Синтаксис языка. В качестве базового алфавита выберем, пока формально, следующее множество символов: *вершина, грань, погружение, сфера, конец*. Соответственно в представлении языкового подмножества будет использоваться пять типов записей. Опишем синтаксис языка, применяя символику БНФ:

⟨визуальная модель⟩ ::= ⟨последовательность⟩.
⟨последовательность⟩ ::= ПУСТО |
⟨последовательность⟩⟨элемент⟩.
⟨элемент⟩ ::= ⟨грань⟩ |
погружение ⟨последовательность⟩ *конец* |
сфера ⟨последовательность⟩ *конец*.
⟨грань⟩ ::= *грань вершина вершина вершина* |
⟨грань⟩ *вершина*.

Семантика языка. Визуальные модели, описываемые показанным выше подмножеством языка, представляются последовательностями записей пяти типов, размещаемыми в последовательных файлах. Понятие ⟨визуальная модель⟩ представляет структуру такого файла.

Понятие ⟨последовательность⟩ есть, возможно, пустая композиция синтаксически замкнутых элементов, составляющих более крупный объект (например, куб состоит из последовательности шести своих граней). Грань представляется записью типа *грань*, за которой следует не менее трех *вершин*. Запись типа *вершина* содержит координаты вершины, а также данные, необходимые для расчета освещенности в вершине. Запись типа *грань* разделяет последовательности *вершин* и содержит информацию, характерную для грани в целом, например, цвет, нормаль и др.

Погружение позволяет не только строить композиции элементов модели, но и воздействовать на них геометрическими преобразованиями. Запись типа *погружение* содержит матрицу аффинного преобразования, которое действует на всю последовательность до парного ограничителя, представленного записью типа *конец*.

Конструкция типа сферы представляет здесь большой класс элементов дерева модели, которые сами по себе не имеют визуального образа, а служат для поддержания баланса между необходимым объемом вычислений и сложностью получаемых изображений. Запись *сфера* содержит координаты центра и диаметр сферы, охватывающей в пространстве геометрический образ всей последовательности до парного разделителя *конец*. Анализ положения сферы относительно пирамиды видимости может сократить объем вычислений для отображения охватываемых объектов, например, сфера может не попасть в поле зрения наблюдателя [3].

Заключение. Кратко изложенная идея внутреннего языка лежит в основе реализации комплексов программного обеспечения двух поколений ССВ [2]. Внутренний язык обеспечивает унификацию интерфейса прикладных программ к представлению визуальных моделей. Значительный вклад в конкретизацию языковых элементов и синтаксиса внес А. В. Гусев. А. И. Гурин разработал интерфейсные модули и пакет программ для диалоговой работы с элементами внутреннего языка.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Тренажерные** системы/Под ред. В. Е. Шукшунова.— М.: Машиностроение, 1981.
2. **Ковалев А. М., Талныкин Э. А.** Машинный синтез визуальной обстановки.— Автометрия, 1984, № 4.
3. **Гусев А. В., Ивашин С. Л., Талныкин Э. А.** Математические модели сцен в синтезирующих системах визуализации реального времени.— Автометрия, 1985, № 4.

*Поступило в редакцию
13 февраля 1985 г.*

УДК 519.219

А. Г. БУЙМОВ
(Томск)

КВАНТОВАНИЕ ПАЛЬМОВСКИХ ПОЛЕЙ

Введение. Опыт применения полей Пальма [1] при статистических испытаниях систем сравнения и совмещения случайных изображений [2—5] убеждает в удобстве и целесообразности дальнейшего использования полей. Однако недостаточно изучено их преобразование пороговыми устройствами. Это может сказаться на корректности интерпретации результатов имитационного моделирования систем с квантованием изображений.

Целью данной работы является исследование переходных вероятностей, совместных распределений и ковариаций квантованных пальмовских полей.

Переходные вероятности. Пусть два пороговых устройства разбивают множество X значений однородного случайного поля $x(r)\in X$, $r\in R_n$, в точках $r=r_1$ и $r=r_2$ на две совокупности непересекающихся подмножеств $\{x_1=x(r_1)\in S\}$,

$\{x_2 = x(r_2) \in T\}$ и каждому S и T ставят в соответствие некоторые уровни v_S и v_T.

