

УДК 519.718

Д.т.н., проф. Гроль В.В., асп. Майданюк І. В., Хаїтов М. І.

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут»

**ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ПРИСКОРЕНОГО АЛГОРИТМУ  
ФОРМУВАННЯ МІНІМІЗОВАНОЇ  
GL-МОДЕЛІ ПОВЕДІНКИ ВБС У ПОТОЦІ ВІДМОВ**

**Abstract**

*Groll V., Doct. of Science; Maidanyuk I., postgraduate; Khaitov M., student  
Algorithm and program for minimized base cycle graph-logic model creation*

*This paper concerns the task of cycle graph-logical models creation. Creation of non-minimized model is discussed as well as classical minimization algorithm. Authors propose the modified model creation algorithm that generates an already minimized solution. Paper also contains the short description of such algorithm implementation. The ways for further research are proposed as well.*

**Вступ**

Протягом останніх десятиліть розвитку цифрових обчислювальних систем все більш актуальною і важливою стає задача підвищення їх надійності. Особливо гостро це питання стосується систем управління критичними та складними об'єктами, відмова яких може привести до великих втрат, у тому числі до людських жертв (літак, космічна ракета, АЕС).

Одним із перспективних напрямків в області створення високонадійних систем управління є побудова відмовостійких багатопроцесорних систем (ВБС) [1], що продовжують працювати при втраті певної множини своїх елементів за рахунок перерозподілу надлишкових ресурсів. Дослідження реакцій ВБС, розрахунок їх надійнісних характеристик, пошук «вузьких» місць є актуальними задачами, які можна вирішити аналізуючи поведінку ВБС у потоці відмов.

На етапі проектування ВБС, розробнику іноді доводиться вносити зміни до системи, досягаючи бажаного рівня відмовостійкості, і, відповідно, кожного разу перераховувати надійність системи. У цьому можуть допомогти різноманітні математичні моделі. Зупинимось на графологічних моделях (GL-моделях) [2] поведінки ВБС у потоці відмов, особливістю яких, окрім іншого, є універсальність, порівняна простота формування.

GL-модель представляє собою неорієнтований циклічний граф, наявність того чи іншого ребра в якому визначається значенням відповідної булевої (реберної) функції. Реберні функції  $f_i$  графа залежать від індикаторних змінних  $x_1 \dots x_n$ , що відображають роботоздатність відповідних модулів системи ("1" - модуль виконує свої функції, "0" - ні), де  $n$  - кількість процесорів. Якщо така функція набуває нульового значення, відповідне ребро виключається з графу моделі. Стану системи в цілому ж відповідає зв'язність графа. Таким чином, GL-модель об'єднує в собі властивості графів та булевої алгебри.

### Постановка задачі

Складні ВБС в більшості є небазовими – такими, що можуть зберігати роботоздатність при відмові більшого за  $m$  числа процесорів на відміну від базових, що продовжують працювати, якщо кількість відмов менша або дорівнює  $m$ . Практично розглядається відмова не більше  $m+1$  процесорів. Моделі небазових ВБС будуються на основі моделей базових ВБС, причому складність модифікації прямо пропорційно залежить від кількості ребер, які зникають в базовій моделі. Тому важливим є створення так званої мінімізованої базової GL-моделі, в якій при появі  $m+1$  відмови зникає 2 ребра (необхідний мінімум для втрати циклічним графом зв'язності).

В роботі [2] представлений алгоритм побудови графо-логічної моделі циклічного типу. За ним виконується послідовний поділ множини компонентів (змінних функцій GL-моделі) на дві рівних (чи майже рівних) підмножини і перебір всіх варіантів розподілу по ним заданої кількості відмов -  $m$ . Цей процес продовжується до тих пір, доки кількість відмов в поточній підмножині не буде дорівнювати потужності самої підмножини або не буде дорівнювати одиниці. Далі записується функція, яка відповідає кожному такому розподілу, та приписується одному ребру графа моделі. В результаті отримуємо так звану канонічну GL-модель.

Згідно [3] далі проводиться мінімізація цієї моделі, яка базується на операції склеювання: якщо існує два ребра з функціями  $F_1 = Z \vee \varphi_1$  та  $F_2 = Z \vee \varphi_2$ , то їх можна замінити одним ребром з функцією  $F_{12} = Z \vee \varphi_1 \varphi_2$ . Склеювання проводиться таким чином, що отримана після мінімізації модель втрачає мінімальну кількість ребер (2 для циклічної) при появі вектора станів системи з  $m+1$  нулем.

Алгоритм, представлений в [3] має ряд суттєвих недоліків, основними з яких є громіздкість, а для великих моделей це являється критичним.

