УДК 629.051:629.053

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НАВИГАЦИИ И СВЯЗИ ДЛЯ ГРУППЫ АНПА

Медвецкая У.В., студент

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

Пелипенко И.И., студент

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Автономные информационные и управляющие системы»*

*Научный руководитель: Егоров С.А., к.т.н., доцент
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана*

[*kafsm11@sm.bmstu.ru*](mailto:kafsm11@sm.bmstu.ru)

Рассматривается группа АНПА, состоящая из отдельных аппаратов, гидроакустической навигационной системы с длинной базой (ГАНС с ДБ), в которую входят плавающие на поверхности навигационные буи-маяки, и пульта управления.

Далее представлены результаты разработки алгоритмов навигации, аппаратуры для построения системы навигации и связи, ее программного обеспечения.

Для решения навигационной задачи предлагается применять сферический алгоритм, который решает задачу пересечения окружностей на плоскости или сфер в пространстве. В зависимости от конфигурации системы и наличия дополнительных условий необходимо разное количество навигационных маяков. Уравнения измерений дистанций до маяков для идеального случая (без учета задержек в аппаратуре и различных погрешностей):

$$R = V_{зв} * (t2 - t1) - \text{синхронный режим,}$$

где $t1$ – время отправки с маяка (установленное заранее);

$t2$ – время приема сигнала АНПА;

$V_{зв}$ – скорость звука в воде,

$$R = V_{зв} * t' / 2 - \text{режим запрос-ответ,}$$

где t' – время от момента отправки с АНПА запроса маяку и до приема ответа на АНПА.

В результате координаты аппарат можно определить из системы уравнений вида [1]:

решения навигационной задачи на основе МНК, учитывающий перемещение АНПА по данным системы счисления пути на основе доплеровского лага, которая является основной навигационной системой, корректируемой по данным с ГАНС. Коррекция системы счисления пути производится после того, как аппарат принял все координаты маяков с текущего такта решения навигационной задачи. При этом система счисления является более приоритетной: в случае, когда ее показания и координаты, посчитанные по данным ГАНС, сильно различаются, то данные ГАНС на данном такте отбраковываются.

Рассмотрим построение аппаратного обеспечения системы. В состав буя-маяка входят:

- гидроакустический модем (МГА) для обмена сообщениями через гидроакустический канал связи (ГАКС);
- радиомодем РМД400-UP0 для обмена с пультом управления на поверхности воды;
- Wi-Fi точка доступа для удаленного доступа к ЭВМ буя во время испытаний и внешний Ethernet разъем на случай неисправностей беспроводной сети. Точка доступа, внешний разъем и ЭВМ буя соединены посредством Ethernet-свича;
- GPS/GLONASS приемник NAVIOR-24 для определения местоположения буя;
- первичный источник питания (свинцово-кислотный аккумулятор емкостью 12 Ач) и плата с вторичными источниками питания;
- одноплатная ЭВМ Helios (форм-фактор PC/104).

Корпус буя представляет собой полую водонепроницаемую трубу, ориентированную вертикально. Гидроакустическая антенна размещена на нижней части трубы.

Аналогичный аппаратный состав входит в навигационную часть АНПА и пульта управления. Перед началом погружения аппараты определяют свое местоположение и синхронизируют системные часы по данным с навигационных приемников.

Пульт управления представляет собой ноутбук с подключенной к нему периферией. Оператор имеет возможность отлаживать отдельные компоненты системы по запросу с дальнейшей обратной связью.

В качестве операционной системы для вычислителей навигационных модулей буев, АНПА и пульта была выбрана FreeBSD, позволяющая работать в режиме реального времени, а также с помощью NTP daemon поддерживающая работу с системными инструментами временной синхронизации по спутниковым приемникам, в том числе обеспечивающая поддержку PPS сигнала. Программный комплекс написан на языке C++, имеет блочную структуру: в центральной программе объединяются полноценные модули

для работы с гидроакустическим модемом, радиомодемом, Wi-Fi и навигационным приемником. Подобная декомпозиция системы позволяет также производить обособленную отладку всей аппаратуры.

Для точного определения дистанций необходим точный и стабильный расчет времени распространения посылки в гидроакустическом канале связи. В используемых модемах МГА реализована возможность работы как в одностороннем (широковещательном) режиме, так и в режиме «запрос-ответ». Во втором случае модем на низком уровне определяет время распространения сигнала в воде в обе стороны. Стабильность этого времени достаточно высока, погрешность составляет не более десятков сантиметров. При одностороннем обмене отправитель записывает время отправления в структуру данных и передает ее адресату, который фиксирует время приема сообщения и по этим данным рассчитывает расстояние до отправителя. При этом необходим учет побочных задержек, связанных с задержками при передаче в последовательный порт, программными задержками, временем обработки данных в самих модемах и т.д.

Для каждого навигационного маяка и аппарата выделяется временное окно, в течение которого он передает информацию и, в режиме «запрос-ответ», получает ответную квитанцию. Делать эти промежутки времени слишком большими (более 5-10 секунд) нецелесообразно, так как это приводит к низкой частоте решения навигационной задачи, что, с учетом использования данных системы счисления пути, понижает ее точность.

На сегодняшний день в лабораторных условиях на воздухе выполнены экспериментальные исследования работы системы навигации и связи в составе макетов двух навигационных буюв, модуля навигации АНПА и пульта управления. В ходе исследования дополнительных временных задержек выявлено наличие постоянной составляющей порядка 70 мс, подлежащей компенсации, и случайно флуктуирующей составляющей порядка 5 мс. Дальнейшие работы направлены на подготовку и проведение испытаний системы в бассейне.

Список литературы

1. Милн П.Х. Гидроакустические системы позиционирования: Пер. с англ. – Л.: Судостроение, 1989. – 232 с.
2. Multi-vehicle cooperative navigation and autonomy with the BLUEFIN CADRE system / Scott Willcox, Dani Goldberg, Jerome Vaganay, Joseph A. Curcio.