

# Размещение файлов на дисках с реконфигурацией решений<sup>1</sup>

Марк Ш. Левин

*Институт проблем передачи информации, Российская академия наук  
Большой Каретный пер. 19, Москва 127994, Россия  
email: mslevin@acm.org*

Поступила в редколлегию 14.12.2016

**Аннотация**—В статье рассмотрено размещение файлов на жестких магнитных дисках. Специальная задача упаковки в контейнеры используется как базовая модель. Исследуются две задачи размещения файлов с реконфигурацией решений: (а) одностадийная модель, (б) многостадийная модель. Схемы решения основаны на упрощенных эвристиках. Численные примеры иллюстрируют задачи и схемы решения.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** размещение данных, жесткий диск, комбинаторная оптимизация, реструктуризация, реконфигурация, эвристики

## 1. ВВЕДЕНИЕ

При управлении иерархическими распределенными компьютерными системами возникают задачи размещения задач/данных в памяти. Такие задачи исследуются как размещение объектов (задач, работ, шаров, файлов данных) на множестве ресурсов, например, серверов, компьютеров, машин, бинов) [1, 2, 5, 15]. Математическое моделирование указанных задач базируется на стохастических моделях (Марковские процессы) [5] и на моделях комбинаторной оптимизации (многорюкзачные задачи, модели размещения, модели упаковки в контейнеры) [15]. Одна из указанных типов задач размещения данных направлена на размещение файлов на жестких магнитных дисках с учетом движения магнитных головок дисков [3, 6, 7, 14]. Эта задача базируется на следующих подходах: (а) стохастические модели [3, 6, 7], (б) приближенные схемы решения [5]; (в) эвристики и метаэвристики [3, 6, 7].

В данной статье задача размещения файлов данных на магнитных дисках исследуется с учетом динамических графов обработки данных. В качестве базовой версии задачи используется специальная задача упаковки в контейнеры. Дополнительно описаны две оптимизационные модели реконфигурации (реструктуризации) решений размещения: (i) одностадийная реконфигурация [9, 11, 13, 16], (ii) многостадийная реконфигурация [9, 11, 13]. Схемы решения основаны на упрощенных эвристических идеях. Численный пример иллюстрирует задачи размещения файлов, реконфигурацию решений и схемы решения (эвристики). Данная статья основана на электронной препринте [12].

## 2. ОБЩИЙ ВЗГЛЯД НА ЗАДАЧУ

Однопроцессорная задача с одной оперативной памятью и параллельными жесткими дисками  $1, \dots, \xi, \dots, \gamma$  изображена на Рис. 1. Рис. 2 иллюстрирует одностадийное размещение файлов на дисках как задачу упаковки в контейнеры (bin packing). Предполагается использование обозначений: (а) орграф  $D = (T, R)$ , где  $T$  - множество вычислительных задач,  $R$  -

<sup>1</sup> Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта Российского фонда фундаментальных исследований ном. 15-07-01241.

отношение предшествования над вычислительными задачами; (б) файлы и граф обработки над файлами  $G = \langle Q, E_1, E_2 \rangle$ , где  $Q$  - множество файлов,  $E_1$  - бинарное отношение предшествования над файлами (т.е., множество дуг),  $E_2$  - бинарное отношение общей (одновременной) обработки файлов: (т.к., множество ребер, это симметричное отношение).

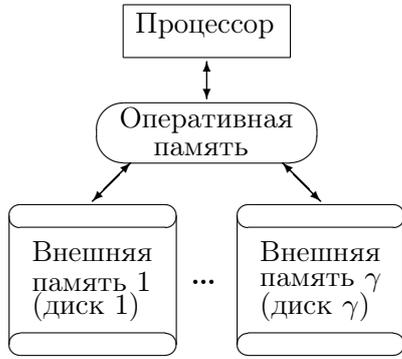


Рис. 1. Однопроцессорная задача

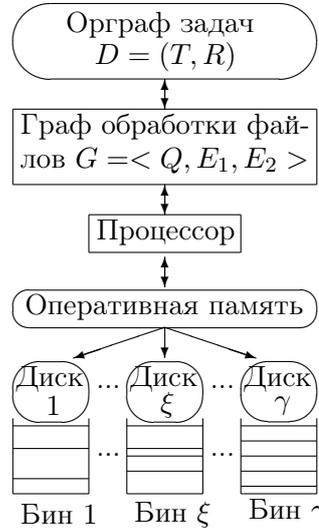


Рис. 2. Размещение файлов [12]

