

ФИНАНСЫ, ДЕНЕЖНОЕ ОБРАЩЕНИЕ И КРЕДИТ FINANCE, MONEY AND CREDIT

Составление расписания загрузки оборудования в среде MS Excel Scheduling of equipment using MS Excel

УДК 330.101

Н. В. Катаргин, Финансовый университет
при Правительстве РФ (Москва, Россия)

N. V. Katargin, Financial University under
the Government of the Russian Federation
(Moscow, Russia)

Предлагается технология разработки расписаний загрузки оборудования с использованием эволюционного поиска решения, входящего в состав сервиса «Поиск решения» MS Excel.

Ключевые слова: расписание, очередность, MS Excel, генетический алгоритм, VBA.

The technology for scheduling of the equipment utilization using Evolutionary solver that is part of the Solver in MS Excel.

Keywords: Scheduling, sequence, MS Excel, genetic algorithm, VBA.

Введение

Данная работа инициирована статьей [5] и докладом одного из ее авторов — Бориса Голденгорина из Университета Огайо на семинаре в Высшей школе экономики. Тематика работы — составление расписаний, в данном случае — расписания загрузки оборудования при последовательном выполнении работ с учетом их приоритета. Этому вопросу уделяется большое внимание, опубликовано большое количество работ [3, 4, 6 и др.].

В отличие от [5], прерывание выполнения работы ради другой с более высоким приоритетом не предполагается.

Постановка задачи: требуется минимизировать функционал $\sum W_j C_j$, где W_j — приоритет

j -й работы, C_j — время ее завершения. Заданы длительность каждой работы T_j и время R_j , ранее которого работа не может быть начата.

Авторы работы [5] использовали эвристические методы (weighted shortest remaining processing time WSRPT) с многократным перебором. В данной работе исследован эволюционный поиск решения, встроенный в сервис «Поиск решения» Excel. Эволюционный, или Генетический алгоритм — это эвристический алгоритм поиска, используемый для решения задач оптимизации и моделирования путем случайного подбора, комбинирования и вариации искомым параметров с использованием механизмов, аналогичных естественному отбору в природе. Является разновидностью эволюционных вычислений, с помощью которых решаются оптимизационные задачи с использованием методов естественной эволюции, таких как наследование, мутации, отбор и кроссинговер. Отличительной особенностью генетического алгоритма является акцент на использовании оператора «скрещивания», который производит операцию рекомбинации решений-кандидатов, роль которой аналогична роли скрещивания в живой природе. Этот алгоритм описан в учебниках [1, 2].

В данной работе использован *Эволюционный поиск решения*, встроенный в сервис «Поиск решения» Excel, что позволило использовать

его как «чёрный ящик», не вникая в алгоритм работы программы.

Вычисления проводились для 20 работ различной длительности, для одной и двух единиц оборудования («станков»).

В Таблице 1 представлены исходные данные (первые 4 из [5]), а также полученные планы последовательности выполнения работ на одном станке (Plan X1) и на двух станках (Plan X2). Например, число 17 в Plan X1 означает, что работа № 1 имеет очередь № 17, а число 4 в Plan X2 означает, что работа № 1 имеет очередь № 4 и выполняется на станке № 0. В первом случае комплекс работ выполняется за 20 шагов, во втором — за 10, поэтому Plan X2 разделен на 2 группы, и на одинаковых шагах выполняются различные работы на разных станках.

Алгоритм расчетов при использовании одного станка

Таблицы для расчетов формируются следующим образом. Произвольный опорный план Plan X1 вводится в ячейки D10:W10 под исходными данными. Каждое число в Plan X1 означает номер очереди работы Work j. В таблице Plan X по горизонтали идут номера работ (D13:W13), по вертикали — шаги выполнения плана (очередность работ, C14:C33). Единица означает выполнение работы на данном шаге. В ячейку D14 вводится формула =ЕСЛИ(ABS(D\$10-\$C14)<0,5;1;0), которая копируется на всю таблицу. Обратите внимание на фиксацию строки 10 и столбца C.

