

Bogna Mrówczyńska
Aleksander Śladkowski
Politechnika Śląska

ROZMIESZCZENIE ZAPASÓW W MAGAZYNIE Z UWZGLĘDNIENIEM CZASU TRANSPORTU

Wprowadzenie

Ważnym problemem w gospodarce magazynowej jest rozmieszczanie towaru na półkach magazynu. Podstawową regułą jest umieszczanie najczęściej rotującego towaru jak najbliżej miejsca kompletacji zamówień lub wydań. Częstość rotacji poszczególnych produktów może ulegać zmianie ze względu na sezonowe zapotrzebowanie, modę na pewne produkty czy akcje promocyjne. Złe rozmieszczenie towaru w dużym magazynie może znacznie wydłużyć drogę pokonywaną przy wydawaniu towaru. Następstwem tego będą wydłużenie czasu pracy pracowników i większe koszty eksploatacji używanych środków transportu, czego konsekwencją będzie podwyższenie kosztów obsługi magazynu.

W opracowaniu zaproponowano metodę rozwiązania tego problemu. Sformułowano zadanie optymalizacji, w którym kryterium jest minimalizacja czasu przejazdu wózka wysokiego składowania od regałów, na których towar jest składowany do rampy wydań. Do zaplanowania rozmieszczenia towaru zastosowano algorytm ewolucyjny. Obliczenia przeprowadzono na przykładzie magazynu składającego artykuły spożywcze, m.in. firmy Gellwe.

Model numeryczny

W omawianym magazynie towar jest składowany na paletach, które są umiejscowione na regałach. Każda paleta ma być położona na jednym z prze-

znaczonych dla niej miejsc. Można założyć, że ilość palet i liczba wolnych miejsc na regałach są równa. Może być wiele sposobów rozmieszczenia tych palet. Każde dopuszczalne ułożenie jest permutacją rozmieszczenia. Liczba możliwych permutacji palet wyniesie $n!$ Jakość każdego proponowanego rozwiązania jest oceniana. Miarą oceny w rozwiązywanym problemie jest czas potrzebny na zdjęcie palety z towarem z półki i przewiezienie jej do strefy wydań. Jak widać, już przy niewielkiej różnorodności towaru człowiek nie bardzo jest w stanie zaplanować najlepsze rozmieszczenie. Do rozwiązania należy wykorzystać komputery, które coraz częściej wspomagają zarządzanie nowoczesnym magazynem.

Przedstawiony wyżej problem w sensie matematycznym sprowadza się do zadania komiwojagera, który ma odwiedzić zadaną liczbę miast w taki sposób, aby nie być w żadnym mieście więcej niż raz i aby cała jego droga była najkrótsza. Początki zadania komiwojagera sięgają przełomu XVIII i XIX w. W latach 50. ubiegłego wieku były rozwijane metody algebraiczne rozwiązywania tego zadania. Stosowano m.in. programowanie całkowitoliczbowe i programowanie dynamiczne. W 1972 r. M. Karp udowodnił, że zadanie jest NP- trudne. Dla takich zadań istnieją ściśle rozwiązania w przypadku niewielkich rozmiarów (nie-wielka ilość punktów odbioru). Zadania duże są rozwiązywane metodami heurystycznymi. W ostatnich latach z powodzeniem zastosowano metody sztucznej inteligencji, takie jak systemy mrówkowe¹, symulowane wyżarzanie, metodę najbliższego sąsiada, algorytmy genetyczne i ewolucyjne². Metody te nie znajdują rozwiązań optymalnych w sensie matematycznym, ale uzyskiwane rozwiązania są wystarczająco dobrymi przybliżeniami.

Rozwiązaniem zadania jest wektor liczb naturalnych następującej postaci:

$$m = \langle m_1, m_2, \dots, m_n \rangle \quad (1)$$

gdzie

m_i – numer produktu ułożonego na i -tym miejscu w magazynie.

