



УДК 62-566, 65.01, 51819-714, 537.533

Л. И. Тимченко, д-р техн. наук, **А. А. Поплавский**, аспирант
Государственный экономико-технологический университет транспорта,
(Украина, 03049, Киев, ул. Лукашевича, 19,
тел. (067) 3550976, (093) 6341123, E-mail: timchen@list.ru, olexander@list.ru),

Н. И. Кокряцкая, **А. В. Поплавский**, кандидаты техн. наук
Винницкий национальный технический университет
(Украина, 21021, Винница, ул. Хмельницкое шоссе, 95,
тел. (0432) 531123, 699080, E-mail: kokriatskaia@rambler.ru, anatoliy_m@mail.ru)

Метод формирования границ туннеля для классификации изображений пятен лазерных пучков

Рассмотрена проблема обработки и прогнозирования динамических изображений в реальном масштабе времени. Предложен способ формирования границ туннеля с использованием метода обработки информации, при реализации которого классифицируются изображения пятен лазерных пучков.

Розглянуто проблему обробки й прогнозування динамічних зображень у реальному часі. Запропоновано спосіб формування границь тунелю з використанням методу обробки інформації, при реалізації якого класифікуються зображення плям лазерних пучків.

К л ю ч е в ы е с л о в а: изображения пятен лазерных пучков, динамика, туннель, коррекция, прогнозирование.

Создание современных вычислительных сред обусловило необходимость разработки новых методов передачи информации. Жесткие требования систем, обрабатывающих информацию в режиме реального времени, заставляют ученых регулярно создавать и обновлять системы передачи информации. В настоящее время большинство интернет каналов не способны обеспечить необходимый обмен информацией между такими системами, что приводит к перегрузке каналов и созданию так называемых цифровых пробок. Одним из способов решения проблемы передачи больших объемов информации может быть применение оптоволоконного кабеля, но прокладывание данного кабеля по всей планете слишком дорогое мероприятие. Использование для этих целей лазерных лучей и спутников позволило бы, например, передавать десятки полнометражных фильмов в любую точку земного шара за доли секунды. Большинство спутников передают информацию, например телевизионные программы, с помощью микроволнового излучения. В то же время,



Рис. 1. Пример изображения кадра лазерной трассы

передача информации с помощью лазера может происходить в сотни раз быстрее, что, в свою очередь, существенно повлияет на пропускную способность канала передачи.

Для передачи информации с помощью лазера необходимо, чтобы спутник и принимающее устройство находились в определенной позиции. Положение линзы принимающего устройства, диаметр которой составляет несколько сантиметров, должно быть отрегулировано до тысячной доли градуса. В противном случае передача информации просто не состоится. Во

время процесса отслеживания спутника принимающим устройством на всех этапах работы системы одной из основных задач является прогнозирование положения пятна лазерного пучка (ПЛП), а именно его геометрических характеристик, которые искажаются под воздействием турбулентности и воздушных масс.

Для решения задачи прогнозирования целесообразно классифицировать кадры последовательности изображений ПЛП с целью фильтрации лазерной трассы и удаления существенно искаженных действием помех изображений.

Описание метода. Будем полагать, что начальные значения координат границ туннеля распределены по нормальному закону, и при изменении координат центра лазерного пятна [1] проводить формирование границ.

Определим координаты центра лазерного пятна (x, y) на изображении (рис. 1) [2]. Изменения его положения в трассе можно описать случайным процессом. Предположим, что определенная последовательность кадров трассы содержит лишь унимодальные значения координат центров ПЛП [3]. Тогда появление определенного значения координат ПЛП можно описать нормальным законом распределения с математическими ожиданиями $\mu_x(t), \mu_y(t)$ и средними квадратическими отклонениями $\sigma_x(t), \sigma_y(t)$. Значения этих величин находим по формулам

$$\mu_x(t) = \frac{\sum_{i=1}^N x_{t-i}}{N}, \quad \mu_y(t) = \frac{\sum_{i=1}^N y_{t-i}}{N},$$

$$\sigma_x(t) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_{t-i} - \mu_x(t))^2}{N}}, \quad \sigma_y(t) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_{t-i} - \mu_y(t))^2}{N}}.$$

