



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМ. ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Кафедра обчислювальної техніки

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт
з кредитного модуля
"Паралельні та розподілені обчислення"

для студентів напряму підготовки
123 «Комп'ютерна інженерія»

Розробник: доцент, канд. техн. наук, доцент Корочкін О.В.
(посада, вчена ступінь та звання П.І.Б.)

Затверджено на засіданні кафедри
Протокол № _____ від «___» _____ 2017 р.

Завідувач кафедри ОТ
Стіренко С.Г.
(прізвище, ініціали)

(підпис)

Київ – 2017/18 н.р.

Метою виконання лабораторних робіт по кредитному модулю "Паралельні та розподілені обчислення" (семестр 5) є закріплення теоретичних знань та умінь, які необхідні для розробки програм для паралельних комп'ютерних систем (ПКС), а також отримання практичних навиків по роботі з потоками (процесами) в сучасних мовах і бібліотеках паралельного програмування.

ЗМІСТ ТА ОФОРМЛЕННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Цикл лабораторних робіт по кредитному модулю складає *шість* робіт. Студент може обрати відповідний набір лабораторних робіт :

Оцінка	Кількість робіт	Лабораторні роботи
A	6	1 - 6
B, C	5	1, 2, (3 або 4), 5, 6
D, E	4	1, 2, (3 або 4), (5 або 6)

Лабораторні роботи пов'язані з вивченням засобів роботи з потоками (процесами) в мовах паралельного програмування Java, Ада, С# і бібліотеках WinAPI, MPI, OpenMP.

Для виконання робіт необхідно отримати варіант завдання для першої роботи, який включає номери трьох математичних функцій F1, F2, F3 з Додатку Б (1.x, 2.x, 3.x). Функції пов'язані з виконанням операцій над векторами і матрицями.

Лістинг програми повинен починатися з «шапки» - строк коментаріїв, де відображається наступна інформація: назва дисципліни, номер та назва роботи, функції F1, F2, F3, ПІБ студента, група, дата.

Для захисту роботи студент надає завдання на роботу та протокол виконання роботи.

Захист роботи здійснюється в два етапи. Спочатку студент відповідає на запитання, що пов'язані з теоретичною частиною завдання і програмою. За позитивної оцінки теоретичних знань студент показує виконання програми на комп'ютері. Кожна робота оцінюється (A, B, C, D, E). Оцінки за лабораторні роботи і за модульну контрольну роботу визначають підсумкову залікову оцінку з кредитного модуля .

Лабораторна робота N 1. ПОТОКИ В МОВІ АДА. ЗАДАЧІ

Мета роботи: вивчення засобів мови Ада для роботи с потоками (процесами).

Виконання роботи: Розробити програму, яка містить *паралельні потоки* (задачі), кожна з яких реалізую відповідну функцію F1, F2, F3 з Додатку Б згідно отриманому варіанту.

Програма повинна мати пакет *Data* і основну процедуру *Lab1*. Пакет містить ресурси, необхідні для обчислення функцій F1, F2, F3 через підпрограми *Func1*, *Func2*, *Func3*.

При створенні задач необхідно:

- вказати ім'я задачі
- встановити пріоритет задачі

- задати розмір стека задачі
- обрати і задати номер процесу (ядра) для виконання кожної задачі.

Задачі незалежні, спільних даних не мають!

В тілі задачі задіяти оператор задержки **delay** при виконанні функцій F1, F2, F3 з невеликим часом затримки.

Дослідити при виконанні програми:

- вплив пріоритетів задач на чергу запуску задач
- вплив оператора затримки **delay** на порядок виконання задач.
- завантаження центрального багатоядерного процесора паралельної комп'ютерній системи (ПКС). Зміна кількості ядер здійснюється за допомогою Менеджера (Диспетчера) задач ОС Windows.