Следует также рассмотреть временную последовательность  $\langle t_1, \dots, t_j, \dots, t_k \rangle$  и соответствующую последовательность оргграфов вычислительных задач:  $\langle D^1 = (T^1, R^1), \dots, D^j = (T^j, R^j), \dots, D^k = (T^k, R^k) \rangle$ . Для реализации этой последовательности оргграфов требуется соответствующее размещение файлов данных на дисках и их обработки.

Последовательность графов обработки файлов имеет вид:

$$\bar{G} = \langle G^1 = (Q^1, E_1^1, E_2^1) \rightarrow \dots \rightarrow G^j = (Q^j, E_1^j, E_2^j) \rightarrow \dots \rightarrow G^k = (Q^k, E_1^k, E_2^k) \rangle,$$

где  $Q$  - множество файлов,  $E$  - множество дуг/ребер,  $G = (Q, E)$  - общий граф обработки файлов,  $G^j = (A^j, E_1^j, E_2^j)$  - граф обработки файлов в момент времени  $t_j$   $A^j \subseteq A$ ,  $E_1^j \subseteq E_1$ ,  $E_2^j \subseteq E_2$ . Данная последовательность (цепочка) графов может иметь более общий вид как сеть над графами:  $\bar{D} = (D, V)$ , где  $D = \{D^j, j = \overline{1, k}\}$  - множество оргграфов вычислительных задач,  $V$  - множество дуг (т.е., ограничение предшествования над множеством оргграфов вычислительных задач). Здесь могут использоваться модели комбинаторной оптимизации как вспомогательные задачи, например: [4]: (i) многорюкзачные модели, (ii) модели назначения/размещения, (iii) модели упаковки, (iv) модели покрытия.

### 3. РАЗМЕЩЕНИЕ ФАЙЛОВ НА ДИСКАХ

#### 3.1. Постановка задачи

Наша базовая задача размещения файлов на жестких магнитных дисках имеет вид [14]. Пусть  $Q = \{1, \dots, i, \dots, n\}$  - множество файлов,  $L = \{1, \dots, \xi, \dots, \gamma\}$  - множество дисков. На каждом диске  $\xi \in L$  имеется определенное число дорожек свободных  $W^\xi$  (это размер диска). Требуемый для каждого файла  $\forall i \in Q$  объем памяти измеряется в дорожках:  $d_i$ . Общее ограничение на размер памяти имеет вид:  $\sum_{i=1}^n d_i \leq \sum_{\xi=1}^\gamma W^\xi$ .

Размещение множества файлов на дисках можно вести как разбиение без пересечения:  $X = \{X_1, \dots, X_\xi, \dots, X_\gamma\}$  ( $|X_{\xi_1} \cap X_{\xi_2}| = 0, \forall \xi_1, \xi_2 \in Q$ ), где подмножество файлов  $X_\xi$  ( $X_\xi \subseteq$

Q) размещено на диске  $\xi$  и ограничение для каждого диска  $\xi$  имеет вид:  $\sum_{\kappa \in X_\xi} d_\kappa \leq W^\xi$ ,  $\forall \xi \in L$ . Дополнительно, для каждого диска  $\xi$  проводится линейное упорядочение файлов множества  $X_\xi$  для получения  $\bar{X}_\xi$ . В результате глобальное решение (размещение файлов) имеет вид:  $\bar{X} = \{\bar{X}_1, \dots, \bar{X}_\xi, \dots, \bar{X}_\gamma\}$ .

Далее, обработка файлов определяется на основе матрицы вероятностей перехода (от файла  $i_1$  к файлу  $i_2$ , это следует из графа обработки файлов):  $\Phi(G) = \|\phi_{i_1, i_2}\|_{i_1, i_2=1}^n$ ,  $i_1, i_2 \in Q$ , где  $\phi_{i_1, i_2}$  - стационарная вероятность перехода от файла  $i_1$  к файлу  $i_2$  по графу обработки файлов  $G$ ).

