

УДК 629.5.087, 629.5.085

DOI: 10.34046/aumsuomt95/5

ИЗМЕРЕНИЕ ПРОДОЛЬНОГО, ПОПЕРЕЧНОГО И ВЕРТИКАЛЬНОГО СМЕЩЕНИЯ ПОДВИЖНОГО ОБЪЕКТА ОТНОСИТЕЛЬНО СТАЦИОНАРНОЙ БАЗЫ

*В. В. Лопатина,**В.Г. Сенченко, кандидат технических наук, доцент*

В статье предложена структура лазерно-оптического измерителя продольного, поперечного и вертикального смещения подвижного объекта относительно стационарной базы. В измеритель входит высокоточный лазерный дальномер, монокулярная камера и микрокомпьютер для первичной обработки измеряемых данных. Лазерно-оптический измеритель решает следующие задачи: измерение дистанции до объекта с помощью лазерного дальномера, что позволяет отслеживать величину поперечного смещения; получение видеопотока с камеры; вычисление продольного и вертикального смещения подвижного объекта путём обработки данных методами компьютерного зрения. Измеритель предлагается использовать в составе технических средств безэкипажного судовождения крупнотоннажных судов при выполнении швартовных операций. Два измерителя, установленные на некотором расстоянии друг от друга, позволят однозначно определить положение корпуса судна относительно причала. В результате повысится точность измерений за счёт использования двух наборов данных. Независимые измерения параметров движения судна относительно причала для носа и кормы позволят определить тип движения: смещение или поворот.

Ключевые слова: лазерно-оптический измеритель, измерение продольного, поперечного и вертикального смещения, мониторинг швартовных операций, автоматизированная швартовка судна.

The article proposes the structure of a laser-optical measuring device for longitudinal, transverse and vertical displacements of a moving object relative to a stationary base. The measuring device includes a high-precision laser range finder, a monocular camera and a microcomputer for primary processing of the measured data. The laser-optical measuring device solves the following tasks: measuring the distance to the object using a laser range finder, which allows you to track the magnitude of the transverse displacement; receiving a video stream from the camera; calculation of the longitudinal and vertical displacement of a moving object by processing data using computer vision methods. The measuring device is proposed to be used as part of the technical equipment for unmanned navigation of large vessels during mooring operations. Two measuring device installed at some distance from each other will allow to unambiguously determine the position of the ship hull relative to the berth. As a result, measurement accuracy will be improved by using two data sets. Independent measurements of the motion parameters of the vessel relative to the berth for the bow and stern will determine the type of movement: displacement or rotation.

Key words: laser-optical measuring device, measuring longitudinal, transverse and vertical displacements, monitoring mooring operations, automated mooring.

Способы измерений можно разделить на активные и пассивные. В основе активных способов измерений лежит принцип измерения соответствующего интервала времени между зондирующим сигналом и сигналом, отражённым от цели. К приборам, использующим активный способ измерений можно отнести лазерные, микроволновые и ультразвуковые дальномеры.

Лазерный дальномер в зависимости от метода измерений, определяет время, которое затрачивает луч на путь до отражателя и обратно (импульсный дальномер), или сдвиг фаз, который появляется за счёт задержки при распространении волны (фазовый дальномер). Дальность измерений может достигать 1000 м и выше [**Ошибка! Неизвестный аргумент ключа.**].

Микроволновый дальномер работает по принципу радиолокатора с микроволновым излучением. Антенна микроволнового дальномера испускает высокочастотное излучение в заданном диапазоне. Эхосигналы отражаются от поверхности объекта и возвращаются в микроволновый

считыватель. По времени прохождения исходящего и отражённого сигналов определяется расстояние до объекта [2].

Принцип работы ультразвукового дальномера основан на отражении звука от измеряемого объекта [3]. Главный недостаток – дальность измерений, т.к. сигнал распространяется не сконцентрированным пучком, а с большим рассеиванием в разные стороны от центра, она не превышает 25 метров.

Все три типа дальномеров позволяют измерять только поперечное смещение объекта. В зависимости от дальности объекта, меняется погрешность измерений. Чем дальше объект, тем меньше точность измерений.

