

А.А. Литвинов, М.В. Павленко

АЛГОРИТМ ЭФФЕКТИВНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ ОТДЕЛЕНИЯ ХИРУРГИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ

Аннотация. В работе рассмотрен вариант алгоритма эффективного распределения ресурсов для клиники хирургического профиля: определены ключевые ограничения и принципы, понятия; приведен вариант алгоритма распределения операционного и коечного фонда; приведены результаты применения алгоритма на примере клиники «Гарвис».

Ключевые слова: стандарты, планирование, расписание, информационная система, хирургическое отделение, алгоритм.

Введение и актуальность. Процесс планирования в клинической практике определяется набором ограничений и предпочтений (constraints, limitations and preferences) [1], высоким уровнем сложности планирования из-за: неопределенности связи между предложенными возможностями и действительными потребностями, невозможности предопределить поток работ связанный с лечением пациента. Существующие методы полу-автоматического планирования операций [2] не учитывают планирование коечного фонда и ограничиваются лишь планированием хирургических вмешательств. В работе [3] рассмотрен вариант динамического распределения ресурсов. Планирование операций осуществляется динамически в рамках заданного ограниченного временного интервала. Рамки окна определяются текущей загрузкой ресурсов клиники и приоритетом операции (тяжестью состояния больного и т.д.). Это является одним из существенных отличий рассматриваемой системы от систем планирования расписания поездов, занятий, вычислений, в которых выполняемые задачи известны заранее.

Постановка задачи. Проблемой динамического распределения является неоптимальное распределение ресурсов, связанных с оказанием услуги (операционного времени, коечного фонда), так как выбор варианта является полной прерогативой пользователя (врача, оператора), который руководствуется политикой удобства в данный мо-

мент, а перераспределение уже занятых ресурсов в большинстве случаев не является возможным. Такая ситуация ведет к снижению эффективности работы клиники в целом.

Основная часть. Предлагаемое решение основывается на автоматическом или полу- и автоматическом распределении услуг (операций и коек), в зависимости от их типа, на базе предсказания, в основе которого лежит алгоритм оптимального распределения операционного и коечного фонда в рамках недели. Следует отметить, что данный алгоритм наиболее эффективно может использоваться в условиях предварительного планирования услуг на период кратный неделе в системах с очередью заявок на предоставление услуги.

Основными ограничениями, связанными с предлагаемым алгоритмом распределения, являются: учет только плановых операций; учет только больных, лечение которых занимает до 7 дней; воскресенье не является операционным днем; операция проводится в день поступления пациента; не рассматриваются варианты отклонения от стандарта лечения; все поступившие пациенты в течение недели должны быть выписаны до воскресенья.

Введем обозначения:

n – количество коек в отделении,

$T = \bigcup_{i=1}^7 T_i$, $T \neq \emptyset$ - набор услуг, классифицированный по количеству дней пребывания пациента в стационаре,

Q_{max} – *максимальное количество операций, проводимых за день.*

Группа одновременно поступивших в клинику пациентов для оказания услуги i -го типа соответствует понятию пакета заданий типа i . Соответственно, количество услуг типа i , которые могут быть оказаны клиникой одновременно (в течение одного дня) - величине пакета заданий.

Рассмотрим модель распределения в клинике с 20 койками, которая специализируется на типе услуг T_4 . Принимая во внимание условие выписки всех пациентов до воскресенья, получим следующий вариант распределения: первые 20 пациентов поступают в понедельник и выписываются в четверг, освобождая место для следующих 20-ти пациентов, которые выписываются в воскресенье. Максимальная пропускная способность такой клиники будет равна 40 пациентам в неделю, операционными днями при этом будут – понедельник и четверг. В эти дни будет произведено по 20 операций (рис. 1).

