

Дисципліна:
Математичне моделювання інформаційних систем
Модулі 1,2:
Моделі дискретних систем,
Моделювання телекомунікаційних систем у CPN Tools
для студентів

Д.А.Зайцев

Мережі Петрі і моделювання систем

*Методичні вказівки до практичних занять і лабораторних робіт
для підготовки магістрів з напрямку «Телекомунікації»*

Схвалено
на засіданні кафедри
«Мережі зв'язку»
Протокол № 4 від
10.11.2006 р.

Рецензент – к.ф.-м.н., доцент І.В. Стрілковська

Укладач – к.т.н., доцент Д.А.Зайцев

Представлено завдання до практичних занять по вивченню основ теорії мереж Петрі, лабораторні роботи з практичного освоєння методів аналізу і синтезу мереж Петрі за допомогою комп'ютерних моделюючих систем Pndpi, Tina, Design/CPN, а також лабораторні роботи з проектування телекомунікаційних мереж і керуючих систем на основі методів теорії мереж Петрі.

Затверджено
Радою факультету
Інформаційних мереж
Протокол № 5 від
16.11.2006 р.

Структура залікових модулів

№	Зміст знань	Навчальних годин			
		лекцій	практичних	самостійн.	залік/ісп.
1.	Моделі дискретних систем <i>Змістові модулі:</i>	44	22	50/10	залік
	1.1. Кінцеві автомати	6	4	10/12	
	1.2. Мережі Петрі	28	12	30/6	
	1.3. Машини Тюрінга	10	6	10/2	
2.	Моделювання телекомунікаційних систем у CPN Tools <i>Змістові модулі:</i>	22	12	48/8	іспит
	2.1. Основи моделювання у CPN Tools	12	6	26/4	
	2.2. Аналіз характеристик мереж у CPN Tools	10	6	22/4	

Зміст змістових модулів

1.1. Кінцеві автомати.

Побудова автоматів. Форми подання автоматів. Автомати Мілі та автомати Мура. Мінімізація автоматів.

1.2. Мережі Петрі.

Елементи мережі Петрі. Правила спрацьовування переходів. Побудова моделей систем. Форми подання мереж Петрі. Граф досяжних маркувань. Властивості мереж Петрі. Дослідження властивостей за допомогою дерева покриваючих маркувань. Фундаментальне рівняння та інваріанти. Редукція та декомпозиція сіток Петрі. Підкласи та розширення сіток Петрі.

1.3. Машини Тюрінга.

Інтуїтивне поняття алгоритму та необхідність його формалізації. Елементи машини Тюрінга. Побудова машин Тюрінга. Теза Чьорча. Універсальна машина Тюрінга. Алгоритмічна нерозв'язність проблеми самозастосовності. Метод зведення для доведення алгоритмічної нерозв'язності. Елементи теорії складності алгоритмів.

2.1. Основи моделювання у CPN Tools:

Призначення та функції CPN Tools. Організація інтерфейсу CPN Tools. Інструменти CPN Tools. Мова CPN ML. Атрибути елементів графу Петрі. Імітація динаміки мережі Петрі.

2.2. Аналіз характеристик мереж у CPN Tools.

Представлення часових характеристик моделі. Робота з фрагментами мереж. Побудова ієрархічних моделей. Методи аналізу моделей: побудова простору станів, імітація, вимірюючі фрагменти. Побудова та аналіз моделей телекомунікаційних мереж.

Теми практичних занять

№	Тема	Годин
1	Побудова кінцевих автоматів	2
2	Мінімізація кінцевих автоматів	2
3	Побудова моделей Петрі простих об'єктів	1
4	Аналіз властивостей мереж за допомогою дерева покриваючих маркувань	2
5	Аналіз властивостей мереж за допомогою фундаментального рівняння та інваріантів	2
6	Аналіз властивостей мереж за допомогою редукції	2
7	Побудова породжуючого сімейства функціональних підмереж	2
8	Побудова машин Тюринга	2
9	Доказ алгоритмічної нерозв'язності проблем	2

Теми лабораторних робіт

№	Тема	Годин
1	Імітація динаміки мереж Петрі	1
2	Дослідження обмеженості і безпеки мережних моделей	2
3	Пошук тупиків у моделюємих системах	2
4	Побудова і дослідження моделей локальних мереж	4
5	Побудова і дослідження моделей мережних протоколів	4
6	Побудова і дослідження моделей систем автоматичного керування	4

Література до вивчення модулів

1. Математичні основи теорії телекомунікаційних систем: Підручник / За заг. ред. В.В. Поповського. – Харків, ТОВ «Компанія СМІТ», 2006. – 564 с.

Модуль 1.2 – розділ 14.1.

Модуль 1.3 – розділ 14.2.

Модуль 1.4 – розділ 14.3.

2. Зайцев Д.А. Математичні моделі дискретних систем: Навчальний посібник / Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2004. – 40 с.

Модуль 1.2 – розділ 1.

Модуль 1.3 – розділ 2.

Модуль 1.4 – розділ 3.

2. Zaitsev D.A., Shmeleva T.R. Simulating Telecommunication Systems with CPN Tools: Students' book / Odessa: ONAT, 2006. – 60 p.

Модуль 2.1 – розділи 1-6.

Модуль 2.2 – розділи 7-12, додатки.

Зміст

Вступ.....	
Практичне заняття 1. Побудова моделей простих об'єктів.....	
Лабораторна робота 1. Імітація динаміки мереж Петрі.....	
Практичне заняття 2.	
Аналіз властивостей мереж за допомогою дерева покриваючих маркувань.....	
Лабораторна робота 2. Дослідження обмеженості і безпеки мережних моделей..	
Практичне заняття 3. Аналіз властивостей мереж за допомогою фундаментального рівняння та інваріантів.....	
Лабораторна робота 3. Пошук тупиків у моделюємих системах.....	
Практичне заняття 4. Аналіз властивостей мереж за допомогою редукції.....	
Практичне заняття 5.	
Побудова породжуючого сімейства функціональних підмереж.....	
Лабораторна робота 4. Побудова і дослідження моделей локальних мереж.....	
Лабораторна робота 5. Побудова і дослідження моделей мережних протоколів.	
Лабораторна робота 6.	
Побудова і дослідження моделей систем автоматичного керування.....	
Додаток 1. Набір мереж Петрі для дослідження.....	
Додаток 2. Індивідуальні завдання до побудови моделей систем.....	
Додаток 3. Короткий опис використовуваних моделюючих систем.....	
П.3.1. Моделююча система rndpi.....	
П.3.2. Моделююча система Tina.....	
П.3.3. Моделююча система Design/CPN.....	
Список рекомендованої літератури.....	



Вступ

Мережа Петрі – це графічний і математичний засіб моделювання систем і процесів. Як правило, мережами Петрі моделюють паралельні (синхронні та асинхронні) системи і процеси. Спочатку запропоновані в докторській дисертації Карла Петрі в 1962 році вони одержали подальший розвиток у роботах таких вчених як Тадао Мурата, Курт Йенсен, Віталій Котов, Анатолій Слепцов. В останні часи проводиться щорічна конференція «Застосування і теорія мереж Петрі», видається в Боні інформаційний бюлетень «Новини мереж Петрі» (Petri Net Newsletter), відомо декілька сот моделюючих систем для різних програмно-апаратних платформ, існують реалізації процесорів мереж Петрі. Галузі застосування мереж Петрі включають дослідження телекомунікаційних мереж, мережних протоколів, обчислювальних систем і обчислювальних процесів, виробничих і організаційних систем.

У даних методичних вказівках представлені завдання до практичних та лабораторних робіт по вивченню теорії та застосувань мереж Петрі з дисципліни «Математичне моделювання інформаційних систем» для підготовки магістрів у галузі зв'язку. Основна теоретична інформація викладена у методичному посібнику [1] та підручнику [2] (глава 14).

Практичне заняття 1

Побудова моделей простих об'єктів

Мета заняття.

Вивчити основні елементи мереж Петрі, правила функціонування мережі, оволодіти методикою побудови моделей паралельних процесів і систем.

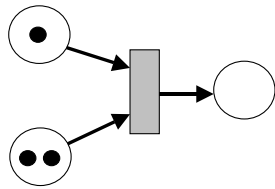
Підготовка.

Для виконання роботи необхідно знати основні елементи мереж Петрі: позиція, перехід, дуга, фішка, а також правила спрацьовування переходів мережі; представлення послідовних, конвеєрних, альтернативних, паралельних процесів, споживаних, відновлювальних і частково-відновлювальних ресурсів, динаміку мережі з кратними дугами.

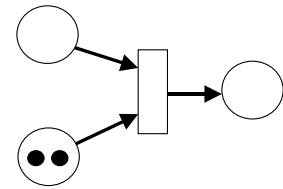
Задача 1.

Вивчити правила спрацьовування переходів мережі: для заданої мережі Петрі (фрагмента мережі) вказати збуджені переходи і маркування, отримані в результаті спрацьовування різних переходів.

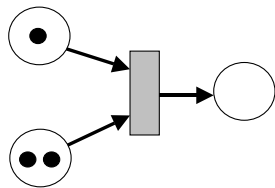
Приклад



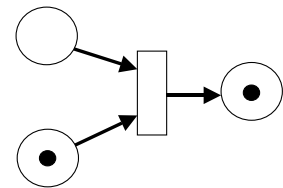
Перехід дозволений



Перехід не дозволений



Після спрацьовування

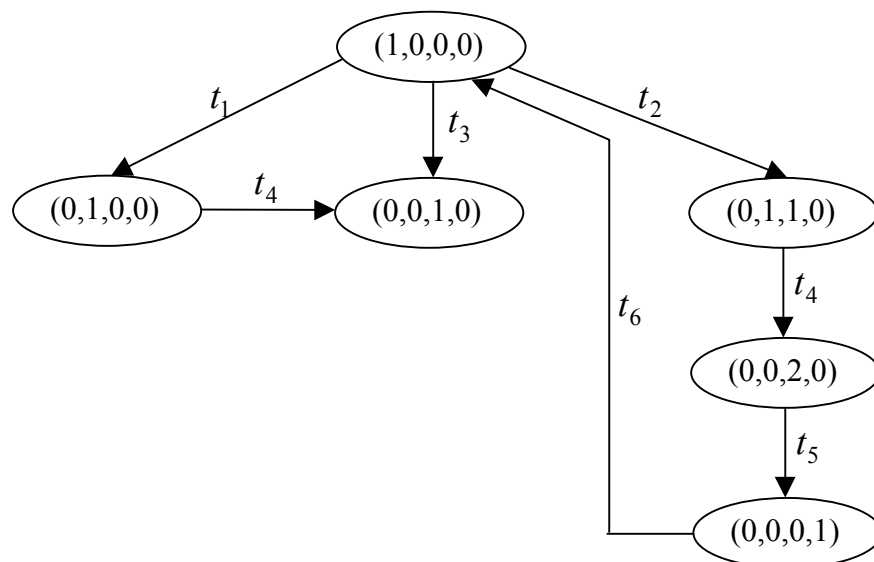


Задача 2.

Побудувати граф досяжних маркувань заданої мережі Петрі.

Приклад.

Мережа 28, додаток 1.

