

Панков Александр Алексеевич – ФГУП ФНПЦ «ПО «Старт» им. М.В. Проценко»; e-mail: skb@Startatom.ru; 442960, Пензенская обл., г. Заречный, проспект Мира, 1; тел.: 88412582758; инженер.

Дудкин Виктор Александрович – Пензенский государственный университет; e-mail: panthrashkov@rambler.ru; 440026, г. Пенза, ул. Красная, 40; тел.: 88412560863; кафедра «АИУС»; к.т.н.; профессор.

Pankov Aleksandr Alekseevich – Federal State Unitary Enterprise Federal Research and Production Center Production Complex Start named after M.V. Protsenko; e-mail: skb@Startatom.ru; 1, Mira prospekt, Zarechny, Penza Region, 442960, Russia; phone: +78412582758; engineer

Dudkin Viktor Aleksandrovich – Penza State University; e-mail: panthrashkov@rambler.ru; 40, Krasnaya street, Penza Region, 440026, Russia; phone: +78412560863; cand. of eng. sc.; professor.

УДК 681.3:004.4'273

А.О. Пьявченко, Е.В. Петренко

**АНАЛИЗ И ВЫБОР ЦИФРОВЫХ ФИЛЬТРОВ
ДЛЯ ПЕРЕДИСКРЕТИЗАЦИИ КАДРОВ ЦИФРОВОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ
ДЛЯ РЕЖИМА ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ «КАРТИНКА-В-КАРТИНКЕ»**

Рассматриваются вопросы, связанные с процессом передискретизации кадров цифровых изображений для режима «картинка-в-картинке», с целью отображения данных от различных источников на экране одного и того же видеомонитора. При этом основное внимание уделено проблеме выбора цифровых фильтров для преобразования кадров цветного изображения в 32-разрядном формате ARGB с требуемым разрешением, качеством и с необходимой скоростью. Отличительная особенность предлагаемого подхода заключается в применении интегральных показателей качества, позволяющих автоматически получить суммарную взвешенную оценку параметров кадра цифрового изображения, последовательно подвергнутого процессам прямой и обратной передискретизации, по отношению к его исходному представлению. В заключение обсуждаются результаты практической апробации предложенной методики с применением разработанных визуальных программных моделей цифровых фильтров, используемых при изменении параметров кадров изображений указанного типа.

Обработка цифровых изображений; передискретизация; децимация; интерполяция; цифровые фильтры; математическое и программное моделирование.

А.О. Pyavchenko, E.V. Petrenko

**ANALYSIS AND CHOOSING OF THE DIGITAL FILTERS FOR DIGITAL
IMAGE FRAMES RESAMPLING FOR DISPLAYING
IN “PICTURE-IN-PICTURE” MODE**

This article considers questions, related to resampling of digital images frames for forming “picture-in-picture” mode for showing data from different sources on the display of single monitor. Herewith the main attention is given to the problem of a choice of digital filters for color image frames transformation in 32-bit ARGB-mode with required resolution, quality and speed. The main feature of the proposed approach is in using of the integrated quality indicators, which allow to get summary balanced evaluation of the digital image frames parameters, consequentially subjected to processes of the forward and backward resampling, in relation to its initial representation. In conclusion practical experiment results of the proposed methodology with using of the developed visual program model of the digital filters, which is used in changing of the specified type frames parameters, are discussed.

Digital images processing; resampling; decimation; interpolation; digital filters; mathematical and programmatic simulation.

В системах контроля и мониторинга технологических процессов (ТП), как правило, существует необходимость одновременного отображения данных от нескольких источников на одном и том же экране монитора, что подразумевает вывод изображения в режиме «картинка-в-картинке», при котором на большее изображение накладывается одно или несколько изображений меньшего размера, воспроизводимых поверх главного. В настоящей работе решается проблема выбора цифровых фильтров, наиболее эффективных для передискретизации кадров цифрового изображения в темпе их поступления с требуемым качеством и с необходимой скоростью. При этом должна быть решена задача минимизации потерь в качестве и в содержании результирующего изображения по сравнению с исходным.

