

УДК 656.61.052

**LINEAR APPROXIMATION OF THE MANEUVERING ROUTE
BY USING OF NATURAL ALGORITHMS OF OPTIMIZATION****ЛИНЕЙНАЯ АППРОКСИМАЦИЯ МАРШРУТА
МАНЕВРИРОВАНИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ
НАТУРАЛЬНЫХ АЛГОРИТМОВ ОПТИМИЗАЦИИ**

V. Dvoretzky, *PhD associate professor*, **O. Shyshkin**, *PhD associate professor*,
S. Shyshkin, *Chief officer, PhD student*

В.А. Дворецкий, *к.т.н., доцент*, **А.В. Шишкин**, *к.т.н., доцент*,
С.А. Шишкин, *ст. помощник, аспирант*

National University «Odessa Maritime Academy», Ukraine
Национальный Университет «Одесская Морская Академия», Украина

ABSTRACT

Discusses the principles of algorithm in the system of ensuring security of navigation based on biological approaches. In the last two decades during optimization of the difficult systems researchers apply the natural mechanisms of search of the best decisions all more often. Today scientific direction of Natural Computing is intensively developed uniting mathematical methods principles of natural mechanisms of making decision are stopped up in that. These mechanisms provide effective adaptation of flora and fauna to the environment during millions of years. The imitation of self-organization of ant colony makes basis of ant algorithms of optimization - new perspective method of natural calculations. The colony of ants can be examined as a multiagent system in that every agent (ant) functions autonomically on very simple rules. In a counterbalance to almost primitive behavior of agents, behavior of all system turns out to my surprise reasonable. In work the algorithm of calculation of a route of a ship with a maneuver based on linear approximation using the least squares method. The problem of linear approximation consists in finding the coefficients of the linear relationship, in which a function of two variables is minimum. To assess the quality of maneuvering in the presence of static obstacles use the ant optimization algorithm suitable for use in marine decision support systems in real-time. Important property of ant algorithms is unconvergence: even after the large number of iterations the great number of variants of decision is simultaneously investigated, because of whatever the protracted dwells are in local extremums. All of it allows to recommend application of ant algorithms for the decision of intricate combinatorics problems of optimization. The conducted computer experiments show that ant algorithms find the effective and safe routes of the following considerably quicker, than exact methods of combinatorics optimization. Efficiency of ant algorithms increases with the height of dimension of task of optimization.

Keywords: transport process, safety of navigation, ant optimization algorithm, technical means of navigation, a model of maneuvering.

РЕФЕРВАТ

Розглядаються принципи побудови алгоритму в системі забезпечення безпеки судноводіння, заснованого на біологічних підходах. В останні два десятиліття при оптимізації складних систем дослідники все частіше застосовують природні механізми пошуку найкращих рішень. Сьогодні інтенсивно розробляється науковий напрямок Natural Computing— «Природні обчислення», що поєднує математичні методи, в яких закладені принципи природних механізмів прийняття рішень. Ці механізми забезпечують ефективну адаптацію флори і фауни до навколишнього середовища протягом мільйонів років. Імітація самоорганізації мурашиної колонії складає основу мурашиних алгоритмів оптимізації — нового перспективного методу природних обчислень. Колонія мурах може розглядатися як багатоагентна система, в якій кожен агент (мураха) функціонує автономно за дуже простими правилами. На противагу майже примітивній поведінці агентів, поведінка всієї системи виходить напрочуд розумним. У роботі розроблено алгоритм розрахунку маршруту судна при маневрі на основі лінійної апроксимації методом найменших квадратів. Завдання лінійної апроксимації полягає в знаходженні коефіцієнтів лінійної залежності, при яких функція двох змінних приймає найменше значення. Для оцінки якості маневрування при наявності статичної перешкоди використовується мурашиний алгоритм оптимізації, придатний для використання в судових системах прийняття рішень у режимі реального часу. Важливою властивістю мурашиних алгоритмів є неконвергентність: навіть після великої кількості ітерацій одночасно досліджується безліч варіантів рішення, внаслідок чого не відбувається тривалих часових затримок у локальних екстремумах. Все це дозволяє рекомендувати застосування мурашиних алгоритмів для вирішення складних комбінаторних задач оптимізації. Проведені комп'ютерні експерименти показують, що мурашині алгоритми знаходять ефективні і безпечні маршрути прямування значно швидше, ніж точні методи комбінаторної оптимізації. Ефективність мурашиних алгоритмів збільшується зі зростанням розмірності завдання оптимізації.

Ключові слова: транспортний процес, безпека судноводіння, мурашиний алгоритм оптимізації, технічні засоби навігації, модель маневрування.

Постановка проблемы в общем виде и её связь с важными научными и практическими задачами

Каждому транспортному процессу присущ фактор риска. Для морского транспорта этот риск определяется объективно существующей опасностью повреждения корпуса судна или его технических средств, разрушения, повреждения или потери груза, нанесения ущерба окружающей среде, а также опасностью для жизни членов экипажей судов.