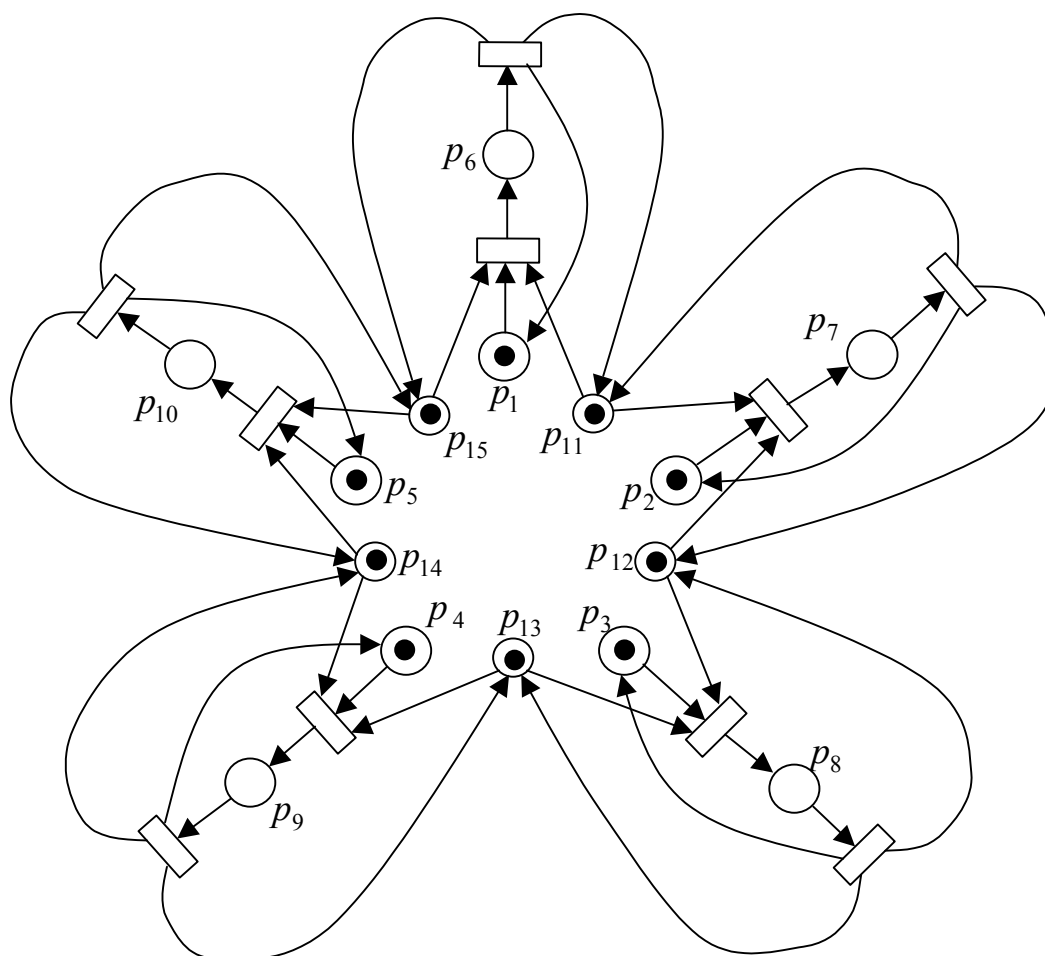


Задача 3.

Побудувати модель зазначеного об'єкта.

Приклад.

Задача про філософів, що обідають (додаток 2, задача 1).



У побудованій мережі позиції $p_1 - p_5$ моделюють філософів, що міркують, позиції $p_6 - p_{10}$ - філософів, що обідають, а позиції $p_{11} - p_{15}$ відповідають виделкам.

Варіанти завдань

Додатки 1, 2.

Контрольні питання

1. Перелічіть основні елементи мережі Петрі.
2. Вкажіть основні області застосування мереж Петрі.
3. Сформулюйте умову збудження переходу мережі Петрі.
4. У чому полягає спрацьовування переходу мережі Петрі?
5. Опишіть коротко процес функціонування мережі Петрі.
6. Вкажіть способи наочного представлення динаміки мережі Петрі.
7. Що являє собою графа досяжних маркувань мережі Петрі?
8. Які мережі Петрі називають ординарними?

Лабораторна робота 1

Імітація динаміки мереж Петрі

Мета роботи.

Вивчити технологію графічного введення і редагування мереж Петрі в середовищі комп'ютерної моделюючої системи, освоїти найпростіший спосіб дослідження моделей за допомогою імітації їхньої динаміки в покроковому й автоматичному режимах.

Підготовка.

Для виконання роботи необхідно знати основні елементи мереж Петрі, представлення різних процесів і ресурсних відносин, можливості комп'ютерної моделюючої системи по введенню і редагуванню мереж і імітації їхньої динаміки.

Порядок виконання роботи

1. Запустити моделюючу систему.
2. По черзі завантажити стандартні мережі phil1, phil2, phil3.
3. Запускати збуджені переходи мережі, спостерігаючи результат їхнього спрацьовування.
4. Запустити мережу в автоматичному режимі.
5. Ввести і досліджувати раніше вивчені мережі (за завданням викладача).
6. Побудувати мережну модель зазначеного об'єкта.
7. Ввести і досліджувати мережну модель за допомогою імітації її динаміки.

Вказівки до виконання роботи

Використовувати моделюючі системи rndpi, Tina (Додатки 3.1, 3.2). Спочатку завантажити зазначені мережі, що входять у комплект моделюючої системи. Імітувати динаміку мереж у покроковому режимі, вивчаючи правила збудження і спрацьовування переходів.

При введенні мереж забезпечити наочне розміщення елементів. При дослідженні мереж за допомогою імітації динаміки звернути увагу чи всі переходи можуть бути запущені, чи спостерігається необмежене нагромадження маркерів у позиціях, чи є послідовності запусків переходів, які можна повторити.

Варіанти завдань

Додатки 1,2.

Контрольні питання

1. Сформулюйте умову збудження переходу мережі Петрі.
2. У чому полягає спрацьовування переходу мережі Петрі?
3. Опишіть коротко процес функціонування мережі Петрі.
4. Вкажіть способи наочного представлення динаміки мережі Петрі.

5. Що являє собою граф досяжних маркувань мережі Петрі?
6. Перелічіть основні функції моделюючої системи.
7. Які режими імітації динаміки мережі забезпечує моделююча система?

Практичне заняття 2

Аналіз властивостей мереж за допомогою дерева покриваючих маркувань

Мета заняття.

Освоїти алгоритм побудови дерева покриваючих маркувань для заданої мережі Петрі, а також методику дослідження основних властивостей мереж за допомогою дерева покриваючих маркувань.

Підготовка.

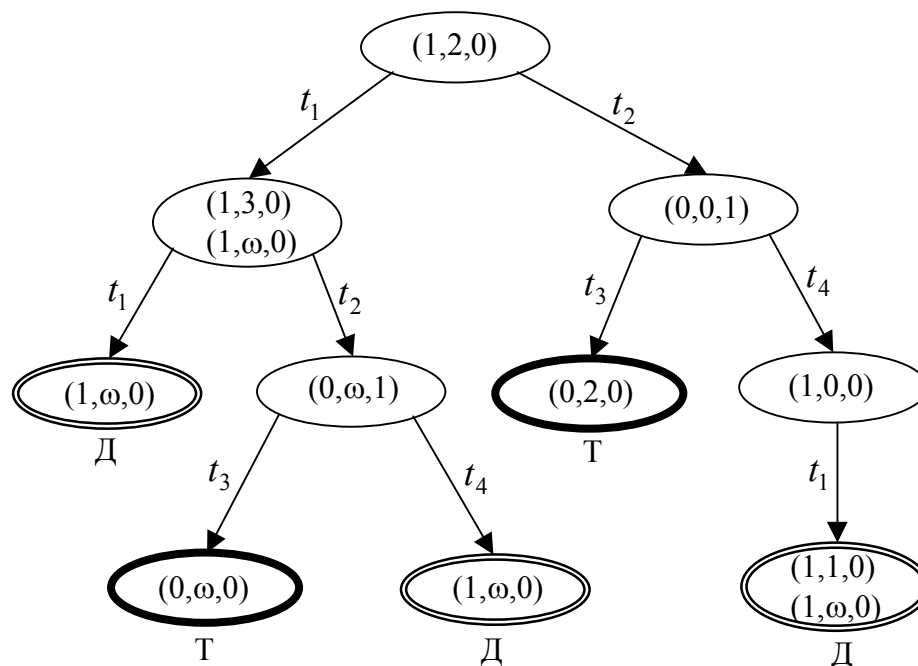
Для виконання роботи необхідно знати основні властивості мереж Петрі: обмеженість, безпечність, досяжність, живість, стійкість, а також властивості псевдомаркувань і алгоритм побудови дерева покриваючих маркувань мережі Петрі.

Задача 1.

Побудувати дерево покриваючих маркувань для заданої мережі Петрі.

Приклад.

Мережа 29, додаток 1.



Задача 2.

За допомогою дерева покриваючих маркувань визначити, чи є задана мережа обмеженою, консервативною, стійкою, живою.

Приклад:

- мережа необмежена, тому що дерево містить символи ω ;
- мережа потенційно жива, тому що є дуги, позначені символами кожного з переходів;
- мережа не жива, тому що дерево містить термінальні (тупикові) вершини;
- мережа не стійка, тому що спрацьовування переходу t_3 в маркуванні $(0,0,1)$ унеможливує подальший запуск збудженого в цьому маркуванні переходу t_4 .

Задача 3.

За допомогою дерева покриваючих маркувань визначити досяжність зазначених маркувань у мережі.

Приклад.

- маркування $(0,7,1)$ досягне в мережі; дійсно, дерево містить покриваюче маркування $(0,\omega,1)$ за яким може бути побудована послідовність спрацьовування переходів $t_1^7 t_2$, що переводить мережу в зазначене маркування;
- маркування $(0,1,7)$ недосягне в мережі, тому що дерево не містить для нього покриваючого маркування.

Варіанти завдань

Додаток 1.

Контрольні питання

1. Вкажіть особливості побудови псевдомаркувань мережі Петрі.
2. Сформулюйте основні кроки алгоритму побудови дерева покриваючих маркувань мережі Петрі.
3. Вершини яких типів містить дерево покриваючих маркувань?
4. У якому випадку конкретне маркування позиції замінюють символом ω ?
5. Які властивості мереж Петрі дозволяє визначити дерево покриваючих маркувань?
6. Яким образом можна визначити живість мережі за допомогою дерева покриваючих маркувань?
7. Яким чином можна визначити досяжність маркування за допомогою дерева покриваючих маркувань?
8. Який розмір може мати дерево покриваючих маркувань?

Лабораторна робота 2

Дослідження обмеженості і безпеки мережних моделей

Мета роботи.

Освоїти методику дослідження обмеженості (безпеки) мережних моделей за допомогою комп'ютерної моделюючої системи

Підготовка.

Для виконання роботи необхідно знати основні властивості мереж Петрі, властивості псевдомаркувань, а також функції моделюючої системи.

Порядок виконання роботи

1. Досліджувати обмеженість мереж, вивчених на попередніх заняттях (за завданням викладача).
2. Автоматично побудувати дерево покриваючих маркувань.
3. Визначити обмеженість (безпеку) позицій і всієї мережі.
4. Переконатися в наявності (відсутності) зазначених властивостей за допомогою імітації динаміки мережі.
5. Побудувати і досліджувати мережну модель для зазначеного об'єкта; виконати вибір місткості нагромаджувачів.

