

ТАБУ ТЪРСЕНЕ ЗА ЕФЕКТИВНО УПРАВЛЕНИЕ НА МАРШРУТИ НА ТРАНСПОРТНО ОБОРУДВАНЕ

Симеон Монов, Николай Павлов, Асен Рахнев

Резюме. Разработихме алгоритъм за Табу търсене за по-нататъшно подобряване на ефективността на планирането и разпределението на задачи, свързани с движението на контейнерите в контейнерни терминали в сравнение с нашия евристичен (алчен) алгоритъм, базиран на унгарския метод и нашия генетичен алгоритъм (ГА). Също така изследвахме въздействието на различни подходи за първоначалното решение за Табу търсене. При тестване с първоначалното решение, резултата от Алчния алгоритъм постигаме подобрене от 6,08% и 10,24% за общите разходи и времето за пътуване без превоз на контейнер на порталните кранове, но не успяваме да постигнем осезаемо подобрене за при хоризонтално транспортно оборудване. При тестовете с първоначалното решение, базирано на резултатите от Генетичен Алгоритъм, не наблюдаваме реално подобрене в общите разходи, но постигаме подобрене на времето за пътуване без превоз на контейнер от 12,65% за хоризонтално транспортно оборудване и 1,01% за портални кранове.

Ключови думи: оптимизация, маршрутизиране на превозни средства, контейнерен терминал, оборудване за обработка на контейнери, генетичен алгоритъм, табу търсене, алчен алгоритъм.

Въведение

В [1] и [2] са разгледани два алгоритъма, които успяват да постигнат много добри резултати за решаване на оптимизационния проблем за планиране и разпределение на задачи, свързани с движението на контейнери в пристанища на контейнерни терминали. В тази разработка предлагаме Табу търсене за подобряване на тези резултати. Алчният алгоритъм, разгледан в [1], предлага евристика, която успява да постигне много добри резултати, и е идеален кандидат за начално решение за инициализация на Табу търсене. Генетичният алгоритъм, разгледан в [2], е алгоритъм за глобално търсене и като такъв успява да намери реше-

ние много близко до най-доброто решение на проблема. Ако резултатът от ГА се ползва за начално решение за инициализация, Табу търсенето трябва да успее да „претърси“ близките решения и да се доближи още повече (или намери точно) до най-доброто решение на проблема.

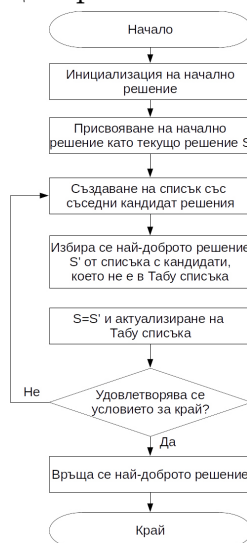
Табу търсене

Табу търсене (Tabu Search, TS) е метаевристичен метод за търсене, който използва методи за локално търсене, създаден от Фред Глоувър през 1986 г. [3] и формализиран през 1989 и 1990 г. [4, 5]. Табу търсенето е много популярен алгоритъм за решаване на оптимизационни задачи.

Алгоритмите за локално търсене взимат потенциално решение и проверяват най-близките съседи (решения, които са подобни с изключение на много малки разлики) с надеждата да намерят по-добро решение. Алгоритмите за локално търсене имат тенденция да „заседнат“ в неоптимални региони, където решенията са почти еднакви (имат еднаква или много близка целева функция).

Табу търсенето подобрява стандартното локално търсене, като релаксира основното правило.

1. На всяка стъпка по-лоши кандидати може да бъдат използвани само ако не могат да се намерят по-добри.
2. Използват се „забрани“ (от там идва „tabu“), за да не позволяват търсенето да се връща при вече посетени решения.



Фигура 1. Блок схема на Табу търсене

На Фигура 1 може да се види блок схема как работи Табу търсе-

нето.

Много често Табу търсенето се ползва за подобряване на резултатите от други алгоритми (като алчни, както и алгоритми за глобално търсене – Генетичен Алгоритъм). В други случаи Табу търсене се интегрира (в нов хибриден алгоритъм) в други алгоритми за подобряване на взетите решения по време на изпълнението им. Например Табу търсене може да се ползва за подобряване на новите кандидат индивиди след мутация или подобряване на прото-децата, генерирани от оператора за кръстосване в Генетичните алгоритми.

