

УДК 629.053

АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ГРУППЫ АНПА ПО ПОИСКОВЫМ ТРАЕКТОРИЯМ

Лямина Е.А., студент

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

Научный руководитель: Егоров С.А., к.т.н., доцент

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана
kafsm11@sm.bmstu.ru*

Для повышения производительности поисковых работ в акваториях их можно проводить с использованием группы АНПА. Для данного исследования представляет интерес обследование некоторой прямоугольной акватории, свободной от препятствующих движению АНПА объектов.

В работе [1] предлагается организация движения группы АНПА по принципу «лидер-ведомый», когда задача каждого ведомого АНПА - удерживаться в окрестности своей траектории и сохранять дистанцию до лидера, который следует своей траектории, не зависящей от положения ведомых АНПА. Траектория движения лидера задана точками в глобальной системе координат (СК) и представляет собой галсы. Каждый ведомый АНПА знает набор точек траектории, которым должен следовать лидер и вычисляет свои точки траектории исходя из своего положения в формации относительно лидера и заданного расстояния между галсами. Данный подход позволяет существенно упростить замену любого участника группы, который вышел из строя, включая лидера.

Задачу управления движением группы АНПА можно разделить на две подзадачи: задачу следования отдельных АНПА группы заданным траекториям и задачу выдерживания ведомыми АНПА заданной горизонтальной дистанции d^0 до лидера.

Для решения задачи следования АНПА траектории исходно используются алгоритмы наведения на цель, в качестве которой рассматривается заданная точка траектории. Сформированный кинематическим алгоритмом задающий сигнал подается на контур курса. Принято, что АНПА имеет только маршевые движители, при этом максимальная маршевая скорость АНПА равна 1м/с. Исследования выполнялись как при отсутствии, так и при наличии течения.

Для исключения ситуации «промаха» АНПА относительно заданной точки, когда АНПА входит в область с радиусом R_{min} вокруг заданной точки траектории система управления (СУ) АНПА запускает наведение на следующую точку траектории.

Для наведения АНПА на точку траектории рассмотрим наиболее простой метод - метод погони, условием выполнения которого является непрерывное направление продольной оси АНПА на цель. Исходными параметрами для формирования закона управления являются данные о координатах аппарата в глобальной системе координат, значение угла курса аппарата и заданные координаты точки траектории. В каждый момент времени принимается, что угол курса АНПА равен углу между линией АНПА-цель и осью абсцисс глобальной системы координат.

Результаты моделирования работы алгоритма с учетом течения представлены на рис.1 и позволяют сделать следующие выводы:

- метод погони прост в реализации, но имеет существенный недостаток – кривая, по которой движется АНПА от точки к точке, при наличии течения имеет существенную кривизну, особенно по мере приближении к цели, что существенно ухудшит условия поиска;
- т.к. АНПА при таком движении не следует требуемой траектории между точками, это увеличивает риск того, что отдельные участки акватории не будут обследованы;
- алгоритм не обеспечил выдерживания требуемого бокового расстояния между аппаратами, заданного при формировании их траекторий.

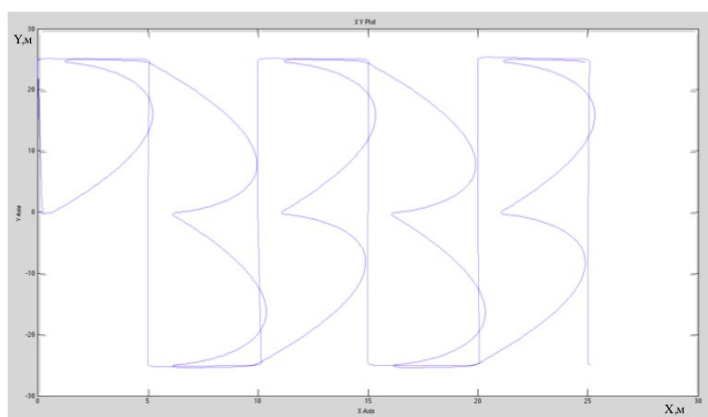


Рис. 1. Траектория движения АНПА по методу погони с течением и без него

Для устранения недостатков метода погони необходимо осуществить движение АНПА по курсу с некоторым упреждением, позволяющим отслеживать влияние течения и, тем самым, уменьшить отклонения от желаемой траектории. Это можно реализовать, используя метод наведения с упреждением, при котором в любой момент времени вектор

скорости объекта (АНПА) направлен в упрежденную точку встречи с целью, соответствующую данному моменту времени [2]. Условие выполнения метода – $\varphi = \text{const}$ или $\dot{\varphi} = 0$ φ – угол наклона линии «АНПА - цель» в глобальной СК).