При этом условная вероятность перехода из x_1 в T для поля с распределением

$$w(x_1, x_2) = w(x_1)\{w(x_2) + [\delta(x_2 - x_1) - w(x_2)]\rho_{12}\} \qquad (1)$$

($w(x_i)$ — маргинальная плотность вероятностей поля в точке r_i; ρ_{12} — коэффициент корреляции между x_1 и x_2) представима в виде

$$P_{x_1T} = \int\limits_{x_2 \in T} \{w(x_2) + [\delta(x_2 - x_1) - w(x_2)]\rho_{12}\} dx_2 = \pi_T + (\delta_{x_1T} - \pi_T)\rho_{12}. \qquad (2)$$

Здесь

$$\pi_T = \int\limits_{x \in T} w(x)\, dx;$$

$$\delta_{xT} = \begin{cases} 1, & \text{если } x \in T; \\ 0, & \text{если } x \overline{\in} T. \end{cases}$$

Условная вероятность перехода из S в T может быть найдена по формуле

$$P_{ST} = \int\limits_{x_1 \in S} w_S(x_1) P_{x_1T} dx_1, \qquad (3)$$

где $w_S(x)$ — условное распределение x в S;

$$w_S(x) = \begin{cases} w(x)/\pi_S, & \text{если } x \in S; \\ 0, & \text{если } x \overline{\in} S. \end{cases} \qquad (4)$$

При этом из (2) — (4) с учетом того, что

$$\int\limits_{x \in S} \delta_{xT} w_S(x)\, dx = \frac{1}{\pi_S} \int\limits_{x \in S \cap T} w(x)\, dx = \frac{\pi_{S \cap T}}{\pi_S},$$

следует

$$P_{ST} = \pi_T + \left(\frac{\pi_{S \cap T}}{\pi_S} - \pi_T\right)\rho_{12}. \qquad (5)$$

Если пороговые устройства идентичны, т. е. X разбивается так, что возможны только две ситуации: либо $S \cap T = \varnothing$, либо $S = T$, то вместо (5) удобнее использовать

$$P_{ST} = \pi_T + (\delta_{ST} - \pi_T)\rho_{12}, \qquad (6)$$

где

$$\delta_{ST} = \begin{cases} 1, & \text{если } S = T; \\ 0, & \text{если } S \cap T = \varnothing. \end{cases}$$

Из сравнения (6) с формулами работы [1] следует, что распределение (1) представляет собой вероятностное описание пальмовского поля с континуальным X и корреляционные свойства этого поля при пороговых преобразованиях не меняются.

Ковариация исходного и квантованного поля. С учетом формул (1), (2), (4) второй начальный смешанный момент случайных величин $x(r_1)$ и $v(r_2)$

$$M[x(r_1)\, v(r_2)] = \int\limits_{x_1} \sum_T x_1 v_T w(x_1) P_{x_1T} dx_1 = M[x_1]M[v] + \rho_{12}\left(\sum_T m_T v_T \pi_T - M[x_1]M[v]\right),$$

где m_T — условное среднее значение поля в области T:

$$m_T = \frac{1}{\pi_T} \int\limits_{x \in T} x w_T(x)\, dx. \qquad (7)$$

Отсюда, вводя обозначения коэффициентов ковариации

$$K_{\xi\zeta}^{ij} = M[\xi(r_i)\zeta(r_j)] - M[\xi(r_i)]M[\zeta(r_j)],$$

дисперсий $D[\xi]$ и коэффициентов корреляции $C_{\xi\zeta}^{ij}$, можно получить

