

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ КОМП'ЮТЕРНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра спеціалізованих
комп'ютерних систем

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

для виконання практичних робіт з дисципліни

«ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПРОЕКТУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ СИСТЕМ»

для студентів освітньо-кваліфікаційного рівня «магістр»
спеціальності «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Тернопіль
2023

Методичні вказівки до виконання практичних робіт з курсу «Дослідження та проектування комп'ютерно-інтегрованих систем» для студентів денної та заочної форми навчання спеціальності «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Укл. Пітух І.Р. – Тернопіль: ЗУНУ, 2023. – 44 ст.

Укладач: Пітух Ігор Романович к.т.н., доцент, доцент кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем Західноукраїнського національного університету

Рецензенти: Якименко І.З. к.т.н., доцент, доцент кафедри кібербезпеки , декан факультету комп'ютерних інформаційних технологій Західноукраїнського національного університету

Франко Ю.П. к.т.н., доцент, завідувач кафедри комп'ютерних технологій Тернопільський національний педагогічний університет ім. В. Гнатюка

Відповідальний за випуск: к.т.н., доцент, завідувач кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем А.І. Сегін.

Розглянуто та схвалено групою забезпечення спеціальності автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології протокол № 3 від 09.11.2023 р.

ЗМІСТ

Загальні положення.....	4
Практична робота №1	5
Практична робота № 2	13
Практична робота № 3	15
Практична робота № 4	19
Практична робота № 5	28
Практична робота № 6	38
Практична робота № 7	43

Загальні положення

Виконання практичних робіт забезпечує перехід від виконання учбових завдань до проведення студентами самостійної роботи. Це одна з важливих та ефективних форм навчання та контролю знань студентів.

Мета виконання практичних робіт є перевірка рівня засвоєння студентами теоретичних і практичних знань, які отримані під час вивчення курсу «Дослідження та проектування комп'ютерно-інтегрованих систем». Практичні роботи сприяють готовності студентів до проведення самостійної науково-дослідної і практичної роботи. Перед її виконанням необхідно глибоко засвоїти теоретичний матеріал курсу згідно з рекомендованою літературою і лекційним матеріалом. В разі необхідності підшукати додаткову літературу та самостійно її опрацювати.

Практичні роботи повинні виконуватися українською мовою. Зміст, структура, оформлення і результати робіт мають відповідати вимогам методичних вказівок.

Практична робота №1

Тема: Моделювання функціональних взаємодій об'єкта з застосуванням Мереж Петрі.

Мета: Опанування інструменту моделювання на базі Мереж Петрі.

Теоретичні відомості

Мережа Петрі — математична абстракція для представлення дискретних розподілених систем. З допомогою мереж Петрі, які стали найбільш зручною математичною конструкцією для представлення моделей динамічних систем багатьох типів, досить легко будувати моделі будь-яких систем. Графічно представляється у вигляді дводольного орієнтованого мультиграфу з маркерами, який має дві групи вершин: позиції та переходи. Позиції можуть бути пустими або маркованими та визначають стан мережі. Переходи визначають дії. Орієнтовані ребра графу задають зв'язки між позиціями та переходами. Процес функціонування мережі Петрі полягає в послідовному «виконанні» переходів, та відповідному перерахунку кількості «фішок» у позиціях. Дуги можуть бути кратними, коли два вузли з'єднані більше ніж однією дугою однакового напрямку.

Прості мережі Петрі містять лише три основних елементи: вузли, переходи та маркери. Тому побудова з їх допомогою моделей складних динамічних систем, в яких протікає велика кількість взаємодіючих паралельних і асинхронних процесів та існує багато інформаційних і матеріальних потоків, стає досить складною та громіздкою процедурою. Це помітно звужує клас моделей систем, які можна побудувати на основі простих мереж Петрі. У таких випадках застосовують розширення простих мереж Петрі, які дають можливість значно спростити побудову складних моделей і їх графічне зображення.

Об'єктом проектування СКС є мережні системи, які обов'язково включають в свою структуру об'єкти управління. Для формалізації структури таких систем застосовується теорія графів і мереж. Визначення графу, що є сукупністю вершин, сполучених ребрами, настільки загальне, що цим терміном можна описувати безліч подій та об'єктів повсякденного життя. Високий рівень абстракції дозволяє використовувати типові алгоритми теорії графів для вирішення зовнішньо несхожих задач, зокрема у комп'ютерних мережах.

Графом називається сукупність двох множин: множини точок, що називаються вершинами або вузлами графа, і множини упорядкованих пар цих вершин, які називаються дугами або ребрами. Коли порядок вершин не має значення, зв'язок між вершинами називається ребром. Якщо порядок вершин строго визначений, зв'язок називається дугою.

Приклад графа наведено на рис.1. Вершини графа позначено латинськими буквами a, b, c, d, e , дуги – грецькими буквами – $\alpha, \beta, \delta, \varphi, \varepsilon, \gamma, \xi$.

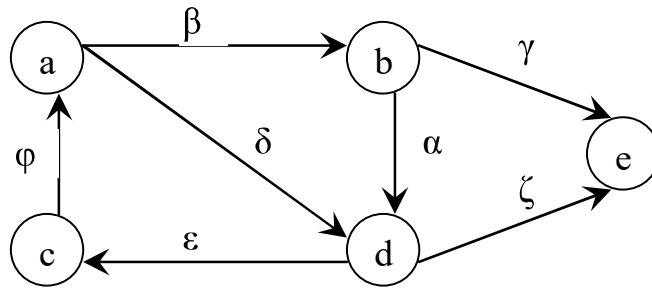


Рис.1. Приклад графа

Це далеко не єдиний спосіб позначення вершин. Вершини можуть також позначатися цифрами. Іноді можливе описове позначення вершин. В останньому випадку в кружечки, що позначають вершини, вписують будь-які символи, зрозумілі для того, хто вирішує конкретну проблему мовою теорії графів.

Граф, у якому зв'язки між вершинами задаються ребрами, називається неорієнтованим.

Граф, у якому зв'язки між вершинами задаються дугами, називається орієнтованим.

На рис.1 зображено орієнтований граф. Для того, щоб він став неорієнтованим, треба на дугах забрати стрілки.

Ребра і дуги зручно позначати переліченням пар вершин, які вони з'єднують. На першому місці ставиться початкова вершина. На другому – кінцева. У цьому випадку дуга φ позначається як (c, a) , дуга β як (a, b) і т.д. Для ребер порядок вершин не має значення.

Довільний граф позначається буквою G , X – множина вершин, E – множина ребер, A – множина дуг.

Тоді конкретний граф, залежно від його орієнтації, прийнято записувати у вигляді:

$$G = (X, A) \text{ або } G = G(X, A), \quad G = (X, E) \text{ або } G = G(X, E).$$

Початкова і кінцева вершини дуги чи ребра називаються кінцевими. На рис. 2, наприклад, для дуги β кінцевими є вершини a і b .

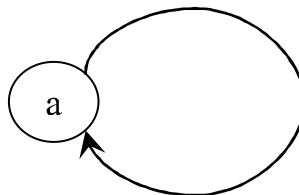


Рис. 2. Петля

Вершина називається інцидентною дузі чи ребру, якщо вона є для нього початком або кінцем. На тому ж рисунку, наприклад, вершина a інцидентна дугам φ , β і δ . Дуги інцидентні одна одній, якщо вони інцидентні одній і тій самій вершині (тобто мають у своєму складі ту саму вершину). Наприклад, φ , β , δ інцидентні вершині a . Дуга початкова і кінцева, вершини якої збігаються, називається петлею. Вигляд її подано на рис.2.

У реальних задачах петля означає „зациклення” або „тупцювання” на одному місці: наприклад, ресурс чи інформація не виходить із джерела і залишається в ньому. Це досить поширене явище на практиці. Дві вершини називаються сусідніми, якщо є ребро чи дуга, що їх з'єднують.

Довільна послідовність дуг або ребер називається ланцюгом. Для ланцюга важливо, щоб кожне наступне ребро або дуга були початком чи кінцем попереднього ребра або дуги. Однак, спрямованість дуг у ланцюзі не має значення, тобто в ланцюзі допускаються повернення. Наприклад, на рис. 3 вершини a і e з'єднані ланцюгами: α, β, γ і ε або α, β і δ . І це не всі ланцюги між a і e на цьому рисунку.

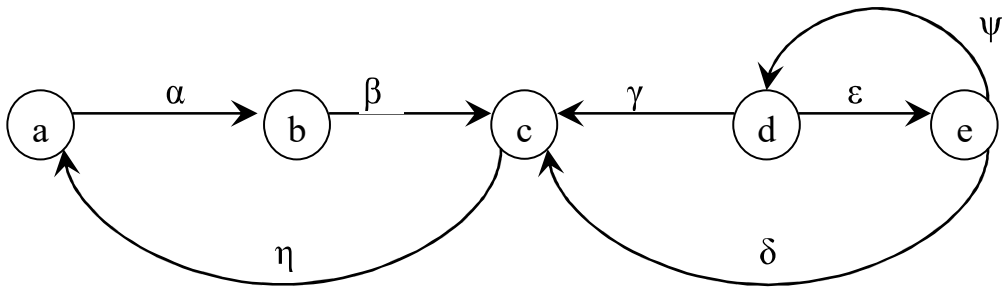


Рис..3. Приклад графа.

Ланцюг, у якого початкова і кінцева вершини збігаються, називаються циклом. На рис.3. прикладом циклу є дуги γ, ψ і δ .

Ланцюг, у якого повернення між сусідніми вершинами не допускаються (тобто такий ланцюг, що складається з дуг одного напрямку), називається шляхом. Шляху між вершинами a й e на рис. 3 немає.

Шлях, у якого початкова і кінцева вершини збігаються, називається контуром. На рис.3 шлях утворюють дуги α і β . Дуги α, β і η утворюють контур.

Для неорієнтованого графа поняття ланцюга і шляху, а також циклу і контуру збігаються.

Граф називається зв'язним, якщо в ньому для кожної пари вершин знайдеться ланцюг, що їх з'єднує. Будь-який граф можна розглядати як деяку сукупність зв'язних графів. Кожен з таких графів називається підграфом або компонентом вихідного графа.

Усі дотепер розглянуті графи були однозв'язними. На рис..3 подано двозв'язний граф, що складається з двох компонентів. Перший з них визначається дугами α і β , другий – дугами δ, ε і ζ .

Сукупність дуг графа називається деревом, якщо вона є зв'язним підграфом цього графа і не містить циклів. На рис. 4 вказано граф, що складається з двох підграфів. Обидва підграфи є деревом.

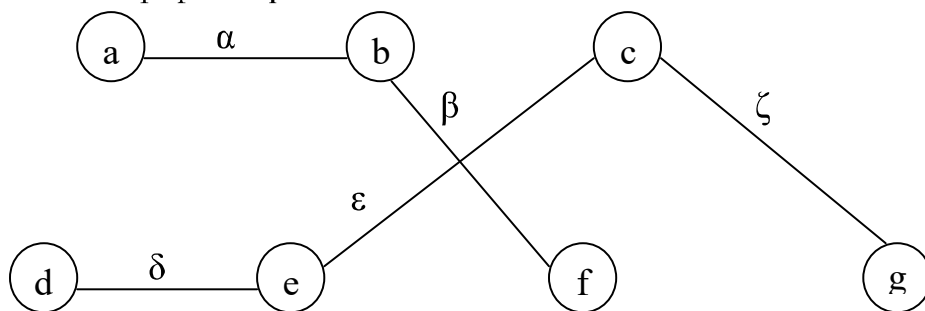


Рис.4. Приклад багатозв'язного графа

Щоб компоненти розглянутого графа подати наочно, можна зобразити їх окремо, як на рис. 5. Збереження масштабу тут принципового значення не має.

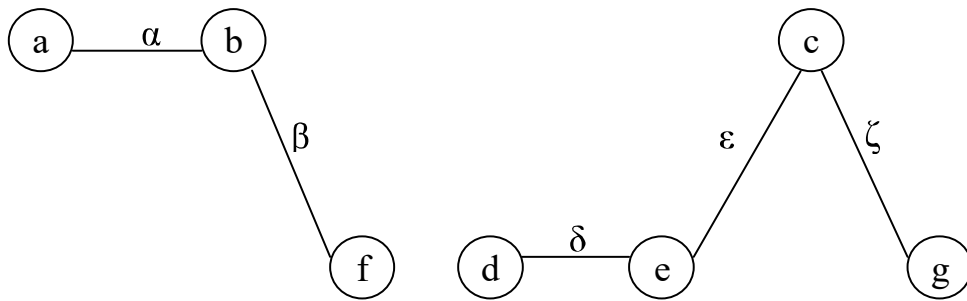


Рис.5. Багатозв'язний граф для графа на рис. 4, зображений у вигляді окремих дерев.

Вагою дерева називається сума ваг усіх його ребер. Дерево називається мінімальним (максимальним), якщо воно має мінімальну (максимальну) з можливих ваг. Лісом називається будь-яка сукупність дуг, що не містить циклів. Ліс може складатися з одного і більше дерев. На рис.5 зображено ліс, що складається з двох дерев: дерева α , β і дерева δ , ϵ , ζ . Вага лісу вводиться за аналогією з вагою дерева. Покривним деревом називається будь-яке дерево, що містить усі вершини графа. Зрозуміло, що для будь-якого зв'язного неорієнтованого графа покривне дерево завжди існує. Для зв'язного орієнтованого – далеко не завжди.

Приклад цього положення ілюструє рис.6. Для орієнтованого графа на цьому рисунку не існує покривного дерева, хоча за відсутності стрілок на дугах воно склалося б з ребер (1, 2), (2, 3) і (3, 4).

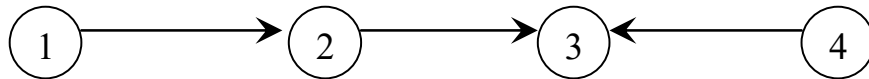


Рис..6. Приклад графа, для якого не існує покривного дерева.

Тому для орієнтованих графів на перше місце виступає поняття лісу, а не дерева. Для того, щоб чітко визначитися в термінах, введемо їх окремо для орієнтованих графів.

Орієнтоване дерево – дерево, у якому жодні 2 дуги не заходять у ту саму вершину.

Коренем дерева називається єдина його вершина, в яку не заходить жодна дуга. Поняття кореня для неорієнтованих дерев немає. Коренем для орієнтованих дерев може бути будь-яка вершина.

Орієнтований ліс – це ліс, що складається з орієнтованих дерев.

Покривним орієнтованим деревом називається орієнтоване дерево, що є одночасно і покривним деревом.

Покривним орієнтованим лісом називається орієнтований ліс, що містить всі вершини графа. На рис.6, як вже зазначалося, показаний граф, що не має покривного дерева. Покривний же ліс для нього складається з двох дерев: дерева (1, 2), (2, 3) і дерева (4, 3). Останнє дерево містить тільки одну дугу, але це не заважає йому бути, відповідно до вищенаведеного визначення, деревом.

Граф, що має покривне дерево, є однозв'язним. Вірне й протилежне: для того, щоб граф був однозв'язним, він повинен мати покривне дерево.

У загальному випадку граф може мати кілька покривних дерев. Особливо показове це явище для неорієнтованих графів. Хоча можливе і для орієнтованих. Для того, щоб це побачити, розглянемо граф на рис.7.

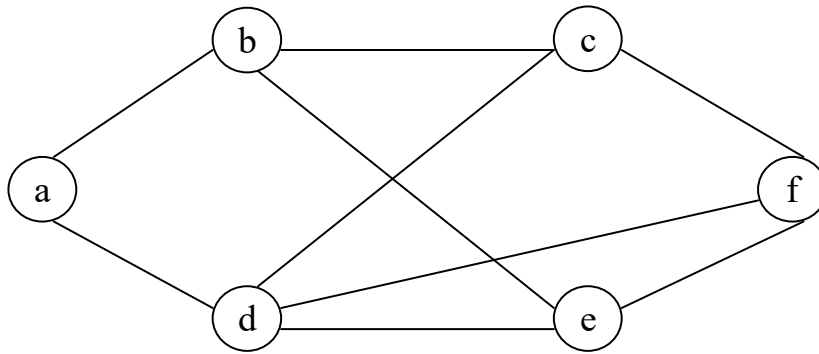


Рис. 7. Приклад графа, для якого існує кілька покривних дерев.

