

# ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ В ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЕ КОНТРОЛЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТУННЕЛЕЙ

Колючкин В.Я., Платанов С.В., Романовский А.С., Чухров С.Ю.

Московский Государственный Технический Университет им. Н.Э. Баумана  
107005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, кафедра "Компьютерные системы и сети",  
Тел. (095) 263-63-40. E-mail: roman@iu6-31.bmstu.ru

**Реферат.** В докладе рассматривается принцип построения системы контроля поверхностей туннелей (СКПТ), анализируются основные алгоритмы обработки сигналов и изображений, используемые в системе, рассматриваются особенности реализации блока обработки сигналов. Приведены технические характеристики системы и результаты испытаний опытного образца СКПТ.

## Введение.

В последние годы стремительно возрос интерес к системам повышения безопасности железнодорожных перевозок. Так в ряде промышленно развитых стран внедрены или находятся на стадии внедрения следующие системы: системы оперативного контроля степени износа рельсов, системы оперативного слежения за шириной железнодорожной колеи, системы контроля за габаритами в зоне движения. Одной из наиболее сложных в техническом отношении систем подобного класса является система контроля поверхностей туннелей. Основной задачей такой системы является измерение в реальном масштабе времени координат точек на поверхности туннеля и привязка их к геодезическим координатам (реперным геодезическим отметкам) с целью последующей оценки степени пригодности туннеля к перевозкам негабаритных грузов, а также оценки динамики изменения профиля туннеля.

## Принцип построения и алгоритмы обработки сигналов в системе.

В основу построения СКПТ положен триангуляционный метод обработки, широко используемый в оптических измерительных системах. Структурная схема системы изображена на рис. 1.

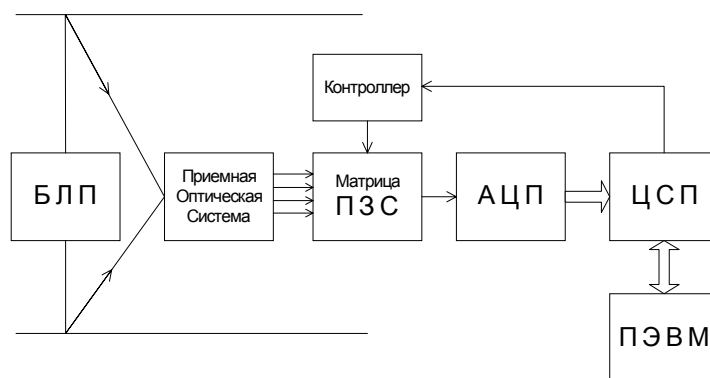


Рис. 1. Структурная схема СКПТ

Блок лазерной подсветки (БЛП) формирует пучок лучей с веерообразной апертурой, изображенной на рис. 2, которым подсвечивается поверхность туннеля. Приемная оптическая система и БЛП разнесены друг от друга на некоторое расстояние. Тем самым обеспечивается триангуляционный метод измерения. Отраженное от поверхности туннеля лазерное излучение регистрируется в приемной системе. При этом сформированное оптической системой приемного блока изображение сечения туннеля проецируется на ПЗС-матрицу. Накопленный в ПЗС-матрице сигнал в виде зарядов считывается под управлением контроллера, оцифровывается и передается для последующей обработки в цифровой сигнальный процессор (ЦСП). Результаты обработки полученных изображений из ЦСП передаются для архивации в ПЭВМ, в которой происходит также привязка момента получения каждого изображения сечения туннеля к текущему значению датчика пройденного пути.

