

На правах рукописи



Буцких Виктор Александрович

**МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ВИДЕОИНФОРМАЦИИ НА
ОСНОВЕ АЛГОРИТМОВ СЛЕПОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ В
СИСТЕМАХ С ЛАЗЕРНЫМИ ТРИАНГУЛЯЦИОННЫМИ
ИЗМЕРИТЕЛЯМИ**

Специальность 05.12.13
Системы, сети и устройства телекоммуникаций

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Самара – 2012

Работа выполнена в Федеральном государственном образовательном бюджетном учреждении высшего профессионального образования «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики» (ФГОБУ ВПО ПГУТИ)

**Научный
руководитель:**

доктор технических наук, профессор
ВАСИН Николай Николаевич
ФГОБУ ВПО «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики»
заведующий кафедрой систем связи

**Официальные
оппоненты:**

доктор технических наук, доцент
ГОРЯЧКИН Олег Валерьевич
ФГОБУ ВПО «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики»
заведующий кафедрой теоретических основ радиотехники и связи

кандидат технических наук, доцент
ЗАСОВ Валерий Анатольевич
ФГБОУ ВПО «Самарский государственный университет путей сообщения» доцент кафедры мехатроники в автоматизированных производствах

Ведущая организация:

Самарский филиал федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института им. П.Н. Лебедева Российской академии наук (СФ ФИАН) г. Самара

Защита состоится «14» декабря 2012 г. в 14 часов на заседании диссертационного совета Д 219.003.02 при Поволжском государственном университете телекоммуникаций и информатики по адресу: 443010, г. Самара, ул. Льва Толстого д.23.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Федерального государственного образовательного бюджетного учреждения высшего профессионального образования «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики».

Автореферат разослан «12» ноября 2012 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 219.003.02

Доктор технических наук, профессор



Мишин Д.В.

Общая характеристика работы

Диссертация посвящена разработке и исследованию методов слепой обработки сигналов видеоинформации, передаваемой по открытому оптическому каналу лазерного триангулятора. Применение данной обработки позволяет подавить интерференционные помехи, мешающие измерениям, тем самым повысить точность и достоверность передаваемых параметров и снизить информационный поток за счет уменьшения количества недостоверной информации.

Актуальность темы. В настоящее время во многих технологических процессах возникает задача передачи видеоинформации о геометрических параметрах объекта по открытому оптическому каналу.

В настоящее время все большее распространение получают триангуляционные измерители и растет число исследований по этим типам измерителей. Разработкой триангуляционных измерителей занимаются такие крупные фирмы как: Optical Metrology Center, Великобритания; MEL Mikroelektronik, Германия; LMI Technologies, США; MTI Instruments, США; Рифтек, Белорусия. Несмотря на обилие практических исследований, остается открытым вопрос о повышении достоверности передаваемых данных в условиях интерференционных помех, действующих в канале передачи видеоинформации. Данный вид помех является определяющим для лазерных триангуляторов и вносит основной вклад в погрешность измеряемых параметров.

Следует заметить, что к алгоритмам, применяемым в лазерных триангуляторах при обработке информации с видеоматрицы, предъявляются особые требования по скорости. В частности, при размере матрицы 2048x1024 пикселей объем данных поступающих с видеоматрицы составляет 20 Гбит/с. Требование обработки видеоинформации в режиме реального времени обусловило необходимость реализации алгоритмов обработки на аппаратном уровне, что до последнего времени была основным сдерживающим фактором применения сколь угодно сложной фильтрации.

Существующие на сегодняшний день работы, положенные в основу триангуляционных измерителей, в основной своей массе рассматривают алгоритмы поиска положения профиля объекта на фотоприемнике без учета интерференционных помех. Следует отметить, что в известных исследованиях их авторы оперируют с моделями сигналов (как правило, колоколообразной функцией), не учитывающими искажения изображения, формируемого на фотоприёмнике. Оптимальные и квазиоптимальные методы обработки, рассматриваемые, например, в фундаментальных трудах Тихонова В.И., Вайнштейна Л.А., Зубакова В.Д., Тартаковского Г.П., Репина В.Г., Прэтта У., Уайлда Д.Дж., Крамера Г. используются только для получения эталонных оценок и не применяются на практике ввиду значительных вычислительных затрат, а нашедшие применение методы чрезвычайно чувствительны к искажениям формы сигнала, не обладая адаптивными свойствами к его параметрам. Большой вклад в развитие и популяризацию триангуляционного подхода внесли Плотникова С.В. (КТИ СО РАН, Россия) и Smith K.B. (The Ohio State University, USA), посвятившие данному вопросу

крупные научные исследования.