Необхідні теоретичні відомості: мова Ада забезпечує програмування паралельних процесів (потоків) за допомогою задачних модулів (**task**). Управління виконанням задач можна здійснювати через встановлення пріоритетів задач (прагма **priority**), а також через оператор **delay**, який блокує виконання задачі на заний період часу.

Задачі мають стандартну для мови структуру, тобто містять специфікацію і тіло. Специфікація задачі дозволяє описати ім'я задачі, пріоритет, засоби взаємодії з іншими задачами та інше. Тіло задачі визначає дії задачі.

Теоретичні відомості по програмуванню задач в мові Ада можна знайти в [1, 2, 15, 17].

Лабораторна робота N 2. ПОТОКИ В МОВІ JAVA

Мета роботи: вивчення засобів мови Java для роботи с потоками.

Виконання роботи: Розробити програму, яка містить *паралельні потоки*, що реалізують відповідну функцію F1, F2, F3 з Додатку Б згідно отриманому варіанту.

Вимоги що до створення потоків і завдання дослідження особливості виконання паралельної програми визначені в лабораторній роботі 1.

В потоках використати методи **sleep()** і **join()**.

Необхідні теоретичні відомості: мова Java забезпечує програмування паралельних процесів (потоків) за допомогою потоків (**threads**). Використається клас **Thread** або інтерфейс **Runnable**.

Потоки визначають паралельне виконання Java програми в ПКС. Управління виконанням потоків можна здійснити за допомогою пріоритетів потоків (метод **set_Priority()**), метода **sleep()**, який викликає блокування потоку на вказаний період часу

Метод **join()** використовується для синхронізації основного метода з потоками, які він запускає на виконання.

Метод **run()** визначає дії потоку при виконанні.

Теоретичні відомості по програмуванню потоків в мові Java можна знайти в [1,2, 34, 51, 55, 59].

Лабораторна робота N 3. ПОТОКИ В МОВІ C#

Мета роботи: вивчення засобів мови C# для роботи з потоками.

Виконання роботи: Розробити програму, яка містить *паралельні потоки*, що реалізують відповідну функцію F1, F2, F3 з Додатку Б згідно отриманому варіанту.

Вимоги що до створення потоків і завдання дослідження особливості виконання паралельної програми визначені в лабораторній роботі 1.

Необхідні теоретичні відомості: мова C# забезпечує можливість програмування паралельних процесів за допомогою потоків класу *Thread* з використанням концепції потокових функцій.

Теоретичні відомості по програмуванню потоків в мові C# можна знайти в [21, 38, 43].

Лабораторна робота N 4. ПОТОКИ В БІБЛІОТЕЦІ WinAPI

Мета роботи: вивчення засобів бібліотеки WinAPI для роботи з потоками.

Виконання роботи: Розробити програму, яка містить *паралельні потоки*, що реалізують відповідну функцію F1, F2, F3 з Додатку Б згідно отриманому варіанту.

Вимоги що до створення потоків і завдання дослідження особливості виконання паралельної програми визначені в лабораторній роботі 1.

Необхідні теоретичні відомості: бібліотека WinAPI забезпечує можливість програмування паралельних процесів за допомогою функції *Create_Thread* з використанням концепції потокових функцій.

Теоретичні відомості по програмуванню потоків в бібліотеці WinAPI можна знайти в [1, 2].

Лабораторна робота N 5. ПОТОКИ В БІБЛІОТЕКЕ OpenMP

Мета роботи: вивчення засобів бібліотеки OpenMP для роботи з потоками.

Виконання роботи: Розробити програму, яка містить *паралельні потоки*, що реалізують відповідну функцію F1, F2, F3 з Додатку Б згідно отриманому варіанту.

Вимоги що до створення потоків і завдання дослідження особливості виконання паралельної програми визначені в лабораторній роботі 1.

Необхідні теоретичні відомості: бібліотека OpenMP забезпечує можливість програмування паралельних процесів за допомогою набору прагм з використанням концепції визначення паралельних ділянок і копіювання коду.