Для графа на рис.7 покривними будуть і дерево $(a, b), (b, c), (c, f), (f, e), (e, d)$, і дерево $(a, b), (b, c), (c, d), (d, f), (f, e)$. За бажання, тут можна знайти й інші покривні дерева. Пропонуємо перевірити це.

Множина дуг, виключення яких із графа збільшує число його компонентів називається розрізом. Розріз, що не містить, як власну підмножину, ніякого іншого розрізу, називається простим. Таким чином, простий розріз це той, котрий містить найменшу кількість дуг. Наприклад, для графа на рис.3 дуги γ, ϵ, ψ і δ утворюють розріз. До складу його входить інший розріз - γ, ϵ і δ , що є простим.

Кожне дерево можна представити (розгорнути) таким чином, щоб воно мало вигляд відомого в історичному плані „генеалогічного” дерева, за допомогою якого зображають наявність родинних зв'язків. Вигляд генеалогічного дерева зображено на рис.8.

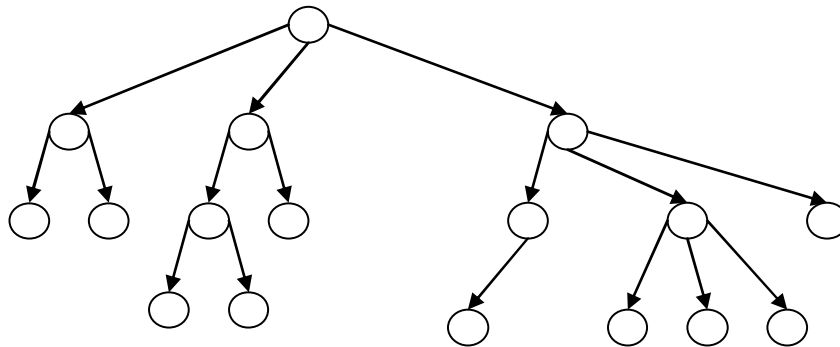


Рис..8. Вигляд генеалогічного дерева.

Так само відбивають різного роду ієрархію і супідрядність для широкого кола реальних об'єктів. При цьому для неорієнтованого дерева, як корінь, можна вибрати будь-яку вершину, для орієнтованого – одну, а саме ту, в котру не заходять дуги.

Узагальненням поняття графа є поняття мережі. Воно вводиться відповідно до поняття мережної системи на загальноприйнятому рівні.

Мережею називається граф, кожному ребру або дузі якого поставлено у відповідність деяке число, що називається вагою ребра або дуги і відбиває певні властивості цього ребра чи дуги (наприклад, відстань, швидкість, ціну, пропускну здатність, дохід, прибуток).

Мережі на практиці, природно, використовуються набагато частіше, ніж графи як такі, тому що ваги ребер чи дуг визначають процес функціонування об'єкта, представленого мережею. У деяких літературних джерелах поняття мережі і графа не розрізняються.

Усі поняття, уведені для графа, стосуються і мереж. Мережі, як і графи, можуть

бути орієнтованими або ні. Вигляд орієнтованої мережі зображено на рис.9. На ньому поруч з кожною дугою проставлено її вагу.

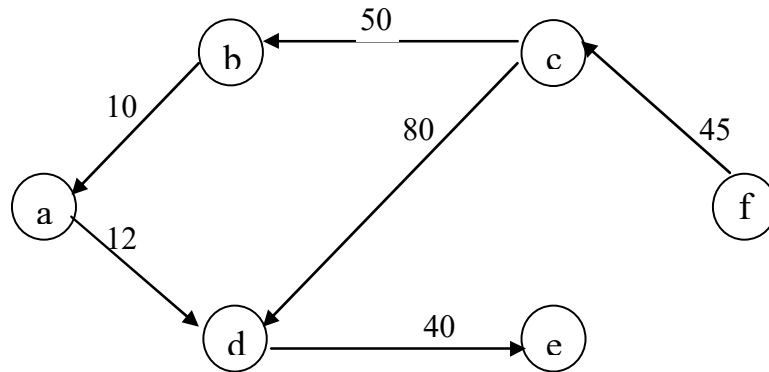


Рис..9. Зображення мережі.

Завдання ваг у такий спосіб є не завжди зручним для мереж великого розміру чи при зображенні їх у малому масштабі. Тому часто ваги для мереж задаються у вигляді таблиці. Зразок табличного задання ваг для мережі, зображеної на рис.9, наведено у таблиці .1.

Таблиця.1 - Спосіб задання ваг для мережі на рис..9.

у \ з	a	b	c	d	e	f
a		10				
b			50			
c						45
d	12		80		40	
e						
f						

Кажучи загалом, таблиця.1 являє собою задання самої мережі. Вона відображає усе, що притаманне мережі: вершини, зв'язки і ваги, тобто числа, поставлені у відповідність цим зв'язкам. За нею, не знаючи конфігурації мережі, можна відтворити всю мережу. Масштаб і вигляд зображення мережі для формалізованої задачі не мають принципового значення, крім виконання ролі наочності. Саме так описуються мережі при розв'язанні мережних задач на комп'ютерах. Цей метод зручний для програмування на алгоритмічних мовах.

Взагалі, не тільки мережі, а й граfi можуть задаватися таблицею. У цьому випадку замість конкретних ваг у відповідних клітинках таблиці ставиться будь-яка ознака, що вказує на наявність зв'язку.

Розширення мережі Петрі — це така їх модифікація, яка збільшує можливості мережі стосовно опису та моделювання систем. Існують різні розширення мереж Петрі, орієнтовані на моделювання систем різних типів: стохастичних, динамічних, предикатних та ін. Кольорові мережі Петрі дають змогу значно зменшити розміри мереж, які використовуються, наприклад, для опису моделей комп'ютерних систем.

Необхідність дослідження динаміки ресурсних потоків у системах змусила шукати шляхи включення до мереж Петрі в явному вигляді часових параметрів. Крім того, у деяких моделях необхідно розрізняти порядок надходження маркерів до вузлів та вибору маркерів з них, що дає змогу впорядкувати події в часі.

На практиці широко використовуються проблемно-орієнтовані розширення мереж Петрі, серед яких найбільш відомі £-мережі, комбі-мережі, ППО-мережі, М-

мережі та ін.

У простих мережах Петрі допускається наявність у вузлі лише одного маркера, тоді як у розширених мережах кожний вузол може містити кілька маркерів. Кількість маркерів у вузлі позначає число поряд з вузлом.

Мереж Петрі достатньо для опису причинно-наслідкових подій, які виникають у системах, однак мережі не забезпечують повну спільність з логічними операціями. Зрозуміло, що проста мережа Петрі відтворює роботу тільки логічного елемента «І», тому за допомогою цієї мережі не можна змоделювати збудження переходу, коли вхідний вузол не має маркерів (логічний оператор заперечення «НІ»). Для цього в розширених мережах вводяться дуги заперечення, які зображуються лініями з кружечком на кінці замість стрілки і не мають дугової ваги (дугова вага визначає пропускну здатність дуги). Дуги, визначені раніше, розглядаються як позитивні. Вони завжди направлені від деякого вузла до переходу і не можуть мати зворотного напрямку.

Матриці інцидентій та принципи формалізації опису графів, є теоретичною та методологічною основою для побудови матричних моделей руху даних.

На структурному рівні, на основі топологічної моделі об'єкта, будується орієнтований граф (оргграф) $G(V, B)$, упорядкування якого змістовно описується множиною вершин V , способом дії об'єкта у вигляді множини ребер B . При цьому вершинами оргграфа є функціонально закінчені модулі системи, а ребрами b_i - інформаційні зв'язки між ними.

Структурні відношення між елементами множини описуються матрицею суміжності

$$[C_{ij}]_V = [n \times n],$$

рядки і стовпчики якої відповідають вершинам оргграфа структурної моделі, а її C_{ij} -й елемент – кількості ребер, спрямованих від вершини V_i до V_j . Відношення між елементами множини V і B відповідно опису відношень між вершинами і ребрами оргграфа, описується у вигляді булевої матриці інцидентій

$$[A_{ij}]_{V, B} = [n \times m],$$

рядки якої відповідають вершинам, а стовпчики- ребрам оргграфа, при цьому a_{ij} -елементу присвоюється „+1”, якщо V_i - початкова вершина b_j і „-1”, якщо V_i - кінцева вершина ребра b_j . На рис .10 показаний оргграф з вершинами $V_1 - V_7$ та ребрами $b_1 - b_{12}$.

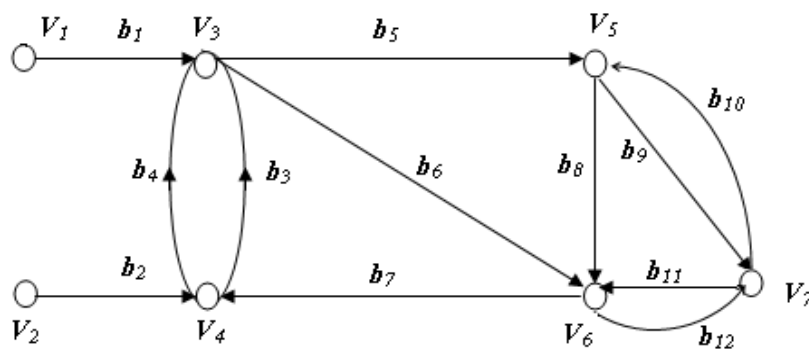


Рис.10. Оргграф булевої матриці інцидентій

Матриці суміжності C_{ij} та інцидентій A_{ij} цього оргграфа мають вигляд :

	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7		b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	b_6	b_7	b_8	b_9	b_{10}	b_{11}	b_{12}	
V_1			1					V_1	-1												
V_2				1				V_2		-1											
V_3				1	1	1		V_3	+1		-1	+1	-1	-1							
V_4			1			1		V_4		+1	+1	-1			-1						
V_5						1	1	V_5					+1			-1	-1	+1			
V_6							1	V_6						+1	+1	+1			+1		-1
V_7					1			V_7									+1	-1	-1		+1

Отримана матриця інцидентності відображає топологічну архітектуру комп'ютерної системи і направленість інформаційних потоків між її вузлами. Дана матриця є базою для побудови матриці двохвимірної моделі руху даних, в якій конкретизуються атрибути комп'ютерної системи у вигляді символів джерел інформації, пунктів цифрового оброблення даних, зберігання та архівації даних.

Практична робота № 2

Тема: Дослідження архітектурних характеристик комп'ютерно-інтегрованих систем.

Мета: Одержання практичних навиків дослідження архітектурних характеристик комп'ютерно-інтегрованих систем.

Теоретичні відомості

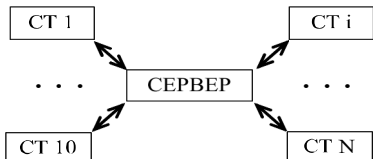
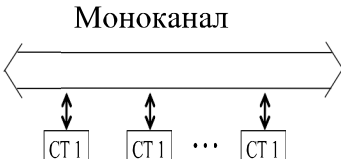
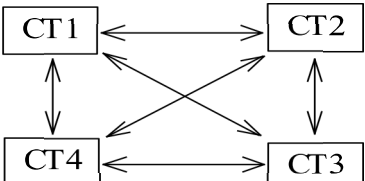
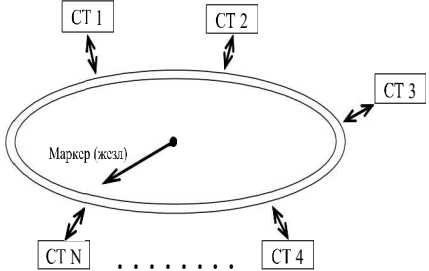
Дослідження та аналіз архітектур розподілених комп'ютерних систем, які використовуються в локальних, проблемно-орієнтованих та спеціалізованих комп'ютерних мережах, дозволяє визначити наступні класи їх архітектур, представлених в табл. 1, до яких належать: однорівнева, багаторівнева, безпроводна, з відкритим оптичним каналом. Основним показником ефективності архітектур розподілених комп'ютерних систем є коефіцієнт емерджентності, який визначається згідно рівняння 1:

$$K_e = \frac{n_e}{n_z}$$

де n_z — число зв'язків, n_e — число компонентів.

В таблиці 1 приведено різні класи архітектур для яких необхідно дослідити коефіцієнт емерджентності та провести необхідний аналіз можливостей застосування та ефективності використання в конкретному випадку.

Таблиця 1 - Тип та архітектура комп'ютерних мереж

№	Тип та архітектура КС	
Однорівневі архітектури		
1	Зіркова 	Моноканал 
2	Систолічна 	Кільцева 
Багаторівневі архітектури		
3	Ієрархічна	Зірково-магістральна

		<p>Моноканал</p>
4	<p>Мережно-ієрархічна</p>	
Безпроводні архітектури		
5	<p>З пасивним ретранслятором</p>	<p>Безретрансляційна</p>
	<p>З активним ретранслятором</p>	
6	<p>Зірково-магістральна</p>	<p>З активним ретранслятором та кільцевою структурою</p>
6	<p>Сотова</p>	

Практична робота № 3

Тема: Дослідження функцій, системних та функціональних об'єктів комп'ютерно-інтегрованих систем.

Мета: Одержання практичних навичок дослідження функцій, системних та функціональних об'єктів комп'ютерно-інтегрованих систем.

Теоретичні відомості

Побудова кластерних моделей квазістаціонарних ОУ.

Складні багатоканальні ОУ з великою кількістю станів та переходами між ними відповідно мають такі ж складні моделі, які відображають зміну поведінки ОУ, що відповідає переходам його в різні стани. Переважно ці моделі будуються у вигляді графів, вершини якого позначають стани ОУ, а дуги – переходи з стану в стан.

Для спрощення подання та відображення поведінки ОУ використовуються кластерні моделі. Кластеризація може бути проведена по переходах ОУ між станами (дугам графу) і по самих станах (вершинах графу).

Кластеризація по переходах базується на матриці ймовірностей переходу з стану S_i в стан S_j :

$$\begin{pmatrix} p_{11} & p_{21} & \dots & p_{i1} & \dots & p_{n1} \\ \vdots & & & & & \\ p_{1j} & p_{2j} & \dots & p_{ij} & \dots & p_{nj} \\ \vdots & & & & & \\ p_{1m} & p_{2m} & \dots & p_{im} & \dots & p_{nm} \end{pmatrix},$$

де $p_{ij} = \frac{N_{ij}}{N}$, N_{ij} – кількість переходів $S_i \rightarrow S_j$; N – загальна кількість переходів за час спостереження T .

Задається критичний коефіцієнт значимості α , при чому $0 \leq \alpha \leq 1$ і всі переходи $S_i \rightarrow S_j$, в яких $p_{ij} < \alpha$, вважаються несуттєвими.

Нехай матриця має розмірність 4×4

$$\begin{pmatrix} p_{11} & p_{12} & p_{13} & p_{14} \\ p_{21} & p_{22} & p_{23} & p_{24} \\ p_{31} & p_{32} & p_{33} & p_{34} \\ p_{41} & p_{42} & p_{43} & p_{44} \end{pmatrix} \quad \begin{matrix} p_{21} \geq \alpha, & p_{14} \geq \alpha, \\ p_{42} \geq \alpha, & p_{34} \geq \alpha. \end{matrix}$$

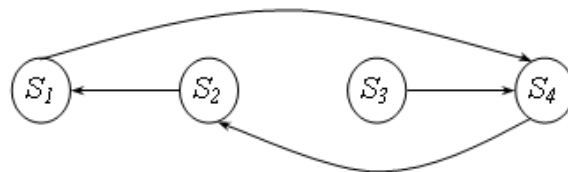
Тоді кластерна модель багатоканального ОУ може бути подана у вигляді таблиці або у вигляді графу (рис.1).