В реальных условиях центр ПЛП на смежных кадрах вследствие воздействия окружающей среды или других факторов может быть смещен. В этом случае одного распределения будет недостаточно, и его параметры необходимо корректировать. Следует выделять резкие смещения центров ПЛП с помощью туннеля и корректировать туннель в случае плавных смещений. При формировании начальных границ туннеля целесообразно проверить следующее условие:

$$\sigma_t(1-P) > \sigma_{t-1}. \quad (1)$$

В случае выполнения условия (1) необходимо дополнительно проверить условие

$$\left| \frac{dx}{dt} \right| > G, \quad (2)$$

где $P \in [0,95 \div 0,99]$ — доверительная вероятность; G — пороговое значение смещения.

Невыполнение условия (1) свидетельствует о том, что данная координата соответствует модели с накопительными параметрами, а выполнение условия (2) указывает на наличие существенного смещения центра. При формировании границ туннеля в случае выполнения условия (2) следует учитывать параметры данной точки с наименьшим весовым коэффициентом.

Формирование границ туннеля. При формировании и обновлении координат границ туннеля [4, 5] удобно использовать средние значения координат центров ПЛП, смоделированные по нормальному закону распределения. Если скорость изменения координат центров пятен не нулевая и туннель имеет узкие границы, существует вероятность попадания координат центров, важных для прогнозирования пятен, во внутуннельную зону, что приводит к увеличению погрешности прогнозирования. Для того чтобы этого избежать, необходимо корректировать границы туннеля в соответствии с изменениями координат центров ПЛП, исключая при этом кадры с существенно искаженными центрами, не принадлежащими к туннельной зоне.

Достаточную информацию для этого обеспечивает детектор выхода за границы туннеля, следящий за попаданием координат центра ПЛП в туннель,

и фильтрующим одиночные помехи. При наличии такой информации обновление границ туннеля происходит согласно следующим формулам:

$$\begin{aligned}
 x_t &= (1-k)x_{t-1} + k \mu_{x_t}, \quad y_t = (1-k)y_{t-1} + k \mu_{y_t}, \\
 k &= \begin{cases} k_1, (x_t \in [-\infty; x_{t-1} - w/2] \cup [x_{t-1} + w/2; +\infty]) \cap \\ \quad \cap (y_t \in [-\infty; y_{t-1} - w/2] \cup [y_{t-1} + w/2; +\infty]), \\ k_2, x_t \in [x_{t-1} - w/2; x_{t-1} + w/2] \cup y_t \in [y_{t-1} - w/2; y_{t-1} + w/2], \end{cases} \quad (3) \\
 0 &\leq k_1 < k_2 < 1,
 \end{aligned}$$

где x_t — координата средней линии туннеля в t -й момент времени; μ_{x_t} — математическое ожидание x_t ; w — ширина туннеля; k_1, k_2 — параметры, определяющие скорость обновления границ туннеля. Поскольку невозможно создать идеальный детектор границ туннеля, учитывая возможность резкого изменения положения центра ПЛП, не рекомендуется присваивать k_1 нулевое значение, так как при этом кадры с внетуннельными центрами ПЛП никогда не будут учтены. Это может привести к полной потере входной информации при импульсном изменении центра положения пучка или к необходимости ручной корректировки положения средней линии туннеля. При больших значениях k_2 влияние текущего значения положения центра ПЛП настолько существенно, что пятна с координатами, близкими к границам туннеля и соответственно в большинстве случаев с большими значениями шумов, также существенно влияют на среднюю линию туннеля. Оптимальные экспериментально подобранные значения следующие: $k_1 = 0,09, k_2 = 0,35$.

На рис. 2, а (см. вклейку) представлено динамическое изменение границ туннеля в соответствии с изменением положения координат центра ПЛП во времени, а на рис. 2, б — пример динамической обработки трассы изображений. Как видно из рис. 2, число точек, попадающих в туннельную зону, значительно больше в случае формирования динамических границ, чем статических.

