

АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ КІБЕРНЕТИКИ ІМ. В.М. ГЛУШКОВА

На правах рукопису

ХАРЛАШКІН Ігор Анатолійович

УДК 519.687.4.001.57:629.735

АНАЛІЗ ПРОДУКТИВНОСТІ РОЗПОДІЛЕНИХ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ
СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ПОЛЬСТОМ МЕТОДАМИ
СТОХАСТИЧНИХ МЕРЕЖ ПЕТРІ

Спеціальність: 05.13.13 - Обчислювальні машини, комплекси,
системи та мережі

Автореферат дисертації
на здобуття ученого ступеня кандидата технічних наук

Київ 1993



№ 27.00

Робота виконана в Київському інституті інженерів цивільної авіації на кафедрі "Автоматизовані системи керування і пілотажно-навігаційні комплекси".

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
ТУНІК А.А.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
НІКІТІН А.І.,

кандидат технічних наук
ЗІНЧЕНКО В.П.

Провідна організація: Київське державне конструкторське
бюро "Луч"

Захист відбудеться "20" 05 1993 р. о 14⁰⁰ годині на
засіданні спеціалізованої ради Д 016.45.02 при Інституті кібер-
нетики імені В.М.Глушкова АН України за адресою:
252207, Київ-207, проспект Академіка Глушкова, 40.

З дисертацією можна ознайомитися у науково-технічному архіві
інституту.

Автореферат розіслано "17" 03 1993 р.

Учений секретар
спеціалізованої ради

ГУМЕНЮК-СИЧЕВСЬКИЙ В.І.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність проблеми. Одним із головних сучасних напрямків розвитку обчислювальної техніки є розподілена (паралельна) обробка інформації. Очевидно, що на етапі розробки нової системи необхідно володіти ефективними методиками та засобами передбачення продуктивності майбутньої розподіленої обчислювальної системи (РОС), визначення переваг певних архітектурних рішень над іншими, верифікації протоколів інформаційного обміну між окремими підсистемами. Крім цього, подібні задачі часто необхідно вирішувати і в процесі експлуатації, коли з'ясується, що якісь параметри не задовольняють користувача, і бажано покращити (оптимізувати) роботу системи. Важливо також, щоб одержані за допомогою цих засобів аналізу моделі мали необхідну дескриптивну потужність і були досить ефективними в економічному сенсі.

Серед основних сфер застосування РОС особливе місце займають обчислювальні системи автоматичного керування складними багатомірними динамічними об'єктами, що працюють в реальному масштабі часу. Режим реального часу накладає жорсткі обмеження на продуктивність обчислювальної системи в зв'язку з тим, що часове запізнення у видачі керуючих сигналів може значною мірою вплинути на характеристики стійкості. До таких систем належать бортові комплекси автоматичного керування польотом літального апарату (ЛА), де часові затримки виникають у процесі виконання необхідних обчислювальних процедур та інформаційного обміну. Дані часові затримки викликані, головним чином, двома причинами: по-перше, кінцевою продуктивністю процесорних елементів і, по-друге, кінцевою пропускну здатністю комунікаційної структури та використовуваного протоколу інформаційного обміну. Важливо відмітити, що друга причина може цілком звести нанівець потенційні переваги паралельної обробки інформації. Іншою суттєвою особливістю використання РОС на борту ЛА є наявність жорстких обмежень по масо-габаритним показникам обладнання, що також визначає підвищені вимоги до продуктивності використовуваної РОС та обмеження на ресурси. Крім цього, треба відмітити також, що серед систем, які використовуються у бортовому обладнанні, дедалі більше застосування знаходять обчислювальні системи з довільним характером доступу до загальних ресурсів.

На цей час як основний математичний апарат, що використовується в теорії обчислювальних систем для розв'язання задач аналізу продуктивності, застосовуються, в основному, вже достатньо добре досліджені мережі масового обслуговування (ММО) та цілком нові перформансні мережі Петрі (ПМП), що об'єднують часові і стохастичні мережі Петрі (СМП). ПМП вигідно відрізняються фундаментальною можливістю відображення паралелізму та синхронізації процесів, своєю дескриптивною потужністю.

Виходячи із вищевикладеного, можна зробити висновок про те, що задача розробки нових методів аналізу продуктивності бортових розподілених обчислювальних систем з довільним характером доступу до загальних ресурсів видається досить актуальною як з теоретичної, так і з практичної точок зору.

Метою дисертаційної роботи є розробка методу моделювання продуктивності бортових РОС керування польотом на базі стохастичних мереж Петрі та аналіз продуктивності їх класів РОС: мультипроцесорних систем (МПС) керування польотом одного класу безпілотних ЛА з метою вибору оптимального з точки зору продуктивності архітектурного рішення, та бортових локальних обчислювальних мереж, точніше, їх мультиплексних каналів інформаційного обміну (МКІО), що використовуються на сучасних та перспективних повітряних суднах цивільної авіації. В цьому випадку проводиться моделювання протоколу інформаційного обміну канального рівня з метою одержання числових значень часу затримки доставки пакету.