Проверяется соответствие номера шага и числа в Plan X1. Поскольку на каждом шаге станок должен быть занят, и все работы должны быть выполнены, суммы по строкам и столбцам этой таблицы должны равняться 1, что задается в Ограничениях Поиска решения.

В следующей таблице формируется время выполнения работы на каждом шаге на основании Плана X1: X*Tj. В ячейку D37 вводится формула =D14*D\$6, в ячейках Y37:Y56 формируются суммы по строкам Sum1. В столбце AA37:AA56 формируются времена окончания работ Cj. В AA37 копируется Y37, в AA38 формула =AA37+Y38, которая копируется вниз. Времена начала работ (номера шагов) формируются в столбце AC36:AC57 по формуле Cj-Sum1+1 (=AA37-Y37+1).

Далее формируется столбец весов работ на каждом шаге Sum2. В ячейку D59 вводится формула =D14*D\$7, то есть X*Wj, и копируется на всю таблицу. Суммы по строкам Sum2 формируются в столбце Y56:Y78.

Аналогично формируются возможные времена начала работ. В ячейку D82 вводится формула =D14*D\$8, то есть X*Rj, и копируется на всю таблицу. Суммы по строкам Sum3 формируются в столбце Y82:Y101. В ограничениях Поиска решения AC36:AC57>= Y82:Y101.

Наконец, вычисляются времена окончания работ с учетом их приоритетов X*Cj*Wj. В ячейку AE37 вводится формула =AA37*Y59. Сумма по столбцу AE37:AE56 — целевая функция, которую надо минимизировать.

Параметры Поиска решения:

Целевая ячейка AE58=>min, изменяя ячейки D10:W10 (Plan X1), ограничения: D10:W10 целые, разные, Y14:Y33=1, D34:W34=1 (станок работает всегда, все работы выполнены), AC36:AC57>= Y82:Y101 (работы начинаются не раньше заданного срока. Используется Эволюционный поиск решения.

При разных опорных планах получаются разные решения, или решение не получается. Меняйте опорные планы. Время расчета менее одной минуты.

Таблица 1

	C	D	E	F		V	W	Y		AA	AC	AE
5	Workj	1	2	3	....	19	20					
6	Tj	3	2	2	....	2	1					
7	Wj	1	3	7	....	1	3					
8	Rj	1	3	4	....	4	3					
9		....	....	....	....	....	....
10	Plan X1	17	2	5	....	18	6					
11												
12		Plan X						Sum				
13	Step	1	2	3	....	19	20					
14	1	0	0	0	....	0	0	1				

15	2	0	1	0	...	0	0	1				
				
32	19	0	0	0	...	0	0	1				
33	20	0	0	0	...	0	0	1				
34	Sum	1	1	1	...	1	1					
35												
36		X*Tj						Sum1	Cj=	SumSum1-		
									SumSum1	Sum1+1	X*Cj*Wj	
37	1	0	0	0	...	0	0	2	2	1	4	
38	2	0	2	0	...	0	0	2	4	3	12	
	
55	19	0	0	0	...	0	0	4	52	49	104	
56	20	0	0	0	...	0	0	2	54	53	54	
57												
58		X*Wj						Sum2		Target	1310	
59	1	0	0	1	...	0	0	2			=>min	
60	2	0	3	2	...	0	0	3				
				
77	19	0	0	0	...	0	0	2				
78	20	0	0	0	...	0	0	1				
81		X*Rj						Sum3				
82	1	0	0	0	...	0	0	1				
83	2	0	3	0	...	0	0	3				
				
100	19	0	0	19	...	0	0	8				
101	20	0	0	20	...	0	0	1				

Алгоритм расчетов при использовании двух станков

В этом случае план делится на две половины, число шагов уменьшается до 10, каждой работе ставится соответственно станок 0 или 1. Таблицы составляются для каждого станка отдельно. Ячейки в таблице Plan X для станка 0 заполняются по формуле

$$= \text{ЕСЛИ}(\text{И}((\text{ABS}(\text{D}\$10 - \text{C}\$16) < 0,5)); (\text{D}\$11 < 0,5)); 1; 0),$$

которая вводится в ячейку D16. Ячейки в таблице Plan X для станка 1 заполняются по формуле

$$= \text{ЕСЛИ}(\text{И}((\text{ABS}(\text{D}\$10 - \text{C}\$16) < 0,5)); (\text{D}\$11 > 0,5)); 1; 0),$$

которая вводится в ячейку Y16. Заполнение остальных таблиц аналогично заполнению таблиц для одного станка.

