

УДК 004.932.2

ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ОБЪЕКТОВ МЕТОДАМИ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ

© 2024 г. В. В. Лопатина^{a, *}

^aФИЦ ИУ РАН, Москва, Россия

*e-mail: int00h@mail.ru

Поступила в редакцию 12.07.2024 г.

После доработки 15.07.2024 г.

Принята к публикации 16.10.2024 г.

Приведена структура измерительного комплекса, позволяющего выполнять высокоточные измерения положения объектов относительно стационарной базы методами компьютерного зрения, построенного на базе оптических измерителей. Описан принцип действия измерительного комплекса, определен порядок использования и особенности юстировки элементов. Работа измерительного комплекса иллюстрируется на примере из морской транспортной отрасли, в задаче контроля положения автономного морского крупнотоннажного судна относительно причала при выполнении погрузо-разгрузочных работ и швартовных операций. Также рассматриваются способы применения измерительного комплекса в автодорожном, воздушном и железнодорожном транспорте.

Ключевые слова: компьютерное зрение, анализ изображений, оптические измерители, автономный транспорт, морские автономные надводные суда

DOI: 10.31857/S0002338824050095, EDN: TDYUQK

POSITIONING OF LARGE OBJECTS BY COMPUTER VISION METHODS

V. V. Lopatina^{a, *}

^aFederal Research Center “Computer Science and Control,”

Russian Academy of Sciences, Moscow, 119333 Russia

*e-mail: int00h@mail.ru

The article presents the structure of a measuring complex that allows high-precision measurements of the position of objects relative to a stationary base using computer vision methods based on optical meters data. The principle of operation of the measuring complex is described. The procedure for using and the features of adjusting the elements is determined. The operation of the measuring complex is illustrated by an example from the maritime transport industry i.e. by the solution of the problem of monitoring the position of an autonomous marine large-tonnage vessel relative to the berth when performing loading and unloading operations and mooring operations. Methods of using the measuring complex in road, air and rail transport are also described.

Keywords: computer vision, image analysis, optical meters, autonomous transport, maritime autonomous surface ships

Введение. При внедрении автономного транспорта автоматизацию сбора данных об окружающей транспортное средство среде выполняют, используя принцип функциональной эквивалентности: сенсорная система автономного транспортного комплекса не должна уступать по своим возможностям сенсорным системам человека.

Важнейшая сенсорная система человека – зрительная. С помощью зрительной системы человек получает большую часть информации об окружающем мире. Зрение позволяет воспринимать свет, различать его яркость, адаптироваться к различным уровням освещенности, различать цвета и их оттенки, отличать объекты от фона и распознавать их, определять расположение объектов в пространстве и следить за их перемещением.

Система компьютерного зрения позволяет воспроизводить часть функций зрительной системы человека: сегментации изображений, обнаружения объектов, слежения за объектами, восстановления и дополнения изображений, определения движения. В некоторых случаях компьютерное зрение превосходит человеческое, например работа в спектральных диапазонах, которые не воспринимаются человеческим глазом (инфракрасный, ультрафиолетовый диапазоны). Использование компьютерного зрения для анализа окружающей обстановки обеспечивает автономную транспортную систему данными для автоматического принятия решений и выполнения действий без участия человека или с его минимальным участием.

Автономная транспортная система может предполагать различные уровни участия человека:

- 1) система анализирует окружающую обстановку, принимает решение и предлагает действие, которое выполняет человек;
- 2) система анализирует окружающую обстановку, принимает решение и выполняет действие, которое контролирует человек в непосредственной близости;
- 3) система анализирует окружающую обстановку, принимает решение и выполняет действие, которое удаленно контролирует человек;
- 4) система анализирует окружающую обстановку, принимает решение и выполняет действие без контроля человека.

Для безопасной эксплуатации автономной транспортной системы необходимо оперативно и с высокой точностью определять положение транспортного средства в пространстве, анализировать информацию о текущей обстановке и наличие других транспортных средств или крупногабаритных объектов поблизости. Высокоточные системы позиционирования используются для стабилизации положения подвижных объектов в различных транспортных системах, для обеспечения контроля положения и, как следствие, повышения безопасности. Повышение безопасности эксплуатации транспортной системы позволяет увеличить интенсивность транспортного потока и пропускную способность транспортной сети, что повышает экономическую эффективность транспортной отрасли.

Высокоточные системы позиционирования пространственно-распределенных объектов применимы не только на транспорте, но и в промышленности, например при сцепке деталей, когда точность совмещения деталей влияет на прочность, герметичность и надежность функционирования промышленного изделия. Одна деталь – база, другая – распределенный пространственный объект, который нужно расположить относительно базы, обеспечив минимальное усилие или минимальную нагрузку на элементы конструкции в процессе совмещения деталей.

В статье приводится структура и описывается принцип действия измерительного комплекса, позволяющего выполнять высокоточные измерения положения объектов относительно стационарной базы методами компьютерного зрения, определяется порядок использования и особенности юстировки элементов. Работа измерительного комплекса иллюстрируется на примере из морской транспортной отрасли, в задаче контроля положения автономного морского крупнотоннажного судна относительно причала при выполнении погрузо-разгрузочных работ и швартовных операций.

