# ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ В USBL-СИСТЕМАХ

## Коррекция позиции подводных объектов

USBL (англ. ultra-short baseline) – это технология позиционирования, которая позволяет обнаруживать акустические (звуковые) сигналы с помощью массива гидрофонов для расчета дальности и направления на источник акустических сигналов на основе времени приема звуковой волны на каждом гидрофоне [1].

Предполагается, что буй подвергается волновым возмущениям, что приводит к угловым отклонениям относительно мировой системы отсчета выраженных терминологии Эйлера как , и для крена, тангажа и рысканья, соответственно.

Положение буя в мировой системе координат определяется как , и . Последняя величина определяется относительно уровня моря и представляет собой глубину буя, определяемую при помощи датчика давления.

Положение USBL-системы является ключевым моментов в пересчете координат наблюдаемого объекта. Определить его возможно при помощи GPS или ГЛОНАС систем, расположенных либо на базовой станции, либо непосредственно на USBL-буе. При этом требуется преобразование долготы и широты в прямоугольную метрическую систему координат для последующей обработки. Прямоугольные координаты точек в пространстве можно вычислить по известным геодезическим координатам этих точек (широта , долгота , высота ) по формулам [2]

где – радиус кривизны первого вертикала,

где и – экваториальный (большая полуось) и полярный радиусы (малая полуось), соответственно, – квадрат первого эксцентриситета эллипсоида.

Как правило, USBL-системы возвращают величину наклонной дальности (slant range) до ответчика, а также угол курса (bearing angle) и угол наклона (elevation angle). Для повышения точности позиционирования подводных объектов требуется аппаратная надстройка, позволяющая определять углы наклона и курса USBL-буя, которая именуется AHRS (Attitude and Heading Reference System).

Объект

USBL

Рисунок 1 – Определение смещения до объекта

Используя элементарные тригонометрические выражения, возможно получить выражения для горизонтального и вертикального смещений как

где – горизонтальная дальность (horizontal range), – наклонная дальность (slant range), – вертикальная дальность (vertical range), – угол курса (bearing angle).

Вертикальную дальность возможно определить по скалярной величине глубины USBL-буя и позиционируемого объекта по следующему выражению

где – матрица поворота относительно оси OX,

– матрица поворота относительно оси OY.

.

С учетом того, что USBL-буй возвращает дальности и азимутальные углы в собственной системе отсчета, требуется коррекция по угловым отклонениям.

USBL

Север

Рисунок 2 – Разделение систем координат

Положение объекта определяется выражениями

## Фильтрация инерциальных датчиков

Базовые комплементарные фильтры не способны хорошо бороться с вибрацией при внешних возмущениях. Вибрация вызывает ошибки вычисления углов наклона, от чего система ведет себя неустойчиво.

Есть два распространенных алгоритма, которые работают лучше комплементарного – это фильтр Калмана и фильтр Маджвика. Данный алгоритм объединения данных акселерометра, гироскопа и магнитометра был предложен Себастианом Маджвиком в 2009 году [3].

Помимо всего прочего, точность фильтра Маджвика достигает точности фильтра Калмана, но в отличие от последнего, требует меньше вычислительных ресурсов. Это очень полезное свойство, которое делает алгоритм пригодным для работы на слабых микроконтроллерах.

Для макета AHRS будем использовать фильтр Маджвика для обработки данных с модуля MPU6050, который имеет в своем составе датчик ускорения – акселерометр и датчик скорости вращения – он же гироскоп, а также модуль HMC5883L, представляющий собой трехосевой цифровой компас.

Углы Эйлера , и в так называемой аэрокосмической последовательности описывают ориентацию осей достигаемую за счет последовательных вращений относительно системы отчёта А, с помощью угла вокруг оси Z, вокруг оси Y, и вокруг оси X. Такие углы Эйлера можно получить из кватерниона с помощью следующих уравнений

где – кватернион, описывающий ориентацию осей B по отношению к осям A.

Подробный алгоритм фильтра представлен в работе [3]. На рисунке приведена блок-схема, представляющая полный фильтр с магнитометром, включающий компенсацию магнитного искажения (группа 1) и компенсацию дрейфа гироскопа (группа 2).

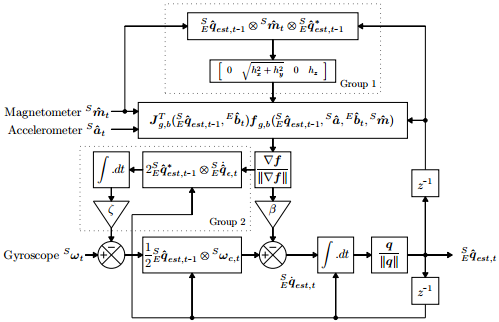


Рисунок 3 – Блок-схема фильтра Маджвика

## Реализация AHRS-платформы

Для макета AHRS будем использовать фильтр Маджвика для обработки данных с модуля MPU6050, который имеет в своем составе датчик ускорения – акселерометр и датчик скорости вращения – он же гироскоп, а также модуль HMC5883L, представляющий собой трехосевой цифровой компас.

В качестве вычислительного блока используется плата WeMos D1 R2. Программирование платы осуществляется с помощью стандартной среды разработки Arduino IDE. Контроллер включает в себя процессор, периферию, оперативную память и устройства ввода/вывода.

1. DOI: 10.1109/OCEANS-Yeosu.2012.6263376
2. ISBN 3-211-82839-7
3. Madgwick, Sebastian. “An efficient orientation filter for inertial and inertial / magnetic sensor arrays.” (2010).

Комплементарный фильтр

Выходы акселерометра (нормированные): , , .

Выходы гироскопа: , , .

, ,

, ,

где – коэффициент фильтра.

Угол курса определяется из показаний магнетометра как