Изследвания използващи Табу търсене за планиране и разпределение на задачи, свързани с движението на контейнерите

[6] представят интегриран модел за планиране на оборудването. Целта е да се сведе до минимум разходът или времето, необходимо за обслужване на даден набор от кораби. Проблемът е формулиран като проблем за планиране на хибриден поток с ограничения. За решаване на този проблем се предлага Табу търсене. Разработени са определени механизми и се въвеждат в алгоритъма за да се гарантира неговото качество и ефективност. Авторите анализират производителността на алгоритъма от изчислителна гледна точка.

[7] проучват проблема с планирането на кранове в блоковете за съхранение за извършване на даден набор от товаро-разтоварни дейности с различни времена на готовност в зоната на двора. Целта е да се сведе до минимум сумата от времената за завършване на задачите. Тъй като проблемът е NP-пълн, се предлага нов хибриден оптимизационен алгоритъм, комбиниращ техниките на генетичния алгоритъм и табу търсене (GA-TS), за да реши проблема. Два нови оператора, а именно Tabu Search Crossover и Tabu Search Mutation, са въведени в предложения алгоритъм, за да се осигури ефективно изчисление. Резултатите от тестовете ясно показват, че GA-TS може успешно да локализира рентабилни решения, които са средно с 20% по-добри от тези, намирани от GA.

[8] проектират модел за планиране и го прилагат в контейнерни терминали на морски пристанища, като вземат предвид фактори като оборудване за обработка на контейнери, трудови ресурси, капацитет за съхранение и разположение на терминала. Основните фактори, влия-

ещи върху ефективността на трансфера на контейнери, се анализират, за да се оптимизира използването на ресурсите, което води до по-ниски оперативни разходи, като същевременно се постигне желаното ниво на обслужване на клиентите. Табу търсене се използва за сравняване на резултатите от пристанището в Бризбейн с Генетичен алгоритъм (GA).

[9] предлагат интегриран оптимизационен подход за едновременно определяне на графици на крановете в блоковете за съхранение и на местата за паркиране на превозни средства под движението на Чебишев, позволявайки едновременното движение на портала и количката на крана за двор. Формулиран е модел на смесено целочислено програмиране, за да се оптимизира проблема. Двуетапният евристичен алгоритъм, базиран на Табу търсене, е разработен за ефективно решаване на проблема.

Разработен алгоритъм за Табу търсене

Нашият алгоритъм следва схемата на стандартно Табу търсене, като използва специфични оператори за инициализация и намиране на съседи.

Представяне на решенията

В предложения алгоритъм табу решението е представено като валидна хромозома, която се използва в генетичния алгоритъм, описана в [2].

Начално решение

Три вида начални решения се използват:

1. Случайно генерирано начално решение. Началното решение се генерира по същия алгоритъм, използван в [2] за генериране на случайна първоначална популация.
2. Началното решение се инициализира от резултата на Алчния алгоритъм [1].
3. Началното решение се инициализира от резултата на Генетичен алгоритъм [2].

Генериране на съседни решения

Понеже всяко табу решение е представено от хромозома, нашият алгоритъм може да използва генетичните оператори, разработени в [2]. Това автоматично прави нашият алгоритъм съвместим с всичките свойс-

тва, поддържани от генетичния алгоритъм, като поддръжка на зависимости между преместванията. За намиране на съседни решения използваме генетичния оператор за мутации.

Табу списък

Табу списъкът е съставен от табу решения (хромозоми), които вече са избрани като най-добри от съседите. Табу списъкът има лимит на големина. Всяко ново решение се добавя в края на списъкът и ако списъкът се напълни (стигне лимита на големина), най-старото решение се премахва.

Резултати и изводи

Описаният алгоритъм е тестван и резултатите са сравнени с резултатите от алчния и генетичния алгоритми [1, 2]. Генетични алгоритми и Табу търсене са алгоритми, които в зависимост от конфигурацията на различни параметри като брой итерации, големина на обществото и др. може да изискват много компютърни ресурси. Различните параметри на тези алгоритми може да имат голямо влияние върху резултатите. Тези алгоритми също така могат лесно да бъдат написани да работят в разпределени системи, и да се възползват от автоматизирана мащабируемост на инфраструктурата [10]. За целите на тази статия сме използвали платформа с Intel i7-8565U CPU@1.80GHz процесор с 4 ядра и 32GB памет за тестване на различните сценарии. Направени са няколко теста с различно първоначално решение:

- случайно генерирано;
- използва се резултата от Алчен алгоритъм;
- използва се резултата от Генетичен алгоритъм.

Тествани са сценарии за два вида оборудване: хоризонтален транспорт и кранове на подреждане в блоковете за съхранение.