Вказівки до виконання роботи

Використовувати моделюючу систему Tina (Додаток 3.2). Ввести в текстовому редакторі файл, що описує структуру мережі. Так, наприклад, мережу 29, додаток 1 представляє файл

```
net n29
tr t1 p1 -> p1 p2
tr t2 p1 p2*2 -> p3
tr t3 p3 -> p2*2
tr t4 p3 -> p1
p1 p1 (1)
p1 p2 (2)
p1 p3 (0)
```

Завантажити файл у моделюючу систему і запустити автоматичну побудову дерева досяжних і дерева покриваючих маркувань. Для зазначеної мережі одержимо наступний результат

```
CLASSES:
0 : p1 p2*2
1 : p1 p2*w
2 : p2*w p3
3 : p2*w
4 : p3
5 : p2*2
6 : p1
REACHABILITY GRAPH:
0 -> t1/1, t2/4
1 -> t1/1, t2/2
```

- 2 -> $t_{3/3}, t_{4/1}$
- 3 ->
- 4 -> $t_{3/5}, t_{4/6}$
- 5 ->
- 6 -> $t_{1/1}$

Мережа є необмежена тому що маркування містять символ ω .

Варіанти завдань

Додатки 1, 2.

Контрольні питання

1. Перелічіть основні властивості мереж Петрі?
2. Які мережі називають обмеженими і безпечними?
3. У чому полягає властивість консервативності мережі Петрі?
4. У чому полягає властивість живості мережі Петрі?
5. Яку розмітку мережі називають тупиковою?
6. Вкажіть особливості побудови псевдомаркувань мережі Петрі.
7. Сформулюйте основні кроки алгоритму побудови дерева покриваючих маркувань мережі Петрі.
8. Які властивості мереж Петрі дозволяє визначити дерево покриваючих маркувань?

Практичне заняття 3

Аналіз властивостей мереж за допомогою фундаментального рівняння та інваріантів

Мета заняття.

Освоїти методику розв'язання фундаментального рівняння мережі за допомогою унімодулярних перетворень, знаходження інваріантів методом Тудіка, а також використання інваріантів і розв'язків фундаментального рівняння для аналізу властивостей мереж.

Підготовка.

Для виконання роботи необхідно знати основні властивості мереж Петрі, метод Тудіка і метод приведення цілої матриці до нормальної форми Сміта за допомогою унімодулярних перетворень.

Задача 1.

Досліджувати досяжність заданого маркування за допомогою фундаментального рівняння мережі.

Приклад.

Мережа 30, додаток 1.

Нехай $\mu = (2, 0, 1, 1, 4, 0)$.

Розв'яжемо фундаментальне рівняння мережі: $\bar{\mu} = \bar{\mu}_0 + C \cdot \bar{\sigma}$. Загальний

цілочисельний розв'язок системи має вигляд $\bar{\sigma} = \begin{bmatrix} 2 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \\ 4 \\ 0 \end{bmatrix} + k_1 \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} + k_2 \cdot \begin{bmatrix} 2 \\ 0 \\ 2 \\ 1 \\ 6 \\ 1 \end{bmatrix}$, де k_1, k_2

– довільні ненегативні цілі числа. По мінімальному рішенню можна побудувати наступну припустиму послідовність спрацьовувань переходів $t_1 t_5^3 t_3 t_4 t_1 t_5$. Таким чином, маркування $\bar{\mu}$ досягне в мережі.

Задача 2.

Досліджувати обмеженість і консервативність мережі за допомогою р-інваріантів.

Приклад.

Розв'яжемо рівняння $\bar{x} \cdot C = 0$. Інваріанти позицій мають вигляд $\bar{x} = k \cdot (6, 1, 3, 3, 1)$, де k – довільне натуральне число.

Мережа р-інваріантна, оскільки, наприклад, інваріант $(6, 1, 3, 3, 1)$ містить тільки ненегативні компоненти. Отже, мережа обмежена і консервативна. Зважена сума маркерів дорівнює $\bar{x} \cdot \bar{\mu}_0 = 9$. Маркування позицій не перевищує $(2, 9, 3, 3, 9)$.

Задача 3.

Досліджувати живість і стаціонарну повторюваність процесів мережі за допомогою t-інваріантів.

Приклад.

Розв'яжемо рівняння $C \cdot \bar{y} = 0$.

Інваріанти переходів мають вигляд $\bar{y} = k_1 \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} + k_2 \cdot \begin{bmatrix} 2 \\ 0 \\ 2 \\ 1 \\ 6 \\ 1 \end{bmatrix}$, де k_1, k_2 – довільні

негативні цілі числа.

Мережа t -інваріантна, оскільки, наприклад інваріант $\begin{bmatrix} 3 \\ 1 \\ 2 \\ 1 \\ 6 \\ 2 \end{bmatrix}$ містить тільки

натуральні компоненти. Зазначеному інваріанту відповідає стаціонарно-повторювана послідовність спрацьовування переходів $\sigma = t_1 t_2 t_6 t_1 t_3 t_4 t_1 t_5^6 t_3 t_6$, що містить усі переходи мережі; отже, мережа потенційно жива.

Варіанти завдань

Додаток 1.

Контрольні питання

1. Схарактеризуйте структуру фундаментального рівняння мережі Петрі.
2. Що являє собою інваріант позицій мережі Петрі?
3. Що являє собою інваріант переходів мережі Петрі?
4. Схарактеризуйте властивості інваріантних мереж Петрі.
5. Які основні кроки методу Тудіка?
6. Які перетворення матриць називають унімодулярними?
7. Як виглядає матриця, представлена в нормальній формі Сміта?
8. Схарактеризуйте складність методів цілочисельного розв'язання лінійних систем.

Лабораторна робота 3

Пошук тупиків у моделюємих системах

Мета роботи.

Освоїти методику пошуку тупиків у паралельних процесах за допомогою комп'ютерної моделюючої системи.

Підготовка.

Для виконання роботи необхідно знати основні властивості мереж, особливо живість і безтупиковість, володіти методом мережних інваріантів, вміти застосовувати інваріанти для дослідження живості.

Порядок виконання роботи

1. Досліджувати наявність тупиків у мережах, вивчених на попередніх заняттях.
2. Побудувати мережу в середовищі моделюючої системи.
3. Знайти інваріанти мережі.

4. Зробити висновок про основні властивості мережі і наявності тупиків.
5. Знайти тупик за допомогою імітації динаміки; вписати відповідну послідовність спрацьовування переходів.
6. Побудувати модель зазначеного об'єкта.
7. Досліджувати модель на наявність тупиків.

Вказівки до виконання роботи

Використовувати моделюючу систему Tina (Додаток 3.2). Ввести в текстовому редакторі файл, що описує структуру мережі.

Завантажити файл у моделюючу систему і запустити структурний аналіз. Для мережі 30, додаток 1 одержимо наступний результат

```
P-SEMI-FLOWS GENERATING SET -----
-----
invariant
p1*6 p2 p3*3 p4*3 p5
T-SEMI-FLOWS GENERATING SET -----
-----
consistent
t1*2 t3*2 t4 t5*6 t6
t1 t2 t6
```

Таким чином, мережа інваріантна. Подальша імітація динаміки і побудова графа досяжних маркувань дозволяють зробити висновок про те, що мережа не містить тупиків.

Варіанти завдань

Додатки 1, 2.

Контрольні питання

1. Перелічіть основні властивості мереж Петрі?
2. У чому полягає властивість живості мережі Петрі?
3. Яку розмітку мережі називають тупиковою?
4. Що являє собою інваріант позицій мережі Петрі?
5. Що являє собою інваріант переходів мережі Петрі?
6. Схарактеризуйте властивості інваріантних мереж Петрі.
7. Яким чином можна використовувати інваріанти мережі Петрі для пошуку тупиків?

Практичне заняття 4

Аналіз властивостей мереж за допомогою редукції

Мета роботи.

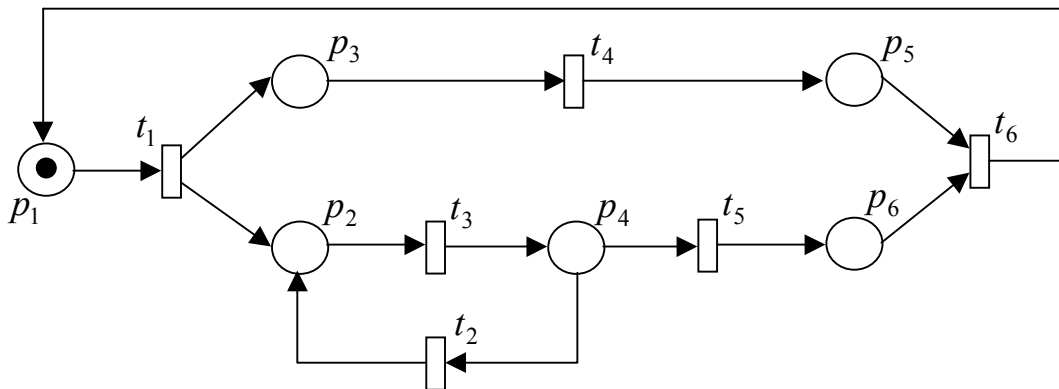
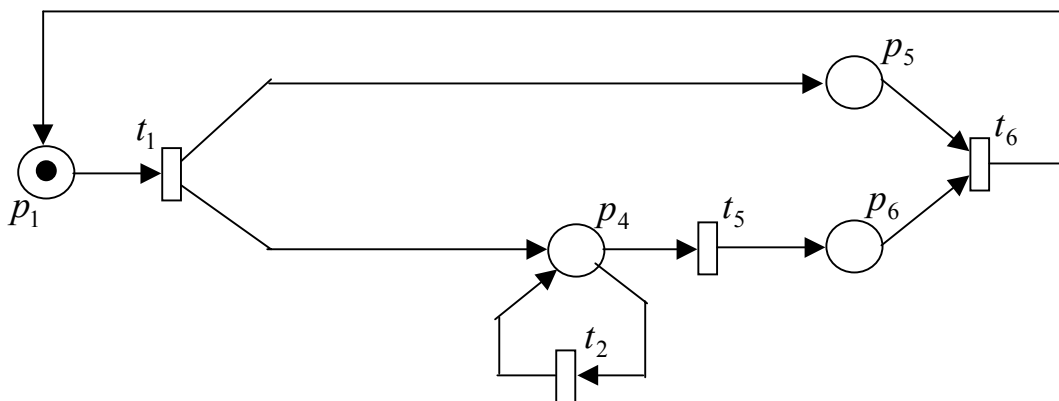
Набути навиків зменшення розмірності (редукції) мереж за допомогою перетворень, що зберігають їхні основні властивості.

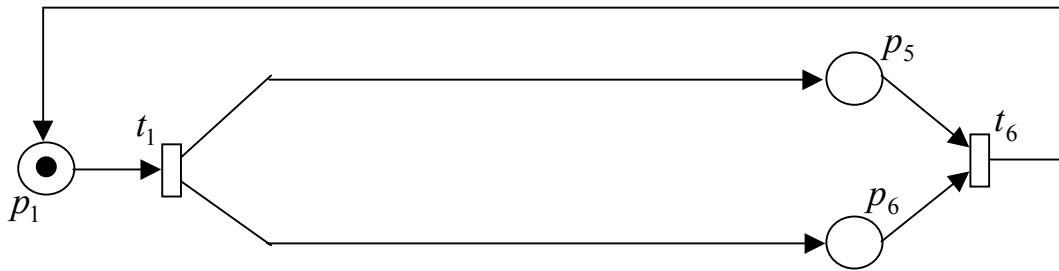
Підготовка.

