

РАСПОЗНАВАНИЕ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТЕЙ МИКРОЧАСТИЦ В ЗАДАЧЕ ОПТИЧЕСКОЙ МИКРОМАНИПУЛЯЦИИ

Скиданов Р.В.

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва
(национальный исследовательский университет),

Учреждение Российской академии наук Институт систем обработки изображений РАН

Аннотация

Рассмотрена задача автоматического распознавания полистироловых микрочастиц на экспериментальных снимках. Представлен метод определения средней скорости микрочастиц. Доказана адекватность разработанного метода.

Ключевые слова: оптическая микроманипуляция, полистироловая микрочастица, распознавание микрочастиц, скорость микрочастиц.

Введение

В настоящее время в работах по оптическому микроманипулированию спектр тем активно расширяется. В русле этого направления – большое количество работ, в которых авторы приводят в качестве параметров, измеренных в эксперименте, скорость движения микрочастиц [1 - 6]. При этом обычно не сообщается о методе измерения, как и о погрешности измерения [1 - 6]. Более того, внимательное изучение значительного количества работ не выявило ни одного упоминания о методике измерения скорости вообще. Возможно, такое пренебрежение процессом измерения скорости связано как раз с простотой этого процесса. Обычно для определения скорости вручную измеряют на последовательных изображениях положения центра исследуемого микрообъекта, затем делят модуль разности на промежуток времени между кадрами. К сожалению, в этой методике много субъективного, особенно если учесть, что изображение микрообъекта диаметром в несколько микрометров не имеет чёткой границы. К тому же метод ручного измерения скорости хорош при относительно небольшом количестве экспериментального материала. Ситуация, когда число последовательных кадров составляет 100-1000 и на каждом необходимо определить скорость нескольких микрообъектов, может потребовать на обработку экспериментальных данных неприемлемо большое время. Однако если все используемые в эксперименте микрочастицы имеют одинаковую форму, несложно разработать метод автоматического распознавания микрочастиц с последующим определением скорости.

1. Метод распознавания микрочастиц

Перед собственно распознаванием микрочастиц необходимо предварительно обработать изображение для исключения из него изображения лазерного пучка. Для этого снятое камерой цветное изображение разделяется на три цветовых канала (красный, зелёный, синий) и из них выбирается канал с наименее видимым лазерным пучком. Так, если в эксперименте использовался зелёный лазер, лучше всего использовать синий канал. На рис. 1б представлен результат такой обработки показанного на рис. 1а исходного изображения.

Собственно уже эта стадия обработки экспериментальных изображений существенно облегчает измерение скорости вручную. Но практически одинаковый внешний вид микрочастиц позволяет ис-

пользовать корреляционные методы при автоматическом распознавании микрочастиц.

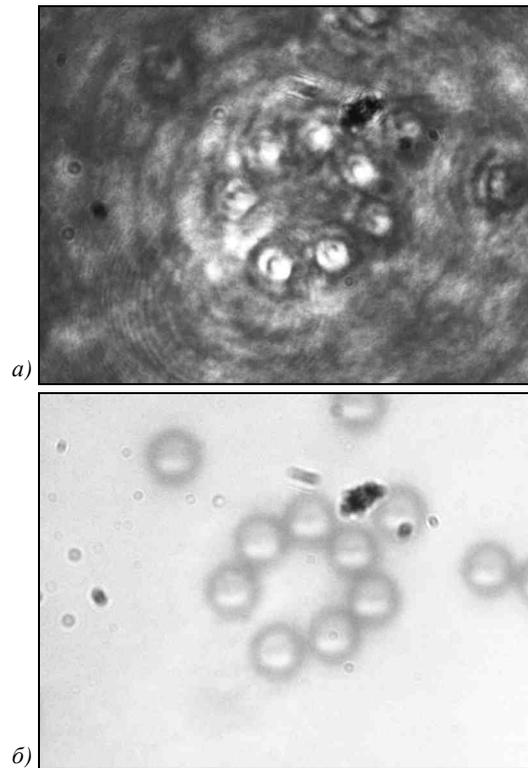


Рис. 1. Исходное экспериментальное изображение (а), обработанное экспериментальное изображение (б)