До основних задач дослідження даної дисертаційної роботи відносяться наступні: розробка математичного та алгоритмічного забезпечення методу аналізу продуктивності РОС за допомогою СМП; проведення моделювання продуктивності різних класів бортових РОС; програмна реалізація розроблених алгоритмів аналізу; в'ясування характеру залежності показників стійкості системи керування ЛА від часової затримки у видачі керувачого сигналу.

Методи дослідження. Дослідження здійснювались на основі: теорії мереж Петрі (точніше, узагальнених стохастичних мереж Петрі УСМП), теорії масового обслуговування, теорії обчислювальних систем, теорії випадкових процесів та теорії автоматичного керування.

Наукова новизна роботи полягає в тому, що:

- запропоновано новий метод аналізу продуктивності РОС на базі СМП, що включає три основні етапи: формалізований сидієз мережі Петрі (МП), яка описує міжпроцесорні взаємодії МПС; автоматична збудова діаграми станів відповідного ланцюга Маркова на основі графа досяжних маркіровок СМП; обчислення стаціонарних імовірностей станів, що використовуються для одержання показників продуктивності РОС;

- розроблено пакет прикладних програм, що реалізує алгоритми аналізу методами СМП, доведений до рівня практичного інженерного застосування;

- проведено порівняльний аналіз продуктивності різних варіантів архітектурних рішень мультипроцесорної обчислювальної системи керування польотом одного класу безпілотних ЛА;

- здійснено аналіз продуктивності та верифікація бортового протоколу каналного рівня множинного доступу з прослуховуванням несучої та запобіганням колізіям, одержані чисельні величини середньої затримки пакету (середнього часу доставки пакету) цього протоколу;

- доведено залежність показників стійкості системи керування польотом літака від часової затримки у видачі керуючого сигналу.

Практична цінність і реалізація результатів. Результати дисертаційної роботи впроваджені в Київському державному конструкторському бюро "Луч" при розробці методики порівняльного аналізу різних варіантів архітектури МПС керування польотом безпілотних ЛА та їх автоматизованих систем контролю, а також в учбовому процесі у Київському інституті інженерів цивільної авіації. Теоретичні і практичні дослідження даної роботи увійшли до складу двох госпдоговірних (шифри 800-Х90 та 877-Х91 з конструкторським бюро "Луч") та однієї держбюджетної НДР (шифр 061-ГВ92 "Аналіз ефективності та методологія побудови локальних обчислювальних систем пілотажно-навігаційних комплексів"). Розроблено пакет прикладних програм на мові Турбо-Паскаль для комп'ютера типу ІВМ РС, призначений для практичного аналізу продуктивності РОС за допомогою УСМП, що дозволяє автоматизувати майже увесь цикл аналізу від введення УСМП в комп'ютер до одержання шуканих індексів продуктивності.

Апробація роботи. Основні результати роботи доповідались на таких семінарах та конференціях: 7-ма Білоруська зимова школа-

семинар по теорії масового обслуговування "Мережі зв'язку та мережі ЕОМ як моделі масового обслуговування" (м.Гродно, 1991р.), семінар "Системи керування, слідкувачі приводи та їх елементи" в науково-технічному центрі "Інформтехніка" (м.Москва, 1991р.), Всесоюзна науково-технічна конференція "Ідентифікація, вимірювання характеристик та імітація випадкових сигналів" (м.Новосибірськ, 1991р.), Всесоюзна науково-технічна конференція "Методи керування системою ефективністю функціонування електрифікованих та пілотажно-навігаційних комплексів" (м.Київ, 1991р.), Всесоюзна науково-технічна конференція "Розподілені мікропроцесорні керуючі системи та локальні обчислювальні мережі" (м.Томськ, 1991р.), науково-технічний семінар на кафедрі автоматизованих систем керування і пілотажно-навігаційних комплексів КІЩА, науково-технічний семінар у відділі № 210 Інституту кібернетики ім.В.М.Глушкова.

Публікації. По темі дисертації опубліковано 8 робіт, з них 6 - у співавторстві.

Структура та об'єм. Дисертація складається із вступу, чотирьох глав, висновку, списку основної використаної літератури та додатків. Загальний об'єм дисертації складає 164 сторінки, з них основний текст вміщає 143 сторінки. Загальне число ілюстрацій - 50. Список літератури складає 94 назви.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обгрунтована актуальність теми дисертації, показано місце аналізу продуктивності РОС у загальній проблемі оцінки якості обчислювальних систем, сформульована мета роботи та її наукова новизна, а також дано короткий виклад її змісту.

