УДК 681.327

Б. С. ДОЛГОВЕСОВ, З. А. ЛИВШИЦ

*(Новосибирск)*

# АНАЛИЗ СПОСОБОВ РЕГУЛИРОВКИ СКОРОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ В УСТРОЙСТВАХ ГРАФИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

Одной из основных характеристик устройств графического взаимодействия человека с ЭВМ на ЭЛТ со случайным сканированием является объем графической информации, выводимой на один кадр без мерцания. Изображение в таких устройствах формируется из набора отрезков в генераторе векторов (ГВ) [1, 2] и подается на отклоняющий комплекс (ОК), состоящий из усилителей и отклоняющих катушек [3]. Отличительная особенность электромагнитных ОК — зависимость времени отработки вектора от его длины. Стремление максимально использовать возможности ОК по быстродействию приводит к необходимости регулировки скорости построения вектора. Рассмотрим вопрос о выборе параметра $L$, пропорционально которому происходит изменение скорости построения.

В генераторах векторов для регулировки скорости производят изменение времени построения $T_п$ и входных приращений координат $\Delta X$ и $\Delta Y$ либо постоянной времени формирующей части генератора вектора пропорционально длине вектора или величине, связанной с ней, так, чтобы значение скорости по каждой из координат не превышало максимально допустимого значения $V_m$, определяемого отклоняющим комплексом. Постоянства скорости перемещения луча, равной $V_m$, можно достичь, если выбрать в качестве параметра длину отображаемого вектора. Однако несложно показать, что в случае использования в качестве параметра значения большего приращения вектора время построения $T_{п1}$ является минимальным и связано с временем построения $T_{п2}$ при регулировке по длине следующей зависимостью:

$$T_{п1} = T_{п2} \cos \alpha, \tag{1}$$

где $\alpha$ — угол между вектором и его большой проекцией на оси координат. Выражение (1) показывает, что в случае регулировки по большой координате скорость движения луча зависит от угла $\alpha$ и может превышать значение $V_m$ в $\sqrt{2}$ раза.

Часто для уменьшения погрешностей, появляющихся при отображении информации от введения регулировки, используется цифровой или цифроаналоговый способ реализации, причем с целью сокращения объема оборудования применяют ограниченное количество порогов, на которые разбивается параметр. При этом возникает вопрос о выборе числа уровней квантования и оптимальном расположении их по параметру $L$ с учетом плотности распределения по нему отображаемой информации $f(x)$.

Для его решения разобьем область значений параметра от 0 до $L$ на $N$ квантов с порогами $X_1, X_2, \ldots, X_{N-1}$. Время построения вектора на каждом участке будет равно $T_k = \frac{X_k}{V_m}$ при $X_{k-1} < X < X_k$. Математическое ожидание времени построения вектора запишется как

$$E[T] = \sum_{k=1}^{N} \frac{X_k}{V_m} \int\limits_{X_{k-1}}^{X_k} f(x)\,dx. \tag{2}$$

Поскольку $\int\limits_{X_{k-1}}^{X_k} xf(x)\,dx \leqslant X_k \int\limits_{X_{k-1}}^{X_k} f(x)\,dx$, то для любого $N$ и при любом способе квантования

$$E[T] \geqslant \frac{E[X]}{V_m}. \tag{3}$$

Уравнение для определения оптимальных порогов имеет вид

$$\frac{\partial \Phi}{\partial X_k} = \frac{1}{V_m}\left[\int\limits_{X_{k-1}}^{X_k} f(x)\,dx + f(x)(X_k - X_{k-1})\right] = 0, \tag{4}$$

где $E[T] = \Phi(X_1, X_2, \ldots, X_{N-1})$; $k = 1, 2, \ldots, N-1$.

В случае равномерного распределения входной информации по параметру $X_k^{\text{опт}} = \frac{k}{N} L$ и

$$E[T]_{\text{pmin}} = \frac{(N+1)L}{2NV_m}. \tag{5}$$

При больших значениях $N$ для широкого класса распределений справедливы следующие асимптотические формулы для среднего времени построения вектора

при оптимальном квантовании:

$$E[T]_{\min} \cong \frac{1}{V_m} E[X] + \frac{L}{2NV_m}\left[\int_0^L \sqrt{f(x)}\,dx\right]^2; \tag{6}$$

при равномерном квантовании

$$E[T] \cong \frac{1}{V_m} E(X) + \frac{L}{2NV_m}. \tag{7}$$

Представляет интерес рассмотреть случай, когда в качестве параметра $L$ выбрано большее приращение вектора, квантованное по двоичному закону, и число квантов $N$ соответствует максимальной разрядности отображаемых векторов $n$. Такая регулировка просто реализуется аппаратурно, не внося дополнительных погрешностей в построение векторов, путем сдвига двоичных кодов входных приращений на величину $2^{n-m}$ ($m$ — разрядность текущего большего приращения вектора) в сторону старшего разряда и уменьшения времени преобразования пропорционально этому числу.