Значительное место в докладе уделяется алгоритмам обработки сигналов и изображений, основными из которых являются следующие:

1. Автоматическая регулировка яркости и контрастности изображения на матрице ПЗС;
2. Выделение линии энергетического среднего в оцифрованном изображении сечения туннеля, считанного с матрицы ПЗС;
3. Выделение изображения от головок рельсов, вычисление начала координат в каждом сечении, связанного с центрами головок рельсов и пересчет координат сечения туннеля к единой системе координат вагона;
4. Обнаружение сигналов, отраженных от реперных геодезических отметок, привязка их к системе координат вагона и интерполяция координат реперных отметок на каждое зарегистрированное сечение туннеля.
5. Вычисление координат поверхности каждого из зарегистрированных сечений туннеля с учетом оптических и геометрических параметров измерительной системы и сохранение координат каждого восстановленного таким образом сечения в ПЭВМ;

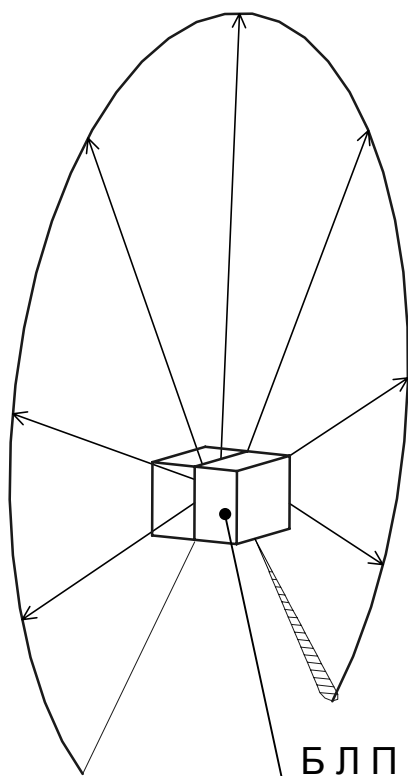


Рис.2. Апертура БЛП

точностью, а также высокую надежность и эффективность системы. На рис. 3 и 4 приведены изображения сечения туннеля, полученного с помощью СКПТ. На рис. 4 хорошо заметен дефект в потолочной части туннеля.

Одной из наиболее сложных проблем при обработке сигналов, отраженных от поверхности туннеля и от рельсов, является проблема устранения солнечных бликов, неизбежно возникающих при въезде и выезде из туннеля. Были разработаны оригинальные методы фильтрации бликов, практически полностью устраняющие их влияние на результаты измерения.

С целью более надежного обнаружения реперных отметок в системе предусмотрен дополнительный блок подсветки реперов, а также разработаны методы их надежного обнаружения в процессе движения измерительного вагона с установленной на нем СКПТ.

#### **Экспериментальное исследование образца СКПТ.**

Был изготовлен экспериментальный образец СКПТ. Особенностью экспериментального образца системы является применение в ней матрицы ПЗС высокого разрешения, что было обусловлено необходимостью обеспечения высокой точности оценки координат поверхности туннеля. Необходимость обработки регистрируемых изображений в реальном масштабе времени (т.е. до прихода в ЦСП изображения следующего сечения) потребовала применения высокопроизводительного сигнального процессора, в качестве которого был использован процессор фирмы Texas Instruments TMS320C6701.

Испытания экспериментального образца СКПТ были проведены на одном из туннелей Ярославской железной дороги. Результаты испытаний подтвердили возможность оперативного контроля поверхностей туннелей с высокой

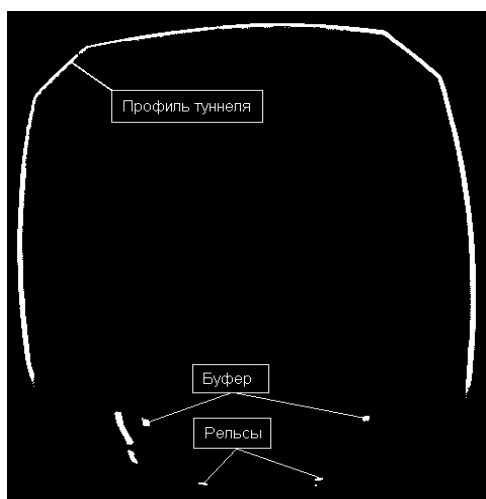


Рис.3. Изображение сечения туннеля.