Глава 1 присвячена розгляду сучасного стану розвитку РОС, методів аналізу їх продуктивності, а також особливостей їх використання у бортових пілотажно-навігаційних комплексах, що включають автоматичні системи керування польотом. Вже зараз у бортовому обладнанні все ширше використовуються два класи РОС: локальні обчислювальні мережі та мультипроцесорні системи. Перші служать інтегруючою основою різних бортових систем, а другі використовуються для побудови надійних високопродуктивних обчислювачів.

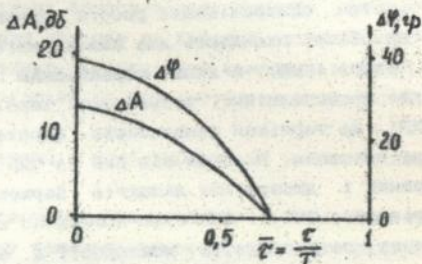
Методи оцінки продуктивності можуть бути класифіковані у дві основні групи - вимірювання та моделювання. На цей час моделювання РОС звичайно проводиться за допомогою двох методів - мереж масового обслуговування (ММО) та перформансних мереж Петрі ПМП (Performance Petri Nets PPN). ММО і ПМП - це високо-рівневі нотації марковських моделей. Їх перевагою являється можливість розробки моделі природним шляхом, тобто від опису компонентів системи і правил її функціонування до формальної аналітичної моделі. Принциповим обмеженням ММО є відсутність можливості відображення синхронізації роботи окремих підсистем. Перформансні мережі Петрі складають два класи мереж Петрі - стохастичні мережі Петрі (СМП), в яких спрацювання переходів відповідають випадковій експоненціальній розподіленій термінів, та часові мережі Петрі (ЧМП), де термінам спрацювання переходів відповідають детерміновані значення. Різниця між СМП та ЧМП обумовлена відмінною безперервних і дискретних ланцюгів Маркова, що лежать в їх основі. Порівняння ММО і ПМП було проведено по двом напрямкам - дескриптивна потужність та можливість в оцінці показників продуктивності систем. При виборі того чи іншого методу формального опису та верифікації протоколів використовують також поняття потужність верифікації та дескриптивна потужність. До особливих властивостей протоколів відносять наступні: безпека, живучість, відсутність переспективації, повнота, відсутність тупикових ситуацій, завершення та прогресивність. До методів формального опису і верифікації належать: кінцеві автомати, різні види МП, темпоральна логіка, мови формальних специфікацій та ін.

Сучасна бортова система керування польотом літака є одним з основних компонентів пілотажно-навігаційного комплексу (ПНК), що являється, в свою чергу, частиною єдиного бортового комплексу авіаційного та радіоелектронного обладнання. Останній можна охарактеризувати як складну і гетерогенну розподілену систему, до складу якої входять різні за призначенням і принципом дії підсистеми, об'єднані в одне ціле за допомогою обчислювальної мережі. Головною особливістю використання РОС у бортових комплексах автоматичного керування є той факт, що обробка інформації ведеться в реальному масштабі часу.

Залежність показників стійкості (запасів стійкості по амплітуді та по фазі) від часового запізнення розглянута на

прикладі цифрової моделі безперервної автоматизованої бортової системи керування середньомагістрального літака. Дані часові затримки виникають в процесі виконання необхідних обчислювальних процедур та обміну: збирання пілотажно-навігаційної інформації, розрахунок законів керування, видання керуваних сигналів на рульові машини (включаючи затримку привода), виконання алгоритмів контролю, обмін з іншими бортовими системами та ін. Крім того часова затримка збільшується за рахунок записування у цифро-аналогових перетворювачах.

З метою аналізу в контур керування було введено ланку чистої часової затримки $e^{-\tau s}$, де τ - часова затримка в РОС, $0 \leq \tau \leq T$, T - період квантування, що вибирається по теоремі Котельнікова-Шеннона і продиктований динамічними характеристиками об'єкту керування. Методом обмеженого ряду був побудований



Мал.1. Залежності запасів стійкості від запізнєння

годограф Найквіста для замкнутої цифрової системи. На Мал.1 приведені графіки отриманих залежностей запасів стійкості по модулю (ΔA) та фазі ($\Delta \varphi$) від часового запізнєння, що одержані для $T = 0.2$ сек. З графіків стає очевидним, наскільки критичний характер носить запізнєння в контурі керування.

В другій главі розглянуті основні поняття теорії СМР, їх розширення, властивості та методи їх аналізу. Головне місце в главі відводиться опису розробленого методу моделювання продуктивності РОС і його програмної реалізації.