Несмотря на широкие исследования, существующие системы лазерной триангуляции не отвечают постоянно растущим требованиям по точности и достоверности при измерении геометрического профиля объекта в режиме реального времени. Эти требования могут быть реализованы за счет борьбы с помехами в открытом оптическом канале, по которому передается видеoinформация о профиле объекта. Поэтому задача подавления интерференционных помех в открытом оптическом канале **является актуальной**, позволяющей повысить точность и достоверность передаваемой информации о профиле объекта и уменьшить объем передаваемых данных.

Целью работы является разработка алгоритмов подавления интерференционных помех в открытом оптическом канале лазерных триангуляторов, позволяющая повысить точность и достоверность передаваемой видеoinформации.

Для достижения поставленной цели в диссертационной работе решаются следующие основные задачи:

1. Анализ существующих алгоритмов обработки видеoinформации, применяемых в лазерных триангуляционных измерителях профилей объектов.
2. Разработка математической модели формирования видеоизображения геометрического профиля объекта, учитывающей влияние интерференционных помех в открытом оптическом канале лазерного триангулятора, и алгоритма обработки передаваемой видеoinформации.
3. Разработка алгоритмов подавления интерференционных помех в открытом оптическом канале при передаче видеoinформации и оценка влияния данных алгоритмов на погрешность измерения профиля объекта.
4. Анализ погрешности измерения геометрического профиля объекта лазерным триангулятором.
5. Компьютерное моделирование и экспериментальная оценка разработанных алгоритмов фильтрации интерференционных помех при передаче видеoinформации о геометрическом профиле объекта в лазерном триангуляторе.

Методы исследования включают основные положения теории слепой обработки видеосигналов, отдельных аспектов теории вероятностей и математической статистики, теории погрешностей. Математическое моделирование производилось с использованием математического пакета MATLAB. Практическое моделирование производилось с использованием сканера РФ620 производства фирмы Рифтек, а также при помощи отладочной платы фирмы Xilinx SP605 с применением программного пакета Xilinx ISE.

Достоверность положений работы подтверждена совпадением результатов компьютерного моделирования и экспериментальной проверки разработанных методов и алгоритмов измерения профиля объекта в составе путеизмерительного комплекса КВЛ-П.

Научная новизна заключается в следующем:

1. Разработана математическая модель формирования видеоизображения геометрического профиля объекта, учитывающая влияние интерференционных помех в открытом оптическом канале лазерного триангулятора.

2. Предложена методика и разработан алгоритм обработки передаваемой видеоинформации в лазерном триангуляторе для построения геометрического профиля объекта на основе разработанной математической модели формирования видеоизображения.

3. Разработаны алгоритмы фильтрации на базе слепой обработки видеосигналов, позволяющие подавить интерференционные помехи при передаче видеоинформации и повысить точность измерения профиля объекта.

Личный вклад:

Основные результаты диссертационной работы, обладающие научной новизной, получены автором самостоятельно и соответствуют пунктам 2, 8 и 13 паспорта специальности 05.12.13.

Практическая ценность работы:

Разработано программное обеспечение измерения профиля объекта на основе предложенной модели и разработанных алгоритмов для существующих стандартных триангуляторов. Разработанное программное обеспечение внедрено в составе путеизмерительного комплекса КВЛ-П.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Разработанная математическая модель формирования изображения на видеоматрице на базе теории слепой обработки сигналов, учитывающая влияние интерференционных помех, позволяет повысить точность измерения профиля объекта за счет разработанных алгоритмов обработки видеоинформации.

2. Предложенная методика построения геометрического профиля объекта на основе разработанной математической модели формирования видеоизображения позволяет реализовать субпиксельную точность и малую чувствительность к помехам.

3. Алгоритмы фильтрации, на базе слепой обработки сигналов, позволяют подавить интерференционные помехи и повысить точность измерения профиля объекта.

Апробация работы:

Основные результаты диссертационной работы доложены и обсуждены на следующих конференциях и семинарах: X международная научно-техническая конференция посвященной проблемам техники и технологий телекоммуникаций (Самара, 2009); XVII Российская научная конференция профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (Самара, 2010 г.); X международная научно-методическая конференция посвященная проблемам, методологиям, технологиям систем связи (Воронеж, 2010 г.); XI международная научно-техническая конференция (Уфа, 2010 г.); XII международная конференция посвященная проблемам управления и моделирования в сложных системах (Воронеж, 2011 г.).

Реализация результатов работы:

Разработанные алгоритмы и программы внедрены в модуль измерения поперечного профиля рельсов, входящего в состав компьютеризированных вагон-лабораторий КВЛ-П для автоматизированной диагностики состояния железнодорожных путей и инфраструктуры.

Публикации:

По теме диссертации опубликовано 13 печатных работ, в том числе 3 печатных работы в изданиях перечня, рекомендованного ВАК для публикации работ, отражающих основное научное содержание диссертаций.