Теоретичні відомості по програмуванню потоків в бібліотеці OpenMP можна знайти в [1, 2, 4, 64].

Лабораторна робота N 6. ПОТОКИ В БИБЛИОТЕКЕ MPI

Мета роботи: вивчення засобів бібліотеки MPI для роботи з потоками.

Виконання роботи: Розробити програму, яка містить *паралельні потоки*, що реалізують відповідну функцію F1, F2, F3 з Додатку Б згідно отриманому варіанту.

Вимоги що до створення потоків і завдання дослідження особливості виконання паралельної програми визначені в лабораторній роботі 1.

Необхідні теоретичні відомості: бібліотека MPI забезпечує можливість програмування паралельних процесів за допомогою набору процедур і типів з використанням концепції копіювання коду програми.

Теоретичні відомості по програмуванню потоків в бібліотеці MPI можна знайти в [1, 2, 5, 16, 25, 36, 68].

ЛІТЕРАТУРА

Основна

1. Жуков І., Корочкін О. Паралельні та розподілені обчислення – Київ: «Корнійчук», 2005.- 260 с.
2. Жуков І., Корочкін О. Паралельні та розподілені обчислення. Навч. посібн. 2-ге видання - Київ: «Корнійчук», 2014. - 284 с.
3. Жуков І., Корочкін А. Паралельные и распределенные вычисления. Лабораторный практикум. Киев: «Корнійчук», 2008.- 240 с.

Додаткова

4. Антонов А.С. Параллельное программирование с использованием технологии OpenMP: Учебное пособие".-М.: Изд-во МГУ, 2009. - 77 с.
5. Богачев К.Ю. Основы параллельного программирования. – М.: БИНОМ. Лаб. знаний, 2003. – 342 с .
6. Брайант Р. Компьютерные системы: архитектура и программирование. - ВHV-СПб, 2005. - 1186 с.
7. Бройнль Т. Паралельне програмування. Початковий курс: Навч. посіб. – К.: Вища шк, 1997. – 358 с.
8. Валях Е. Последовательно-параллельные вычисления. – М.: Мир, 1985. – 456 с.
9. Воеводин В.В. Математические модели и методы в параллельных процессах. – М.: Наука, 1984. – 296 с.
10. Воеводин В., Воеводин В. Параллельные вычисления. БХВ- Петербург, 2002. 608 стр.
11. Гергель В. Высокопроизводительные вычисления для многопроцессорных многоядерных систем. . М.: Изд. МГУ.- 2010. – 544 с.
12. Гома Х. UML. Проектирование систем реального времени, параллельных и распределенных приложений. – М.: ДМК Пресс, 2002. – 704 с.
13. Гофф Макс К. Сетевые распределенные вычисления. Достижения и проблемы. –

М.:Кудиц-Образ, 2005. - 320 с.