Для определения координат микрочастиц из экспериментального кадра с изображениями микрочастиц вырезается эталонное изображение микрочастицы. Причём это эталонное изображение для каждого эксперимента (последовательности кадров) используется своё. Это необходимо, т.к. от эксперимента к эксперименту меняются такие параметры, как масштаб и освещение. Затем для каждой точки изображения с микрочастицами вычисляется величина

$$c = \left\{ \frac{1}{\Omega} \iint_{\Omega} [I(x-x_0, y-y_0) - I_e(x, y)]^2 dx dy \right\}^{-1}, \quad (1)$$

где $I(x, y)$ – функция яркости изображения, $I_e(x, y)$ – функция яркости эталонного изображения, Ω – область, по которой проводится интегрирование, при этом

$$x_0 \in [0, A], \quad y_0 \in [0, B],$$

где A, B – размеры исследуемого изображения.

На рис. 2а представлен результат вычисления величины c по растру изображения при эталонном изображении микрочастицы, представленном на рис. 2б.

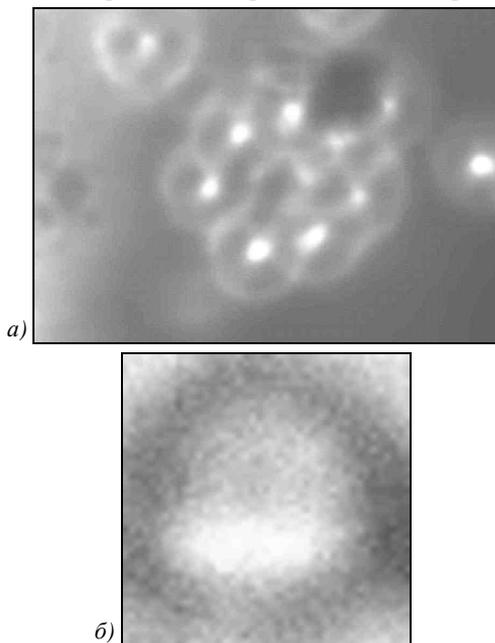


Рис. 2. Изображение с корреляционными пиками (а), эталонное изображение частицы (б)

После получения изображения с корреляционными пиками проводилось определение координат микрочастиц. Для этого определялись центры корреляционных пиков по формуле

$$x_k = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i, I(x_i, y_i) > I_0, \quad (2)$$

$$y_k = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i, I(x_i, y_i) > I_0,$$

где x_k, y_k – координаты микрочастицы, x_i, y_i – координаты точек корреляционного пика, в которых яркость изображения превосходит заданный уровень I_0 . Таким образом, определяются координаты всех частиц на всей последовательности кадров. Следующий важный этап – определение на последовательных кадрах положения каждой конкретной микрочастицы. В качестве наиболее естественного метода такого определения решено было считать, что координатами той же самой микрочастицы считаются координаты, наиболее близкие по расстоянию. Это, конечно, накладывает ограничение на применимость метода, но при невыполнении условия ближайшего расстояния иногда невозможно определить принадлежность частицы даже методом экспертной оценки, так что это ограничение можно считать несущественным. Скорость движения микрочастицы определяется по формуле

$$v_{kx} = \frac{x_k^{i+1} - x_k^i}{\Delta t}, \quad v_{ky} = \frac{y_k^{i+1} - y_k^i}{\Delta t}, \quad (3)$$

где $x_k^i, x_k^{i+1}, y_k^i, y_k^{i+1}$ – координаты k -ой частицы на последовательных кадрах, v_{kx}, v_{ky} – компоненты текущей скорости k -ой частицы.

Для вычисления средней скорости текущие скорости частиц усредняются по всем кадрам последовательности по всем микрочастицам.

2. Проверка адекватности метода

Понятно, что разработанный метод обладает одним существенным недостатком: если скорость движения микрочастиц слишком велика, ближайшей на последующем кадре может оказаться другая микрочастица. Для проверки адекватности разработанного метода было проведено сравнение результата, который даёт метод, с результатом ручного измерения. Для такого сравнения была выбрана последовательность экспериментальных кадров, на которых скорость движения микрочастиц относительно невелика (рис. 3).