$S_2 \rightarrow S_1$

$S_1 \rightarrow S_4$

$S_4 \rightarrow S_2$

$S_3 \rightarrow S_4$



а)

б)

Рис 1. Кластерні моделі ОУ: а) – таблична; б) – графова

Якщо ввести градацію семантичної значимості переходів, отримаємо семантичну кластерну модель ОУ по переходах, в якій відображаються тільки ті переходи, які мають значення семантичних коефіцієнтів значимості q_{ij} більші за прийнятий критичний поріг β . Семантичні коефіцієнти переходів також подаються у вигляді матриці

$$\begin{pmatrix} q_{11} & q_{21} & \dots & q_{i1} & \dots & q_{n1} \\ \vdots & & & & & \\ q_{1j} & q_{2j} & \dots & q_{ij} & \dots & q_{nj} \\ \vdots & & & & & \\ q_{1m} & q_{2m} & \dots & q_{im} & \dots & q_{nm} \end{pmatrix}.$$

Взявши за основу попередній приклад з семантичними ваговими коефіцієнтами

$$\begin{pmatrix} q_{11} & q_{12} & q_{13} & q_{14} \\ q_{21} & q_{22} & q_{23} & q_{24} \\ q_{31} & q_{32} & q_{33} & q_{34} \\ q_{41} & q_{42} & q_{43} & q_{44} \end{pmatrix},$$

при чому $q_{21} \geq \beta$, $q_{14} \geq \beta$, $q_{32} \geq \beta$, $q_{24} \geq \beta$, кластерну модель ОУ можна подати в 4-х варіантах:

- відображення $S_i \rightarrow S_j$, для яких $p_{ij} \geq \alpha$ (рис. 1, б);
- відображення $S_i \rightarrow S_j$, для яких $p_{ij} \geq \alpha$ із позначенням семантичних ваг переходів (рис.2);
- відображення $S_i \rightarrow S_j$, для яких $q_{ij} \geq \beta$ (рис. 1,а);
- відображення $S_i \rightarrow S_j$, для яких $p_{ij} \geq \alpha$ і $q_{ij} \geq \beta$ (рис. 3,б).

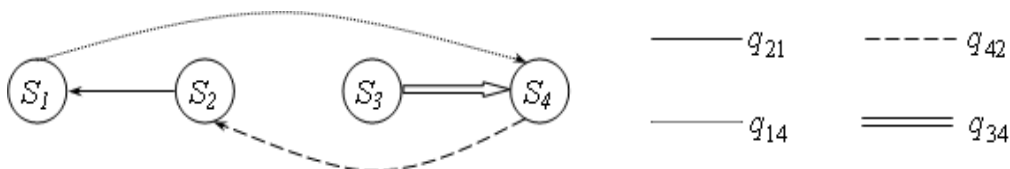


Рис.2. Приклад побудови кластерної моделі ОУ по ймовірнісних коефіцієнтах з позначенням семантичної ваги дуг

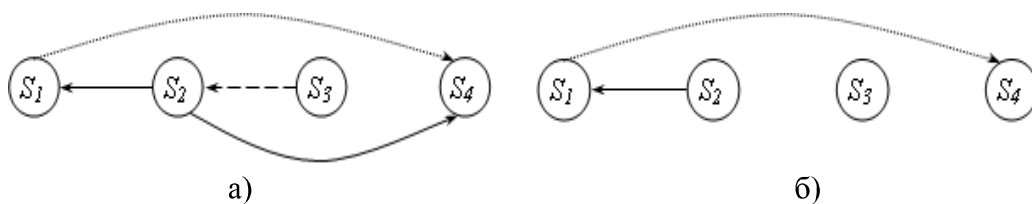


Рис 3. Приклади побудови кластерних моделей ОУ: а) – з врахуванням семантичних вагових коефіцієнтів переходів; б) – з врахуванням ймовірнісних та семантичних вагових коефіцієнтів переходів

Семантична градація переходів відображає інформацію, яка не враховується кількісними показниками p_{ij} , і може означати вибухонебезпечність, пожежонебезпечність, екологічну небезпеку, недопустимі економічні втрати та інше.

Кластеризація по станах ОУ передбачає зменшення кількості аналізованих

станів за рахунок їх суміщення.

Для зменшення ширини графів запропоновано методи горизонтального, вертикального та групового склеювання (кластеризації) вершин.

Горизонтальна кластеризація передбачає склеювання вершин, які розміщені на одному рівні (рис.4) при виконанні умови:

$$\forall v_{ij}, \text{ що входять в } V_{Ij} \sum_i^I w_i \leq m_j; \quad i = \overline{1, N}; \quad j = \overline{1, L},$$

де v_{ij} – i -та вершина на j -му рівні; V_{Ij} – нова вершина, утворена суміщенням v_{ij} на рівні j ; w_i – вага вершини v_{ij} ; N – кількість вершин графу; $m_j = \max\{v_{1j}, \dots, v_{ij}, \dots, v_{n_jj}\}$ – максимальна вага вершини, яка розміщена на рівні j ; n_j – кількість вершин на j -му рівні; I – перелік номерів вершин v_{ij} , які входять в V_{Ij} .

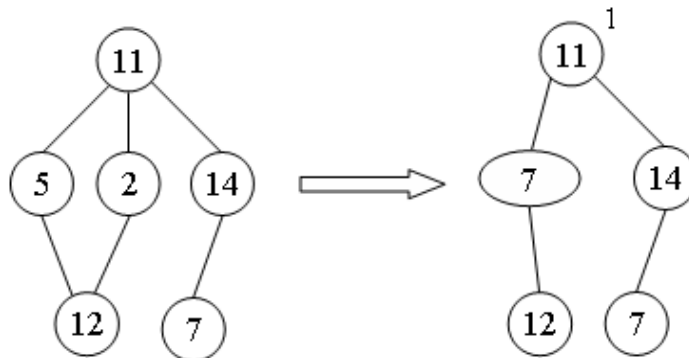


Рис.4. Приклад горизонтальної кластеризації моделі ОУ по вершинах графу

Вертикальна кластеризація (рис.5) здійснюється за рахунок перенесення транзитної вершини v_{ik} графу з рівня k на рівень j , якщо виконуються умови:

$$n_j + 1 \leq M \quad \text{і} \quad j_1 < j < j_2,$$

де $j_1 = \max\{in[e(v_{ik})]\}$ – максимальний номер рівня, з яким з'єднана вершина v_{ik} вхідними дугами;

$j_2 = \min\{out[e(v_{ik})]\}$ – мінімальний номер рівня, з яким з'єднана вершина v_{ik} вихідними дугами;

$M = \max\{n_1, \dots, n_j, \dots, n_L\}$ – максимальна кількість вершин, яка розміщена на одному з рівнів графу.

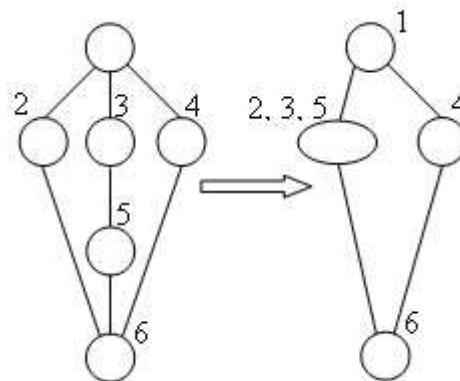


Рис. 5. Приклад вертикальної кластеризації моделі ДІ по вершинах графу.

Групова кластеризація полягає в одночасному перенесенні транзитної вершини v_{ik} з k -го рівня на j -ий і суміщенням її з вершинами рівня j (рис.6).

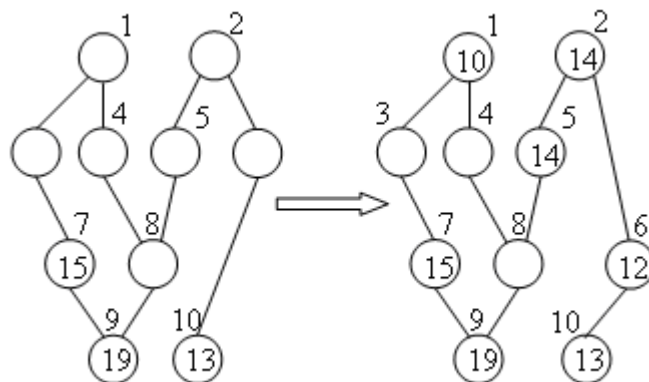


Рис. 6. Приклад групової кластеризації моделі ДІ по вершинах графу.

При цьому повинні виконуватись умови: $\forall v_{ik}$, що входять в $V_{I_j} \sum_i^I w_i \leq m_j$, при

чому $j_1 \leq j \leq j_1$.

Таким чином, кластерні моделі ОУ дозволяють зменшити кількість вершин, які описують стани ОУ, що спрощує подальший аналіз їх поведінки, покращити ефективність сприйняття оператором великих об'ємів інформації і підвищити швидкість його реагування на відхилення об'єкту керування від норми.

Практична робота № 4

Тема: Функціональні особливості та характеристики об'єктів управління комп'ютерно-інтегрованих систем.

Мета: Дослідження функціональних особливостей та характеристик об'єктів управління комп'ютерно-інтегрованих систем.

Теоретичні відомості

1. Сигнальна модель.

Основою для побудови будь-якої сигнальної моделі ОУ є продукційна модель подання знань, що відображає значення амплітуди досліджуваного процесу або номери станів ОУ (рис. 1). Процес, який описує стани ОУ, може бути неперервним або носити дискретний характер і представлений в різних просторах (лінійному, квадратичному, логарифмічному, полярному та інш). Таким чином, інформаційні моделі ОУ теж можна поділити на дві групи: аналогові та дискретні.

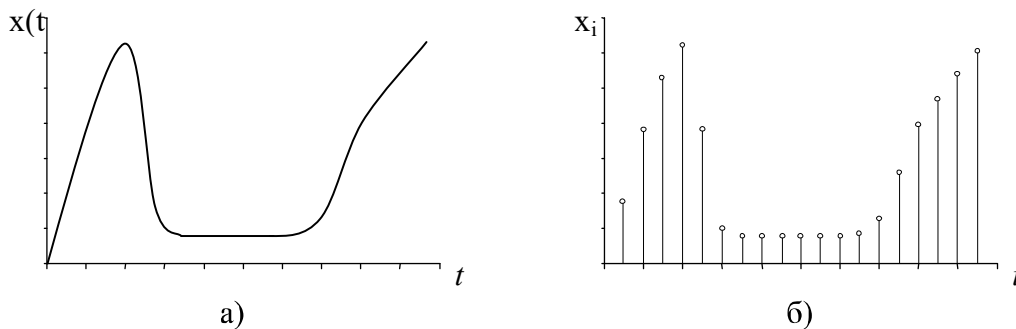


Рис.1. Відображення моделей ОУ в лінійному просторі:

а) – аналогових; б) – дискретних у вигляді решітчастих функцій.

Слід зауважити, що подання значень процесу в дискретному вигляді більш зручне для подальшого аналізу, оскільки сучасна комп'ютерна техніка переважно використовує дискретні бази. Очевидно, що властивості аналогових ОУ можуть бути описані за допомогою дискретних моделей із заданою точністю.

Існує три способи переходу від аналогової величини $x(t)$ до дискретної x_i :

$$x_i = \hat{E} \left[\frac{x(t)}{\Delta} \right]; \quad x_i = \check{E} \left[\frac{x(t)}{\Delta} \right]; \quad x_i = \tilde{E} \left[\frac{x(t)}{\Delta} \right],$$

де $\hat{E}, \check{E}, \tilde{E}$ – цілочисельні функції з округленням відповідно до більшого, меншого і найближчого цілого; Δ – крок квантування.

Крок квантування Δ вибирається у відповідності до заданої точності та динаміки зміни станів ОУ. Найчастіше час дискретизації Δt визначається на основі динаміки та асимптотики автокореляційних функцій. Математично обґрунтована дискретизація аналогового сигналу $x(t)$ з частотою f_d здійснюється шляхом

множення сигналу $x(t)$ на суму імпульсів Дірака, періодичність яких $t_d = \frac{1}{f_d}$:

$$D = \sum_{i=-\infty}^{\infty} \delta \left(t - \frac{i}{f_d} \right).$$

Позначивши дискретизований сигнал x_i отримаємо наступний вираз:

$$x_i = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x\left(\frac{i}{f_d}\right) \cdot \delta\left(t - \frac{i}{f_d}\right) \text{ або } x_i = x(t) \cdot \sum_{k=-\infty}^{\infty} \delta\left(t - \frac{i}{f_d}\right).$$

На основі дискретних інформаційних моделей ОУ побудовані комп'ютеризовані системи з U - та R -технологіями. G - та I -технології використовують інтегральні і диференціальні моделі ОУ.

2. Інтегральна модель

Інтегральні моделі ОУ відображають значення процесів або станів ОУ в інтегральному просторі і описуються наступним виразом для аналогових S :

$$I = \int_0^{\tau} x(t) dt,$$

де τ – відрізок часу спостереження і

$$I = \Delta t \sum_{i=0}^k x_i,$$

для дискретних Ш, де $k = \overset{\vee}{E}\left[\frac{\tau}{\Delta t}\right]$, Δt – крок дискретизації.

Таким чином, для наведених на рис. 1 процесів інтегральні моделі можна подати у вигляді продукційних моделей (рис. 2).

Інтегральні моделі ОУ в кожен момент часу несуть інформацію як про поточне значення процесу так і про весь процес в цілому за весь період спостереження τ , тому є більш інформативними, ніж моделі в лінійному просторі. Недоліком є те, що в інтегральних моделях різко зростає діапазон квантування і розрядність кодів при визначенні, передаванні, обробці та відображенні даних. Такі моделі знайшли ефективне застосування в комп'ютеризованих системах з інтегрально-імпульсною технологією на базі кодів поля Галуа.

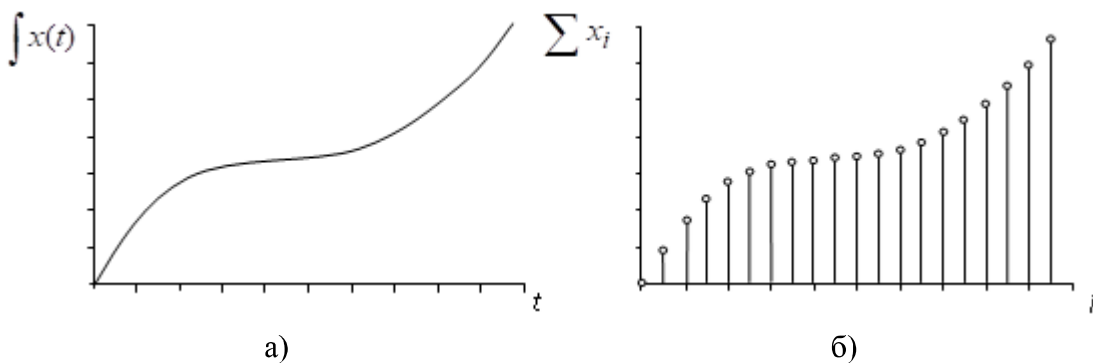


Рис. 2. Відображення моделей ОУ в інтегральному просторі:
а) – в аналоговому вигляді; б) – в дискретному вигляді.

3. Диференціальна модель

Диференціальні моделі характеризують похідну сигналу і описуються виразами: $D(t) = x'(t)$ – для аналогових процесів і $D_i = \frac{x_i - x_{i-1}}{\Delta t}$ – для дискретних процесів. Коли $\Delta t = 1$, то $D_i = x_i - x_{i-1}$, що відповідає кодуванню станів ОУ першими приростами.

Останній вираз є першою різницею дискретних відліків і характеризує зміну поточного стану ОУ відносно попереднього (рис. 3). Очевидно, що на даній моделі, по суті, базується комп'ютеризовані системи з I -технологією.

Оскільки похідна характеризує градієнт нахилу дотичної до кривої процесу, то це дає можливість прогнозувати поведінку процесу на деякий відрізок часу наперед. Тривалість цього відрізка і точність прогнозування залежить від динаміки процесу. Ще однією перевагою диференціальної моделі є зменшення діапазону значень і надлишковості кодів про стан ОУ, оскільки $M_x = 0$.