Также описываются способы применения измерительного комплекса в автодорожном, воздушном и железнодорожном транспорте.

1. Постановка задачи. Примерами задач высокоточного определения положения объектов относительно стационарной базы (высокоточного позиционирования) являются: позиционирование морского судна относительно причала при выполнении погрузо-разгрузочных работ и швартовных операций; позиционирование железнодорожного вагона при взвешивании на весах, при наливе цистерн, при загрузке сыпучим грузом; позиционирование корпуса воздушного судна в ангаре для выполнения ремонтно-профилактических работ, при стыковке с телескопическим трапом; позиционирование грузового автомобиля при загрузке и выгрузке, при взвешивании на весах относительно пакгауза.

При решении задачи высокоточного определения положения объектов относительно стационарной базы необходимо бесконтактно с высокой точностью выполнять измерения продольного, поперечного и вертикального смещения подвижного объекта, учитывая особенности его размера, формы, скорости маневрирования, скорости движения. Задача высокоточного определения положения объектов относительно стационарной базы должна решаться независимо от уровня освещенности, погодных условий, изменения взаимного расположения объектов (частичное или полное перекрытие отслеживаемого объекта), с оценкой текущих и прогнозированием будущих пространственно-скоростных параметров отслеживаемого объекта.

Для решения задачи объекты должны непрерывно отслеживаться на всех этапах измерений. Этапы измерений на примере морского крупнотоннажного судна включают: подход судна, швартовку судна, погрузо-разгрузочные работы и отход судна от причала. Под круп-

нотоннажным судном в данной работе подразумевается судно дедвейтом свыше 1.5 тыс. т и длиной свыше 60 м.

2. Предлагаемый подход. Для решения задачи позиционирования крупногабаритных объектов, таких, как морские крупнотоннажные суда, а также железнодорожные вагоны, корпуса воздушных судов, грузовые автомобили, предлагается использовать высокоточный измерительный комплекс, построенный на базе оптических измерителей.

2.1. Модель измерительного комплекса на базе оптических измерителей. Программно-аппаратный комплекс высокоточного определения положения объектов относительно стационарной базы включает оптические измерители, каждый из которых состоит из камеры компьютерного зрения и лазерного дальномера. Если в комплексе задействуется два и более измерителя, то компьютер с модемом в составе находится только в управляющем измерителе (рис. 1), оборудование управляемого измерителя подключается к компьютеру управляющего. По аналогичной схеме подключаются три и более измерителей: один управляющий измеритель и несколько управляемых измерителей. Обмен данными между компьютером и компонентами оптических измерителей происходит по технологии Ethernet.

Назначение измерителей — это высокоточные измерения продольного, поперечного и вертикального смещения объектов, измерения скоростей движения, определение типа движения (например, смещение, поворот), прогнозирование будущих пространственно-скоростных параметров измеряемого объекта. Измерители устанавливаются на неподвижное основание, в прямой видимости измерителей находится объект измерений. Измерение поперечного смещения выполняет лазерный дальномер, установленный в оптический измеритель. Метод измерения основан на сравнении фаз сигнала лазера и сигнала, отраженного от объекта. Задержка при распространении волны создает сдвиг фаз, который измеряется. Лазер работает постоянно, его излучение амплитудно модулируется сигналом определенной частоты [1–3]. Фаза отраженного сигнала сравнивается с фазой опорного сигнала [4, 5].

Измерения вертикального и горизонтального смещения выполняются методами компьютерного зрения с учетом данных о поперечном смещении объекта. Метод измерения включает анализ кадров видеоряда с камеры оптического измерителя для определения подвижных областей изображения, оценки их характеристик, выявления характера движения и выбора объектов (участков изображения), которые потенциально принадлежат корпусу морского судна или его

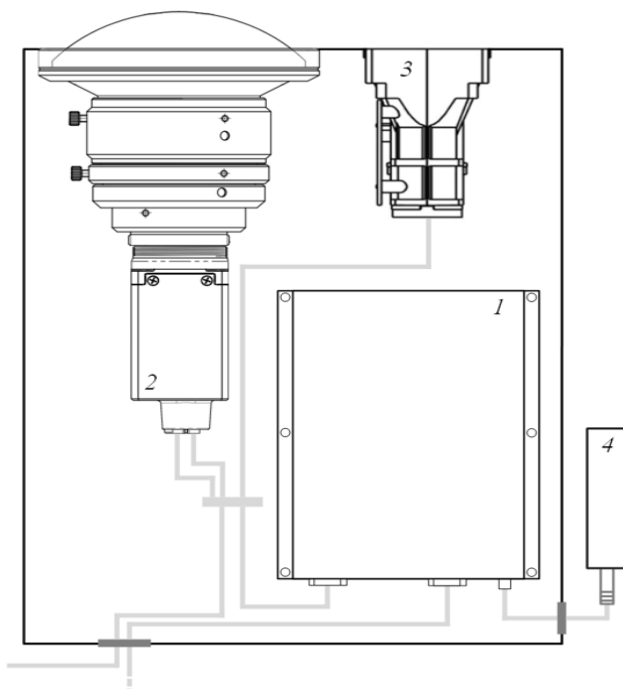


Рис. 1. Схема управляющего оптического измерителя: компьютер (1), камера компьютерного зрения с объективом (2), лазерный дальномер (3), антенна 3G/4G (LTE) (4).

