ИЗВЕСТИЯ ТОМСКОГО ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА
имени С. М. Кирова

Том 298 1974

УДК 389.001

О РАЦИОНАЛЬНОМ ПОСТРОЕНИИ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ЛАБОРАТОРИЙ

ЧАСТЬ II

Е. Н. РУЗАЕВ, Э. И. ЦИМБАЛИСТ

(Представлена научным семинаром кафедры радиотехники)

Компоновка из блоков отдельных метрологических лабораторий

Получены частные и интегральные критерии оптимальности разбиения метрологического комплекса на лаборатории. Разработан алгоритм компановки из блоков двух лабораторий. Приведен пример, иллюстрирующий данный алгоритм.
Иллюстраций 2.

При разбиении метрологического комплекса на отдельные лаборатории необходимо иметь критерий оптимальности такого разделения.

В общем виде критерий может быть представлен в виде функционала, объединяющего частные критерии разбиения, в качестве которых рационально использовать следующие:

1) минимальное дублирование образцовых средств измерений в различных лабораториях — α;

2) одинаковая мощность ОСИ (равенство их во всех лабораториях) — β;

3) одинаковая мощность подмножеств параметров, поверяемых в каждой из лабораторий — γ;

4) одинаковое время поверки входного потока РСИ в каждой из лабораторий — δ;

5) одинаковая стоимость проведения поверки в каждой из лабораторий — $\varkappa$.

Общий критерий в этом случае будет записан как

$$W = F(\alpha, \beta, \gamma, \delta, \varkappa).$$

Однако в определенной ситуации каждый из частных критериев может превалировать над всеми остальными. Поэтому в качестве первого шага по оптимизации разбиения метрологического комплекса на лаборатории будет решение этой задачи с использованием частных критериев. Для упрощения изложения материала рассмотрим вопрос разбиения на две метрологические лаборатории (I, II).

1. Оптимизация разбиения по критерию α

Целевая функция в этом случае будет иметь вид

$$W_1 = \kappa \to \min, \quad \kappa \in \mathrm{I},\ \mathrm{II},$$

где κ — число дублируемых ОСИ.

Рассмотрим пример (рис. 1, часть I статьи) по критерию α отметим, что оптимальным разбиением будет разделение комплекса на блоки по компоненте связности. В этом случае $W_1 = \min = 0$. Получение лаборатории можно представить в виде двух подмножеств:

а) $\{AB\}\ \{СДEF\ G\ KM\}$.

Менее относительные (рациональные) разбиения получим путем поглощения отдельных блоков (рис. 4, часть I статьи) в две лаборатории. Все блоки, полученные при дублировании различных ОСИ, можно представить в виде множеств:

$$\{AB\}\ \{CD\}\ \{CE\}\ \{EF\}\ \{FGK\}\ \{KM\}.$$

Путем последовательных поглощений подмножеств и превращения их в два подмножества можно получить следующие варианты разбиения:
b) $\{A\ B\ F\ G\ K\}\ \{K\ M\ F\ E\ C\ D\}$;
c) $\{F\ G\ K\ M\}\ \{A\ B\ C\ D\ E\ F\}$;
d) $\{E\ F\ G\ K\}\ \{K\ M\ C\ E\ D\ A\ B\}$;
e) $\{A\ B\ C\ D\ E\}\ \{E\ F\ G\ K\ M\}$;
f $\{A\ B\ C\ D\}\ \{C\ E\ F\ G\ K\ M\}$
и т. д.

При рассмотрении вариантов (b—f) по критерию α убеждаемся, что все эти решения по α равнозначны

$$W_1 = 1,$$

кроме решений b и d

$$W_1^b = W_1^d = 2.$$

2. Оптимизация разбиения по критерию β

Целевая функция при разбиении на две лаборатории в этом случае примет вид

$$W_2 = |N_{\rm I} - N_{\rm II}| \to \min,$$

где N_I и $N_{\rm II}$ — число ОСИ соответственно в лабораториях I и II. Рассмотрим варианты a—f по критерию β:

$$W_2^a = |2-7| = 5$$
$$W_2^b = |5-6| = 1$$
$$W_2^c = |4-6| = 2$$
$$W_2^d = |4-7| = 3$$
$$W_2^e = |5-5| = 0$$
$$W_2^f = |4-6| = 2.$$

Таким образом, оптимальным разбиением по критерию β есть решение e, дающее следующие лаборатории:

$$\{A\ B\ C\ D\ E\}\ \{E\ F\ G\ K\ M\}.$$

Причем $W_1^e = 1$.

