

УДК 004.42

А.Н. Бугрий, А.П. Остроушко, Я.В. Чаговец

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков

## УСКОРЕНИЕ ОТОБРАЖЕНИЯ ГРАФИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ В СИСТЕМАХ ОБЪЕКТИВНОГО КОНТРОЛЯ

*Статья посвящена проблеме повышения скорости обработки данных при отображении графиков входных величин в системах объективного контроля. Разработаны алгоритмы предварительной обработки информации на базе операций мип-мэппинга и синтеза изображения на основе подготовленных данных. Предлагаемый подход позволяет повысить достоверность отображаемых данных по сравнению с методом билинейной интерполяции.*

**Ключевые слова:** мип-мэппинг, отображение данных.

### Актуальность и постановка задачи

Использование компьютерной техники позволило значительно увеличить объем обрабатываемой информации. Однако возникает проблема корректного отображения данных в виде графиков в случае выполнения операций масштабирования и скроллинга. В случае очень большого объема данных выполнение этих операций потребует значительных вычислительных и временных затрат из-за необходимости обработки всех данных, попавших в диапазон вывода. Особенно остро эта проблема стоит в системах объективного контроля (СОК) [1], где информация накапливается в течение достаточно длительного времени от большого количества различных датчиков. Поэтому актуальной является задача уменьшения вычислений и, соответственно, времени вывода такой информации при сохранении её достоверности.

Необходимо отобразить аналоговые и дискретные параметры с учетом возможности масштабирования и скроллинга.

### Анализ проблемы

Проблема уменьшения объема вычислений становится особенно актуальной в случае, когда в один пиксел «попадает» значительное количество отсчетов исходной величины.

Одним из возможных решений является использование операции мип-мэппинга [4, 5], получившей широкое распространение в компьютерной трехмерной графике. Операция мип-мэппинга (MIP-mapping) использует несколько версий одной текстуры с разной степенью детализации, причем следующая версия меньше предыдущей в 4 раза (например 128x128, 64x64, 32x32 и т.д.). Такие версии называются мип-уровнями.

Используют мипмэппинг для: 1) уменьшения времени обработки (для объектов на далеком расстоянии обрабатывать текстуру с низким разреше-

нием гораздо легче); 2) избавления от шума и муара – добавление мип-уровней с низким уровнем детализации.

При отображении графика некоторой аналоговой функции возникает проблема корректного отображения данных при различном уровне масштабирования. Обычное усреднение значений отсчетов, происходящее при билинейной интерполяции [2], приводит к потере или искажениям точек экстремумов, что часто является недопустимым. Поэтому предлагается подход, использующий диапазон для отображения значения в некоторой точке изображения. При этом определяется минимальное и максимальное значение из всех данных, «попавших» в пиксел, и затем строится отрезок в полученном диапазоне.

В случае дискретных величин операция масштабирования приводит к искажению данных, не удовлетворяющих условиям теоремы Котельникова [3]. Поэтому предлагается участки изображения, где наблюдается такая ситуация, выделять специальным цветом, что позволит оператору знать об изменениях сигнала в данной области.

Предлагается применить такой подход для графического отображения одномерных аналоговых и дискретных параметров.

### Алгоритм построения мип-уровней

Исходные данные:

1. Список аналоговых параметров  $LA = \{A_0, A_1, \dots, A_{N-1}\}$ ,  $N$  – количество аналоговых параметров. Каждый аналоговый параметр  $A_i$  представлен набором отсчетов  $\{a_{i,0}, a_{i,1}, \dots, a_{i,k-1}\}$ , где  $k$  – количество отсчетов аналогового параметра. Каждый отсчет представлен вещественным числом.

2. Список дискретных параметров  $LD = \{D_0, D_1, \dots, D_{M-1}\}$ ,  $M$  – количество дискретных параметров. Каждый дискретный параметр  $D_j$

представлен набором отсчетов  $\{d_{i,0}, d_{i,1}, \dots, d_{i,p-1}\}$ , где  $p$  – количество отсчетов дискретного параметра. Каждый входной отсчет представлен целым числом  $d_{i,j} \in [0, 1]$ .