Кол-во обслуженных пациентов	1	2	3	4	5	6	7
20	I	K	K	X			
40				I	K	K	X

Рисунок 1 – Общая модель обслуживания пациентов хирургическим отделением: I – поступление и операция, K – пребывание на койке, X – выписка

Рассуждая подобным образом относительно других типов услуг можно прийти к следующим выводам. Максимальное число заявок, которые может обслужить клиника за неделю, специализацией которой являются только услуги типов 5, 6 или 7 будет равно кол-ву коек в отделении, что может быть описано формулой (1).

$$\max(T_5|T_6|T_7, 7) = p_{5-7}, \quad p_{5-7} \leq n \quad (1)$$

Для типа 4 (2). При этом операционными днями будут: понедельник, четверг.

$$\max(T_4, 7) = p_4 * 2, \quad p_4 \leq n \quad (2)$$

Для типа 3 можно описать формулой (3). При этом операционными днями будут: понедельник, среда, пятница.

$$\max(T_3, 7) = p_3 * 3, \quad p_3 \leq n \quad (3)$$

Для типов 1, 2 – пациенты могут поступать и оперироваться в любой день, исключая воскресенье

$$\max(T_1|T_2, 7) = p_{1-2} * 6, \quad p_{1-2} \leq n, \quad (4)$$

$$p_{1-2}, p_3, p_4, p_{5-7} \leq n - \text{величины пакетов услуг разных типов} \quad (5)$$

В случае смешанного распределения услуг, которое имеет место в практике, важными параметрами, влияющими на эффективность такого распределения, становятся: правило, определяющее порядок распределения типов услуг; величина пакета для каждого типа услуг.

Величина пакета для каждого типа услуг может вычисляться на основании коэффициента, определяющего долю услуг данного типа от общего числа услуг всех типов(6).

$$\forall t_i, p_i. p_i = k_i * n, \quad (6)$$

p_i – величина пакета услуг типа i ,

k_i – доля услуг типа i ,

при этом $\sum_{i=1}^7 k_i = 1$

Каждому типу услуг назначается порядок, от которого зависит приоритет распределения ресурсов.

$$r_j = s_j(T) \quad , \quad (7)$$

$$s: t_i \rightarrow t_i^k \quad , \quad i, j, k \leq 7, \quad i \neq j, \quad \forall t_i^k t_j^{k+1}. t_i < t_j. \quad (8)$$

Порядок задается эмпирически на основании оценки идеальных вариантов распределений и статистики услуг и может быть осуществлен на основании перебора и оценки полученных решений автоматически.

Таким образом, распределение услуг на неделю зависит от числа коек в отделении, максимального количества операций проводимых за день (длины операционного дня), порядка распределения услуг, величины пакета для каждой услуги, которая также определяет максимальное количество операций заданного типа в день. Распределение, основанное на j -ой модели распределения типов услуг, описываемой правилом r_j (9) будет иметь вид

$$H_j^7 = \{(\sigma \tau_i, \tau_i, p_i, T_i) | i \leq 7, r_j \in R, o_{\max}, n\} \quad , \quad (9)$$

$\sigma \tau_i$ – вектор распределения операций услуг заданного типа,

τ_i - вектор распределения коечного фонда для оказания услуг данного типа.

Возможно распределение услуг на любой интервал кратный неделе.

$$H_j^d = \bigcup_{i=1}^{d/7} H_j^{7,i} \quad . \quad (10)$$

Алгоритм представляется процедурой, состоящей из 4 этапов.

1. Определяется порядок распределения типов услуг, величина пакета для каждого типа, порядок распределения услуг в рамках недели. В случае динамического распределения данные характеристики определяются по идеальной модели распределения созданной на основе распределения уже существующих услуг (последнего года, двух лет), характерного для данного промежутка времени (месяца, сезона).

2. По выбранному порядку последовательно выполняется распределение существующих заявок (одной в случае динамического распределения, очереди в случае предварительной обработки). Входными параметрами при этом являются: класс услуги, список услуг данного типа, величина «пакета».

3. Следуя порядку распределение услуг в рамках недели, производится попытка распределения услуг для каждого типа, учитывая ограничения (максимальное число операций, число коек и т.д.)

