

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ В ЗАДАЧАХ СТАБИЛИЗАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЯ ДЛЯ ОПТИЧЕСКИХ ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

М.Р. Еникеев, И.М. Губайдуллин

Введение.

Технический прогресс отраслей промышленности и развитие науки требует непрерывного повышения точности измерений физических величин. Точность геометрических параметров детали (точность размеров, расположение, формы) в настоящее время оценивается с точностью до микрометров. Соответствующие требования предъявляются и к точности измерений. В связи с этим, оптические и оптико-физические методы измерения и приборы как наиболее точные применяются во многих областях науки и производства. Проблемы шумоподавления, контроля четкости и насыщенности изображения, точность определения границ объектов и их классификация – все эти задачи не могут быть решены без использования соответствующего математического аппарата.

Постановка задачи.

Целью работы является разработка эффективных методов анализа и обработки изображений для уменьшения погрешности измерения и увеличение диапазона работы прибора бесконтактного типа, предназначенного для контроля геометрических параметров изделий сложной формы. В условиях серийного производства встает вопрос не только о качественном контроле геометрических параметров детали, но и о проведении этого контроля за минимальное время, поэтому практической целью работы состоит в реализации этих методов и создании универсального программного комплекса для автоматической калибровки и поверки изделия с использованием параллельных вычислений.

Объект исследований: цифровые изображения как источник информации для формирования тематического слоя объектов промышленности. Предмет исследований: методы, алгоритмы обработки цифровых и стабилизации изображения. В работе использованы методы цифровой обработки и анализа сигналов и изображений, математического моделирования, теории: вероятностей, алгоритмов.

Модель изображения. Шумоподавление сигналов.

Будем рассматривать изображение как двумерную функцию вида $I(x,y)$. Таким образом для обработки изображений станет доступен практически весь аппарат математического анализа. Чтобы получить цифровое изображение, необходимо преобразовать непрерывно поступающий сигнал в цифровую форму. В результате операций дискретизаций и квантования возникает матрица действительных чисел. Предположим, что в результате дискретизации изображения I получена матрица из M строк и N столбцов, координаты x, y становятся теперь дискретными значениями.

Теперь необходимо некоторым образом обработать информацию поступившую в виде сигнала. При получении изображения системой компьютерного зрения для проведения операции распознавания необходимо:

- 1) Предварительная обработка изображения – удаление шумов.
- 2) Бинаризация изображения и выделение контуров объектов.
- 3) Начальная фильтрация контуров по периметру, площади

При проведении операции шумоподавления учитывались два типа помех: *блик* и *спекл-шум*.

Блик – область повышенной светлости, возникающая при регистрации изображений из-за зеркального или диффузного отражения света от поверхности регистрируемого объекта. В задачах контроля качества измерений блики являются недопустимыми, так как это приводит к снижению надёжности распознавания.

Одна из важнейших задач, которую при этом необходимо решать – это выбор системы признаков и построение процедур распознавания бликов на изображениях. В связи с особенностями обрабатываемого изображения величиной, характеризующей появление блика, служила яркость соседних пикселей. Поставив критерии средней яркости, процентное соотношение количества тёмных и ярких пикселей и собирая информацию при различных уровнях экспозиции, получим изображение, на котором будут отсутствовать помехи типа блик. Этот подход позволяет также устранить эффект насыщенной яркости, когда информация о сигнале становится малозначимой, так как значения яркости превосходит максимальное дискретное значение (для 8-битных изображений это значение яркости равняется 255).

При обработке такого типа сигнала при различных значениях экспозиции при разном уровне освещения при представлении границы в виде полинома второй степени максимальное расстояние между кривыми в исследуемой области доходила до 1.5 пикселя. В то время, как при подавлении помех типа блик и контроля средней яркости изображение эта разница не превышала величины 0.1 пикселя, что говорит о стабильности результатов, полученных данным алгоритмом.

Спекл-шум – шум, зависящий от сигнала источника, который значительно влияет на восприятие изображения и приводит к тому, что оно выглядит «зернистым», затрудняет идентификацию и обработку изображения.

Поэтому чаще применяют фильтрацию изображений с целью одновременно подавить помехи и сохранить полезную информацию.

Наибольшее распространение получили методы фильтрации на основе ортогональных преобразований [1], в большей степени дискретного вейвлетного преобразования и в меньшей степени дискретного косинусного преобразования (ДКП).

