

Polskie Towarzystwo Badań  
Operacyjnych i Systemowych  
Instytut Badań Systemowych  
Polskiej Akademii Nauk  
Wojskowa Akademia Techniczna

Redaktorzy:  
Zbigniew Nahorski  
Marian Chudy  
Andrzej Straszak



Warszawa 1991

POLSKIE TOWARZYSTWO  
BADAŃ OPERACYJNYCH I SYSTEMOWYCH  
INSTYTUT BADAŃ SYSTEMOWYCH  
POLSKIEJ AKADEMII NAUK  
WOJSKOWA AKADEMIA TECHNICZNA

# **O P T Y M A L I Z A C J A**

**ZADANIA, METODY, ALGORYTMY**

**Redaktorzy**

*Zbigniew Nahorski, Marian Chudy, Andrzej Straszak*

**WARSZAWA 1991**

PROPOZYCJE ALGORYTMÓW KIEROWANIA RUCHEM  
STATKÓW NA ZATOCE GDAŃSKIEJ

Jolanta Juszczuk  
Katedra Informatyki  
Wyższa Szkoła Morska  
ul.Morska 81-87, 81-225 Gdynia

**Streszczenie:** W referacie przedstawiono propozycje algorytmów zwiększających efektywność ruchu statków na torach wodnych Zatoki Gdańskiej przy zachowaniu bezpieczeństwa żeglugi.

#### 1. Wstęp

W roku 1985 rozpoczęto prace nad stworzeniem i wprowadzeniem do eksploatacji systemu obsługi ruchu statków na akwenie Zatoki Gdańskiej ( Vessel Traffic Service - VTS ). Wyniki tych prac zostały szczegółowo opisane w [8],[9]. Główne założenia systemu zawarte są w [7],[10].

Jednym z zadań systemu VTS jest aktywna organizacja ruchu statków [5]. Obejmuje ona:

1. Planowanie ruchu poszczególnych statków na obszarze objętym działaniem systemu.
2. Kierowanie ruchem statków odbywającym się zgodnie z wcześniej przyjętym planem.

W referacie przedstawiono propozycje algorytmów kierowania ruchem statków ograniczając się do następujących rodzajów torów wodnych Zatoki Gdańskiej:

rodzaj I - Tory jednokierunkowe na których może znajdować się tylko jeden statek.

rodzaj II - Jednokierunkowe wyjściowe tory wodne. Liczba statków przebywających na nich jest ograniczona przez sumę współczynników charakteryzujących poziom zagrożenia stat-

## Algorytmy kierowania ruchem statków

ków, która nie może przekraczać poziomu bezpieczeństwa ustalonego dla danego toru wodnego zależnego od jego charakteru.

Przedstawione algorytmy są wynikiem dalszych badań w celu stworzenia modelu VTS dla Zatoki Gdańskiej. Do ich opracowania wykorzystano pewne elementy algorytmów prezentowanych w [1],[2],[3],[6].

### 2. Sformułowanie problemu

Dany jest jednokierunkowy tor wodny o znanych wymiarach pozwalających na swobodny ruch statków i ustalonym poziomie bezpieczeństwa  $Q$ .

W pobliżu jego wejścia znajduje się skończony zbiór statków  $J$ :

$$J = \{ i ; i = 1, 2, \dots, n \}$$

Dla każdego statku  $i \in J$  znane są :

- $v_i$  - dopuszczalna bezpieczna prędkość z jaką statek może poruszać się na torze wodnym w danych warunkach (jest ona określona głównie wielkością statku i aktualnie panującymi warunkami hydrologiczno - meteorologicznymi) ;
- $p_i$  - czas przejścia przez tor wodny (rozbliczany na podstawie  $v_i$  i długości toru wodnego) ;
- $w_i$  - priorytet statku (określany głównie na podstawie znanej informacji o rodzaju i ilości ładunku, wielkości statku, konieczności terminowego wejścia do portu) ;
- $r_i$  - przewidywany możliwy czas wejścia na tor wodny ;
- $q_i$  - poziom zagrożenia statku (określany w zależności od jego wielkości i rodzaju przewożonego ładunku) [4] ;

Przyjęte zostało następujące ograniczenie:  
dla rodzaju I -tylko jeden statek może przebywać na torze ;

dla rodzaju II -

suma poziomów zagrożenia statków znajdujących się na torze wodnym nie może, w każdej chwili czasu, przekraczać poziomu bezpieczeństwa  $Q$ .

