

# Том 41 № 2 2005 (МАРТ - АПРЕЛЬ)

## СОДЕРЖАНИЕ НОМЕРА

Автор / Название статьи	номер страницы
<i>АНАЛИЗ И СИНТЕЗ СИГНАЛОВ И ИЗОБРАЖЕНИЙ</i>	
<a href="#"><u>Косых В. П. Точность совместного оценивания трехмерных координат сцены и ориентации системы регистрации по серии изображений</u></a>	3
<a href="#"><u>Киричук В. С., Шакенов А. К. Алгоритмы обнаружения точечных объектов по стереоизображениям</u></a>	14
<a href="#"><u>Кулешов Е. Л., Бабийчук И. А. Линейное прогнозирование стационарных случайных процессов при известном и неизвестном тренде</u></a>	23
<a href="#"><u>Ломакина С. С., Смагин В. И. Робастная фильтрация в непрерывных системах со скачкообразными изменениями параметров в случайные моменты времени</u></a>	36
<a href="#"><u>Панин С. В., Сырякин В. И., Любутин П. С. Оценка деформации твердых тел по изображениям поверхности</u></a>	44
<a href="#"><u>Щербаков А. П. Быстродействующий алгоритм сегментации изображений</u></a>	59
<a href="#"><u>Акатьев Д. Ю., Савченко В. В. Обнаружение разладки случайного процесса на основе принципа минимума информационного рассогласования</u></a>	68
<a href="#"><u>Кириллов С. Н., Бузыканов С. Н. Алгоритм восстановления аналогового сигнала в модифицированном пространстве Соболева</u></a>	75
<a href="#"><u>Абденов А. Ж. Планирование автокорреляционной функции входного сигнала для стохастических непрерывно-дискретных динамических систем</u></a>	81
<i>ОПТИЧЕСКИЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ЭЛЕМЕНТЫ И СИСТЕМЫ</i>	
<a href="#"><u>Пен Е. Ф., Родионов М. Ю. Неоднородные и нестационарные брэгговские голограммы: модели и методы исследований</u></a>	98
<a href="#"><u>Грейсух Г. И., Ежов Е. Г., Степанов С. А. Коррекция аберраций оптической системы иглообразного жесткого градиентного эндоскопа</u></a>	115
<a href="#"><u>Минин О. В. Дифракционный цилиндрический радиообъектив миллиметрового диапазона длин волн</u></a>	124

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

А В Т О М Е Т Р И Я

---

2005, том 41, № 2

## АНАЛИЗ СИГНАЛОВ И ИЗОБРАЖЕНИЙ

УДК 004.9 : 582.721.21/.22

**В. П. Косых**

(Новосибирск)

### **ТОЧНОСТЬ СОВМЕСТНОГО ОЦЕНИВАНИЯ ТРЕХМЕРНЫХ КООРДИНАТ СЦЕНЫ И ОРИЕНТАЦИИ СИСТЕМЫ РЕГИСТРАЦИИ ПО СЕРИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ\***

Исследуются ошибки оценивания трехмерных координат статической сцены и ориентации камер по серии изображений. Изображения формируются двумя камерами, движущимися по близким траекториям. Для оценивания применяется метод максимального правдоподобия. Приводятся результаты вычислительных экспериментов, моделирующих различные условия съемки.

**Введение.** Восстановление трехмерной структуры сцены по серии изображений, зарегистрированных при разных ракурсах съемки, базируется на знании соответствий между точками различных изображений, являющимися проекциями одной и той же точки сцены. Если такие соответствия установлены, может быть реконструирована не только структура сцены (трехмерные координаты видимых точек сцены), но и геометрия съемки, т. е. положение и ориентация регистрирующей аппаратуры в моменты съемки. В общем случае оценки координат сцены и параметры геометрии съемки получаются в достаточно произвольной (зависящей от метода оценивания) системе координат. Для того чтобы привести результаты оценивания по различным сериям наблюдений к единой системе координат, необходимо дополнительно знать либо координаты некоторых (опорных) точек сцены, либо координаты регистрирующей аппаратуры в этой системе. Это условие выполняется при наблюдении земной поверхности и приземного слоя атмосферы, когда положение космического летательного аппарата (КЛА) в геоцентрической системе координат измеряется бортовой приемной аппаратурой ГЛОНАСС (глобальная навигационная спутниковая система) или GPS (Global Positioning System) с весьма высокой точностью (ошибки в координатах КЛА не превышают десятков метров). В связи с этим возникает вопрос о потенциальной точности оценивания в геоцентрической системе координат

---

\* Работа выполнена при поддержке Министерства науки РФ (Государственный контракт № 37.011.11.0014 федеральной целевой научно-технической программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития науки и техники на 2002–2006 гг.»).