Для выполнения этого условия, вектор скорости перемещения АНПА в глобальной СК должен быть направлен на заданную точку траектории (проекция скорости перемещения АНПА на ось, перпендикулярную линии «АНПА - цель», должна быть равна 0).

Для реализации данного алгоритма требуется, чтобы были известны координаты цели, текущие координаты аппарата, скорость перемещения АНПА в глобальной СК и текущее значение угла курса АНПА.

При движении АНПА по методу с непрерывным упреждением его траектория движения ближе к желаемой, чем в методе погони, но для реализации алгоритма необходимо измерять скорость АНПА в глобальной СК, что усложняет реализацию метода на практике. Однако, т.к. АНПА не следует точно требуемой траектории даже в отсутствие течения, АНПА группы не будут выдерживать требуемое боковое отклонение. Для более точного выдерживания траектории необходимо добавить дополнительные точки, что усложнит реализацию.

Рассмотрим алгоритм наведения АНПА по методу накрытия цели, при котором объект (АНПА) находится на прямой «командный пункт (КП) - цель» [2]. В качестве КП примем предыдущую точку траектории.

Условием выполнения метода является равенство угла γ между векторами «АНПА-КП» и «АНПА-цель» π радиан или равенство нулю угла между векторами «АНПА-цель» и «КП-цель». Требуемый угол курса АНПА вычисляется в соответствии со следующим выражением: $\psi_N = \psi_{N-1} + K * \gamma$, где ψ_{N-1} – предыдущее значение угла курса АНПА, K -коэффициент СУ. Результаты моделирования работы алгоритма с учетом течения представлены на рис.2.

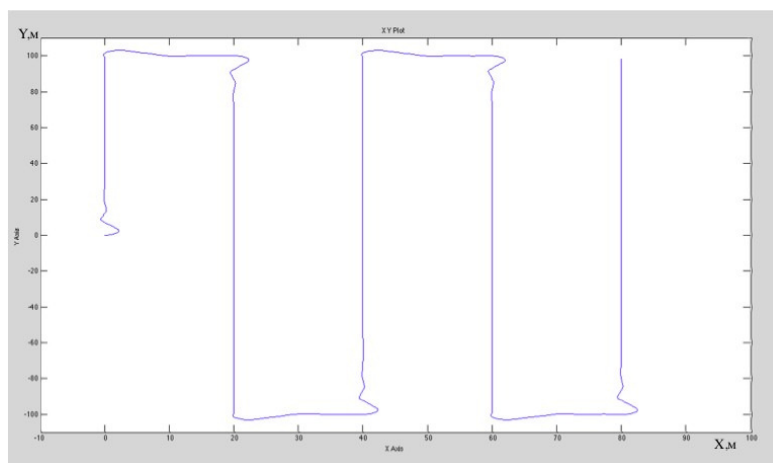


Рис. 2. Траектория движения АНПА галсами по методу накрытия цели

При движении АНПА по методу накрытия цели траектория движения АНПА в начале выхода на новый участок траектории имеет колебательный характер, но в последствии АНПА движется по траектории, совпадающей с идеальной. Статическая ошибка по боковому отклонению АНПА от идеальной траектории при наличии течения отсутствует.

Закон управления движением АНПА по методу накрытия цели применим в случае движения одного АНПА. Однако, при движении группы колебательный характер траекторий нежелателен.

Рассмотрим алгоритм управления по отклонению угла линии визирования. Данный алгоритм является модификацией предыдущего алгоритма накрытия цели. Задача СУ – совместить линию визирования «АНПА – заданная точка траектории» с идеальной траекторией. Условием выполнения совмещения линии является равенство нулю угла β между линией визирования и линией идеальной траектории. Заданный угол курса АНПА определяется выражением:

$$\psi = \alpha + K1 * \beta + K1 * Ku \int \beta dt,$$

где α - угол наклона траектории АНПА;

$K1$, Ku - коэффициенты СУ.

Достоинством алгоритма является то, что, в отличие от метода накрытия цели, отсутствует колебательный характер траектории движения АНПА при переходе на новый участок галса. При этом АНПА следует траектории, близкой к идеальной и при наличии течения.

Рассмотрим алгоритм с непосредственным управлением боковым отклонением АНПА от траектории, построенный на основе работы [1]. Заданный сигнал на контур курса определяется выражением:

$$\psi^0 = K_1 * d_{\perp} + \alpha,$$

где $d_{\perp}$ - боковое отклонение АНПА от идеальной траектории;

α – угол наклона траектории АНПА;

K_1 - коэффициент СУ.