и уже распределенные ресурсы. Если заданные правила не позволяют осуществить распределение – берется предыдущий/последующий день и осуществляется повторная попытка.

4. При невозможности распределения заявок/заявки в рамках указанной недели – заявка переходит в набор задач следующей итерации генерации распределения на период времени кратный неделе.

Оценка результатов. Рассматривая комплекс услуг, оказанных клиникой «Гарвис» за 2011 год, можно выделить 2 основных типа – T_4 , T_3 (табл.1). Процедуры 6-го и 7-го типа составляют незначительное число, поэтому были исключены из рассмотрения.

Таблица 1

Данные работы хирургической клиники «Гарвис» за 2011

Тип	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	28	33	51	32	25	34	24	32	25	34	37
2	22	23	22	22	48	15	20	22	20	25	30
3	39	56	54	40	38	49	39	31	46	49	61
4	38	47	38	53	28	23	24	22	24	31	31
5	13	13	5	3	11	13	17	6	6	11	9
	140	172	170	150	150	134	124	113	121	150	168

Моделирование недельной работы клиники по алгоритму, основываясь на существующих долях распределения услуг каждого типа, дает следующие результаты (листинг 1). Варианты рассматривались для максимального числа ежедневных операций - 20, 15, 12.

Листинг 1

```

20 - 20 - 20 - 20 - 20 - 20 - 0
20 - 9 - 13 - 9 - 9 - 2 - 0
Operations of type #(1) 9 - 5 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 14
Operations of type #(2) 0 - 4 - 2 - 2 - 2 - 2 - 0 - 12
Operations of type #(3) 4 - 0 - 7 - 0 - 7 - 0 - 0 - 18
Operations of type #(4) 7 - 0 - 0 - 7 - 0 - 0 - 0 - 14
Operations of type #(5) 0 - 0 - 4 - 0 - 0 - 0 - 0 - 4
15 - 20 - 20 - 20 - 20 - 20 - 0
15 - 9 - 13 - 9 - 9 - 2 - 0
Operations of type #(1) 4 - 7 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 11
Operations of type #(2) 0 - 2 - 2 - 2 - 2 - 2 - 0 - 10
Operations of type #(3) 4 - 0 - 7 - 0 - 7 - 0 - 0 - 18
Operations of type #(4) 7 - 0 - 0 - 7 - 0 - 0 - 0 - 14
Operations of type #(5) 0 - 0 - 4 - 0 - 0 - 0 - 0 - 4
12 - 20 - 18 - 20 - 20 - 20 - 0

```

12 - 8 - 12 - 10 - 10 - 4 - 0

Operations of type #(1) 0 - 8 - 2 - 2 - 0 - 0 - 0 - 12

Operations of type #(2) 0 - 0 - 0 - 2 - 4 - 4 - 0 - 10

Operations of type #(3) 6 - 0 - 6 - 0 - 6 - 0 - 0 - 18

Operations of type #(4) 6 - 0 - 0 - 6 - 0 - 0 - 0 - 12

Operations of type #(5) 0 - 0 - 4 - 0 - 0 - 0 - 0 - 4

Месячная нагрузка такого отделения при возможности проведения 20 операций в день составит: 248 операций без учета симулированных операций. В сравнении с максимальным числом операций (172) проведенных в клинике, приходящимся на февраль 2011 года, видно преимущество представленного решения, рассчитанного для нагрузок операционной 20, 15 и 12 операций в день. При этом для всех типов операций, кроме типа 1 выбрана величина пакета 7.

Таблица 2

Сравнение максимального числа услуг для нагрузки операционной 20, 15, 12 операций в день

	20	20-м	15	15-м	12	12-м
1	14	56	11	44	12	48
2	12	48	10	40	10	40
3	18	72	18	72	18	72
4	14	56	14	56	12	48
5	4	16	4	4	4	16
	62	248	57	228	52	208

Эксперименты по применению алгоритма, проводимые с реальными данными – за основу принимались месячные распределения услуг прошлых лет - показали следующие результаты.