Теперь рассмотрим упрощенный подход. Пусть  $E_3$  будет интегрированное симметричное бинарное отношение, т.е., интеграция отношений  $E_1$  и  $E_2$ . Например,  $E_3$  может быть определено по правилу:  $((i_1, i_2) \in E_1) \cup ((i_1, i_2) \in E_2) \Rightarrow (i_1, i_2) \in E_3 \quad \forall i_1, i_2 \in Q$ .

Следует отметить, что размещение файлов на разных дисках обеспечивает одновременную обработку без движения головок дисков. Исследуемая целевая функция размещения файлов  $\bar{X}$  имеет следующий вид:

$$\min \Psi(\bar{X}) = \sum_{i_1 \in X_{\xi_1}, i_2 \in X_{\xi_2}, \xi_1 \neq \xi_2}^n \phi_{i_1, i_2} p_{i_1, i_2}(\bar{X})$$

где  $p_{i_1, i_2}(\bar{X})$  - стоимость движения головки диска от файла  $i_1$  к файлу  $i_2$  при решении  $\bar{X}$ .

Вычисление величин  $p_{i_1, i_2}(\bar{X})$  является сложной проблемой и обычно используются упрощенные методы.

Задача переразмещения файлов на дисках иллюстрируется на Рис. 3.

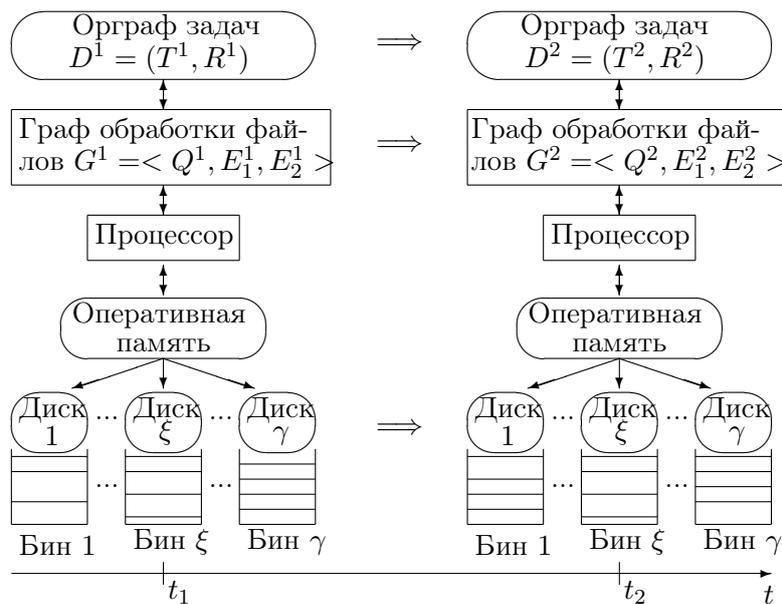


Рис. 3. Переразмещение файлов на дисках [12]

Следует перечислить используемые обозначения (для Рис. 3):

1. Моменты времени:  $t_1$  и  $t_2$  ( $t_2 > t_1$ ).
2. Орграфы над вычислительными задачами (для  $t_1$  и  $t_2$ ): (а) для  $t_1$ : орграф  $D^1 = (T^1, R^1)$ , где  $T^1$  - множество задач,  $R^1$  - отношение предшествования над задачами; (б) для  $t_2$ :  $D^2 = (T^2, R^2)$  (аналогично); (с)  $T^1, T^2 \subseteq T$ ,  $T$  - общее множество задач.
3. Графы обработки файлов (для  $t_1$  и  $t_2$ ): (а) для  $t_1$ : граф  $G^1 = \langle Q^1, E_1^1, E_2^1 \rangle$ , где  $Q^1$  - множество файлов, обрабатываемых в момент  $t_1$ ,  $E_1^1$  - бинарное отношение предшествования

над файлами (т.е, множество дуг),  $E_2^1$  бинарное отношение одновременности (одновременной обработки) над файлами (т.е., множество ребер); (b) для  $t_2$ :  $G^2 = \langle Q^2, E_1^2, E_2^2 \rangle$  (аналогично); (c)  $Q^1, Q^2 \subseteq Q$ ,  $Q$  - общее множество файлов.

4. Размещение файлов (для  $t_1$  и  $t_2$ ):  $Q$  на  $n$  дисках (бинах):  $X^{t_1}, X^{t_2}$ .