Для судна, как объекта повышенной опасности, причинами существования риска являются:

- обладание огромной кинетической энергией. Они при своем движении создают угрозу, как для себя, так и для других судов и неподвижных объектов (средства навигационного оборудования, подводные кабели связи, газо- и нефтепроводы, морские объекты и т.п.);
- огнеопасное топливо для обеспечения движения судов;
- токсичные, пожаро- и взрывоопасные грузы.

В дополнение к этому в процессе судовождения имеет место наличие риска возникновения аварийных ситуаций, связанных с возможными неправильными и необоснованными действиями судоводителей при выработке решений по управлению судном.

Меры по уменьшению рисков рассматриваются и реализуются морской общественностью по направлениям технического совершенствования устройства корпуса и технических средств судна, организационного и юридического обеспечения повышения безопасности мореплавания, а в судовождении - разработки более совершенных схем взаимодействия системы судно-оператор (СО) для обеспечения безошибочного функционирования команды мостика.

Комплекс современных средств навигации на ходовом мостике судна, регламентированных главой V СОЛАС, обеспечивает судоводителя первичными навигационными данными, необходимыми для эффективного и безопасного судоходства. При этом выработка решений по управлению судном остается за человеком – вахтенным офицером ходового мостика судна. Человеческий фактор согласно долговременной статистике морских инцидентов имеет превалирующее значение на безопасность мореплавания в сравнении с проблемами технического характера.

Система поддержки принятия решений (СППР) [1] в настоящее время является ключевым направлением развития морской навигации с учетом запросов непосредственно судоводителей. В отличие от традиционных навигационных систем СППР дополнительно выполняют функции анализа и оценки текущей обстановки и предложения судоводителю решений в случае сложных ситуаций.

Анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и выделение нерешенных ранее частей общей проблемы

Одним из подходов к решению задачи оптимизации маршрута и динамики судна является применение так называемых натуральных и природных алгоритмов, которые объединяют биологические механизмы живой природы. К ним относятся генетические алгоритмы, эволюционное программирование, ДНК-вычисления, клеточные автоматы, муравьиные и пчелиные алгоритмы и др. [2]. В статье [3] на основе муравьиного алгоритма оптимизации (МАО) предложено решение оптимизации маршрута расхождения судов с учетом требований МППСС-72 и ограничений типа статических препятствий.

Полученный расчетный маршрут представляется при этом несколько флюктуирующей траекторией относительно главного пути. Для адаптации решения МАО необходима соответствующая линеаризация прогнозируемого маршрута судна и вычисление поворотных точек.

Целью статьи является разработка алгоритма для расчета маршрута судна при маневре на основе линейной аппроксимации методом наименьших квадратов.

Изложение материала исследования с обоснованием полученных научных результатов

Задача линейной аппроксимации заключается в нахождении коэффициентов линейной зависимости, при которых функция двух переменных a и b принимает наименьшее значение:

$$F(a,b) = \sum_{i=1}^n (y_i - (ax_i + b))^2 = \min.$$

В общем случае при сложной конфигурации маршрута, который дает МАО, необходимо разбиение всего интервала на $k > 1$ интервалов, для каждого из которых находят свои пары коэффициентов (a_k, b_k) . При $k > 1$ имеем кусочно-линейную аппроксимацию. В такой постановке задачи основной проблемой является определение собственно числа k интервалов аппроксимации, поскольку методы вычисления коэффициентов a, b хорошо известны из математики. Для определения поворотной точки предложено последовательное вычисление функции $F(a, b)$ для точек $i = 1, 2, \dots$ до тех пор, пока ошибка аппроксимации находится в заданных допустимых пределах: $F(a, b) \leq \rho$. При превышении этого порога принимается решение о достижении поворотной точки и просчитывается следующий отрезок аппроксимации.

Для нахождения решения задач расхождения судов между собой или безопасного расхождения с препятствиями при интенсивном маневрировании большое значение имеет построение формальной модели ситуаций [1]. Она должна отражать реальную обстановку с учетом всех ограничений на выполнение маневрирования навигационного, гидрографического, ситуационного и др. характеров.

Для применения необходимо, чтобы модель:

- отражала существенные стороны сложившейся ситуации и характер её развития с требуемой полнотой и точностью (адекватность модели);
- была простой по структуре и имела небольшое количество параметров (экономность модели);
- обеспечивала возможность практического использования (реализуемость модели);
- служила существенным вспомогательным средством при выборе решений (целенаправленность модели).

Математическая модель должна позволять прогнозировать ситуацию на определенное время вперед, чтобы иметь запас времени для принятия обоснованного решения для предотвращения аварийной ситуации.

Для задач судовождения общепризнанной моделью [1] навигационных условий служит навигационная карта. Она обладает высокой информативностью, закладываемой при создании и поддерживаемой на уровне современности своевременной корректурой. Применение электронных карт делает процесс работы с картами еще более унифицированным, благодаря возможности размещения на карте информации от различных источников. Для обеспечения безопасного маневрирования необходимо и достаточно ограничить район акватории за пределы которого СО не должно выходить для обеспечения навигационной безопасности.