Рассмотрение массива госпитализированных пациентов с 31.10.2011-5.12.2011 при величинах пакетов для каждого типа, представленных в табл.3, показали результаты, приведенные в листинге 2.

Таблица 3

Порядок распределения типов услуг и величины пакетов

Тип	1	2	3	4	5
Величина пакета	15	15	8	6	7

Листинг 2

31.10.2011 - 6.11.2011

Real

5 - 11 - 12 - 16 - 12 - 6 - 2

4 - 6 - 9 - 6 - 7 - 3 - 0 - 35

Calculated

15 - 20 - 20 - 20 - 20 - 20 - 0

15 - 6 - 14 - 6 - 8 - 0 - 0 - 49

(R) Operations of type #(1) 1 - 1 - 2 - 0 - 1 - 0 - 0 - 5

(R) Operations of type #(2) 0 - 2 - 1 - 3 - 2 - 2 - 0 - 10

(R) Operations of type #(3) 2 - 1 - 3 - 2 - 2 - 1 - 0 - 11

(R) Operations of type #(4) 1 - 2 - 3 - 1 - 1 - 0 - 0 - 8

(R) Operations of type #(5) 0 - 0 - 0 - 0 - 1 - 0 - 0 - 1

Operations of type #(1) 0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0

Operations of type #(2) 1 - 6 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 7

Operations of type #(3) 8 - 0 - 8 - 0 - 8 - 0 - 0 - 24

Operations of type #(4) 6 - 0 - 0 - 6 - 0 - 0 - 0 - 12

Operations of type #(5) 0 - 0 - 6 - 0 - 0 - 0 - 0 - 6

7.11.2011 - 13.11.2011

Real

14 - 13 - 11 - 12 - 7 - 5 - 8

10 - 7 - 7 - 6 - 5 - 4 - 0 - 39

Calculated

15 - 20 - 20 - 20 - 20 - 20 - 0

15 - 6 - 14 - 9 - 11 - 3 - 0 - 58

(R) Operations of type #(1) 3 - 0 - 0 - 1 - 3 - 0 - 0 - 7

(R) Operations of type #(2) 2 - 2 - 3 - 4 - 0 - 1 - 0 - 12

(R) Operations of type #(3) 4 - 4 - 3 - 1 - 1 - 2 - 0 - 15

(R) Operations of type #(4) 1 - 1 - 1 - 0 - 0 - 0 - 0 - 3

(R) Operations of type #(5) 0 - 0 - 0 - 0 - 1 - 1 - 0 - 2

Operations of type #(1) 0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0

Operations of type #(2) 1 - 6 - 3 - 3 - 3 - 3 - 0 - 19

Operations of type #(3) 8 - 0 - 8 - 0 - 8 - 0 - 0 - 24

Operations of type #(4) 6 - 0 - 0 - 6 - 0 - 0 - 0 - 12

Operations of type #(5) 0 - 0 - 3 - 0 - 0 - 0 - 0 - 3

14.11.2011 - 20.11.2011

Real

12 - 11 - 12 - 15 - 11 - 5 - 5

7 - 8 - 8 - 7 - 4 - 2 - 0 - 36

Calculated

12 - 18 - 17 - 20 - 20 - 20 - 0

12 - 15 - 15 - 12 - 14 - 6 - 0 - 74

(R) Operations of type #(1) 3 - 3 - 3 - 1 - 2 - 0 - 0 - 12

(R) Operations of type #(2) 0 - 0 - 0 - 2 - 0 - 0 - 0 - 2

(R) Operations of type #(3) 2 - 2 - 4 - 3 - 0 - 1 - 0 - 12

(R) Operations of type #(4) 2 - 1 - 0 - 1 - 1 - 1 - 0 - 6

(R) Operations of type #(5) 0 - 2 - 1 - 0 - 1 - 0 - 0 - 4

Operations of type #(1) 9 - 15 - 7 - 6 - 6 - 0 - 0 - 43

Operations of type #(2) 0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 6 - 0 - 6