3. Оптимизация разбиения по критерию γ

Целевая функция при разбиении на две лаборатории в этом случае примет вид

$$W_3 = |m_{\rm I} - m_{\rm II}| \to \min,$$

где $m_{\rm I}$ и $m_{\rm II}$ — общее число параметров РСИ, поверяемых соответственно в лабораториях I и II. Общее число параметров (в том числе и одинаковых) РСИ, поверяемых всем комплексом, равно числу ребер графа Кенига (т. е. общему числу связей РСИ и ОСИ) для данной системы метрологического обслуживания.

При разбиении на блоки путем дублирования различных образцовых средств измерений суммарное число ребер всех блоков равно числу ребер исходного графа Кенига. Выпишем число ребер графа, попавших в отдельные блоки.

Блок 1 $\{A\ B\}$ — 4
Блок 2 $\{С\ Д\}$ — 3
Блок 3 $\{C\ E\}$ — 2
Блок 4 $\{E\ F\}$ — 2
Блок 5 $\{F\ G\ K\}$ — 4
Блок 6 $\{K\ M\}$ — 4

При разбиении на две лаборатории необходимо взаимным поглощением блоков получить два блока с одинаковым числом ребер. Общее число ребер равно 19. Для получения оптимального решения по критерию γ необходимо сформировать два блока с примерно равным числом ребер в каждом.

Проанализируем по критерию γ решения a—f, приведенные выше:

а) $\{A\ B\}\ \{C\ D\ E\ F\ G\ K\ M\}$

$m\,\{A\ B\} = 4 = m_{\text{I}}$

$$m_{\text{II}} = m\,\{CD\} + m\,\{CE\} + m\,\{EF\} + m\,\{FGK\} + m\,\{KM\} =$$
$$= 3 + 2 + 2 + 4 + 4 = 15$$
$$W_3^a = |4 - 15| = 11$$

в) $\{A\ B\ F\ G\ K\}\ \{K\ M\ F\ E\ C\ D\}$

$m_{\text{I}} = m\,\{AB\} + m\,\{F\ G\ K\} = 4 + 4 = 8$

$m_{\text{II}} = m\,\{KM\} + m\,\{FE\} + m\,\{CE\} + m\,\{CD\} = 4 + 2 + 2 + 3 = 11$

$$W_3^b = |8 - 11| = 3$$

с) $\{FGKM\}\ \{A\ B\ C\ D\ E\ F\}$

$m_{\text{I}} = m\,\{FGK\} + m\,(KM\} = 4 + 4 = 8$

$m_{\text{II}} = m\,\{AB\} + m\,\{CD\} + m\,\{CE\} + m\,\{EF\} = 4 + 3 + 2 + 2 = 11$

$$W_3^c = |8 - 11| = 3$$

d $\{E\ F\ G\ K\}\ \{K\ M\ C\ E\ D\ A\ B\}$

$m_{\text{I}} = m\,\{EF\} + m\,\{FGK\} = 2 + 4 = 6$

$m_{\text{II}} = m\,\{KM\} + m\,(CE\} + m\,\{CD\} + m\,\{AB\} = 4 + 2 + 3 + 4 = 13$

$$W_3^d = |6 - 13| = 7$$

е) $\{A\ B\ C\ D\ E\}\ \{E\ F\ G\ K\ M\}$

$m_{\text{I}} = m\,\{AB\} + m\,\{CD\} + m\,\{CE\} = 4 + 3 + 2 = 9$

$m_{\text{II}} = m\,\{EF\} + m\,\{FGK\} + m\,\{KM\} = 2 + 4 + 4 = 10$

$$W_3^e = |9 - 10| = 1$$

и т. д.

Из всех проанализированных вариантов по критерию γ наиболее оптимальным является решение e. Кроме того, решение e — оптимальное по критерию β и рациональное по α.

4. Оптимизация по критерию δ

Целевая функция при разбиении на две лаборатории в этом случае примет вид

$$W_4 = |T_{\Sigma I} - T_{\Sigma II}| \to \min,$$

где $T_{\Sigma I}$ и $T_{\Sigma II}$ — суммарное время поверки РСИ соответственно в лабораториях I и II.

Суммарное время поверки РСИ в лаборатории будет зависеть от используемого принципа поверки: последовательного, параллельного, параллельно-последовательного.