Зі сказаного вище випливає доцільність вирішення наступної задачі: модифікувати алгоритм з [3] та розробити його програмну реалізацію, що дозволить формувати базову GL-модель в обхід процедури мінімізації за

прийнятний час. Вказана реалізація має бути виконана як у вигляді самостійної програми, так і виконуваного модуля з можливістю інтеграції в інші спеціалізовані системи розрахунку надійності.

### **Опис модифікації алгоритму та програми**

Викладений вище процес побудови графологічної моделі (без мінімізації) був представлений в вигляді дерева в роботі [4]. В [5] було доведено, що при розбитті множини компонентів на дві підмножини і переборі варіантів розподілу відмов по ним, достатньо розглянути лише випадки, в яких всі відмови знаходяться в одній із підмножин. Алгоритм, отриманий в результаті модифікації вищевказаного, можна в узагальненому вигляді представити наступним чином:

1. Створити дерево побудови мінімізованої графологічної моделі та виконати по необхідності розподіл на підмножини для функцій, що приписані листкам нижнього рівня. Назвемо такі вузли додатковими.
2. Ітераційно отримати усі функції моделі, що приписані вершинам дерева, не розкриваючи дужки при кон'юнкції відповідних частин. Видалити нащадків додаткових вузлів.

Програма написана на мові високого рівня Object Pascal. Вона складається з двох модулів: `uMainForm` (модуль реалізації інтерфейсу) та `uGLModel` (опис структур даних та власне реалізація алгоритму побудови базової графологічної моделі). Вершина дерева в програмі представляється записом `TGLTreeNode`, який містить два текстових поля (елементи диз'юнкції, з якої формується реберна функція) та два динамічні масиви, в яких зберігаються посилання на нащадків відповідної вершини. Також зберігається матриця записів `THelpingNodePointer` зі вказівниками на побудовані піддерева та значеннями індексу першого елемента множини змінних, для якого вони будувались. Перший індекс в матриці значення потужності множини змінних для функції, з якої будується піддерево, а другий значення кількості відмов для неї. Алгоритм реалізується рекурсивною функцією `CreateFunction_K`, яка отримує граничну кількість відмов, вказівник на вузол-предок та діапазон змінних в множині  $\alpha_j$ . Рекурсія зупиняється, коли потужність множини дорівнює кількості відмов, або кількість відмов дорівнює одиниці. В такому випадку значення функції тривіальне. Модуль реалізації інтерфейсу використовує стандартні засоби VCL для відображення форми (змінна `fMainForm`), полів вводу значень кількості модулів системи та граничної кількості відмов в ній і дерева GL-моделі (`tvGLModel` типу `TTreeView`).

## Висновки

Описана вище програма виконує побудову базових мінімізованих GL-моделей в обхід етапу мінімізації, що дозволяє не лише отримати значне прискорення в порівнянні з немодифікованим алгоритмом, але й спростити трансформацію такої базової моделі. Програма, що реалізувала приведений алгоритм, в окремих випадках будувала модель у десять разів швидше за аналог. Крім іншого, прискорення роботи алгоритму було досягнуте за рахунок використання дужкової форми представлення функцій, а не у вигляді ДНФ.

## Література

1. Харченко В.С., Жихарев В.Я., Ілюшко В.М., Нечипорук Н.В. «Многоверсионные системы, технологии, проекты» // Харків; Нац. Аэрокосм. ун-т «Харківський авіаційний інститут», 2003. – 486с.
2. Романкевич О.М., Карачун Л.Ф., Романкевич В.О. «Графо-логические модели для анализа сложных отказоустойчивых вычислительных систем» // ж. «Электронное моделирование», 2001, т.23, №1, с.102-111.
3. Романкевич О.М., Ал Шбул Рабах, Романкевич В.О., Назаренко В. О «Минимизации базових циклических GL-моделей» // Вісник ТУП, частина 1, т. 2 «Технічні науки».- Хмельницький,- 2004.- с.42-45.
4. Романкевич В.О. Условие существования попарных реберных циклов в GL-моделях  $K(3,n)$  / В.О. Романкевич, А.А. Кононова, Бахтарі Хедаятоллах // Вісник НТУУ “КПІ” Інформатика, управління та обчислювальна техніка. - 2007. - №46. - с.54-61.
5. Романкевич В. А. GL-модель поведения отказоустойчивых многопроцессорных систем с минимальным числом теряемых ребер / В. А. Романкевич, Е. Р. Потапова, Бахтарі Хедаятоллах, В. В. Назаренко // Вісник НТУУ “КПІ” Інформатика, управління та обчислювальна техніка. - 2006. - № 45. - С. 93-100.