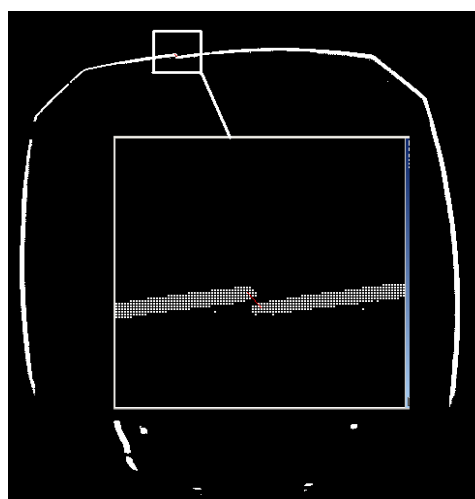


Рис. 4. Изображение сечения туннеля.

**Основные технические характеристики экспериментального образца системы**

Длина волны лазерного излучения, нм .....	800
Мощность лазерного излучения, Вт .....	7
Эффективное разрешение ПЗС-матрицы, пиксели .....	1392*1040
Пиковая производительность модуля ЦСП, MFLOPS .....	1000
Объем статической памяти, Мбайт .....	2
Объем перепрограммируемой памяти (FLASH), Мбайт .....	1
Частота съема информации с матрицы ПЗС, Гц .....	15
Разрядность АЦП, бит .....	10
Среднеквадратическая ошибка измерения размеров туннеля, мм .....	10
Максимальная скорость движения измерительного вагона, км/час .....	20

Внешний вид системы, установленной на измерительном вагоне-лаборатории, показан на фотографии рис. 5.



Рис.5. Фотография экспериментального образца СКПТ



## SIGNAL PROCESSING IN OPTOELECTRONIC MONITORING SYSTEM OF TUNNELS SURFACES

Koluchkin V., Platanov S., Romanovsky A., Chukhrov S.

Bauman Moscow State Technical University  
2-nd Baumanskay str. 5, Moscow, 107005, Russia  
Tel. (095) 263-63-40. E-mail: roman@iu6-31.bmstu.ru

**The abstract.** The report discusses design principles for the monitoring system of tunnels surfaces (MSTS). Report analyzes main algorithms of signal and image processing used in the system. Additional implementation features of the signal processing unit are also reviewed. Characteristics of the system and test outcomes of an experimental sample of MSTS are provided in the report.

In the last few years there has been a significant interest increase in systems aimed at safety improvements for rail transportations. In a number of industrially developed countries the following systems have been (or a process of being) introduced: systems of operational monitoring of a degree of rails wear, systems of operational tracing of a width of railway track and monitoring systems for obstruction clearance etc. One of the most complicated systems in the same class is a monitoring system for tunnels surfaces. A main task of such system is measuring (in real time) coordinates of isolated points on the tunnel surface and binding them to geodesic coordinates (reference geodesic points) with the purpose of following evaluation of a degree of the tunnel applicability to carrying bulky goods, and also evaluation of dynamics of the tunnel structure modification.

A triangulation method of processing (which is widely used in optical measuring systems) formed the basis for the MSTS design. The block of laser illumination (BLI) forms a ray bundle with the fan aperture, which highlights walls of the tunnel. A receiving optical system and BLI are taken apart from each other in a distance. Thereby, the triangulation method of measurement is ensured. The ray bundle of the laser illumination block, reflected from the tunnel surface, come on an optical receiving system. The image of a tunnel cut, generated by an optical system, is projected on a charge-coupled device (CCD) matrix, then it is read out under the control of a CCD matrix controller; it is digitized and transmitted for follow up processing to a digital signal processor (DSP). The outcomes of image processing from the DSP are transmitted for archiving into a PC. In the PC the binding of a deriving moment for each image to a current position of the traversed path sensor is occurred.

An experimental sample of the MSTS was built. A special feature of the experimental sample is the high resolution CCD matrix. That was required to provide a high evaluation precision of coordinates of the tunnel surface. The necessity of processing of the obtained image in real time (i.e. before the next cut image is arrived to the DSP) triggered the requirement to use a high-performance digital signal processor - Texas Instruments TMS320C6701 process was used in our case.

Tests of the MSTS experimental sample were conducted on one of the tunnels of the Yaroslavskaya railway. The test outcomes have confirmed a possibility of operational monitoring of tunnel surfaces with a high precision, and also high reliability and system effectiveness.