В аналітичному вигляді класичні МП (Petri Net з PN) - це четвірка $PN = (P, T, A, M_0)$, де P - множина позицій МП; T - множина переходів; $A = \{A_{in}, A_{out}\}$ - множина дуг; $A_{in} \in \{P \times T\}$ - множина дуг, що входять до переходів; $A_{out} \in \{T \times P\}$ - множина дуг, що виходять із переходів; M_0 - початкова маркіровка позицій. В початковій концепції мереж Петр. поняття часу відсутнє. Однак, очевидно, що для моделювання реальних систем час має фундаментальне значення. Звичайно, час вводиться в МП шляхом

асоціювання його з термінами спрацювання переходів. При припущенні, що тривалості спрацювання переходів МП – випадкові експоненційно розподілені величини, одержують стохастичні мережі Петрі СМП (Stochastic Petri Nets SPN): $SPN = (P, T, A, M_0, K)$, де K – множина інтенсивностей спрацювання переходів. Французьким ученим Стефаном Наткіним (S. Natkin) у 1980 році та американським ученим М. Моллоєм (M.K. Molloy) у 1981 році незалежно один від одного було доведено, що множина досяжних маркіровок СМП являється ізоморфним простору станів однорідного ланцюга Маркова з безперервним часом, щоб справитися з проблемою надмірно швидкого збільшення числа станів із зростанням складності моделі, італійськими ученими М. Аїмоном Марсаном (Marco Ajmone Marsan), Г. Конте (Geanni Conte) та Г. Бальбо (Gefranco Balbo) поняття СМП було розширено до класу так званих узагальнених стохастичних мереж Петрі УСМП (Generalized Stochastic Petri Nets GSPN), які відрізняються від СМП тим, що переходи можуть належати до двох класів – часових, спрацювувачих за деякий випадковий експоненційно розподілений час, та миттєвих, що спрацювують за нульовий час і являють собою або логічний контроль, або активність, затримка якої настільки мала, що не можна знехтувати.

Запропонована процедура оцінки продуктивності РОС за допомогою моделей у вигляді УСМП у самому загальному вигляді включає в себе наступні три основні етапи.

1) Формалізація переходу від розглядуваної архітектури мультипроцесора до відповідної МП (синтез МП). Такий перехід можливий, оскільки окремі підсистеми МПС мають фіксоване число станів, зв'язуючи котрі логічними формулами (Маг 2), можна одержати шукану МП, що описує процес обміну інформацією між підсистемами через комунікаційну мережу. Ідеї переходу від логічного опису процесів до МП були викладені радянськими вченими В.Є. Котовим та Л.О. Черкасовим.

2) Побудова простору досяжних маркіровок УСМП та перехід до діаграми станів ланцюга Маркова. Побудова дерева досяжності УСМП проводиться на основі фундаментального рівняння станів МП:

$$M_i^k = M_{i-1} + F^T \cdot h_k, \quad (4)$$

де M_i^k - вектор-стовпець маркіровки УСМП на i -тому кроці після запуску k -го переходу; F^T - транспонована матриця інцидентності; h_k - вектор-стовпець керуванн запуском переходу.

3) Обчислення стаціонарних імовірностей станів та одержання на їх основі шуканих чиндексів продуктивності РОС. у стохастичному процесі,

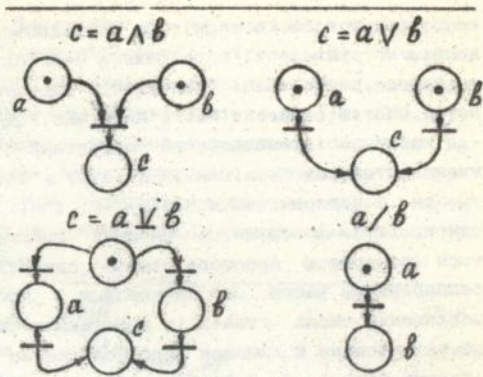
що описує спрацювання переходів УСМП може бути розпізнаний вкладений ланцюг Маркова (ВЛМ), обчислення стаціонарного розподілу імовірностей якого зводиться до розв'язання системи лінійних рівнянь виду:

$$\begin{cases} \pi(U^T - E) = 0 \\ \sum_i \pi_i = 1 \end{cases}, \quad (5)$$

де π - вектор-стовпець стаціонарного розподілу імовірностей ВЛМ; U - матриця імовірностей переходів ВЛМ; E - одинична матриця; 0 - нульовий вектор-стовпець. Друге рівняння системи є нормувальною умовою, яка показує, що сума всіх імовірностей дорівнює 1. За основний індекс продуктивності для МПС приймаємо процесорну потужність (processing power), що дорівнює середньому числу активних процесорів, де активними вважаються процесори, що не заблоковані іншими процесорами і не знаходяться в черзі до загальних ресурсів:

$$P = \sum_{i \in S} n_a(i) \cdot \pi_i, \quad (6)$$

де S - множина станів МПС, в яких процесори активні; $n_a(i)$ - число активних процесорів в i -тому стані; π_i - стаціонарна імовірність i -того стану. Виходячи з цього, очевидною задачею



