

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР А. М. ШАЛАГИН

Институт автоматики и электрометрии СО РАН

ЗАМЕСТИТЕЛИ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА: Ю. Н. ЗОЛОТУХИН,
В. К. МАЛИНОВСКИЙ

Институт автоматики и электрометрии СО РАН

ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ В. П. БЕССМЕЛЬЦЕВ
Институт автоматики и электрометрии СО РАН

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

А. Л. АСЕЕВ	Сибирское отделение РАН
И. В. БЫЧКОВ	Институт динамики систем и теории управления СО РАН
С. Н. ВАСИЛЬЕВ	Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН
Ю. И. ЖУРАВЛЕВ	Вычислительный центр им. А. А. Дородницына РАН
В. С. КИРИЧУК	Институт автоматики и электрометрии СО РАН
Г. Н. КУЛИПАНОВ	Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН
Ю. Н. КУЛЬЧИН	Дальневосточное отделение РАН
Г. Г. МАТВИЕНКО	Институт оптики атмосферы им. В. Е. Зуева СО РАН
Е. С. НЕЖЕВЕНКО	Институт автоматики и электрометрии СО РАН
О. И. ПОТАТУРКИН	Институт автоматики и электрометрии СО РАН
В. А. СОЙФЕР	Институт систем обработки изображений РАН
А. А. СПЕКТОР	Новосибирский государственный технический университет
Ю. В. ЧУГУЙ	Конструкторско-технологический институт научного приборостроения СО РАН
В. Ф. ШАБАНОВ	Институт физики им. Л. В. Киренского СО РАН
Ю. И. ШОКИН	Институт вычислительных технологий СО РАН

УЧРЕДИТЕЛИ ЖУРНАЛА:

Сибирское отделение РАН,
Институт автоматики и электрометрии СО РАН

Заведующая редакцией Р. П. ШВЕЦ

Сдано в набор 4.02.2014. Подписано в печать 21.03.2014. Формат (60 × 84) 1/8. Офсетная печать.
Усл. печ. л. 13,95. Усл. кр.-отт. 11,2. Уч.-изд. л. 11,2. Тираж 144 экз. Свободная цена. Заказ № 43.

Журнал зарегистрирован в Министерстве РФ по делам печати, телерадиовещания
и средств массовых коммуникаций 31.05.2002.

Свидетельство ПИ № 77-12809

Адрес редакции: Институт автоматики и электрометрии СО РАН,
просп. Академика Коптюга, 1, Новосибирск 630090,
тел. 8 (383) 330-79-38, E-mail: automr@iae.nsk.su
<http://sibran.ru>

Издательство СО РАН, Морской просп., 2, Новосибирск 630090.

Отпечатано на полиграфическом участке Издательства СО РАН

© Сибирское отделение РАН,
Институт автоматики и
электрометрии СО РАН, 2014

А В Т О М Е Т Р И Я

ОСНОВАН В ЯНВАРЕ 1965 ГОДА

ВЫХОДИТ 6 РАЗ В ГОД

Том 50

2014

№ 2

МАРТ — АПРЕЛЬ

СОДЕРЖАНИЕ

АНАЛИЗ И СИНТЕЗ СИГНАЛОВ И ИЗОБРАЖЕНИЙ

Киричук В. С., Косых В. П., Попов С. А., Синельщиков В. В. Подавление квазистационарного фона в последовательности изображений посредством межкадровой обработки	3
Грузман И. С. Использование модели смеси равномерного распределения и распределения Мизеса для сегментации анизотропных изображений	14
Самойлин Е. А., Шипко В. В. Межкадровая градиентная реконструкция цветных изображений, искажённых импульсными помехами	22
Пономарев В. А., Пономарева О. В., Пономарев А. В. Метод эффективного измерения скользящего параметрического спектра Фурье	31
Панин С. В., Титков В. В., Любутин П. С. Инкрементный подход к определению перемещений фрагментов изображений при построении векторных полей	39
Лапко А. В., Лапко В. А. Регрессионная оценка многомерной плотности вероятности и её свойства	50
Лихачев А. В. Статистический метод подавления артефактов томографической реконструкции	57
Моисеев А. Н., Назаров А. А. Асимптотический анализ многофазной системы массового обслуживания с высокоинтенсивным рекуррентным входящим потоком	67

ОПТИЧЕСКИЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Кучьянов А. С., Плеханов А. И., Spisser Н., Чубаков П. А. Анизотропия деформации решётки фотонного кристалла как основа высокочувствительных селективных оптических хемосенсоров	77
Пен Е. Ф., Шаталов И. Г. Спектральные характеристики моделей голографических фотонных кристаллов	84
Ленкова Г. А. Особенности коррекции зрения внутриглазными линзами	95
Микерин С. Л., Угожаев В. Д. Перестраиваемый голографический интерферометр со светоделительным блоком и неподвижными зеркалами	110

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ В НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ И ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Wu Z., Zhai L., He X., Yu Q. Детектирование и измерение концентрации ацетилена в газах, выделяющихся из трансформаторного масла, с помощью оптико-акустического спектрометра на базе перестраиваемого лазера	121
--	-----

АНАЛИЗ И СИНТЕЗ СИГНАЛОВ И ИЗОБРАЖЕНИЙ

УДК 004.932.2

ПОДАВЛЕНИЕ КВАЗИСТАЦИОНАРНОГО ФОНА
В ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ИЗОБРАЖЕНИЙ
ПОСРЕДСТВОМ МЕЖКАДРОВОЙ ОБРАБОТКИВ. С. Киричук^{1,2}, В. П. Косых^{1,2}, С. А. Попов¹, В. В. Синельщиков³¹Институт автоматики и электрометрии СО РАН,
630090, г. Новосибирск, просп. Академика Коптюга, 1²Новосибирский государственный университет,
630090, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 2³ОАО «Корпорация "Комета"»,
115280, Москва, ул. Велозаводская, 5
E-mail: kosych@iae.nsk.su

Проведён анализ способов компенсации фона в последовательности изображений в условиях, когда основные изменения фона сводятся к его пространственному сдвигу. Рассмотрены различные способы формирования оценки фона в текущем кадре с использованием интерполяции данных, содержащихся в предыдущих кадрах, даны аналитические оценки ошибок компенсации в зависимости от спектральных свойств изображений и способов интерполяции. Приведены результаты численных экспериментов, подтверждающие аналитические оценки и показывающие, что применение локальных интерполирующих фильтров позволяет достичь практически предельно низких ошибок компенсации.

Ключевые слова: малоразмерные объекты, дробный сдвиг, компенсация фона.

Введение. Цель данной работы заключается в сравнении эффективностей разных методов межкадровой обработки в задаче поиска малоразмерных динамических объектов в последовательности изображений (кадров). Предполагается, что регистрируемая последовательность содержит квазистационарный фон, а текущее изображение — ещё и объекты, площадь которых пренебрежимо мала по сравнению с площадью изображения, и измерения сопровождаются случайным шумом. Под квазистационарным здесь понимается фон, основные изменения которого от кадра к кадру заключаются в пространственном сдвиге. Дисперсия фоновой компоненты значительно превосходит как дисперсию шума, так и амплитуду объектов. При обработке одиночного кадра отношение сигнал/шум, определяющее вероятностные характеристики обнаружения, даётся выражением $A/\sqrt{\sigma_b^2 + \sigma^2}$, где A — амплитуда объекта, σ^2 — дисперсия шума, σ_b^2 — дисперсия фона, и при большом уровне фоновой компоненты не позволяет посредством согласованной фильтрации достоверно обнаруживать объекты с амплитудой, сравнимой или меньшей среднеквадратичного уровня фона. Назначение межкадровой обработки состоит в использовании стационарности поведения фона в последовательности кадров для его подавления в текущем кадре. В тех случаях, когда дисперсия фоновой компоненты сравнима с дисперсией шума, проведение межкадровой обработки вряд ли оправдано, и этот вариант здесь не рассматривается.