Известны различные алгоритмы пространственного поиска, применяемые в технических системах [1], характеризующиеся четкими правилами выбора действий, планированием и построением модели. Недостатком таких алгоритмов является необходимость анализа больших объемов информации об объекте и окружающей среде. Для устранения этого недостатка в технических системах могут быть использованы так называемые „природные вычисления“ [2]- алгоритмы, основанные на функционировании биологических систем. Такие технические системы относятся к интеллектуальным, они способны, подобно живым организмам, принимать решения о собственном поведении в условиях неопределенности и неполноты информации, основываясь на отказе от планирования и моделирования в пользу простых правил поведения [5].

Упомянутым выше условиям удовлетворяет представленный на рис. 1 результат моделирования разработанного алгоритма и реализованного в системе Матлаб для сценария навигационной ситуации, анализируемой в работе [3].

В соответствии с принятым сценарием СО, находясь в исходной точке А, должно уступить путь другому судну справа и пересекающего направление движения судна-оператора (пересечение курсов, цель справа впереди траверза СО). Поэтому СО делает маневр вправо и затем возвращается на начальную линию маршрута. При этом по сценарию вводится дополнительное ограничение в виде статического препятствия справа от СО.

Для получения данных о расположении статических и динамических целей относительно СО используется радиолокационное оборудование. Следует учитывать ограничения и погрешности применяемой радиолокационной аппаратуры, влияющей на качество получаемых навигационных параметров [4], что немаловажно для обеспечения достоверности выработки маршрута маневрирования.

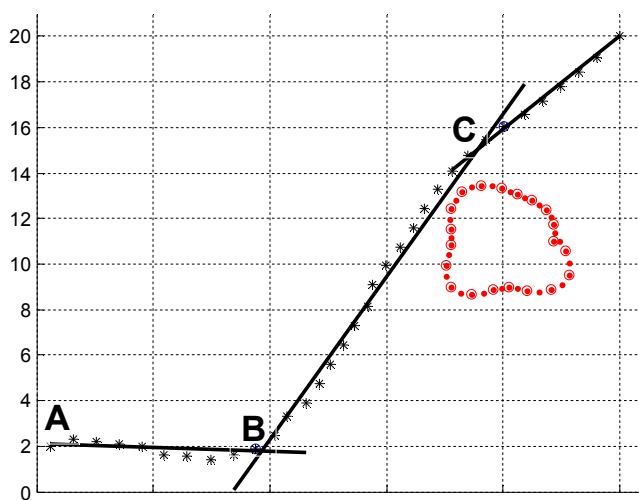


Рис. 1. Линейная аппроксимация маршрута, рассчитанного по МАО

Первоначальный маршрут, рассчитанный по МАО, отмечен на рисунке звездочками. Такая интерпретация не годится для судоводителя. Поэтому требуется кусочно-линейная аппроксимация флуктуирующей траектории пути СО. В результате расчета получен маршрут из начальной точки А с двумя поворотными точками В и С.

Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению

Таким образом, совместно с МАО получен расчетный алгоритм маршрута маневрирования при наличии статического препятствия, пригодный для использования в судовых СППР реального времени, при том, что важным свойством муравьиных алгоритмов является неконвергентность: даже после большого числа итераций одновременно исследуется множество вариантов решения, вследствие чего не происходит длительных временных задержек в локальных экстремумах.

Так как более точная и четкая проработка маршрута должна включать в себя учет возможных ограничений в существующей навигационно-гидрографической обстановке в районе плавания, оригинальных маневренных характеристик судна и особенностей работы технических средств и систем навигации, то продолжение исследований лежит в плоскости создания унифицированного и всеобъемлющего алгоритма выработки действий на основе совершенствования системы поддержки принятия решений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вагущенко Л.Л. Поддержка решений по расхождению с судами / Л.Л. Вагущенко, А.Л. Вагущенко – Одесса: Феникс, 2010. – 296 с.
2. Штовба С.Д. Муравьиные алгоритмы / Exponenta Pro. Математика в приложениях. № 4 (4), 2003. С. 70 – 75.

3. Шишкин А.В., Шишкин С.А. Оптимизация маневра расхождения судов с помощью муравьиного алгоритма // Судовождение: Сб. научн. трудов / ОНМА, Вып. 26. Одесса: «ИздатИнформ», 2016, С. 157 – 165.
4. Дворецкий В. А. Погрешности РЛС, оказывающие влияние на точность определения радиолокационного пеленга / В. А. Дворецкий // Матеріали наук. - метод. конф. "Морський транспорт: управління, економіка, безпека", – Одесса: ОНМА, 2010. – С. 55–57.
5. Непомнящих В. А. Модели автономного поискового поведения // От моделей поведения к искусственному интеллекту / Под общ. ред. В. Г. Редько. М.: УРСС, 2006. С. 200 – 242.