

1. ICRP Memorandum. The evolution of the system of radiological protection the justification for new ICRP recommendations. // J. Radiol. Prot. - 23. - 2003. - P. 129-142.
2. Richards R. // Mineralogical Magazine. - 67. - 2003. - P. 129-139.
3. Диденко П.И., Ефремов А.А. // Поверхность. - 2007. - № 3. - С. 90-97.
4. Диденко П.И., Ефремов А.А. // Поверхность. - 2011. - № 3. - С. 1-6.
5. Romanova G.Ph., Efremov A.A., Didenko P.I. // Proc. VI Int. Conf. (SIMS). Chichester: Willey, 1988. P. 335-338.
6. Любов Б.Я. Диффузионные процессы в неоднородных твердых средах. - М.: Наука, 1981. - 296 с.
7. Силинь А.Р., Трухин А.Н. Точечные дефекты и электронные возбуждения в кристаллическом и стеклообразном SiO<sub>2</sub>. – Рига: - изд-во «Зинатне», 1985. - 244 с.
8. Кумахов М.А., Комаров Ф.Ф. Энергетические потери и пробеги ионов в твердых телах. - Минск: изд-во БГУ, 1979. - 320-377.
9. Stratta P., Canavese C., Messuerotti A. et al. // Journal of Nephrology. - 14. - 2001. - P. 228-240.
10. Wittmaak K. // Proc. XII Int. Conf. (SIMS). Amsterdam: Elsevier, 2000. P. 569-578.

*Поступила 3.03.2011г.*

УДК 004.89:004.93

Л.И. Тимченко<sup>1</sup>, Ю.Ф.Кутаев<sup>2</sup>, Н.С. Петровский<sup>1</sup>, Н.И. Кокряцкая<sup>1</sup>  
Государственный экономико-технологический университет транспорта,  
г. Киев, Украина<sup>1</sup>  
“ГУП НПО Астрофизика”, г. Москва, Россия<sup>2</sup>

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КООРДИНАТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЦЕНТРОВ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПЯТЕН ЛАЗЕРНЫХ ПУЧКОВ**

The purpose of given article is the decision of an actual scientific and technical problem – working out of a high-precision method for calculation of coordinates of the power centers of images of stains of laser bunches with a margin error no more than 1,5 pixels for real time (5 ms).

*Keywords:* lasers, location, power centers of laser spots, laser routes, filtration of images

### **Вступление**

В наше время все большее преимущество отдается лазерным локаторам. Эти системы позволяют измерять с большой точностью координаты и скорость объекта, получать исчерпывающую информацию о его форме, определять характеристики его поверхности. Вместе с тем лазерные локаторы могут иметь сравнительно небольшие габаритные размеры, и энергетически выгодны. Последнее в большинстве обуславливается тем, что их зондирующий сигнал

удается собрать в узком телесном угле. Который часто равен углу, в пределах которого видно наблюдаемый объект. Распространение лазерного излучения в атмосфере сопровождается очень большим набором явлений линейного и нелинейного взаимодействия, которое создает значительные препятствия приему и требует корректировки приемника. В результате этих влияний лазерный пучок расширяется или расщепляется, потому найти координаты его центра, а следовательно и точно оценить характеристики исследуемого объекта становится невозможно. Поэтому:

Целью данной статьи является решение актуальной научно-технической задачи – разработка высокоточного метода для вычисления координат энергетических центров изображений пятен лазерных пучков с погрешностью не более 1,5 пикселя для реального времени (5 мс).

Для определения координат предложено использовать параллельно-иерархическую сеть, на основе которой проводится качественная оценка и обработка изображения лазерного пятна, а также находится его центр. Обработка изображения проводится по следующему алгоритму:

### **Алгоритм для высокоточного измерения координат энергетических центров изображений пятен лазерных пучков**

#### **1. Выделение граничных линий.**

Начиная от максимальной яркости, формируются  $N$  её значений -  $T_{max-w}$ ,  $w=1, \dots, N$ . Крайние точки с яркостью  $T_{max-w}$  создают граничную линию. Таким образом, находим  $6$  граничных контуров.

#### **2. Определение предварительных центров.**

$$x = \frac{1}{M} \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} w(f(x)) \cdot x,$$

$$y = \frac{1}{M} \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} w(f(x, y)) \cdot y,$$

$$M = \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} w(f(x, y)),$$

де  $w=1, 2, \dots, N$ ,  $f(x, y)$  – яркость.

#### **3. Сегментация граничных линий.**

Для разбивки граничных контуров на несколько частей (сегментация) как центральную точку (точку привязки) используются координаты предварительного центра.

Осуществляется сканирование каждого участка граничной линии (сегмента), в полярных координатах, через определенный интервал (в программе брался интервал  $9^\circ$ ). Избранные точки будут использоваться в

качестве данных для аппроксимации (настройки коэффициентов аппроксимации  $C_2, C_3$ ). Для каждого сегмента граничной линии находится сдвиг граничной линии по данному направлению ( $\Delta X, \Delta Y$ ).