палубных конструкциям. Выбранные объекты отслеживаются в реальном времени [6], рассчитывается скорость и разность их смещения, определяются траектории движения. По разности сдвига объектов на изображениях рассчитываются вертикальные и горизонтальные величины смещения объекта в пространстве, т.е. величина смещения в пикселах на изображении соотносится с величиной смещения в метрах. По смещению объектов на изображении (отслеживаемых участков изображения) вычисляются пространственно-скоростные параметры отслеживаемого крупногабаритного площадного объекта — морского крупнотоннажного судна.

2.2. Высокоточное позиционирование морского крупнотоннажного судна относительно причала. В задаче контроля положения автономного морского судна относительно причала измерители устанавливаются на причале на неподвижном основании в непосредственной близости от края причала (рис. 2), чтобы не допустить перекрытия луча лазера и объектива камеры работниками порта, транспортными средствами и причальными сооружениями. В прямой видимости находится измеряемый объект — морское крупнотоннажное судно.

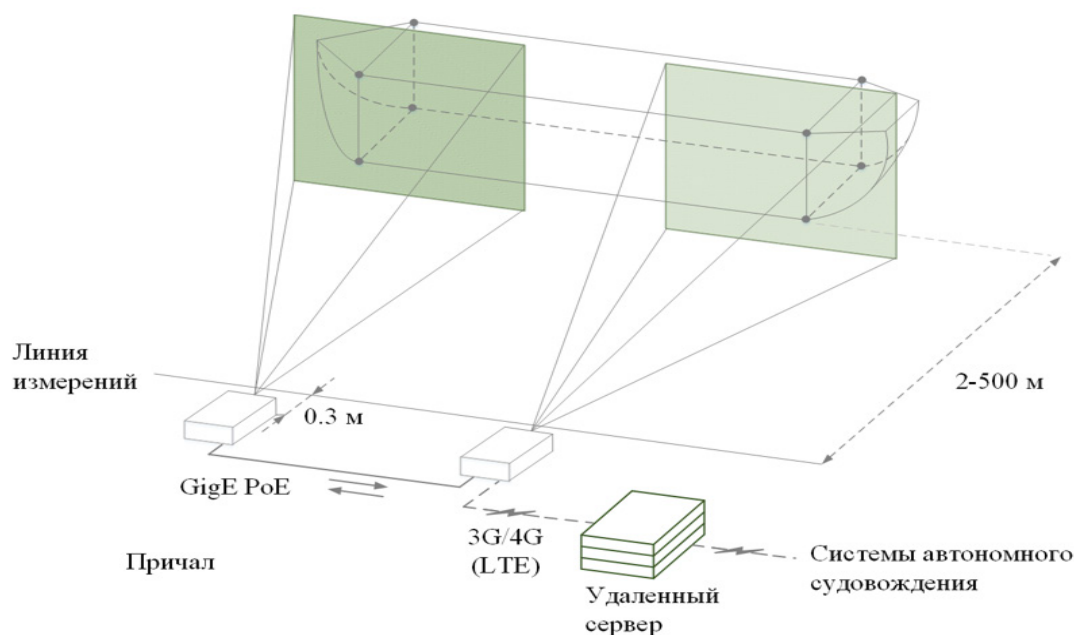


Рис. 2. Схема установки комплекса из двух оптических измерителей на причале.

Измерения начинаются при подходе судна к причалу, продолжают во время швартовки судна и выполнении погрузо-разгрузочных работ. Границы области отслеживания судна относительно причала составляют от 2 до 500 м в продольном, поперечном и вертикальном направлениях, что обусловлено требованиями к дистанции последнего маневра морского судна.

Согласно постановлениям по морским портам России на 2024 г. скорость движения судна во время швартовных операций не превышает 3 узлов (5.556 км/ч). Комплекс начинает работать еще на этапе подхода судна к причалу, когда судно находится на расстоянии 300–500 м, на этом этапе скорость судна может достигать 5 узлов.

Оптические измерители, как и все оборудование, устанавливаемое на причале, должно быть промышленного исполнения. Измерители размещаются на причале и при сильном волнении моря кратковременно могут оказаться под водой. Поэтому класс защиты оборудования должен быть не ниже IP67 (6 — пыленепроницаемое (полная защита от пыли), 7 — водонепроницаемое (кратковременное погружение на глубину до 1 м)). Оборудование, которое находится внутри корпуса оптических измерителей, может иметь класс защиты IP00 (0 — нет защиты, 0 — нет защиты).