Kierowanie ruchem statków prowadzi do ustalenia planu ruchu. W takim planie ruchu dla każdego statku  $i \in J$  określa się następujące wartości :

$t_i$  - czas wejścia na tor wodny ;

$C_i$  - czas wyjścia z toru wodnego ;

$r_i$  - czas oczekiwania statku określony zależnością :

$$r_i = C_i - p_i - t_i \quad (2.1)$$

Poszukiwany jest dla zbioru  $J$ , taki plan kolejności wejść statków na tor wodny, dla którego minimalizowany jest :

$T$  - czas obserwacji określony zależnością :

$$T = \max_{i \in J} C_i - \min_{i \in J} r_i \quad (2.2)$$

$\bar{T}$  - średni czas oczekiwania określony zależnością :

$$\bar{T} = \sum_{i=1}^n r_i / n \quad (2.3)$$

### 3. Opis algorytmu dla toru wodnego rodzaju I

**krok 1.** Niech  $S$  - zbiór  $n$  nieuporzdkowanych statków.

$M$  - macierz zawierająca wartości  $r_i$ ,  $p_i$ ,  $w_i$  dla każdego  $i \in S$ .

$C_0$  - czas wyjścia z toru wodnego statku, który aktualnie na nim przebywa.  $C_0 \rightarrow t$ .  $0 \rightarrow k$ .

**krok 2.** Znajdź zbiór  $S' = \{ i : i \in S, r_i \leq t \}$ .

Znajdź statek  $j$  taki, że :  $j \in S'$  oraz

$$p_j / w_j = \min_{j \in S'} \{ p_j / w_j \}.$$

### Algorytmy kierowania ruchem statków

**krok 3.**  $k + 1 \rightarrow k$ . Umieść statek  $j$  na pozycji  $k$ .  
 $t + p_j \rightarrow t$ .  $S \setminus \{j\} \rightarrow S$ .

**krok 4.** Jeśli  $S = \emptyset$  to **STOP**.

W przeciwnym razie  $\max\{t, \min_{i \in S} \{r_i\}\} \rightarrow t$   
 i skocz do  **kroku 2**.

4. Opis algorytmu dla toru wodnego rodzaju II

**krok 1.** Niech  $J$  - zbiór  $n$  nieuporządkowanych statków.

Dla każdego  $i \in J$  znane są wartości  $r_i, b_i, q_i, w_i$ .  $N$  - zbiór statków znajdujących się aktualnie na torze wodnym.

$R$  - zbiór pomocniczy,  $\emptyset \rightarrow R$ .

$W$  - zbiór wynikowy z  $n$  uporządkowanymi statkami,  
 $\emptyset \rightarrow W$ .

**krok 2.**  $\min\{\min_{j \in N} C_j, \min_{i \in J} r_i\} \rightarrow t$ .

**krok 3.** Jeśli  $R = \emptyset$  to skocz do  **kroku 4**.

W przeciwnym razie  $J \cup R \rightarrow J, \emptyset \rightarrow R$ .

**krok 4.** Znajdź zbiór  $N' = \{j \mid j \in N, C_j \leq t\}$ .

**krok 5.**  $N \setminus N' \rightarrow N$ .

**krok 6.** Jeśli  $J = \emptyset$  i  $N = \emptyset$  to **STOP**.

**krok 7.** Znajdź zbiór  $J' = \{i \mid i \in J, r_i \leq t\}$ .

**krok 8.** Sprawdź, czy

$$\sum_{j \in N} q_j + \sum_{i \in J'} q_i \leq \theta \quad (4.1)$$

Jeśli **TAK** to  $J \setminus J' \rightarrow J$ ,

$t + p_i \rightarrow C_i$  dla  $i \in J'$ ,

$N \cup J' \rightarrow N$ ,

$C_i - p_i - r_i \rightarrow r_i$  dla  $i \in J'$ ,

$W \cup J' \rightarrow W$ , skocz do  **kroku 2**.

Jeśli **NIE** to **ZNAJDZ** zbiór  $J'' \subset J'$  taki, że warunek (4.1) jest spełniony

WARIANT 1

Zbiór  $J''$  powstaje przez dołączenie kolejno statku  $k$ ,  $k \in J'$ , którego  $p_k = \min_{j \in J'} \{ p_j \}$

WARIANT 2

Zbiór  $J''$  powstaje przez dołączenie kolejno statku  $k$ ,  $k \in J'$ , którego  $p_k/w_k = \min_{j \in J'} \{ p_j/w_j \}$

WARIANT 3

Zbiór  $J''$  powstaje przez dołączenie kolejno statku  $k$ ,  $k \in J'$ , którego  $w_k = \max_{j \in J'} \{ w_j \}$

i wtedy

$$\begin{aligned} J \setminus J'' &\longrightarrow J, \\ t + p_i &\longrightarrow C_i \text{ dla } i \in J'', \\ N \cup J'' &\longrightarrow N, \\ C_i - p_i - r_i &\longrightarrow r_i \text{ dla } i \in J'', \\ W \cup J'' &\longrightarrow W, \\ J' \setminus J'' &\longrightarrow R, \text{ skocz do kroku 2.} \end{aligned}$$

5. Podsumowanie

W tabelach od 4.1. do 4.4. zebrano przykładowe wyniki uzyskane z realizacji algorytmu dla toru wodnego rodzaju II i jednego zestawu danych generowanych losowo w następujący sposób:

- $p_1$  - jako liczbę całkowitą z przedziału  $\langle 1, 10 \rangle$ ;
- $r_1$  - według rozkładu Poissona z parametrem  $\lambda = 2$ ;
- $w_1$  - według rozkładu normalnego o wartości średniej  $w_{sr} = 12$  i odchyleniu standardowym  $\sigma_w = 3$ ;
- $q_1$  - jako liczbę całkowitą z przedziału  $\langle 1, 6 \rangle$ .