Таким образом Рис. 3 иллюстрирует перераспределение файлов:  $\bar{X}^{t_1} \Rightarrow \bar{X}^{t_2}$ .

3.2. Базовые простые идеи для схем решения

Можно указать следующие упрощающие идеи (алгоритмические правила) для размещения файлов [6, 14]:

1. Небольшие и связанные по обработке файлы следует объединить, это уменьшает размерность задачи.
2. Связанные файлы рекомендуется размещать на различных дисках, это обеспечивает параллельную обработку (без движения головок дисков).
3. Бинарные отношения над файлами могут быть интегрированы в интегрированное бинарное отношение и это отношение может быть использовано для выявления групп связанных файлов (например, клики или квази-клики в графе над файлами). При это желательно получить указанные группы связанных файлов с числом входящих элементов  $\leq \gamma$  (это число дисков).
4. Для полученной каждой группы связанных файлов следует разместить файлы на различных дисках.
5. Для полученного размещения файлов на дисках следует применить методы локальной оптимизации для улучшения решения.

Очевидно, что схемы решения задачи размещения файлов должны основываться на указанных алгоритмических правилах.

3.3. Пример размещения файлов

Рассматриваемый упрощенный пример изображен на Рис. 4 (упаковка файлов в бины): (i) имеется 8 файлов  $Q^1 = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8\}$ , (ii) имеется 3 диска (бина), (iii) имеется граф обработки  $G^1 = \langle Q^1, E_1^1, E_2^1 \rangle$ , где отношения  $E_1^1, E_2^1$  представлены в Таблице 1 и Таблице 2.

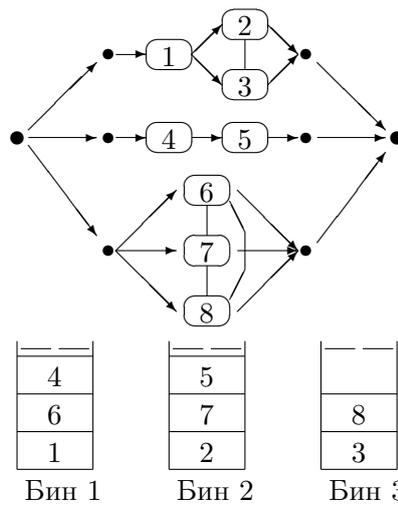


Рис. 4. Размещение файлов

Следующее упрощения предполагаются: (а) размеры файлов равны, (б) упорядочение файлов, размещенных на одном диске, на рассматривается, (в) стоимость движения головок диска от одного файла к другому (на одном диске) равна 1.0.

Таблица 3 содержит интегрированное отношение  $E_3^1$ . Отношение  $E_3^1$  является основой для выделения 3 групп связанных файлов:  $\{1, 2, 3\}$ ,  $\{6, 7, 8\}$ ,  $\{4, 5\}$ . Элементы указанных групп размещаются на различных дисках (бинах). Результирующее решение имеет вид (Рис. 4):  $X_1^1 = \{1, 4, 6\}$ ,  $X_2^1 = \{2, 5, 7\}$ ,  $X_3^1 = \{3, 8\}$ , т.е.,  $X^1 = \{X_1^1, X_2^1, X_3^1\}$ , соответствующее значение целевой функции равно:  $\Psi(X^1) = 0$ .

**Таблица 1.** Отношение предшествования  $E_1^1$

| $i_1/i_2$ | 1  | 2 | 3 | 4  | 5 | 6 | 7 | 8 |
|-----------|----|---|---|----|---|---|---|---|
| 1         | *  | 1 | 1 |    |   |   |   |   |
| 2         | -1 | * |   |    |   |   |   |   |
| 3         | -1 |   | * |    |   |   |   |   |
| 4         |    |   |   | *  | 1 |   |   |   |
| 5         |    |   |   | -1 | * |   |   |   |
| 6         |    |   |   |    |   | * |   |   |
| 7         |    |   |   |    |   |   | * |   |
| 8         |    |   |   |    |   |   |   | * |