Дальномеры, включенные в состав измерителей должны быть безопасны для человеческого глаза, что подразумевает работу в ближнем инфракрасном диапазоне, длина волны должна быть от 900 до 1100 нм. Требования к характеристикам лазерных дальномеров приведены в табл. 1.

Таблица 1. Требования к характеристикам лазерного дальномера

Наименования	Характеристики	Примечания
Метод измерений	Фазовый	
Дистанция	От 2 до 500 м	
Погрешность измерения	Не более ± 1 мм на каждый метр дистанции	Зависимость точности от расстояния линейная: ± 20 мм на дистанции в 20 м, ± 50 мм на дистанции в 50 м и далее по возрастающей
Температурный режим	$-20...+50^{\circ}\text{C}$	
Частота данных	Не менее 20 Гц	
Класс защиты	От IP00 (модуль без корпуса)	Дальномер устанавливается внутри корпуса оптического измерителя
Безопасность	Класс 1	Безопасный для человеческого глаза ближний инфракрасный диапазон, от 900 до 1100 нм

Требования к характеристикам к камерам компьютерного зрения и объективам представлены в табл. 2, 3. Камера в оптическом измерителе нужна для оптического контроля и измерений, следовательно, необходима промышленная камера компьютерного зрения, которая обладает устойчивостью к механическим, вибрационным, электромагнитным воздействиям, что позволяет использовать ее в различных погодных условиях. Должна быть обеспечена защита от воды и пыли, виброустойчивость, возможность работы в широком температурном диапазоне.

Характеристики компьютера, рассмотренные в табл. 4, выбраны на основе требований по совместимости с камерами компьютерного зрения и лазерными дальномерами, необходимостью обработки нескольких потоков данных, поступающих с лазерных дальномеров и камер компьютерного зрения, требований к вычислительной среде исполнения алгоритмов компьютерного зрения. Камера и лазерный дальномер в корпусе оптического измерителя располагаются на одном уровне (ось направлена по касательной в точке установки оптического измерителя параллельно земле) с соблюдением сонаправленности оптических осей. Регулирование взаимного расположения выполняется при помощи поворотных кронштейнов, винтов или других конструктивных элементов. Юстировка необходима для устранения погрешностей, выявленных в результате контроля или поверки камер и лазерных дальномеров, уменьшения влияния статических ошибок на вычисления. На причале оптические измерители устанавливаются перпендикулярно линии измерений, которая может не совпадать с линией причала ввиду его конструктивных особенностей.

Таблица 2. Требования к характеристикам камеры компьютерного зрения

Наименования	Характеристики	Примечания
Разрешение	Не менее 640×480	Чем выше разрешение, тем больше данных об объекте съемки
Тип изображения	Монохромное	Работа с цветными, мульти- и гиперспектральными изображениями в алгоритмах, на базе которых работает оптический измеритель, не предусмотрена
Частота кадров	Не менее 40 кадр/с	Необходимо для корректной работы алгоритмов компьютерного зрения для оптического контроля и измерений
Температурный режим	$-10...+50^{\circ}\text{C}$	
Интерфейс передачи данных	GigE	Gigabit Ethernet позволяет передавать данные на расстояние до 100 м с высокой скоростью и без потерь
Тип исполнения	Промышленный	

Таблица 3. Требования к характеристикам объектива

Наименования		Характеристики	Примечания
Фокусное расстояние		~ 5 мм	Для задач оптического контроля и измерений, для таких крупногабаритных объектов, как морские суда, необходим широкофокусный объектив
Диапазон диафрагмы		F2.4-F11	Регулировка размера диафрагмы в зависимости от условий окружающей среды позволит получить желаемый уровень экспозиции
Угол обзора	по диагонали	> 100°	Минимально необходимые значения
	по горизонтали	> 80°	
	по вертикали	> 60°	
Температурный режим		–10...+50°C	
Тип исполнения		Промышленный	

Время рабочего цикла измерителя зависит от длительности подхода судна к причалу, швартовных операций и необходимости в позиционировании судна относительно причала на протяжении стоянки или погрузо-разгрузочных работ. Среднее время рабочего цикла измерителя составляет 1 ч. Рабочий цикл измерителя начинается с момента, когда судно появляется в прямой видимости измерителя. В зависимости от типа причала (например, пирс или набережная стенка), от близости других причалов к целевому (причал, на который устанавливается измерительный комплекс) дистанция до судна может достигать 500 м.