Для виконання роботи необхідно знати основні властивості мереж Петрі, набір правил редукції та умови застосування правил для зменшення розмірності мереж.

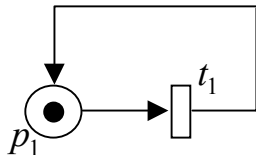
Завдання

1. Виконати декілька окремих перетворень для кожного з правил редукції.
2. Виконати редукцію зазначених мереж.
3. Досліджувати властивості мереж до і після редукції; переконатися в збереженні властивостей.
4. Виконати редукцію за допомогою алгебричних перетворень рівняння станів.
5. Досліджувати моделі реальних об'єктів за допомогою редукції.

Приклад
 $R_1(p_3)R_1(p_2)$

 $R_3(t_2)R_1(p_4)$



$R_2(p_5)R_1(p_6)$



Отримана мережа жива, обмежена, консервативна. Отже, зазначеними властивостями володіє вихідна мережа.

Варіанти завдань

Додаток 1.

Контрольні питання

1. У чому полягає редукція мереж Петрі?
2. Вкажіть основні правила редукції мереж Петрі.
3. Перелічіть основні властивості мереж Петрі?
4. Які мережі називають обмеженими і безпечними?
5. У чому полягає властивість консервативності мережі Петрі?
6. У чому полягає властивість живості мережі Петрі?
7. Яку розмітку мережі називають тупиковою?

Практичне заняття 5

Побудова породжуючого сімейства функціональних підмереж

Мета роботи:

Освоїти метод декомпозиції заданої мережі Петрі на функціональні підмережі.

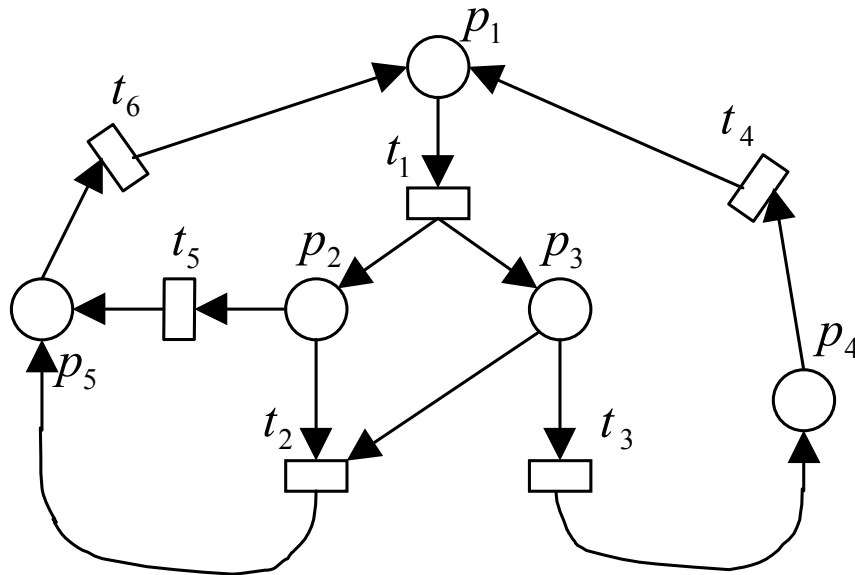
Підготовка.

Для виконання роботи необхідно знати визначення функціональної підмережі і мінімальної функціональної підмережі, а також алгоритмічні та аналітичні методи декомпозиції.

Завдання

1. Побудувати систему логічних рівнянь, що задають функціональну підмережу. Знайти її рішення.
2. Виконати побудову породжуючого сімейства функціональних підмереж за допомогою алгоритму декомпозиції.
3. Побудувати декілька функціональних підмереж, що є сумою мінімальних.
4. Досліджувати отримані нероздільні мережі.

Приклад



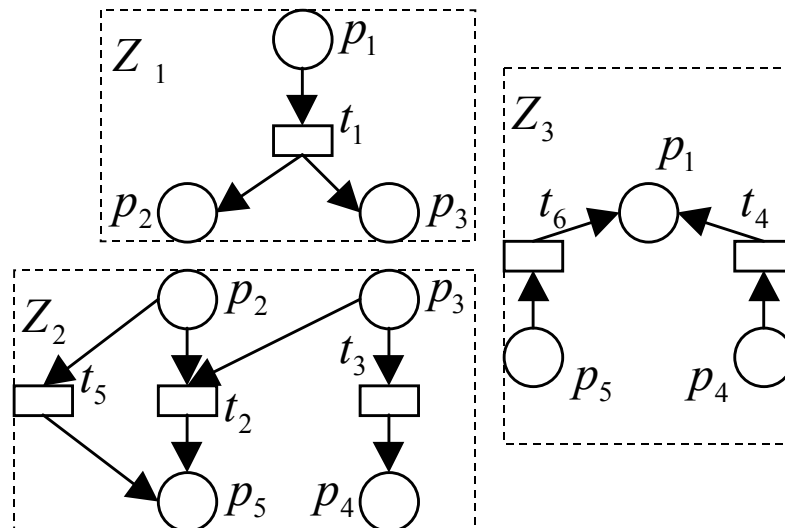
Система, що задає функціональні підмережі має вигляд

$$\begin{cases} \tau_1 \equiv (\tau_6 \tau_4 \tau_1 \vee \bar{\tau}_6 \bar{\tau}_4 \tau_1)(\tau_1 \tau_5 \tau_2 \vee \tau_1 \bar{\tau}_5 \bar{\tau}_2)(\tau_1 \tau_2 \tau_3 \vee \tau_1 \bar{\tau}_2 \bar{\tau}_3) \\ \tau_2 \equiv (\tau_1 \tau_5 \tau_2 \vee \bar{\tau}_1 \bar{\tau}_5 \bar{\tau}_2)(\tau_1 \tau_2 \tau_3 \vee \bar{\tau}_1 \bar{\tau}_2 \bar{\tau}_3)(\tau_5 \tau_2 \tau_6 \vee \tau_5 \tau_2 \bar{\tau}_6) \\ \tau_3 \equiv (\tau_1 \tau_2 \tau_3 \vee \bar{\tau}_1 \bar{\tau}_2 \bar{\tau}_3)(\tau_3 \tau_4 \vee \tau_3 \bar{\tau}_4) \\ \tau_4 \equiv (\tau_3 \tau_4 \vee \bar{\tau}_3 \bar{\tau}_4)(\tau_1 \tau_4 \tau_6 \vee \bar{\tau}_1 \bar{\tau}_4 \bar{\tau}_6) \\ \tau_5 \equiv (\tau_1 \tau_5 \tau_2 \vee \bar{\tau}_1 \bar{\tau}_5 \bar{\tau}_2)(\tau_5 \tau_2 \tau_6 \vee \tau_5 \tau_2 \bar{\tau}_6) \\ \tau_6 \equiv (\tau_5 \tau_2 \tau_6 \vee \bar{\tau}_5 \bar{\tau}_2 \bar{\tau}_6)(\tau_1 \tau_4 \tau_6 \vee \bar{\tau}_1 \bar{\tau}_4 \bar{\tau}_6) \end{cases}$$

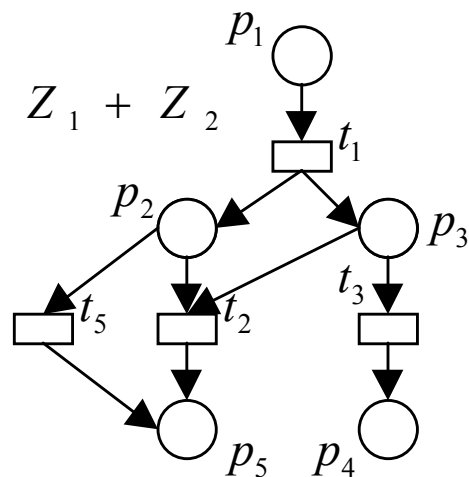
Побудуємо рішення системи:

$$\begin{aligned} & \bar{\tau}_1 \bar{\tau}_2 \bar{\tau}_3 \bar{\tau}_4 \bar{\tau}_5 \bar{\tau}_6 \vee \tau_1 \bar{\tau}_2 \bar{\tau}_3 \bar{\tau}_4 \bar{\tau}_5 \bar{\tau}_6 \vee \bar{\tau}_1 \bar{\tau}_2 \bar{\tau}_3 \tau_4 \bar{\tau}_5 \tau_6 \vee \bar{\tau}_1 \tau_2 \tau_3 \bar{\tau}_4 \tau_5 \bar{\tau}_6 \vee \\ & \tau_1 \bar{\tau}_2 \bar{\tau}_3 \tau_4 \bar{\tau}_5 \tau_6 \vee \tau_1 \tau_2 \tau_3 \bar{\tau}_4 \tau_5 \bar{\tau}_6 \vee \bar{\tau}_1 \tau_2 \tau_3 \tau_4 \tau_5 \tau_6 \vee \tau_1 \tau_2 \tau_3 \tau_4 \tau_5 \tau_6 \end{aligned}$$

Помітимо, що перший з термів відповідає порожній підмережі, наступні три терми відповідають мінімальним підмережам



Терми, що залишилися, описують суми мінімальних підмереж, наприклад, шостий терм описує підмережу виду



Варіанти завдань

Додаток 1.

Контрольні питання

1. Яку мережу Петрі називають функціональною?
2. Що являє собою функціональна підмережа заданої мережі Петрі?
3. Чи може мінімальна функціональна мережа містити іншу функціональну підмережу?
4. Чим задається мінімальна функціональна підмережа?
5. Що являє собою породжуюче сімейство функціональних підмереж?
6. Яким чином формується система рівнянь, що задає функціональні підмережі?
7. Вкажіть основні кроки алгоритму декомпозиції.
8. Яка складність алгоритму декомпозиції мережі Петрі?

Лабораторна робота 4

Побудова і дослідження моделей локальних мереж

Мета роботи.

Освоїти методику дослідження комутованих локальних мереж за допомогою розфарбованих мереж Петрі.

Підготовка.

Для виконання роботи необхідно знати основні класи мереж Петрі та основи побудови локальних комутованих мереж, володіти навичками побудови моделей, знати детально організацію моделюючої системи, вміти визначати властивості мережі, якими повинна володіти модель нормально функціонуючого пристрою.

Порядок виконання роботи

1. Побудувати моделі основних мережних пристроїв: комутатора, сервера, робочої станції.
2. Виконати введення мереж Петрі у середовищі моделюючої системи.
3. Досліджувати автономно моделі мережних пристроїв, імітуючи вхідні потоки.
4. Побудувати модель локальної мережі зазначеної структури.
5. Виконати графічне введення моделі.
6. Досліджувати модель, імітуючи динаміку мережі.
7. Визначити основні характеристики мережі: час відгуку, пропускну здатність, завантаження.