Мал.2 Відображення логічних операцій за допомогою МП

буде для заданих параметрів завантаження вибрати таку структуру комунікаційної мережі, яка б дозволила досягти максимального значення процесорної потужності, що показує відносну величину затримки обслуговування вимоги, яка виникає в заданій комунікаційній мережі МПС. Очевидно також, що процесорну потужність можна інтерпретувати як коефіцієнт використання структури. При аналізі продуктивності протоколів інформаційного обміну найбільш суттєвим показником є середня затримка доставки пакету D (average packet delay). Перевірка властивості прогресивності протоколу по суті і являється перевіркою того, чи менша середня затримка доставки пакету в мережі заданої величини. За формулою Літла D дорівнює:

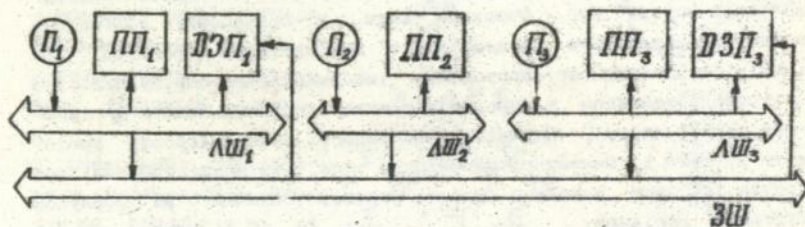
$$D = \frac{1}{\lambda} \frac{T - \sum_{i \in S} t_a(i) \cdot \pi_i}{\sum_{i \in S} t_a(i) \cdot \pi_i}, \quad (7)$$

де T - число терміналів (станцій) мережі; $t_a(i)$ - число активних терміналів, тобто тих, що не посилають повідомлення через мережу; S - множина станів, в яких термінали активні; λ - вхідна інтенсивність.

У закінченні другої глави приведено короткий огляд існуючих у світовій практиці програмних пакетів по МП та дано опис авторського пакету прикладних програм, аналізу продуктивності FOC методами СМР.

Третя глава присвячена аналізу різних архітектурних рішень бортового комп'ютера одного класу безпілотних ЛА, що являється мультипроцесорною обчислювальною системою, на базі якої реалізується система траєкторного керування (наведення) та система кутової стабілізації (автопілот). За елементну базу бортового комп'ютера був вибраний мікропроцесорний комплект K1810 (Intel 8086). Всього розглянуто чотири двомодульних і дві тримодульних архітектури: двопроцесорна МПС, що прийнята для реалізації, з центральним процесором, загальною та приватною пам'яттю (ЗП та ПП), розмішеними на загальній шині (ЗШ), та процесором вводу-виводу з ПП, розмішених на локальній шині (ЛШ); дво- і тримодульні МПС з однією ЗШ і винесеною ЗП, де за модуль приймається сукупність процесора, ПП та ЛШ; двомодульна МПС з однією ЗШ і розподіленою ЗП; дво- і тримодульні МПС з однією ЗШ і розподіле-

ною двупортовою загальною пам'яттю (ДЗП). Для всіх архітектур МПС були розроблені УСМП-моделі та проведення порівняльний аналіз їх продуктивності.



Мал.3 Тримодульна МПС з розподіленою ДЗП

Наприклад, розглянемо процедуру аналізу продуктивності тримодульної МПС з розподіленою ДЗП (Мал.3). В ній вважається, що P_1 і P_3 - центральні процесори (ВМ86), а P_2 - процесор вводу-виводу (ВМ89). В будь-який момент часу доступ до ЗШ має тільки один процесор. Процесор P_1 може звернутися до ДЗП 1 тільки по $ЛШ_1$ (без захоплення ЗШ). Те саме відноситься і до P_3 . Процесор P_1 може звернутися і до ДЗП 3 по $ЛШ_1$ та ЗШ. P_3 може звернутися до ДЗП 1 - по $ЛШ_3$ та ЗШ. Процесор P_2 може звернутися до ДЗП 1 або ДЗП 3 по ЗШ. Конкуренція виникає за користування ЗШ. Можливі такі стани процесорів: - робота з ПП (стан θ); - робота з локальною ДЗП (стан C^0); - робота з зовнішньою ДЗП (стан C'); - очікування загального ресурсу (стан W). Загальний ресурс (ЗШ) може знаходитися у двох станах: - вільний (стан i); - зайнятий (стан \bar{i}). Тоді для першого процесорного модуля логічна формула, що описує міжпроцесорні взаємодії, буде мати такий вигляд:

$$F_1 = o_1 / \left[C_1^0 \vee [(w_1 \wedge i) / C_1'] \right] \quad (8)$$

Для другого модуля можна записати:

$$F_2 = o_2 / (w_2 \wedge i) / C_2' \quad (9)$$

Тоді для всієї комунікаційної мережі логічна формула має вигляд:

$$F = F_1 \vee F_2 \vee F_3 = \langle o_1 / \left[C_1^0 \vee [(w_1 \wedge i) / C_1'] \right] \rangle \vee$$

$$V < O_2 / (W_2 \lambda_i) / C_2' > V < O_3 / [C_3^0 V [(W_3 \lambda_i) / C_3']] >. \quad (10)$$