Достоинствами ДКП-фильтров являются высокая степень подавления помех на однородных участках изображения и сохранение текстуры. Вместе с тем имеются и недостатки – специфические эффекты в окрестностях высококонтрастных границ и малоразмерных объектов, обусловленные обнулением информационных компонент с малыми амплитудами и обработкой в блоках относительно малых размеров. Наибольшее распространение на практике получила ДКП-фильтрация с жестким порогом преобразований

$$D_i(n, m, k, l) = \begin{cases} D(m, n, k, l), & \text{if } |D(m, n, k, l)| > T(m, n) \\ 0 & \end{cases}$$

Алгоритм ДКП-фильтрации включает следующие этапы:

1. Выполнение в каждом блоке $[K, L]$ прямого ДКП преобразования.
2. Сравнение вычисленных значений $D(n, m, k, l)$, где $k=0...K-1$, $l=0...L-1$ с порогом $T(m, n)$ и присвоение нулевых значений тем спектральным коэффициентам, для которых выполняется соотношение $D(m, n, k, l) < T(m, n)$. Координаты левого угла используемого блока обозначены индексами m и n , индексы k и l соответствуют спектральным коэффициентам ДКП, K и L описывают размер блока прямоугольной формы. Оптимальный размер блока: $K=8$ и $L=8$, так как алгоритмические реализации для этих коэффициентов имеют высокое быстродействие и называются быстрым преобразованием.
3. Выполнение обратного ДКП применительно к массиву $D_{thr}(n, m, k, l)$, где $k=0...K-1$, $l=0...L-1$ с получением фильтрованных значений для всех пикселей текущего блока
4. Усреднение полученных фильтрованных значений для каждого ij -го отсчета с учетом того, каким положениям блоков этот пиксель принадлежит.

Если используется фильтрация без перекрытия блоков, то последняя операция отсутствует. На практике чаще используют фильтрацию с полным перекрытием блоков, поскольку в этом случае достигается более эффективное подавление помех.

После того как изображение очищено от шума, можем перейти к классификации объектов на изображении, результат этой операции используется в процедурах калибровки и проверки. Для поиска и оценки контуров на изображении, необходимо выполнить три процедуры:

1. Процедуры бинаризации позволяют получать из цветных и полутоновых изображений монохромные растровые изображения, из которых легко выделить границы объектов. Для бинаризации использовался алгоритм Отсу [2].
2. После, представляя каждый контур в виде цепочки Фримена, переходим к анализу контура.
3. Для классификации контуров использовали величину отношения площади контура к его периметру. Для пространственной фильтрации использовались морфологические преобразование дилатации, эрозии и их композиции.

Операции масштабирования и калибровки.

Под калибровкой часто понимают процесс настройки показаний выходной величины или индикации измерительного инструмента до достижения согласования между эталонной величиной на входе и результатом на выходе (с учетом оговоренной точности).

Геометрическая калибровка съемочных систем предусматривает определение их фотограмметрических параметров, которые необходимы в процессе обработки полученных изображений. Высокие требования к точности геометрической калибровки обусловлены требованиями к точности привязки и совмещения изображений, составляющими 0.1-0.5 пикселя [3].

Идея метода состоит в определении отклонения фактической системы координат от ортогональной декартовой системы координат. В этом способе осуществляют измерения координат точек на плоской параллельной детали и определяют значения погрешности в каждом пикселе. Эти данные используются для определения погрешности измерения и поправок, которые могут быть учтены в программном обеспечении. В результате проводится калибровка системы координат в рабочей зоне камеры.

В качестве анализируемой детали используется плоскопараллельная концевая мера длиной l_1 и гребенка длиной l_2 . Для точности определения положения детали – инкрементный преобразователь ЛИР-915. Программируемый блок управления SMSD-1.5K используется для управления изменением горизонтального положения детали. Для считывания координат границ объекта используются электронно-лазерные устройства. Перед тем, как приступить к калибровке, необходимо выровнять плоскость детали по высоте, так чтобы середина рабочей зоны совпадала с серединой исследуемой поверхности.

В результате калибровки рабочей области камеры устанавливается зависимость между показанием прибора ЛИР и соответствующей ей пиксельной координаты границы объекта, а также корректировочных матрицы $R^l[L,K]$ и $R^r[L,K]$ (K — количество реальных координат, в которых были проведены измерения, и L — высота границы в пикселях) и функции зависимости реальных координат от пиксельных $f_p^l(y)$ и $f_p^r(y)$ для левой и правой границы объекта соответственно.

Проверка средств измерений - совокупность определенных операций, которые необходимо выполнить в целях определения соответствия средств измерений заявленным метрологическим требованиям.

Проверка производится только в области, для которой выполнена калибровка. Производится считывание координат объекта в рабочей области прибора. Учитывая корректировочные матрицы $R^l[L,K]$ и $R^r[L,K]$, а также используя функции преобразования пиксельных координат к миллиметровым $f_p^l(y)$ и $f_p^r(y)$, получим описание границ объекта и их геометрическое положение. Вычисленные значения сравниваются с результатом, полученным прибором ЛИР, и оценивается погрешность вычисления границ объекта и его длины.