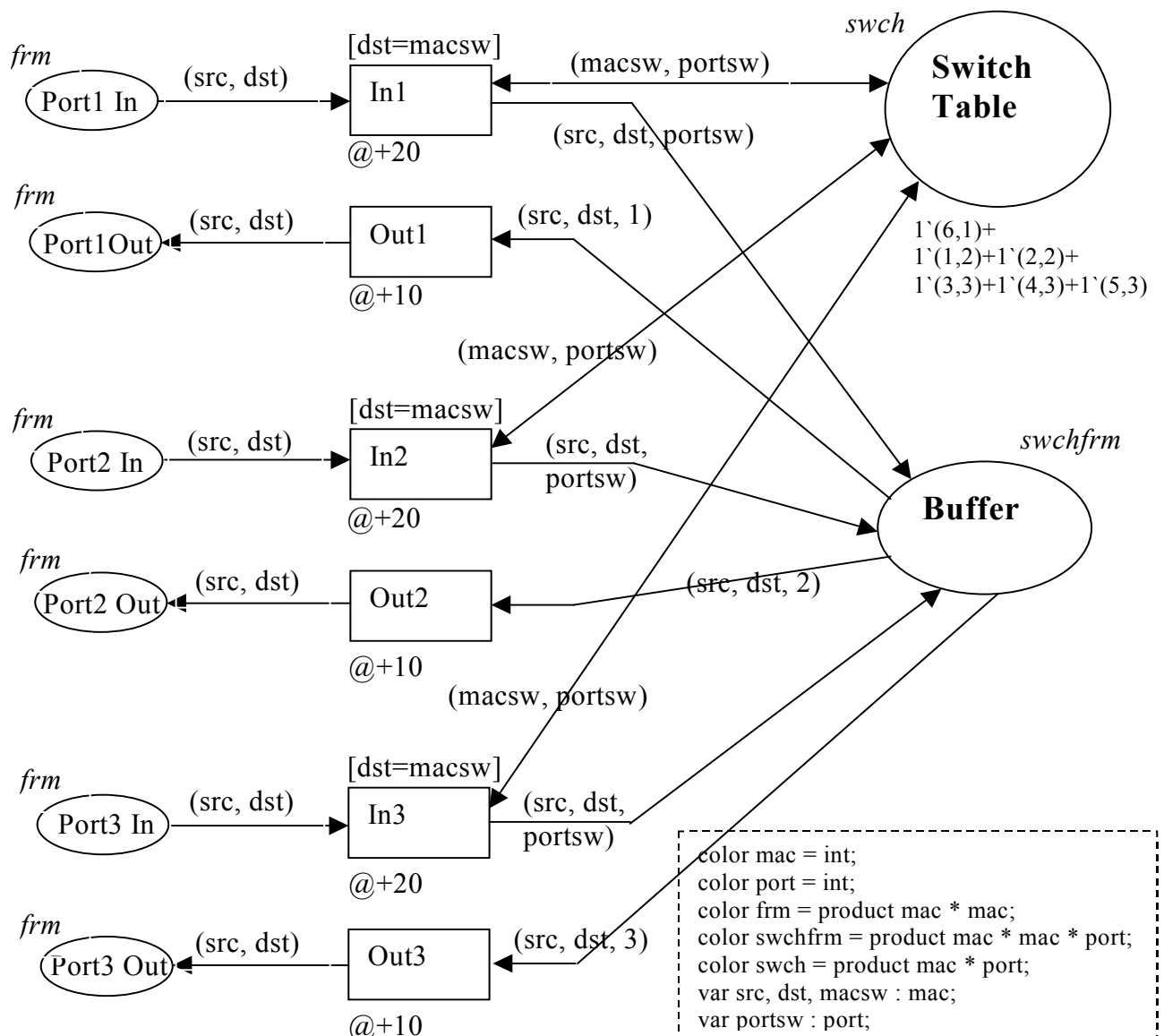
Вказівки до виконання роботи

Для дослідження моделей використовуємо систему Design/CPN (Додаток 3.3). Розглянемо можливості системи на прикладі побудови моделі комутатора локальної мережі Ethernet.



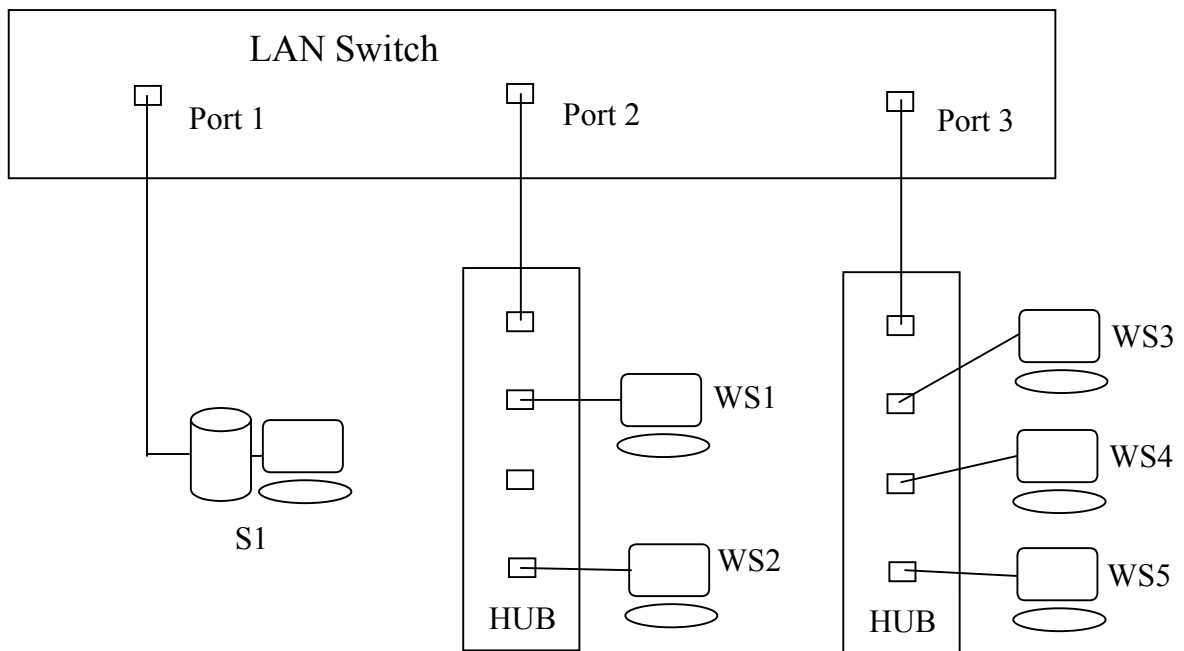
Функціонування мережі Ethernet регламентується стандартами IEEE 802.3. Істотними для роботи комутатора є поля фрейму, що задають адресу

відправника й адресу одержувача. Для адресації використовуються шестибайтні унікальні MAC-адреси (Medium Access Control). Завдання комутатора полягає в перенаправленні фрейму, що надійшов, у той порт, до якого підключений пристрій призначення. Застосування комутатора дозволяє знизити число колізій, тому що фрейм ретранслюється тільки в порт призначення, і таким чином підвищити пропускну здатність мережі. Для визначення номера порту, на який направляється фрейм, як правило, використовується статична або динамічна таблиця комутації, яка співставляє кожній відомій MAC-адресі номер порту, до якого підключений відповідний пристрій. Алгоритми динамічної побудови таблиці комутації засновані на аналізі трафіка і використанні ширококомовного розсилання для невідомих MAC-адрес. Побудуємо модель комутатора, що має три порта:



Колір *frm* описує формат фрейму, колір *swch* задає формат записів таблиці комутації, колір *swchfrm* представляє формат скомутованих фреймів. Модель містить статичну таблицю комутації **SwitchTable**, вхідні і вихідні буфери портів **PortXIn**, **PortXOut**, буфер скомутованих фреймів **Buffer**.

Типова схема однорівневої комутованої локальної мережі містить у собі комутатор (LAN Switch) і сегменти локальної мережі, підключені до портів.



За призначенням та особливостями формування трафіка в мережі розрізняють сервери і робочі станції. Сервери, як правило, підключають безпосередньо до комутатора; робочі станції поєднують у сегменти за допомогою концентраторів (HUB). На схемі представлений сервер (S1) і два сегмента, що містять робочі станції WS1, WS2 і WS3-WS5.

Для прийнятого ступеня деталізації моделі будемо розглядати періодично повторювані, з випадковими рівномірно розподіленими інтервалами часу, запити кожної з робочих станцій до серверів.

Сервер, у відповідь на прийнятий запит, відправляє декілька пакетів на адресу запитуючої робочої станції. Кількість пакетів, що відправляються, і часові затримки є рівномірно розподілені випадкові величини.

Компонування загальної моделі локальної мережі варто виконати за допомогою об'єднання контактних позицій робочих станцій і серверів для кожного із сегментів. Модель комутатора поєднується з моделлю сегментів за допомогою додаткових переходів, які приймають фрейми у вхідний буфер і відправляють фрейми з вихідного буфера відповідно, для кожного з портів комутатора.

Для виміру характеристик мережі варто використовувати додаткові позиції, у які рекомендуємо поміщати необхідну інформацію. Так, наприклад, для виміру часу відгуку будемо зберігати час відправлення запиту і час надходження відповіді від сервера.

Варіанти завдань

Варіант	Серверів	Сегментів	Робочих станцій			Робоча станція Wt	Сервер	
			P1	P2	P3		St	Sq
1	2	3	2	2	3	2000-3000	50	12
2	3	2	2	2		3000-4000	60	10
3	2	3	3	2	1	2000-4000	40	15
4	3	2	3	2		4000-5000	20	20
5	2	3	3	3	2	3000-4000	30	17
6	2	2	4	2		3000-5000	70	8
7	2	3	2	4	2	2000-5000	10	19
8	2	2	3	4		5000-7000	50	5
9	2	3	2	2	3	3000-4000	20	11
10	3	2	2	2		4000-7000	30	14
11	2	3	3	2	1	2000-7000	40	10
12	3	2	3	2		3000-7000	10	18
13	2	3	3	3	2	5000-8000	30	13
14	2	2	4	2		7000-8000	60	4
15	2	3	2	4	2	4000-8000	20	10
16	2	2	3	4		3000-8000	40	7

P1, P2, P3 – кількість робочих станцій у сегменті (на порту комутатора);

Wt – інтервал видачі запитів робочою станцією;

St – час виконання запиту сервером;

Sq – кількість фреймів у відповіді сервера.

Контрольні питання

1. З яких елементів складається комутована мережа?
2. Коротко опишіть структуру фрейму мережі Ethernet.
3. У чому полягає функція комутатора локальної мережі?
4. У чому полягають особливості формування трафіка робочими станціями і серверами?
5. Сформулюйте відмінні риси розфарбованих мереж Петрі.
6. Яким чином описується тип даних фішок у розфарбованих мережах?
7. Які додаткові характеристики мають позиції і переходи розфарбованої мережі Петрі?
8. Які додаткові характеристики мають дуги розфарбованої мережі Петрі?

Лабораторна робота 5

Побудова і дослідження моделей мережних протоколів

Мета роботи.

Придбати навички верифікації мережних протоколів.

Підготовка.

Для виконання роботи необхідно знати основні класи мереж Петрі, мати представлення про мережні протоколи, володіти навичками побудови моделей, знати точні специфікації досліджуваних протоколів.