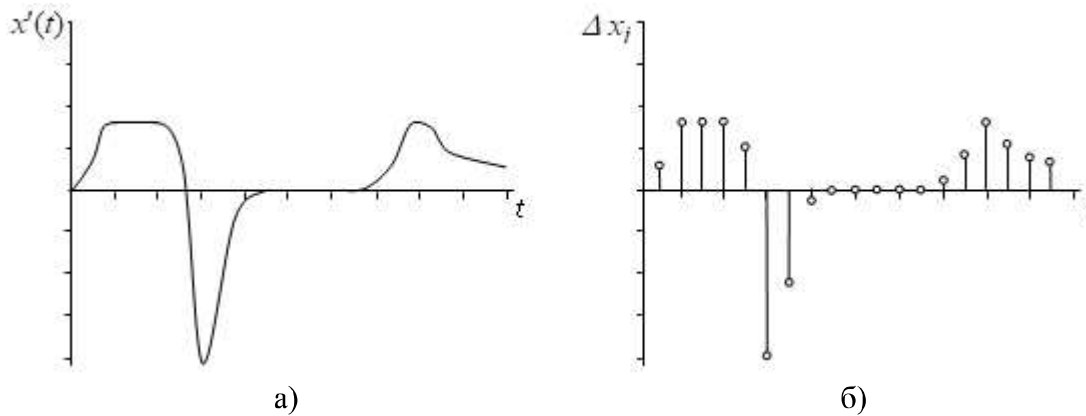


Рис. 3. Диференціальні моделі ОУ а) – аналогові; б) – дискретні.

4. Центрована модель

Важливим класом моделей дискретних ОУ при побудові статистичної моделі дисперсії є представлення сигнальних моделей у вигляді центрованих значень (рис. 4) згідно виразу:

$$\overset{\circ}{x}_i = x_i - M_x.$$

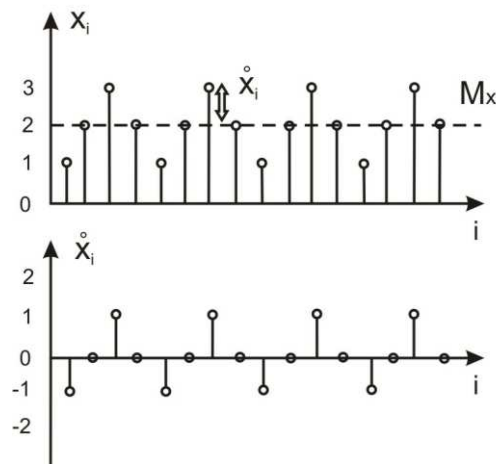


Рис. 4. Лінійна модель дискретного ОУ та її спектр на основі оператора центрування.

5. Статистичні моделі ОУ.

5.1 Вибіркове математичне сподівання.

Як вже відмічалось, одними з найрозповсюдженіших і ефективних засобів аналізу дискретних ОУ є статистичні моделі. В першу чергу – це оцінки математичного сподівання та середнє по ансамблю. Оцінка середнього по ансамблю потребує наявності певної кількості реалізацій, тому може використовуватись для статистичного аналізу повідомлень після їх отримання. В РКС реального часу на низових рівнях

широко використовується модель математичного сподівання, класичним варіантом якої є вибіркова оцінка

$$M_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i .$$

Вибіркова оцінка математичного сподівання дозволяє зменшити об'єм даних в n разів і здійснити низькочастотну фільтрацію динаміки станів ОУ (рис. 5).

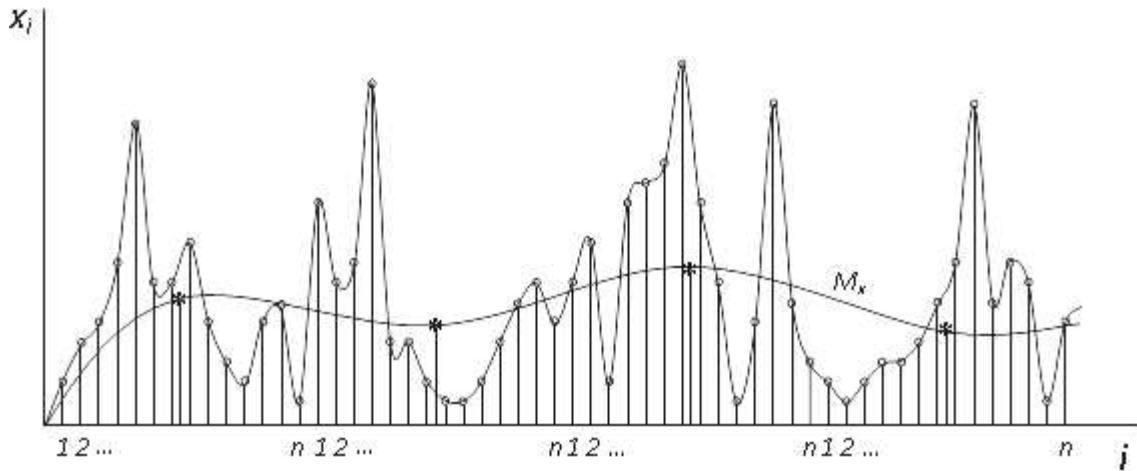


Рис. 5. Решітчаті функції повідомлень x та вибіркової оцінки математичного сподівання M_x .

5.2 Ковзне математичне сподівання

Модифікацію оцінки середнього по часі є ковзна оцінка

$$M_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n+j} x_{i+j} ,$$

де j – дискретний зсув в часі.

Ковзна модель математичного сподівання також здійснює низькочастотну фільтрацію і зменшує вплив одиничних випадкових стрибків станів ОУ на відображення інтегрального усередненого стану ОУ. На відміну від попередньої, ковзна модель M_j з більшою точністю відтворює середньостатистичну динаміку станів ОУ, проте об'єм даних практично не зменшується (рис. 6).

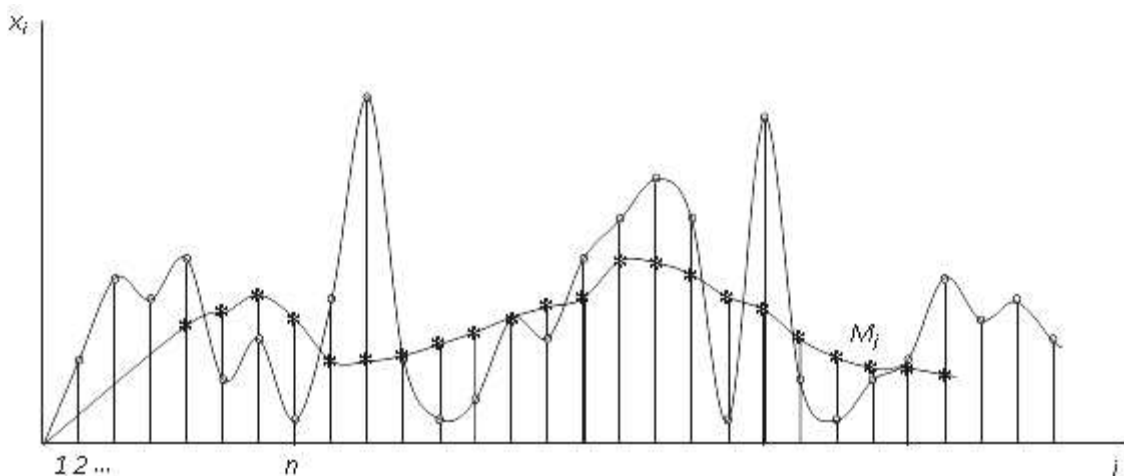


Рис. 6. Решітчаті функції повідомлень x та ковзної оцінки математичного сподівання M_j .

5.3 Вагове математичне сподівання

Існує також зважена оцінка середнього по часі, яка враховує старіння даних про стани ОУ, використовуючи вагові коефіцієнти (рис. 7)

$$M_V = \sum_{i=1+j}^{n+j} p_{i-j} \cdot x_{i+j},$$

де p_i – вагові коефіцієнти, при чому $\sum_{i=1}^n p_i = 1$.

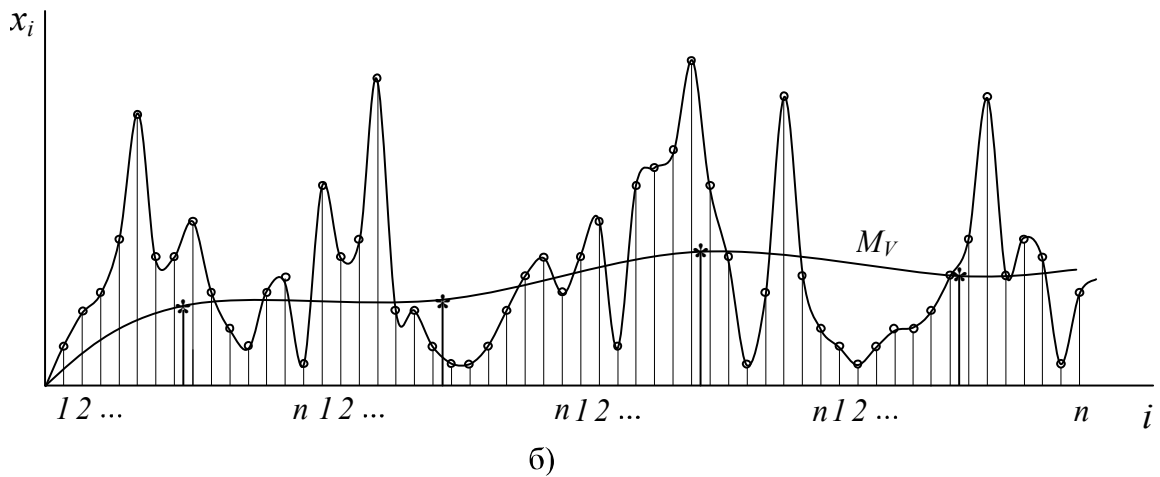
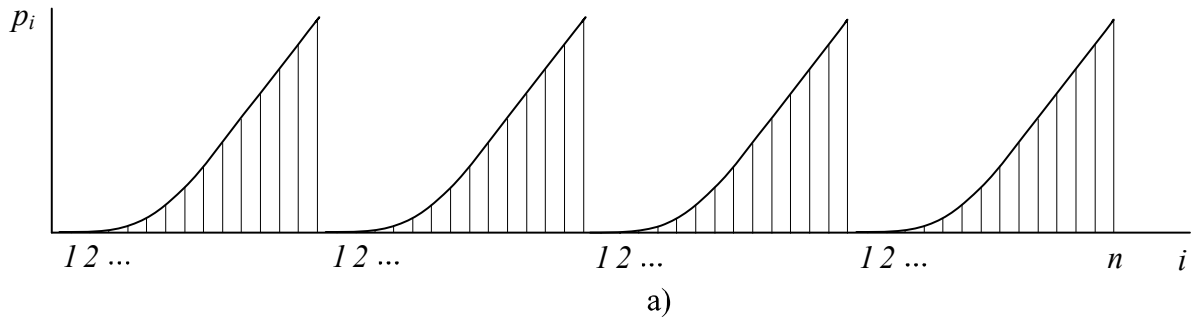


Рис. 7 Графіки а) – вагової функції V_i , що має експоненціальний характер; б) – ПП x_i та зваженої оцінки математичного сподівання M_V .

5.4 Дисперсія.

Важливою статистичною характеристикою динаміки станів ОУ у квадратичному просторі є дисперсія, оцінка якої визначається виразом:

$$D_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - M_x)^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \overset{\circ}{x}_i^2,$$

де n – об'єм вибірки, x_i – масив вихідних даних, M_x – вибіркове математичне сподівання, $\overset{\circ}{x}_i$ – центровані дискретні значення станів ОУ.

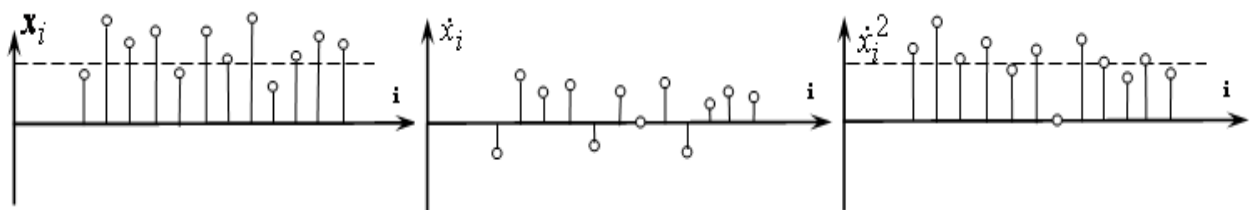


Рис. 8. Асимптотика дисперсії.

5.5 Середньоквадратичне відхилення.

Дисперсія у лінійному просторі представляється через середньоквадратичне відхилення

$$\sigma_x = \sqrt{D_x}.$$

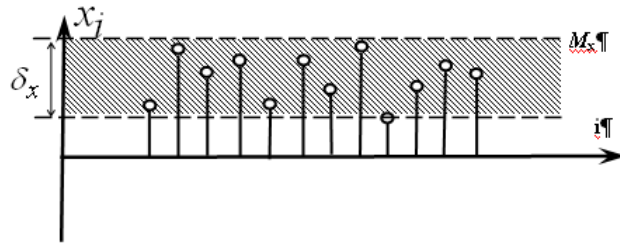


Рис. 9. Асимптотика середньоквадратичного відхилення.

Оцінки дисперсії і середньоквадратичного відхилення аналогічно математичному сподіванню, можуть реалізовуватись по вибірках, на ковзному інтервалі та з врахуванням вагових коефіцієнтів.

6. Кореляційні моделі ОУ.

6.1 Знакова.

Знакова автокореляційна модель ОУ використовується для аналізу швидкопротікаючих процесів та високої динаміки станів ОУ, який проводиться на

основі виявлення залежності між полярністю зсунутих в часі центрованих значень \hat{x}_i . Знакова автокореляційна модель (рис. 10) описується виразом:

$$H_{xx}(j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \text{sgn}[\hat{x}_i] \cdot \text{sgn}[\hat{x}_{i+j}],$$

де $\text{sgn}[x_i] = \begin{cases} 1, & x_i \geq 0; \\ -1, & x_i < 0 \end{cases}$ – знакова функція.

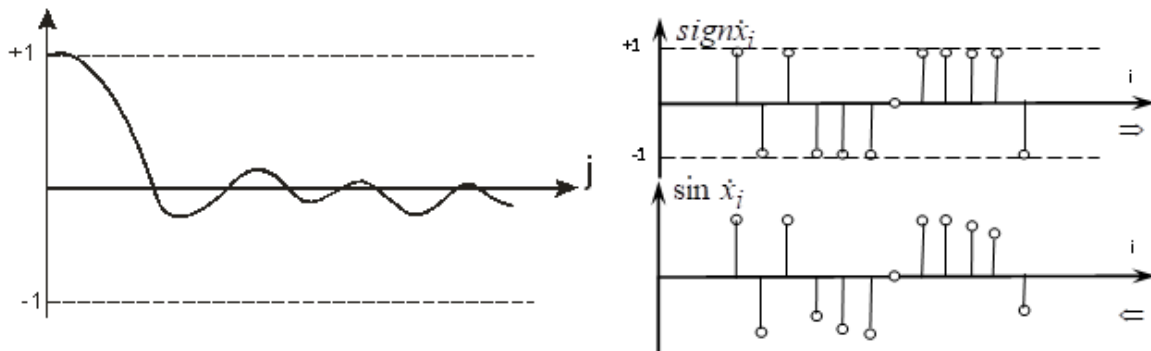


Рис. 10. Модель та асимптотика знакової функції автокореляції.

На практиці, модель реалізується за допомогою логічного процесора, який здатний працювати з високою частотою (1-100 ГГц), проте вона втрачає в точності і потребує великої вибірки $n \geq 1024$. Очевидно, що $H_{xx}(0) = 1$ і діапазон значень оцінки знаходиться в межах $-1 \leq H_{xx}(j) \leq 1$.

6.2 Релейна.

