

## АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Еремеишвили Н.И., Аркания М.Т.

Грузинский Технический Университет

## Резюме

Последнее время проводилась целенаправленная работа по созданию систем метрологического обеспечения. Эффективное функционирование автоматизированного рабочего места метролога требует решения задач организация максимальной загруженности модулей образцовых средств измерений в условиях неравномерного входного потока рабочих средств измерений. Используя в качестве математической модели, описывающей систему метрологического обеспечения двудольный граф. Практическое использование алгоритма показало его эффективность возможность решения задач большой реальной размерности, наличие преимуществ перед известными аналогами.

**Ключевые слова:** Образцовая средства измерений. Рабочие средства измерений. Группа равнозначных несовместимых гипотез.

## 1. Введение

Эффективное функционирование автоматизированного рабочего места метролога требует решения таких задач, как организация максимальной загруженности модулей образцовых средств измерений (далее ОСИ) в условиях неравномерного входного потока рабочих средств измерений (далее РСИ) и создания такой очереди обслуживания РСИ, которая минимизирует суммарное время поверки всей партии РСИ, поступивших на обслуживание на данное рабочее место метролога.

## 2. Основная часть

Допустим автоматизированное рабочее место метролога имеет конечное число  $M$  модулей образцовых средств измерений, каждое из которых в общем случае является многофункциональным, то есть способно обеспечивать поверку нескольких параметров, но имеет один измерительный выход, т.е. обеспечивает поверку одного параметра.

Допустим  $N$  - конечное число рабочих средств измерений, одновременно поступивших на рабочее место метролога. Необходимо построить систему метрологического обеспечения поступивших на поверку приборов, при которой минимизируются временные затраты на поверку, что будет достигаться при условии, что одновременно параллельно поверяется максимальное число РСИ при использовании в схемах поверки минимально возможного числа ОСИ, если же незадействованные ОСИ будут по возможности наиболее многофункциональными, то этим обеспечивается минимум стоимости ОСИ; включенных в процесс поверки и готовность рабочего места метролога к поверке новой партии приборов.

Используя в качестве математической модели, описывающей систему метрологического обеспечения двудольный граф, сформулированную задачу можно отнести к одному из вариантов задачи о назначении наибольшем паросочетании в графе  $I(X, Y, U)$ , где

$X = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}$  - множество РСИ,

$Y = \{y_1, y_2, \dots, y_N\}$  - множество ОСИ,

$U = \{u_1, u_2, \dots, u_N\}$  - множество методов поверки - ребер графа, связывающих элементы РСИ и ОСИ.

Перед началом решения задачи для каждого из  $M$  ОСИ имеем полную группу равнозначных несовместимых гипотез возможности поверки  $j$ -го РСИ  $i$ -м ОСИ.

$$H_{i1}, H_{i2}, \dots, H_{iN}, \quad i = \overline{1, M}$$

вероятность осуществления которых  $P(H_{ij}) = 1/N$ ,  $j = \overline{1, N}$  для каждого  $i = \overline{1, M}$ ,

$$\sum_{j=1}^N P(H_{ij}) = 1, \quad i = \overline{1, M}. \text{ Учитывая функциональные возможности каждого ОСИ вычисляет}$$

вероятность  $P(1/H_{ij})$  проверки  $i$ -го ОСИ  $j$ -м РСИ при выполнении гипотезы  $H_{ij}$ .

Вероятность  $P(1/H_{ij})$  вычисляется следующим образом. Пусть  $\alpha$  ОСИ могут поверить параметр  $\gamma$ , а  $\beta$  ОСИ - параметр  $\delta$ , тогда для двух-функционального устройства, обладающего возможностями поверять параметры  $\gamma$ ,  $\delta$  то есть входящего в множество  $\alpha$  и  $\beta$  вероятности обслуживания объектов  $\gamma$  и  $\delta$  соответственно равны  $P(1/H_{\alpha, \delta, \gamma}) = 1/\alpha$ ,  $P(1/H_{\beta, \delta, \gamma}) = 1/\beta$ . Таким образом заполняется матрица вероятностей  $P(1/H_{ij})$ , имеющая размерность  $M \times N$ . Проверкой служит равенство единице суммы вероятностей проверки каждого РСИ всеми ОСИ, то есть

$$\sum_{i=1}^M P(1/H_{ij}) = 1, \quad j = \overline{1, N}.$$

Полная вероятность того, что ОСИ  $i$  будет включено в систему обслуживания  $N$  РСИ определяется как

$$P(A_i) = \sum_{j=1}^N P(H_{ij}) \cdot P(A/H_{ij}), \quad i = \overline{1, M}$$

События  $A_1, A_2, \dots, A_M$  образуют полную группу несовместимых событий, поэтому итоговой проверкой является  $\sum_{i=1}^M P(A_i)$ .

