна площади обрабатываемого участка изображения. Результаты пересчета содержит Таблица 5

Таблица 5. Результаты пересчета данных о длительности операций «П» и «С»

X	Y	dx	dy	Операция «П»		Операция «С»	
				n [тыс. таков]	t [мс]	n [тыс. таков]	t [мс]
32	32	10	10	11,88	0,3	6,27	0,16
32	32	20	20	18,22	0,46	9,62	0,24
32	32	30	30	25,9	0,65	13,67	0,34

Сопоставление данных, которые содержат Таблица 1 и Таблица 5 позволяет сделать следующее заключение. Даже если операции «П» и «С» осуществляются исключительно в интересах организации бинарного сопровождения, этот способ оказывается вычислительно менее трудоемким, по сравнению с сопровождением на базе корреляционного сравнения, при условии, что операции «П» и «С» проводятся для локальных областей изображения (областей поиска).

Теперь следует рассмотреть другую ситуацию – операции «П» и «С» проводятся для всего изображения. А сопровождать требуется N объектов. В этом случае длительность операций (трудоемкость), реализующих сопровождение по варианту «К», будет пропорциональна числу объектов, а при реализации бинарного сопровож-

дения по вариантам «А», «Б», «В» – нет. Это отображает Рисунок 2, соответствующий значениям $X = Y = 32$, $dx = dy = 20$.

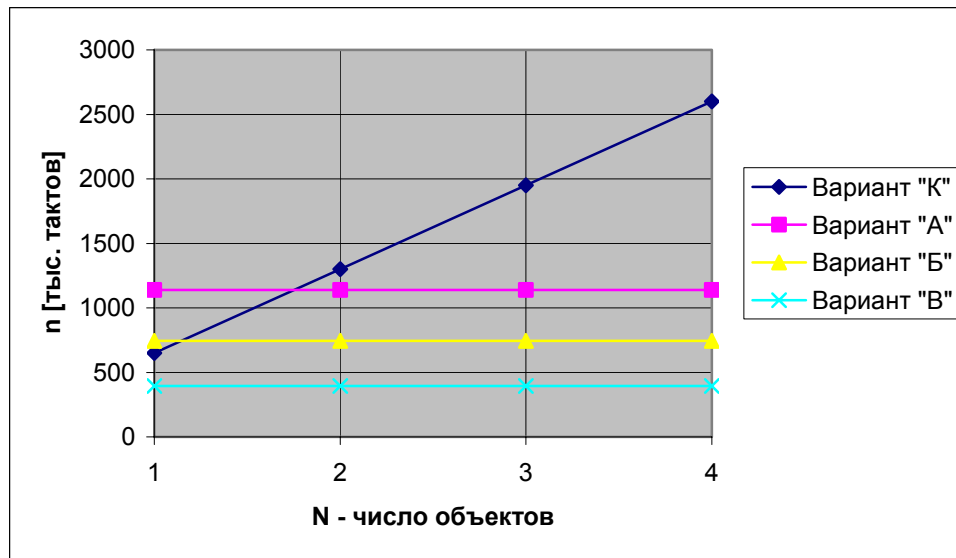


Рисунок 2. Зависимость трудоемкости сопровождения от числа объектов

Из представленного рисунка следует, что даже в том случае, если бинаризацию и сегментацию всего изображения (операции «П» и «С») надо выполнять исключительно для организации бинарного сопровождения, при сопровождении двух и более объектов бинарное сопровождение по вариантам «А», «Б», «В» оказывается вычислительно более выгодным по сравнению с сопровождением по варианту «К».

Таким образом, использование бинарного сопровождения позволяет существенно сократить вычислительные затраты по сравнению с применением сопровождения, основанного на корреляционном поиске. Даже если специально для организации бинарного сопровождения требуется осуществить бинаризацию и сегментацию изображения. В заключение следует добавить, что аппаратно-программная реализация бинарного сопровождения, например, в [1], показала его работоспособность при обработке изображений, представляющих практический интерес.

Литература

- 1 О.Ю. Аксенов. Методика формирования обучающих выборок для распознающей системы. VI Всероссийская научно-техническая конференция “Нейроинформатика-2004”. Сборник научных трудов Часть 2, стр.215-222, М., МИФИ. 2004.
- 2 Д.А. Денисов. Компьютерные методы анализа видеoinформации. /Изд. Красноярского университета, 1993 г., 188 с.
- 3 О.Ю. Аксенов. Сравнение алгоритмов сегментации. VII Международная конференция “Цифровая обработка сигналов и ее применение” (DSPA-2005). Труды НТОРЭС им. А.С. Попова. Серия “Цифровая обработка сигналов и ее применение”. Выпуск VII-2, стр.278-281.М.,2005