После загрузки исходных данных LA и LD для каждого элемента списка создаются мип-уровни, число которых  $nA$  и  $nD$  соответственно определяют соотношениями:

$$nA = \lceil \log_2(k/X) \rceil + 1; \quad nD = \lceil \log_2(p/X) \rceil + 1,$$

где  $\lceil \cdot \rceil$  – операция округления к большему целому;  $X$  – минимальный горизонтальный размер области отображения в пикселах.

### Процесс создания мип-уровней

Исходные данные каждого элемента списка являются базовым уровнем  $A_i^0$  в мип-карте аналоговых параметров и  $D_j^0$  в мип-карте дискретных параметров (здесь и далее верхний индекс обозначает номер мип-уровня). Обозначим количество отсчетов в каждом мип-уровне  $A_i^r$  и  $D_j^r$  соответственно  $k_r$  и  $p_r$ . При этом  $k_0 = k$ ,  $p_0 = p$ . Количество отсчетов в  $r$ -ом уровне ( $r > 0$ ) для аналоговых и дискретных сигналов определяется соотношениями соответственно

$$k_r = \lceil k^{r-1}/2 \rceil; \quad p_r = \lceil p^{r-1}/2 \rceil.$$

Для расчета элементов списка аналоговых  $a_{i,j}^r$  ( $r = 0, \dots, nA - 1$ ;  $i = 0, \dots, N - 1$ ;  $j = 0, \dots, k_r - 1$ ) и дискретных  $d_{i,j}^r$  ( $r = 0, \dots, nD - 1$ ;  $i = 0, \dots, M - 1$ ;  $j = 0, \dots, p_r - 1$ ) сигналов  $r$ -го мип-уровня используются элементы  $r-1$ -го мип-уровня.

Поскольку тип информации, хранящейся в списках LA и LD, принципиально отличается, то и алгоритмы расчета элементов мип-уровней различны.

Для определения каждого отсчета нового мип-уровня используется два отсчета предыдущего уровня.

Вначале рассмотрим алгоритм определения элементов мип-уровней для аналоговых величин.

Для устранения потерь информации о диапазоне изменения значений отсчетов на уровнях с меньшей детализацией каждый мип-уровень содержит два массива с максимальными и минимальными значениями для каждого отсчета:

$$a\_max_{i,j}^r = \max(a\_max_{i,2j}^{r-1}, a\_max_{i,m}^{r-1});$$

$$a\_min_{i,j}^r = \min(a\_min_{i,2j}^{r-1}, a\_min_{i,m}^{r-1}),$$

где  $r \in [1, nA - 1]$ ,  $j \in [0, k_r - 1]$ ,

$$m = \min(2j + 1, k_{r-1} - 1).$$

Для базового уровня принимается

$$a\_max_{i,j}^0 = a\_min_{i,j}^0 = a_{i,j}^0.$$

Для построения мип-уровней дискретного сигнала используется другой подход. При переходе к уровню с меньшей детализацией вводится третье значение, обозначаемое как «2», индицирующее наличие двух различных состояний на предыдущем уровне:

$$d_{i,j}^r = \begin{cases} 0, & \text{если } d_{i,2j}^{r-1} = d_{i,m}^{r-1} = 0; \\ 1, & \text{если } d_{i,2j}^{r-1} = d_{i,m}^{r-1} = 1; \\ 2, & \text{иначе,} \end{cases}$$

где  $r \in [1, nD - 1]$ ,  $j \in [0, p_r - 1]$ ,

$$m = \min(2j + 1, p_{r-1} - 1).$$

### Алгоритм отображения данных

Для формирования изображения заданы:  $n\_begin$  – номер начального отсчета базового уровня, количество  $n\_samples$  отсчетов базового уровня, попадающих в область отображения, и ширина области отображения  $W$  в пикселах. Исходное значение номера текущего пиксела  $n\_pix = 0$ .