Всего для измерения было использовано 42 кадра, на которых была измерена скорость 23 микрочастиц. Автоматическое определение скорости по разработанному методу дало значение $1,3 \pm 0,3$ мкм/с для всех микрочастиц, измерение «вручную» дало результаты от 1,1 до 1,4 мкм/с в зависимости от методики определения центра микрочастиц, что показывает хорошее соответствие с автоматическим методом. Время измерения: в ручном режиме – около 17 часов, время работы программы с последовательностью кадров – 174 с.

Заключение

В работе представлен метод распознавания полистироловых сферических микрочастиц на изображениях, полученных в экспериментах по оптической микроманипуляции. На основании распознавания автоматически определяются координаты и скорости микрочастиц. Показано соответствие полученных скоростей с аналогичными скоростями при ручном измерении.

Благодарности

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке российско-американской программы «Фундаментальные исследования и высшее образование» (грант CRDF RUX0-014-Sa-06), грантов РФФИ №№ 08-07-99007, 10-07-00109, гранта президента Российской Федерации МД-8026.2010.2 и Государственного контракта № 02.740.11.0805.

Литература

1. **Mingwei, G.** Generation and application of the twisted beam with orbital angular momentum // G. Mingwei, G. Chunqing and L. Zhifeng // Chinese optics letters. – 2007. – V. 5, N 2. – P. 89-92.
2. **Bukusoglu, I.** Haptic Manipulation of Microspheres Using Optical Tweezers Under the Guidance of Artificial Force Fields / I. Bukusoglu, C. Basdogan, A. Kiraz, A. Kurt // Posted Online July 16, 2008. (doi:10.1162/pres.17.4.344) – 2008. – Vol. 17, N 4. – P. 344-364.
3. **Chiou, A.** Optical Trapping and Manipulation of Micro-Particles / A. Chiou // Journal of the Korean Physical Society. – 2003. – V. 43, N 4. – P. 597-602.
4. **Oldenburg, A.L.** Optical manipulation of silicon microparticles in biological environments / A.L. Oldenburg, S.J. Moon, K.M. Kasi, T. Kim, C. Ho, R. Timp, H. Choi, V.I. Gelfand, J. Roland, K. Kim, S.A. Boppart, G.L. Timp // Manipulation and Analysis of Biomolecules, Cells, and Tissues, Proceedings of SPIE. – 2003. – Vol. 4962. – SPIE 1605-7422/03.

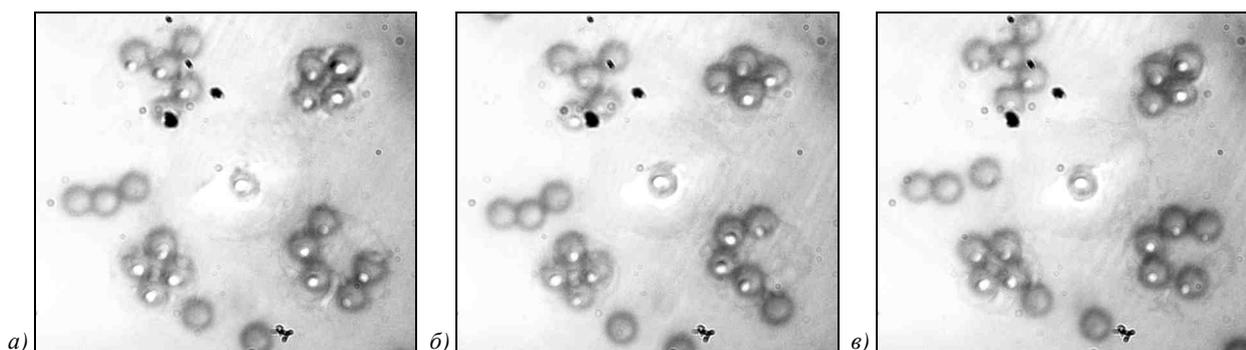


Рис. 3. Последовательность кадров, по которой вручную определялась скорость движения микрочастиц