Структура и объем работы:

Работа состоит из введения, трех глав и заключения, изложенных на 133-и страницах, списка использованных источников из 105-и наименований и 3-х приложений на 20-и страницах. Диссертация содержит 83 рисунка и 5 таблиц. Общий объем диссертации 152 страницы.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, приведен обзор работ по теме диссертации, сформулирована цель и основные задачи исследования, описан состав и структура работы, определены ее практическая и научная ценность.

В первой главе с целью постановки задачи дается описание основных принципов лазерной триангуляции, приводится структура системы передачи и обработки информации в открытом оптическом канале лазерного триангулятора, формулируются основные подходы для определения профиля объекта на изображении.

Схема открытого оптического канала, лежащая в основе лазерных триангуляционных датчиков, (см. рис. 1) включает в себя три основных составляющих: источник лазерного излучения с системой развертки, поверхность сканируемого объекта, видеоматрицу на которой проецируется профиль объекта.

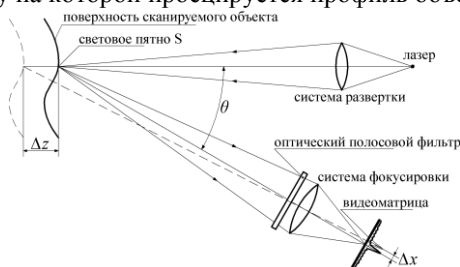


Рис. 1. Принцип лазерной триангуляции

Изображение, формируемое на видеоматрице, содержит информацию о профиле объекта. Ось излучения образует с осью наблюдения угол θ . Если переместить поверхность объекта на малую величину Δz , то изображение на матрице сдвинется на величину Δx . Исходя из геометрических соображений можно записать:

$$\Delta x = \beta \cdot \Delta z \cdot \sin \theta, \quad (1)$$

где β - коэффициент передачи конкретной оптической системы.

Система измерения и передачи информации о профиле объекта (рис. 2) включает лазерный триангулятор, передающий измеренные данные на сервер обработки, который вычисляет необходимые параметры по измеренным данным и отправляет информацию оператору. Основной причиной появления в канале недостоверных данных являются интерференционные помехи, возникающих на этапе сканирования профиля объекта.

Причиной помех в открытом оптическом канале передачи видеoinформации является интерференция отраженного развернутого лазерного луча от точек поверхности исследуемого объекта на видеоматрице, фиксирующей профиль объекта.



Рис. 2. Схема системы измерения геометрического профиля объекта

В существующих на сегодняшний день лазерных триангуляторах для определения линии профиля объекта наибольшее распространение получил интегральный метод центра масс, благодаря своей простоте и возможности получать субпиксельную точность без применения сложной обработки. Суть этого метода заключалась в том, что исходное изображение (рис. 3), снимаемое с видеоматрицы разбивалось на столбцы шириной в 1 пиксель, при этом номер столбца определял координату по оси x , а координата по оси z определялась как центр масс импульса (рис. 4):

$$z_{\text{проф}} = \frac{\sum_{k=0}^{N-1} k \cdot I(k)}{\sum_{k=0}^{N-1} I(k)}, \quad (2)$$

где z_x – значение координаты по оси z столбца x , N – количество пикселей в столбце x . $I(k)$ – значение яркости k -ого пикселя в столбце x .

Недостатком данного метода является высокая чувствительность к помехам. Получившая широкое распространение пороговая фильтрация исходного изображения профиля объекта характеризуется невысокой эффективностью против интерференционных помех и сложностью выбора оптимального порога фильтрации $q_{\text{пор}}$, при котором не происходит искажения сигнала.

Существующие методы борьбы с помехами не в состоянии решить проблему подавления интерференционных помех. Причиной тому служит мультипликативный характер интерференционных помех и, как следствие этого, сильное искажение формы видеоимпульса профиля изображения поступающего с видео-

матрицы (рис. 4).

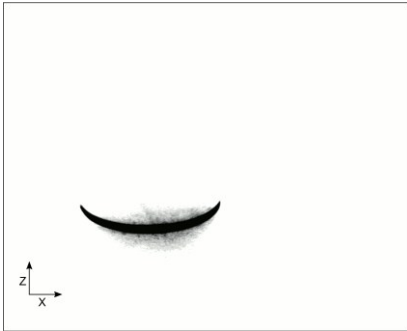


Рис. 3. Данные с видеоматрицы

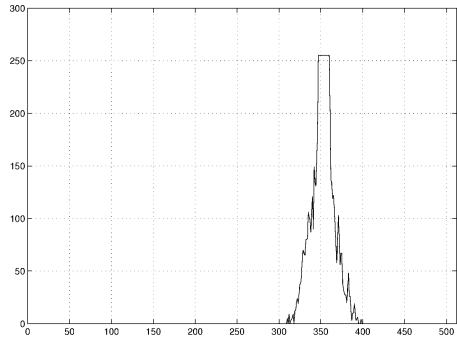


Рис. 4. Профиль изображения

В первой главе приводится оценка влияния преобразования пиксельных координат профиля объекта в метрические на достоверность выходных данных. Преобразование соответствующих координат x и z из пиксельных координат в метрические происходит в соответствии с выражениями:

$$z_{\text{проф м}} = \frac{1}{(L_z)_i - (L_z)_{i-1}} z_{\text{проф пикс}} + \left[i - \frac{2(L_z)_{i-1} - (L_z)_i}{(L_z)_i - (L_z)_{i-1}} \right], \quad (3)$$

$$x_{\text{проф м}} = \frac{1}{(L_x)_i - (L_x)_{i-1}} z_{\text{проф пикс}} + \left[i - \frac{2(L_x)_{i-1} - (L_x)_i}{(L_x)_i - (L_x)_{i-1}} \right], \quad (4)$$