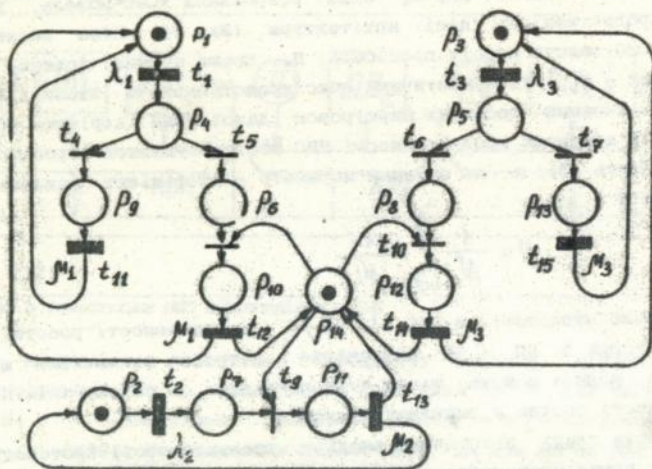
На основі даного виразу була розроблена УСМП-модель, що моделює продуктивність цієї архітектури (Мал.4). Ліва верхня частина УСМП описує роботу процесора Π_1 , права верхня частина - Π_3 , а нижня - Π_2 . Її семантичний опис представлено в Таблиці 1. Потужність множини досяжних маркіровок даної УСМП дорівнює 50. Як основний показник продуктивності МПС застосовувалась процесорна потужність (6), а як змінний параметр - коефіцієнт завантаження шини ρ :

$$\rho = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{\lambda_i}{\mu_i}, \quad (11)$$

де N - число процесорів в МПС, λ_i та μ_i - інтенсивності роботи i -го процесора в ПП і ЗП відповідно. Потрібно зазначити, що розроблені моделі можуть також бути покладені в основу аналізу продуктивності систем у випадках відмов.

Четверта глава присвячена аналізу продуктивності протоколу канального рівня множинного доступу з контролем несучої та запобіганням колізіям (МДКН/ЗК), що застосовується у бортовому МКІО родині перспективних літаків Воінг-737 і покладений в основу міжнародного стандарту АRINC-629. На початку глави дано загальний опис та класифікація протоколів множинного доступу в системах комутації пакетів, а далі проведено порівняльний аналіз існуючих та перспективних цифрових МКІО бортового обладнання (стандарту АRINC-429 (ГОСТ 18977-79), MIL-STD-1553В (ГОСТ 26765.52-87), АRINC-629 та ін.).

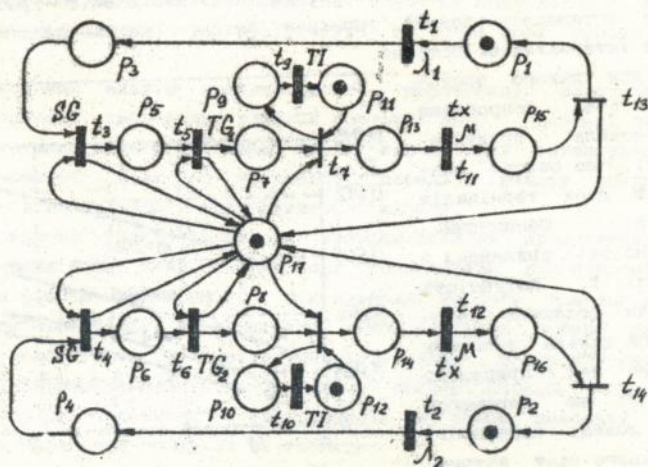
В результаті проведеного аналізу було зроблено висновок про те, що подальший розвиток бортових МКІО буде зв'язаний перш за все з двонаправленістю ліній передачі та автономністю роботи окремих терміналів обчислювальної мережі. Основним представником таких систем є цифрова комунікаційна система з автономним термінальним доступом DATAС фірми Воінг, де використовується протокол МДКН/ЗК. В даному протоколі запобігання колізіям реалізується через використання таких трьох часових інтервалів: інтервал передачі. ІП (Transmit Interval TI); пауза синхронізації ПС (Synchronization Gap SG); термінальна пауза ТП (Terminal Gap TG). Термінали прослуховують шину і для передачі чекають періоду