Пассивные способы измерений работают по законам геометрии. С помощью пассивных способов осуществляется вычисление построенного равнобедренного треугольника, по параметрам которого можно высчитать расстояние. Например, по известной стороне – расстояние

между измерителями стационарной базы, и противоположному острому углу (параллактическому углу). К приборам, использующим пассивный способ измерений можно отнести бинокулярную камеру (стереозрение [4]) и монокулярную камеру (стереозрение на основе параллакса движения монокулярной камеры [4]).

На практике есть задачи, в которых необходимо выполнить высокоточное позиционирование всего подвижного объекта, включая особенности его внешней формы (неравномерная поверхность, выступающие части, кривизна и т.д.).



Рисунок 1 – Структурная схема лазерно-оптического измерителя

Зная расстояние до объекта (определяем с помощью лазерного дальномера) и размер матрицы камеры, можно рассчитать соответствие одного пиксела изображения нужной единице измерений (метры, миллиметры и т.д.) (Рисунок 2). Например, расчёт величины вертикального смещения:

$$\frac{H}{H'} = \frac{d}{v}$$

где H – величина вертикального смещения, H' – количество пикселей матрицы, которое соответствует величине вертикального смещения, d – расстояние от объекта съёмки до линзы (мм), v – расстояния от матрицы до линзы (мм).

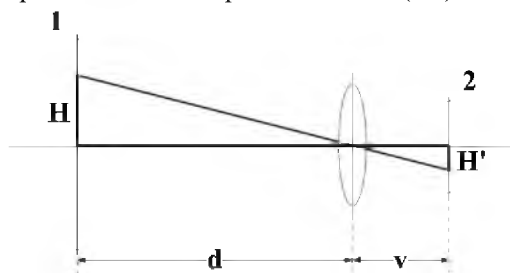


Рисунок 2 – Соответствие вертикального смещения H некоторому количеству пикселей матрицы H' (1 – изображение видимого поля (пространства перед камерой), 2 – матрица камеры)

Из формулы тонкой линзы

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$$

где f – фокусное расстояние линзы,

Например, высокоточное позиционирование корпуса судна относительно причала при выполнении операции швартовки.

Задачу одновременного измерения продольного, поперечного и вертикального смещения подвижного объекта относительно стационарной базы можно решить, совместив активный и пассивный способы – используя лазерный дальномер и монокулярную камеру. Структурная схема такого измерителя может иметь вид (Рисунок 1).

В лазерно-оптический измеритель входит высокоточный лазерный дальномер, монокулярная камера и микрокомпьютер для первичной обработки измеряемых данных.

$$\frac{d}{v} = \frac{d}{f} - 1, \quad v = \frac{fd}{d-f}$$

Тогда

$$H = \left(\frac{d}{f} - 1\right) \times H'$$

так как размер изображения задаётся в пикселах, то вертикальное смещение будет получено в пикселах, чтобы перевести в нужную единицу измерений, нужно знать линейный размер пиксела, например, размер пиксела в мм. Для матриц 2/3" и 1/2" в зависимости от линейного размера матрицы будет меняться линейный размер пиксела.

Соответственно линейный размер пиксела будет определяться как

$$L = 2f \times \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}$$

где f – фокусное расстояние объектива, α – угол зрения объектива по горизонтали – H или по вертикали – V .

Принцип работы лазерно-оптического измерителя:

1. получение дистанции до объекта (поперечного смещения) с помощью лазерного дальномера;
2. исходя из полученной величины – последующая настройка камеры (фокусное расстояние, масштаб, экспозиция и т.д.);
3. получение видеопотока с камеры;
4. обработка кадров с целью вычисления продольного и вертикального смещения по

движного объекта. Информация о которых, в примере высокоточного позиционирования корпуса судна относительно причала при выполнении операции швартовки, позволит дополнительно получить такие данные как, скорость судна относительно причала, изменение осадки и водоизмещения.

Главным преимуществом совместной работы лазерного дальномера и монокулярной камеры является высокая точность измерения продольного, поперечного и вертикального смещения. Но определить тип движения с использованием одного лазерно-оптического измерителя невозможно, т.к. при малых углах поворота невозможно отличить вращение объекта от смещения. Используя два лазерно-оптических измерителя, можно дать однозначное определение положения объекта возле стационарной базы, т.к. согласно

аксиоме параллельности Евклида (пятый постулат), через две точки на плоскости можно провести только одну прямую. Именно эта идея заложена в технологию двух опорных точек (Т2ОТ) при решении задачи высокоточного позиционирования подвижного объекта в пространстве [6].