При подаче питания измерительный комплекс входит в режим самотестирования, если все компоненты измерителей функционируют, измерительный комплекс переходит в режим измерений и начинает транслировать данные с заданной частотой. Данные измерений и расчетов передаются на удаленный сервер, в свою очередь с удаленного сервера данные переходят потребителям

Таблица 4. Требования к характеристикам компьютера оптического измерителя

Наименования		Характеристики	Примечания
Производительность ЦПУ		≥ 260 GFLOPS	
Разрядность ЦПУ		≥ 64-bit	
Тип оперативной памяти		≥ DDR4	
Объем оперативной памяти		≥ 16 Gb	
Объем ПЗУ		≥ 120 Gb	Для кратковременного хранения данных с целью их оценки
Разрядность операционной системы		≥ 64-bit	
Производительность графического процессора в операциях с плавающей точкой одинарной точности		≥ 115 GFLOPS	
Количество портов	RJ-45	≥ 2 x 10/100/1000	Необходимые интерфейсы для подключения периферийных устройств
	RS-232/422/485	≥ 2	
	USB 3.x	≥ 4	
Температурный режим		–10...+50°C	

информации. В контексте позиционирования морского крупнотоннажного судна относительно причала потребителями информации являются системы автономного судовождения.

На причале устанавливается пара оптических измерителей для независимых измерений для носа и кормы судна. Поэтому потребители информации получают величины смещения (продольного, поперечного и вертикального) для каждой из оконечностей судна, а также скорости сближения носа и кормы судна с причалом, скорости смещения по вертикали и горизонтали и величины, которые относятся к корпусу судна, а не к его частям: угол между причалом и диаметральной плоскостью судна, прогнозируемая траектория движения судна.

Величины поперечного смещения носа и кормы судна относительно причала измеряются лазерным дальномером. На основе поперечного смещения с применением алгоритмов компьютерного зрения рассчитываются величины смещения носа и кормы судна по вертикали и горизонтали.

Алгоритмы компьютерного зрения, составляющие основу оптических измерителей, перечислены ниже.

1. Алгоритм идентификации крупногабаритного площадного объекта в кадре, состоящий из двух этапов. На первом этапе определяется движение в кадре путем оценки разницы между соседними кадрами. Вторым этапом является выделение связанных компонент (контуров), их анализ и составление карты движущихся участков изображения. Алгоритм позволяет определить области изображения с постоянным движением и исключить случайно попавшие в кадр подвижные объекты.

2. Алгоритм выбора объектов отслеживания. Он позволяет определить объекты с характеристиками, которые прослеживаются в амплитудно-частотном спектре: контуры идентификационных знаков и конструктивных особенностей, контрастные области и видимые границы коррозионного рисунка. Это важно для алгоритма отслеживания объектов, который работает в частотной области.

3. Алгоритм отслеживания крупногабаритного площадного объекта по его наблюдаемому фрагменту работает с учетом возможности частичного перекрытия объекта и выхода объекта за границы изображения, поворота и изменения масштаба объекта.

В основе алгоритма отслеживания крупногабаритного площадного объекта по его наблюдаемому фрагменту лежит работа в частотной области. Одновременно отслеживается несколько объектов — подвижных участков изображения. Для каждого отслеживаемого объекта создается фильтр-функция:

$$U = \frac{A}{B},$$

где A , B — компоненты фильтр-функции, деление поэлементное.

Фильтр-функция (также называемая фильтром или передаточной функцией фильтра), представляет собой матрицу коэффициентов характерных особенностей объекта (участка изображения) в частотной области. Под характерными особенностями объекта понимаются особенности изображения, которые прослеживаются в амплитудно-частотном спектре (контрастные области, видимые границы). Все операции над матрицами выполняются поэлементно.

Компоненты фильтр-функции представляют собой набор данных усредненных определенным образом:

$$A = \sum_{i=1}^n F(g) \times \bar{F}_i(u, v), B = \sum_{i=1}^n N \times F_i(u, v) \times \bar{F}_i(u, v),$$

где $\times$ — операция поэлементного умножения матриц, $F(g)$ — матрица частот двумерной гауссианы, $F_i(u, v)$ — матрица частот изображения объекта. Здесь u , v — частоты изображения по осям x и y , $\bar{F}_i(u, v)$ — комплексно-сопряженная матрица частот изображения объекта (поворот изображения на 180°), N — матрица 3%-ного случайного импульсного шума, n — целое число, обозначающее количество изображений выборки для создания первоначальной фильтр-функции (например, 125).

Гауссиана строится на координатной сетке по размерам отслеживаемого участка изображения (объекта), пик гауссианы приходится на центр отслеживаемого объекта:

$$g(X, Y) = \exp \left(-\frac{(X - i)^2}{\sigma_x^2} - \frac{(Y - j)^2}{\sigma_y^2} \right),$$

где $g = g(X, Y)$ — гауссиана в матричной форме (таблично заданная функция), X, Y — координаты пикселей по размерам участка изображения, i, j — координаты центра отслеживаемого объекта, σ_x^2, σ_y^2 — величины дисперсии по x, y . Например,

$$X = \uparrow 480 \begin{cases} 01234\dots 639, \\ 01234\dots 639, \\ \dots\dots\dots \end{cases}$$

$$Y = \begin{matrix} \leftarrow 640 \rightarrow \\ \begin{cases} 0\ 00, \\ 111, \\ 222, \\ \dots \\ \dots \\ 479. \end{cases} \end{matrix}$$

На каждой итерации алгоритма, по мере накопления данных, фильтр-функция U дополняется. Для оценки степени корреляции значений матриц U и $F(u, v)$ используется свертка функций:

$$\hat{F}(u, v) = U \times F(u, v),$$

где $\hat{F}(u, v)$ — результат свертки функций, $U = U(u, v)$ — фильтр-функция, $F(u, v)$ — матрица частот изображения, где предположительно находится сместившийся объект.