Отображение данных начинается с выбора мип-уровня с наименьшей детализацией, содержащего данные для визуализации. Критерием выбора является текущий масштаб отображения данных  $s$ :

$$s = n\_samples/W.$$

Алгоритм отображения для аналоговых величин

1. Вычисляется номер мип-уровня:

$$r = \max(0, \lceil \log_2 s \rceil). \quad (1)$$

2. Номера отсчетов  $j_1$  и  $j_2$  на мип-уровне  $r$ , соответствующие номеру пиксела  $n\_pix \in [0, W)$  в изображении, вычисляются по соотношению:

$$j_1 = \lfloor (s \cdot n\_pix + n\_begin) / 2^r \rfloor; \quad (2)$$

$$j_2 = \lceil (s \cdot (n\_pix + 1) + n\_begin) / 2^r \rceil - 1, \quad (3)$$

где  $\lfloor \cdot \rfloor$  – операция округления к меньшему целому.

3. Осуществляется выборка максимального и минимального значения из мип-уровня:

$$val\_max = \max(a\_max_{i,j_1}^r, a\_max_{i,j_2}^r);$$

$$val\_min = \min(a\_min_{i,j_1}^r, a\_min_{i,j_2}^r).$$

4. На основании максимального и минимального значений строится отрезок для текущего значения  $n\_pix$ .

5. Переходим к следующему пикселу изображения:

$$n\_pix = n\_pix + 1.$$

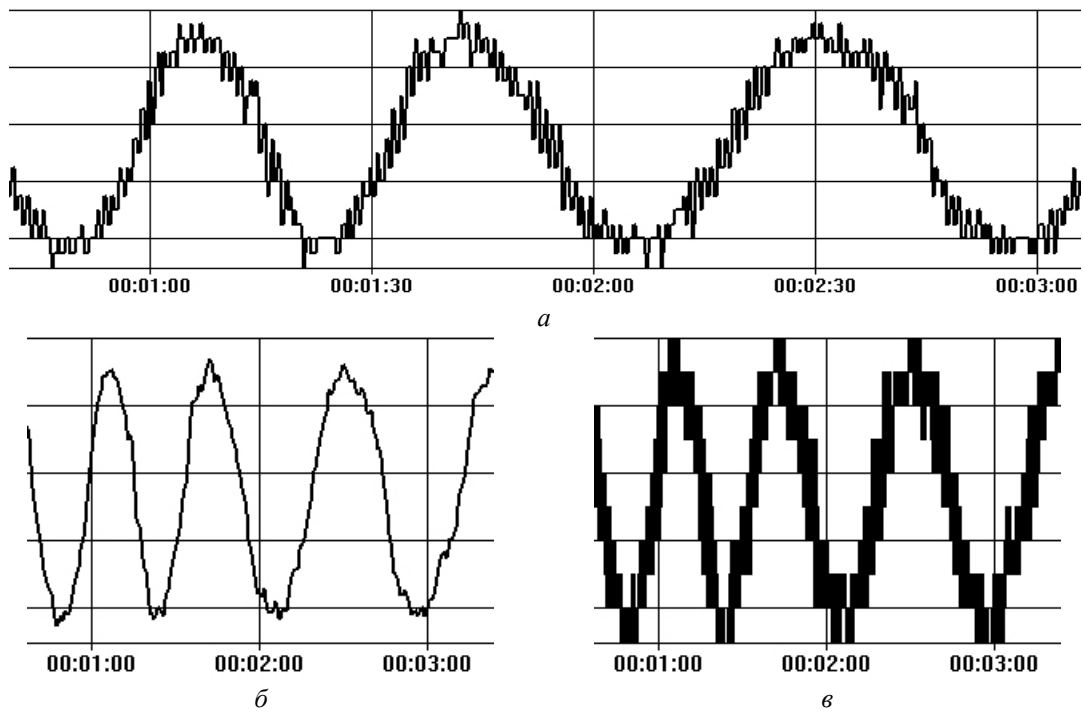


Рис. 1. Отображение аналоговой величины

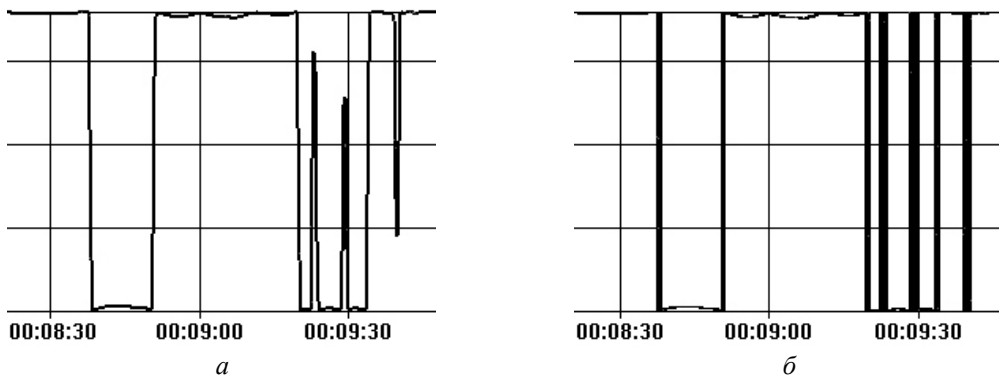


Рис. 2. Отображение аналоговой ступенчато изменяющейся величины

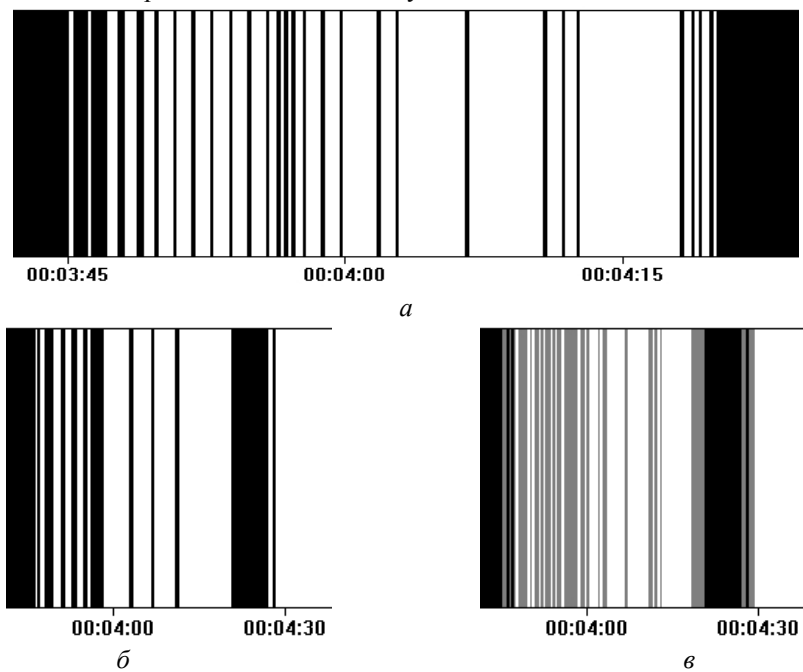


Рис. 3. Отображение дискретной величины

6. Если  $n\_pix < W$ , то переходим к п.2, иначе завершаем процесс визуализации.

Алгоритм отображения для дискретных величин.

1. Вычисляется номер мип-уровня согласно (1).
2. Номера отсчетов  $j_1$  и  $j_2$  на мип-уровне  $g$ , соответствующие номеру пиксела в изображении  $n\_pix$ , вычисляются согласно (2) и (3) соответственно.
3. Вычисляется значение  $d$  дискретного сигнала для текущего пиксела

$$d = \begin{cases} 0, & \text{если } d_{i,j_1}^r = d_{i,j_2}^r = 0; \\ 1, & \text{если } d_{i,j_1}^r = d_{i,j_2}^r = 1; \\ 2, & \text{иначе.} \end{cases}$$

4. Строится отрезок для текущего значения  $n\_pix$ , цвет которого определяется значением  $d$ .