5. **Sun, C.K.** Cell manipulation by use of diamond microparticles as handles of optical tweezers / C.K. Sun, Y.C. Huang, P.C. Cheng, H.C. Liu, B.L. Lin // *J. Opt. Soc. Am. B.* – 2001. – Vol. 18, N 10. – P. 1483-1489.
6. **Скиданов, Р.В.** Экспериментальное исследование движения диэлектрических шариков в световых пучках с угловыми гармониками высоких порядков / Р.В. Скиданов, С.Н. Хонина, В.В. Котляр, В.А. Соيفер // *Компьютерная оптика.* – 2007. – Т. 31, № 1. – С. 14-21.
3. **Chiou, A.** Optical Trapping and Manipulation of Micro-Particles / A. Chiou // *Journal of the Korean Physical Society.* – 2003. – V. 43, N 4. – P. 597-602.
4. **Oldenburg, A.L.** Optical manipulation of silicon microparticles in biological environments / A.L. Oldenburg, S.J. Moon, K.M. Kasi, T. Kim, C. Ho, R. Timp, H. Choi, V.I. Gelfand, J. Roland, K. Kim, S.A. Boppart, G.L. Timp // *Manipulation and Analysis of Biomolecules, Cells, and Tissues, Proceedings of SPIE.* – 2003. – Vol. 4962. – SPIE 1605-7422/03.
5. **Sun, C.K.** Cell manipulation by use of diamond microparticles as handles of optical tweezers / C.K. Sun, Y.C. Huang, P.C. Cheng, H.C. Liu, B.L. Lin // *J. Opt. Soc. Am. B.* – 2001. – Vol. 18, N 10. – P. 1483-1489.
6. **Skidanov, R.V.** Experimental research of movement of dielectric spheres in light beams with angular harmonics of high orders / R.V. Skidanov, S.N. Khonina, V.V. Kotlyar, V.A. Soifer // *Computer optics.* – V. 31, N 1. – P. 14-21. – (in Russian).

References

1. **Mingwei, G.** Generation and application of the twisted beam with orbital angular momentum // G. Mingwei, G. Chunqing and L. Zhifeng // *Chinesse optics letters.* – 2007. – V. 5, N 2. – P. 89-92.
2. **Bukusoglu, I.** Haptic Manipulation of Microspheres Using Optical Tweezers Under the Guidance of Artificial Force Fields / I. Bukusoglu, C. Basdogan, A. Kiraz, A Kurt //

RECOGNITION AND DEFINITION OF SPEEDS OF MICROPARTICLES IN THE PROBLEM OF OPTICAL MICROMANIPULATION

R.V. Skidanov

Image Processing Systems Institute of the RAS,

S.P. Korolyov Samara State Aerospace University (National Research University)

Abstract

The problem of automatic recognition of polystyrene microparticles in experimental pictures is considered. The method of definition of average speed microparticles is presented. Adequacy of the developed method is proved.

Key words: optical micromanipulation, polystyrene microparticles, recognition of microparticles, speed microparticles.

Сведения об авторе



Скиданов Роман Васильевич, 1973 года рождения. В 1990 году с отличием окончил Самарский государственный университет (СамГУ) по специальности «Физика». Доктор физико-математических наук (2007 год), работает старшим научным сотрудником лаборатории лазерных измерений Института систем обработки изображений РАН (ИСОИ РАН); профессор кафедры технической кибернетики СГАУ. Скиданов Р.В. – специалист в области дифракционной оптики, математического моделирования, обработки изображений и нанопластики. В списке научных работ Р.В. Скиданова 60 статей, 3 монографии.

E-mail: romans@smr.ru.

Roman Vasilevich Skidanov (b. 1973) graduated with honours (1990) from the Samara State University (SSU), majoring in Physics. He received his Doctor in Physics & Maths (2007) degrees from Samara State Aerospace University. He is the senior researcher laboratory of laser measurement at the Samara Image Processing Systems Institute of the Russian Academy of Sciences (IPSI RAS), holding a part-time position of professor at SSAU's Technical Cybernetics sub-department. He is co-author of 60 scientific papers, 3 monographs. His current research interests include diffractive optics, mathematical modeling, image processing, and nanophotonics.

Поступила в редакцию 30 марта 2011 г.