

XXXIX Ogólnopolska Konferencja
im. Profesora Władysława Bukietyńskiego
"Metody i zastosowania badań operacyjnych"

Optymalizacja przepływu ładunków w transporcie morskim

Michał Bernardelli

Będlewo, 24-26 października 2021



WARSAW SCHOOL OF ECONOMICS

www.sgh.waw.pl/english

- 1 Specyfikacja zagadnienia
- 2 Ograniczenia podejścia programowania liniowego
- 3 Proponowana heurystyka
- 4 Możliwości uogólnienia
- 5 Podsumowanie

Dostawa aluminium transportem morskim

Z punktu widzenia klienta: dostawa w zadanym terminie

Z punktu widzenia portu: zapewnienie dostępności nabrzeża o zadanych parametrach w zadanym terminie oraz organizacja załadunku i rozładunku

Z punktu widzenia dostawcy: minimalizacja kosztów dostawy związanych z przechowaniem w porcie oraz wynajmem statków

Zestaw warunków ograniczających

- każde zamówienie musi zostać dostarczone w terminie od `deadline_from` do `deadline_to`
- czas rozładunku i załadunku zależy od nabrzeża oraz wielkości statku
- załadunek i rozładunek odbywa się tylko w dni robocze (różniące się w zależności od portu)
- czas transportu morskiego zależy od odległości pomiędzy portami oraz wielkości statku
- nabrzeża mają ograniczenia na wielkość statku, a ich dostępność jest określona w harmonogramie załadunku

Zestaw warunków ograniczających

- dzień dostawy zamówienia liczony jest jako dzień zakończenia rozładunku statku, na którym przewożone było zamówienie
- za przechowanie zamówień dostarczonych przed ustalonym terminem ponoszone są opłaty zależne od portu rozładunkowego
- statki mogą płynąć bezpośrednio do portu docelowego lub z jednym portem pośrednim
- statek pośredni najpierw płynie do bliższego z dwóch portów rozładunkowych

Koszty

- przechowanie w zależności od portu, liczby ton oraz czasu przechowania
- wynajęcie statku zależne od pojemności statku oraz liczby dni wynajmu (wlicza się czas na załadunek i rozładunek)
- finansowanie zależne od liczby ton oraz dni, naliczane dopóki zamówienie nie zostanie dostarczone

Zysk z optymalizacji

Oszczędności związane z minimalizacją kosztów

Poziom skomplikowania

- ✓ zadanie programowania liniowego
- ✓ liczba zmiennych liczona w miliardach
- ✓ liczba warunków ograniczających liczona w miliardach

Problem

- ✓ nieakceptowalna złożoność obliczeniowa i czasowa
- ✓ na ogół brak rozwiązań dopuszczalnych
- ✓ rozwiązania dopuszczalne nieakceptowalne z punktu widzenia biznesowego (np. niski stopień załadunku statku)

Rozbicie na etapy

Etap I Wstępne grupowanie zamówień per port

Etap II Łączenie grup zamówień w statki

Etap III Iteracyjne regrupowanie per port

Etap IV Iteracyjne regrupowanie per strefa

Etap V Alokacja nabrzeży

Miary podobieństwa i niepodobieństwa zamówień

- **podobieństwo** – liczba dni wspólnych w terminach dostaw obu zamówień (pomiędzy `deadline_from` a `deadline_to`)
- **niepodobieństwo** – liczba dni różnych w terminach dostaw obu zamówień (pomiędzy `deadline_from` a `deadline_to`)

Heurystyka wstępnego grupowania zamówień per port

- połącz zamówienia ze wskaźnikiem podobieństwa co najmniej $similarity_high$ i niepodobieństwa mniejszym lub równym $dissimilarity_low$
- nie łącz zamówień jeżeli wskaźnik podobieństwa jest mniejszy od $similarity_low$ lub niepodobieństwa większy od $dissimilarity_high$
- przyjęte wartości wskaźników:
 - $similarity_low = 0,8$
 - $similarity_high = 0,9$
 - $dissimilarity_low = 0,1$
 - $dissimilarity_high = 0,6$