**Таблица 2.** Отношение одновременности  $E_2^1$

| $i_1/i_2$ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|-----------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1         | * |   |   |   |   |   |   |   |
| 2         |   | * | 1 |   |   |   |   |   |
| 3         |   | 1 | * |   |   |   |   |   |
| 4         |   |   |   | * |   |   |   |   |
| 5         |   |   |   |   | * |   |   |   |
| 6         |   |   |   |   |   | * | 1 | 1 |
| 7         |   |   |   |   |   | 1 | * | 1 |
| 8         |   |   |   |   |   | 1 | 1 | * |

**Таблица 3.** Интегрированное отношение  $E_3^1$

| $i_1/i_2$ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|-----------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1         | * | 1 | 1 |   |   |   |   |   |
| 2         | 1 | * | 1 |   |   |   |   |   |
| 3         | 1 | 1 | * |   |   |   |   |   |
| 4         |   |   |   | * | 1 |   |   |   |
| 5         |   |   |   | 1 | * |   |   |   |
| 6         |   |   |   |   |   | * | 1 | 1 |
| 7         |   |   |   |   |   | 1 | * | 1 |
| 8         |   |   |   |   |   | 1 | 1 | * |

#### 4. РЕКОНФИГУРАЦИЯ РЕШЕНИЙ РАЗМЕЩЕНИЯ ФАЙЛОВ

В данном разделе рассматриваются две задачи реконфигурации решений: одностадийная реконфигурация [9, 11, 13, 16] и многостадийная реконфигурация [9, 11, 13]. Такой подход применяется к задаче размещений файлов. Предполагается, что стоимость операция перемещения файла с одного диска на другой равна 1.0, вероятности перехода о файла к файлу, соответствующие графу обработки файлов, одинаковы. Задача размещения, исследованная выше, рассматривается как задача на стадии 1 ( $t = t_1$ ) с соответствующим решением  $X^1$  (Рис. 4).

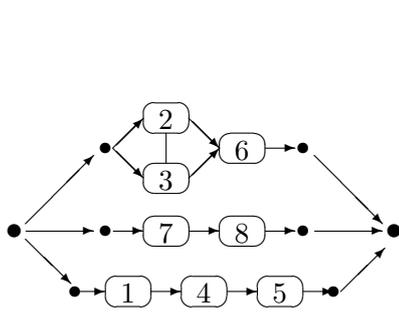
4.1. Одностадийная реконфигурация

Данные по задаче для стадии 2 ( $t = t_2$ ) представлены на Рис. 5, Таблице 4, Таблице 5. Таблица 6 содержит интегрированное бинарное отношение. Получаются 3 группы связанных файлов:  $\{1, 4, 5\}$ ,  $\{2, 3, 6\}$ ,  $\{7, 8\}$ . Соответствующее решение имеет вид (Рис. 5,  $t = t_2$ ):  $X_1^2 = \{1, 2, 7\}$ ,  $X_2^2 = \{4, 3, 8\}$ ,  $X_3^2 = \{5, 6\}$ ; т.е.,  $X^2 = \{X_1^2, X_2^2, X_3^2\}$  и значение целевой функции равно:  $\Psi(\overline{X^2}) = 0$ .

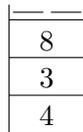
Одностадийная задача реконфигурации решений заключается в модификации решения  $X^1$  в реструктуризованное решение  $X^{2*}$  [9, 11, 13]:

$$\min \rho(X^{2*}, X^2) = |\Phi(X^{2*}) - \Phi(X^2)| \quad s.t. \quad h(X^1 \Rightarrow X^{2*}) \leq 2.0.$$

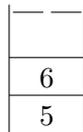
где  $\rho(X^{2*}, X^2) = |\Phi(X^{2*}) - \Phi(X^2)|$  - близость решений,  $h(X^1 \Rightarrow X^{2*})$  - стоимость модификации решения.