Използвани са следните параметри за конфигурация на ГА:

Параметър	Стойност
Големина на обществото	100
Максимален брой генерации	100
Максимален брой итерации без подобрене	5
Вероятност за кръстосване	70%
Вероятност за мутации	20%

Таблица 1. Конфигурация на Генетичен Алгоритъм

Конфигурация на Табу търсене:

Параметър	Стойност
Минимална големина на списъка със съседни	40
Максимална големина на списъка със съседни	50
Големина на Табу списък	30
Максимален брой итерации	200
Максимален брой итерации без подобрене	10

Таблица 2. Конфигурация на Табу търсене

Таблицы 3 и 4 показват сравнение на резултатите за общи разходи на Табу търсене със случайно първоначално решение, сравнени със същите резултати от Алчен и Генетичен и алгоритъм.

От таблици 3 и 4 се вижда ясно, че Табу търсене със случайно първоначално решение не подобрява общите резултати.

Таблицы 5 и 6 отчитат подобряването на общите разходи и времето за пътуване без превоз на контейнер (hh:mm:ss) за хоризонтален транспорт и кранове, работещи в блоковете за съхранение, чрез използването на Табу търсене с първоначално решение резултата от Алчен алгоритъм [1].

Брой премествания	Брой ОПК единици	Алчен алгоритъм	Табу алгоритъм със случайно първоначално решение	Подобрение %
100	1	757842.50	844528.50	-11,44%
100	2	694912.50	804658.75	-15,79%
100	4	643383.50	774290.25	-20,35%
1000	20	1292679.75	7933832.50	-513,75%
1000	40	390590.00	6125428.00	-1468,25%
100	1	792607.25	810281.50	-2,23%
100	2	594404.25	838414.25	-41,05%
100	4	332024.75	770704.00	-132,12%
1330	21	1653538.00	3917569.75	-136,92%
100	1	853672.00	890424.00	-4,31%
100	2	751279.00	921938.50	-22,72%
100	4	549090.50	895250.50	-63,04%
1001	20	12005741.75	14763388.50	-22,97%
42	2	27150.25	26609.50	1,99%
107	2	44287.00	47407.25	-7,05%
23	2	13990.50	13801.75	1,35%
Средно подобрене:				-153,67%

Таблица 3. Сравнение на общи разходи между Алчен Алгоритъм и Табу алгоритъм със случайно първоначално решение

Брой премествания	Брой ОПК единици	Алчен алгоритъм	Табу алгоритъм със случайно първоначално решение	Подобрение %
100	1	757832,25	844528.50	-11,44%
100	2	806803	804658.75	0,27%
100	4	732615,75	774290.25	-5,69%
1000	20	1465976,5	7933832.50	-441,20%
1000	40	345075	6125428.00	-1675,10%
100	1	776876,25	810281.50	-4,30%
100	2	709919,75	838414.25	-18,10%
100	4	450952,75	770704.00	-70,91%
1330	21	2458403,25	3917569.75	-59,35%
100	1	848332,75	890424.00	-4,96%
100	2	870027,5	921938.50	-5,97%
100	4	852692,25	895250.50	-4,99%
1001	20	12010542,25	14763388.50	-22,92%
42	2	27086,75	26609.50	1,76%
107	2	38331	47407.25	-23,68%
23	2	13995,75	13801.75	1,39%
Средно подобрение:				-146,57%

Таблица 4. Сравнение на общи разходи между Генетичен Алгоритъм и Табу алгоритъм със случайно първоначално решение

Брой премествания	Брой ОПК единици	Общи разходи			Време за пътуване без превоз		
		Алчен алгоритъм	Табу + алчен алгоритъм	Подобрение %	Алчен алгоритъм	Табу + алчен алгоритъм	Подобрение %
100	1	757842.50	756230.50	0,21%	1:20:16	1:12:16	9,97%
100	2	694912.50	697124.25	-0,32%	1:09:04	1:26:35	-25,36%
100	4	643383.50	628050.00	2,38%	1:14:36	1:20:32	-7,95%
1000	20	1292679.75	1325280.25	-2,52%	13:50:37	14:10:19	-2,37%
1000	40	390590.00	388734.00	0,48%	10:51:10	10:41:00	1,56%
100	1	792607.25	776876.25	1,98%	0:56:05	0:54:39	2,56%
100	2	594404.25	644443.00	-8,42%	1:19:27	1:18:28	1,24%
100	4	332024.75	328194.25	1,15%	1:49:07	1:54:09	-4,61%
1330	21	1653538.00	1736174.50	-5,00%	22:34:20	21:20:42	5,44%
100	1	853672.00	886006.00	-3,79%	5:50:00	5:50:00	0,00%
100	2	751279.00	823331.00	-9,59%	5:48:28	5:46:12	0,65%
100	4	549090.50	754092.50	-37,33%	5:42:58	5:35:06	2,29%
1001	20	12005741.75	12123175.25	-0,98%	21:04:15	13:55:21	33,93%
Средно подобрение:				-4,75%			1,33%