Znaczenie oznaczeń użytych w tabelach jest następujące:

- $P_1$  - grupa statków dla których  $1 \leq p_1 < 4$
- $P_2$  - grupa statków dla których  $4 \leq p_1 < 7$
- $P_3$  - grupa statków dla których  $7 \leq p_1 \leq 10$
- $W_1$  - grupa statków dla których  $0 < w_1 < k_1$

### Algorytmy kierowania ruchem statków

$W_2$  - grupa statków dla których  $k_1 \leq w_i < k_2$

$W_3$  - grupa statków dla których  $w_i \geq k_2$

gdzie  $k_1 = w_{sr} - 0.43 \cdot \sigma_w$

$k_2 = w_{sr} + 0.43 \cdot \sigma_w$

Tabela 4.1

wariant 2 algorytmu dla toru rodzaju II

n=100, Q=7 średni czas oczekiwania $\bar{T}$			
Grupa	$W_1$	$W_2$	$W_3$
$P_1$	35.55	20.29	6.8
$P_2$	100.38	78.7	46.5
$P_3$	142.73	129.9	110.56

Tabela 4.2

wariant 2 algorytmu dla toru rodzaju II

n=100, Q=7 czas obserwacji T			
Grupa	$W_1$	$W_2$	$W_3$
$P_1$	108	89	33
$P_2$	209	175	121
$P_3$	265	254	198

Przeгляд uzyskanych wyników testowania proponowanych algorytmów, na kilkudziesięciu zestawach danych, wskazuje na ich poprawne działanie. Praktyczne ich wykorzystanie w modelu systemu VTS dla Zatoki Gdańskiej powinno być przedmiotem dalszych badań.



Tabela 4.3

n=100, Q=7 średni czas oczekiwania $\bar{t}$			
Grupa	wariant algorytmu		
	1	2	3
P <sub>1</sub>	12.97	20.45	108.1
P <sub>2</sub>	82.24	77.48	109.18
P <sub>3</sub>	134.36	128.8	99.36
W <sub>1</sub>	70.74	93.31	167.54
W <sub>2</sub>	67.88	69.7	108.94
W <sub>3</sub>	78.74	49.74	32.77

Tabela 4.4

n=100, Q=7 czas obserwacji T			
Grupa	wariant algorytmu		
	1	2	3
P <sub>1</sub>	60	108	269
P <sub>2</sub>	189	209	266
P <sub>3</sub>	283	265	249
W <sub>1</sub>	283	265	269
W <sub>2</sub>	263	255	192
W <sub>3</sub>	273	198	110

## Algorytmy kierowania ruchem statków

### Literatura

- [1] Baker K.R., Introduction to Sequencing and Scheduling. John Wiley, New York 1974.
- [2] Chandra R., On  $n/1/F$  Dynamic Deterministic Problems. Naval Research Logistics Quarterly vol.26, no.3, 1979, pp.537-544.
- [3] Dessouky M.I., Deogun J.S. Sequencing Job with Unequal Ready Times to minimize Mean Flow Time. SIAM Journal on Computing, vol.10, no.1, 1981, pp.192-202.
- [4] Goodwin E.M., Richardson R.B., Strategies for Marine Traffic. The Journal of Navigation, vol.33, no.1, 1980, pp.40 - 48.
- [5] Guidelines for Vessel Traffic Services. IMO - The 30-th Session of Sub - Committee of Safety of Navigation, London, NAV30/11, ANNEX 8, 1984.
- [6] Hariri A.M.A., Potts C.N., An Algorithm for Single Machine Sequencing with Release Dates to Minimise Total Weighted Completion Time. Mathematisch Centrum, Report BW 143, Amsterdam 1981.
- [7] Pappelbaum M., Wawruch R., Założenia systemu nadzoru ruchu statków na Zatoce Gdańskiej. Technika i Gospodarka Morska nr 4, 1988, s.161-164.
- [8] System obsługi statków (VTS) na Zatoce Gdańskiej CPBR 9.5, zad. 58.2, pkt. kontr. 1 - praca zbiorowa pod kierunkiem J.Urbańskiego. Prace Instytutu Nawigacji Morskiej WSM, Gdynia 1988.
- [9] System obsługi statków (VTS) na Zatoce Gdańskiej CPBR 9.5, zad. 58.2, pkt. kontr. 3.2 - praca zbiorowa pod kierunkiem M.Jurdzińskiego. Prace Instytutu Nawigacji Morskiej WSM, Gdynia 1990.
- [10] Wawruch R., Założenia modelu decyzyjnego systemu VTS na Zatoce Gdańskiej. Technika i Gospodarka Morska nr 3, 1989, s.120-125.

**ISBN 83-900412-1-9.**