Релейна автокореляційна модель ОУ (рис. 11), яка базується на теорії інтегралів Стільтьеса, дозволяє підвищити точність оцінки і зменшити об'єм вибірки, зберігаючи

досить високу швидкодію:

$$H_{xx}(j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \dot{x}_i \cdot \text{sgn}[\dot{x}_{i+j}] \quad \text{або} \quad H_{xx}(j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \cdot \text{sgn}[\dot{x}_{i+j}].$$

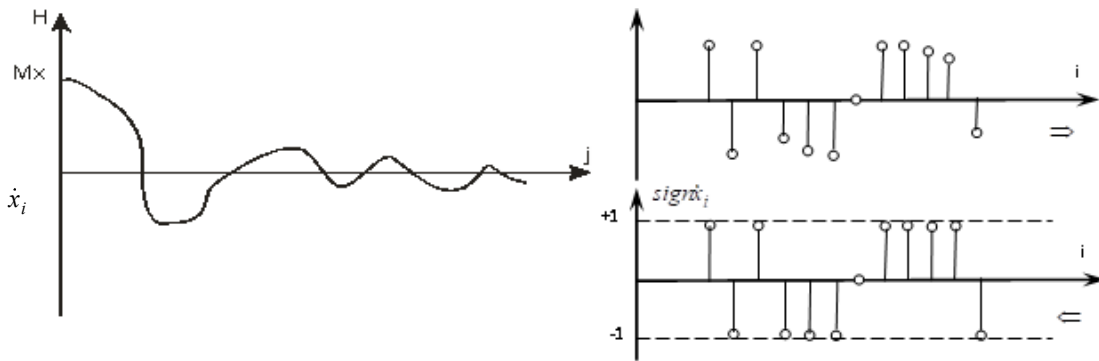


Рис. 11. Модель та асимптотика релейної функції автокореляції.

Релейна автокореляційна модель ОУ характеризується високою швидкодією обчислень, оскільки не містить операцій множення і потребує менший об'єм вибірки $n \geq 512$. Перевагою даної моделі є знаходження математичного сподівання в нульовій точці без використання додаткового алгоритму. В той же час дана модель не є нормованою і не може бути прямим чином використана для обчислення спектрів.

6.3 Кореляційна.

Високий рівень розвитку і широке впровадження мікропроцесорної техніки, великих інтегральних схем, спецпроцесорів та сучасних технологій об'єктно-орієнтованого програмування для обробки повідомлень забезпечує простоту реалізації та можливість широкого використання моделей цієї групи. В основу даного класу моделей ОУ покладено автокореляційну функцію $R_{xx}(j)$, яка розроблена в теорії мультиплікативних функцій базису Фур'є (рис. 12):

$$R_{xx}(j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \dot{x}_i \cdot \dot{x}_{i+j}.$$

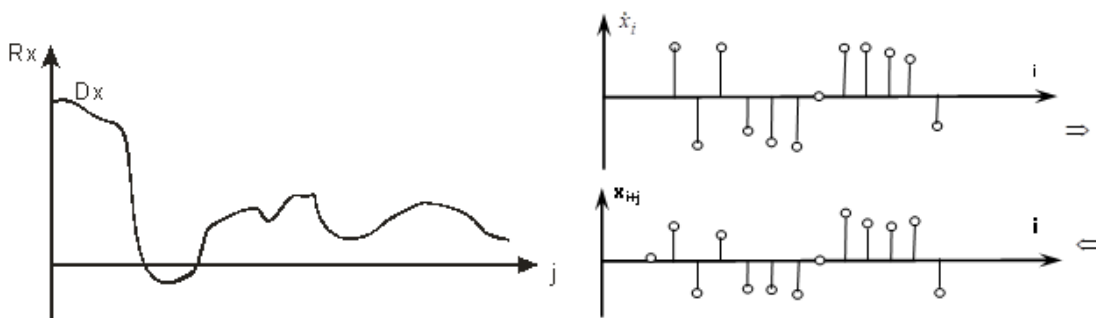


Рис. 12. Модель та асимптотика кореляційної функції.

Обчислення автокореляційної функції забезпечує достатню точність визначення статистичних зв'язків між станами ОУ при вибірці $n \geq 512, m = 64$, де m – число точок. Вона також має важливі асимптотичні властивості: значення кореляційної функції при нульовому зміщенні рівне дисперсії $R_{xx}(0) = D_x$, а для ергодичних процесів при $j \rightarrow \infty, R_{xx}(j) \rightarrow 0$. Діапазон квантування зменшується за рахунок використання центрованих значень, але це також приводить до значного ускладнення

алгоритму обчислень та затрат часу, що негативно відображається на швидкодії отримання автокореляційної моделі ОУ. На основі кореляційної функції можна побудувати ряд інших моделей такого типу.

6.4 Коваріаційна.

Автоковаріаційна модель не містить операції центрування (x_i) і дозволяє проводити оцінку статистичних зв'язків згідно аналітичного виразу:

$$K_{xx}(j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \cdot x_{i+j}.$$

Автоковаріаційна модель (рис. 13) завжди приймає позитивні значення і в нульовій точці несе інформацію про математичне сподівання M_x і дисперсію D_x :

$$K_{xx}(0) = D_x + M_x^2, \text{ і при } j \rightarrow \infty \text{ прямує до } M_x^2.$$

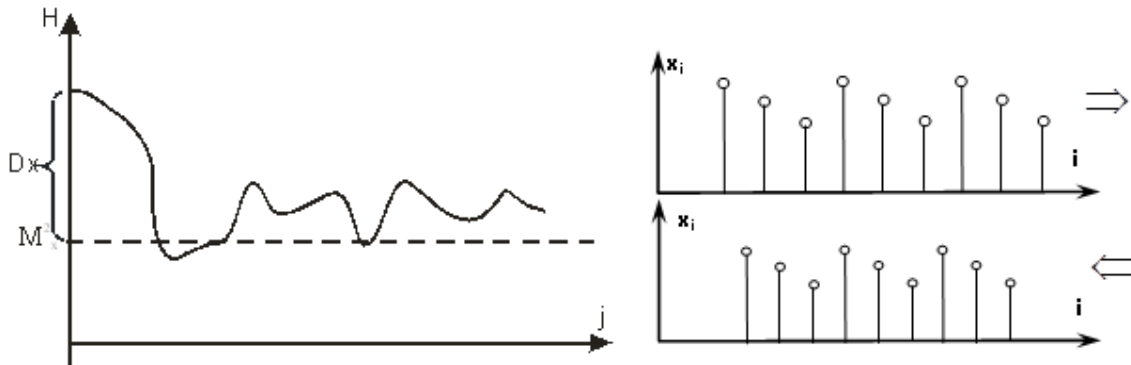


Рис. 13. Модель та асимптотика коваріаційної функції автокореляції.

6.5 Структурна.

Структурна автокореляційна модель ОУ (рис. 14), теоретичні основи якої розроблені академіком А.Н.Колмогоровим, забезпечує високу точність оцінки при великих зміщеннях j і дає можливість в асимптотичному наближенні отримати значення дисперсії $C_{xx}(j) \xrightarrow{j \rightarrow \infty} D_x$:

$$C_{xx}(j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - x_{i+j})^2.$$

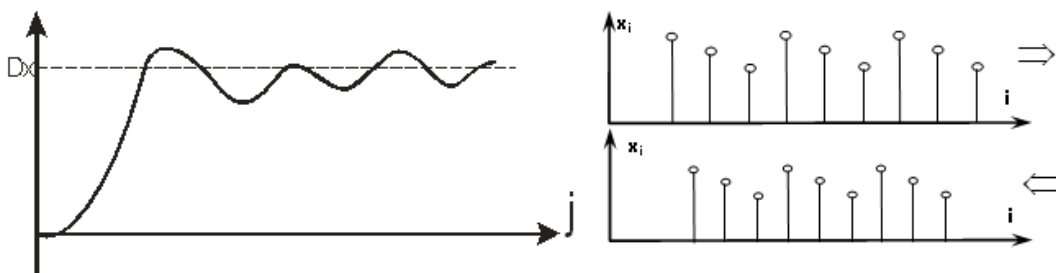


Рис. 14. Модель та асимптотика структурної функції автокореляції.

Така модель дещо незручна у використанні через отримання результатів в квадратичному просторі.

6.6 Модульна.

Модульна автокореляційна модель ОУ (рис. 15), теоретичні засади якої сформульовані академіком М.П.Тихоновим [37], має усі властивості структурної, але

дозволяє отримати результат в лінійному просторі:

$$G_{xx}(j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - x_{i+j}|.$$

Модель $G_{xx}(j)$, для марковських процесів, в асимптотиці, при $j \rightarrow \infty$, приймає значення математичного сподівання M_x і має високу швидкодію.

Структурна і модульна автокореляційні моделі дають підвищену точність оцінки внаслідок більшої інформативності елементів суми.

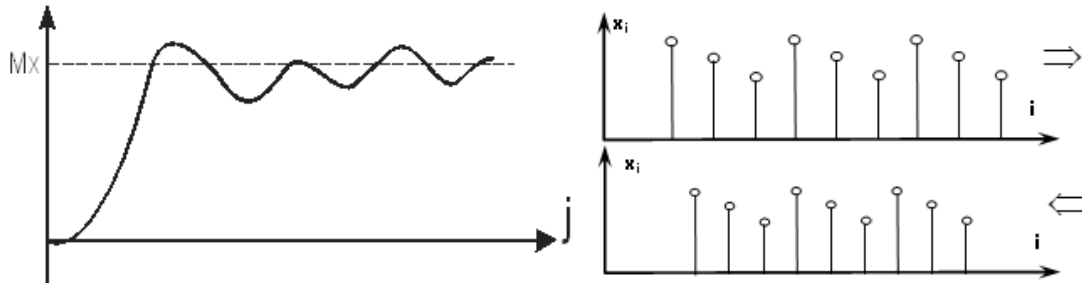


Рис. 15. Модель та асимптотика модульної функції автокореляції.

6.7 Еквівалентна.

Автокореляційна функція еквівалентності (рис. 16), теоретичні основи якої розроблені Я.М.Николайчуком, забезпечує високу ефективність в оперативній обробці інформації, за рахунок можливості реалізації її з найбільшою швидкістю серед усіх кореляційних моделей:

$$\check{F}_{xx}(j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \check{z}_i[x_i, x_{i+j}],$$

де $\check{z}_i[x_i, x_{i+j}] = \check{z}_i = \begin{cases} x_i, & \text{при } x_i \leq x_{i+j}, \\ x_{i+j}, & \text{при } x_i > x_{i+j}. \end{cases}$ – функція “менше з двох”.

Характерною властивістю моделі є те, що в нульовій точці функція еквівалентності рівна математичному сподіванню: $F_{xx}(0) = M_x$.

Модель еквівалентності можна подати в модифікованому вигляді замінивши функцію “менше з двох” \check{z} на функцію “більше з двох” \hat{z}

$$\hat{F}_{xx}(j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \hat{z}_i[x_i, x_{i+j}].$$

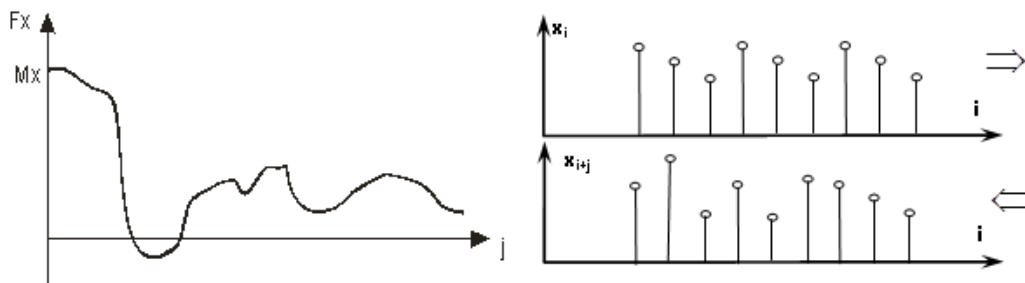


Рис. 16. Модель та асимптотика еквівалентної функції автокореляції.

















Практична робота № 5

Тема: Проектування комп'ютерно-інтегрованих систем на основі матричних моделей руху даних.

Мета: Одержання практичних навичок проектування комп'ютерно-інтегрованих систем на основі матричних моделей руху даних.

Теоретичні відомості

Стандартні позначення типів операцій граф-алгоритмічної моделі

№ п/п	Позначення	Зміст позначення	№	Позначення	Зміст позначення
1		Неавтономна пам'ять	21		Оптичний канал
2		Автономна пам'ять	22		Ввід-вивід
3		Тверда копія документа	23		Пуск-зупинка
4		Звуковий ввід/вивід	24		Ручний документ
5		Мишка	25		Оператор
6		Магнітно-оптичний диск	26		Джерело-приймач
7		Магнітна дискета	27		Злиття
8		Оптичний диск	28		Виділення
9		Магнітний диск	29		Групування
10		Архів	30		Сортування
11		Магнітна карта	31		Сторінковий з'єднувач
12		Модем	32		Міжсторінковий з'єднувач
13		Дисплей	33		Безпосередня передача
14		Процес	34		Інформаційний потік
15		Рішення	35		Дублювання передачі
16		Модифікація	36		Канал зв'язку
17		Конкретизований процес	37		Матеріальний потік
18		Ручна операція	38		Розшифрування
19		Допоміжна операція	39		Кодування
20		Ручний ввід	40		Копіювання
			41		Автономна обробка

Класифікація моделей руху даних включає наступні основні типи:

1. Матрична модель.
1. Модель граф-розгалужене дерево.
3. Часові моделі:

- 3.1 параметрична;
- 3.2 структурно-часова;
- 3.3 модель сітковий графік;
- 3.4 суміщений часовий граф.
4. Модель – алгоритм обробки інформації.
5. Граф-алгоритмічна модель.
6. Модель цикли руху даних.
7. Епюри собівартості руху даних:
 - 7.1 затрат та прибутків руху даних;
 - 7.2 диференціальна епюра циклу руху даних;
 - 7.3 сумарна диференціальна епюра циклу руху даних;
 - 7.4 інтегральна епюра циклу руху даних;
 - 7.5 сумарна інтегральна епюра циклу руху даних;
 - 7.6 глобальне математичне сподівання ефективності комп'ютерно-інтегрованої системи.

Сімейство названих моделей сформувались в процесі комплексних досліджень при плануванні розвитку автоматизованих систем, організації систем обробки даних, створення систем управління та ін.

В основі побудови матричної моделі (ММ) покладений двомірний граф (рис.1), де 01-05 – номери підрозділів, що є джерелами, центрами обробки та приймання інформації, Д1-Д6 – номери документів, які є носіями даних.

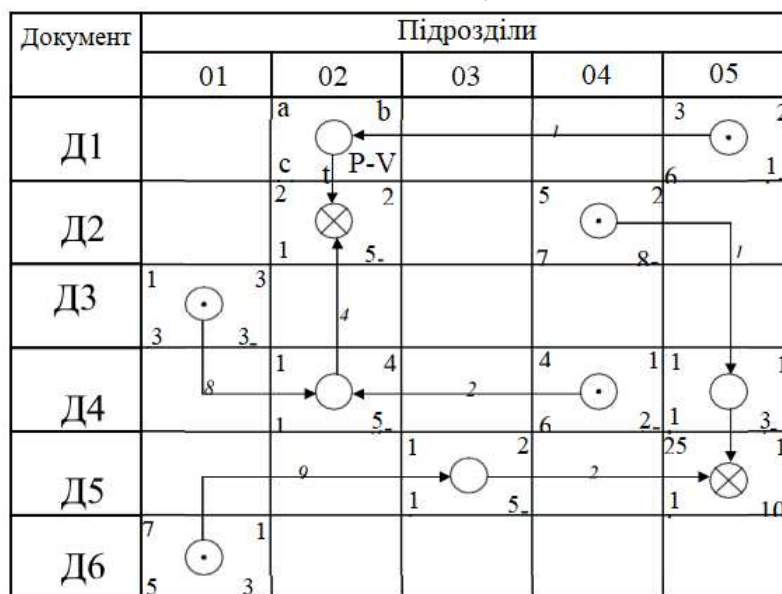


Рис.1.ММ руху даних комп'ютерно-інтегрованих мереж

На рис.1. позначено:

- a – час початку виконання (дні місяця);
- b – час виконання операції (дні);
- c – тип виконуваної операції;
- P-V – собівартість, де P – прибутки, V – витрати;
- t – час передавання документу (дні, секунди).

Мережу направлених зв'язків між джерелами інформації (ДІ), місцями обробки і приймачами даних, яка утворює маршрути документопотоїв, що передаються по каналах зв'язку системи передачі даних (СПД) або локальної обчислювальної мережі.