Метод составляющий основу алгоритма отслеживания крупногабаритного площадного объекта по его наблюдаемому фрагменту является адаптивным методом машинного обучения, в основе которого лежит обучение в реальном времени путем изменения параметров и накопления данных в условиях постоянно изменяющейся среды. Все этапы процесса обработки и накопления данных верифицируемы, что позволяет гарантировать значение точности измерений в определенном диапазоне.

Выполняется мониторинг движения морского крупнотоннажного судна.

1. Координаты отслеживаемых объектов (участков изображения) фильтруются. Алгоритм фильтрации состоит из двух циклических фаз: предсказание и корректировка. Целью алгоритма является вычисление апостериорной оценки состояния системы как линейной комбинации априорной оценки и взвешенной разницы между фактическим измерением и экстраполированным. Под системой понимается система контроля, состоящая из объекта наблюдения и измерителя. В основе алгоритма фильтрации — дискретный фильтр Калмана [7–9]. 2. Анализируются траектории отслеживаемых объектов (участков изображения). Определяется характер движения и сопоставляется разность величин.

3. По разности сдвига объектов на изображениях рассчитываются вертикальные и горизонтальные величины смещения объекта в пространстве, т.е. величина смещения в пикселях на изображениях соотносится с величиной смещения в метрах.

4. Рассчитываются скорости смещения.

5. Строится трехмерная траектория смещения объекта — морского крупнотоннажного судна. В основе алгоритма лежит регрессионный анализ — метод наименьших квадратов [10, 11].

В течение рабочих циклов оптических измерителей вывод данных на изображение не осуществляется. Также не ведется запись с камер, входящих в состав оптических измерителей. Камеры предназначены исключительно для расчета величин продольного и вертикального смещения методами компьютерного зрения.

Конечную информацию с измерительного комплекса потребители информации получают в виде полей информационного сообщения. Для двух измерителей (для носа и кормы судна) конечная информация — это продольные, вертикальные и горизонтальные величины смещения,

скорости смещения по вертикали и горизонтали, скорость сближения с причалом, угол между диаметральной плоскостью судна и причалом, тип движения, прогнозируемая траектория.

2.3. Высокоточное позиционирование автодорожных транспортных средств. Примерами задач позиционирования автодорожных транспортных средств являются: позиционирование грузового автомобиля при загрузке и выгрузке относительно пакгауза; позиционирование автоцистерны на сливноналивной эстакаде; позиционирование автодорожного транспортного средства при взвешивании на весах.

Контроль положения грузового автомобиля при взвешивании на весах с помощью оптического измерителя (рис. 3) позволит регулировать грузопоток, проходящий через автомобильные весы, автоматизировать процесс взвешивания и исключить неверный результат взвешивания при неполном заезде или съезде автомобиля с платформы весов. При взвешивании автодорожного грузового автомобиля на весах грузовой автомобиль заезжает на платформу весов, платформа стабилизируется, фиксируется взвешивание. Использование оптических измерителей в задачах позиционирования транспортных средств с целью регулирования и автоматизации процессов парковки, погрузки/разгрузки позволит увеличить грузооборот, повысить безопасность транспортных процессов, интенсивность транспортного потока и пропускную способность транспортной системы.

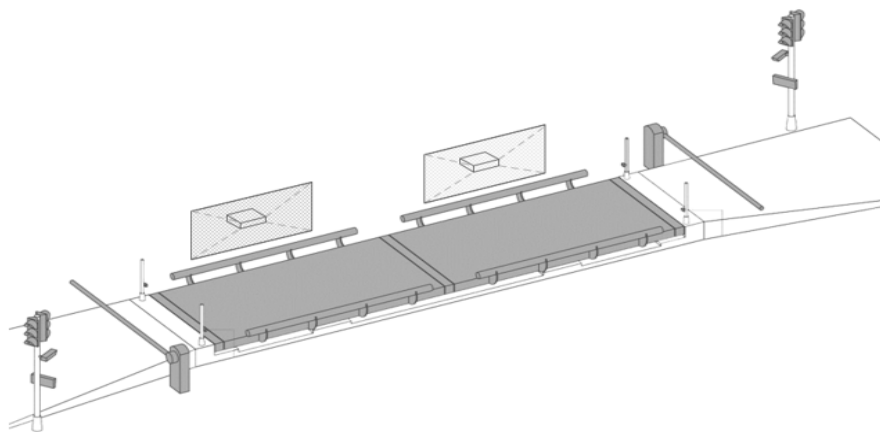


Рис. 3. Схема установки оптических измерителей на автомобильных весах.