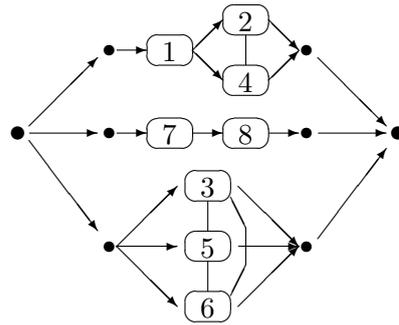
Бин 1



Бин 2



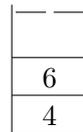
Бин 3



Бин 1



Бин 2



Бин 3

Рис. 5. Размещение файлов ( $t = t_2$ )    Рис. 6. Размещение файлов ( $t = t_3$ )

Таблица 4. Отношение предшествования  $E_1^2$

| $i_1/i_2$ | 1  | 2  | 3  | 4  | 5 | 6 | 7  | 8 |
|-----------|----|----|----|----|---|---|----|---|
| 1         | *  |    |    | 1  | 1 |   |    |   |
| 2         |    | *  |    |    |   | 1 |    |   |
| 3         |    |    | *  |    |   | 1 |    |   |
| 4         | -1 |    |    | *  | 1 |   |    |   |
| 5         | -1 |    |    | -1 | * |   |    |   |
| 6         |    | -1 | -1 |    |   | * |    |   |
| 7         |    |    |    |    |   |   | *  | 1 |
| 8         |    |    |    |    |   |   | -1 | * |

Таблица 5. Отношение одновременности  $E_2^2$

| $i_1/i_2$ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|-----------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1         | * |   |   |   |   |   |   |   |
| 2         |   | * | 1 |   |   |   |   |   |
| 3         |   |   | 1 | * |   |   |   |   |
| 4         |   |   |   |   | * |   |   |   |
| 5         |   |   |   |   |   | * |   |   |
| 6         |   |   |   |   |   |   | * |   |
| 7         |   |   |   |   |   |   |   | * |
| 8         |   |   |   |   |   |   |   | * |

**Таблица 6.** Интегрированное отношение  $E_3^2$

| $i_1/i_2$ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|-----------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1         | * |   |   | 1 | 1 |   |   |   |
| 2         |   | * | 1 |   |   |   | 1 |   |
| 3         |   |   | 1 | * |   |   |   | 1 |
| 4         | 1 |   |   |   | * | 1 |   |   |
| 5         | 1 |   |   |   | 1 | * |   |   |
| 6         |   |   | 1 | 1 |   |   |   | * |
| 7         |   |   |   |   |   |   | * | 1 |
| 8         |   |   |   |   |   |   |   | 1 |

Следует отметить, что процесс реконфигурации  $X^1 \Rightarrow X^2$  основан на следующих операциях перемещения файлов: (i) файл 4 перемещается с диска 1 на диск 3, (ii) файл 5 перемещается с диска 2 на диск 1, (iii) файл 1 перемещается с диска 1 на диск 2. Стоимость реконфигурации (такого перемещения):  $h(X^1 \Rightarrow X^2) = 3.0$ .

Реконфигурация  $X^1 \Rightarrow X^{2*}$  основана на операциях: (i) файл 5 перемещается с диска 2 на диск 1, (ii) файл 1 перемещается с диска 1 на диск 2. Полученное решение имеет вид:

$$X^{2*} = \{X_1^{2*}, X_2^{2*}, X_3^{2*}\}, \text{ где } X_1^{2*} = \{4, 5, 6\}, X_2^{2*} = \{1, 2, 3\}, X_3^{2*} = \{3, 8\}.$$

Стоимость перемещения файлов равна:  $h(X^1 \Rightarrow X^{2*}) = 2.0$ , соответствующее значение целевой функции равно:  $\Psi(X^{2*}) = 1.0$  (здесь требуется движение головки диска от файла 4 к файлу 5,  $t = t_2$ ).

*4.2. Многостадийная реконфигурация*

Данные по задаче для стадии 3 ( $t = t_3$ ) представлены на Рис. 6, Таблице 7, Таблице 8. Таблица 9 содержит интегрированное бинарное отношение.

**Таблица 7.** Отношение предшествования  $E_1^3$

| $i_1/i_2$ | 1  | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8  |
|-----------|----|---|---|---|---|---|---|----|
| 1         | *  | 1 |   | 1 |   |   |   |    |
| 2         | -1 | * |   |   |   |   |   |    |
| 3         |    |   |   | * |   |   |   |    |
| 4         | -1 |   |   |   | * |   |   |    |
| 5         |    |   |   |   |   | * |   |    |
| 6         |    |   |   |   |   |   | * |    |
| 7         |    |   |   |   |   |   | * | 1  |
| 8         |    |   |   |   |   |   |   | -1 |