При параллельной поверке РСИ

$$T_\Sigma = t_{\text{пов.max}j}, \; j \in \{1 \div n\}.$$

Суммарное время поверки равно максимальному времени поверки РСИ из всех n РСИ, поступивших одновременно на поверку. Соответственно необходимо n-операторов-поверителей. При параллельно-последовательной поверке РСИ

$$T_\Sigma = \sum_{i=1}^{n/n_1} t_{i\,\text{пов}},$$

где n_1 — число поверителей.

При последовательной поверке РСИ

$$T_\Sigma = \sum_{i=1}^{n} t_{i\,\text{пов}}.$$

В нашем примере мы ограничимся рассмотрением последовательной поверки как параметров РСИ, так и РСИ.

В этом случае каждое ребро графа будет снабжено весом, равным времени поверки соответствующего параметра РСИ. При равенстве времен на поверку каждого параметра, т. е. при $t_1 = t_2 = ... = t_{19}$, данная задача становится полностью аналогичной задаче разбиения по критерию γ.

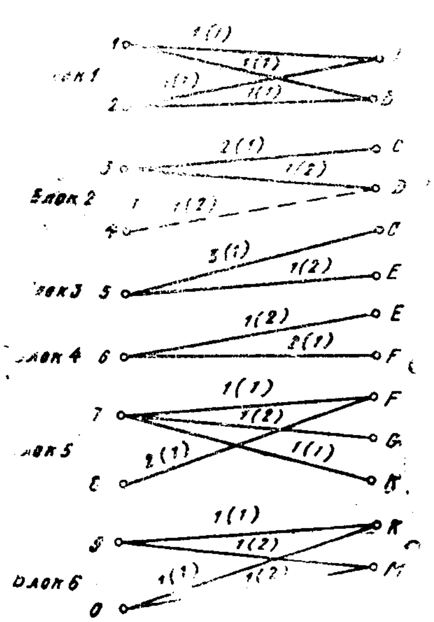

Рис. 5

В общем случае, считая известными времена на поверку параметров, проставим их (в условных единицах) на ребрах графа (рис. 5). Выпишем суммарные времена на поверку РСИ в каждом из блоков:

Блок 1 {A B} — 4
Блок 2 {C Д} — 4
Блок 3 {C E} — 4
Блок 4 {E F} — 3
Блок 5 {F G K} — 5
Блок 6 {K M} — 4

Суммарное время на поверку всего единичного парка входных приборов

$$T_\Sigma = 24 \text{ ед.}$$

Оптимальным разбиением будет такое, которое дает две лаборатории, в каждой из которых на поверку РСИ требуется 12 единиц времени.

Рассмотрим по критерию δ решение *e*.

$$\{A\ B\ C\ D\ E\}\ \{E\ F\ G\ K\ M\}$$

$$T_{\Sigma I} = T\{AB\} + T\{CD\} + T\{CE\} = 4 + 4 + 4 = 12$$
$$T_{\Sigma II} = T\{EF\} + T\{FGK\} + T\{KM\} = 3 + 5 + 4 = 12$$

Решение e оптимально по критерию δ.

$$W_4^e = |T_{\Sigma I} - T_{\Sigma II}| = |12 - 12| = 0.$$

5. Оптимизация разбиения по критерию $\varkappa$

Целевая функция при разбиении на две лаборатории в этом случае примет вид

$$W_5 = |C_{\Sigma I} - C_{\Sigma II}| \to \min,$$

где $C_{\Sigma I}$ и $C_{\Sigma II}$ — суммарная стоимость проведения поверки в каждой из лабораторий.

Стоимость поверки одного параметра j можно записать как

$$C_j = C_j^1 \cdot t_j,$$

где C_j^1 — стоимость, затрачиваемая в единицу времени при поверке параметра j;

t_j — время поверки параметра j.

В частном случае, если $C_j = \text{const}$ для $j = 1 \div \kappa$,

то задача разбиения по критерию $\varkappa$ равнозначна задаче разбиения по критерию δ, так как C_j^1 можно вынести и в итоге исключить как постоянный сомножитель, ибо нас интересуют лишь относительные оценки. В общем случае, считая известными стоимостные коэффициенты, проставим их (в условных единицах) на ребрах графа (рис. 5).

Выпишем суммарную стоимость поверки РСИ в каждом из блоков. Например: $C_1 = C_A \cdot t_{A1} + C_A \cdot t_{A2} + C_B \cdot t_{B1} + C_B \cdot t_{B2}$ и т. д.