#### 4. Аппроксимация граничных линий.

Для каждого сегмента методом наименьших квадратов проводится аппроксимация и находятся коэффициенты  $C_2, C_3$ .

#### 5. Поиск эталонного изображения.

Для обучаемой выборки находятся для каждого сегмента усредненные значения отношений коэффициентов аппроксимации ( $\bar{C}_i = \frac{C_2}{C_3}$ ,  $i$  -- номер сегмента,  $i=1..4$ ). Для учебной выборки использовалось 50% изображений (рис.1, 2).



Рис.1. Выбранное эталонное изображение.

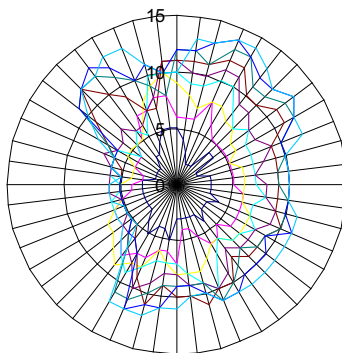


Рис.2. Краевые линии эталонного изображения

#### 6. Этап туннелирования.

Проводился по усредненным коэффициентам аппроксимации. Границы туннеля определяются из тех изображений, в которых наиболее близко, по минимуму среднеквадратичного отклонения, подходят текущие значения  $\bar{C}_1, \bar{C}_2, \bar{C}_3, \bar{C}_4$  к эталонным значениям, налево и справа от них. Потом эти близко смещенные значения усредняются и формируются границы туннеля слева и справа (рис.3).

#### 7. Этап обучения параллельно иерархической (ПИ) сети [1].

Формируется ПИ сеть для эталонного изображения, так как это показывается в работе [1]. Формируются ПИ сети для тех изображений, которые формируют границы туннеля слева и справа.

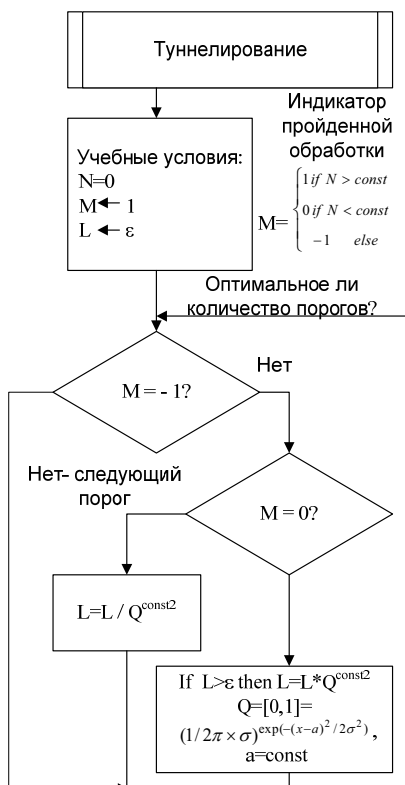


Рис.3 Алгоритм туннелирования

### 8. Этап обработки текущих изображений.

На этом этапе также находится отношение C2/C3 для каждого сегмента (выполняются пункты 1 - 6 алгоритма). В случае попадания C2/C3 в один из туннелей и совпадения ПИ сетей для эталонного и текущего изображений последнее считается «хорошим», в противном случае – «плохим».

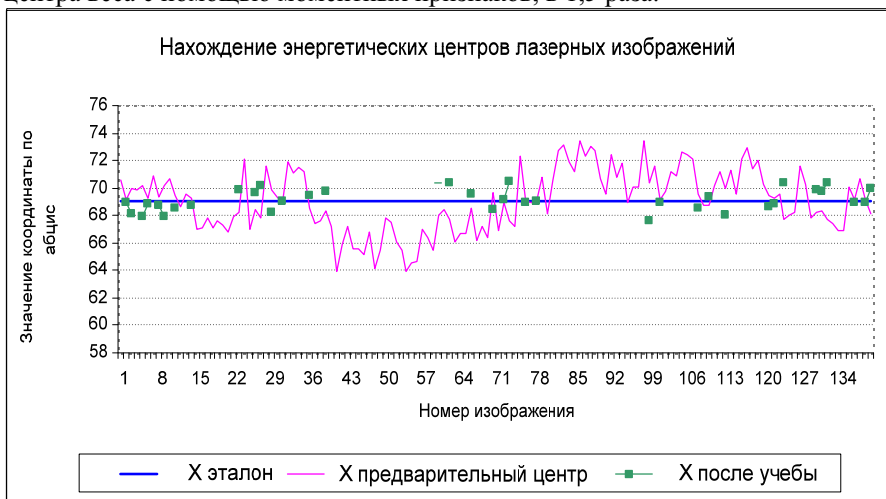
### 9. Оптимизация весов.

$$x = \frac{1}{M} \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} w(f(x, y)) \cdot (x + \delta_x),$$