Таблица 5. Подобрение на общите разходи и времето за пътуване без превоз чрез Табу търсене и Алчен алгоритъм за хоризонтален транспорт

Брой премествания	Брой ОПК единици	Общи разходи			Време за пътуване без превоз		
		Алчен алгоритъм	Табу + алчен алгоритъм	Подобрение %	Алчен алгоритъм	Табу + алчен алгоритъм	Подобрение %
42	2	27150.25	26363.00	2,90%	1:51:34	1:37:41	12,44%
107	2	44287.00	39723.00	10,31%	1:54:47	1:36:44	15,73%
23	2	13990.50	13286.00	5,04%	0:41:49	0:40:45	2,55%
Средно подобрение:				6,08%			10,24%

Таблица 6. Подобрение на общите разходи и времето за пътуване без превоз чрез Табу търсене и Алчен алгоритъм за кранове, работещи в блоковете за съхранение

Таблицы 7 и 8 отчитат подобряването на общите разходи и времето за пътуване без превоз на контейнер (hh:mm:ss) за хоризонтален транспорт и кранове, работещи в блоковете за съхранение, чрез използването на Табу търсене с първоначално решение резултата от Генетичен алгоритъм [2].

Брой премествания	Брой ОПК единици	Общи разходи Табу			Време за пътуване без превоз Табу		
		Генетичен алгоритъм	+ генетичен алгоритъм	Подобрение %	Генетичен алгоритъм	+ генетичен алгоритъм	Подобрение %
100	1	757818	757784.25	0,00%	1:18:38	1:16:23	2,86%
100	2	782848	782782.25	0,01%	2:19:50	2:11:15	6,14%
100	4	747695,75	723825.75	3,19%	3:17:49	3:16:15	0,79%
1000	20	1489772,5	1541414.00	-3,47%	14:26:52	14:06:58	2,30%
1000	40	321352,5	338706.25	-5,40%	10:53:00	10:49:41	0,51%
100	1	771228	771239.00	0,00%	0:53:36	0:54:20	-1,37%
100	2	702624	733604.50	-4,41%	1:30:06	1:34:38	-5,03%
100	4	506589,5	448815.75	11,40%	1:47:52	1:43:41	3,88%
1330	21	2501314,25	2561139.75	-2,39%	23:43:45	1:15:47	94,68%
100	1	874004	858071.50	1,82%	5:46:08	5:44:46	0,39%
100	2	859039,5	840884.50	2,11%	5:45:42	5:43:46	0,56%
100	4	789857	800486.50	-1,35%	5:42:04	5:37:30	1,34%
1001	20	12024617,25	12034324.25	-0,08%	18:15:33	7:45:57	57,47%
Средно подобрение:				0,11%	12,65%		

Таблица 7. Подобрение на общите разходи и времето за пътуване без превоз чрез Табу търсене и Генетичен алгоритъм за хоризонтален транспорт

Брой премествания	Брой ОПК единици	Общи разходи Табу			Време за пътуване без превоз Табу		
		Генетичен алгоритъм	+ генетичен алгоритъм	Подобрение %	Генетичен алгоритъм	+ генетичен алгоритъм	Подобрение %
42	2	27536,75	27136.75	1,45%	1:43:32	1:40:23	3,04%
107	2	37994,75	37994.75	0,00%	1:32:37	1:32:37	0,00%
23	2	12951,25	12951.25	0,00%	0:40:40	0:40:40	0,00%
Средно подобрение:				0,48%	1,01%		

Таблица 8. Подобрение на общите разходи и времето за пътуване без превоз чрез Табу търсене и Генетичен алгоритъм за кранове, работещи в блоковете за съхранение

Заклучение

В тази статия беше представена авторска реализация на алгоритъм за табу търсене, който използва специализирани генетични оператори за инициализация и мутация (за генериране на съседни решения), описани в [2], които взимат предвид спецификата на разглеждания проблем, както и поддържат зависимости между отделните задачи.