Za miarę poprawności rozłożenia palet na regałach przyjęto funkcję:

$$f = \sum_{i=1}^n \frac{w_{i_k}}{t_i} \quad (2)$$

¹ D.E. Goldberg, Genetic Algorithms in Search, Optimization & Machine Learning, Addison-Wesley, New York 1989

² G.J. Woeginger, Exact Algorithms for NP-Hard Problems: A Survey, Combinatorial Optimization – Eureka, You Shrink! Lecture notes in computer science, Vol. 2570, Springer, 2003.

gdzie

n – liczba miejsc na regałach; jest ona równa liczbie rozmieszczanych produktów,

ω_{ik} – częstość wydań towaru z k -tej palety leżącej na i -tym miejscu,

t_i – czas manipulacji towarem i transportu z i -tego miejsca na regale do rampy wydań.

Tak zdefiniowana funkcja powinna przyjmować największe wartości, gdy na regałach położonych najbliżej rampy wydań zostanie umieszczony towar o największej częstości wydań.

W opracowaniu do rozwiązania zadania zastosowano algorytm ewolucyjny, który jest numerycznym modelem procesu ewolucji. Na rys. 1 przedstawiono schemat przebiegu obliczeń.



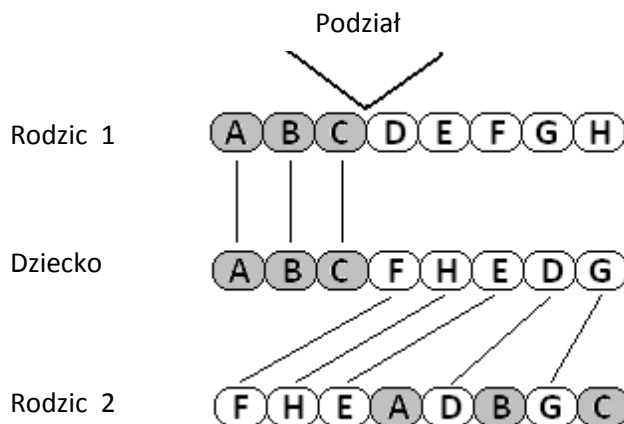
Rys. 1. Schemat algorytmu ewolucyjnego

Środowisko w sensie matematycznym definiują zmienne optymalizacji, nałożone na nie ograniczenia i funkcja celu. Wektor zmiennych optymalizacji opisany wzorem (1) tworzy chromosom, który jest poddawany działaniu operatorów genetycznych w procesie ewolucji symulowanej przez algorytm. W algorytmie użytym do obliczeń stosowane są operatory krzyżowania (krzyżowanie jednopunktowe przedstawione na rys. 2 i dwupunktowe) i mutacji (mutacja pozycją przedstawiona na rys. 3, mutacja porządkiem, mutacja zamianą dwóch przyległych genów)³. Rezultatem działania każdego z tych operatorów jest permutacja

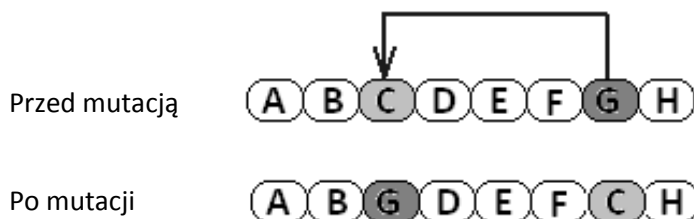
³ M. Pawlak, Algorytmy ewolucyjne jako narzędzie harmonogramowania produkcji, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1999.

sposobu ułożenia produktów na przeznaczonych dla nich miejscach. Taki dobór operatorów krzyżowań i mutacji zapewnia, że wynik każdej z operacji jest rozwiązaniem dopuszczalnym. Opisane operatory są używane w trakcie obliczeń z zadanym prawdopodobieństwem.

