

## ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВИДЕОЦИФРОВКИ НА ФОРМИРОВАНИЕ ТРЕХМЕРНЫХ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ НЕРЕГУЛЯРНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

*Ю. В. Полозков, Д. Н. Свирский,  
С. М. Литовский*

Адекватность компьютерных моделей поверхностей, построенных в результате оцифровки нерегулярных объектов посредством фотометрических систем, в значительной мере определяется достоверностью значений элементов ориентирования, задающих взаимное расположение объекта, центра проецирования и изображения. Отсутствие в типовых регистрирующих камерах аппаратных функций, позволяющих определять текущие значения этих элементов (факторов) во многом усложняет процесс видеооцифровки, а использование профессионального оборудования и специальных устройств (дальномеров, теодолитов и т. п.) значительно повышает стоимость его проведения. Возможность существенного повышения степени соответствия цифровой модели поверхности реальной форме объекта, при применения стандартных фото-, видеокамер, состоит в поиске оптимального сочетания уровней факторов. Для этого требуется оценить степень влияния каждого из факторов на получаемый результат, выявить закономерность изменения пространственных координат точек объекта и пространственных отношений от изменения управляемых факторов процесса видеооцифровки и построить математическую модель этой связи.

В основе метода видеооцифровки [1], разработанного в УО "Витебский государственный технологический университет", лежит математически описанная связь видеосъемки и проецирования координатной сетки слайда на поверхность объекта [2]. Поэтому видеосистема, реализующая этот метод, включает видеокамеру и проектор. Соответственно, основными управляемыми факторами процесса видеооцифровки представляются значения элементов внешнего и внутреннего ориентирования видеоизображения и слайда. К первым относятся значения расстояния от объекта до главной точки объектива камеры; угла наклона камеры; угла линии направления съемки; фокусного расстояния камеры; углового ориентирования видеоизображений. Входными факторами проецирования слайда являются значения расстояния от объекта до проектора; фокусного расстояния проектора; диаметра объектива проектора; удаления крайней линии сетки слайда от главной оптической оси проектора. В статистическом анализе использовался дробный трехуровневый многофакторный нормированный план. Интервалы и уровни варьирования факторов представлены в таблице 1.

При изменении управляемых факторов в процессе видеооцифровки фиксировались величины пространственных координат точек поверхности объекта  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ , а также расстояние между двумя точками, принадлежащими одной световой проекции слайда -  $L$  и расстояние между начальной точкой проекции  $L$  и конечной точкой двадцать восьмой проекции  $L_{28}$ , как комплексный показатель, характеризующий величину горизонтального и вертикального размера поверхности (рис. 1). Изменения пространственных координат  $Y$ ,  $Z$  может рассматриваться в качестве параметров, характеризующих изменения размера поверхности по высоте и ширине соответственно, а изменение аппликаты  $X$  может быть показателем изменения "глубины" или объема поверхности объекта оцифровки.

При расчете коэффициента вариации и квадратической неровноты (табл. 2) установлено, что наибольшую чувствительность к изменениям входных факторов процесса видеооцифровки имеют выходные параметры  $Y$  и  $X$ . При этом



чувствительность  $Y$  значительно превышает уровень чувствительности остальных параметров.



Рисунок 1 - Изображение исследуемых параметров видеооцифровки, характеризующих линейные размеры компьютерной модели поверхности

Таблица 1 - Интервалы и уровни варьирования факторов

Наименование фактора	Условное обозначение	Интервал варьирования	Уровни варьирования		
			-	0	+
<b>Видеокамера</b>					
Фокусное расстояние камеры	DF	1 мм	74	75	76
Расстояние от начала пространственной системы координат (ПСК) до главной точки объектива камеры	DR	10 мм	1390	1400	1410
Угол наклона камеры	DM	1°	44	45	46
Угол линии направления съемки	DW	1°	-1	0	1
Угол поворота оси x вокруг X	DQ	1°	-1	0	1
Угол поворота оси y вокруг Y	DNN	1°	44	45	46
Угол поворота оси z вокруг Z	DV	1°	-1	0	1
<b>Проектор</b>					
Фокусное расстояние проектора	DFP	1 мм	114	115	116
Расстояние от объекта до проектора	DH	10 мм	1480	1490	1500
Количество линий половины слайда	DD_2	1	19	20	21
Диаметр объектива проектора	DO	1 мм	34,7	35,7	36,7
Удаление крайней линии сетки слайда от гл. оптической оси проектора	DLN	1 мм	39	40	41

Для выполненного объема наблюдений с доверительной вероятностью, принятой  $p_D=0,95$  получены следующие двусторонние доверительные интервалы:

$$X: -117,61 \leq -112,53 \leq -107,42;$$

$$Y: 17,63 \leq 20,61 \leq 23,60;$$

$$Z: 39,22 \leq 39,43 \leq 39,64;$$

$$L: 30,99 \leq 31,10 \leq 31,22;$$

$$L28: 154,07 \leq 154,66 \leq 155,24$$



Таблица 2 - Коэффициенты вариации CV{Y} и квадратическая неровнота C{Y}

Параметр	CV{Y}, mm	C{Y}, %
X	-1933100212	-19.33100212
Y	0.6188998509	61.88998509
Z	0.02269746420	2.269746420
L	0.01594872083	1.594872083
L28	0.01616412058	1.616412058

Интегральные функции изменения величин анализируемых параметров отвечают нормальному закону распределения.