14. Дейтел Д. Введение в операционные системы. – М.: Мир,1989. – 360 с.
15. Джахани Н. Язык Ада. – М.: Мир, 1988. – 552 с.
16. Корнеев В.Д. Параллельное программирование в МРІ. – Москва-Ижевск: "Институт компьютерных исследований", 2003. - 303 с.
17. Корочкин А.В. Ада95: Введение в программирование. – К.: Свит, 1999. – 260 с.
18. Линева А., Боголепов Д. Технологии параллельного программирования для процессоров новых архитектур. М.: Изд. МГУ.- 2010. – 160 с.
19. Лисков Б., Гатэдж Дж. Использование абстракций и спецификаций при разработке программ : Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 424 с.
20. Лупин С., Посыпкин М. Технологии параллельного программирования. М.: ИД Форум, 2011. - 208 с.
21. Мак-Дональд М., Шпуста М. Microsoft ASP.NET 2.0 с примерами на С# 2005 для профессионалов.: Пер. с англ. – М.: Изд. дом «Вильямс», 2006. - 1408 с.
22. Малышкин В.Э., Корнеев В.Д. Параллельное программирование мульткомпьютеров. - НГТУ, 2006. - 296 с.
23. Миллер Р., Боксер Л. Последовательные и параллельные алгоритмы: Общий подход. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2004. – 406 с.
24. Миренков Н.Н. Параллельное программирование для многомодульных вычислительных систем. – М.: Радио и связь, 1989. – 320 с.
25. Немнюгин С., Стесик О. Параллельное программирование для многопроцессорных вычислительных систем. – СПб.: БХВ – Петербург, 2002. – 400 с.
26. Немнюгин С. А. Модели и средства программирования для многопроцессорных вычислительных систем. С.Петербургский ГУ, 2010. - 150 с.
27. Ноутон П., Шилдт Г. Java2: Пер. с англ. – СПб.: БХВ – Петербург, 2000. – 1072 с.
28. Ортега Дж. Введение в параллельные и векторные методы решения линейных систем. – М.: Радио и связь, 1989, – 280 с.
29. Параллельные вычисления / Под ред. Г.Родрига – М.: Наука, 1986. – 376 с.
30. Пайл Я. Ада – язык встроенных систем. – М.; Финансы и статистика, 1984. –120 с.
31. Перминов О.Н. Введение в язык программирования Ада.– М.: Радио и связь, 1991 – 228 с.
32. Программирование на параллельных вычислительных системах/ Пер. с англ./ Р.Бэбб, Дж. Мак – Гроу и др.; под ред.Бэбба П. - М.: Мир, 1991. – 376 с.
33. Русанова О.В. Программное обеспечение компьютерных систем. Особенности программирования и компиляции. – К.: Корнійчук, 2003. – 94 с.
34. Симкин С., Барлетт Н., Лесли А. Программирование на Java. Путеводитель – К.: НИПФ “ДиаСофт Лтд.”, 1996. – 736 с.
35. Соловьев Г.Н., Никитин В.Д. Операционные системы ЭВМ. – М.: Высш. школа., 1989. – 255 с.
36. Стіренко С. Г., Грибенко Д. В., Зіненко А. І., Михайленко А. В. Засоби параллельного програмування. - К., 2011. - 181 с.
37. Траспьютеры. Архитектура и программное обеспечение: Пер. с англ./Под ред.Г.Харпа. – М.: Радио и связь, 1993. – 304 с.
38. Троелсон С. С# и платформа.NET. Библиотека программиста- СПб.: Питер, 2004. – 796 с.
39. Уильямс Э. Параллельное программирование на С++ в действии. ДМК, - 2012. - 672 с.
40. Хьюз К, Хьюз Т. Параллельное и распределенное программирование в С++. Пер. с англ.- М.: Радио и связь, 1986. – 240 с.
41. Хоар Ч. Взаимодействующие последовательные процессы. - М.: Мир, 1989. – 180 с.
42. Хокни Р., Джессхоул К. Параллельные ЭВМ. Пер. с англ.- М.: Радио и связь, 1986.–240 с.
43. Шилд Г. Полный справочник по С#.: Пер. с англ. – М.: Изд. дом «Вильямс», 2007.– 752 с.
44. Шамим Э., Джейсон Р. Многоядерное программирование Питер, 2010. - 180 с.
45. Эндрюс Г. Основы многопоточного, параллельного и распределенного программирования.: Пер. с англ. – М.: Изд. дом «Вильямс», 2003. – 512 с.

