



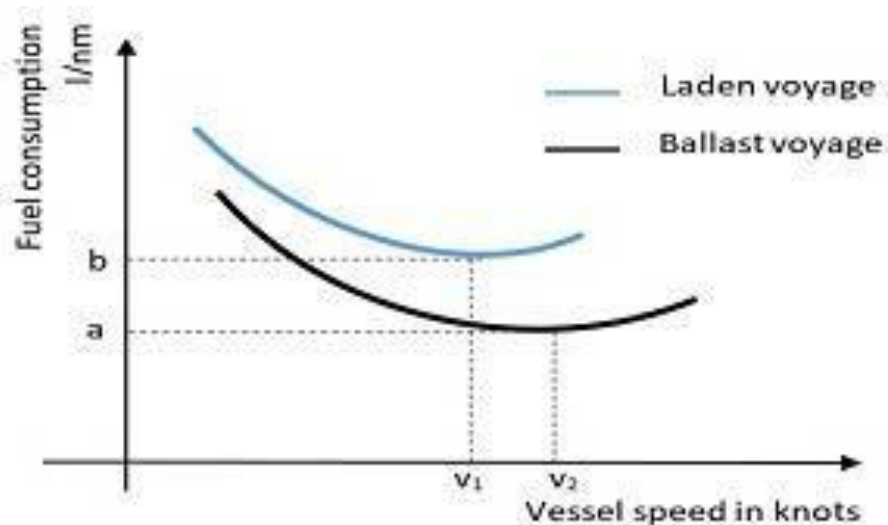
Факультет прикладной математики и процессов управления

Построение топливосберегающего маршрута судна с помощью методов минимизации

Выполнил: аспирант 4 курса Живулин Е.А.

Научный руководитель: доцент Гришкин В.М.

Расход топлива судна на единицу пути

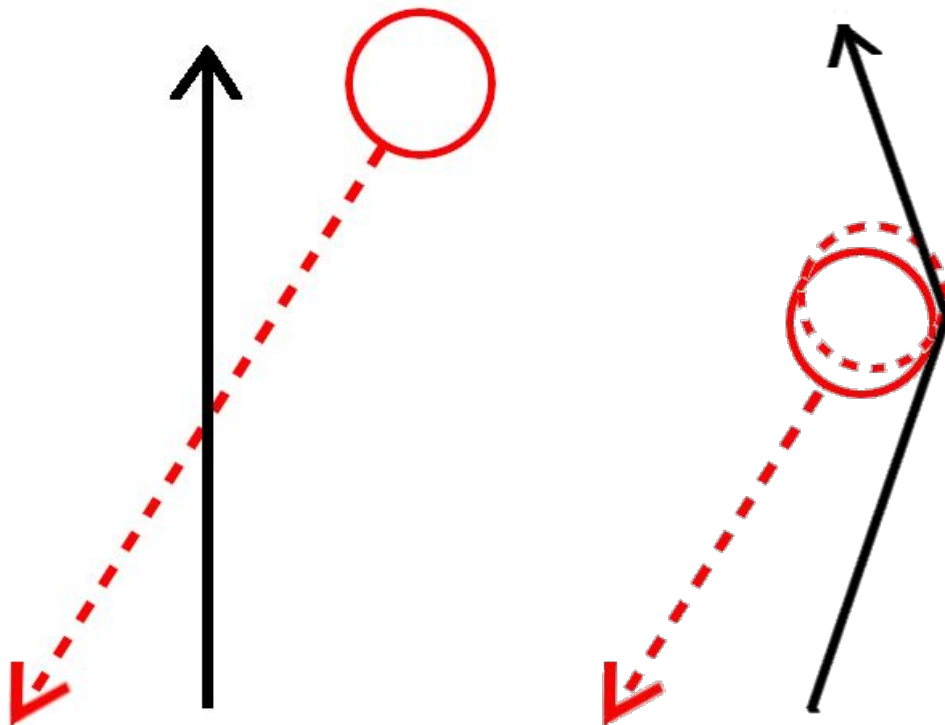


Расход топлива судна на единицу пути нелинейно зависит от его скорости

В статье “Прогнозирование расхода топлива и скорости судна. Построение графика зависимости с использованием статистического метода” исследуются экспериментальные результаты, полученные с буксиров Jin Hwa 40 и Jin Hwa 43

На графике показана зависимость расхода топлива судна от его скорости с грузом (Laden voyage) и без (Ballast voyage), полученная на основе экспериментальных данных с помощью метода наименьших квадратов. Сопоставление полученного результата экспериментальным данным показывает высокую точность описания экспериментальных данных.