Предложенная методика дает возможность классифицировать изображения трассы ПЛП, координаты центров которых вошли в туннельную или внетуннельную зоны, принимая во внимание информативные признаки обеих групп. Таким образом, при прогнозировании следующего кадра, учитывается не только «эталонные» изображения и соответствующие им математические ожидания, но и возможность наложения шума на изображение.

Выводы. Обработав значительное число изображений (15 лазерных трасс по 1000 изображений в каждой трассе) (см. рис. 2, б) можно сделать

вывод о том, что для дальнейшего прогнозирования поведения ПЛП целесообразно использовать автоматическую коррекцию границ туннеля в сочетании с высокоэффективными интеллектуальными алгоритмами выделения контуров [6, 7].

К основным преимуществам данного алгоритма, по сравнению со статическими алгоритмами [3, 5], можно отнести следующие.

1. Этап обучения выполняется только в начале работы алгоритма.
2. Нет необходимости пересчитывать значения μ_x , μ_y , σ_x , σ_y с помощью выборок (в случае выхода центров ПЛП за диапазон допустимых значений), а следовательно, используются абсолютно все изображения трассы.
3. Формирование границ туннеля не требует значительных затрат времени.
4. Диапазон допустимых входных значений ограничен только возможностями вычислительной системы (алгоритм корректно работает при резких изменениях положения центра ПЛП).
5. Учитывается возможность искажения полезного сигнала шумами.

The problem of processing and prediction of dynamic images in real time is considered. The offered approach of correcting the tunnel borders assumes the method of information processing for classification of laser beam spots images.

1. *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. — St-Petersburg : SPIE Symposium, 1998. (Russia).
2. *Кожем'яко В. П., Тимченко Л. И., Поплавський О. А.* Analysis of the Methodological Approaches in Connection with the Problem Solving of Extrapolation of Object Trajectory // SPIE. — 2003. — Vol. 5175. — С. 222—236.
3. *Timchenko L. I., Kutaev Yu. F., Kozhemyako V. P. et al.* Method for Processing of Extended Laser Paths Images // Advances in Electrical and Computer Engineering. — 2003. — Vol. 3 (10), № 2 (20). — P. 66—78.
4. *Тимченко Л. И.* Паралельно-ієрархічне перетворення як системна модель ефективних засобів штучного інтелекту: Автореф. дис. д-ра техн. наук. / Державний науково-дослідний інститут інформаційної інфраструктури. — Львів, 2002. — 36 с.
5. *Тимченко Л. И., Кутаев Ю. Ф., Герций А. А.* Система координатной привязки для нестационарных сигналов //Изв. РАН. Сер. физическая. — 2001. — № 6. — С. 886—890.
6. *Прэтт У.* Цифровая обработка изображений. — Т. 1, 2. М. : Мир, 1982.
7. *Павлидис Т.* Алгоритмы машинной графики и обработки изображений. — М. : Радио и связь, 1986.

Поступила 28.10.09

ТИМЧЕНКО Леонид Иванович, д-р техн. наук, профессор кафедры телекоммуникационных технологий и автоматики Государственного экономико-технологического университета транспорта. В 1979 г. окончил Винницкий политехнический ин-т. Область научных исследований — системы искусственного интеллекта.

ПОПЛАВСКИЙ Александр Анатольевич, аспирант кафедры телекоммуникационных технологий и автоматики Государственного экономико-технологического университета транспорта. В 2007 г. окончил Винницкий национальный технический университет. Область научных исследований — интеллектуальные системы обработки изображений.

КОКРЯЦКАЯ Наталья Ивановна, канд. техн. наук, доцент кафедры прикладной математики Винницкого национального технического университета. В 1973 г. окончила Винницкий педагогический ин-т. Область научных исследований — математическое моделирование параллельных процессов.

ПОПЛАВСКИЙ Анатолий Вацлавович, канд. техн. наук, доцент кафедры информационного менеджмента Винницкого национального технического университета. В 1981 г. окончил Винницкий политехнический ин-т. Область научных исследований — интеллектуальные системы обработки изображений.