Каждый станок должен быть загружен, поэтому суммы по строкам таблиц Планов X для 0 и 1 станков должны равняться 1, суммы по столбцам D26:W26 и Y26:AR26 могут быть равны 0, но суммы этих сумм D27:W27 должны равняться 1, чтобы все работы были выполнены.

Расчёты для Cj=SumSum1, SumSum1-Sum1+1 и X*Cj*Wj проводятся аналогично, но для каждого станка отдельно. Целевая функция — максимум (или сумма) из $\sum X*Cj*Wj$ двух станков.

Параметры Поиска решения:

Целевая функция target AZ42=>min,

Изменяя ячейки D10:W11, номер очереди работы и станок,

Ограничения: D10:W10 целые, D10:M10 разные, N10:W10 разные, D11:W11 бинарные (станки), X16:25=1, A16:25=1 (Загрузка всех станков); D27:W27=1 (выполнение всех работ); AW29:AW38 >=X54:X63; AX29:AX38 >=AS54:ASX6 (SumSum1-Sum1+1 >= заданного времени начала работы); *Эволюционный поиск решения.*

Пример расчетов представлен в прил. 1. Время расчета — около 30 сек.

Планы и времена окончания комплекса работ target получаются различные, в зависимости от опорных планов. Примеры представлены в прил. 2.

Практика показала, что *Поиск решения* не достигает решения: не получаются единицы в суммах по строкам планов станков, получаются нули и двойки. Это значит, что на каких-то шагах один станок выполняет две работы, а дру-

гой простаивает. Это можно устранить вручную, но разработан программный модуль, который находит отличия от 1 и заменяет в строке D11:W11 1 и 0, чтобы минимизировать целевую ячейку. Модуль приведен в прил. 3.

Выводы

Разработанная технология может быть использована для составления расписаний загрузки станков на производстве, перегонов на железной дороге, оборудования в больницах.

Список литературы

1. Гладков Л. А., Курейчик В. В., Курейчик В. М. Генетические алгоритмы. М: Физматлит, 2006. 320 с.
2. Емельянов В. В., Курейчик В. В., Курейчик В. М. Теория и практика эволюционного моделирования. М.: Физматлит, 2003. 432 с.
3. Akker J. M., Diepen G., Hoogeveen J. A. Minimizing total weighted tardiness on a single machine with release dates and equal-length jobs // J. Sched. 2010. no.13(6). pp. 561—576.
4. Anderson E. J., Potts C. N. Online scheduling of a single machine to minimize total weighted completion time // Math. Oper. Res. 2004, pp. 686—697.
5. Batsyn M., Goldengorin B., Pardalos P., Sukhov P. Online heuristic for the preemptive single machine scheduling problem of minimizing the total weighted completion time // Optimization Methods & Software. 2014. Vol. 29. no.5. pp. 955—963. URL: <http://dx.doi.org/10.1080/10556788.2013.854360> (дата обращения: 17.01.2017).
6. Belouadah H., Posner M. E., Potts C. N. Scheduling with release dates on a single machine to minimize total weighted completion time // Discrete Applied Mathematics, 1992. pp. 213—231.