- 3.4. суміщений часовий граф.
- 4. Модель – алгоритм обробки інформації.
- 5. Граф – алгоритмічна модель.
- 6. Модель – цикли руху даних.
- 7. Моделі епюри собівартості руху даних
 - 7.1. Епюра затрат та прибутків руху даних.
 - 7.2. Диференціальна епюра циклу руху даних.
 - 7.3. Сумарна диференціальна епюра циклу руху даних.
 - 7.4. Інтегральна епюра циклу руху даних.
 - 7.5. Сумарна інтегральна епюра матричної моделі руху даних.
 - 7.6. Глобальне математичне сподівання ефективності комп'ютерної системи

Сімейство названих моделей сформувалось в процесі комплексних досліджень при плануванні розвитку автоматизованих систем, організації систем обробки інформації на підприємстві, створення управлінських інформаційних систем, АБД та ін.

В основі побудови матричної моделі (ММ) покладений двомірний граф, приклад якого поданий на рисунку 1.

ММ включає наступні елементи:

1. Горизонтальний ряд номерів підрозділів підприємства (01, 02,....., 05), що є джерелами, центрами обробки і приймачами інформації;
2. Вертикальний ряд номерів документів (Д1, Д2, ... , Д4), які є основними носіями або носіями даних.

Мережу направлених зв'язків між джерелами інформації (Д1), місцями обробки і приймачами даних, яка утворює маршрути документопотоків, що передаються по каналах зв'язку системи передачі даних або локальної обчислювальної мережі ПЕОМ.

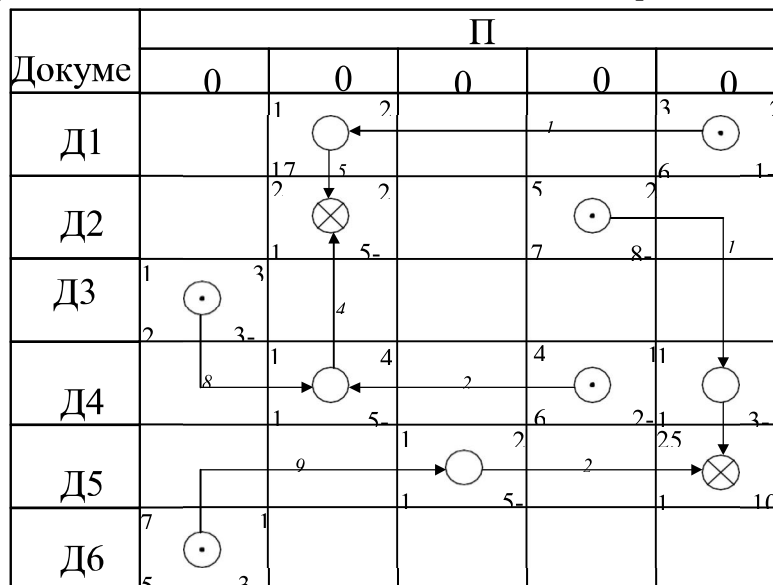





Рисунок 1. Матрична модель руху даних комп'ютерних мереж. а – час початку виконання (дні місяця); b – час виконання операції (дні); c – тип виконуючої операції; P-V – собівартість операції (P – прибутки, V - витрати); t – час передавання документу (дні, секунди).

На рисунку 1 прийняті наступні позначення інформаційних елементів матричної моделі (ММ):

-  - Джерело інформації
-  - Обробка інформації
-  - Затвердження документу

При побудові ММ повинні виконуватись умови несуперечливості моделі в наступному виді:

- джерело може мати один або кілька виходів і жодного входу;
- пункт обробки повинен мати не менше одного входу і одного виходу;
- підлеглий приймач повинен мати один або кілька входів і тільки один вихід;
- не підлеглий приймач може мати тільки один вхід і жодного виходу.

Поняття підлеглий і не підлеглий приймач визначається процедурами часткового і повного юридичного затвердження документів ММ, а також реалізацією операцій склеювання кількох ММ на різних рівнях абстракції складних ДІ.

Ієрархія ММ на підприємстві має три вложення (рисунку 2)

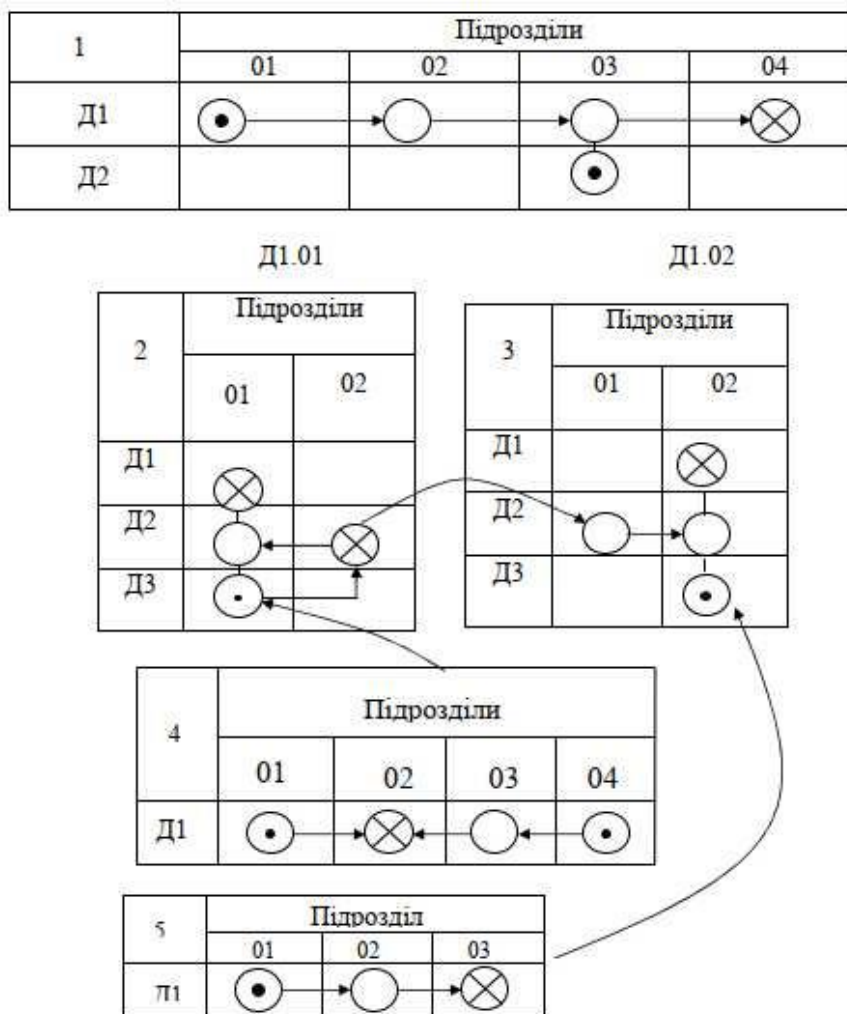


Рисунок 2. Вложення матричної моделі

На рисунку 2 позначено:

- елементи ММ низового рівня подають відповідні стаціонарні та квазістаціонарні ДІ, пункти перетворення і кодування первинних даних і приймачі, що є концентраторами даних типу групових контролерів низової мережі ПЕОМ;
- елементи ММ середнього рівня визначають пункти обробки і типи операцій в локальній мережі ПЕОМ підприємства;
- елементи ММ верхнього рівня – подають взаємодію документопотоків на підприємстві.

ММ є базою для побудови всього сімейства інформаційних моделей складних ДІ.

Кожен елемент (атрибут) ММ описується наступними формальними параметрами:

$I(N, M)$ – об'єм системних даних;

$T_i(N, M)$ – час початку виконання системних операцій; $t(N, M)$ – тривалість системної операції;

$P(N, M)$ – тип системної операції; $C(N, M; N, M)$ – тип каналу зв'язку.

Тут під системною операцією розуміється формування, передача, обробка або установлення даних, N, M – координати елемента ММ.

Об'єм даних $I(N, M)$ задається в двійкових одиницях, наприклад: біт, байт, кбіт, кбайт, Мбіт, Мбайт. Швидкість створення повідомлень на виході елемента ММ і необхідна швидкість передачі даних в каналі зв'язку визначається розрахунковим шляхом

$$R(N, M) = \frac{I(N, M)}{t(N, M)}$$

Часові параметри $T(N, M)$ і $t(N, M)$ задаються, наприклад, в секундах (с.), хвилинах (хв.), годинах (год.), добою (доб.), місяцями (міс.) або параметрах системного часу синхронної обчислювальної мережі

Параметри $P(N, M)$ і $C(N, M; N, M)$ визначаються номером таблиці типових позначень елементів АСУ згідно класифікації кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем

Побудова моделі типу «граф – розгалужене дерево» (рис.8) реалізує перетворення ММ, наявну мережеву структуру у відповідний набір ієрархічних моделей з приймачем в якості кореня. При цьому досягається можливість просторового роз'яснення необхідних структур досягнутої моделі, приставляючи всі джерела і шляхи руху даних, установлених на рівні конкретного приймача. Приклад сімейства таких моделей побудованих на базі ММ поданий на рис.4-11.

Методологічна модель типу “граф- розгалужене дерево ” будується шляхом розширення графа вліво і вниз.

Часові і інформаційні моделі складних ДІ включають типи:

- параметрична часова модель;
- структурно-часова модель;
- мережений графік руху даних;
- суміщений часовий граф системних функцій.

Параметрична часова модель структурно показує необхідний час виконання системних операцій згрупованих по ознаках джерела, обробки і приймачів інформації. Розглянута модель дозволяє оцінити і розрахувати необхідні апаратурні або людино-машинні ресурси для реалізації конкретних системних операцій в НОМ.

Структурно-часова модель також визначає групування системних операцій по елементах джерела, обробка, приймачі, з прив'язкою по горизонталі до початку виконання системних процедур і зберіганням структури руху даних, а по вертикалі – з прив'язкою до конкретних джерел і приймачів даних. Дана модель відображає часову послідовність (причинність) системних процедур і дозволяє на стадії проектування або модернізації розкрити часові неув'язки руху даних і узгодити ресурси мережі з структурою руху даних.

Модель типу "мережевий графік" (рис.11) будується по типовій методиці побудови мережевих графіків і мереж. В даній моделі з часових параметрів враховується тільки час початку виконання системної операції ($T_i(N,M)$).

Модель типу "суміщений часовий граф" показує асоціацію системних функцій складного ДІ з заданими часовими параметрами $T(N,M)$ і $f(N,M)$ без обліку структури руху даних. Розглянута модель дозволяє розрахувати поточні навантаження на обчислювальні ресурси люди-но- машинних засобів обробки даних в кожному елементі ММ або розподілення пікових навантажень всією мережею обчислювальної системи в цілому на рис.8, позначення визначає тип виконаної системної функції.

Модель "алгоритм обробки інформації" будується на основі суміщеної часової моделі у відповідності з використанням типових позначень блок-схем алгоритмів і програм. Суть побудови даної моделі методик замикається в формалізації процедур побудови оптимального несуперечного змістовного графа розгалуженого алгоритму, виконуючих в наступному порядку:

- формалізація умови задачі;
- побудова суміщеного часового графа;
- побудова логічного розгалуженого графа;
- покриття логічного графа блок-схемою;
- нумерація операторів блок-схеми.

Формалізація умови задачі замикається у відповідності до нумерації системних функцій $f_i(r)$, які в реальній процедурі описуються системою аналітичних виражень, виконуючих при заданих часових організаціях. Наприклад, для умови задачі $f_1(r)$ – багатоканальне аналого-цифрове перетворення технологічних параметрів; $f_2(t_2)$ – плавне усереднення формуючих відліків процесів; $f_4(t_4)$ – індикація параметрів; $f_3(t_3)$ – обчислювання матриці коефіцієнтів кореляції. Формалізація;

$$Y(t) = \begin{cases} f_1(t) & d \leq t < b; \\ f_2(t) & c \leq t \leq d; \\ f_3(t) & e < t. \end{cases}$$

де a, b, c, d, e – часові обмеження.

$c \leq t \leq d; e < t$. Нехай $a=1, b=2, c=4, d=6, e=5$. Тоді суміщений часовий граф (СЧГ) має вид, приведений на рис.3 – 4, де стрілки указують, що відповідні системні процедури виконуються до настання часу $t=b$ або пізніше часу $t=e$.

Змінюючи значення часових обмежень a, b, c, d, e і здійснюючи розпаралелювання операцій виконання системних процедур $f_i(t)$ одержимо відповідно різні реалізації суміщеного графа (рис.3).

Для визначення формалізованої методики побудови розгалуженого логічного графа (РЛГ) сформулюємо ряд стверджень:

1. Системними атрибутами логічного графа є 5 вершин: початок, ввід- вивід, оператор системної функції, умова і кінець;
2. Основним атрибутом розгалуженого логічного графа є умова, при чому:
 - 2.1 якщо умова виконується ЛГ розширюється вправо, в протилежному випадку – вниз;
3. якщо умова виконується, то вимагається його уточнення, граф розширюється зліва вниз;
4. Вид суміщеного часового графа одночасно визначає структуру логічного графа, при чому:
 - 4.1 якщо системні функції на СЧГ не пересікаються і не накладаються, то ЛГ розширюється вправо і вниз, а для виводу використовується одна загальна вершина;
 - 4.2 в протилежному випадку ЛГ розширюється тільки в низ, а для виводу використовується автономна вершина після кожного оператора системної функції.

Приклади побудови розгалужених ЛГ для суміщених часових моделей (рисунок) ілюструють рисунки 4 та 5.

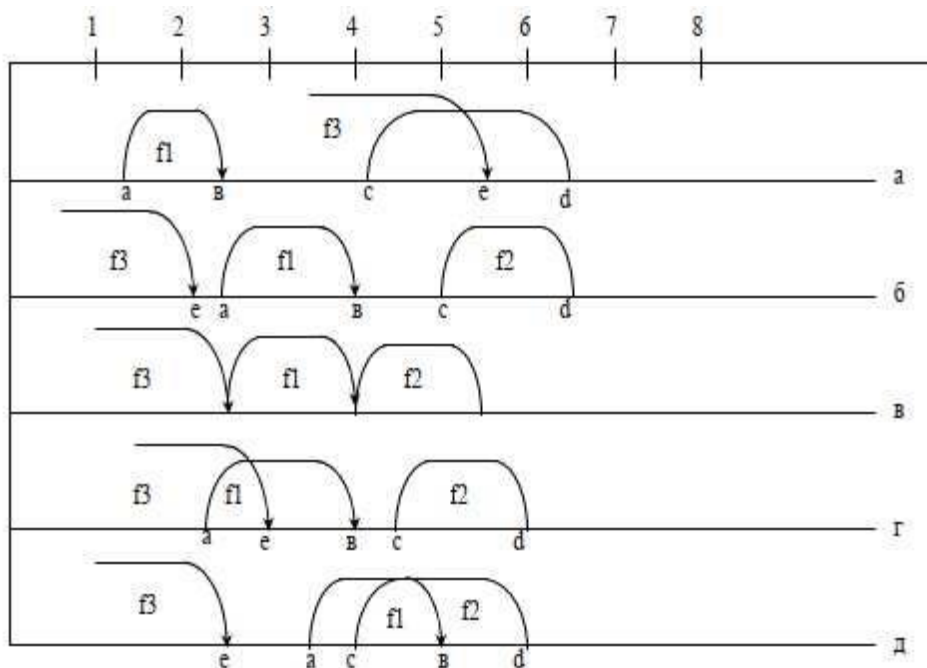


Рисунок.3 Приклади суміщених часових графів.