Распределение факторов по уровню вклада в формирование выходного параметра по результатам корреляционного анализа представлено в таблице 3:

Таблица 3 - Распределение факторов по величине корреляционной связи

Параметр	Очень сильная	Сильная	Средняя	Слабая
X	-	DM	DNN	DV
Y	-	DW	DQ	DV
Z	-	-	DD_2, DLN, DM, DFP	DNN, DH, DV, DO
L	-	-	DF, DNN, DR	DM
L28	-	DF	DR, DNN, DM	-

На рис. 2 а, б и в соответственно представлены типичные графики сильной, средней и слабой корреляции между факторами и анализируемыми параметрами.

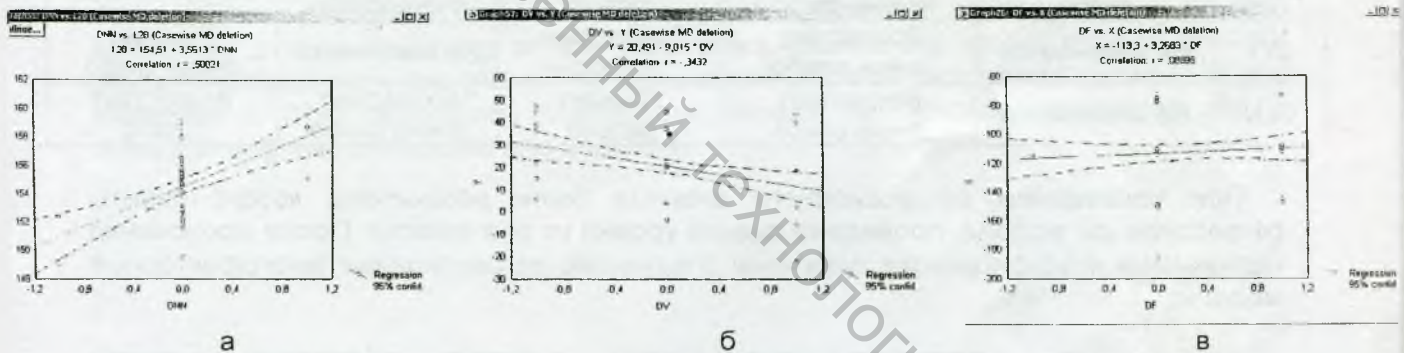


Рисунок 2 - Графические отображения типичной корреляционной взаимосвязи между факторами и выходными параметрами (а - сильная, б – средняя, в - слабая)

Как видно из таблицы 2, имеется значительная зависимость выходных параметров от параметров внешнего ориентирования видеокамеры и ее фокусного расстояния. Притом, что факторы слабо коррелируют между собой. Коэффициент их корреляции находится в пределах  $0,2 < |r| < 0,4$ . Исключение составляют факторы DR и DF, что объясняется их пропорциональностью. Не имеют ощутимой взаимосвязи факторы проектора с факторами, относящимися к видеокамере.

Фокусное расстояние оказывает влияние не на определение непосредственно трехмерных координат, а именно, на получаемые пространственные размеры объекта. Кроме того, при видеооцифровке результаты во многом зависят от значений элементов внутреннего углового ориентирования снимка. На многие параметры значительное воздействие факторы DNN и DM, коррелирующий с фактором ориентирования снимка DV. Величина Z изменяется практически пропорционально количеству спроецированных линий слайда и его размера (DD\_2, DLN), что объясняется геометрическим смыслом процесса. При этом параметр Z незначительно зависит от влияния других факторов видеосъемки, а, следовательно, появляется возможность изменять величины X и Y, не оказывая существенного воздействия на аппликату Z.



Для выполнения оптимизации процесса видеооцифровки особый интерес представляют знак и интенсивность изменения параметра в зависимости от изменений каждого фактора, т. е. динамика функции вида  $P=f(N_i)$  (табл. 4).

