

РАЗРАБОТКА ЛОКАЛЬНОГО АЛГОРИТМА ОГРАНИЧЕНИЯ ОБЛАСТИ ПОИСКА В ЗАДАЧЕ СТЕРЕОЗРЕНИЯ

К. Д. Колесников, Н. Н. Яцков, О. Ф. Ковалев

*Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь
E-mail: kolesnikovkirilld@gmail.com*

В работе предложен локальный алгоритм ограничения области поиска. Процедура ограничения поиска является крайне необходимой в системах стереозрения – она позволяет избежать ложных соответствий. Особенно значительно проблема ложных соответствий проявляется на квазипериодических участках изображений. Работоспособность разработанного алгоритма подтверждается на примерах обработки наборов стереоизображений. Разработанный алгоритм улучшает качество получаемых результатов в среднем более, чем на 10%.

Ключевые слова: стереозрение; карта глубины; локальный алгоритм; оконное сопоставление стереоизображений; ограничение области поиска.

В последние годы довольно резко возрос интерес к системам автопилота и компьютерной графике. Фундаментальной задачей для этих направлений является задача определения расстояния до объектов сцены. Этой задачей занимается компьютерное стереозрение. Данные о расстоянии представляют собой матрицу, каждый элемент которой показывает расстояние до проецируемой на плоскость изображения точки сцены. Такую матрицу иначе называют картой глубины (диспаритета).

Для решения задачи стереозрения используются локальные и глобальные методы. Локальные строят карту инкрементально, глобальные – итеративно. Достоинствами локальных алгоритмов является быстродействие, а глобальных – точность. Локальные подразделяются на корреляционные – SAD, SSD, NCC, RT, CT (аббревиатуры обозначают метрику сходства областей или преобразование, SAD – сумма абсолютных отклонений, SSD – сумма квадратов отклонений, NCC – нормализованная взаимная корреляция, RT – ранговое преобразование, CT – преобразование переписи) и на методы, учитывающие особенности изображений, среди них – HCD (алгоритм детекции углов Харриса), SIFT (масштабно-инвариантное преобразование особенностей), SURF (ускоренный алгоритм надежного нахождения особенностей). В локальных методах не предусмотрен механизм работы с квазипериодическими областями.

Цель работы: разработать алгоритм локального ограничения области поиска, что уменьшит количество ложных соответствий, улучшить качество получаемых карт глубины (в сравнении с алгоритмом глобального ограничения области поиска), а также подтвердить его эффективность на практике.

МЕТОДОЛОГИЯ

На вход любой системы бинокулярного стереозрения подаются два согласованных изображения, полученных с разных ракурсов, – их называют стереопарой. Согласование изображений обычно происходит путем калибровки камер – они должны иметь параллельные оптические оси.

Построение качественной карты глубины представляется крайне нетривиальной задачей – это обусловлено рядом факторов. Качество карты снижают, к примеру, имеющиеся на изображениях отражения, окклюзии, неравномерность освещенности и т.п. Кроме того, существует проблема ложных соответствий – не получится гарантировать, что области были соотнесены корректно [1].

Важно заметить, что на реальных изображениях расстояние изменяется не плавно, а резко – в особенности при пересечении границ объекта. Логично разбить изображение на сегменты, охватывающие собой каждый конкретный объект сцены.

Подобная постановка задачи имеет сходство с задачей сегментации, однако алгоритмы сегментации, применяемые к решению данной задачи, не являются достаточно вычислительно эффективными [2]. В настоящей работе предлагается приближение способа сегментации, обладающее приемлемыми показателями как вычислительной эффективности, так и точности.

Предположим, что чем в более далеком сегменте изображения (относительно точки съемки) находится область, которой ищется соответствие, – тем сильнее должно быть ограничение области поиска.

Изложим алгоритм.

1. Вычислить корреляционную функцию между матрицами изображений стереопары.

Корреляционная функция вычисляется для сегментов пересечения изображений по линии их согласования (эпиполярной линии):

$$R_{m,n}(\tau) = \frac{\sum_{x,y \in S_{m,n}} (I_1(x,y) - \bar{I}_1)(I_2(x-\tau,y) - \bar{I}_2)}{\sqrt{\sum_{x,y \in S_{m,n}} (I_1(x,y) - \bar{I}_1)^2 \sum_{x,y \in S_{m,n}} (I_2(x-\tau,y) - \bar{I}_2)^2}}, \quad (1)$$

где I_1, I_2 – первое и второе изображение стереопары, $\tau \in [-N/8; N/8]$ – компенсация сдвига камеры, N – ширина изображения, $\bar{I}_1$ и $\bar{I}_2$ – средние значения интенсивностей пикселей на изображениях, а $S_{m,n}$ – сегмент пересечения $I_1(x,y) \cap I_2(x-\tau,y)$ с индексами m и n соответственно.

2. Ограничить область поиска внутри каждого сегмента по формуле:

$$MD_{m,n} = \frac{EC}{\max(R_{m,n}(\tau))} \cdot \operatorname{argmax}(R_{m,n}(\tau)), \quad (2)$$

где EC – некоторый весовой коэффициент.

