

Мониторинг гидросферы группой роботов

Д.И. Сафаров¹, С.В. Ефимов¹, С.Ф. Яцун¹

¹Юго- Западный государственный университет, 50 лет Октября 94, Курск, Россия, 305040

Аннотация

В статье рассмотрены математическая и динамическая модель малогабаритного беспилотного подводного аппарата (МБПА). Рассматриваются вопросы взаимодействия группы роботов и определения их взаимного положения в пространстве. Рассмотрена математическая модель возмущенного движения, система технического зрения.

Ключевые слова

Малогабаритный беспилотный подводный комплекс, мониторинг гидросферы, бионическое движение

1. Введение

Одним из важных направлений развития современной робототехники является исследование бионических принципов движения. Особенно важной является проблема разработки устройств, использующих бионический принцип движения для перемещения под водой. В настоящее время ведутся активные исследования в области подводной робототехники, создаются устройства, способные работать под водой автономно в одиночном и групповом режиме. Устройства, использующие бионические принципы движения, как правило, производят значительно меньше шума в процессе работы и обладают значительной маневренностью.

Ряд исследовательских центров занимается разработкой бионических подводных роботов. Проводятся исследования с целью определения наиболее эффективной конфигурации роботов, плавающих подобно рыбам [1]. Исследуются возможности разнообразить методы движения, например за счет «ползания» по дну [2]. Разрабатываются системы управления подводными бионическими роботами, в том числе, использующими нейросетевые технологии [2, 3].

2. Схема, кинематическая и математическая модель группы МБПА

Для выбора направления движения при отборе проб воды разработан алгоритм, позволяющий спланировать траекторию движения МБПА и зондировать пространство в заданных точках. Конечная точка траектории определяется точкой А, и положение МБПА в начальный момент времени - В соответственно. Радиус-вектор определяет начальное положение МБПА. Реальное положение МБПА (точка А₁) должно быть внутри сферы с радиусом. Пробы воды отбираются в запланированных точках траектории М_і. Схема движения группы МУУВ представлена на рис. 1.

Реальное положение центров масс, движение МУУВ1 и МУУВ2 определяют радиус-векторы:

$$\bar{r}_{CM} = (x_M, y_M, z_M)^T \quad (1)$$

$$\bar{r}_{CN} = (x_N, y_N, z_N)^T \quad (2)$$

$$\bar{r}_{CN} = \bar{r}_{CM} + \bar{r}_{NM} \quad (3)$$

Скорости центров масс МБПА1 и МБПА2 определяются по формулам.

$$\bar{V}_{CM} = \frac{d\bar{r}_{CM}}{dt} \quad (4)$$

$$\bar{V}_{CN} = \frac{d\bar{r}_{CN}}{dt} \quad (5)$$

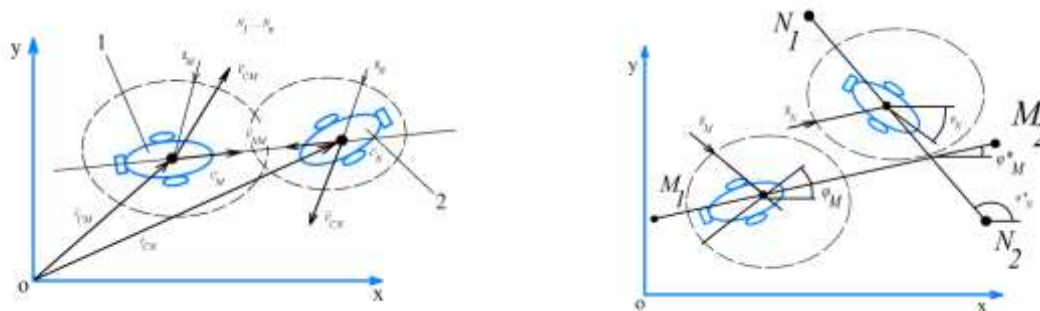


Рисунок 1: Схема движения группы МБПК

В случае когда расстояние между соседними МБПК становится критическим, и необходимо отрегулировать управляющие воздействия, чтобы исключить столкновение. Параметры зависят от измерительных приборов, установленных на МБПК и позволяющих уверенно определять наличие соседнего аппарата.