**Таблица 8.** Отношение одновременности  $E_2^3$

| $i_1/i_2$ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|-----------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1         | * |   |   |   |   |   |   |   |
| 2         |   | * |   | 1 |   |   |   |   |
| 3         |   |   | * |   | 1 | 1 |   |   |
| 4         |   | 1 |   | * |   |   |   |   |
| 5         |   |   | 1 |   | * | 1 |   |   |
| 6         |   |   | 1 |   | 1 | * |   |   |
| 7         |   |   |   |   |   |   | * |   |
| 8         |   |   |   |   |   |   |   | * |

Таблица 9. Интегрированное отношение  $E_3^3$ 

| $i_1/i_2$ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|-----------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1         | * | 1 |   | 1 |   |   |   |   |
| 2         | 1 | * |   | 1 |   |   |   |   |
| 3         |   |   | * |   | 1 | 1 |   |   |
| 4         | 1 | 1 |   | * |   |   |   |   |
| 5         |   |   | 1 |   | * | 1 |   |   |
| 6         |   |   | 1 |   | 1 | * |   |   |
| 7         |   |   |   |   |   |   | * | 1 |
| 8         |   |   |   |   |   |   | 1 | * |

Получаются 3 группы связанных файлов:  $\{1, 2, 4\}$ ,  $\{3, 5, 6\}$ ,  $\{7, 8\}$ . Соответствующее решение равно (Рис. 6,  $t = t_3$ ):  $X_1^3 = \{1, 3, 7\}$ ,  $X_2^3 = \{2, 5, 8\}$ ,  $X_3^3 = \{4, 6\}$ , т.е.,  $X^3 = \{X_1^3, X_2^3, X_3^3\}$ . Значение целевой функции равно:  $\Psi(\bar{X}^3) = 0$ .

Реконфигурация решений  $X^2 \Rightarrow X^3$  основана на операциях: (i) файл 4 перемещается с диска 2 на диск 3, (ii) файл 5 перемещается с диска 3 на диск 2, (iii) файл 3 перемещается с диска 2 на диск 1, (iv) файл 1 перемещается с диска 1 на диск 2. Стоимость перемещения файлов равна:  $h(X^2 \Rightarrow X^3) = 4.0$ .

Реконфигурация решений  $X^{2*} \Rightarrow X^{3*}$  основана на операциях перемещения: (i) файл 3 перемещается с диска 3 на диск 1, (ii) файл 2 перемещается с диска 2 на диск 3. Полученное решение имеет вид:

$$X^{3*} = \{X_1^{3*}, X_2^{3*}, X_3^{3*}\}, \text{ где } X_1^{3*} = \{4, 5, 6\}, X_2^{3*} = \{1, 3, 7\}, X_3^{3*} = \{2, 8\}.$$

Стоимость перемещения файлов равна:  $h(X^{2*} \Rightarrow X^{3*}) = 2.0$ , соответствующее значение целевой функции равно:  $\Psi(\bar{X}^{3*}) = 1.0$  (здесь требуется перемещение головки диска от файла 5 к файлу 6,  $t = t_3$ ).

В результате две траектории решений размещения могут быть рассмотрены:

(1) траектория из локально-оптимальных решений  $S^{opt} = \langle X^1, X^2, X^3 \rangle$ , здесь общая стоимость модификации решений равна 7.0;

(2) траектория из реструктуризованных решений  $S^{restr} = \langle X^1, X^{2*}, X^{3*} \rangle$ , здесь общая стоимость модификации решений равна 4.0 и близость к оптимальному значению целевой функции на стадии 2 и стадии 3 равны 1.0 (этот случай соответствует последовательной стратегии решений [11, 13]).

Очевидно, можно управлять параметрами процесса реконфигурации решений, т.е., изменять ограничения на стоимость модификации решений в используемых задачах реконфигурации.

## 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данная статья содержит описание задачи размещения данных в двух-уровневой памяти (размещения файлов на параллельных магнитных дисках). Рассмотрены модели и упрощенные эвристики. Кроме того, предложены задачи реконфигурации решений для размещения файлов на дисках: (а) одностадийная реконфигурация, (б) многостадийная реконфигурация. Важно отметить другие возможные приложения: (1) планирование задач в распределенных вычислительных системах (с учетом связей между задачами), (2) планирование в системах связи: (2.1) планирование в системах множественного доступа (распределение сообщений по частотным подканалам с учетом интерференции сообщений), (2.2) планирование работы многочувствительных антенн, (2.3) подключение пользователей к точкам доступа.