46. Breshears C. The Art of Concurrency. O'Really Media, 2009. – 280 p.
47. Burns A., Wellings A. Real-Time Systems and Programming Languages. Addison – Wesley, 2001, – 386 p.
48. Burns A., Programming in Occam2. Reading. Addison–Wesley, 1995, – 326 p.
49. Burns A., Wellings A. Concurrency in Ada. – Cambridge: Cambridge University Press, 1995., – 420 p.
50. El – Rewini H, Lewis T., Distributed and Parallel Computing.– Manning Pub. Co.1998, – 430 p.
51. Hyde P. Java Thread Programming. – Indianapolis, IN: Sams Publishing, 1999, – 324 p.
52. Hoare C.A.R. Monitors: An Operating System Structuring Concept, Communications of ACM, Vol.17, №.10, Oct.1974, pp. 549–557
53. Hoare C.A.R. Communicating Sequential Processes, Communications of ACM, vol.21, №. 8, Aug. 1978, pp. 666 – 667.
54. Hoare C.A.R. Communicating Sequential Processes,: Printice Hall, International Series in Computer Science, Englewood Cliffs NJ, 1985. – 186 p.
55. Goetz B. Java Concurrency in Practice.- Addison–Wesley Professional, 2006, – 384 p.
56. Korochkin A., Rusanova O. Scheduling Problems for Parallel and Distributed Systems– In Proceeding of the ACM Annual Conference (SIGADA'99) (The Redondo Beach, CA, USA, October 17–21, 2001) ACM Press, New York, NY, 1999, pp. 182– 190;
57. Korochkin A. Ada95 as a Foundation Language in Computer Engineering Education in Ukraine – In Proceeding of the Ada-Europe International Conference on Reliable Software Technologies (Ada-Europe'99), (Santander, Spain, June 7 – 11, 1999), Lecture Notes in Computer Science , – № 1622, Springer, 1999, pp. 62 – 70.
58. Korochkin A., Salah I, Korochkin D. Experimental Analyze Ada Program in Cluster System – In Proceeding of the ACM Annual Conference (SIGADA'05) (Atalanta, Georgia, USA, November 13–21, 2005) ACM Press, New York, NY, 2005, pp. 126 – 134.
59. Lea D. Concurrent Programming in Java: Design Principles and Patterns. Reading, MA: Addison – Wesley, 1999, – 344 p.
60. Mattson T., Sanders B., Massingill B. Patterns For Parallel Programming. Addison-Wesley, 2005. – 246 p.
61. Taft S., Duff R., Brukardt R., Ploedereder T. Consolidated Ada Reference Manual. Language and Standard Libraries, Springer, Berlin: 2001, – 562 p.
62. McKenney P. Is Parallel Programming Hard, And, If So, What Can You Do About It? [Електронний ресурс], <https://www.kernel.org/pub/linux/kernel/people/paulmck/perfbook/>
63. TOP500. [Електронний ресурс]. <http://parallel.ru/computers/top500.list42.html>
64. Chapman B. Using OpenMP: portable shared memory parallel programming. Massachusetts Institute of Technology, London, 2008, - 350 p.
65. Intel Developer Zone [Електронний ресурс], <http://software.intel.com/ru-ru/articles/more-work-sharing-with-openmp>
66. Параллельные методы матричного умножения [Електронний ресурс], www.hpcc.unn.ru/file.php?id=426
67. Офіційний сайт компанії Інтел. [Електронний ресурс], www.intel.com
68. Форум MPI. [Електронний ресурс], <http://www.mpi-forum.org/docs/docs.html>
69. Who's Using Ada? Real-World Projects Powered by the Ada Programming Language. [Електронний ресурс], <http://www.seas.gwu.edu/~mfeldman/ada-project-summary.html>
70. The Special Interest Group on Ada (ACM's SIGAda). [Електронний ресурс], <http://www.sigada.org/>
71. Офіційний сайт організації Ada-Europe. [Електронний ресурс], <http://www.ada-europe.org/>
72. Офіційний сайт проекту GAP. [Електронний ресурс],

<http://www.adacore.com/academia/universities/>

73. Офіційний сайт компанії AdaCore. [Електронний ресурс], <http://www.adacore.com>

ДОДАТОК А.

УСЛОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ.

a	- скаляр
A	- вектор (розмірності N)
MA	- матриця (розмірності NxN)
a*B	- добуток вектора на скаляр
a*MB	- добуток матриці на скаляр
(A*B)	- скалярний добуток векторів A і B
(MA*MB)	- добуток матриць MA и MB
(MA*B)	- добуток матриці на вектор
SORT(A)	- сортування вектора
MAX(A)	- пошук максимального елемента вектора
TRANS(MA)	- транспортування матриці MA
MAX(MA)	- пошук максимального елемента матриці
MIN(MA)	- пошук мінімального елемента матриці
SORT(MA)	- сортування строк матриці

ДОДАТОК Б.

ВАРІАНТИ ФУНКЦІЙ F1, F2, F3

1. Функція F1

- 1.1 $A = \text{SORT}(B) (MB * MC)$
- 1.2 $C = A + B * (MO * ME)$
- 1.3 $C = A - B * (MA * MC) * e$
- 1.4 $C = A + \text{SORT}(B) * (MA * ME)$
- 1.5 $C = \text{SORT}(A) * (MA * ME) + \text{SORT}(B)$
- 1.6 $MD = (B * C) * (MA * ME)$
- 1.7 $ME = (A * \text{SORT}(C)) * (MA * ME + MD)$
- 1.8 $ME = \text{MAX}(B) * (MA * MD)$
- 1.9 $MC = \text{MIN}(A) * (MA * MD)$
- 1.10 $A = B * \text{MIN}(C) * (MA * MD + MD)$
- 1.11 $c = \text{MAX}(MA * MB) * (A * B)$
- 1.12 $A = B + C + D * (MD * ME)$
- 1.13 $C = A * (MA * ME) + B + D$
- 1.14 $D = (\text{SORT}(A + B) + C) * (MA * ME)$
- 1.15 $d = \text{MAX}(A + B + C) * (MA * ME)$
- 1.16 $d = ((A + B) * (C * (MA * ME)))$
- 1.17 $d = (A * ((B + C) * (MA * ME)))$
- 1.18 $d = (A * B) + (C * (B * (MA * MD)))$
- 1.19 $d = \text{MAX}(B + C) + \text{MIN}(A + B * (MA * ME))$
- 1.20 $D = \text{MIN}(A + B) * (B + C) * (MA * MD)$
- 1.21 $D = \text{SORT}(A) + \text{SORT}(B) + \text{SORT}(C) * (MA * ME)$
- 1.22 $d = (B * C) + (A * B) + (C * (B * (MA * ME)))$

- 1.23 $E = A + B + C + D*(MA*MD)$
 1.24 $E = A + C *(MA*ME) + B$
 1.25 $e = ((A + B)*(C + D*(MA*ME)))$
 1.26 $e = ((A + SORT(B))*(C*(MA*MD) + SORT(E))$
 1.27 $e = (A*B) + (C*(D*(MA*MD)))$
 1.28 $E = MAX(A)*(X + B*(MA*MD) + C)$
 1.29 $E = A*(B*C) + D*(MA*ME)$
 1.30 $e = (A*(MA*ME) *SORT(B))$

2. Функція F2

- 2.1 $MF = MG + MH*(MK*ML)$
 2.2 $MF = MG*(MK*ML) - MK$
 2.3 $MF = MF*MG*k$
 2.4 $MG = MAX(MH) *(MK*ML)$
 2.5 $MG = SORT(MF) *MK + ML$
 2.6 $MG = TRANS(MK) *(MH*MF)$
 2.7 $MF = k*MG - h*MK*ML$
 2.8 $MF = g*TRANS(MG)+ *(MK*ML)$
 2.9 $MK = TRANS(MA)*TRANS(MB*MM) +MX$
 2.10 $MK = MA*(MA*MZ) + TRANS(MB)]$
 2.11 $MF = MAX(MG)*(MH*MK)$
 2.12 $MF = TRANS(MG) + MK*ML$
 2.13 $ML = MIN(MF)*MG + MAX(MH)* *(MK*MF)$
 2.14 $ML = SORT(MF + MG*MH)$
 2.15 $ML = SORT(MF*MG)$
 2.16 $ML = SORT(TRANS(MF)*MK)$
 2.17 $h = MAX(MF + MG*(MH*ML))$
 2.18 $h = MIN(MG*ML)$
 2.19 $k = MAX(MF + MG*ML)$
 2.20 $MK = ML + MH *MG$
 2.21 $MF = MG + (MH*MK) +ML$
 2.22 $MF = (MG *MH)*(MK + ML)$
 2.23 $q = MAX(MH * MK - ML)$
 2.24 $MG = SORT(MF - MH * MK)$
 2.25 $MF = SORT(MG + TRANS(MH*MK) - TRANS(ML))$
 2.26 $MF = MG*(MH*ML)$
 2.27 $MF = (MG*MH)*TRANS(MK)$
 2.28 $MF = MIN(MH)*MK*ML$
 2.29 $MF = (MG + MH)*(MK * ML)*(MG + ML)$
 2.30 $f = MAX(MG*MK) - MIN(ML + MH)$