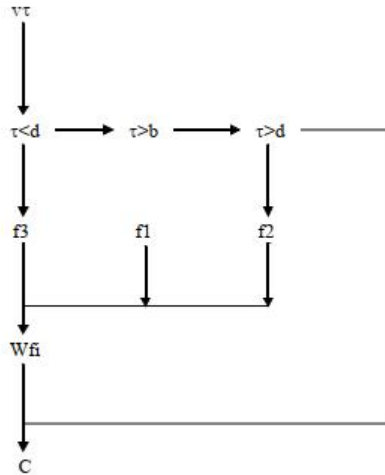


Рисунок 4 – Приклад логічного графа

Умовні позначення розгалуженого логічного графа (РЛГ):

- початок;
- ввід;
- умова;
- функція;
- вивід;
- кінець

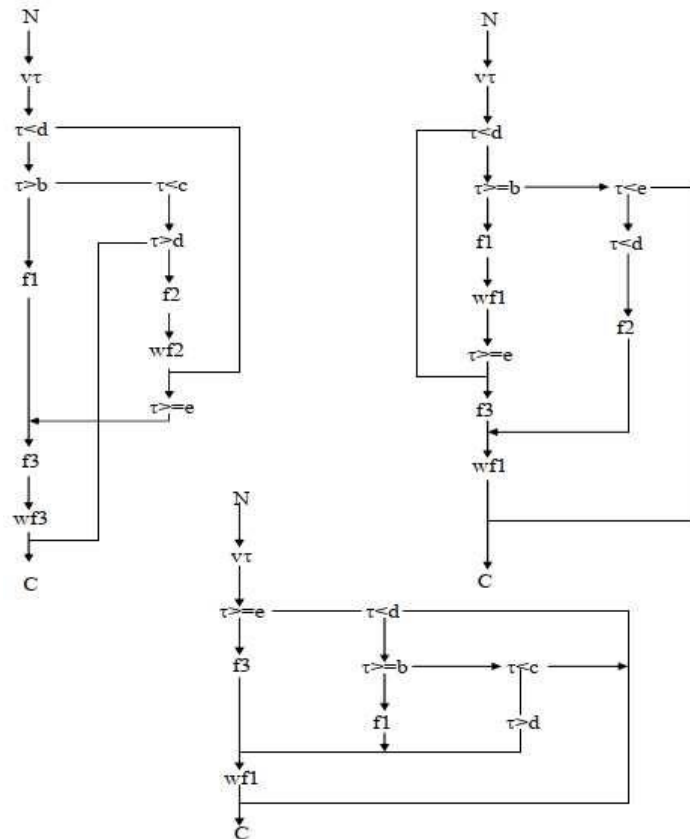


Рисунок 5. Приклади логічних графів

Приклад нумерації розгалуженого ЛГ приведений на рис.6. Там же подана нумерація операторів, яка виконується по стовпцях з ліва на право. Номери 12 і 15 подають оператори безумовного переходу, які не мають спеціального позначення на блок-схемах алгоритмів.

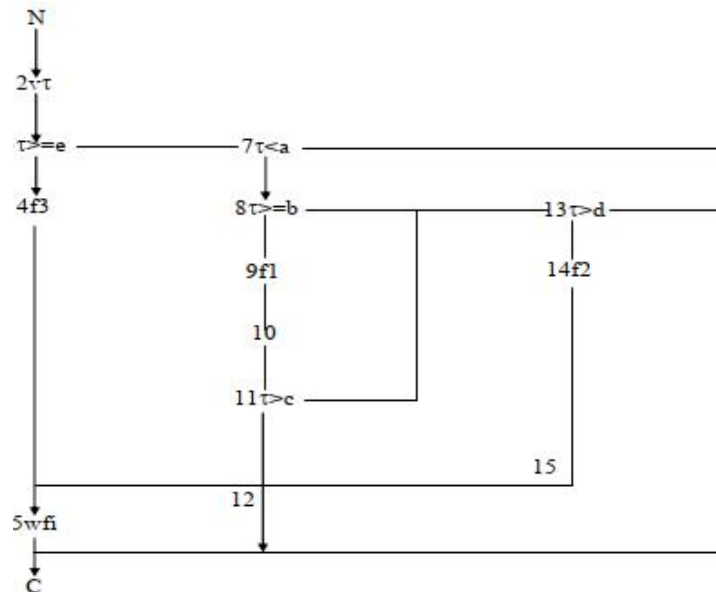


Рисунок 6. Нумерація ЛГ

Граф-алгоритмічна модель, побудована на основі параметрів ММ приведена на рис.6.

Дана модель подає структуру руху даних в вертикальному масштабі і відбиває види системних операцій, виконуючих в вузлах мережі, а також процедури злиття і витягання даних. Методика побудови заданої моделі визначається наступною формалізованою процедурою:

- 1) розміщення рядка номерів підрозділу ON;
- 2) розміщення рядка джерел у відповідних підрозділах ON;
- 3) вказання типів документів, формуючих джерелами;
- 4) вказання шляхів транспортування даних між підрозділами і типів

використовуючих каналів зв'язку;

- 5) визначення місць злиття і витягання даних;
- 6) позначення типів системних операцій, виконуючих в підрозділах;
- 7) розміщення рядка підлеглих і невідлеглих приймачів даних.
- 8) Особливістю структури граф-алгоритмічної моделі є розшарування, злиття і

розділення даних на двопотокові процедури, що необхідно реалізувати вставкою відповідних драйверів при різнотипних носіях і способах додавання даних.

Побудова моделі – **цикли руху даних** (рис.14) ґрунтується на опису всіх трафіків руху даних від джерел до пунктів затвердження та зберігання даних.

Дослідження моделі-епюри з врахуванням ефективності використання ресурсів собівартості руху даних демонструють характеристики економічної ефективності руху даних в комп'ютерних системах.

Епюра собівартості (ES) циклу руху даних будується для кожного циклу руху даних на основі часових параметрів (а, в) та параметрів собівартості (е) матричної моделі.

Диференціальна модель (ΔES) руху даних представляє собою різницевий граф прибутків та витрат для кожного циклу руху даних.

Сумарна диференціальна епюра ($\Sigma \Delta ES$) руху даних будується шляхом сумування всіх диференціальних епюр циклу руху даних.

Інтегральна епюра ($\int \Delta ES$) циклу руху даних будується на основі моделі ΔE шляхом інтегрування характеристик витрат та прибутків в кожному пункті руху даних матричної моделі.

Сумарна інтегральна епюра ($\Sigma \int \Delta ES$) циклу руху даних будується шляхом сумування інтегральних епюр.

Глобальна характеристика ефективності проектованої комп'ютерної системи розраховується на основі обчислення вибіркового математичного сподівання характеристики сумарної інтегральної економічної епюри згідно

$$G = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n \int \Delta ES}{N} = \max,$$

де n – число часових інтервалів ковзної вибірки,

N – загальне число часових інтервалів

Практична робота № 6

Тема: Проектування та формалізація структурних характеристик комп'ютерно-інтегрованих систем.

Мета: Одержання практичних навичок проектування та формалізації структурних характеристик комп'ютерно-інтегрованих систем.

Теоретичні відомості:

Логіко-статистичні інформаційні моделі діагностики станів ОУ.

Система логіко-статистичних інформаційних моделей (ЛСІМ) дозволяє охопити широкий клас задач дослідження сигналів, що формуються ОУ, первинної обробки повідомлень в реальному часі, контролю відхилень та ідентифікації станів ОУ.

В основі першої ЛСІМ лежать апробовані методи ідентифікації допустимих відхилень станів ОУ від встановленої норми по амплітуді. Така модель багатоканального ОУ описується вектором булевих змінних:

$$L1 = \{a_1, a_2, \dots, a_m\},$$

де m – загальна кількість каналів ОУ.

Якщо спостереження за ОУ ведеться протягом деякого інтервалу часу, то на цьому інтервалі формується послідовність векторів $L1_k$, які характеризують ОУ в кожен дискретний момент часу k .

Значення булевих змінних визначається за умовою:

$$a_{i_k} = \begin{cases} 0, & \text{при } x_{i_k} \in E1_i; \\ 1, & \text{при } x_{i_k} \notin E1_i, \end{cases}$$

де x_{k_i} – значення амплітуди сигналу в i -му каналі;

k – дискретний системний час;

$E1_i$ – апертура допустимих відхилень в i -му каналі.

Перша ЛСІМ має декілька модифікацій, які полягають у використанні статистичних характеристик сигналів і відповідних апертур в умові визначення координат вектора :

$$a_i = \begin{cases} 0, & \text{при } M_{x_i} \in E11_i; \\ 1, & \text{при } M_{x_i} \notin E11_i; \end{cases}$$
$$a_i = \begin{cases} 0, & \text{при } M_{j_i} \in E12_i; \\ 1, & \text{при } M_{j_i} \notin E12_i; \end{cases}$$
$$a_i = \begin{cases} 0, & \text{при } D_{x_i} \in E13_i; \\ 1, & \text{при } D_{x_i} \notin E13_i, \end{cases}$$

де в першій умові визначаючим фактором є оцінка вибіркового математичного сподівання, в другій умові – оцінка ковзного математичного сподівання, а в третій умові – оцінка дисперсії.

Перевагами наведених модифікацій є нечутливість до окремих випадкових відхилень станів ОУ (відсутність гіперчутливості), інтегральна чутливість моделі і зменшення об'єму даних.

На рис. 1 наведено приклад, який відображає принцип формування булевих змінних в першій ЛСІМ та її модифікаціях для одного каналу ОУ.

Контроль динамічних параметрів об'єкту можна здійснювати за допомогою

другої ЛСІМ. В її основу покладено визначення параметрів функції автокореляції, які відображають динамічні властивості сигналів. Друга ЛСІМ також описується вектором булевих змінних:

$$L2 = \{b_1, b_2, \dots, b_m\};$$

$$b_i = \begin{cases} 0, & \text{при } R_{x_i x_i}(j_0) < E2_i; \\ 1, & \text{при } R_{x_i x_i}(j_0) \geq E2_i, \end{cases}$$

де $R_{x_i x_i}(j_0)$ – значення функції автокореляції при часовому зсуві j_0 ;

$E2_i$ – апертура амплітуди автокореляційної функції.

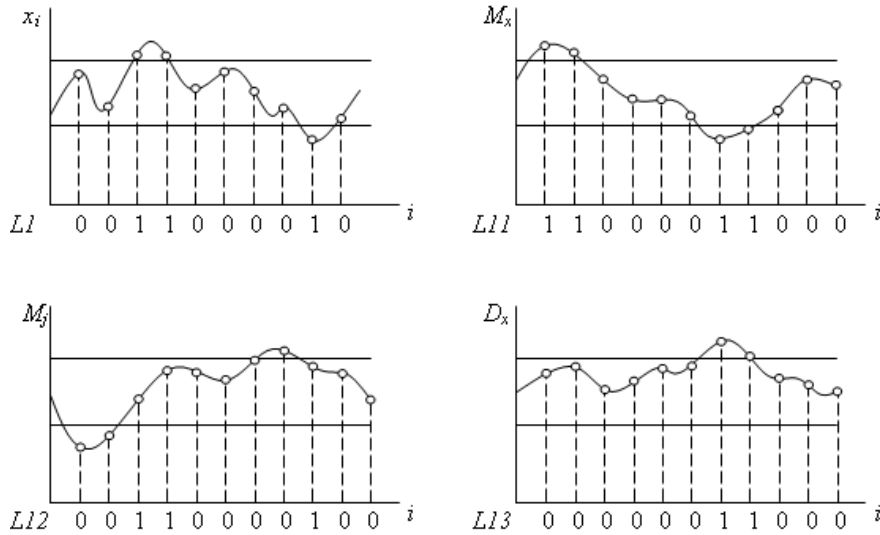


Рис. 1. Формування значень вектора першої ЛСІМ та її модифікацій.

Формування координат логічного вектора $L2$ може проводитись з використанням інших автокореляційних оцінок: $K_{xx}(j)$, $C_{xx}(j)$, $G_{xx}(j)$, $F_{xx}(j)$ в ролі функцій, що характеризують динамічні властивості станів ОУ. При цьому необхідно вибирати відповідні значення j_0 і $E2$.

На рис.2 наведено приклад формування значень другої ЛСІМ одноканального ОУ при зміні динаміки станів ОУ.

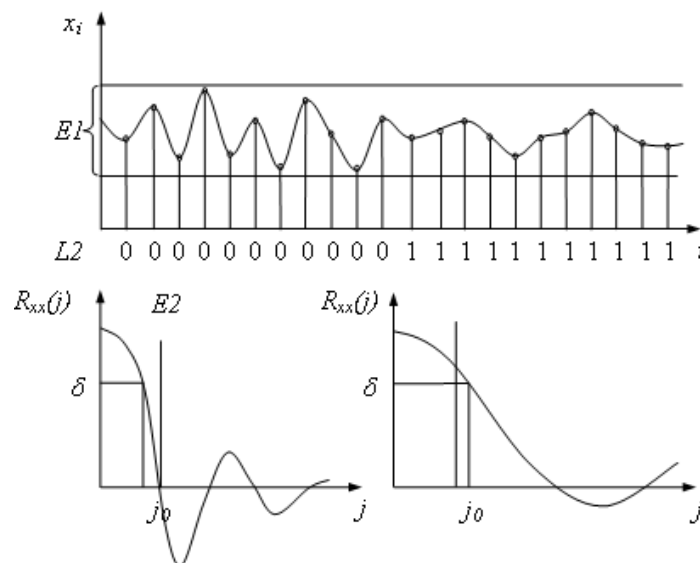


Рис. 2. Формування значень другої ЛСІМ.

Другу ЛСІМ можна модифікувати, що дозволить розширити її функціональні можливості контролю динаміки сигналу. Модифікація полягає в тому, що аналіз кореляційних оцінок проводиться не при одному значенні j_0 , а на деякому інтервалі (j_1, j_2) (рис.3).

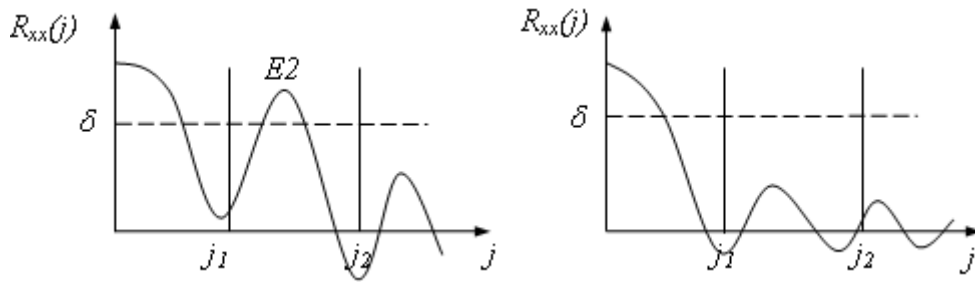


Рис.3. Приклади встановлення інтервальних апертур в другій ЛСІМ

В основі третьої ЛСІМ лежить процедура визначення коефіцієнтів взаємкореляції між двома контрольованими характеристиками станів ОУ. Тобто третя ЛСІМ реагує на фазові зміни двох характеристик ОУ. Як і попередні моделі, третя ЛСІМ описується вектором булевих змінних

$$L3 = \{c_1, c_2, \dots, c_m\},$$

але координати c_i визначаються за іншою умовою:

$$c_i = \begin{cases} 0, & \text{іде } \rho_{x_i e_i}(j) < E3_i; \\ 1, & \text{іде } \rho_{x_i e_i}(j) \geq E3_i, \end{cases}$$

де $\rho_{x_i e_i}(j)$ – нормований коефіцієнт взаємкореляції між i -им станом ОУ x_i та відповідним еталоном стану e_i .

Суть третьої ЛСІМ полягає в ідентифікації фазових відхилень контрольованого стану ОУ від норми (рис.4).

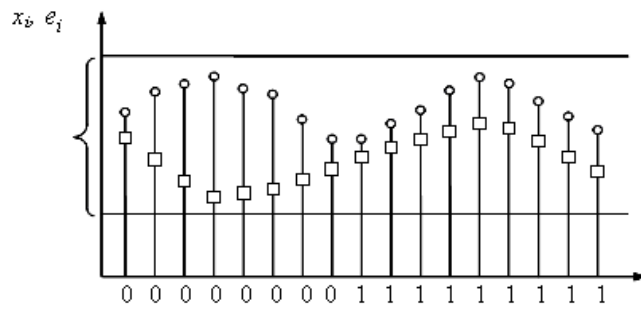


Рис.4. Формування булевих змінних у векторі третьої ЛСІМ.