(с использованием только данных ГЛОНАСС/GPS) структуры сцены по последовательности ее изображений, полученных регистрирующей камерой, размещенной на борту КЛА.

Одним из способов одновременного оценивания геометрии съемки и восстановления трехмерной структуры сцены по серии изображений является известный в фотограмметрии способ связок [1–3]. В традиционных фотограмметрических задачах способ связок применяется в основном для взаимной привязки участков трехмерных поверхностей, восстановленных по частично перекрывающимся наборам изображений. В работах по компьютерному зрению этот способ используется для оценивания относительного положения регистрирующей аппаратуры и элементов наблюдаемой сцены [4, 5]. В предлагаемом исследовании метод связок используется для оценивания координат сцены и ориентации аппаратуры наблюдения в системе координат, фиксированной измеренными с высокой точностью положениями аппаратуры в моменты съемки. Цель работы состоит в изучении зависимости ошибок оценивания от геометрии системы наблюдения и структуры сцены.

Основная идея способа связок заключается в следующем. Предположим, что имеется  $F$  изображений (кадров) одной и той же сцены, полученных при различных ракурсах съемки. Пусть в некоторой системе координат наблюдаемые точки сцены характеризуются трехмерными векторами  $\mathbf{M}_i = (X_i, Y_i, Z_i)^T$ ,  $i=1, P$ , а геометрия съемки определяется положением оптического центра и ориентацией камеры (вектором трансляции  $\mathbf{t}_j$  и ортогональной матрицей вращения  $\mathbf{R}_j = [\mathbf{i}_j : \mathbf{j}_j : \mathbf{k}_j]^T$ ,  $j=1, F$ ) при съемке каждого кадра. Точка  $\mathbf{M}_i$  отображается в  $j$ -м кадре в точку с координатами  $x_{ij}, y_{ij}$ , которые связаны с параметрами сцены и камер соотношениями

$$x_{ij} = G_x(\mathbf{M}_i, \mathbf{R}_j, \mathbf{t}_j, \mathbf{a}_j); \quad y_{ij} = G_y(\mathbf{M}_i, \mathbf{R}_j, \mathbf{t}_j, \mathbf{a}_j), \quad (1)$$

где функции  $G_x$  и  $G_y$  и вектор  $\mathbf{a}_j$  (вектор внутренних параметров камеры в момент съемки  $j$ -го кадра) определяются моделью камеры. Способ связок состоит в минимизации разницы между предполагаемыми координатами  $x_{ij}, y_{ij}$  и их измеренными значениями  $\tilde{x}_{ij}, \tilde{y}_{ij}$  путем одновременного подбора всех неизвестных параметров  $\mathbf{M}_i, \mathbf{t}_j, \mathbf{R}_j$  и  $\mathbf{a}_j$ . При известном распределении ошибок измерений для оценивания параметров можно применить метод максимального правдоподобия (ММП) [6], гарантирующий получение статистически оптимальных оценок. Если измерения координат на изображениях сопровождаются аддитивными независимыми случайными ошибками  $\xi_{ij}, \eta_{ij} \in N(0, \sigma^2)$ , т. е.

$$\tilde{x}_{ij} = x_{ij} + \xi_{ij}; \quad \tilde{y}_{ij} = y_{ij} + \eta_{ij}, \quad (2)$$

то задача оценивания посредством ММП сводится к минимизации функционала

$$\begin{aligned} J(\mathbf{M}_i, \mathbf{R}_j, \mathbf{t}_j, \mathbf{a}_j) = \\ = \sum_{i,j} \left\{ [\tilde{x}_{ij} - G_x(\mathbf{M}_i, \mathbf{R}_j, \mathbf{t}_j, \mathbf{a}_j)]^2 + [\tilde{y}_{ij} - G_y(\mathbf{M}_i, \mathbf{R}_j, \mathbf{t}_j, \mathbf{a}_j)]^2 \right\} \end{aligned} \quad (3)$$

по искомым параметрам.