Operations of type #(3) 1 - 0 - 8 - 0 - 8 - 0 - 0 - 17

Operations of type #(4) 2 - 0 - 0 - 6 - 0 - 0 - 0 - 8
 Operations of type #(5) 0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0

21.11.2011 - 27.11.2011

Real

12 - 13 - 11 - 16 - 15 - 15 - 5
 10 - 4 - 7 - 6 - 7 - 7 - 1 - 42

Calculated

0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0

0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0

(R) Operations of type #(1) 4 - 0 - 1 - 1 - 0 - 0 - 0 - 6

(R) Operations of type #(2) 0 - 0 - 0 - 2 - 1 - 2 - 0 - 5

(R) Operations of type #(3) 4 - 2 - 2 - 1 - 4 - 3 - 1 - 17

(R) Operations of type #(4) 2 - 2 - 4 - 1 - 2 - 2 - 0 - 13

(R) Operations of type #(5) 0 - 0 - 0 - 1 - 0 - 0 - 0 - 1

28.11.2011 - 4.12.2011

Real

8 - 14 - 9 - 10 - 4 - 0 - 0
 6 - 8 - 7 - 6 - 2 - 0 - 0 - 29

Calculated

0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0

0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0

(R) Operations of type #(1) 1 - 4 - 3 - 3 - 2 - 0 - 0 - 13

(R) Operations of type #(2) 0 - 0 - 1 - 2 - 0 - 0 - 0 - 3

(R) Operations of type #(3) 4 - 2 - 3 - 1 - 0 - 0 - 0 - 10

(R) Operations of type #(4) 1 - 1 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 2

(R) Operations of type #(5) 0 - 1 - 0 - 0 - 0 - 0 - 0 - 1

Пользуясь стандартными формулами для определения ускорения и эффективности обработки заявок

$$s_p = \frac{T_1}{T_p}, \quad (11)$$

$$E = \frac{s_p}{r}, \quad (12)$$

где T_1 – время обработки n услуг на базе динамического распределения; T_p – время обработки услуг с использованием предложенного алгоритма, получим, что использование ресурсов с использованием представленного алгоритма будет в 1.7 раз эффективнее.

Выводы. В работе рассмотрен вариант алгоритма эффективного распределения ресурсов для клиники хирургического профиля. При этом учитывается оптимальное заполнение коечного фонда в условиях работы хирургического отделения. Внимание сконцентрировано на задаче обработки запросов на выполнение плановых операций. Приведено формальное описание алгоритма распределения ресурсов. Проведена оценка эффективности распределения ресурсов с использованием данного алгоритма в сравнение с реальными данными. Полученные результаты создают основу для построения информационной системы поддержки гибкого планирования операций, а также служат фундаментом для дальнейших исследований, имеющих целью достижение эффективного использования ресурсов стационарного отделения хирургического профиля.

ЛИТЕРАТУРА

1. M. Becker, K.-H. Krempels, M. Navarro, and A. Panchenko. Agent Based Scheduling of Operation Theatres. EU-LAT eHealth
2. Karl-Heinz Krempels and Andriy Panchenko. An Approach for Automated Surgery Scheduling. In Edmund Burke and Hana Rudova, editors, Practice and Theory of Automated Timetabling VI: Sixth International Conference, PATAT 2006 Brno, Czech Republic, August 30 - September 1, 2006, Selected Revised Papers, LNCS, Heidelberg, 2006. Springer-Verlag GmbH.
3. В.Н. Лехан, М.В.Павленко, А.А. Литвинов. Подход к автоматизации планирования лечения больных хирургического профиля. // "Системные технологии". Региональный межвузовский сборник научных трудов. - Днепропетровск, 2009. – Выпуск 5 (64). - 89-102 с.