Тестовите на представения алгоритъм показват, че той успява да подобри резултатите, постигнати от алгоритмите, описани в [1] и [2]. Това показва, че има голям потенциал в използването на Табу търсене в

планиране и разпределение на задачи, свързани с движението на контейнерите в пристанищата на контейнерни терминали.

Благодарности

Това изследване е финансирано по проект ФП21-ФМИ-002 към фонд „Научни изследвания“ към ПУ „Паисий Хилендарски“.

Литература

- [1] S. Monov, V. Kostadinov, N. Pavlov, Routing Transportation Equipment Using Heuristic Algorithms, *International Journal of Differential Equations and Applications*, 2022, Vol. 21, No. 1, 77–84, ISSN (Print): 1311-2872; ISSN (Online): 1314-6084, doi: 10.12732/ijdea.v21i1.6, <https://www.ijpam.eu/en/index.php/ijdea/article/view/5987/272>.
- [2] S. Monov, N. Pavlov, A. Rahnev, Improving Efficiency of Routing Transportation Equipment using Genetic Algorithms, *International Journal of Differential Equations and Applications*, 2022, Vol. 21, No. 1, pp. 105–116, ISSN (Print): 1311-2872; ISSN (Online): 1314-6084, doi:10.12732/ijdea.v21i1.9, <https://www.ijpam.eu/en/index.php/ijdea/article/view/5994/278>.
- [3] F. Glover, Tabu search: A tutorial, *Interfaces*, 1990, 20 (4), 74–94, <https://doi.org/10.1287/inte.20.4.74>.
- [4] F. Glover, Tabu search—part I, *ORSA Journal on computing*, 1989, 1 (3), 190–206, <https://doi.org/10.1287/ijoc.1.3.190>.
- [5] F. Glover, Tabu search—part II, *ORSA Journal on computing*, 1990, 2 (1), 4–32, <https://doi.org/10.1287/ijoc.2.1.4>.
- [6] L. Chen, N. Bostel, P. Dejax, J. Cai, L. Xi, A tabu search algorithm for the integrated scheduling problem of container handling systems in a maritime terminal, *European Journal of Operational Research*, 2007, 181 (1), 40–58, <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.06.033>.
- [7] M. Ling, S. Di, A scheduling method for cranes in a container yard with inter-crane interference, *Electronic engineering and computing technology*, Springer, Dordrecht, 2010, 715–725, https://doi.org/10.1007/978-90-481-8776-8_61.
- [8] P. Preston, E. Kozan, A tabu search technique applied to scheduling container transfers, *Transportation planning and technology*, 2001, 24 (2), 35–153, <https://doi.org/10.1080/03081060108717664>.

- [9] C. Zhou, B. Lee, H. Li, Integrated optimization on yard crane scheduling and vehicle positioning at container yards, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2020, 138, 101966, <https://doi.org/10.1016/j.tre.2020.101966>.
- [10] Р. Христов, А. Голев, Клъстерни системи. Автоматизирано инсталиране и добавяне на възли в съществуващи клъстери, *Сборник с доклади от Юбилейна международна научна конференция „Компютърни технологии и приложения“*, (СТА'2021), Пампорово, 15–17.09.2021 г., стр. 63–70, ISBN: 978-619-202-702-5, <http://fmi-plovdiv.org/GetResource?id=3951>.

Симеон Монов^{1,*}, Николай Павлов², Асен Рахнев³
^{1,2,3} Пловдивски университет „Паисий Хилендарски“
Факултет по математика и информатика,
бул. „България“ 236, Пловдив, България
Автор за кореспонденция: smonov@uni-plovdiv.bg

IMPROVING EFFICIENCY OF ROUTING TRANSPORTATION EQUIPMENT USING TABU SEARCH

Simeon Monov, Nikolay Pavlov, Asen Rahnev

Abstract. *We develop a Tabu search algorithm for further improving the efficiency of equipment transportation routing and schedules compared to our heuristic (greedy) algorithm based on the Hungarian method and our genetic algorithm (GA). We investigate the impact of different approaches to setting the Tabu search initial solution. When tested with Greedy initial solution, we achieve an improvement of 6,08% and 10,24% for the total schedule costs and empty travel time of stacking cranes but fail to achieve tangible improvement for horizontal transportation equipment. When tested with the initial solution based on the output of the GA, we observe no real improvement in the total schedule cost but we achieve improvement in the empty travel time of 12,65% for horizontal transportation equipment and 1,01% for stacking cranes.*

Key Words: optimization, vehicle routing problem, container-handling equipment, container terminal, genetic algorithm, tabu search, greedy algorithm.