Heurystyka łączenia

- skład grup zamówień nie jest zmieniany
- łączymy grupy zamówień do tego samego portu docelowego
- iteracyjnie łączymy parami grupy zamówień, które spełniają ograniczenia
- łączenie grup nie musi być optymalne (heurystyka)

Heurystyka regrupowania

- iteracyjnie rozpatrujemy pary statków do tego samego portu docelowego
- zmieniamy skład statków przydzielając suboptymalnie zamówienia pomiędzy dwoma statkami w celu minimalizacji kosztów
- regrupowanie nie musi być optymalne (heurystyka) gdyż:
 - nie rozpatrujemy wszystkich możliwości (odgórnie wprowadzone ograniczenie)
 - statki rozpatrujemy parami (a być może regrupowanie pomiędzy trzema statkami dałoby lepsze rozwiązanie)

Heurystyka regrupowania

- iteracyjnie rozpatrujemy pary statków do różnych portów docelowych
- rozpatrujemy tylko porty docelowe w ramach tej samej strefy definiowanej przez maksymalną odległość pomiędzy portami
- zmieniamy skład statków przydzielając suboptymalnie zamówienia pomiędzy dwoma statkami w celu minimalizacji kosztów
- sposób na otrzymanie statku pośredniego
- regrupowanie nie musi być optymalne (heurystyka)

Heurystyka alokacji

- łączenie zamówień w statki kierując się minimalizacją kosztów przy założeniu, że możemy wysłać w wybranym terminie
- optymalny termin nie musi być możliwy ze względu na zajętość nabrzeża w porcie załadunkowym lub rozładunkowym
- optymalne rozstawienie statków iteracyjnie strefa po strefie tak, aby koszt sumaryczny był najmniejszy

Złożoność i suboptymalność

Etap I Wstępne grupowanie zamówień per port

- etap bardzo wrażliwy na dane wejściowe, w szczególności na terminy dostaw
- konieczne przestrzeganie maksymalnej wielkości statku
- minimalna wielkość uzyskanej grupy może nie być wystarczająca do wysyłki

Etap II Łączenie grup zamówień w statki

- niska złożoność obliczeniowa
- po tym etapie część grup zamówień z etapu pierwszego nie zostanie przydzielona do statków

Złożoność i suboptymalność

Etap III, IV Regrupowanie per port i per strefa

- wynik zależny od kolejności grup
- nie wszystkie warianty są rozpatrywane ze względu na wysoką złożoność obliczeniową:
 - po 10 zamówień na każdym statku przekłada się na 1 048 576 możliwości
 - 15 zamówień \implies 1 073 741 824
 - 20 zamówień \implies 1 099 511 627 776

Złożoność i suboptymalność

Etap V Alokacja nabrzeży

- zależy od kolejności rozpatrywania stref
- po przydziale nabrzeży część zamówień ma przesunięte względem oryginalnych terminy dostaw
- być może po wydłużeniu terminów dostaw da się połączyć jakieś statki

- ✓ wcześniejsze przesunięcie terminów dostaw zamówień może dać lepsze rozwiązania
- ✓ dodatkowy etap łączenia statków po etapie alokacji i ponowna alokacja nabrzeży
- ✓ wiele obliczeń można wykonać równolegle
- ✓ możliwość ustawienia parametrów per port
- ✓ łatwa możliwość uwzględnienia dodatkowych kosztów lub wymagań (np. ograniczenia per materiał, per klient)

Heurystyka przepływu ładunków w transporcie morskim

- zagadnienie z zakresu programowania liniowego,
- ze względu na dużą liczbę zmiennych i warunków ograniczających oraz oczekiwania biznesowe szukanie optymalnego rozwiązania zostało zastąpione heurystyką,
- rozwiązanie łatwo parametryzowalne,
- proponowane rozwiązanie pozwala na znaczące oszczędności dla producenta