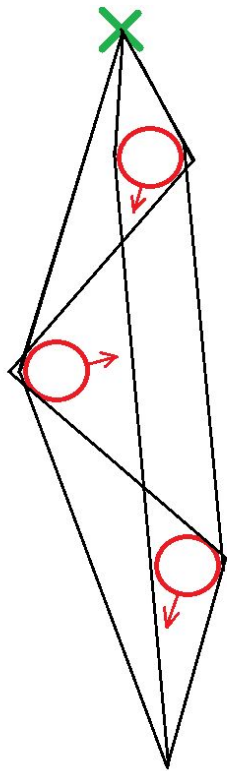
Способ обхода судна



На рисунке представлен маневр по обходу другого судна по кратчайшему пути при заданном угле отклонения от изначального курса

Для минимизации расстояния маршрут должен быть построен таким образом, чтобы минимальное расстояние между судами в течение маневра было равно установленной минимальной дистанции между судами

Способ обхода нескольких судов



В ситуации движения нескольких судов, существует множество различных вариантов обхода для избежания столкновения в зависимости от того, с какой стороны производится обход судов

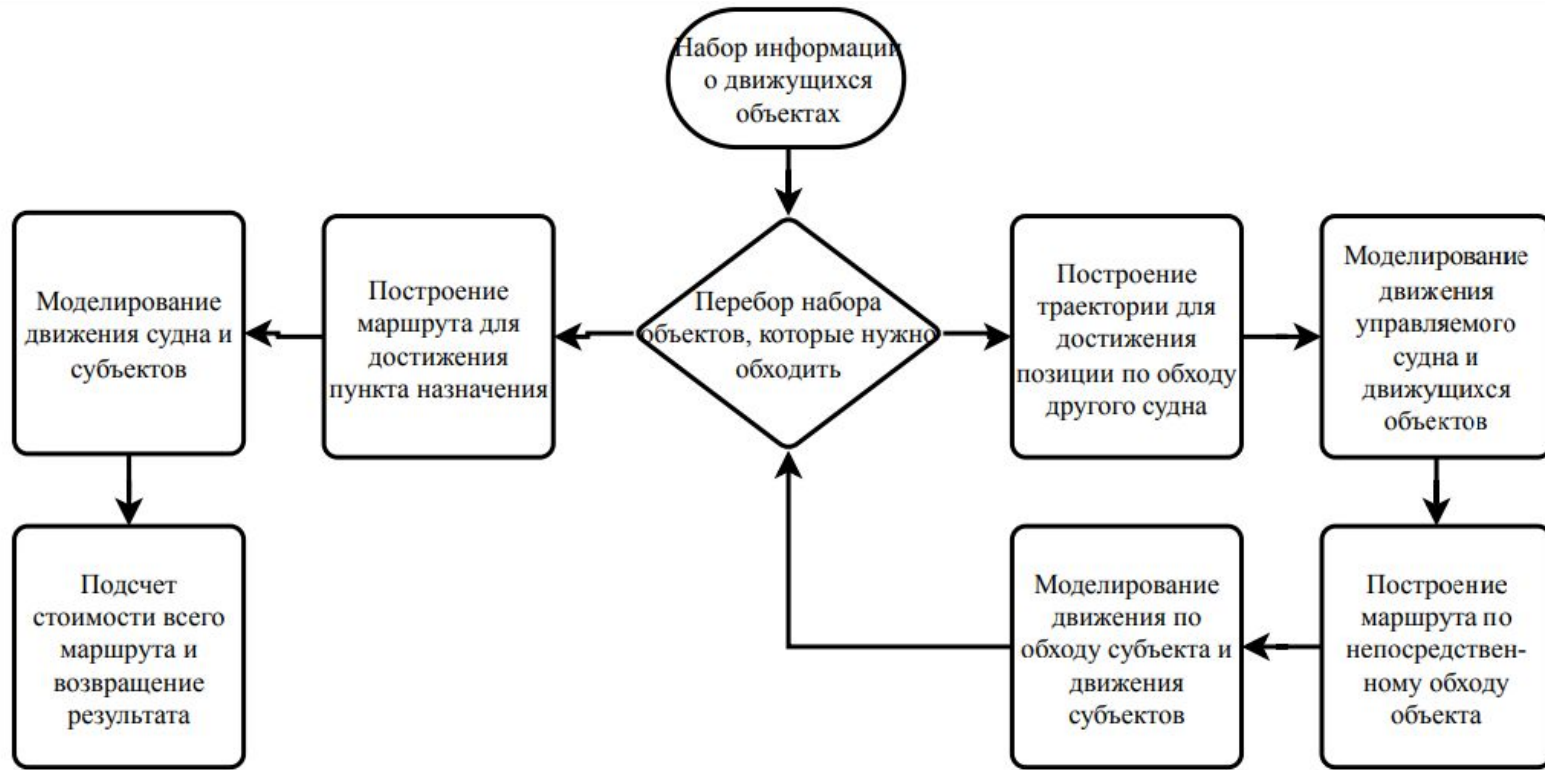
Выбор маршрута зависит от текущей позиции судов и, следовательно, от выбранного маневра по обходу предыдущего судна

Для различных вариантов обхода первого судна из множества тех, с которыми есть риск столкновения, множество последующих судов, которые нужно обходить и стороны их обхода могут отличаться

Курсовой угол при обходе первого судна также будет влиять на выбор дальнейшего маршрута



Построение маршрута судна



Поиск решения



Для нахождения оптимального маршрута в рамках поставленной задачи требуется решить задачу поиска минимума функции, значение которой зависит от условия необходимости прибыть в пункт назначения вовремя с минимальным расходом топлива.