3. Применить к полученным значениям $MD_{m,n}$ медианный фильтр 2-3 порядка, для сглаживания значений максимального отклонения.

4. Найти соответствия областей первого изображения на втором снимке. Для каждой области первого изображения вдоль эпиполярной линии (по горизонтали) определить наиболее схожую во втором, ограничивая область поиска рассчитанным максимальным отклонением $MD_{m,n}$, с индексами в соответствии с сегментом, которому область принадлежит.

5. Вычислить карту глубины. Рассчитать по парам соответствующих областей относительные расстояния, заполнить карту глубины. Применить к ней фильтры.

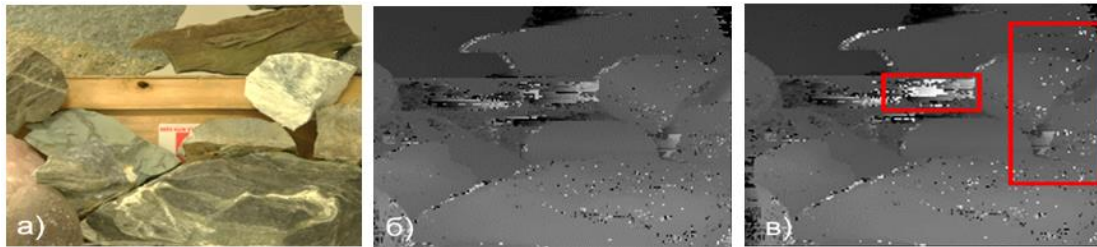
Можно заметить сходство предложенного алгоритма с алгоритмом, описанным в работе [3]. Принципиальным отличием является отдельная обработка сегментов изображения в задаче ограничения поиска – это обеспечивает локализацию алгоритмических ошибок.

Описанный метод предназначен в первую очередь для обработки стереоизображений с повторяющимися структурными элементами, в том числе полученных с систем, обладающих высокой разрешающей способностью по глубине, а также с преобладанием достаточно больших объектов (соразмерных используемым сегментам).

Вычислительная сложность. Пусть изображение стереопары имеет стороны размером N пикселей. Глобальный метод ограничения области поиска имеет асимптотическую сложность $O(N^3)$ [3]. Предложенный локальный метод имеет аналогичную сложность, однако значительно сокращает вычисления на шаге 4. Прирост производительности в среднем равен 10-20% (по сравнению с глобальным методом).

РЕЗУЛЬТАТЫ

В работе рассмотрены три стереопары с наличием квазипериодических областей (изображения 1080x720). Метод применен с параметрами: количество сегментов – 64, размер окна сканирования – 5, значения карты рассчитывались только для непересекающихся областей, метрика сходства – SAD. Пример результатов, полученных с помощью локального и глобального алгоритмов представлен на рисунке. Для оценки эффективности разработанного локального алгоритма (local search limiting method – LSLM) по сравнению с глобальным (global search limiting method – GSLM) рассмотрены критерии: визуальный анализ, время вычислений и оценка качества карты (результаты представлены в таблице). Оценка качества карты – максимум ее корреляционной функции R_M , на основе корреляции Пирсона, с истинной картой. Дополнительно исследовалось взаимодействие разработанного метода с методом адаптивного растяжения (adaptive stretch method – AStrM) [3].



а - Пример исходного изображения стереопары б - карта глубины, полученная методом LSLM, в - карта глубины, полученная методом GSLM

Сравнительная характеристика результатов работы методов

Метод		Пример 1		Пример 2		Пример 3	
		Время, с	R_M	Время, с	R_M	Время, с	R_M
Без AStrM	GSLM	14	0,46	20	0,52	22	0,05
	LSLM	11	0,53	14	0,81	17	0,09
Совместно с AStrM	GSLM	121	0,55	23	0,56	118	0,08
	LSLM	102	0,61	15	0,82	107	0,11

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе предложен локальный алгоритм ограничения области поиска LSLM. Предложенный алгоритм имеет следующие преимущества в сравнении с глобальным GSLM: позволяет лучше обрабатывать квазипериодические структуры на изображениях; увеличивает качество карты глубины (при небольшом размере окна сканирования более, чем на 10%) путем уменьшения количества ложных соответствий; во многих случаях отлично дополняет метод адаптивного растяжения AStrM.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Martin W. N., Aggarwal J. K. Motion Understanding: Robot and Human Vision // Springer Science & Business Media, 1988. ISBN 978-0-89838-258-7.
2. Альзаки Х. М., Цветков В. Ю. Текстурная сегментация изображений на основе оценки плотности контурных элементов и поглощения мелких областей // Минск, БГУИР, 2017, УДК 621. Р. 391.
3. Колесников К. Д., Яцков Н. Н., Ковалев О. Ф. Алгоритм определения сходства между однородными областями на стереоизображениях // Минск, НИИПФП, 2023, УДК 004.932.