В теории цифровой обработки сигналов передискретизацией называют процесс изменения частоты дискретизации исходного цифрового сигнала и вычисление значений отсчетов, соответствующих новой частоте на основе имеющихся данных. Понижение частоты дискретизации исходного сигнала называется децимацией [1]. Под термином "цифровая фильтрация" понимают цифровую обработку сигнала скользящим окном – ядром цифрового фильтра. Считается, что размер окна фильтра много меньше размера обрабатываемого фрагмента сигнала. Для каждого положения окна выполняется операция двумерной свертки, которая определяет результирующую фильтрации для текущего положения окна [1].

В общем виде без учета цвета кадр плоского 2D-изображения размером $M \times N$ можно определить как конечную двумерную функцию $f(x, y)$, значения которой это интенсивности цвета в точках кадра, соответствующих координатам x и y , где $x = \overline{0, (M - 1)}$, $y = \overline{0, (N - 1)}$. На настоящий момент цифровые изображения чаще всего представлены в 32-битовом ARGB-формате, где R, G, B – интенсивности соответственно красного, зеленого и синего цветов, а A – альфа-канал, отвечающий за уровень прозрачности. Таким образом, цифровое изображение в формате ARGB размером $M \times N$ можно представить четырьмя синхронизированными матрицами $A(M \times N)$, $R(M \times N)$, $G(M \times N)$ и $B(M \times N)$, обработку каждой из которых возможно выполнить независимо от остальных [2].

Процесс передискретизации цифровых изображений с применением цифровых фильтров заключается в последовательном перемещении фильтрующей маски от одной точки изображения к другой (рис. 1). При этом выходом фильтра для каждого положения маски является сумма произведений коэффициентов фильтра и значений RGB-компонентов пикселей, накрываемых маской, с учетом их отдельного матричного представления. Для маски размером $m \times n$ обычно предполагается, что $m = 2 \cdot a + 1$ и $n = 2 \cdot b + 1$, где a и b – положительные целые числа. Причем, по аналогии с [3], будем рассматривать маски, имеющие нечетные размеры, большие единицы. Операция применения маски к изображению фактически представляет собой двумерную свертку [4] и в общем виде реализуется по формуле

$$g(m, n) = \sum_{k=0}^{m-1} \sum_{l=0}^{n-1} f(k, l)h(m-k, n-l), \quad (1)$$

где $h(m-k, n-l)$ – импульсная характеристика применяемого цифрового фильтра; $f(k, l)$ – исходное значение интенсивности в точке с координатами (k, l) ; $g(m, n)$ – выход фильтра для текущего положения окна. Передискретизация изображений с применением цифровых фильтров есть не что иное, как линейная пространственная фильтрация при изменении исходных размеров пространственной области. Основное отличие от обыкновенной пространственной фильтрации заключается в том, что размеры окна фильтров для передискретизации и их коэффициенты непостоянны и могут меняться в зависимости от коэффициентов децимации или интерполяции.

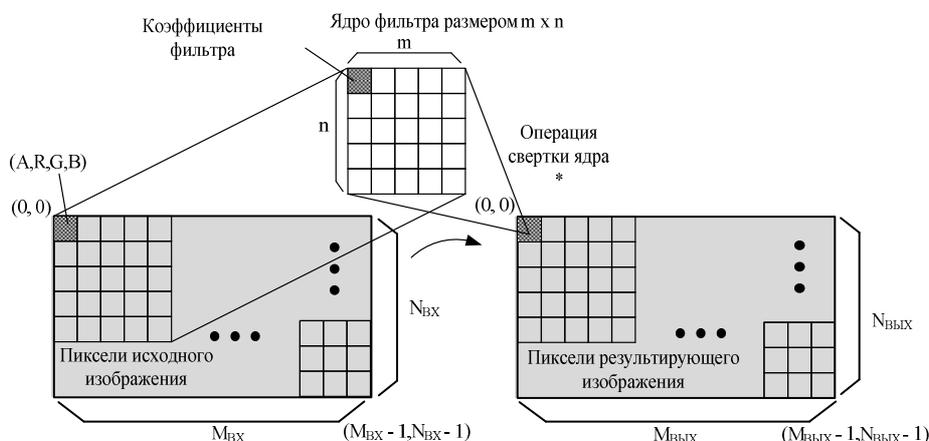


Рис. 1. Общий вид процесса передискретизации изображения с применением цифрового фильтра

При выборе того или иного фильтра для решения задачи передискретизации изображений следует исходить из следующих критериев:

- а) способность фильтров минимизировать появление искажений, возникающих в процессе передискретизации;
- б) взвешенная оценка качества обработки на основе ряда интегральных показателей;
- в) скорость обработки.