При движении АНПА галсами с течением и выдерживанием бокового отклонения имеется статическая ошибка. Для её исключения изменим закон регулирования, вводя интегрирование ошибки по боковому отклонению. Тогда угол курса АНПА будет определяться в соответствии с выражением:

$$\psi_N = \alpha + K_1 * d_{\perp} + \int K_2 * d_{\perp} * dt,$$

где K_2 - коэффициент СУ.

Траектории движения АНПА галсами с непосредственным управлением боковым отклонением практически совпадают с идеальными галсами. Траектория движения АНПА с контуром бокового отклонения и интегрирующим регулятором близка к идеальной. Недостатком метода является необходимость вычисления бокового отклонения от идеальной траектории АНПА, что усложняет реализацию.

Задача управления движением группы АНПА сведена к задаче выдерживания ведомыми АНПА заданной горизонтальной дистанции d^0 до АНПА лидера.

Скорость ведомых АНПА $v_{\text{вед}}$ определяется выражением $v_{\text{вед}} = K_1 * (d^0 - d)$, где d - текущая горизонтальная дистанция между ведомым АНПА и лидером. При таком законе управления в контурах управления дистанциями до лидера возникает статическая ошибка. Для её устранения в контур управления введен интегрирующий регулятор. Задающий сигнал на маршевые движители АНПА $v_{\text{вед}}$ вычисляется в соответствии с выражением:

$$v_{\text{вед}} = K_1 * (d^0 - d) + K_1 * K_{\text{и}} * \int (d^0 - d) dt,$$

где $K_1, K_{\text{и}}$ – коэффициенты СУ.

Введение такого регулятора сводит к нулю статическую ошибку в стабилизации дистанции, но увеличивает динамическую ошибку.

На рис.3 приведены результаты моделирования движения группы аппаратов с отработкой заданной дистанции и алгоритмом управления углом отклонения линии визирования.

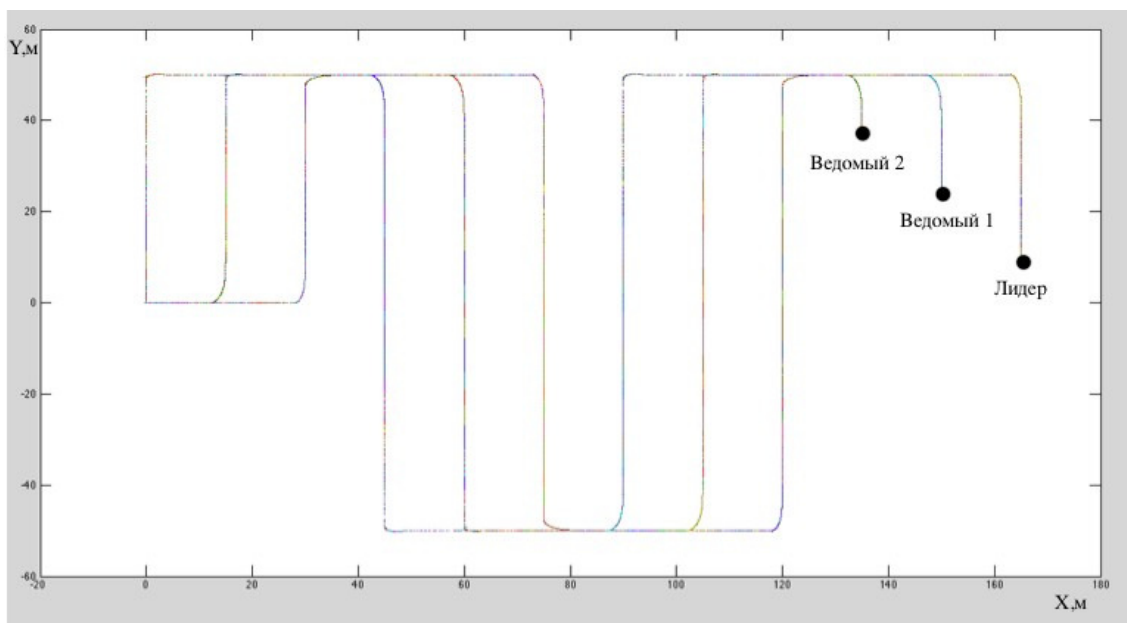


Рис. 3. Траектории движения группы АНПА

Полученные траектории свидетельствуют о приемлемом качестве функционирования предложенных алгоритмов управления.

Список литературы

1. Edwards D.B., A Leader-Follower Algorithm for Multiple AUV Formations// IEEE/OES Autonomous Underwater Vehicles. – 2004.- p 10.
2. Гуткин Л.С. Принципы радиуправления беспилотными объектами. - М.: Советское радио, 1969. -387 с.