Чем больше опоздание судна и чем больше расход топлива, тем выше стоимость маршрута.

Для решения задачи были применены следующие методы поиска минимума функции:

- Алгоритм Бroyдена — Флетчера — Гольдфарба — Шанно (BFGS)
- Модификация алгоритма BFGS с ограниченным использованием памяти (L-BFGS-B).
- Метод сопряженных градиентов (CG)
- Модификация метода сопряженных градиентов (Newton-CG)
- Условная оптимизация с помощью линейной аппроксимации (COBYLA - Constraint Optimization by Linear Approximation)



Для решения задачи были применены следующие методы поиска минимума функции:

- Метод Пауэлла (Powell)
- Последовательная оптимизация методом наименьших квадратов (SLSQP)
- Усеченный метод Ньютона (TNC).
- Алгоритм поиска локального минимума в доверительной области (trust-constr)
- Метод оптимизации с точным решением в доверительной области (trust-exact)
- Метод доверительной области с ньютоновским направлением и сопряженными градиентами (trust-ncg)
- Алгоритм доверительной области Крылова (trust-krylov)

Результаты



Метод	Число успешных попыток решения	Число решенных задач	Время решения задач	Среднее время решения задачи
BFGS	993	31	45 ч 21 мин	1 мин 5 с
L-BFGS-B	798	31	15 ч 50 мин	23 с
CG	1011	31	39 ч 17 мин	57 с
Newton-C G	1500	30	2 ч 9 мин	3 с
COBYLA	1555	33	3 ч 6 мин	5 с
Powell	912	44	35 ч 39 мин	51 с

Результаты



Метод	Число успешных попыток решения	Число решенных задач	Время решения задач	Среднее время решения задачи
SLSQP	1157	44	49 ч 15 мин	1 мин 11 с
TNC	669	31	12 ч 32 мин	18 с
trust-constr	1500	30	2 ч 18 мин	3 с
trust-exact	1500	30	1 ч 39 мин	2 с
trust-ncg	1500	30	1 ч 39 мин	2 с
trust-krylov	1500	30	1 ч 53 мин	3 с

Результаты



Наибольшее число успешных попыток решения задачи продемонстрировал метод условной оптимизации с помощью линейной аппроксимации COBYLA: 1550 из 2500 попыток. Число решенных задач: 33 из 50.

Метод Пауэлла (Powell) и последовательная оптимизация методом наименьших квадратов (SLSQP) успешно решили задачи в 912 и 1157 попытках соответственно. Число решенных задач: 44.

Заключение



- Применение данных методов не привело к решению достаточно большого процента задач для использования этих методов без доработок и модификаций.
- Для решения задачи данными методами может потребоваться более одной попытки, что приводит к непредсказуемому увеличению времени решения задачи.
- Результат работы методов минимизации сильно зависит от изначального значения параметров, что приводит к необходимости предварительно подбирать набор значений.
- Данный подход может позволить увеличить точность решения, которое было найдено более грубым способом.

Список литературы



1. Keh-Kim Kee , Boun-Yew Lau Simon , King-Hwa Yong Renco. Prediction of Ship Fuel Consumption and Speed Curve by Using Statistical Method // Journal of Computer Science & Computational Mathematics, Volume 8, Issue 2, June 2018.
2. Nocedal J., Wright S.J. Numerical optimization. Second Edition.
3. M.J.D. Powell (1994), Advances in Optimization and Numerical Analysis. First Edition.
4. Zhu C., Byrd R. H., Lu P., Nocedal J. Algorithm 778: L-BFGS-B: Fortran subroutines for large-scale bound-constrained optimization // ACM Transactions on Mathematical Software. 1997.
5. Arouxet M.B., Echebest N., Pilotta E.A. Active-set strategy in Powell's method for optimization without derivatives // Computational and Applied Mathematics. 2016.
6. Gould N., Lucidi S., Roma M., Toint P. Solving the Trust-Region Subproblem using the Lanczos Method // SIAM Journal on Optimization. 1999.
7. Y. Ma, X. Gao, C. Liu and J. Li. Improved SQP and SLSQP Algorithms for Feasible Path-based Process Optimisation.
8. L. Galli and C. Lin. A Study on Truncated Newton Methods for Linear Classification.
9. A. R. Conn, N. I. Gould and P.L. Toint. Trust region methods. 2000.