В основу четвертої ЛСІМ покладено спектральний аналіз ІП, які описують стани ОУ. Задається або визначається множина $E4$ гармонік з частотами $\omega_1, \omega_2, \dots$, які повинні бути присутніми в ІП при нормальному стані ОУ. Провівши спектральний аналіз контрольованого ІП визначається множина гармонік A , на які розкладається досліджуваний ІП в заданому базисі (рис.5). В результаті формується логічний вектор четвертої ЛСІМ багатоканального ОУ, координати якого реагують на зміну спектрального складу ІП у відповідному каналі.

Модель глобальної дисперсії дозволяє здійснити системну оцінку багатоканального ОУ, коли аналітичні співвідношення між даними в каналах не

існують або складно знаходяться і мають громіздкий вигляд.

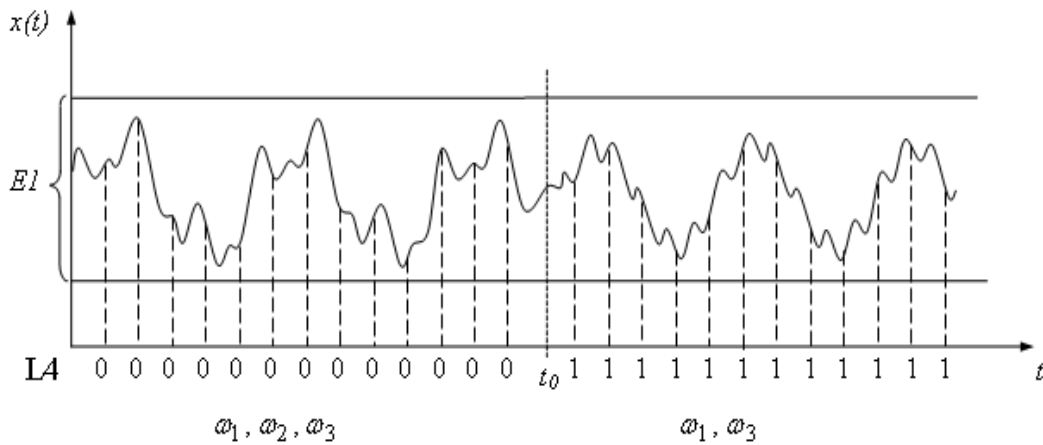


Рис.5. Формування логічних значень четвертої ЛСІМ при зміні спектрального складу інформаційного потоку ОУ.

Модель побудована на основі матриці коефіцієнтів взаємкореляції між ПІ в каналах ОУ. Кореляційна матриця для m -канального джерела $\|r_{ij}\|$ має розмірність $m \times m$ і симетрична відносно головної діагоналі, оскільки

$$r_{ij} = \begin{cases} r_{ji}, & \text{при } i \neq j, \\ 1, & \text{при } i = j; \end{cases}$$

де $i = \overline{1, m}$, $j = \overline{1, m}$.

Тому інформативними є елементи матриці, розміщені під/над головною діагоналлю. Якщо цим елементам присвоїти порядкові номери, то отримаємо вибірку коефіцієнтів взаємкореляції об'ємом $N = \frac{m}{2} \cdot (m - 1)$ (рис.6).

На основі відомого виразу знайдемо для даної вибірки глобальну дисперсію:

$$D_G = \frac{1}{N} \sum_{s=1}^N r_s^2.$$

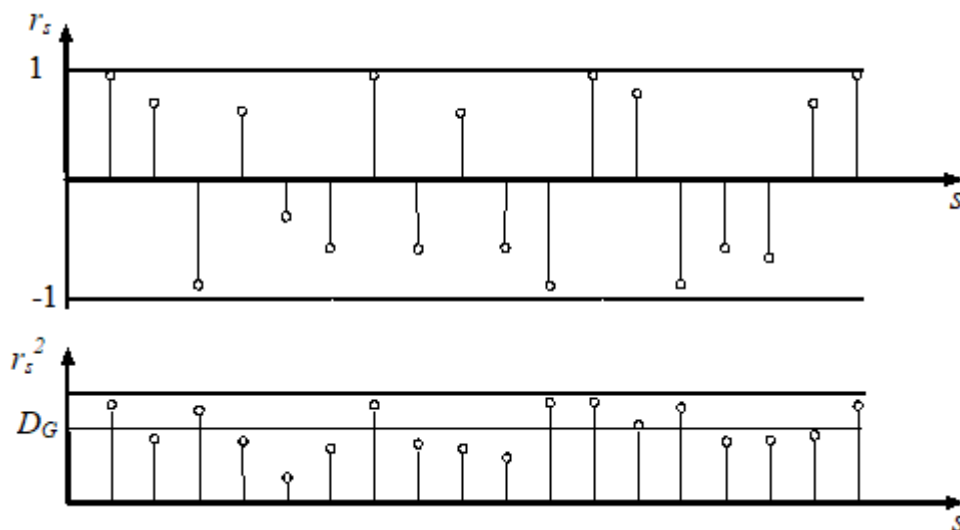


Рис.6. Решітчаті функції інформативних коефіцієнтів взаємкореляції та розраховане на їх основі значення глобальної дисперсії.

Отримана таким шляхом оцінка дисперсії називається глобальною (рис.6), завдяки тому, що характеризує загальний стан ОУ, з врахуванням статистичних взаємозв'язків між даними в різних каналах без аналізу даних в окремих каналах.

Врахування різної семантичної значимості переходів між станами об'єкта управління при побудові глобальної дисперсії дозволяє більш повно охарактеризувати стан ОУ, і ефективність використання глобальної дисперсії значно зростає, особливо на об'єктах з великою різницею ваги переходів. Семантичну глобальну дисперсію можна описати наступною функцією:

$$D_S = \frac{1}{N} \sum_{s=1}^N p_s \cdot r_s^2,$$

де $0 \leq p_s \leq 1$ – вагова функція.

Введення вагової функції p_s приводить до підвищення інформативності та динаміки глобальної дисперсії, що свідчить про більшу чутливість моделі.

Визначаючи кореляційну матрицю для багатоканального ОУ в дискретні моменти часу на інтервалі спостереження T , можна побудувати решітчасту функцію глобальної дисперсії D_G або D_S на цьому інтервалі (рис.7).

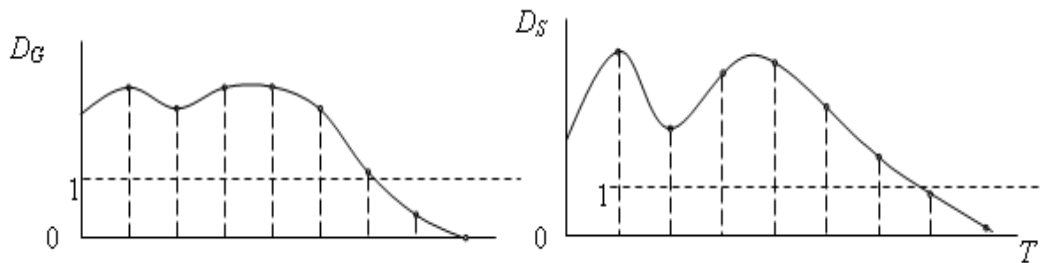


Рис.7. Графік зміни глобальної дисперсії.

Значення оцінок D_G і D_S , як видно з (1) і (2), відображають середньостатистичні значення кореляційних зв'язків між сигналами в каналах ОУ в квадратичному просторі. При зменшенні статистичної залежності між ІІ в каналах ОУ, відповідно зменшуються коефіцієнти r_{ij} . Загальна тенденція зменшення коефіцієнтів r_{ij} призводить до зменшення D_G (D_S), що свідчить про руйнування взаємозв'язків в середині системи. В граничному випадку, коли $\forall i \neq j r_{ij} = 0$, то $D_G = 0$ ($D_S = 0$) і можна зробити висновок про руйнування всіх зв'язків, деградацію і повний інформаційний розвал системи.

Запропоновані методики побудови кластерних моделей та глобальної дисперсії багатоканальних ОУ є важливим інструментом для системного контролю станів складних багатоканальних об'єктів управління і можуть знайти широке застосування в автоматизованих системах управління об'єктів нафтогазової, енергетичної, атомної та інших галузей промисловості.

Практична робота № 7

Тема: Проектування багаторівневих комп'ютерно-інтегрованих систем.

Мета: одержання практичних навичок проектування багаторівневих комп'ютерно-інтегрованих систем.

Теоретичні відомості

У світовій практиці архітектура дистрибутивних розподілених систем реального часу, які призначені для контролю та управління технологічними об'єктами на промислових підприємствах переважно має три вложення. Тобто такий клас систем належить до розширених мереж Петрі, в яких реалізований принцип агрегації (наявність підсистем) (рис.1).

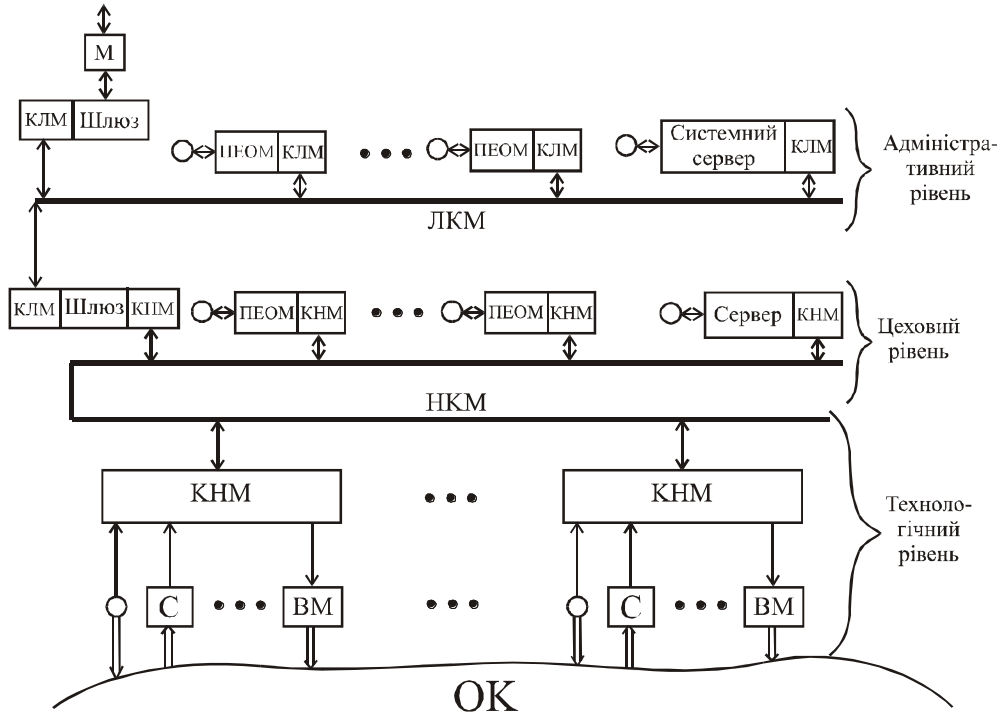
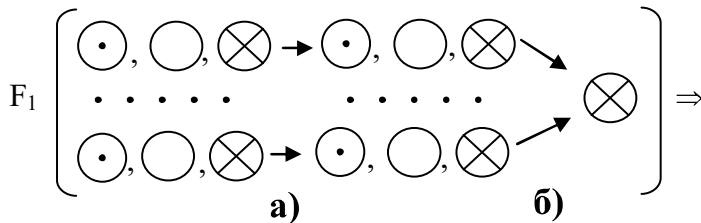
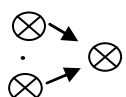


Рис. 1. Трирівнева магістральна архітектура СКС: ОК – об'єкт керування; С – сенсор; ВМ – виконавчий механізм; КНМ – контролер низової мережі; М – модем; О – оператор; КЛМ – контролер локальної мережі; НКМ – низова комп'ютерна мережа; ЛКМ – локальна комп'ютерна мережа.

В узагальненій архітектурі руху даних багаторівневої РКС



атрибути багаторівневої структури а) $\otimes \rightarrow \odot$ - символізує інформаційний зв'язок між приймачами та джерелами різних рівнів архітектури РКС, тобто приймач даних більш низького рівня є джерелом даних для джерела більш високого рівня КС, а атрибут б)



- демонструє об'єднання потоків даних залежних приймачів на входах незалежного приймача. При чому ці атрибути можуть реалізовуватися на одному або на різних рівнях РКС.

Реалізація такої архітектури руху даних в багаторівневих РКС потребує відповідної диференціації активних елементів МРД.

Вдосконалення функціоналу F2 методу формування даних в багаторівневих РКС полягає в сумісному кодуванні технологічних даних $X(t)$ та ТЕД $X(t) + ТЕД$ на основі використання теоретичних положень базису Крестенсона, що дозволяє перетворити багатоканальну систему контролю технологічних даних та потік даних ТЕД в одноканальний біт-орієнтований потік СД, в якому одночасно реалізується захист від помилок шляхом введення додаткового модуля. При цьому, як видно з рис.2 дана МРД, яка відображає структуру руху даних в трирівневій розподіленій комп'ютеризованій системі (рис.1) належить до класу ієрархічно-мережевих архітектур, тобто дозволяє організацію інформаційних зв'язків не тільки між підсистемами різних рівнів, але й підсистемами одного рівня типу 5.Д1О3-4.Д1О3 та 2.Д1О2-3.Д1О1.

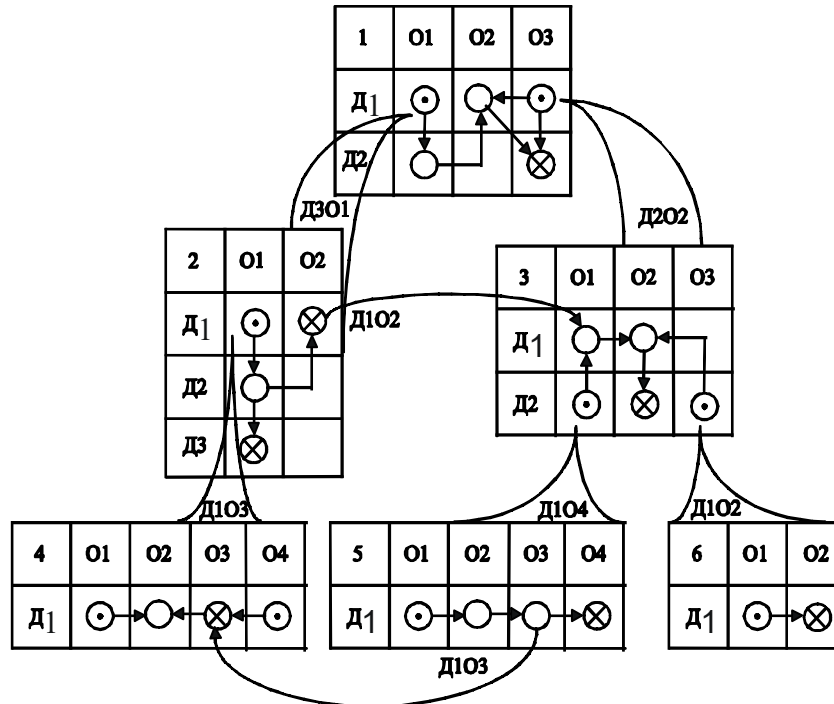


Рис.2. Трирівнева (агрегативна) МРД.

Крім того, як видно з рис.2, вказані інформаційні зв'язки на відповідних рівнях комп'ютерної системи можуть організуватися між залежними приймачами інформації та пунктами обробки даних, а інформаційні зв'язки різних рівнів організуються між залежними приймачами та джерелами інформації відповідних вищих рівнів. Наприклад: 4.Д1О3-2.Д1О1; 5.Д1О4-3.Д2О1; 6.Д1О2-3.Д2О3; 2.Д3О1-1.Д1О1 та 3.Д2О2-1.Д1О3.

Підписано до друку 16.11.2023 р.
Формат 60x84/16. Папір офсетний.
Друк офсетний. Зам. № 23-229
Умов.-друк. арк. 1,9. Обл.-вид. арк. 2,1.
Тираж 30 прим.

Віддруковано ФО-П Шпак В. Б.
Свідоцтво про державну реєстрацію В02 № 924434 від 11.12.2006 р.
м. Тернопіль, бульвар Просвіти, 6/4. тел. 097 299 38 99.
E-mail: tooums@ukr.net

*Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до державного
реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів видавничої продукції
ДК № 7599 від 10.02.2022 р.*