Рассмотрим каждый из вышеперечисленных критериев подробнее. В процессе передискретизации неизбежными являются потеря качества и появление различных нежелательных эффектов. Причем *типичными искажениями*, заметно понижающими качество цифровых изображений, являются [5]:

- а) звон – эффект появления нежелательных контуров или ореолов вокруг контрастных деталей изображения при резких перепадах уровней интенсивности цветов;
- б) эффект наложения спектров (алиасинг). Эффект алиасинга возникает из-за наложения друг на друга различных непрерывных сигналов при процессе их дискретизации или передискретизации;
- в) размытие – эффект чрезмерного сглаживания границ различных объектов изображения, вследствие чего становятся неразличимыми мелкие детали.

Среди фильтров, применяемых для передискретизации цифровых изображений, можно выделить три основных типа [6]:

- а) фильтры интерполяционного типа с узкой импульсной характеристикой;
- б) фильтры с колоколообразной импульсной характеристикой, в том числе фильтр Бэла, бикубический фильтр, фильтр Катмула–Рома, фильтры на основе кубических сплайнов, фильтр Гаусса, фильтр Митчелла;
- в) оконные sinc-фильтры, такие как фильтр Ланцоша, фильтр Блэкмана.

Для анализа и выбора наиболее эффективных фильтров при решении задачи передискретизации цифровых изображений была разработана программная модель блока передискретизации кадров цифровых изображений для персональной ЭВМ. Разработанная программная модель позволяет передискретизировать цифровые изображения с применением 13-ти различных цифровых фильтров, проанализировать результаты передискретизации путем расчета значений семи различных взвешенных оценок качества обработки, названных *интегральными показателями*

качества обработки и представленных средней разностью (AD), нормированной корреляцией (NC), качеством корреляции (CQ), верностью изображения (IF), среднеквадратичной погрешностью (MSE), нормированной абсолютной погрешностью (NAE), отношением сигнал/шум (SNR) [5].

В качестве экспериментального теста использовалась следующая последовательность действий: загружалось исходное изображение разрешением 320x240 точек, затем применялась децимация с коэффициентом 2, после чего изображение восстанавливалось до первоначальных размеров поочередно с применением реализованных фильтров. Тестирование проводилось на ПЭВМ со следующими характеристиками: тактовая частота процессора – 3,30 ГГц, объем ОЗУ – 4 Гб, объем видеопамати – 256 Мб. По результатам выполненных экспериментов были рассчитаны перечисленные выше интегральные показатели качества обработки с использованием 13-ти типов фильтров: ступенчатого (1), треугольного (2), бикубического (3), фильтров Хана (4), Эрмита (5), Бэлла (6), Катмулла–Рома (7), Митчелла (8), Гаусса (9), Ланцоша-2 (10), Блэкмена (11), Сплайн-2 (12) и Сплайн-3 (13). По данным расчета, приведенным в табл. 1, можно сказать, что лучшие показатели качества имеют оконные sinc-фильтры (Ланцоша-2 и Блэкмена), фильтры на основе кубических сплайнов, фильтр Катмулла–Рома. Фильтр Гаусса и бикубический фильтр имеют сравнительно низкие характеристики из-за большого размытия, вызывающего увеличение среднеквадратической ошибки. Тем не менее, эти фильтры хорошо устраняют шумы и могут довольно успешно применяться в рамках поставленной задачи.

Следует заметить, что качество обработки с применением одного и того же фильтра может изменяться в зависимости от размеров окна.

Для комплексного анализа была рассчитана взвешенная оценка качества обработки

$$RQ = \alpha \cdot DM + \beta \left(\frac{1}{T}\right) + \gamma \cdot QIC, \quad (2)$$

где

$$QIC = \frac{1}{7}(-AD + NK + CQ + IF - MSE - NAE + SNR).$$

В выражении (2) приняты следующие весовые коэффициенты для каждого из критериев: минимизации искажений $\alpha = 0,25$, скорости обработки $\beta = 0,35$, интегральных показателей качества $\gamma = 0,4$.