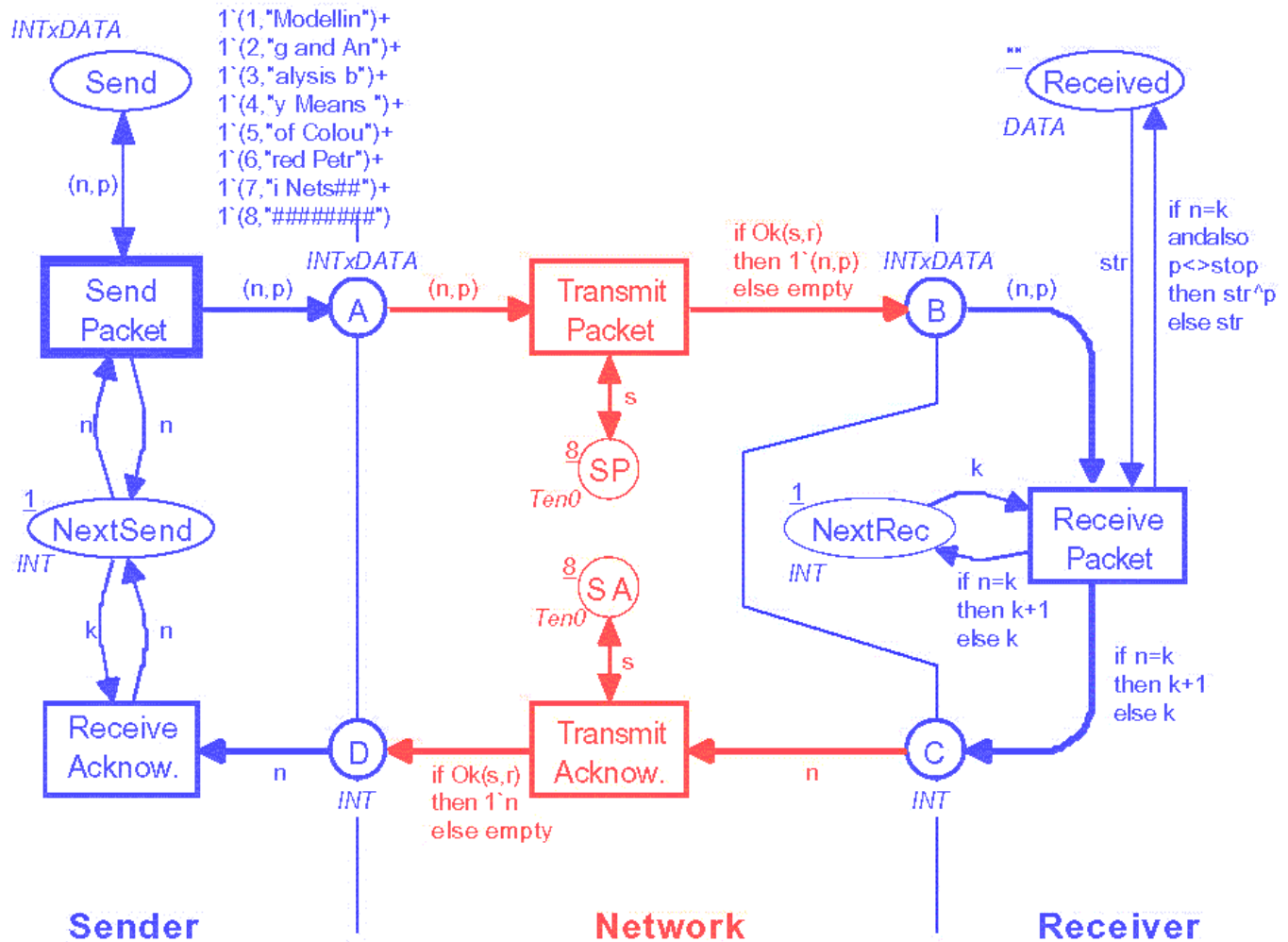
Порядок виконання роботи

1. Вивчити навчальну модель протоколу.
2. Побудувати мережу Петрі в середовищі моделюючої системи.
3. Виконати імітацію динаміки мережі.
4. Визначити обмеженість і живість моделі.
5. Побудувати модель зазначеного протоколу.
6. Виконати графічне введення моделі.
7. Виконати верифікацію протоколу за допомогою імітаційних і аналітичних методів.

Вказівки до виконання роботи

Для виконання роботи будемо застосовувати моделюючі системи Design/CPN (Додаток 3.3) і Tina (Додаток 3.2). Design/CPN використовує розфарбовані мережі Петрі і дозволяє будувати моделі з високим ступенем деталізації, що цілком відображають особливості вихідних специфікацій протоколу, але для дослідження протоколу можна застосовувати лише імітаційні методи. Tina надає аналітичні методи дослідження, дозволяючи будувати дерево покриваючих маркувань і інваріанти; але модель протоколу необхідно представити базовою мережею Петрі, що неминуче зв'язано з абстрагуванням від подробиць опису вихідних специфікацій.

Мережний протокол являє собою точно визначений порядок взаємодії систем з метою обміну інформацією. Розглянемо приклад найпростішого протоколу передачі повідомлень з посилкою підтверджень.



```

color INT = int;
color DATA = string;
color INTxDATA = product INT * DATA;
var n, k : INT;
var p, str : DATA;
val stop = "#####";

color Ten0 = int with 0..10;
color Ten1 = int with 1..10;
var s : Ten0; var r : Ten1;
fun Ok(s:Ten0,r:Ten1) = (r<=s);

```

Відправлені пакети знаходяться в позиції `Send` і складаються з номера пакета і даних, представлених текстовим рядком. Позиція `NextSend` задає номер поточного пакета. У позиції `Received` виконується збирання даних з коректно отриманих пакетів; текстові рядки конкатенуються. До одержання підтвердження виконується повторна передача пакета посилаючою стороною. Передача пакетів продовжується до обробки спеціального термінального рядка `stop`. Мережа моделюється парою переходів: передаючим повідомлення `TransmitPacket` і передаючим підтвердження `TransmitAckow`. Можлива втрата

повідомлень і підтверджень при передачі. Імовірність нормальної передачі задається розміткою позицій SP і SA.

При виконанні роботи варто доповнити протокол часовими характеристиками, внести затримку перед повторною передачею пакета (таймаут), забезпечити передачу пакетів у різному порядку з наступним коректним їх збиранням.

Для аналітичного дослідження властивостей рекомендуємо виконати просте перетворення моделі шляхом абстрагування від характеристик елементів мережі.

Варіанти завдань

Варіант	Час передачі повідомлення	Час передачі підтвердження	Таймаут	Імовірність нормальної передачі повідомлення	Імовірність нормальної передачі підтвердження
1	4000	1000	6000	0.9	0.9
2	5000	1000	9000	0.8	0.9
3	2000	1000	4000	0.8	0.8
4	3000	2000	7000	0.7	0.8
5	1000	1000	4000	0.7	0.9
6	5000	2000	8000	0.6	0.7
7	4000	1000	7000	0.8	0.9
8	3000	2000	8000	0.9	0.9
9	2000	1000	5000	0.6	0.6
10	1000	1000	8000	0.7	0.6
11	5000	4000	9000	0.8	0.9
12	4000	3000	9000	0.9	0.7
13	3000	1000	6000	0.6	0.9
14	2000	1000	5000	0.7	0.7
15	1000	1000	3000	0.8	0.9
16	4000	1000	8000	0.6	0.8

Контрольні питання

1. Що таке мережний протокол?
2. Які мережні протоколи ви знаєте?
3. Для чого необхідно досліджувати мережні протоколи?
4. Що таке верифікація протоколу?
5. Якими властивостями повинна володіти мережа Петрі, що моделює коректний протокол?
6. Які основні методи застосовують для забезпечення надійної передачі інформації через ненадійні канали?

Лабораторна робота 6

Побудова і дослідження моделей систем автоматичного керування

Мета роботи.

Придбати навички побудови і налагодження систем автоматичного керування, представлених мережами Петрі.

Підготовка.

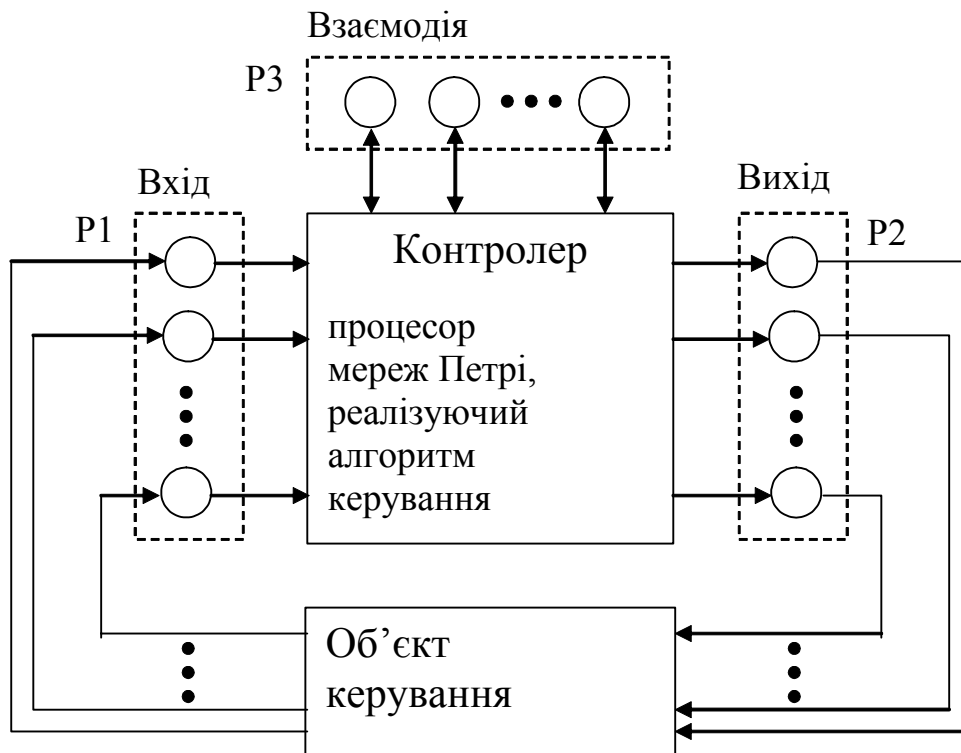
Для виконання роботи необхідно знати основні класи мереж Петрі, володіти навичками побудови моделей, вивчити опис системи автоматичного керування.

Порядок виконання роботи

1. Вивчити модель автоматичного керування роботом-маніпулятором.
2. Побудувати відповідну мережу Петрі в середовищі моделюючої системи.
3. Виконати імітацію динаміки мережі.
4. Визначити основні властивості мережі.
5. Побудувати модель зазначеної системи керування та об'єкта керування.
6. Виконати автономне налагодження системи керування.
7. Виконати комплексне налагодження системи керування разом з моделлю об'єкта керування.
8. Досліджувати властивості комплексної моделі.