5. Переходим к следующему пикселу изображения:

$$n\_pix = n\_pix + 1.$$

6. Если  $n\_pix < W$ , то переходим к п.2, иначе завершаем процесс визуализации.

### Результаты

Предложенные алгоритмы были использованы при создании СОК тренажера вертолета Ми-8 МТВ [6]. Результаты применения алгоритмов показаны на рис. 1 – 3.

На рис. 1, а показан вариант отображения аналоговой величины при значении масштаба  $s=1$ . Рис. 1, б и 1, в содержат изображение этой же аналоговой величины при значении масштаба  $s=3$ . На рис. 1, б и 2, а показан вариант отображения аналоговых величин при использовании обычной билинейной интерполяции. Рис. 1, в и 2, б построены с использованием рассмотренных выше алгоритмов.

На рис. 3, а показан вариант отображения дискретной величины при значении масштаба  $s=1$ . Рис. 3, б и 3, в содержат изображение этой же дискретной величины при значении масштаба  $s=3$ . При построении рис. 3, б использовалась выборка ближайшего отсчета из списка, а на рис. 3, в показан результат использования вышеописанного алгоритма.

### Выводы

Разработанные алгоритмы позволили ускорить вывод графической информации без потери её достоверности. Предложенные алгоритмы могут найти применение в различных системах сбора и обработки данных, звуковых редакторах, системах цифровой обработки сигналов и т.д.

### Список литературы

1. Справочник инженера по авиационному и радиоэлектронному оборудованию самолетов и вертолетов / Под. ред. В.Г. Александрова. – М.: Транспорт, 1978. – 460 с.
2. Ласло М. Вычислительная геометрия и компьютерная графика на C++: пер. с англ./ М. Ласло. – М.: Бином, 1997. – 304 с.
3. Бондарев В.Н. Цифровая обработка сигналов: методы и средства: учеб. пособие для вузов / В.Н. Бондарев, Г. Трёстер, В.С. Чернега. – 2-у изд. – Х.: Конус, 2001. – 398 с.
4. Хилл Ф. OpenGL. Программирование компьютерной графики / Ф. Хилл. – СПб: Питер, 2002. – 1088 с.
5. Эйнджел Э. Интерактивная компьютерная графика. Вводный курс на базе OpenGL / Э. Эйнджел. – М.: Вильямс, 2001. – 592 с.
6. Зинченко В.П. Украинский вертолетный учебно-тренировочный комплекс / В.П. Зинченко // Авиация общего назначения. – 2007. – № 7. – С. 4-8.

Поступила в редколлегию 17.03.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.Г. Руденко, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.

### ПРИСКОРЕННЯ ВІДОБРАЖЕННЯ ГРАФІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ В СИСТЕМАХ ОБ'ЄКТИВНОГО КОНТРОЛЮ

А.М. Бугрій, А.П. Остроушко, Я.В. Чаговець

Стаття присвячена проблемі підвищення швидкості обробки даних при відображенні графіків вхідних величин в системах об'єктивного контролю. Розроблені алгоритми попередньої обробки інформації на базі операцій мип-мепінга і синтезу зображення на основі підготовлених даних. Пропонований підхід дозволяє підвищити достовірність даних, що відображаються, в порівнянні з методом білінійної інтерполяції.

**Ключові слова:** мип-мепінг, відображення даних.

### ACCELERATION OF VISUALIZATION OF GRAPHICAL INFORMATION IN OBJECTIVE CONTROL SYSTEMS

A.N. Bugry, A.P. Ostroushko, Ya.V. Chagovets

The article is devoted the problem of increase of speed of treatment of the graphs of sizes of entrances given at a reflection in the objective checking systems. The algorithms of preliminary treatment of information are developed on the base of operations of mip-mapping and synthesis of image on the basis of the prepared information. Offered approach allows to promote authenticity of the represented information as compared to the method of bilinear interpolation.

**Keywords:** mip-mapping, reflection of information.