Po każdym kroku ewolucji nowe lub zmodyfikowane chromosomy są poddawane ocenie. Każdemu rozwiązaniu przypisywana jest funkcja dostosowania, której wartość jest tym wyższa, im rozwiązanie lepiej spełnia przyjęte kryteria. W prezentowanych obliczeniach za funkcje przystosowania przyjęto funkcję (2). Następnie przeprowadzana jest selekcja rankingowa, w wyniku której najlepsze chromosomy przechodzą do następnego pokolenia. Ponadto stosuje się selekcję elitarną, tzn. jeżeli najlepszy osobnik z poprzedniego pokolenia jest lepszy od osobnika najgorszego w pokoleniu bieżącym, to ten najgorszy zostaje zastąpiony przez tego najlepszego z poprzedniego pokolenia.



Rys. 2. Krzyżowanie jednopunktowe

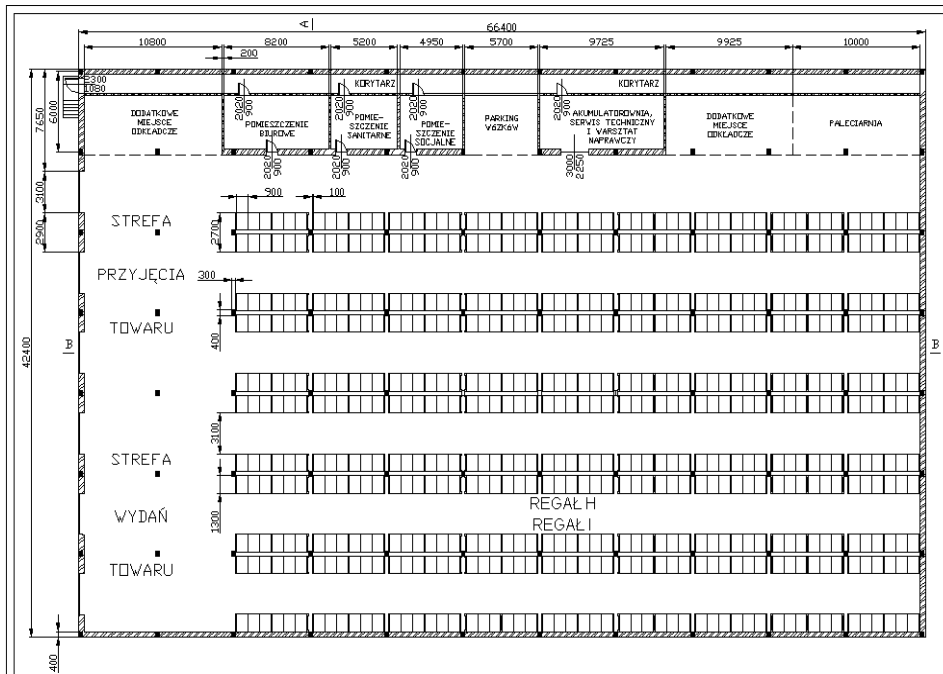


Rys. 3. Mutacja pozycja

Każdy cykl życia chromosomów kończy się oceną i selekcją, w wyniku której do następnego pokolenia przechodzą najczęściej lepiej przystosowane chromosomy. Proces ten powtarza się zadaną liczbę cykli zwaną tu maksymalną długością życia.

Charakterystyka towaru i miejsc składowania

Obliczenia wykonano dla magazynu do przechowywania artykułów szybko rotujących należących do branży spożywczej (rys. 4). Analizę przeprowadzono dla listy artykułów przedstawionej w tab. 1.