где L – определяет таблицу калибровки лазерного триангулятора, i – номер пикселя в строке.

Как видно преобразование координат является полностью линейной операцией и достоверность выходных данных лазерного триангуляционного измерителя определяется в основном дискретностью калибровочной таблицы L и номером пикселя i в столбце, в целом влияние преобразования координат на погрешность измерения можно считать пренебрежимо малым.

Во второй главе разрабатывается математическая модель, описывающая взаимодействие исходного изображения и интерференционных помех накладываемых на него. В общем виде данную модель можно записать в виде:

$$g(x, y) = f(x, y) * h(x, y) + n(x, y), \quad (5)$$

где $g(x, y)$ – изображение, формируемое на матрице с учетом интерференционных помех, $f(x, y)$ – исходное изображение, $h(x, y)$ – импульсная характеристика канала, определяющая интерференционную составляющую, $n(x, y)$ – аддитивный шум.

Оценка аддитивного шума показала, что для лазерных триангуляционных измерителей его влияние пренебрежимо мало и основное искажающее влияние оказывает мультипликативные интерференционные помехи.

Таблица 1

Выдержка видеоматрицы, мкс	10	50	100	200	300	500	1000
$D_{\text{сигн}} / D_{\text{шум}}$	0,0055	0,0060	0,0073	0,0083	0,0091	0,0104	0,0117

В таблице 1 в качестве примера приведены отношения дисперсии сигнала профиля изображения к дисперсии шума, при различных значениях выдержки видеоматрицы.

Из теории преобразования Фурье известно, что:

$$g(x, y) = f(x, y) * h_1(x, y) * \dots * h_k(x, y) \Leftrightarrow F(\omega_x, \omega_y) H_1(\omega_x, \omega_y) \dots H_k(\omega_x, \omega_y), \quad (6)$$

При этом, как видно из выражения (6) аддитивный шум не учитывается. Это связано с тем, что для лазерных триангуляторов аддитивные составляющие пренебрежимо малы (см табл. 1). Это связано в первую очередь с тем, что сигнал фиксируемый видеоматрицей проходит узкополосную фильтрацию интерференционным фильтром, устраняющим большинство аддитивных шумов.

В случае дискретного двумерного сигнала, которым и является исходное изображение размером $N \times M$ пикселей, мы получаем дискретное преобразование Фурье в виде:

$$G(k, l) = \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{M-1} g(m, n) e^{-j \frac{2\pi mk}{M}} e^{-j \frac{2\pi nl}{N}}, \quad (7)$$

Введя замену переменных $u = e^{-j \frac{2\pi k}{M}}$, $v = e^{-j \frac{2\pi l}{N}}$, мы получаем полиномиальную форму представления изображения:

$$G(u, v) = \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{M-1} g(m, n) u^m v^n, \quad (7) \text{ или } G(u, v) = H(u, v) \cdot F(u, v), \quad (8)$$

На сегодняшний день существует множество различных подходов для слепого разделения сигналов. В данной работе исходное изображение рассматривается как двумерный скалярный сигнал. Возможности слепой идентификации скалярных двумерных каналов несколько шире, чем одномерных, что позволяет применить методы слепой обработки в данном случае. Если двумерный дискретный сигнал имеет z преобразование, неразложимое на более простые множители, то очевидно используя единственность факторизации многочлена на неприводимые множители мы можем восстановить дискретный сигнал по его автокорреляции или что эквивалентно по его амплитудному спектру. Как видно из выражения (8) задача фильтрации интерференционных помех сводится к задаче факторизации полинома $G(u, v)$ и нахождения интересующего нас $F(u, v)$.

Процесс факторизации полиномов на сегодняшний день является весьма трудоемкой задачей. В данной работе для ее решения предлагается использовать ускоренную модификацию алгоритма нулевого листа, позволяющую произвести сведение нескольких пар корней параллельно. Данный подход интересен в первую очередь тем, что не требует априорных данных о входном сигнале

$g(m, n)$, что для случая интерференционных помех является важным.