Как показали расчеты (табл. 1), наименьшее время передискретизации было обеспечено применением ступенчатого и треугольного фильтров, а также фильтра Эрмита. Наибольшее время обработки необходимо при использовании sinc-фильтров и фильтра Гаусса, что обусловлено большим объемом вычислений в алгоритмах указанных фильтров.

Таблица 1

Тип фильтра (размер маски)	AD	NK	CQ	IF	MSE	NAE	SNR	Время, ms	RQ
1(3x3)	3,2999	0,9999	157,37	0,9973	59,417	0,0231	25,845	6	7,807
2(2x2)	3,4391	0,9983	157,18	0,9976	52,880	0,0240	26,345	7	8,682
3(3x3)	3,3133	0,9987	157,25	0,9977	51,352	0,0232	26,472	16	9,01
4(3x3)	3,3216	0,9987	157,25	0,9977	51,341	0,0232	26,473	10	9,523
5(3x3)	3,7186	0,9977	157,08	0,9973	59,849	0,0260	25,811	16	8,453

Окончание табл. 1

Тип фильтра (размер маски)	AD	NK	CQ	IF	MSE	NAE	SNR	Время, ms	RQ
6(4x4)	4,0537	0,9970	156,97	0,9969	69,575	0,0283	25,161	16	7,835
7(3x3)	3,0991	0,9996	157,38	0,9981	42,823	0,0217	27,253	16	10,312
8(5x5)	3,1048	0,9998	157,41	0,9981	42,453	0,0217	27,290	16	10,086
9(5x5)	3,3061	0,9987	157,24	0,9978	48,923	0,0231	26,680	31	9,65
10(5x5)	3,6919	0,9977	157,09	0,9973	59,224	0,0258	25,856	45	8,729
11(7x7)	3,0914	0,9999	157,54	0,9982	40,076	0,0216	27,537	62	10,728
12(5x5)	3,1034	0,9997	157,39	0,9981	42,392	0,0217	27,297	69	10,322
13(7x7)	3,0755	0,9998	157,41	0,9981	41,723	0,0215	27,365	120	10,615

Комплексный анализ на основе предложенной взвешенной оценки качества обработки результатов, полученных в процессе программного и математического моделирования, показал, что для задач передискретизации цифровых изображений в потоке для режима «картинка-в-картинке» эффективными являются фильтры на основе оконных функций Эрмита, Катмулла–Рома, Митчелла, Ланцоша, Блэкмена и фильтры на основе кубических сплайнов. А цифровой фильтр Сплайн-3 обладает максимальным значением показателя RQ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рабинер Л.Р., Гоулд В. Теория и применение цифровой обработки сигналов. – М.: Мир, 1978.
2. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.
3. Гонсалес Р., Вудс Р., Эддингс С. Цифровая обработка изображений в среде MATLAB. – М.: Техносфера, 2006. – 616 с.
4. Гузик В.Ф., Золотовский В.Е. Проблемно-ориентированные вычислительные системы цифровой обработки сигналов. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2004.
5. Журавель И.М. Краткий курс теории обработки изображений. – М., 1999.
6. Catmull E., Rom R. A class of local interpolating splines. in R.E. Barnhill and R.F. Riesenfeld (eds.) Computer Aided Geometric Design, Academic Press, New York, 1974.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор А.А. Зори.

Пьявченко Алексей Олегович – Технологический институт федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге; e-mail: aop61@mail.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44, ГСП-17А; тел.: +78634371656; кафедра вычислительной техники; доцент.

Петренко Евгений Викторович – e-mail: maestro_eugene@mail.ru; тел.: +78634371656; кафедра вычислительной техники; магистрант.

Puavchenko Aleksey Olegovich – Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”; e-mail: aop61@mail.ru.; GSP-17A, 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371656; the department of computer engineering; associate professor.

Petrenko Evgeniy Viktorovich – e-mail: maestro_eugene@mail.ru; phone: +79185409765; the department of computer engineering; magister.