Использование параллельных вычислений.

При решении задачи контроля геометрических параметров возникает вопрос о сокращении времени расчетов.

Уровень параллелизма данных. Параллелизм заключается в применении одной и той же операции к множеству элементов данных. В нашем случае, для обработки всей рабочей области камеры требуется около 60-80 фотоснимков границ детали, в зависимости от шага разбиения области и разрешения камеры.

Для них выполняются следующие однотипные операции: шумоподавления, фильтрации, бинаризации, морфологические преобразования, определения границ объекта.

Уровень распараллеливания алгоритмов. Следующий уровень, это распараллеливание отдельных процедур и алгоритмов. Сюда можно отнести алгоритмы фильтрации изображения, обработки, выделения объектов изображения по типам и т. д. На этом уровне абстракций, учитывая ограниченные вычислительные способности прибора, удобно использовать такую технологию параллельного программирования, как OpenMP [4]. Если в качестве модели изображения рассматривать дискретный массив значений яркости $I[x,y]$, то задача сводится к одновременной обработке некоторого массива, причем значения массива используются для получения некоторого результата, без изменения самого массива [5].

Результаты.

Программное обеспечение для прибора было создано на языке C++ с использованием библиотек Qt, OpenCV и OpenMP.

Левая граница		Правая граница	
Положение, мм	Положение, пикс.	Положение, мм	Положение, пикс.
-9.99	29.428	-14.008	1180.06
-8.988	36.800	-13.006	1188.13
-7.983	44.201	-12.001	1196.19
-5.979	51.664	-10.997	1204.25
-6.979	59.117	-9.997	1212.23
-4.979	66.612	-8.997	1220.19
-3.979	74.133	-7.997	1228.12
-2.979	81.648	-6.997	1236.03
-1.98	89.241	-5.998	1243.91
-0.982	96.782	-5	1251.74
0.017	104.430	-4.001	1259.52
1.015	112.045	-3.003	1267.24
2.014	119.735	-2.004	1274.95
3.012	127.446	-1.006	1282.64
4.009	135.150	-0.009	1290.37
5.005	142.879	0.987	1297.96
6.001	150.651	1.983	1305.59
6.997	158.450	2.979	1313.16
7.994	166.260	3.976	1320.72
8.992	174.121	4.974	1328.23
9.989	182.009	5.971	1335.66
10.987	189.942	6.969	1343.1
11.987	197.933	7.969	1349.78

Таблица 1. Соответствие пиксельных и миллиметровых координат

Были проведены автоматические операции калибровки и поверки лазерного прибора для бесконтактного контроля геометрических параметров детали.

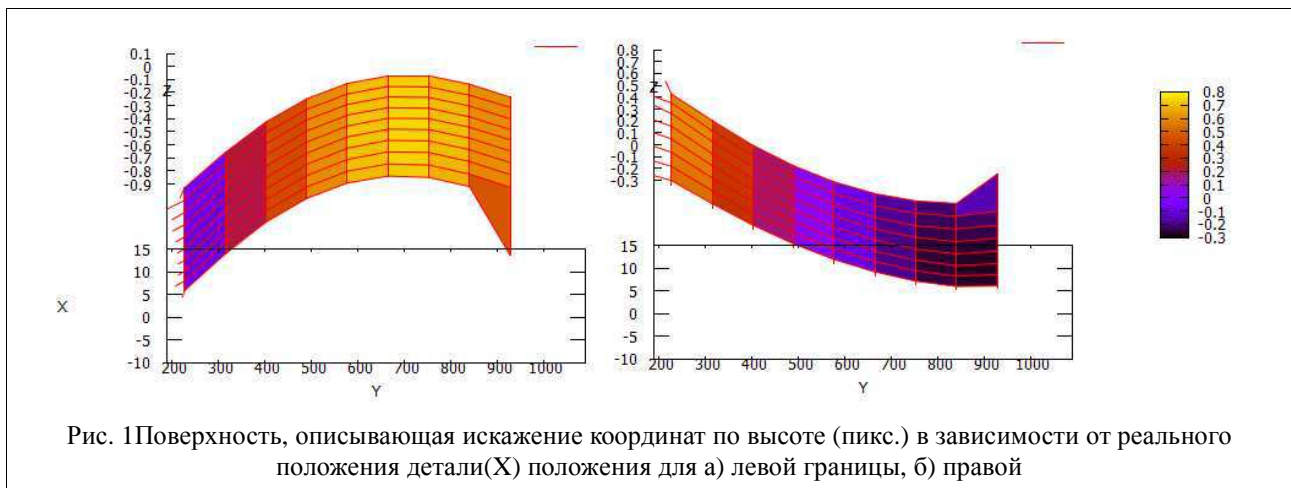
Калибровка была проведена в 23 точках рабочей области прибора с шагом двигателя 1мм (в соответствии с показаниями датчика ЛИР – эта зона составила). В *таблице 1* указаны данные, по которым проводилась аппроксимация $f_p^l(y)$ и $f_p^r(y)$.