Можно указать перспективные направления исследований: (а) исследование предложенных задач с неопределенностью, (в) проведение компьютерных экспериментов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Aven O.I., Kimelfeld B.I., Kogan Y.A., Control of multilevel memory of computing systems (a review). *Aut. Rem. Contr.*, 1972, vol. 33, no. 11, pp. 1872–1886.
2. Batu T., Berenbrink P., Cooper C., Chains-into-bins processes. *J. of Discr. Algorithms*, 2012, vol. 14, pp. 21–28.
3. Borodkin A.M., Borodkin L.I., Gurin N.N., Kogan Y.A., Lyapichev N.G., Muchnik I.B., Optimizing the location of data arrays on magnetic discs. *Aut. Rem. Contr.*, 1978, vol. 38, no. 10, pp. 1552–1559.
4. Garey M.R., Johnson D.S., *Computers and Intractability. The Guide to the Theory of NP-Completeness.* W.H. Freeman and Company, San Francisco, 1979.
5. Golubchik L., Khanna S., Khuller S., Thurimella R., Zhu A., Approximation algorithms for data placement on parallel disks. *ACM Trans. on Algorithms*, 2009, vol. 5, no. 4.
6. Gurin N.N., Optimizing the paging of information blocks on a magnetic disc with moving heads. *Aut. Rem. Contr.*, 1978, vol. 39, no. 12, pp. 1854–1861.
7. Gurin N.N., Dashkov B.E., Kogan Y.A., Leman A.A., Empirical study of disc storage utilization. *Aut. Rem. Contr.*, 1974, vol. 35, no. 2, pp. 306–315.
8. Levin M.Sh., An extremal problem of organization of data. *Eng. Cybern.*, 1981, vol. 19, no. 5, pp. 87–95.
9. Levin M.Sh., Restructuring in combinatorial optimization. Electronic preprint. 11 pp., Febr. 8, 2011. <http://arxiv.org/abs/1102.1745> [cs.DS]
10. Levin M.Sh., *Modular System Design and Evaluation.* Springer, 2015.
11. Levin M.Sh., Towards integrated glance to restructuring in combinatorial optimization. Electronic preprint. 31 p., Dec. 20, 2015. <http://arxiv.org/abs/1512.06427> [cs.AI]
12. Levin M.Sh., Data allocation on disks with solution reconfiguration (problems, heuristics). *Elec. prepr.* 10 p., Dec. 14, 2016. <http://arxiv.org/abs/1612.04519> [cs.DC]
13. Левин М.Ш., О реконфигурации решений в комбинаторной оптимизации. *Информационные процессы*, 2016, том 16, ном. 4 (в печати).
14. Левин М.Ш., Мошковиц Л.И., Задача размещения данных на магнитных дсках. В: Сб. трудов “Проблемы типизации проектных решений АСУ МТС”, вып. 7, Научно-исслед. и проектный институт проблем управления Госнаба СССР, Тула, 1979, стр. 60–65.
15. Shachnai H., Tamir T., Approximation schemes for generalized two-dimensional vector packing with application to data placement. *J. of Discr. Algorithms*, 2012, vol. 10, pp. 35–48.
16. Shieber B., Shachnai H., Tamir G., Tamor T., A theory and algorithms for combinatorial reoptimization. In: D. Fernandez-Baca (ed), *Proc. of 10th Latin American Symp. LATIN 2012: Theoretical Informatics*, LNCS 7256, Springer, 2012, pp. 618–630.

## Allocation of files on disks with solution reconfiguration

Levin M.Sh.

The paper addresses problem of data allocation in two-layer computer storage while taking into account dynamic digraph(s) over computing tasks. The basic version of data file allocation on parallel hard magnetic disks is considered as special bin packing model. Two problems of the allocation solution reconfiguration (restructuring) are suggested: (i) one-stage restructuring model, (ii) multistage restructuring models. Solving schemes are based on simplified heuristics. Numerical examples illustrate problems and solving schemes.

**KEYWORDS:** data allocation, hard disk, combinatorial optimization, reconfiguration, heuristics