Начальным этапом алгоритма является фиксация значения $u = u_0$, в результате чего полином $G(u_0, v)$ становится одномерным:

$$G(u_0, v) = \sum_{n=0}^{N-1} a_n(u_0) v^n, \quad (9)$$

После определения коэффициентов a_n вычисляются корни уравнения, полученного приравниванием полинома (8) к нулю при заданном параметре $u = u_0$.

Введем в рассмотрение два множества S_F и S_H . Множеству S_F принадлежат все корни полинома $F(u, v)$, а множеству S_H все корни полинома $H(u, v)$ при фиксированном $u = u_0$.

Рассмотрим пример решения проблемы группировки корней в случае фиксированного значения $u = u_0$. В качестве начального значения используем $u_0 = 1,0$. Для фиксированного значения $v = v_0$ подход аналогичен.

Из полученных корней выбирается произвольная пара корней v_i и v_j с таким условием, что $i \neq j$. При этом количество таких пар равно $N(N-1)/2$. Изменением комплексного параметра u добиваемся сходимости корней, то есть $v_i = v_j = \tilde{v}$. При этом комплексный параметр u принимает значение $u = \tilde{u}$. В комплексной точке $u = \tilde{u}$ $v = \tilde{v}$ выполняется условие:

$$\frac{\partial}{\partial v} G(\tilde{u}, \tilde{v}) = 0, \quad (10)$$

С учетом выражения (8) запишем частную производную по переменной u :

$$\frac{\partial}{\partial u} G(\tilde{u}, \tilde{v}) = F(\tilde{u}, \tilde{v}) \frac{\partial}{\partial u} H(\tilde{u}, \tilde{v}) + H(\tilde{u}, \tilde{v}) \frac{\partial}{\partial u} F(\tilde{u}, \tilde{v}), \quad (11)$$

В случае, если $v_i \in S_F$, а $v_j \in S_H$ $\frac{\partial}{\partial u} G(\tilde{u}, \tilde{v}) = 0$. Тем самым данный критерий может быть использован для идентификации принадлежности корней полинома тому или иному множеству.

Проблемой, решаемой на данном этапе, является задача сведения корней. Для ее решения произведем замену переменных, положив, что u и v зависят от некоего параметра s , то есть $u = u(s)$ $v = v(s)$. Найдем производную

$G[u(s), v(s)]$ по s и приравняем ее к 0 тем самым найдя зависимость $\frac{dv}{ds}$ которую используем в дальнейшем для сведения корней.

$$\text{Введем обозначение } G_u = \frac{\partial G}{\partial u} \quad G_v = \frac{\partial G}{\partial v}.$$

$$\frac{dv_i}{ds} = -\frac{G_u(u, v_i)}{G_v(u, v_i)} \frac{du}{ds}, \quad (12) \quad \frac{dv_j}{ds} = -\frac{G_u(u, v_j)}{G_v(u, v_j)} \frac{du}{ds}, \quad (12)$$

Сведение корней полинома сводится к уменьшению расстояния D между ними, которое определяется соотношением:

$$D^2 = |v_i - v_j|^2 = (v_i - v_j)(v_i^* - v_j^*), \quad (13)$$

Продифференцировав выражение (14) по переменной s получаем:

$$\frac{dD^2}{ds} = 2 \operatorname{Re} \left\{ (v_i^* - v_j^*) \left[\frac{G_u(u, v_j)}{G_v(u, v_j)} - \frac{G_u(u, v_i)}{G_v(u, v_i)} \right] \frac{du}{ds} \right\}, \quad (14)$$

Для сближения корней v_i и v_j необходимо чтобы $\frac{dD^2}{ds} < 0$.

С учетом того, что в выражении (14) все элементы являются комплексными, можно записать:

$$\rho_0 \exp(j\varphi_0) = (v_i^* - v_j^*) \left[\frac{G_u(u, v_j)}{G_v(u, v_j)} - \frac{G_u(u, v_i)}{G_v(u, v_i)} \right], \quad \frac{du}{ds} = \left| \frac{du}{ds} \right| \exp(j\theta), \quad (15)$$

Окончательно получаем:

$$\frac{dD^2}{ds} = 2 \operatorname{Re} \left[\rho_0 \left| \frac{du}{ds} \right| \exp(j(\varphi_0 + \theta)) \right], \quad (16)$$

Из выражения (16) видно, что $\frac{dD^2}{ds} < 0$ при $\varphi_0 + \theta = \pi$. Отсюда становится очевидным, что для сведения корней v_i и v_j параметр u надо перемещать в направлении $\theta = \pi - \varphi_0$ на величину:

$$\Delta u = \left| \frac{du}{ds} \right| \exp(\pi - \varphi_0) \Delta s, \quad (17)$$

Для определения модуля перемещения комплексной величины Δu , разложим вызываемую этим перемещением величину v в ряд Тейлора ограничившись второй степенью:

$$v + \Delta v \cong v + \frac{dv}{du} \Delta u + \frac{1}{2} \frac{d^2 v}{du^2} (\Delta u)^2, \quad (18)$$

Разложение в ряд Тейлора позволяет нам производить вычисление корней v_i и v_j полинома лишь однажды, на этапе получения начального распределения корней, а корни получаемые на последующих итерациях определять при помощи ряда Тейлора. Использование ряда Тейлора позволяет при реализации алгоритма использовать распараллеливание при сведении корней, тем самым увеличивая быстродействие алгоритма в разы.

