

УДК 629.052.6:629.584:681.2.089

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИСПЫТАТЕЛЬНОГО СТЕНДА ДЛЯ СИСТЕМ ВИДЕОНАВИГАЦИИ

*Алещенко А.С., студент
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Подводные роботы и аппараты»*

*Научный руководитель: Кропотов А.Н., к.т.н., доцент
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана
kafsm11@sm.bmstu.ru*

В настоящее время в подводной робототехнике широко применяются системы видеонавигации (СВН)[1]. Такие системы обеспечивают высокую точность позиционирования, счисления пути и скорости подводного аппарата при работе в придонной зоне в условиях видео контакта с донной поверхностью. Аналогичные системы применяются также в авиации и системах точного вооружения.

Принцип работы таких систем заключается в следующем. Камеры, направленные перпендикулярно дну, выдают изображение донной поверхности. Бортовой вычислитель обрабатывает полученный видеосигнал, выделяя на нем особые опорные точки, относительно которых можно ориентировать подводный аппарат. Выделив на изображении эти опорные точки, СВН может определить их пиксельное перемещение – величину, расстояние, на которое эти объекты перемещаются со временем на картинке. Отсюда, зная расстояние до дна и угол расхождения объектива можно определить абсолютные величины перемещения, скорости, изменения угла курса подводного аппарата.

Угол расхождения объектива – величина постоянная и известная, она указывается в характеристиках самого объектива. Расстояние до дна определяется либо с помощью эхолота, либо добавлением второй камеры, устанавливаемой на некотором расстоянии от первой – то есть использованием стереопары. Тогда расстояние от дна определяется через пиксельную разность двух одновременных кадров с двух камер.

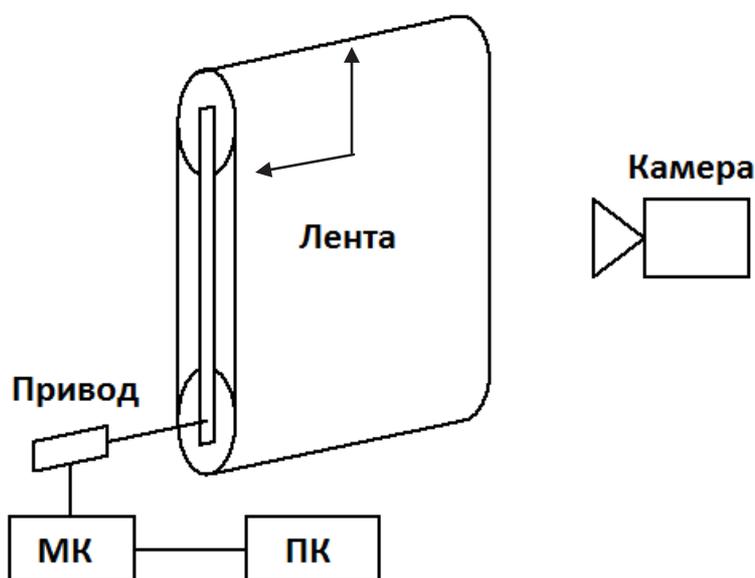
Перед началом эксплуатации СВН требуются провести её испытания и калибровку. Полевые испытания таких систем занимают много времени и обходятся дорого, поэтому предлагается проводить испытания собранной системы в лабораторных условиях. Для этого предлагается разработать стенд, способный симулировать скорость движения

<http://sntbul.bmstu.ru/doc/637182.html>

подводного аппарата, движущегося на расстояниях от метра до 6 метров от дна со скоростями от 0 до 2 метров в секунду.

Исследуется следующий подход к решению задачи - двигать не аппарат, а саму донную поверхность. Для этого будем перед закрепленными камерами системы видеонавигации перемещать некоторое полотно с нанесенным тестовым изображением – изображающим, в частности, морское дно. Предлагается конструкция, представляющая из себя конвейерную ленту. Зная диаметр валов конвейера, параметры привода, расстояние от камер до полотна и угол расхождения объектива можно симулировать перемещения в широком диапазоне скоростей и с высокой точностью.

На рисунке приведена принципиальная схема разрабатываемого испытательного стенда.



Испытательный стенд такой конструкции способен симулировать перемещение и скорость подводного аппарата относительно дна по маршруту или лагу. Кроме того, если повернуть ленту на угол в плоскости перпендикулярной оси камеры возможно эмулировать совместное перемещение и скорость подводного аппарата по маршруту и лагу.

Стенд функционирует следующим образом. Напротив симулирующего полотна стенда (замкнутой конвейерной ленты с нанесенным рисунком) устанавливается видеокамера системы навигации. Программно задается угол поворота вала, рассчитываемый для определенного перемещения полотна конвейера, или скорость вращения, при которой полотно будет имитировать движение аппарата с постоянной скоростью. Привод, управляемый микроконтроллером, отрабатывает заданный режим работы. Примем, что стенд достаточно точен, полотно не проскальзывает на валах и не растягивается, то есть величина перемещения соответствует заданной. Сравниваем

показания СВН с величиной перемещения или скорости, эмулируемой стендом. Из полученного результата делаются выводы о правильности работы СВН.

Ограничения на эмулируемые стендом перемещения определяются точностью позиционирования и накапливающейся ошибкой привода при больших перемещениях. Ошибку по эмулируемой скорости мы можем контролировать настройкой коэффициентов системы управления.