$$K_{xv}^{12} = \rho_{12} K_{mv}^{12}, \qquad (8)$$

$$C_{xv}^{(12)} = \rho_{12} \sqrt{\frac{D[m]}{D[x]}}\, C_{mv}^{22}. \qquad (9)$$

Очевидно, что с увеличением мощности подмножеств $\{x \in T\}$ отношение $D[m]/D[x]$ уменьшается от единицы до нуля, и, следовательно, взаимная корреляция между исходным и квантованным полем падает. Максимальное значение коэффициента корреляции (9) при прочих равных условиях имеет место в случае линейной согласованности между условными средними m и уровнями v, когда

$$v_T = \alpha m_T + \beta. \tag{10}$$

При этом

$$C^{12}_{xv} = \rho_{12} \sqrt{D[m]/D[x]}. \tag{11}$$

На основе формул (6)—(9) можно также вывести, что при идентичном квантовании поля $x(r)$ в точках r_1, r_2 и выполнении условия (10) в более жестком виде $v_T = m_T$ шум квантования $\varepsilon(r) = x(r) - v(r)$ обладает нулевым средним и функциями ковариации

$$K^{12}_{\varepsilon\varepsilon} = (D[x] - D[m])\, \rho_{12};$$

$$K^{12}_{x\varepsilon} = K^{12}_{\varepsilon\varepsilon};$$

$$K^{12}_{v\varepsilon} = 0.$$

Отсюда

$$\begin{gathered} D[\varepsilon] = D[x] - D[m]; \\ C^{12}_{\varepsilon\varepsilon} = \rho_{12}; \\ C^{12}_{x\varepsilon} = \rho_{12} \sqrt{D[\varepsilon]/D[x]}; \\ C^{12}_{v\varepsilon} = 0. \end{gathered} \tag{12}$$

Следует обратить внимание на отличие формул (12) от результатов [6], полученных для нормальных случайных процессов. Во-первых, шумы квантования пальмовских полей не являются белыми и их корреляционная функция повторяет корреляционную функцию квантуемого поля. Во-вторых, с уменьшением отношения $D[\varepsilon]/D[x]$ коэффициент взаимной корреляции $C^{12}_{x\varepsilon}$ убывает гораздо медленнее, чем в нормальном случае.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Буймов А. Г.** К статистике пальмовских полей.— Автометрия, 1981, № 6, с. 13.
2. **Буймов А. Г., Буймова Н. А.** Статистика расфокусированных изображений.— В кн.: Корреляционно-экстремальные системы управления. Томск: ТГУ, 1981, вып. 6, с. 16.
3. **Буймов А. Г., Буймова Н. А.** Исследование автокорреляции изображений по разmасштабированию, вращениям и сдвигам.— Автометрия, 1982, № 1, с. 84.
4. **Буймов А. Г., Буймова Н. А., Масликов В. И., Третьяков В. А.** Статистический анализ функций правдоподобия сигналов сравнения изображений в корреляционно-экстремальных системах.— В кн.: Корреляционно-экстремальные системы управления. Томск: ТГУ, 1982, с. 53.
5. **Антипин В. В., Буймов А. Г.** Статистический анализ ошибок совмещения изображений по методу наименьших квадратов в условиях окрашенного шума.— Автометрия, 1985, № 3.
6. **Левин Б. Р.** Теоретические основы статистической радиотехники. Кн. 1.— М.: Сов. радио, 1974.

Поступило в редакцию
18 мая 1984 г.

УДК 621.391

П. А. БАКУТ, М. В. КУЗНЕЦОВ, В. И. МАНДРОСОВ

(Москва)

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ НЕРОВНОСТЕЙ И ФОРМЫ ПАРАБОЛИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПО ИХ КОГЕРЕНТНЫМ ИЗОБРАЖЕНИЯМ

В работе [1] приводится распределение средней интенсивности поля в изображении неплоской шероховатой поверхности. Однако результаты этой работы требуют уточнения для случая пологих неровностей, когда $\gamma < h/R$, где γ — среднеквадратичный наклон неровностей; h — апертура оптической системы, формирующей изображение; R — расстояние от поверхности до оптической системы. В данной работе получены распределения средней интенсивности в изображениях шероховатых параболических поверхностей для широкого диапазона среднеквадратичных наклонов неровностей и предложен метод определения радиуса кривизны и среднеквадратич-