Вказівки до виконання роботи

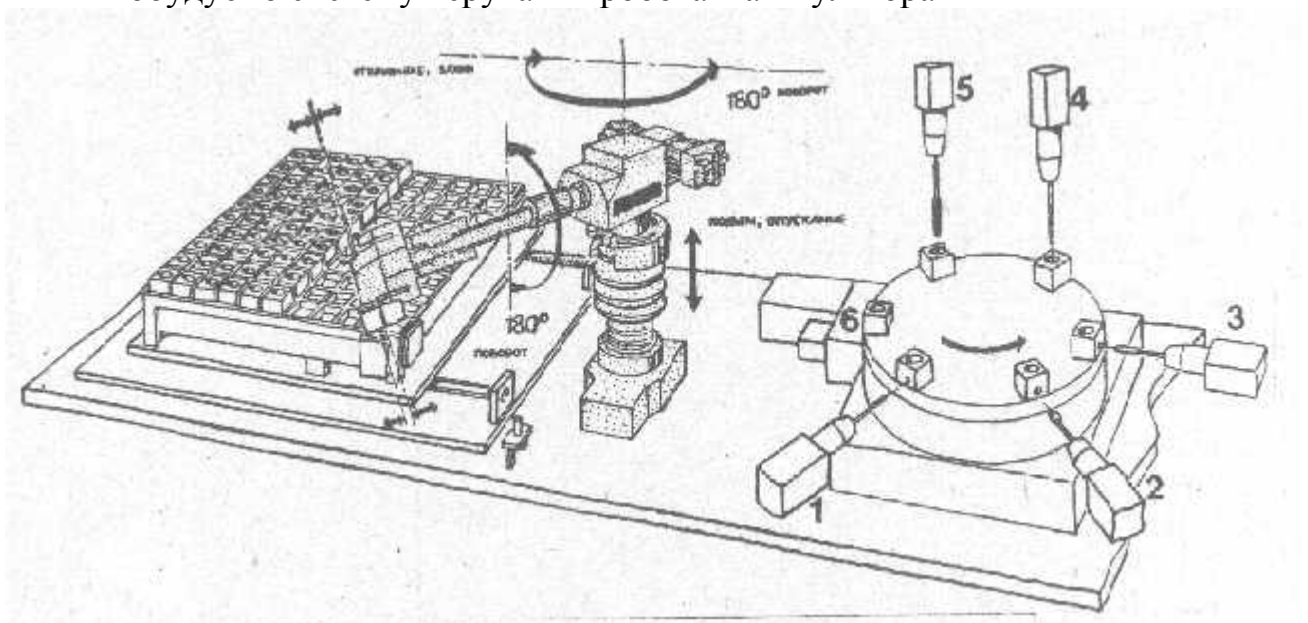
Розглянемо особливості побудови систем автоматичного керування з використанням контролера, що містить процесор мереж Петрі.



Вхідні позиції (P1) безпосередньо зв'язані з датчиками об'єкта керування, вихідні позиції (P2) – з виконавчими механізмами; позиції P3 забезпечують зв'язок з оператором і взаємодію з зовнішніми системами керування.

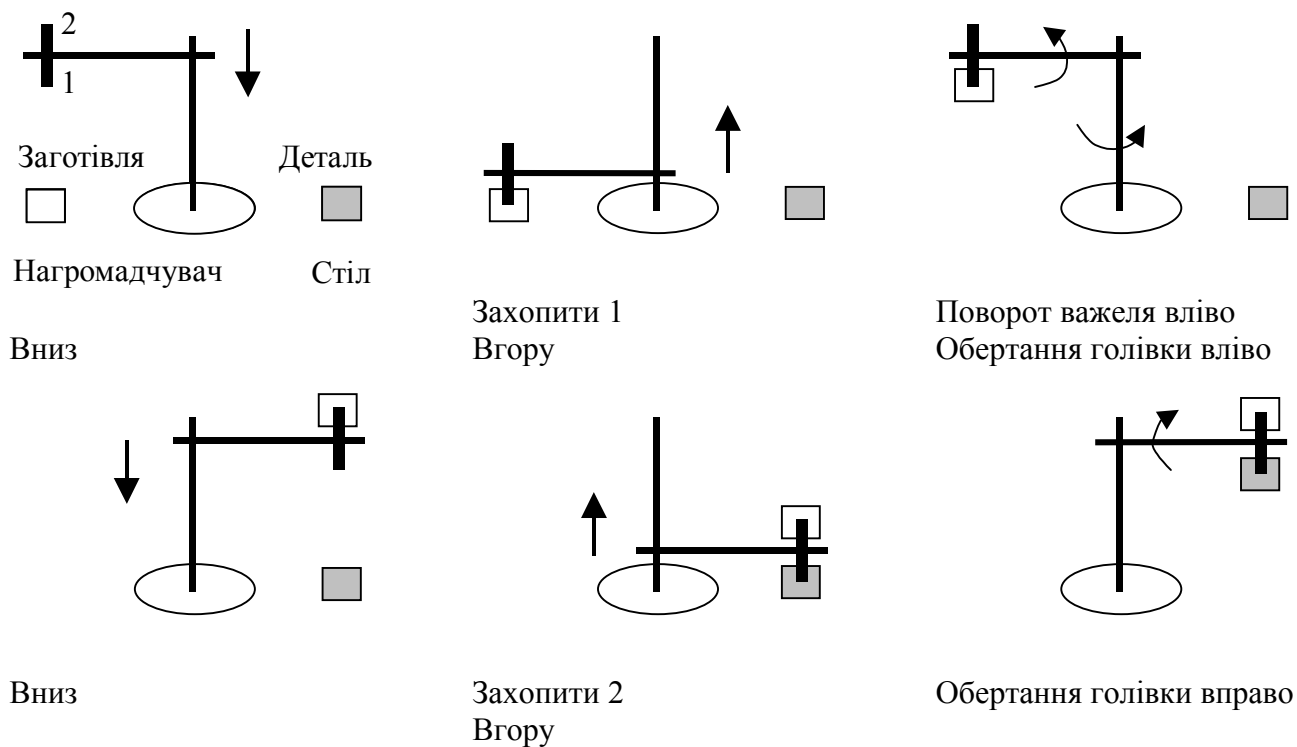
Важливим достоїнством описуваної технології є можливість представлення як алгоритму керування, так і моделі об'єкта керування мережею Петрі, що дозволяє виконати комплексне налагодження системи.

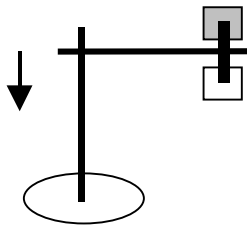
Побудуємо систему керування робота-маніпулятора



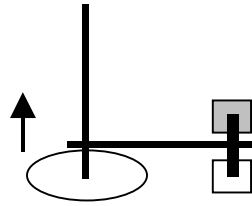
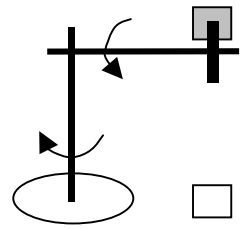
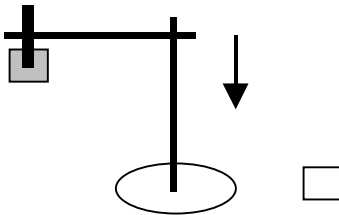
Робот взаємодіє з нагромаджувачем заготівель/деталей і поворотним столом, на якому виконується обробка заготівель. Робот складається зі стояка, важеля і голівки з двома захопленнями. Стояк може підніматися вгору або опускатися вниз; є два кінцевих датчики верхнього і нижнього положення стояка; привід виконує команди підняти стояк й опустити стояк. Важіль обертається на 180 градусів і фіксується в двох крайніх положеннях над нагромаджувачем і над поворотним столом за допомогою кінцевих датчиків; привід виконує команди «повернути вліво» і «повернути вправо». Голівка має два захоплення, розташованих з протилежних її сторін і може обертатися на 180 градусів, фіксуючись в двох крайніх положеннях за допомогою кінцевих датчиків; привід виконує команди «обертати вліво» й «обертати вправо». Кожне із захоплень може бути відкритим або закритим.

Вихідне положення робота - стояк в крайньому верхньому положенні, важіль у крайньому правому положенні над нагромаджувачем, захоплення 1 спрямоване вниз. Основний цикл функціонування робота складається з послідовності дій: опустити стояк, захопити заготівлю, підняти стояк, повернути важіль вліво й обертати голівку вліво, опустити стояк, захопити готову деталь захопленням 2, підняти стояк, повернути голівку вправо, опустити стояк, відкрити захоплення 1 для розміщення заготівлі на поворотному столі, підняти стояк, повернути важіль вправо й обертати голівку вліво, опустити стояк, відкрити захоплення 2 для розміщення деталі в нагромаджувачі, підняти стояк, обертати голівку вправо. Представимо описані дії у виді послідовності піктограм.

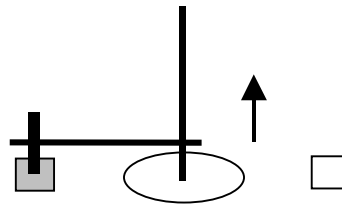
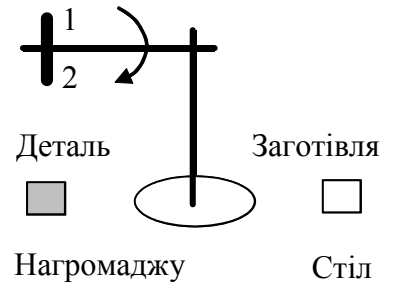




Вниз

Відкрити 1
ВгоруПоворот важеля вправо
Обертання голівки вліво

Вниз

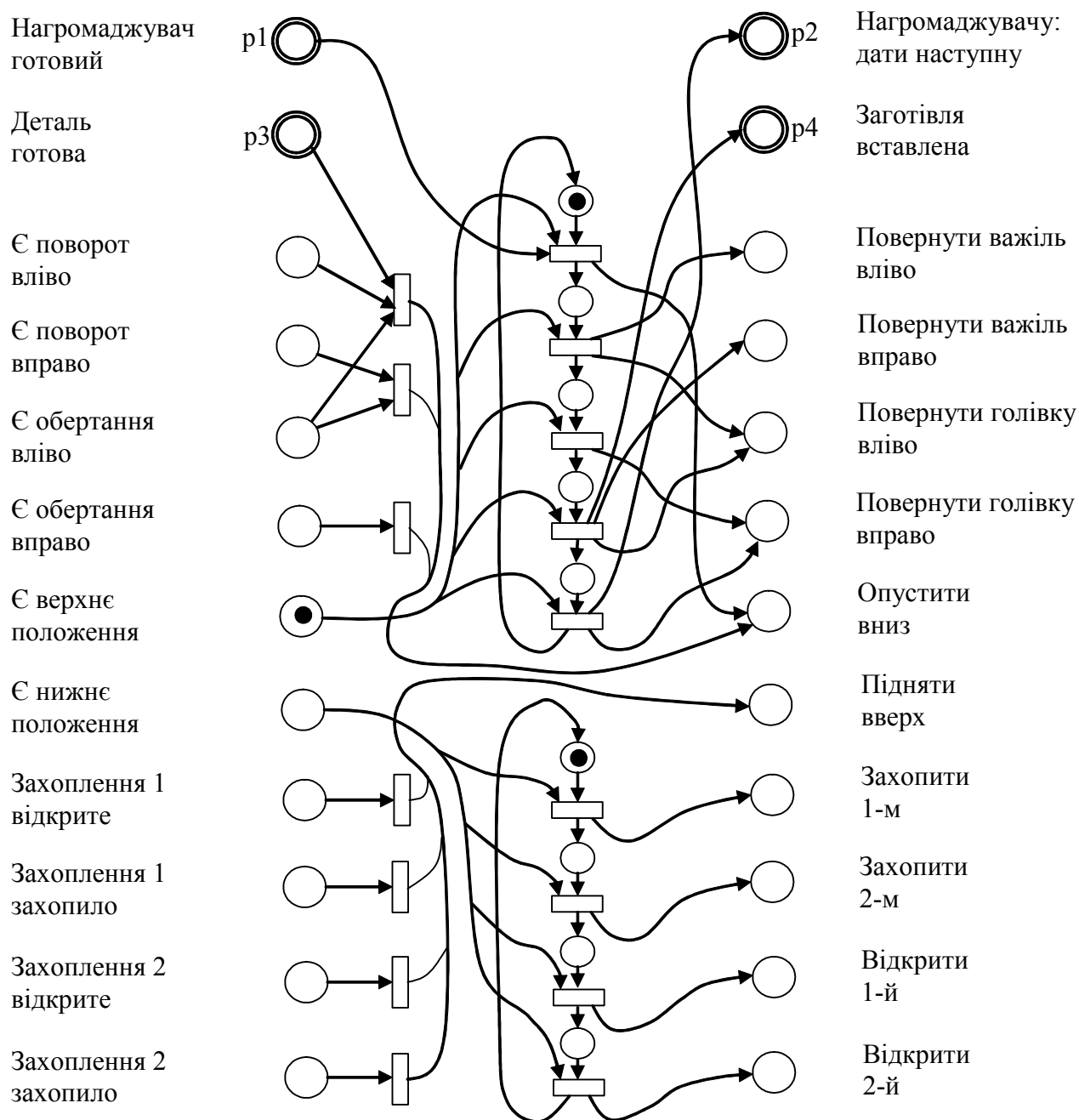
Відкрити 2
Вгору

Нагромаджу Стіл

Обертання голівки вправо

Нагромаджувач деталей являє собою прямокутну шухляду з комірками для заготовель/деталей; переміщення нагромаджувача в двох напрямках забезпечує розміщення необхідної комірки під правим робочим положенням голівки робота. Поворотний стіл забезпечує обробку деталі в п'ятьох позиціях, а також додаткову позицію завантаження/вивантаження під лівим робочим положенням робота.