2.4. Высокоточное позиционирование воздушных транспортных средств. Позиционирование корпусов воздушных судов требуется при постановке в ангар для выполнения ремонтно-профилактических работ, стыковке с телескопическим трапом и размещении в ангарах.

Для выполнения ремонтно-профилактических работ воздушное судно заводится в ангар и размещается на отведенном для него месте. Относительно судна в рабочей зоне ориентируется и подводится док.

Задачу автоматизации позиционирования судна в ангаре можно решить с помощью оптических измерителей (рис. 4), использование которых позволит ускорить процесс парковки воздушного судна.

2.5. Высокоточное позиционирование железнодорожных транспортных средств. Примерами задач решаемых для железнодорожных транспортных средств являются: размещение вагонов на путях необщего пользования (например, на территории порта) при наливе цистерн, загрузке сыпучим грузом, выгрузке груза; замена тележек под вагонами для обеспечения бесперегрузочного железнодорожного сообщения в случаях, когда перегрузку проводить опасно или экономически невыгодно; токарная обработка поверхностей катания колесных пар вагонов или паровозов без выкатки тележек на специальных токарных станках [12]; установка в определенном положении железнодорожного вагона при взвешивании на весах с расцепкой и без расцепки железнодорожного состава; размещение железнодорожных цистерн на сливноналивной эстакаде.

При позиционировании железнодорожных цистерн на сливноналивной эстакаде цистерны заводятся на эстакаду лебедкой с тросом, установленным в тупиковой части железнодорож-

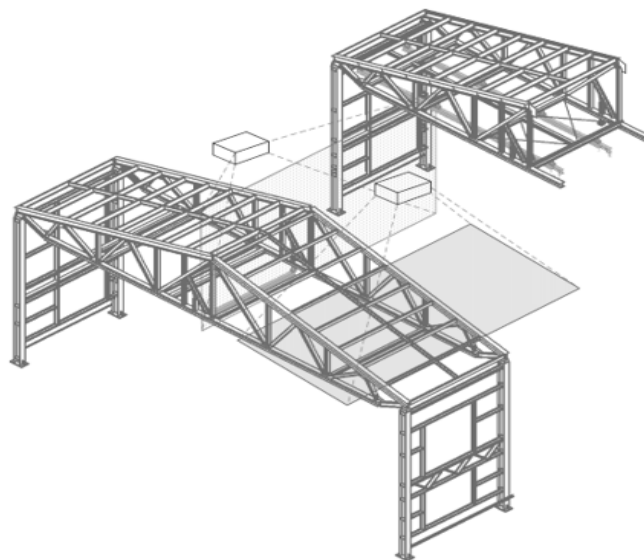


Рис. 4. Схема установки оптических измерителей в ангаре ремонтно-профилактического обслуживания.

ного пути. Колеса цистерн блокируются, проводится заземление цистерн, подсоединяются патрубки налива и перекачивается нефтепродукт или другой наливной груз. Либо при сливе груза сливоналивные устройства заводят под цистерны и подсоединяют к патрубкам, слив осуществляется с помощью насосов.

Задача высокоточного определения положения железнодорожных цистерн относительно патрубков на сливоналивной эстакаде может быть решена с применением оптических измерителей. Использование оптических измерителей на сливоналивных эстакадах способно (рис. 5): повысить точность ориентирования цистерн относительно патрубков налива, тем самым повысить безопасность их эксплуатации путем информирования об аварийной ситуации; автоматизировать процесс перемещения цистерны, сообщая о скорости движения, дальности перемещения, времени остановок.

С помощью оптических измерителей можно получить параметры смещения вагонов, учитывая особенности их размеров и скорости движения, ускорить процесс загрузки/выгрузки вагонов, контролировать сдвиг вагонов во время погрузки или разгрузки, повысить точность позиционирования вагонов при обслуживании и избежать ошибок взвешивания, вызванных неправильным положением вагонов на весах.

Заключение. В алгоритм работы измерительного комплекса включены условия, диктуемые планами швартовных операций и сборником обязательных постановлений по порту, на причал которого устанавливаются измерители. Это необходимо для алгоритмов отслеживания и идентификации судна в кадре, так как необходимо заранее знать:

- 1) какой разворот может выполнить судно и на каком расстоянии от причала;
- 2) под каким углом судно подходит к причалу;
- 3) скорость сближения судна с причалом;
- 4) сколько буксиров может кантовать судно и возможность того, что буксир будет в кадре непосредственно перед судном в прямой видимости измерителей.

Принимаются во внимание факторы рабочей среды и характеристики причала, на котором устанавливаются измерители, что влияет на:

- 1) необходимость учета присутствия в кадре объектов с похожими свойствами (другое судно) и иных подвижных объектов (плавучих знаков или порталных кранов);
- 2) дистанцию между установленными оптическими измерителями, которая зависит от размеров и типов судов, швартуемых к причалу, дистанция между измерителями должна быть меньше предполагаемого размера судна.