В работах [1–4] приведены несколько моделей покадрового изменения фона и ряд алгоритмов компенсации этого изменения. В частности, в [2] предложены две модели: детерминированная (параметрическая) и стохастическая. Компенсация фона в первом случае

состоит в поиске решения системы нелинейных уравнений, во втором — в применении оптимального линейного прогноза (ОЛП) [5]. В данной работе сопоставляется эффективность использования этих моделей при различных характеристиках фоновой и случайной компонент.

Постановка задачи. Пусть $\{\tilde{p}_l(x, y)\}$, $l = \overline{1, n}$, — последовательность непрерывных (предыдущих) изображений, а $\tilde{d}(x, y)$ — непрерывное текущее изображение, содержащее малоразмерные объекты. Процедура обнаружения состоит в проверке гипотезы о наличии объектов и в случае её выполнения определении их координат и амплитуд. В процессе регистрации изображений матричными или линейными датчиками формируется последовательность цифровых кадров, получаемых дискретизацией непрерывных изображений с шагом Δ (для простоты изложения полагаем, что каждый кадр содержит $N \times N$ отсчётов, шаг дискретизации по обеим координатам одинаков):

$$p_l(i, j) = \tilde{p}_l(i\Delta, j\Delta) = \tilde{f}(i\Delta + \mu_l, j\Delta + \nu_l) + \xi_l(i, j);$$

$$d(i, j) = \tilde{d}(i\Delta, j\Delta) = \tilde{f}(i\Delta, j\Delta) + \sum_{m=1}^K A_m o_m(i\Delta - x_m, j\Delta - y_m) + \xi(i, j), \quad (1)$$

где $i, j = \overline{0, N-1}$; A_m и $o_m(x - x_m, y - y_m)$ — амплитуда и непрерывная функция, описывающая форму объекта с координатами x_m, y_m ; K — количество объектов; ξ — некоррелированный шум с дисперсией σ^2 , сопровождающий измерения; $\tilde{f}(x, y)$ — непрерывная функция, представляющая фоновую компоненту (поведение фона $\tilde{f}(x, y)$ в промежутках между отсчётами неизвестно); μ_l, ν_l , $l = \overline{1, n}$, — неизвестные дробные (меньшие шага дискретизации) сдвиги предыдущих кадров последовательности относительно текущего. Способы оценки и компенсации сдвигов, кратных шагу дискретизации, хорошо известны (см., например, [3]).

Как следует из представления последовательности кадров (1), поиск объектов наиболее просто осуществляется, если из текущего кадра вычесть фоновую составляющую:

$$\Delta d(i, j) = d(i, j) - f(i, j) = \sum_{m=1}^K A_m o_m(i\Delta - x_m, j\Delta - y_m) + \xi(i, j).$$

Для этого на основе анализа предыдущих кадров должна быть построена оценка фона текущего кадра

$$\hat{f}(i, j) = R\{p_l(i, j), l = \overline{1, n}\},$$

где R — некоторый оператор над кадрами предыстории. Исследование алгоритмов формирования оценки фона (построения оператора R), обеспечивающих минимальную погрешность оценивания и, следовательно, максимизацию отношения сигнал/помеха, является основной задачей предлагаемой работы.

Алгоритмы компенсации фона. Один из наиболее распространённых способов компенсации стационарного фона заключается в усреднении сигнала всех предыдущих кадров с последующим вычитанием полученного среднего из текущего кадра:

$$\bar{p}(i, j) = \frac{1}{n} \sum_{l=1}^n p_l(i, j); \quad \Delta d(i, j) = d(i, j) - \bar{p}(i, j). \quad (2)$$