3. Возмущенное движение

Для определения вектора корректирующих управлений U_2 , обеспечивающего устранение ошибок реального положения БПА от заданного, рассмотрим возмущенное движение МБПК относительно заданного, применяя принцип декомпозиции движения. В скалярной форме уравнения возмущенного движения имеют вид:

Для МБПК 1 (и по тому же принципу для МБПК 2):

$$\dot{x}_M = v_{M1} \quad (6)$$

$$\dot{y}_M = v_{M2} \quad (7)$$

$$\dot{\phi}_M = v_{M3} \quad (8)$$

$$\dot{v}_{M1} = \frac{1}{m} (\mu_x (\dot{x}_M^2 \text{sign}(v_1)) + (F_1 + F_3) \cos \varphi + F_2 \sin \varphi) + W_x \quad (9)$$

$$\dot{v}_{M2} = \frac{1}{m} (\mu_x (\dot{y}_M^2 \text{sign}(v_2)) + (F_1 + F_3) \sin \varphi + F_2 \cos \varphi) + W_y \quad (10)$$

$$\dot{v}_{M3} = \frac{1}{J_C} (\mu_\varphi \dot{\phi}_M^2 \text{sign}(v_3) + F_1 l_1 - F_3 l_1 + F_2 l_2) + W_\varphi \quad (11)$$

$$\dot{x}_M = v_{N1} \quad (12)$$

Решение этих уравнений позволяет определить отклонение реального положения центра масс каждого МБПК от заданного, а также найти реальную их ориентацию на плоскости.

Для двух МБПК система управления обеспечивает заданное движение каждого по трем обобщенным координатам. Соответственно, каждый МБПК взаимодействует со своим соседом через систему координат обоих роботов. По измеренным координатам и углам ориентации бортовой компьютер рассчитывает расстояние между ними.

При достаточной близости объектов группы подключается дополнительная информация от эхолотов, что позволяет повысить точность измерений. Комбинация двух сигналов повышает точность расчета расстояния для определения расстояния между МБПК и наиболее качественной стратегии управления.

4. Литература

- [1] Бондырев, В.Е. Алгоритм управления малогабаритным беспилотным подводным комплексом / В.Е. Бондырев, С.И. Князев, В.И. Королев, С.Ф. Яцун // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2021. – Т. 24, № 4. – С. 166-179.

- [2] Инзарцев, А.В. Мониторинг морского дна с применением технологий интеллектуальной обработки данных поисковых устройств на борту автономного необитаемого подводного аппарата / А.В. Инзарцев, Ю.В. Матвиенко, А.М. Павин, Н.И. Рылов // Подводные исследования и робототехника. – 2015. – Т. 2. – С. 20-27.
- [3] Левин, В.И. Моделирование задач оптимизации в условиях интервальной неопределенности // Известия Пензенского государственного педагогического университета им. ВГ Белинского. – 2011. – Т. 26.
- [4] Князев, С.И. Методологические аспекты создания подводных роботов типа seaglider // Вибрационные технологии, мехатроника и управляемые машины. – 2016. – С. 138-142.
- [5] Сиденко, К.С. Автономные необитаемые подводные аппараты-техника двойного назначения / К.С. Сиденко, Г.Ю. Илларионов // Двойные технологии. – 2008. – Т. 4. – С. 17-28.
- [6] Яцун, С.Ф. Управляемое движение малогабаритного подводного комплекса (МБПК) / С.Ф. Яцун, С.И. Князев, А.С. Яцун // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2019. – Т. 23, № 5. – С. 185-196.