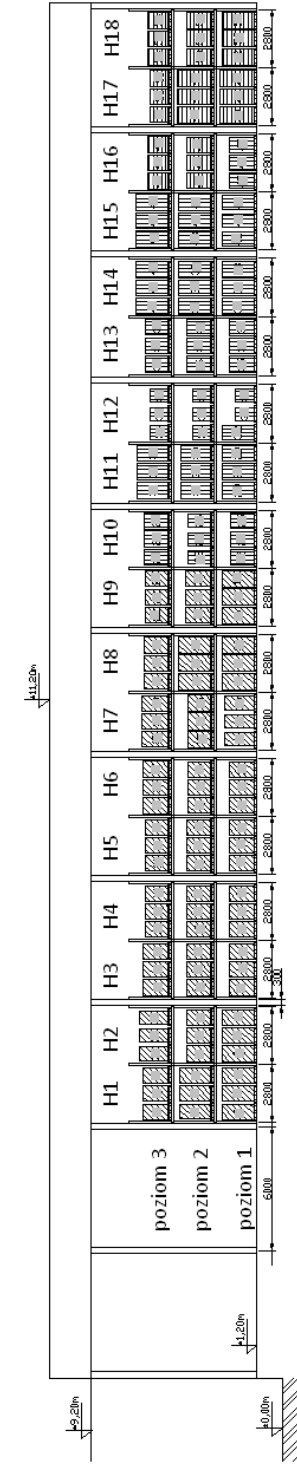


Rys. 4. Magazyn – rzut z góry

Średnia miesięczna liczba pobrań

Lp.	Nazwa produktu	ω_i	Lp.	Nazwa produktu	ω_i
1	Fix do śmietany 12 g	44	28	Tiramisu kartonik ciasto i krem 450 g	24
2	Proszek do pieczenia 15 g	48	29	Ciasto zebra karton 680 g	28
3	Soda oczyszczona 80 g	30	30	Gofry butelka 222 g	24
4	Galaretka truskawkowa 75 g	42	31	Sernik na zimno karton 268 g	26
5	Galaretka pomarańczowa 75 g	42	32	Babka cytrynowa torba 375 g	27
6	Galaretka wiśniowa 75 g	42	33	Ciasto Fale Dunaju torba 562 g	24
7	Galaretka agrestowa 75 g	42	34	Ciasto Straciarella karton 253 g	26
8	Kisiel Słodki Kubek truskawkowy 30 g	45	35	Aromat do ciasta karton	16
9	Kisiel Słodki Kubek wiśniowy 30 g	45	36	Cukier waniliowy 16 g	45
10	Rodzinny budyń czekoladowy 90 g	31	37	Polewa twarda 100 g	30
11	Rodzinny budyń śmietankowy 90 g	31	38	Cukier waniliowy 32 g	44
12	Rodzinny budyń waniliowy 90 g	31	39	Żelatyna 50 g	42
13	Śnieżka bita śmietana 60 g	34	40	Żel-fruit 40 g	26
14	Proszek do pieczenia 30 g	36	41	Cukier żelujący 500 g	25
15	Przyprawa do piernika 40 g	20	42	Kakao do pieczenia torba 200 g	24
16	Kwasek cytrynowy 20 g	22	43	Kakao królewskie karton 100 g	26
17	Kisiel rodzinny 76 g	28	44	Kakao królewskie karton 200 g	26
18	Torcik Romeo i Julia śmietankowo-malinowy	24	45	Kakao królewskie puszka 200 g	26
19	Karpatka ciasto + krem	24	46	Czekolada do picia na gorąco torba 150 g	14
20	Napój Tiger puszka 0,33 l	52	47	Fitella 50 g	18
21	Napój Tiger 4-pak puszki 0,25 l	52	48	Kawa 3 w 1 La Mattina torba 180 g	28
22	Napój Tiger butelka PET 1 l	52	49	Krem do kawy remix torba 260 g	38
23	Napój Tiger butelka PET 0,5 l	52	50	Capuccino torba 100 g	32
24	Napój Tiger butelka szklana 0,25 l	52	51	Pandicream słoik 200 g	20
25	Napój Crazy Wolf puszka 0,25 l	38	52	Pandicream słoik 400 g	20
26	Ciasto czekoladowe torba 680 g	18	53	Tea Familly herbata brzoskwiowa torba 300 g	10
27	Naleśniki butelka 200 g	24	54	Pandichoco słoik 200 g	20

Każdy rodzaj asortymentu był umieszczony na odrębnej palecie, dla której przeznaczono 1 z przygotowanych miejsc na regale H (rys. 5). Czasy przejazdu wózka od rampy do poszczególnych miejsc składowania, a także czasy włożenia palet do regałów zostały wyznaczone na podstawie przeprowadzonych badań. Czasy były mierzone dla wózka wysokiego składowania Neos 14 firmy OMG. Tabela 2 zawiera średnie arytmetyczne z trzech pomiarów.