Алгоритм состоит из последовательного целенаправленного перебора строк матрицы вероятностей  $P(A/H_{ij})$  размерностью  $N \times M$  строки матрицы соответствуют образцовым средствам измерений, а столбцы - рабочим средствам измерений и пересекающих их столбцов с использованием минимаксного критерия.

Процесс перебора начинается со строки характеризуемой наименьшим значением вероятности  $P(A_i)$ ,  $P(A_i) > 0$ , так как при  $P(A_i) = 0$   $i$ -ое ОСИ не имеет возможности поверять ни одно из  $N$  РСИ; при этом образцовое средство измерений  $i$ ,  $P(A_i) = 0$  выводит на печать в список модулей, оставшихся в данный момент без назначения, то есть в первую очередь загружается наиболее узкопрофильный модуль ОСИ, чтобы обеспечить наибольшую свободу выбора при каждом последующем шаге алгоритма, так как в «резерве» будут оставаться после каждого предыдущего шага наиболее многофункциональные модули ОСИ. При вычеркивании строки  $i$  пересекается  $z$  столбцом, в которых значения  $P(A/H_{ij}) \neq 0$ , что означает:  $i$ -ое ОСИ может поверять любое  $z$  РСИ входного потока  $N$ . Из этих столбцов выбираем тот, у которого значение  $P(A/H_{ij}) = \max$  в данной  $i$ -ой строке, тем самым наиболее «узкопрофильное» образцовое средство измерений включается в проверку того рабочего средства измерений, для проверки которого имеется меньше всего образцовых средств измерений, а вероятность проверки  $i$ -м ОСИ  $j$ -го РСИ -  $P(A/H_{ij})$  соответственно принимает наибольшее значение.

Таким образом проведенное вычеркивание строки и столбца матрицы вероятностей производит назначение одного рабочего средства измерений на поверку к одному образцовому средству измерений в формируемой системе поверки. Вычеркнутые строка-столбец зануляются и алгоритм повторяется сначала. Если на  $k$ -ом шаге алгоритма при просмотре строки все ее элементы занулены вычеркиванием столбцов на предыдущих  $k-1$  шагах, то  $k$ -ое образцовое средство измерений не включается в систему поверки. Алгоритм заканчивается, когда все строки матрицы просмотрены и занулены.

Описанный алгоритм, основанные на использовании минимального вероятностного критерия, имеет оценку числа вычислительных операций  $O(n^2)$ , где  $n = \max(M, N)$ , что говорит о его высокой эффективности. Алгоритм также характеризуется получением решения целенаправленным поиском, исключая перебор, уточнение предварительного решения и т.д. Использование данного алгоритма дает возможность оптимизировать процесс функционирования автоматизированного рабочего места метролога. Алгоритм может быть применен для решения задачи минимизации времени и стоимости поверки в условиях формирования очереди на обслуживание рабочих средств измерения. Алгоритм может выступать как отдельный программный модуль этого же автоматизированного рабочего места метролога. В итоге алгоритм решения записывается в следующем виде:

1. Рассчитать значения вероятностей  $P(H_{ij}), P(A/H_{ij}), P(A_i), i = \overline{1, M}, j = \overline{1, N}$ .
2. Записать матрицу вероятностей  $P(A/H_{ij}), i = \overline{1, M}, j = \overline{1, N}$ .
3. Найти в матрице вероятностей множество  $R$  строк с  $P(A_i) = 0$ .
4. Если  $R \neq \emptyset$ , перейти к 9°, иначе к 6°.
5. Записать номера строк, вошедших в  $R$  – в множество ОСИ, не включенных в систему поверки.
6. Занулить строки, вошедшие в  $R$ .
7. Если  $R = M$ , перейти к 13°, иначе к 8°.
8. Найти в матрице вероятностей строку  $i$  с  $P(A_i) \min$ .
9. Найти в строке  $i$  столбец с  $P(A/H_{ij}) \max$ .
10. Вывести на печать назначение: ОСИ  $i \rightarrow$  РСИ  $j$ .
11. Занулить строку  $i$ , строку  $i$  и столбец  $j$  в матрице вероятностей.
12. Вычислить  $T$  - число строк матрицы вероятностей, зануленных на шагах 6° и 11°. 13°. Если  $M = T = 0$ , перейти к 14°, иначе к 8°.
14. Останов.