В результате были сформированы корректировочные матрицы для левой и правой лазерной линий, характеризующие границы объекта. Функции $f_p^l(y)$ и $f_p^r(y)$, связывающие пиксельные и реальные координаты объекта имеют следующий вид:

$$f_p^l(x) = 0,0144325x^2 + 7,638778x + 1290,42$$

$$f_p^r(x) = -0,0168062x^2 + 7,6501x + 1290,42$$

Корректирующая поверхность для левой границы изображена на *рис. 1*. Из *рис. 2(а)* следует, что эффекты дисторсии и другие физические эффекты ощутимо влияют на сформированное изображение левой границы объекта. Для сравнения также на *рис.1(б)* приведена корректирующая поверхность для правой границы.



В таблице 2 два приведены значения, полученные с помощью ЛИР и вычисленные при проверке методики расчета для левой границы лазерной линии.

Значение лир (мм)	Значение в точке по высоте детали				
	-30 мм	-15 мм	0 мм	15 мм	30 мм
7,49	-7,489	-7,488	-7,487	-7,485	-7,49
-6,491	-6,484	-6,485	-6,486	-6,487	-6,489
-5,491	-5,486	-5,487	-5,488	-5,489	-5,489
-4,492	-4,483	-4,487	-4,488	-4,488	-4,486
-3,494	-3,487	-3,487	-3,487	-3,485	-3,483
-2,496	-2,488	-2,493	-2,494	-2,493	-2,489
-1,497	-1,492	-1,491	-1,49	-1,489	-1,488
-0,5	-0,491	-0,494	-0,495	-0,494	-0,492
0,497	0,504	0,5	0,499	0,502	0,508
1,496	1,502	1,503	1,504	1,503	1,502
2,495	2,5	2,5	2,5	2,501	2,503
3,493	3,5	3,497	3,497	3,499	3,504
4,49	4,496	4,497	4,496	4,493	4,488
5,488	5,493	5,489	5,488	5,49	5,494
6,484	6,49	6,488	6,488	6,49	6,494
7,48	7,486	7,485	7,484	7,484	7,484
8,478	8,484	8,483	8,482	8,483	8,485
9,475	9,481	9,479	9,478	9,48	9,483
10,472	10,481	10,477	10,476	10,478	10,482

Таблица 2. Значение левой границы – по датчику ЛИР и вычисленные координаты.

В данной проверке рассчитанные значения погрешности для точности определения границ и длины детали составили $s_{step}0.004$ и $s_{length}=0.022$.

Среднее время, затрачиваемое на процедуру калибровки, составляет 10 минут, это связано с временными затратами на установку объекта с помощью двигателя в разные точки исследуемого пространства камеры и проведения операции корректировки изображения при помощи сканирования с различными экспозициями. Процедура проверки подразумевает 6 кратное повторение операций считывания, и занимает около 60 минут. Таким образом, наиболее эффективно использовать параллельную реализацию программы в тех случаях, когда уже сформированы изображения и сохранены в базу данных. В этом случае, на приборе «БЛИК» (процессор Core i3-2200) для двух процессоров получено ускорение 1.63 раза.

Заключение.

На основании полученных результатов была подтверждена методика построения корректирующей сетки для контрольно – измерительного прибора БЛИК, определена погрешность измерения прибора. Получено ускорение в работе прибора с использованием технологии параллельных вычислений. В дальнейшем планируется разработка более точных методов снятия изображения и реализация алгоритмов расчета геометрических параметров детали со сложным геометрическим контуром для трехмерных объектов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. D.L. Donoho De-noising by soft thresholding //IEEE Trans. On information theory. - 1995. - Vol. IT-41, No. 3. -P. 613-627.
2. N. Otsu A treshhold selection methid from gray-level histograms //IEEE Trans. Sys., man., Cyber. 9: 62-66.
3. M. Cramer EUROSDR network on digital camera calibration // International archives of photogrammetry and remote sensing, 2004, vol. 35, part 6,-P. 204-209.
4. А.С. Антонов Параллельное программирование с использованием технологии OpenMr // Учебное пособие. -М.: Изд-во МГУ, 2009. -с. 77.
5. Л. Шапиро, Дж. Стокман Компьютерное зрение // Москва: Бином, 2006 — С. 752.