Rys. 5. Regal H – przekrój podłużny

Tabela 2

Średnie czasy manipulacji wózka widlowego wysokiego składowania Neos 14

Poziom	Regał	i	t _i	Poziom	Regał	i	t _i	Poziom	Regał	i	t _i
1	1H	1	00:13:42	1	7H	19	00:16:57	1	13H	37	00:39:24
2	1H	2	00:13:20	2	7H	20	00:17:32	2	13H	38	00:40:58
3	1H	3	00:15:23	3	7H	21	00:19:29	3	13H	39	00:41:48
1	2H	4	00:13:33	1	8H	22	00:18:07	1	14H	40	00:44:14
2	2H	5	00:14:05	2	8H	23	00:18:35	2	14H	41	00:45:34
3	2H	6	00:16:56	3	8H	24	00:20:04	3	14H	42	00:46:44
1	3H	7	00:14:15	1	9H	25	00:18:33	1	15H	43	00:49:35
2	3H	8	00:15:36	2	9H	26	00:19:23	2	15H	44	00:51:05
3	3H	9	00:16:28	3	9H	27	00:21:19	3	15H	45	00:52:26
1	4H	10	00:15:12	1	10H	28	00:23:28	1	16H	46	00:54:34
2	4H	11	00:16:38	2	10H	29	00:24:54	2	16H	47	00:56:10
3	4H	12	00:17:22	3	10H	30	00:26:20	3	16H	48	00:57:24
1	5H	13	00:15:35	1	11H	31	00:28:38	1	17H	49	01:00:16
2	5H	14	00:16:11	2	11H	32	00:30:11	2	17H	50	01:00:52
3	5H	15	00:17:11	3	11H	33	00:31:28	3	17H	51	01:03:02
1	6H	16	00:16:30	1	12H	34	00:34:11	1	18H	52	01:04:25
2	6H	17	00:17:16	2	12H	35	00:35:37	2	18H	53	01:05:17
3	6H	18	00:19:09	3	12H	36	00:36:28	3	18H	54	01:07:25

Obliczenia

W przedstawionych obliczeniach skoncentrowano się na weryfikacji przydatności zaproponowanego kryterium do rozwiązania sformułowanego na wstępie problemu. Wszystkie obliczenia przeprowadzono dla populacji równej 100. Prawdopodobieństwa krzyżowania i mutacji dla poszczególnych obliczeń przedstawiono w tab. 3. Algorytm, którym posłużono się do obliczeń został przetestowany wcześniej na innych przykładach⁴, dlatego większość obliczeń prze-

⁴ B. Mrówczyńska, Optimal goods distribution in supermarket's store by evolutionary algorithms, AI-METH Series, Gliwice 2007.

prowadzono bez zmian wielkości populacji i wartości prawdopodobieństw użycia operatorów genetycznych. Obliczenia kończyły się po zadanej liczbie kroków. Najczęściej zadawano 1 000 000 kroków. Tabela 3 zawiera wyniki obliczeń.