Доказательством корректности решения является использование минимаксного критерия:

$$\pi(\alpha) = F(\min_{i=\overline{1, M}} P(A_i), \max_{i=\overline{1, M}} P(A/H_{ij})),$$

где  $\pi(\alpha)$  - максимальное число гаросочетаний между ОСИ и РСИ, то есть максимальное число назначений в системе-поверки, каждое назначение производится наиболее оптимальным образом: из модулей образцовых средств измерений выбирается наиболее узкопрофильное, то есть  $P(A_i) = \min$  из рабочих средств измерений, которые могут быть обслужены  $i$ -м ОСИ, выбирается РСМ с  $P(A/H_{ij}) = \max$ , то есть тот объект поверки, для которого меньше всего существует модулей образцовых средств измерений.

### 3. Заключение

Проверка корректности полученного решения для исключения возможных ошибок в ходе алгоритма проводится согласно теореме Кенига-Оре. Практическое использование алгоритма показало его эффективность возможность решения задач большой реальной размерности, наличие преимуществ перед известными аналогами. Организация эффективного функционирования автоматизированного рабочего места метролога требует дальнейших разработок программных модулей, минимизирующих время и стоимость поверки в условиях формирования очереди на обслуживание рабочих средств измерений.

### ლიტერატურა - References – Литература:

1. Рейх Н.Н., Тупиченков А.А., Цейтлин В.Г. (2008). Метрологическое обеспечение производства. -М., Изд. стандартов.
2. Цой С., Цухай СМ. (1999). Прикладная теория графов. - Алма-Ата: Наука.
3. Hopcraft J.E., Karp R.M. (2003). An  $n^2/2$  algorithm for maximum matchings in bipartite graphs. [SIAM]. Comput. №4, с. 225-231.
4. Зедгинидзе И.Г. (2006). Метрология и метрологическое обеспечение. Тб., Изд. Технический университет „Центр информатизации“.

### მეტროლოგიური უზრუნველყოფის ავტომატიზებული სისტემები

ნაზიბროლა ერემეიშვილი, მაია არქანია

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

#### რეზიუმე

ბოლო პერიოდში განხორციელდა მიზანმიმართული მუშაობა შექმნილიყო მეტროლოგიური უზრუნველყოფის სისტემები. ეფექტური ფუნქციონირებისათვის მეტროლოგის ავტომატიზებული სამუშაო ადგილის შექმნა მოითხოვს ორგანიზებულად, მაქსიმალური დატვირთვით გადაიჭრეს მიახლოების ამოცანა არათანაბარი შესასვლელი ნაკადის მქონე მუშა საშუალებების დატვირთვისა სანიმუშო გაზომვის საშუალებებთან. მათემატიკური მოდელისათვის გამოყენებულია სისტემა, რომელიც აღწერს მეტროლოგიური უზრუნველყოფის ორმხრივი გრაფის მეთოდს. ალგორითმის პრაქტიკულმა გამოყენებამ გვიჩვენა მისი შესაძლო ეფექტურობა ამოხსნას ამოცანა უკვე არსებული ანალოგებთან შედარებით დიდი რეალური მოცულობით

### METROLOGICAL PROVISION OF AUTOMATED SYSTEMS

Eremeishvili Nazibrola, Arqania Maya

Georgian Technical University

#### Summary

Have recently been undertaken to work to create a metrology software systems. Effective functioning of the automated metrologists have require an organized manner, with maximum load settled by approaching the task with the uneven flow of workers to the front loading sample measurement means. Using the bipartite graph as a mathematical model describing the metrological supportsystem. The practical use of the algorithm has shown its effectiveness to solve problems of great real dimension, the availability of advantages over known analogs.