Таблица 4 - показаны изменения параметров при возрастании факторов

	X	Y	Z	L	L28
DF	Возрастает очень слабо	Убывает очень слабо	Убывает очень слабо	Убывает сильно	Убывает сильно
DR	Не изменяется	Не изменяется	Убывает очень слабо	Возрастает сильно	Возрастает сильно
DM	Убывает сильно	Убывает слабо	Возрастает сильно	Возрастает сильно	Возрастает сильно
DW	Убывает очень слабо	Возрастает сильно	Не изменяется	Возрастает очень слабо	Возрастает очень слабо
DQ	Возрастает очень слабо	Возрастает сильно	Убывает очень слабо	Возрастает очень слабо	Убывает очень слабо
DNN	Убывает сильно	Возрастает слабо	Возрастает слабо	Возрастает сильно	Возрастает сильно
DV	Убывает слабо	Убывает слабо	Возрастает слабо	Убывает очень слабо	Возрастает очень слабо
DFP	Возрастает слабо	Не изменяется	Убывает слабо	Убывает очень слабо	Убывает очень слабо
DH	Не изменяется	Убывает очень слабо	Возрастает слабо	Возрастает очень слабо	Возрастает очень слабо
DD_2	Убывает слабо	Убывает очень слабо	Возрастает сильно	Возрастает очень слабо	Не изменяется
DO	Не изменяется	Возрастает очень слабо	Возрастает слабо	Не изменяется	Убывает очень слабо
DLN	Не изменяется	Возрастает очень слабо	Убывает сильно	Возрастает очень слабо	Возрастает слабо

При проведении регрессионного анализа были рассчитаны коэффициенты регрессионной модели, проведена оценка уровня их значимости. После исключения незначимых коэффициентов получены следующие регрессионные многофакторные модели:

$$X = -112,338 + 3,052DF - 37,515DM - 5,723DW + 2,738DQ - 27,927DNN - 1,705DV + 3,101DO$$

$$Y = 20,925 + 0,805DR + 1,009DM + 24,336DW + 16,374DQ + 2,497DNN - 3,374DV$$

$$Z = 39,441 - 0,059DF + 0,937DM + 0,167DW - 0,094DQ + 0,692DNN + 0,071DV - 0,284DFP + 0,196DH + 0,899DD_2 + 0,261DO - 0,896DLN$$

$$L = 31,231 - 0,589DF + 0,392DM + 0,086DQ + 0,604DNN - 0,084DV - 0,061DD_2$$

$$L28 = 155,451 - 2,346DF + 1,205DR + 2,715DM + 0,205DW - 0,239DQ + 3,028DNN - 0,245DV + 0,099DFP - 0,328DD_2 - 0,225DO + 0,340DLN$$

Анализ регрессионных моделей показал, что адекватность определения аппликаты X (объема поверхности) и линейного горизонтального размера модели поверхности во многом зависит от качества проведения юстировки и калибровки видеокамеры. Достоверностью определения углового ориентирования видеокамеры и изображения задается параметр Y. В регрессионную модель параметра Z, как и в модель, описывающую L28, вошли 11 входных факторов. Однако, большую значимость для Z имеют факторы, задающие процесс проецирования слайда, а для L28 – факторы, относящиеся к построению видеоизображения.

Статистический анализ позволяет заключить о высокой степени влияния всех рассмотренных факторов на формируемую цифровую модель поверхности. Причем, комплексная оценка связана с высокой трудоемкостью ввиду разнородности влияния конкретно взятого фактора на выходные параметры процесса видеооцифровки. На практике сокращение количества варьируемых факторов в

моделях представляется возможным за счет точного измерения расстояния от видеокамеры до объекта, угла наклона видеокамеры, углового ориентирования плоскости изображений (осей  $x$  и  $y$ ) в системе координат видеокамеры и точного определения расстояния от проектора до объекта и параметров слайда. Это позволит ограничить оптимизацию процесса поиском требуемых величин фокусного расстояния камеры и проектора, угла линии направления съемки; угла поворота оси  $z$  изображения относительно оси  $Z$  пространственной системы координат, т. е. факторами, определение которых составляет основную трудоемкость процесса. Полученные модели могут составлять основу в разработке аппарата для автоматизации управления процессом видеооцифровки нерегулярных поверхностей посредством нахождения оптимальных вариаций для трудно определяемых факторов.

#### Список использованных источников

1. Svirsky D., Polozkov Y. The industrial application of the irregular 3D-objects image processing in the compact reverse engineering system // Lecture Notes in Computer Science, Springer, Berlin, 2001, 2124. - P. 457 – 464.
2. Завацкий Ю. А., Полозков Ю. В., Свирский Д.Н. Математическое моделирование процесса оцифровки пространственных объектов // Вестник ВДУ, 1999, №3. - С. 49-53.

#### SUMMARY

The problem of spatially complex objects videodigitizing process optimization by criterion of its stability to change of initial factors is considered. The statistical analysis of the results of an influence of the difficultly controlled factors of a video shooting process as well as a slide displaying on the parameters determining spatial position and the digitized surface sizes are given. The correlations of these factors and parameters are investigated. The regression multifactorial models for chosen parameters of a videodigitizing are constructed and analysed.