Блок 1 $\{AB\} — C_1 = 1\cdot1 + 1\cdot1 + 1\cdot1 + 1\cdot1 = 4$
Блок 2 $\{CД\} — C_2 = 1\cdot2 + 2\cdot1 + 2\cdot1 = 6$
Блок 3 $\{CE\} — C_3 = 1\cdot3 + 2\cdot1 = 5$
Блок 4 $\{EF\} — C_4 = 2\cdot1 + 1\cdot2 = 4$
Блок 5 $\{FGK\} — C_5 = 1\cdot1 + 2\cdot1 + 1\cdot2 + 1\cdot1 = 6$
Блок 6 $\{KM\} — C_6 = 1\cdot1 + 2\cdot1 + 1\cdot1 + 2\cdot1 = 6$

$$C_\Sigma = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 + C_6 = 4+6+5+4+6+6 = 31$$

Оптимальным разбиением будет такое, которое даст две лаборатории, в каждой из которых на поверку РСИ расходуется $15 \div 16$ стоимостных единиц.

Рассмотрим по критерию $\varkappa$ решение e.

$$\{A\ B\ C\ D\ E\}\ \{E\,F\,G\,K\,M\}$$
$$C_{\Sigma I} = C\{AB\} + C\{CD\} + C\{CE\} = 4 + 6 + 5 = 15$$
$$C_{\Sigma II} = C\{EF\} + C\{FGK\} + C\{KM\} = 4 + 6 + 6 = 16$$
$$W_5^e = |C_{\Sigma I} - C_{\Sigma II}| = |15 - 16| = 1 = W_{5\,\min}$$

Таким образом, решение e является оптимальным по критерию $\varkappa$.

6. Вывод обобщенного критерия разбиения

Для получения обобщенного критерия разбиения рационально использовать общепринятый метод суммирования частных критериев с соответствующими весовыми коэффициентами, отражающими относительную важность данного критерия перед остальными. В этом случае обобщенный критерий разбиения можно записать в виде

$$W_\Sigma = P_1 W_1 + P_2 W_2 + P_3 W_3 + P_4 W_4 + P_5 W_5 = \sum_{i=1}^{5} P_i W_i .$$

Весовые коэффициенты $P_1 \div P_5$ определяются в результате экспертного анализа.

В случае равнозначности всех критериев

$$W_\Sigma = \sum_{i=1}^{5} W_i .$$

7. Алгоритм компоновки из блоков двух лабораторий

1 шаг. Путем поглощения отдельных подмножеств (блоков) формируется несколько вариантов разбиения.

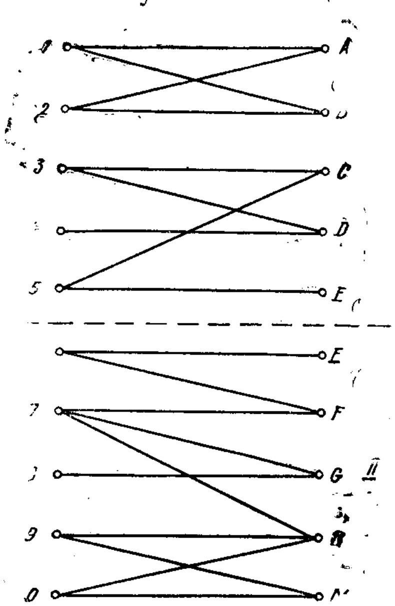

Рис. 6

2 шаг. Ввод исходных данных. Характеристики блоков:

а) число ОСИ;

б) число ребер в каждом подграфе;

в) веса ребер: t_j, C_j^1.

3 шаг. Вычисление значений $W_1 \div W_5$ для всех возможных вариантов разбиения.

4 шаг. Нахождение W_Σ для всех вариантов разбиения.

5 шаг. Выбор $W\Sigma_{\min}$ из всех возможных вариантов.

6 шаг. Печать итогового оптимального разбиения.

Для нашего примера нет смысла просчитывать все варианты, так как совершенно очевидным является тот факт, что вариант *е* является наиболее оптимальным, потому что критериям $\beta - W_2$, $\gamma - W_3$, $\delta - W_4$, $\varkappa - W_5$ этот вариант оптимальный, т. е. наилучший, и лишь по критерию $\alpha - W_1$ — рациональный.

Итоговое разбиение для нашего примера тогда

$\{A\ B\ C\ Д\ E\}\{E\ F\ G\ K\ M\}$ (рис. 6).