References

1. Gladkov L. A., Kureichik V. V., Kureichik V. M. *Geneticheskie algoritmi* [Genetic Algorithms]. Moscow: Fizmatlit, 2006. 320 p.
2. Emelyanov V. V., Kureichik V. V., Kureichik V. M. *Teoriya i praktika evolyutsionnogo modelirovaniya* [Theory and Practice of the Evolutionary Modelling]. Moscow: Fizmatlit, 2003. 432 p.
3. Akker J. M., Diepen G., Hoogeveen J. A. Minimizing total weighted tardiness on a single machine with release dates and equal-length jobs // J. Sched, 2010, no.13(6), pp. 561—576.
4. Anderson E. J., Potts C. N. Online scheduling of a single machine to minimize total weighted completion time // Math. Oper. Res. 2004, pp. 686—697.
5. Batsyn M., Goldengorin B., Pardalos P., Sukhov P. Online heuristic for the preemptive single machine scheduling problem of minimizing the total weighted completion time // Optimization Methods & Software, 2014, Vol. 29, no. 5, pp. 955—963. Available at: <http://dx.doi.org/10.1080/10556788.2013.854360> (accessed:17.01.2017).
6. Belouadah H., Posner M. E., Potts C. N. Scheduling with release dates on a single machine to minimize total weighted completion time // Diskretnaja Prikladnaja Matematika, 1992, pp. 213—231.

Для цитирования: Катаргин Н. В. Составление расписания загрузки оборудования в среде MS Excel // Корпоративное управление и инновационное развитие экономики Севера: Вестник Научно-исследовательского центра корпоративного права, управления и венчурного инвестирования Сыктывкарского государственного университета. 2017. № 1. С. 158—163.

For citation: Katargin N. V. Scheduling of equipment using MS Excel // Corporate governance and innovative economic development of the North: Bulletin of the Research Center of Corporate Law, Management and Venture Capital of Syktyvkar State University. 2017. № 1. P. 158—163.

Приложение 2

Результаты расчетов

Планы для одного станка:

План: очередь работ, указанных в первой строке																				
target	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1284	20	5	3	4	15	13	12	8	7	9	11	1	17	10	6	16	14	19	18	2
1294	20	8	3	2	14	13	12	6	7	10	1	11	17	9	4	16	15	18	19	5
1300	20	8	4	3	15	13	12	9	6	10	11	1	19	5	7	16	14	18	17	2
1290	20	8	3	2	14	13	12	5	6	10	1	11	17	9	4	16	15	19	18	7
1269	20	8	4	3	15	13	12	6	7	10	11	1	17	9	5	16	14	18	19	2

Планы для двух станков:

План: очередь и станок для работ, указанных в первой строке																				
target	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
622	9	5	7	4	3	6	8	10	1	2	4	3	5	2	9	10	6	1	7	8
	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0
676	6	7	8	5	9	3	2	10	1	4	10	9	7	3	8	4	2	1	5	6
	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0
789	8	6	9	7	5	4	3	10	1	2	4	3	9	5	2	6	10	1	8	7
	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1
634	4	7	10	3	6	5	2	9	1	8	7	4	8	5	1	9	10	6	2	3
	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0
583	9	3	2	5	4	8	6	10	1	7	10	8	7	6	5	1	9	2	3	4
	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0

Приложение 3

Программный модуль

Private Sub CommandButton1_Click()

Dim aa, bb As Range

Set aa = Range(«X16») 'Загрузка станка 0

Set bb = Range(«D10») 'Станки в Плане X2

target = Range(«AZ42») 'Значение в Целевой

ячейке

For i = 1 To 10 'Поиск в Плане X2 станков с
неправильной загрузкой

If aa(i) <> 1 Then

For k = 1 To 10: If Abs(bb(1, k) - i) < 0.1: Then

N1 = k : Next k

For k = 11 To 20 : If Abs(bb(1, k) - i) < 0.1 Then

N2 = k : Next k

End If

If bb(2, N1) = 0 Then 'Если на данном шаге
1 1 или 0 0,

'замена на 0 1 или 1 0 с минимизацией target

bb(2, N1) = 1 : q1 = target : bb(2, N1) = 0 : bb(2,

N2) = 1 : q2 = target

If q1 < q2 Then : bb(2, N1) = 1 : bb(2, N2) = 0
: End If

Else

bb(2, N1) = 0 : q1 = target : bb(2, N1) = 1 : bb(2,
N2) = 0 : q2 = targetIf q1 < q2 Then : bb(2, N1) = 0 : bb(2, N2) = 1 :
End If : End If

Next i

End Sub