После того как все корни сведены строится матрица группировки корней S , элементы которой определяются соотношением:

$$S(i, j) = |G_u(\tilde{u}, \tilde{v})|, \quad (19)$$

где i, j определяют номер соответствующих корней в начальном распределении.

После того как сформировались группы корней необходимо сгенерировать факторы для интересующей нас группы корней. В нашем случае имеется два фактора группы i $A_i(u, v)$ - для случая множеств S_F и S_H и $B_i(u, v)$ для случая множеств T_F и T_H . Вычисление этих факторов аналогично друг другу и в случае $A_i(u, v)$ может быть записано в виде:

$$A_i(u, v) = \prod_{m=1}^{NR} [v_n - v_m(u_k)], \quad (20)$$

где $u_k = \exp(-j2\pi k / M)$, $k = 0, 1, 2, \dots, M - 1$, $v_n = \exp(-j2\pi n / M)$, $n = 0, 1, 2, \dots, N - 1$, NR - количество корней в группе i , $v_m(u_k)$ - корень m группы i при $u = u_k$. Стоит отметить, что $A_i(u, v)$ и $B_i(u, v)$ по своей сути имеют размерность $M \times N$ и $N \times M$ соответственно. Интересующая нас матрица $a_{i,j}$ выходного изображения может быть найдена из системы матричных уравнений:

$$\begin{cases} A_{i,j} = c_j a_{i,j} \\ B_{i,j} = d_j a_{i,j} \end{cases}, \quad (21)$$

Систему (21) перепишем в виде:

$$d_j A_{i,j} - c_j B_{i,j} = 0, \quad (22)$$

В общем случае выражение (22) можно переписать в виде:

$$\Gamma x = 0, \quad (23)$$

где $x = (d_1 \ d_2 \ \dots \ d_M \ c_1 \ c_2 \ \dots \ c_N)^T$.

С учетом того что размерность матрицы Γ составляет $(M + N) \times (MN)$ то прямое решение уравнения (23) представляет определенные трудности. Для решения уравнения (23) воспользуемся соотношением:

$$\Gamma^T \Gamma x = \lambda x, \quad (24)$$

где λ - константа, а вектор x ищется как собственный вектор матрицы получаемый в результате операции $\Gamma^T \Gamma$.

После того как собственный вектор найден и из него выделены интересующие нас элементы c_1, \dots, c_N и d_1, \dots, d_M выходная матрица (выходное изображение) $a_{i,j}$ ищется как произведение:

$$a_{i,j} = A \cdot c^{-1} \text{ или } a_{i,j} = d^{-1} B, \quad (25)$$

Пример работы предложенного алгоритма для изображения круглой формы представлен на рис. 5.

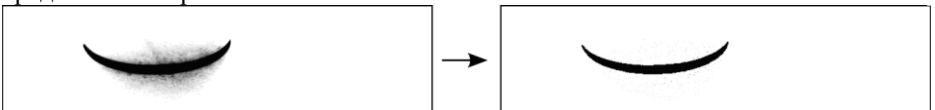


Рис. 5. Результат работы алгоритма нулевого листа.

Основным достоинством предложенного метода является возможность практически полного подавления интерференционных помех; недостатком является высокая требовательность к вычислительным ресурсам. В связи с этим был разработан алгоритм производящий фильтрацию интерференционных помех по двум изображениям профиля одного и того же сканируемого объекта (рис.6). Пусть даны два изображения профиля одного и того же объекта, при этом время между съемкой меньше чем время в течении которого изменяется внешняя освещенность (в экспериментах время составляло 0,01 с), тогда исходя из выражения (8) запишем систему уравнений для исходных двух изображений:

$$\begin{cases} G_1(u, v) = F(u, v) \cdot H_1(u, v) \\ G_2(u, v) = F(u, v) \cdot H_2(u, v) \end{cases}, \quad (26)$$

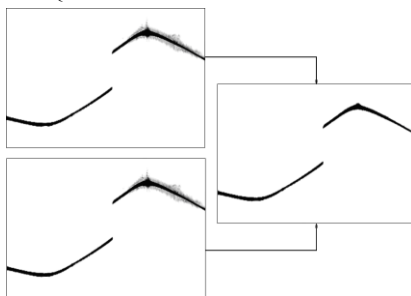


Рис. 6. Результат работы алгоритма НОД.