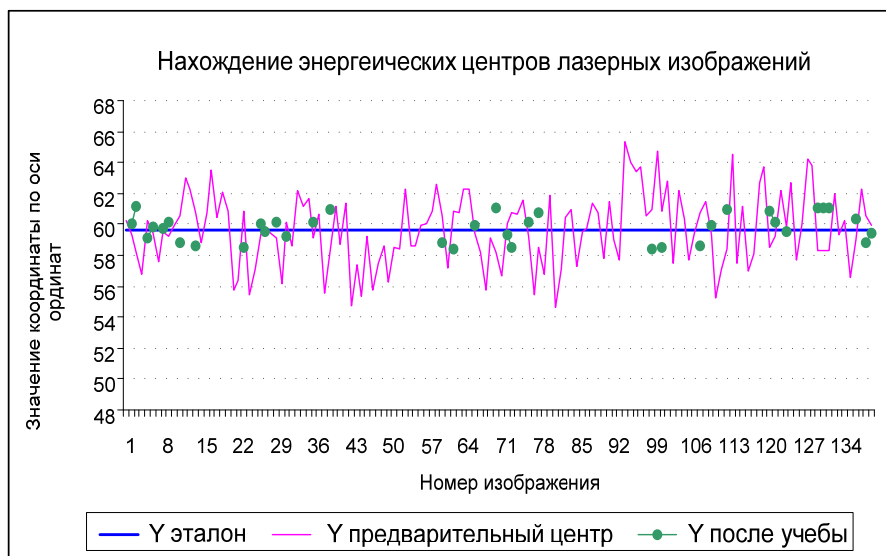
$$y = \frac{1}{M} \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} w(f(x, y)) \cdot (y + \delta_y).$$

Сравнительный анализ показывает, что предложенные методы позволяют измерять координаты центра лазерных изображений на основе аппроксимации краевых линий с точностью определения точки привязки не

более чем 1,5 пиксела, что отображено на рис. 4. Данный алгоритм по точности превышает известные методы, например на основе определения центра веса с помощью моментных признаков, в 1,5 раза.



а)



б)

Рис. 4. Результаты обработки лазерных изображений по оси  $x$  а), по оси  $y$  б).

Для обработки полученных изображений в реальном времени со скоростью 20 мс на изображение предлагается использовать ЦСП TMS320C5510 с тактовой частотой 200 МГц, что по тестовым данным показал более чем 50 % запас по вычислительной мощности, а также имеет удобные интерфейсы для соединения из ПК.

### **Выводы**

В работе предложен учебный алгоритм для определения координат точки привязки в лазерном изображении. Сложность предложенных функций позволяет делать обработку в реальном времени со сравнительно простым аппаратным обеспечением. Результаты эмуляции дают максимальную ошибку определения точки привязки 1,5 пикселя, что при тех же условиях приблизительно в 1,5 раза меньше, чем при использовании традиционных методов аппроксимации. Предложенные методы могут быть использованные в системах передачи информации лазерным лучом в атмосфере в качестве корреляторов приемника [5], благодаря чему достигается значительно больше скорости в канале. Установлено, что ограничение метода может быть рассмотренное в контексте существование некоторого общего решения задачи. Для увеличения точности результатов измерения можно делать вычисление, применяя несколько итераций, взяв за начальные значения раньше определенные параметры, и используя при этом формирование коэффициентов аппроксимации. В частности, при использовании второй итерации, точность будет повышена приблизительно в 1,5 раза. Результаты машинного моделирования метода на языке Ассемблер показали, что обработка одного лазерного изображения осуществляется за 5 мс, что позволяет его использовать в телевизионных системах реального времени.

1. *Тимченко Л.И.* Многоэтапная параллельно-иерархическая сеть как модель нейроподобной схемы вычислений. Кибернетика и системный анализ. №2, 2000, с.114-134.
2. Лазерная локация / *И.Н. Матвеев, В.В. Протопопов, И.Н. Троицкий, Н.Д. Устинов.* / Под. ред. чл.-кор. АН СССР Н.Д. Устинова. – М.: Машиностроение, 1984. – 272 с.
3. *Basov N.G., Zemskov E.M., Kutaev Y.F. et. al.* “Laser Control of Near Earth Space and Possibilities for Removal of Space Debris from Orbit with Explosive Photo-Dissociation Lasers with Phase Conjugation”. Proc. GCL/HPL 98. SPIE Symposium. St-Petersburg, Russia 1998.
4. *Кутаев Ю.Ф.* Метод фильтрации геометрического шума бинарного изображения // Информационная и микропроцессорная техника в полиграфии: [сб. научн. тр.] / Кутаев Ю.Ф. – М. : Изд-во МПИ «Мир книги», 1992. – С. 57-73.
5. *Тимченко Л.И., Кутаев Ю.Ф., Кожемяко В.П., Чепорнюк С.В., Ивасюк И.Д., Макаренко Р.В., Загоруйко Т.А.* Корреляционный анализ изображений на основе применения метода S-препарирования. - Киев: Наукова думка, 2009. - 163 с.

*Поступила 21.02.2011г.*