Мал.4 У МП-модель тримодальної МІС в ДЗП

Таблиця 1 Семантична опис УСМП, що приведена на Мал.4

Позиції	Семантика	Переходи	Семантика
$P_1 (P_2, P_3)$	Процесор $P_1 (P_2, P_3)$ працює в $Ш_1 (Ш_2, Ш_3)$;	$t_1 (t_2, t_3)$	Кінець доступу до Ш;
$P_4 (P_5)$	Процесор $P_1 (P_2)$ перед вибором ДЗП для доступу;	t_4 и $t_5 (t_6$ и $t_7)$	$P_1 (P_3)$ вибирає ДЗП для доступу – ДЗП або “ЗП”;
$P_6 (P_7, P_8)$	Процесор $P_1 (P_2, P_3)$ запитує ЗШ для доступу до зовнішньої ДЗП;	$t_8 (t_9, t_{10})$	Процесор $P_4 (P_2, P_3)$ виходить з Ш;
$P_9 (P_{13})$	Процесор $P_1 (P_3)$ працює в локальній ДЗП;	t_{11} и t_{12} (t_3 ; t_{14} и t_{15})	процесор $P_4 (P_2, P_7)$ працює в доступі до ДЗП
$P_{10} (P_{11}$ и $P_{12})$	Процесор $P_1 (P_2, P_3)$ працює в доступі до зовнішньої ДЗП;		
P_{14}	ЗШ вільна.		



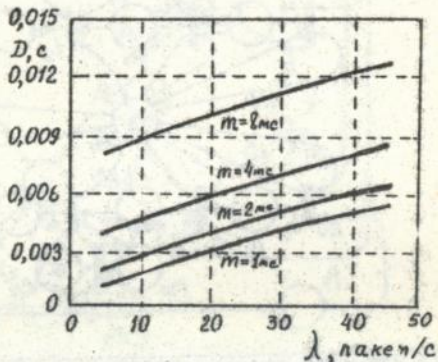
Мал.5 УСМП-модель протоколу МВКН/ЗК

Таблиця 2 Семантичний опис УСМП, що приведена на Мал.5

Позиції	Семантика	Переходи	Семантика
P_1, P_2	Термінал 1 (2) знаходиться в стані виробітку запиту на обмін;	t_1, t_2	Виробіток запиту на обмін;
P_3, P_4	Терміналу 1 (2) необхідна передача;	t_3, t_4	Пауза синхронізації, пролуговування каналу;
P_5, P_6	Пауза синхронізації витримана;	t_5, t_6	Термінальна пауза;
P_7, P_8	Термінальна пауза витримана;	t_7, t_8	Початок передачі, захват каналу;
P_9, P_{10}	Початок відліку інтервалу передачі;	t_9, t_{10}	Інтервал передачі;
P_{11}, P_{12}	Кінець відліку інтервалу передачі;	t_{11}, t_{12}	Передача;
P_{13}, P_{14}	Початок передачі;	t_{13}, t_{14}	Закінчення передачі, звільнення каналу.
P_{15}, P_{16}	Кінець передачі;		
P_{17}	Стан каналу;		

мовчання. Дані посилаються по шині біполярним послідовним кодом "Манчестер". Якщо термінал здійснив передачу, то його наступна передача може початися тільки після закінчення всіх трьох ука-
заних інтервалів. Кожний термінал слідує за завершенням цих трьох інтервалів сувільно.

Для даного протоколу була розроблена УСМП-модель продуктивності, що описує взаємодію двох терміналів (Мал.5). Семантичний опис моделі приведено в таблиці 2. Потужність множини досяжних маркіровок склала величину 127. На Мал.6 приведені одержані за допомогою цієї моделі залежності середнього часу затримки пакету від вихідної інтенсивності для чотирьох випадків довжини пакету - 1000, 2000, 4000 та 8000 біт при швидкості передачі каналу - 1 Мбіт/сек (Час передачі пакета m - 1, 2, 4, 8 мсек відповідно).



Мал.6 Середній час доставки пакету для протоколу МЛСН/ЗС

У висновку подані одержані у роботі результати:

1. На базі методів СМП розроблена загальна методика аналізу продуктивності багатовиходних розподілених обчислювальних систем з довільним характером доступу до загальних ресурсів, що дозволяє отримувати оцінки продуктивності як на етапі розробки, так і в процесі експлуатації РОС.
2. Запропонована формалізована процедура синтезу мережі Петрі із опису функціонування мультипроцесорної системи.
3. Розроблена процедура побудови простору досяжних маркіровок УСМП та аналізу поведінкових властивостей на його основі.
4. Представлена процедура обчислення стаціонарного розподілу ймовірностей станів УСМП та розрахунку на їх основі показників продуктивності РОС.