Из двух уравнений необходимо получить полином $F(u, v)$, определяющий исходное изображение профиля объекта. При этом, интересующий нас полином ищется как наибольший общий делитель полиномов (НОД) $G_1(u, v)$ и $G_2(u, v)$:

$$F(u, v) = \text{gcd}(G_1(u, v), G_2(u, v)), \quad (27)$$

Пример работы предложенного метода НОД представлен на рис.5, где изображена поверхность катания рельса.

Как видно из рисунков 5 и 6 методы слепой обработки позволяют практически полностью подавить интерференционные помехи, не искажая при этом данные с видеоматрицы, что для лазерных триангуляторов является определяющим.

В третьей главе производится оценка погрешности измерения, вызванная флуктуацией интерференционной картины. Результаты расчетов показывают, что абсолютная погрешность измерения находится в прямой зависимости от длины волны лазерного излучения и определяется соотношением:

$$\Delta z = C \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{\bar{\lambda}}{\sin u}, \quad (28)$$

где C – определяет величину контрастности спекла, $\bar{\lambda}$ – усредненная длина волны излучения лазера, $\sin u$ – апертура наблюдения лазерного триангуляционного измерителя.

В таблице 2 приведены теоретически рассчитанные и практически опреде-

ленные значения погрешности определения профиля объекта вызванные аддитивной составляющей шума, при различных апертурах наблюдения и длине волны лазерного излучения $\bar{\lambda} = 662$ нм.

Таблица 2

$\sin u$	$\Delta z_{\text{теор}}$, МКМ	$\Delta z_{\text{практ}}$, МКМ	$\frac{\Delta z_{\text{практ}}}{\Delta z_{\text{теор}}}$
0,0125	7,920	8,3200	1,0505
0,0375	2,640	2,8560	1,081
0,0625	1,584	1,5890	1,003
0,0875	1,131	1,1710	1,0353
0,1125	0,880	0,8938	1,0157

В качестве критерия оценки качества алгоритмов предложенных во второй главе для фильтрации интерференционных помех в открытом оптическом канале лазерного триангулятора выбирается величина среднего отклонения профилей между собой $\delta_{\text{проф}}$ с ростом выдержки видеоматрицы. Данный критерий выбран из-за того, что с ростом выдержки матрицы растет смещение профилей объекта друг относительно друга, что приводит к появлению недостоверных данных на выходе триангуляционного измерителя. Помимо этого с увеличением выдержки матрицы, начинают проявляться нелинейные свойства матрицы. Величина среднего отклонения профилей между собой определяется соотношением:

$$\delta_{\text{проф}} = \frac{1}{L} S = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L [\max(z_{1,i} \dots z_{1,N}) - \min(z_{1,i} \dots z_{1,N})], \quad (29)$$

где L – определяет длину профиля объекта, S – определяет площадь между огибающими усредненного профиля объекта снятых при различных выдержках видеоматрицы.

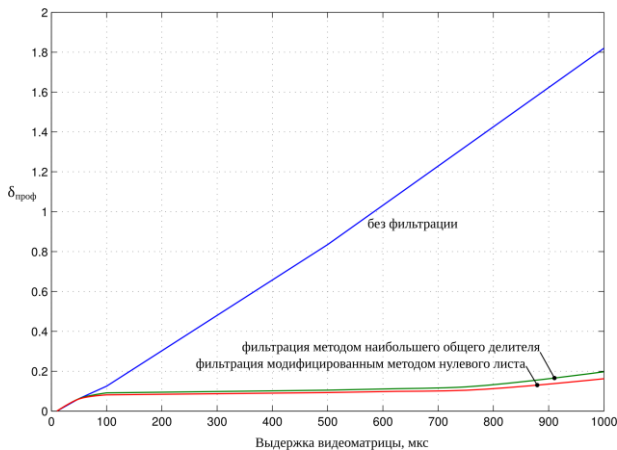


Рис. 7. Сравнение различных методов фильтрации

Как видно из рис. 7 применение слепой обработки позволяет снизить величину расхождения профилей объекта снятых при различных выдержках видеоматрицы на порядок. На практике это позволяет использовать выдержку видеоматрицы обеспечивающую наилучшее отображение профиля объекта без риска получить смещенные данные.

В заключении перечислены основные научные и практические результаты работы:

1. Проведен анализ существующих средств измерения профиля объекта, показавший их низкую точность в условиях воздействия интерференционных помех при передаче видеoinформации по открытому оптическому каналу, что является недопустимым для большинства промышленных применений.
2. Разработана математическая модель формирования видеоизображения, учитывающая влияние интерференционных помех в открытом оптическом канале лазерного триангулятора.
3. Разработаны методика и алгоритм обработки передаваемой видеoinформации в лазерном триангуляторе для построения геометрического профиля объекта на основе созданной математической модели.
4. Разработан алгоритм подавления интерференционных помех, позволяющий повысить точность измерений и достоверность выходных данных. Применение алгоритмов слепой обработки позволяет уменьшить расхождение профилей с ростом выдержки видеоматрицы в среднем с 2,7 пикселей до 0,2-0,3 пикселя.
5. Произведена оценка достижимой точности измерения профилей объектов триангуляционным методом, учитывающая аддитивную составляющую помех. Данный анализ показал, что вносимое аддитивными помехами расхождение профилей составляет величину порядка 10 мкм.
6. Разработано программное обеспечение измерения профиля объекта на основе предложенной модели и разработанных алгоритмов для существующих стандартных триангуляторов. Разработанное программное обеспечение внедрено в составе путеизмерительного комплекса КВЛ-П.