Поэтому, возвращаясь к примеру высокоточного позиционирования корпуса судна, относительно причала при выполнении операции швартовки, могут быть установлены два лазерно-оптических измерителя (Рисунок 3). Преимуществами использования двух измерителей, находящихся на расстоянии друг от друга, являются более высокая точность измерений за счёт использования двух наборов данных, независимые измерения параметров движения судна относительно причала для носа и кормы, определение типа движения (смещение, поворот).

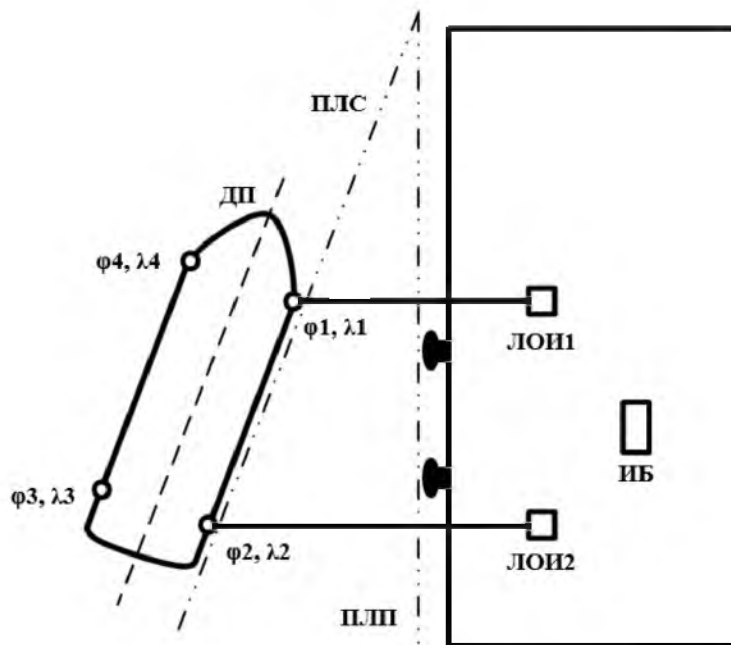


Рисунок 3 – Схема положения судна относительно причала во время швартовки (ЛОИ1, ЛОИ2 – лазерно-оптические измерители; ИБ – интеллектуальный блок; ДП – диаметрально противоположные точки судна; $\phi 1-4, \lambda 1-4$ – координаты точек судна (широты и долготы соответственно); ПЛС – причальная линия судна; ПЛП – причальная линия причала)

Чтобы выполнить задачу оценки текущих и прогнозирования будущих пространственно-скоростных параметров объекта (корпуса судна) можно использовать инструменты нейросетевой обработки данных, нечёткой логики и инвариантной фильтрации, размещённые в отдельном интеллектуальном блоке на базе микрокомпьютера. Использование интеллектуального блока позволит снизить вероятность ошибок в измерениях в условиях плохой видимости, обусловленных погодными условиями (дождь, туман) и временем съёмки (ночное время).

В настоящей работе предложена структура автоматического измерителя продольного, поперечного и вертикального смещения подвижного объекта относительно стационарной базы. Измеритель предлагается использовать в составе технических средств безэкипажного судовождения крупнотоннажных судов при выполнении швартовочных операций.

Литература

1. Исследование факторов, влияющих на погрешность измерения расстояния фазовым лазерным дальномером / Берников Б. О., Бокшанский В. Б., Вязовых М. В., Перов А. Н. // Современные