Для расчета параметров конструкции стенда возьмем систему СОТИ-С, разработанную НИИ СМ МГТУ им. Баумана. В ней используются объективы *Computar HG0614AFCS* с минимальными углами расхождения в 58,3 градуса по длине и 44,3 градуса по ширине, и камеры *Watec WAT-902DM2* с разрешением 752x582 пикселя. Расчет будем производить для максимально сложного для работы системы случая – перемещения по вертикали, при котором угол расхождения объектива и разрешение камеры минимальны. Это соответствует наименьшей точности алгоритмов, так как чувствительность системы обработки изображения не может быть ниже 3 пикселей, перемещения меньше 3 пикселей будут расцениваться как флуктуации и шум, возникающие при съемке и последующей обработке.

Итак, предположим что аппарат находится на расстоянии 1 метра ото дна. В таких условиях каждому пикселю изображения соответствует М миллиметров дна:

$$M = 1 * 2 * \operatorname{ctg}\left(\frac{\alpha}{2}\right) = 2 * \operatorname{ctg}\left(\frac{44,3}{2}\right) = 4,9 \approx 5 \text{ мм}$$

Где α -угол расхождения объектива.

Таким образом мы получили минимальную точность позиционирования полотна разрабатываемым стендом.

Определим габариты стенда. СВН должна располагаться относительно стенда таким образом, чтобы при любом угле поворота камер (при сохранении перпендикулярности их ориентирования на полотно стенда) в захватываемую ими область попадало только полотно стенда. Пусть СВН крепится на расстоянии 0,15 метра от стенда – минимальном фокусном расстоянии используемых объективов. Тогда, учитывая диагональное расхождение объектива в 71,3 градуса, диаметр охватываемой камерой области составляет D мм:

$$D = 150 * 2 * \operatorname{ctg}\left(\frac{71,3}{2}\right) = 300 * \operatorname{ctg}(35,65) = 418 \text{ мм}$$

Возьмем, для удобства, габариты снимаемой зоны полотна 500x500 мм.

Основные элементы конструкции стенда: деревянная рама, ведущий и ведомый валы, муфта для связи ведущего вала и электропривода, электропривод, а так же <http://sntbul.bmstu.ru/doc/637182.html>

контроллер управления. Кроме того важным элементом станда является конвейерная лента, имитирующая донную поверхность.

Рама станда представляет собой деревянную конструкцию из досок, соединенных между собой стальными уголками и винтами-саморезами. В боковых стойках рамы проделаны отверстия для подшипников, нижняя доска удлинена по сравнению с верхней для крепления двигателя.

Валы представляют из себя 2 зубчатых малярных вала для разжижения краски, надетых и зафиксированных на резьбовых валах диаметром 8мм. Валы зажимаются четырьмя выточенными на токарном станке шайбами диаметром 45мм и толщиной 2мм и гайками М8. С обоих концов валов гайками крепятся подшипники внешним диаметром 22мм.

Резьбовой вал ведущего вала выступает наружу на 20мм для крепления компенсирующей муфты, соединяющей вал привода и ведущий вал.

Электропривод состоит из двигателя постоянного тока Махон 389099, планетарного редуктора с передаточным отношением 190:1 и импульсного датчика Махон HEDL-5540 A11. Управляется электропривод контроллером Махон EPOS 70/10. Управление контроллером осуществляется программно с компьютера по интерфейсу RS-232. Управляющая программа, размещенная в компьютере, позволяет управлять углом поворота вала двигателя и скоростью его вращения.

Импульсный датчик HEDL-5540 выдает 500 импульсов на поворот вала двигателя. Это значит, что мы можем управлять углом поворота с точностью $0,72^\circ$.

Проведем оценку точностных характеристик разрабатываемого станда.

На выходе двигателя стоит понижающий редуктор с передаточным отношением 190:1. Это значит, что на $0,72$ градуса поворота вала двигателя приходится $0,0038$ градусов поворота выходного вала привода. Однако входной люфт редуктора составляет 1 градус. Тогда точность поворота выходного вала составит $0,0076$ градусов.

Диаметр валов составляет 120мм. Это значит, что на каждые θ градусов поворота вала приходится L мм перемещения ленты. При данной точности:

$$L = \theta r = 0,0076 * 60 = 0,45 \text{ мм}$$

Видно, что полученная точность много выше необходимой. Значит, стенд обеспечит достаточную точность позиционирования полотна для испытаний СВН.

Следует упомянуть, что расчет желаемого перемещения полотна производится именно по этой формуле.

Следующим этапом разработки должен быть выбор полотна для конвейерной ленты. Учитывая специфику валов, материалом для ленты планируется выбрать ткань, Молодежный научно-технический вестник ФС77-51038

достаточно прочную чтобы шипы вала не пробивали ее насквозь, но достаточно эластичную, чтобы валы не проскальзывали под ней. Полотно должно быть съемным и легко заменяемым. Предлагается использовать отрезы армейской ткани маскировочной окраски шириной 500 мм и длиной L мм:

$$L = \pi * d + 2 * 500 = 3,14 * 120 + 1000 = 1377 \text{ мм}$$

Где d-диаметры валов.

Полотно должно соединяться в замкнутую ленту. Для этого предлагается использовать шнурованное соединения по концам ленты, которое дополнительно позволит управлять степенью натяжения полотна.

По завершению разработки и сборки прототипа стенда будут проведены его испытания и сделаны выводы о пригодности такой конструкции к использованию. При успешных испытаниях будет проведена разработка окончательной версии стенда.

Список литературы

1. Артюхов М.Ю., Кропотов А.Н., Макашов А.А., Сахарова Е.И. Опыт создания системы локальной видеонавигации для подводных аппаратов. // Техническое зрение в системах управления мобильными объектами 2010: Сборник трудов научно-технической конференции. М., 2011. С. 230-242.