В приложениях приведены документы, подтверждающие внедрение результатов работы.

Публикации автора в изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Буцких, В.А. Применение слепой обработки сигналов для подавления шумов спеклов в лазерной триангуляции [Текст] // Инфокоммуникационные технологии. – 2012. – Т.10, №1. – с.16-21.
2. Буцких, В.А. Алгоритм нулевого листа в задаче подавления интерференционных шумов на изображениях [Текст] // Инфокоммуникационные технологии. – 2012. – Т.10, №2. – с.19-24.
3. Буцких, В.А. Система измерения и передачи информации о геометрии профиля объекта с использованием лазерной триангуляции [Текст] // *Н.Н. Васин* // Вестник транспорта Поволжья. – 2012, №3(33). с. 16-22.

Публикации автора в других изданиях:

1. Буцких, В.А. Измеритель скорости движения поезда на участке приближения к переез-

ду [Текст] //Международная научно практическая конференция «Наука и образование транспорту»: тез. докладов. г. Самара. – 2009. – с. 52-54.

2. Буцких, В.А. Система передачи и обработки информации для управления железнодорожным переездом [Текст] //X международная научно-техническая конференция «Проблемы техники и технологий телекоммуникаций»: тез. докладов. г. Самара. – 2009. – с. 70-72.

3. Буцких, В.А. Применение адаптированного протокола обмена данными по шине RS-485 [Текст] // XVII Российская научная конференция профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов: тез. докладов. г. Самара. – 2010. – с. 78-79.

4. Буцких, В.А. Применение нечеткой логики для управления сигнализацией на железнодорожных переездах [Текст] // В.А. Буцких, Р.Р. Диязитдинов // Информатика: проблемы, методология, технологии: тез. докладов X международная научно-методическая конференция, 11-12 февраля 2010., г. Воронеж. – 2010. – с.145-148.

5. Буцких, В.А. Поиск посторонних объектов на железнодорожных переездах [Текст] // В.А. Буцких, Р.Р. Диязитдинов // Информатика: проблемы, методология, технологии: тез. докладов X международная научно-методическая конференция, 11-12 февраля 2010., г. Воронеж. – 2010. – с. 233-237.

6. Васин Н.Н. Механизм нечеткого логического вывода в управлении железнодорожным переездом [Текст] // Буцких, В.А // XII международная конференция Проблемы управления и моделирования в сложных системах 21-23 июня 2010., г. Самара. – 2010. – с. 435-440.

7. Буцких, В.А. Модифицированный усредняющий фильтр. Определение мощности шума на видеоизображении // Р.Р. Диязитдинов // Перспективные информационные технологии для авиации и космоса: тез. Докладов Международная конференция с элементами научной школы для молодежи, 29 сентября 1 октября 2010., г. Самара. – 2010 г. – с.479-483.

8. Буцких, В.А. Байесовский подход для оценивания заднего плана и обнаружения посторонних объектов на видеоизображении // Р.Р. Диязитдинов // Перспективные информационные технологии для авиации и космоса: тез. Докладов Международная конференция с элементами научной школы для молодежи, 29 сентября 1 октября 2010., г. Самара. – 2010 г. – с.484-488.

9. Васин, Н.Н. Элементы и устройства обработки сигналов железнодорожного транспорта [Текст] / Н.Н. Васин, В.Ю. Куринский, С.В. Кузьмин, В.А. Буцких, Р.Р. Диязитдинов // Оптические технологии в телекоммуникациях: тез. докладов XI Международная научно-техническая конференция, 16-18 ноября 2010., г. Уфа. – 2010. – с. 167-168.

10. Буцких, В.А. Адаптивная система управления железнодорожным переездом [Текст] / В.А. Буцких, Р.Р. Диязитдинов, А.А. Шапорин // Вестник транспорта Поволжья.– 2010. – №4(24). – с.4-11.

Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение
высшего профессионального образования
«Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики»
443010, г. Самара, ул. Льва Толстого 23.

Подписано в печать 07.11.12 г. Формат 60×84¹/₁₆ Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Заказ 1306. Печать оперативная. Усл. печ. л. 0,93. Тираж 100 экз.

Отпечатано в издательстве учебной и научной литературы
Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики
443090, г. Самара, Московское шоссе 77.
т. (846) 228-00-44