5. Проведений порівняльний аналіз продуктивності мультипроцесорних обчислювальних систем керування польотом безпілотного ЛА з метов вибору оптимальної архітектури з точки зору продуктивності.

6. Здійснений аналіз продуктивності (верифікація властивості прогресивності) протоколу МДКН/ЗК бортових МКІО. Одержані залежності середнього часу доставки пакету від ьхідної інтенсивності та нормованої відносно тривалості передачі пакету середньої затримки від нормованої продуктивності каналу.

7. Розроблений пакет прикладних програм аналізу продуктивності РОС методами СМР, написаний на мові ТурбоПаскаль для персональних комп'ютерів типу ІВМ РС. Він дозволяє вводити топологію та початкову маркіровку досліджуваної СМР, будувати дерево досяжності, аналізувати основні властивості мережі, знаходити стаціонарні імовірності станів відповідного ланцюга Маркова, обчислювати потрібні показники продуктивності, а також виводити результати у вигляді графіків та таблиць.

8. Доведений критичний характер залежності показників стійкості системи керування польотом від запізнення у видачі керуваних сигналів для середньомагістрального літака.

9. Математичне, алгоритмічне, програмне забезпечення методу та результати порівняльного аналізу були застосовані в Державному конструкторському бюро "Луч" (м.Київ, ВО "Завод ім.Артема"), в учбовому процесі у Київському інституті інженерів цивільної авіації та при виконанні кількох госпдоговірних і держбюджетних НДР, що засвідчується відповідними актами впровадження.

У додатках представлені фрагменти розробленого автором п.а.ету прикладних програм та акти впровадження науково-дослідної роботи.

ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ ДИСЕРТАЦІЇ ОПУБЛІКОВАНІ В НАСТУПНИХ РОБОТАХ:

1. Туник А.А., Харлашкин И.А. Моделирование производительности многопроцессорной системы с помощью сети массового обслуживания и стохастической сети Петри// Сети связи и сети ЭВМ как модели массового обслуживания: Мат. 7-ой Белорусской зимней школы-семинара по теории массового обслуживания. - Гродно, январь-февраль '991. - С.123-124.

2. Туник А.А., Харлашкин И.А. Оценка производительности заданной мультипроцессорной системы управления летательным аппаратом методом обобщённых стохастических сетей Петри// Системы управления, следящие приводы и их элементы: Мат. семинара ИТЦ "Информтехника", 2-4 апр. 1991 г. - М.: 1991.- С. 40-41.

3. Туник А.А., Харлашкин И.А. Алгоритмы моделирования производительности мультипроцессорной системы заданной архитектуры при помощи обобщённой стохастической сети Петри// Идентификация, измерение характеристик и имитация случайных сигналов: Мат. Всесоюзной науч.-технич. конф-ции.- Новосибирск, 13-18 мая 1991г.- С.216-217.

4. Туник А.А., Харлашкин И.А. Анализ эффективности бортовых вычислительных комплексов управления полётом воздушного судна// Методы управления системной эффективностью функционирования электрифицированных и пилотажно-навигационных комплексов: Мат. Всесоюзной науч.-технич. конф-ции.- Киев: КИИГА, 1991.- С.42-43.

5. Харлашкин И.А. Выбор оптимальной архитектуры многопроцессорной системы управления реального времени при заданном программном обеспечении// Распределённые микропроцессорные управляющие системы и локальные вычислительные сети: Мат. Всесоюзной науч.-технич. конф-ции, июнь 1991.- Томск: Изд-во Томского ун-та, 1991.- С.222-224.

6. Харлашкин И.А., Туник А.А. Аналитическое моделирование производительности многопроцессорной системы управления заданной архитектуры// Совершенствование эксплуатации и оптимизация систем управления полётом и навигации ВС.- Киев: КИИГА, 1991.- С.38-51.

7. Туник А.А., Харлашкин И.А. Формализованный метод оценки производительности коммуникационных сетей мультипроцессорных вычислительных систем реального времени// Управляющие системы и машины (УСМ).- №: 3/4, 1992.- С.83-89.

8. Харлашкин И.А. Оценка эффективности бортовых распределённых вычислительных сетей систем цифрового управления полётом самолёта// Кибернетика и вычислительная техника.- 1993.- Вып.97: Дискретные системы управления.- С.65-71.

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

Підписано до друку 01.03.93. Формат 60x84/16. Папір друкарський.
Друк офсетний. Ум. вид. арк. 0,93. Ум. вид. арк. 1,0. Тираж 100 прим.
Замовлення № 48-І. Ціна . Вид. №284/Ш.

Видавництво КІЦА.

252058. Київ-58, проспект Космонавта Комарова, І.

AB 27.005

AB 27.005