3. Функція F3

- 3.1 $O = MP*MR + MS$
 3.2 $O = TRANS(MP*MR)*T$
 3.3 $O = SORT(P)*(MR*MT)$
 3.4 $O = SORT(P)*SORT(MR*MS)$
 3.5 $O = (SORT(MP*MR)*S)$
 3.6 $O = MAX(MP*MR)*T$
 3.7 $O = (P+R)*(MS*MT)$
 3.8 $O = (MP *MR)*S + T$

$$3.9 \quad O = \text{SORT}(P) * (\text{MR} * \text{MS})$$

$$3.10 \quad O = \text{SORT}(R + S) * (\text{MT} * \text{MP})$$

$$3.11 \quad T = \text{SORT}(O + P) * \text{TRANS}(\text{MR} * \text{MS})$$

$$3.12 \quad T = \text{MO} * P + (\text{MR} * \text{MS}) * S$$

$$3.13 \quad T = (\text{MO} * \text{MP}) * S + \text{MR} * \text{SORT}(S)$$

$$3.14 \quad T = (O + P) * (\text{ML} * \text{MS})$$

$$3.15 \quad S = (O + P) * \text{TRANS}(\text{MR} * \text{MT})$$

$$3.16 \quad t = \text{MAX}((\text{MO} * \text{MP}) * R + \text{MS} * S)$$

$$3.17 \quad s = \text{MIN}(A * \text{TRANS}(\text{MB} * \text{MM}) + B * \text{SORT}(C))$$

$$3.18 \quad s = \text{MAX}(\text{SORT}(\text{MS}) + \text{MA} * \text{MB})$$

$$3.19 \quad S = (\text{MO} * \text{MP}) * (R + T)$$

$$3.20 \quad S = (O + P) * \text{SORT}(\text{MT} * \text{MR})$$

$$3.21 \quad S = \text{SORT}(O * \text{MO}) * (\text{MS} * \text{MT})$$

$$3.22 \quad S = \text{SORT}(\text{MS} * \text{MT}) * O - P$$

$$3.23 \quad s = \text{MAX}((\text{MO} * \text{MP})(R + T))$$

$$3.24 \quad s = \text{MIN}(\text{MO} * \text{MP} + \text{MS})$$

$$3.25 \quad S = (O + P + T) * (\text{MR} * \text{MS})$$

$$3.26 \quad s = \text{MAX}(\text{MO} * T + (\text{MT} * \text{MS}) * P + R)$$

$$3.27 \quad S = \text{SORT}((\text{MO} * \text{MP}) * R + S)$$

$$3.28 \quad s = \text{MAX}(\text{MO} * S) + \text{MIN}((\text{MT} * \text{MS} + \text{MP}))$$

$$3.29 \quad S = \text{MO} * T + \text{MP} * R + (\text{MO} * \text{MS}) * T$$

$$3.30 \quad S = (\text{MO} * \text{MP}) * T + t * \text{MR} * (O + P)$$