- проблемы оптоэлектроники: сборник статей: 75 лет кафедре "Лазерные и оптико-электронные системы" МГТУ им. Н.Э. Баумана.–2013.–С. 44-52.
2. Комплексная разработка электроники [Электронный ресурс]: Разработка СВЧ дальномера. URL: <http://www.progchip.ru/portfolio/lfm/>
 3. Разработка ультразвукового дальномера на микроконтроллере / А. Е. Чуфырев, В. А. Устюгов // Международный научно-исследовательский журнал. –2015. –№7 (38) Часть 1. – С. 133-135. URL: <https://research-journal.org/technical/razrabotka-ultrazvukovogo-dalnomera-na-mikro-kontrollere/>
 4. Алгоритм и анализ погрешностей определения скорости автомобиля двухкамерной компьютерной видеосистемой с использованием стереозрения / А. С. Малистов, Д. О. Злобин // Актуальные проблемы современной науки. – 2015. – № 1. – С. 120-122.
 5. Ершов Е.И., Карнаухов В.Н., Мозеров М.Г. Алгоритмы стереозрения на основе параллакса движения монокулярной камеры бокового обзора // Информационные процессы – 2015.– том 15.– № 4.– С. 414-427.
 6. Патент РФ - Способ высокоточного определения навигационных элементов движения судна, № 2643072 от 14.06.2016.

REFERENCES

1. Issledovanie faktorov, vliyayushchih na pogreshnost' izmereniya rasstoyaniya fazovym

- lazernym dal'nomerom / Bernikov B. O., Bokshanskij V. B., Vyazovyh M. V., Perov A. N. // Sovremennyye problemy optotekhniki: Sbornik statej: 75 let kafedre "Lazernyye i optiko-elektronnyye sistemy" MGTU im. N.E. Baumana.– 2013.– S. 44–52.
2. Kompleksnaya razrabotka elektroniki [Elektronnyj resurs]: Razrabotka SVCH dal'nomera. URL: <http://www.progchip.ru/portfolio/lfm/>
3. Razrabotka ul'trazvukovogo dal'nomera na mikrokontrollere / A. E. CHufyrev, V. A. Ustyugov // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal. –2015. –№7 (38) CHast' 1. – S. 133–135. URL: <https://research-journal.org/technical/razrabotka-ultrazvukovogo-dalnomera-na-mikro-kontrollere/>
4. Algoritm i analiz pogreshnostej opredeleniya skorosti avtomobilya dvuhkamernoj komp'yuternoj videosistemoj s ispol'zovaniem stereozreniya / A. S. Malistov, D. O. Zlobin // Aktual'nye problemy sovremennoj nauki. – 2015. – № 1. – S. 120–122.
5. Ershov E.I., Karnauhov V.N., Mozerov M.G. Algoritmy stereozreniya na osnove parallaksa dvizheniya monokulyarnoj kamery bokovogo obzora. Informacionnyeprocessy, 2015, tom 15, № 4, S. 414–427.
6. Patent RF - Sposob vysokotochnogo opredeleniya navigacionnyh elementov dvizheniya sudna, № 2643072 ot 14.06.2016.

УДК 656.61.08:629.5.07

DOI: 10.34046/aumsuomt95/6

ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ МОРЕПЛАВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМ ОСНОВАННЫХ НА НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКЕ В УСЛОВИЯХ НЕДОСТАТОЧНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ

М.Л. Джавукуян, аспирант

Д.Е. Студеникин, кандидат технических наук, доцент

В.В. Попов, доктор технических наук, профессор

В статье рассматриваются системы оценки безопасности судна. Существует большое количество методов оценки безопасности. Выбор определенной методики зависит от оцениваемой сферы деятельности. В работе дано краткое описание, преимущество и недостатки основных систем оценки безопасности. Подробно рассмотрены методы оценки безопасности, используемые в мореплавании, как наиболее известные вероятностные методы, так и современный способ, представленный байесовской сетью. Особое внимание уделяется способу оценки безопасности судна с помощью систем основанных на нечеткой логике в условиях недостаточной навигационной информации. Описаны основные параметры движения судна, учитываемые в векторе состояния при динамическом движении. Авторами сформулировано определение термина «Безопасность мореплавания», из которого следует, что безопасность мореплавания состоит из оценки вектора состояния судна, а также вектора управления.

В результате исследования доказано, что процесс управления судном зависит от вектора состояния. Матрица управления выстраивается в некоторую фигуру взаимосвязанную с фигурой погрешности места. Можно безопасно управлять судном, если оценивать точность местоположения, заключающуюся в оценке параметров вектора состояния. Показана работоспособность способа оценки точности местоположения судна, основанного на теории нечетких чисел.

Ключевые слова: безопасность мореплавания, вектор состояния, вектор управления, оценка точности местоположения, фигура принадлежности места судна, матрица управления