Для использования измерительного комплекса на других причалах он должен пройти калибровку с учетом особенностей целевого причала, типов судов и прочих условий, перечисленных выше. С помощью измерительного комплекса в целях отличных от задач морской транс-

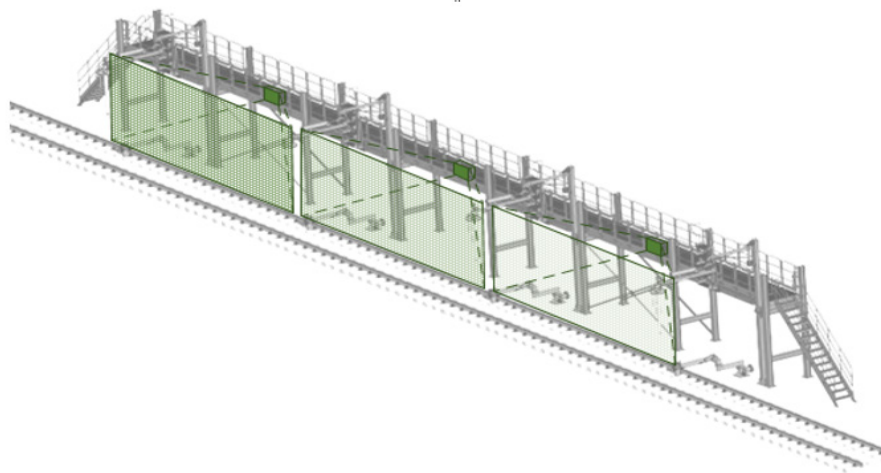


Рис. 5. Схема установки оптических измерителей на сливноналивной эстакаде.

портной отрасли, например размещение железнодорожного вагона при загрузке сыпучим грузом или грузового автомобиля относительно пакгауза, при реализации алгоритма должны быть учтены характеристики рабочей среды измерителей, а также особенности наблюдаемого транспортного средства.

Программно-аппаратный комплекс высокоточного определения положения объектов относительно стационарной базы предназначен для работы в составе систем автономного транспорта и решения задач контроля положения крупногабаритных объектов в режиме реального времени. Конечные потребители (системы автономного транспорта) актуальную информацию о смещении наблюдаемого объекта, скоростях движения, траекториях движения, а также прогнозируемые данные получают в виде полей информационного сообщения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Poujouly S., Journet B.* A Twofold Modulation Frequency Laser Range Finder // *J. Optics A: Pure and Applied Optics*. 2002. № 4. P. 356–363.
2. *Zheng X.Y., Zhao C., Zhang H.Y., Zheng Z., Yang H.Z.* Coherent Dual-frequency Lidar System Design for Distance and Speed Measurements // *Intern. Conf. on Optical Instruments and Technology: Advanced Laser Technology and Applications*. International Society for Optics and Photonics. Beijing, China, 2018. V. 10619.
3. *Jia F.X., Yu J.Y., Ding Z.L., Yuan F.* Research on Real-time Laser Range Finding System // *Applied Mechanics and Materials*. 2013. V. 347.
4. *Beraldin J.A., Steenaart W.* Overflow Analysis of a Fixed-Point Implementation of the Goertzel Algorithm // *IEEE Transactions on Circuits and Systems*. 1989. V. 36. № 2. P. 322–324.
5. *Finlayson D.M., Sinclair B.* *Advances in Lasers and Applications* // Boca Raton. Florida, USA. CRC Press, 1998. P. 346.
6. *Lopatina V.V.* Method of Fragment Based Tracking of Displacement of a Large Areal Object in Images // *J. Phys.: Conf. Ser.* 2021. V. 2061. P. 012113.
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/2061/1/012113>.
7. *Kalman R.E.* A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems // *J. Basic Eng.* 1960. V. 82(1). P. 35–45.
8. *Welch G., Bishop G.* *An Introduction to the Kalman Filter* // Technical Report. University of North Carolina at Chapel Hill, USA. 1995. V. 95–041.
9. *Grewal M.S., Andrews A.P.* *Kalman Filtering: Theory and Practice Using MATLAB*. N. Y., USA: John Wiley and Sons, 2001.
<https://doi.org/10.1002/9780470377819>.
10. *Линник Ю.В.* Метод наименьших квадратов и основы математико-статистической теории обработки наблюдений. Изд. 2-е, исправ. и доп. М.: Физматгиз, 1962. 349 с.
11. *Митин И.В., Русаков В.С.* Анализ и обработка экспериментальных данных. Учебно-методическое пособие для студентов младших курсов. М.: Изд-во НЭВЦ ФИПТ, 1998. 48 с. ISBN5–8279–0022–2.
12. *Богданов А.Ф., Иванов И.А., Терехов П.М.* Восстановление профиля поверхности катания колесных пар без выкатки // Бюллетень результатов научных исследований. С.-Петербург: Изд. Петербургского государственного университета путей сообщения. 2014. № 1. С. 58–68.