Выражение для математического ожидания времени $E[T]_{\text{дв}}$ при равномерном законе распределения векторов по большей координате с учетом, что $X_k = \frac{L}{2^{N-k}}$, примет вид

$$E[T]_{\text{дв}} = \frac{1}{V_m}\sum_{k=2}^{N} \frac{L}{2^{N-k}\cdot 2^{N-k+1}} + \frac{1}{V_m}\frac{L}{2^{N-1}\cdot 2^{N-1}} = \frac{2L}{3V_m} + \frac{L}{3\cdot 2^{2N-2}V_m}. \tag{8}$$

Из сравнения выражения (5) для оптимального квантования с выражением (8) видно, что $E[T]_{\text{р}}$ меньше $E[T]_{\text{дв}}$ при больших $N$ на $\sim \frac{1}{6}\frac{L}{V_m}$ и увеличение числа квантов в случае (8) имеет меньшее влияние на $E[T]$. Это объясняется тем, что в случае размещения квантов вдоль регулирующего параметра по двоичному закону наибольшее их количество приходится на начальный участок, и получение выигрыша во времени возможно для законов распределения, среднее значение длин векторов для которых смещено в область малых значений, что имеет место для многих применений. Учитывая эту особенность, рассмотрим на примере равномерного распределения, как изменяется время построения векторов с уменьшением разрядности приращений векторов и соответственно числа квантов регулирующего параметра. Ограничим число уровней квантования $N$ со стороны больших значений величиной $K$ и найдем среднее время построения для векторов любой длины, учитывая время подготовки к построению вектора $t$, которое в предыдущих выражениях не учитывалось, но в данном случае должно быть включено, так как векторы, разрядность которых превышает $K$, должны строиться в несколько приемов:

$$E^k[T] = \sum_{j=1}^{2^{N-1}-1} \frac{j}{2^{N-k}}\left(t + \frac{L}{V_m 2^{N-k}}\right) + E^*[T] = \frac{2^{N-k}-1}{2}\,t + \\ + \frac{3\cdot 2^{N+k-3} - 3\cdot 2^{2k-3} + 2^{2k-1} + 1}{3\cdot 2^{N+k-2}}\,\frac{L}{V_m}, \tag{9}$$

где $E^*[T]$ — среднее время построения векторов, длиной не более $\frac{L}{2^{N-k}}$.

Оптимальное значение $K$, при котором среднее время построения векторов длиной от 1 до $2^N$ при использовании генератора с ограниченным числом разрядов принимает минимальное значение, найдем из условия

$$E^k[T] - E^{k-1}[T] \leqslant 0. \tag{10}$$

Используя выражение (9) и обозначив $t = \alpha \frac{L}{V_m}$, получим

$$k_{\text{опт}} = \frac{1}{2}\log_2(16 + 3 \cdot 2^{2N+1}\alpha) - 1, \quad (11)$$

если результат является целым числом, и

$$k_{\text{опт}} = \frac{1}{2}\log_2(16 + 3 \cdot 2^{2N+1}\alpha) \quad (12)$$

в противном случае.

Из выражения (9) и (10) при $K=N$ следует, что сокращение числа разрядов имеет смысл, когда

$$\alpha < \frac{2^{2N-2} - 3 \cdot 2^{2N-4} - 1}{3 \cdot 2^{2N-3}}. \quad (13)$$

Если $N=10$ и $\alpha=0{,}1$, получим $K=9$, что соответствует $E^9[T]=0{,}67\frac{L}{V_m}$, тогда как при полноразрядном генераторе векторов и числе квантов, равном числу разрядов генератора, $E^{10}[T]=0{,}76\frac{L}{V_m}$. Полученные результаты говорят о возможности сокращения числа разрядов генератора вектора с одновременным повышением его быстродействия для равномерного закона распределения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. S. Davis. Computer data displays. Englewood Cliffs, Prentice Haal, 1969.
2. Б. С. Долговесов и др. Отображение графической и буквенно-цифровой информации в системах графического взаимодействия человека с ЭВМ.— Автометрия, 1971, № 4.
3. А. М. Ковалев, А. С. Токарев. Широкополосное управление лучом ЭЛТ с электромагнитным отклонением.— Автометрия, 1971, № 4.

*Поступило в редакцию 13 сентября 1972 г.*

---

УДК 51 : 330.115

**Ю. Н. ЗОЛОТУХИН**

*(Новосибирск)*

# ОБ ОЦЕНКЕ МЕТОДИЧЕСКОЙ ПОГРЕШНОСТИ СИСТЕМЫ «КОЛЛЕКТИВНОГО» РАЗВЕРТЫВАЮЩЕГО УРАВНОВЕШИВАНИЯ

Рассматривается задача, возникшая при разработке программно-управляемой магистральной системы сбора данных, один из блоков которой осуществляет циклический опрос группы каналов; в процессе измерения одновременно сравниваются значения сигналов во всех каналах с компенсационным напряжением.

Известны [1, 2] схемы аналого-цифрового преобразования со ступенчато-растущим компенсационным напряжением. При создании на подобной основе многоканальных преобразователей, используемых в магистральной системе, необходимо считаться с возникающей дополнительно методической погрешностью, обусловленной возможностью одновременного срабатывания устройств сравнения в нескольких каналах и невозможностью передачи в накопитель или на печать более одного результата измерения (кода числа и номера канала), так как время передачи одного результата сравнимо с «длительностью ступени» компенсационного напряжения.

В [3] с помощью методов комбинаторного анализа получены выражения для среднего модуля методической погрешности в каждом из каналов и для всей системы; к сожалению, их использование затруднительно даже при наличии относительно небольшого числа каналов.

Здесь мы дадим оценку среднего модуля ошибки в системе, используя методы теории массового обслуживания