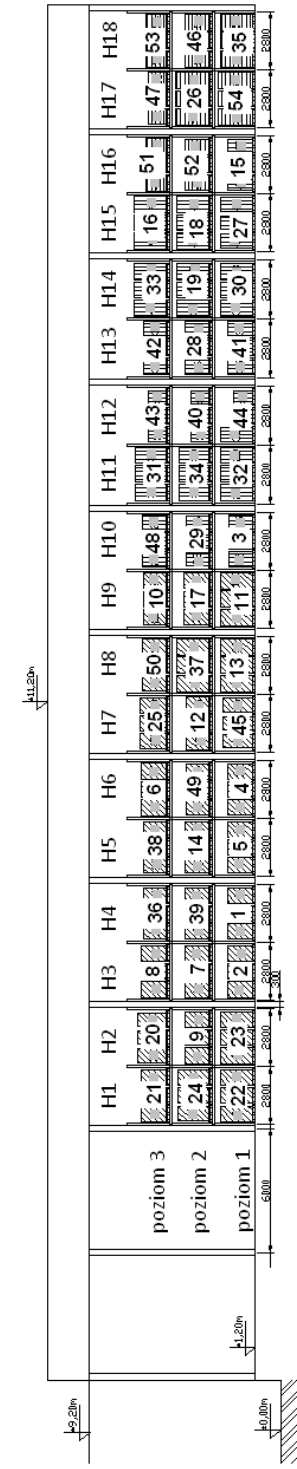
Tabela 3

Wyniki obliczeń

Wariant	Wartość funkcji przystosowania	Wartość średnia	Odchylenie standardowe	Krok, w którym uzyskano rozwiązanie	Prawdopodobieństwa użycia operatorów				
					krzyżowanie jednopunktowe	krzyżowanie dwupunktowe	mutacja pozycją	mutacja porządkiem	mutacja zamianą dwóch przyległych genów
1	6797,715	6598,902	325,543	9960	0,8	0,8	0,3	0,3	0,3
2	6799,134	6525,456	489,998	257246	0,8	0,8	0,3	0,3	0,3
3	6798,966	6789,847	3,323	105712	0,8	0,8	0,01	0,01	0,3
4	6798,971	6791,371	3,837	743733	0,8	0,8	0,01	0,01	0,3
5	6799,106	6606,98	303,045	489900	0,8	0,8	0,1	0,1	0,3
6	6799,134	6701,572	268,658	540419	0,8	0,8	0,1	0,1	0,3
7	6799,134	6352,033	560,666	394251	0,8	0,8	0,3	0,3	0,3
8	6799,134	6263,99	625,209	212367	0,8	0,8	0,3	0,3	0,3
9	6799,134	6393,094	475,516	289398	0,8	0,8	0,3	0,3	0,3
10	6799,134	6513,568	436,679	81077	0,8	0,8	0,3	0,3	0,3
11	6799,134	6659,97	322,919	241435	0,7	0,7	0,2	0,2	0,7
12	6799,134	6639,635	378,308	46184	0,5	0,5	0,2	0,2	0,7

Najwyższą wartość funkcji przystosowania uzyskano w 8 z 12 przeprowadzonych obliczeń. W wariacie 6 uzyskano najwyższą wartość średnią i najniższe odchylenie standardowe w pokoleniu, w którym uzyskano optymalne rozwiązanie. Wynik uzyskano w 540 419 pokoleniu. Średnio wynik uzyskiwano w 284 307 pokoleniu.

Na rys. 6 przedstawiono sposób rozmieszczenia palet z towarem zaproponowany w wariacie 6.



Rys. 6. Regal H – proponowane rozmieszczenie towaru

Podsumowanie

W opracowaniu rozwiązano problem rozmieszczania towaru na półkach magazynu tak, aby czas przejazdu wózka widłowego od regałów, na których przechowywany jest towar do strefy wydań oraz czas potrzebny na manipulacje towarem był minimalny. Do rozwiązania zastosowano algorytm ewolucyjny, który okazał się skutecznym narzędziem, uzyskując w obliczeniach bardzo dobre rezultaty w 67%. W obliczeniach skoncentrowano się na weryfikacji przydatności zaproponowanego kryterium do rozwiązania sformułowanego na wstępie problemu. Efektywność obliczeń może zostać jeszcze poprawiona np. po zastosowaniu bardziej odpowiednich dla rozpatrywanego zadania operatorów krzyżowania. Prace nad tym zagadnieniem będą kontynuowane.

LOCATING GOODS IN WAREHOUSE TAKING INTO ACCOUNT THE TRANSPORT TIME

Summary

The paper deals with a problem of proper distribution of goods on warehouse shelves. There is formulated the task of minimising the travel time of forklift from the shelves where goods are stored to release zone. The evolutionary algorithm was used to solve it.