Представимо модель системи керування роботом



Позиції p_1 , p_2 призначені для взаємодії з нагромаджувачем, а позиції p_3 , p_4 – для взаємодії з поворотним столом. У найпростішому випадку модель об'єкта може складатися з множини окремих переходів, що представляють коректне виконання команди і спрацьовування датчика. Наприклад, для стояка, з переходу, що з'єднує вихідну позицію «опустити вниз» із вхідною позицією «є нижнє положення».

Побудований алгоритм керування варто ввести в середовище моделюючої системи Pndri (Додаток 3.1), налагодити автономно і разом з моделлю об'єкта керування.

Самостійно побудувати моделі керування нагромаджувачем і поворотним столом. Налагодити їх автономно і разом з моделлю робота.

Досліджувати властивості побудованих моделей, довести коректність алгоритмів керування за допомогою системи Tina (Додаток 3.2).

Варіанти завдань

Варіант	Розмір нагромаджувача		Розмір поворотного стола
	ширина	довжина	
1	2	4	3
2	3	4	4
3	4	4	5
4	2	3	6
5	2	4	3
6	3	4	4
7	4	4	5
8	2	3	6
9	2	4	3
10	3	4	4
11	4	4	5
12	2	3	6
13	2	4	3
14	3	4	4
15	4	4	5
16	2	3	6

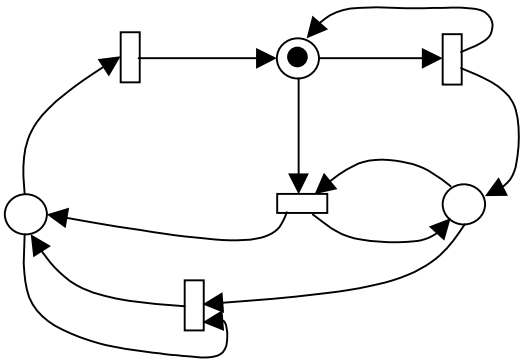
Контрольні питання

1. З яких елементів складається типова система автоматичного керування?
2. Яким чином здійснюється взаємодія контролера з об'єктом керування?
3. У чому полягають переваги використання мереж Петрі для реалізації систем керування?
4. Якими властивостями повинен володіти коректний алгоритм керування?

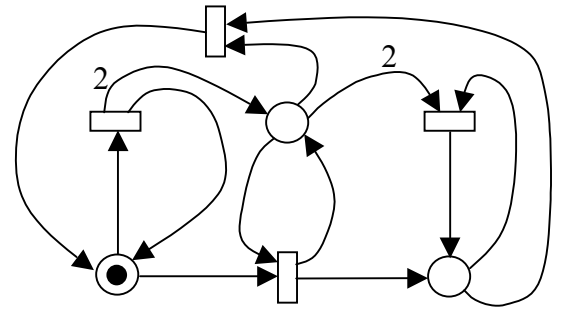
Додаток 1

Набір мереж Петрі для дослідження

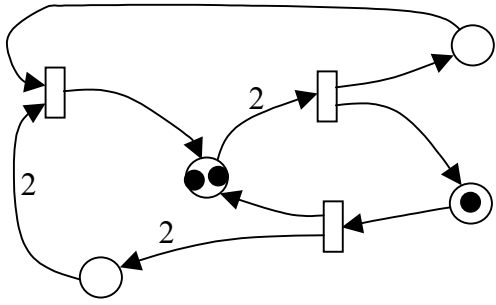
1



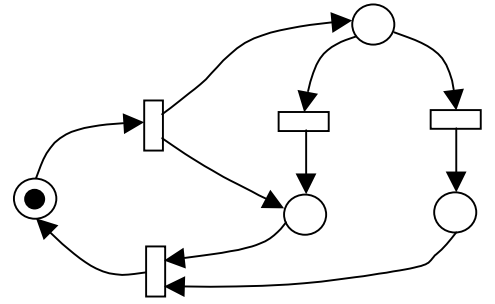
2



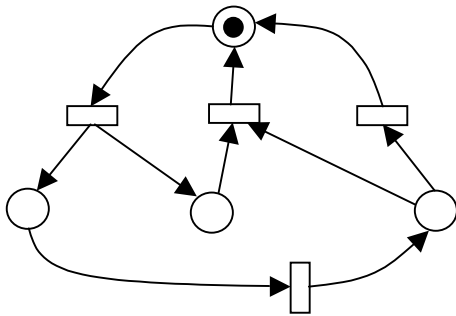
3



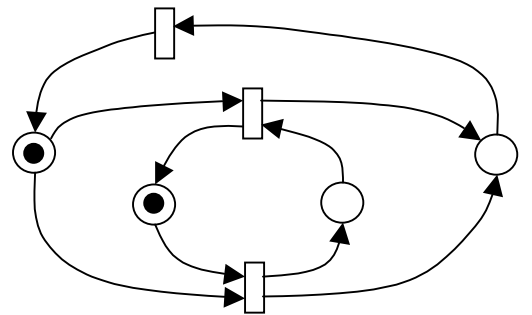
4



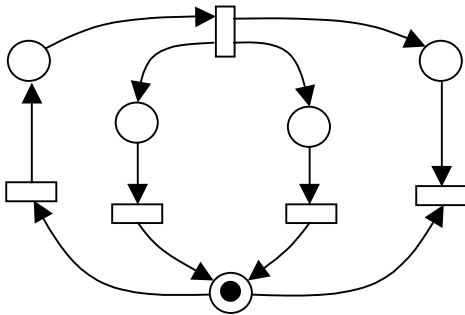
5



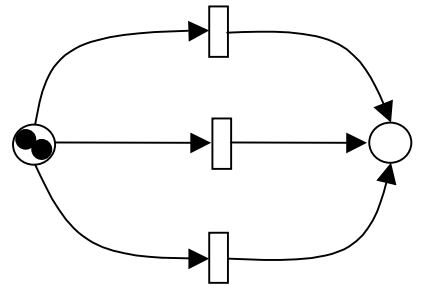
6



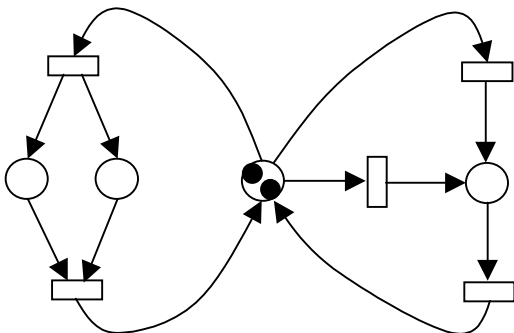
7



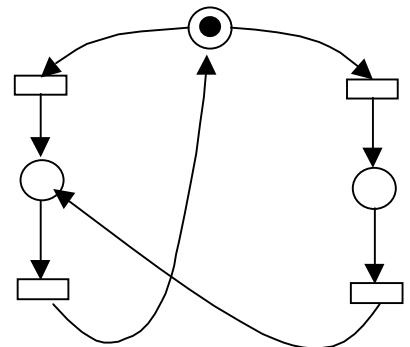
8



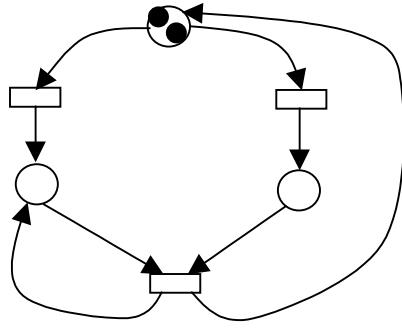
9



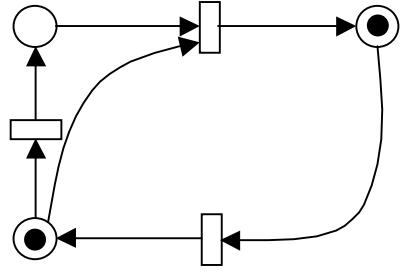
10



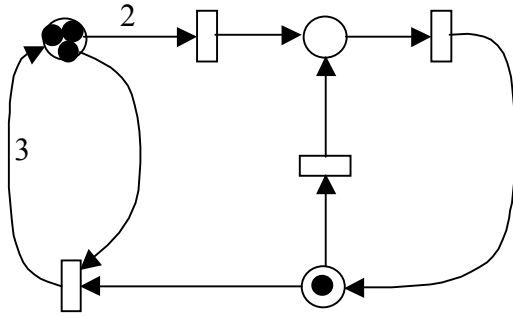
11



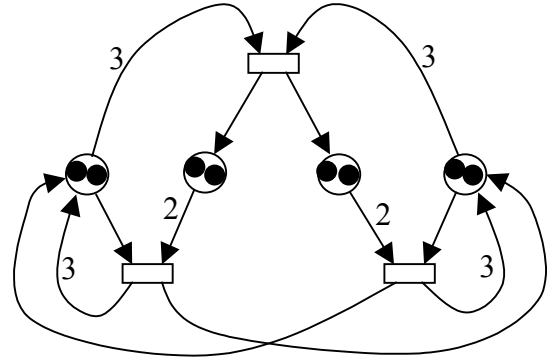
12



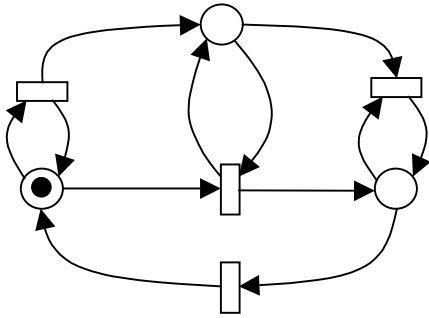
13



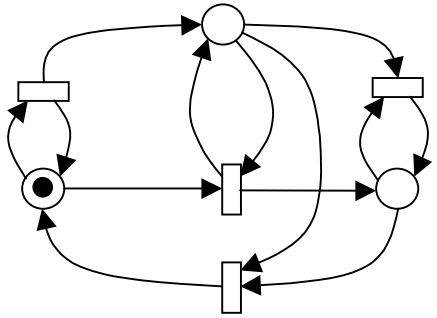
14



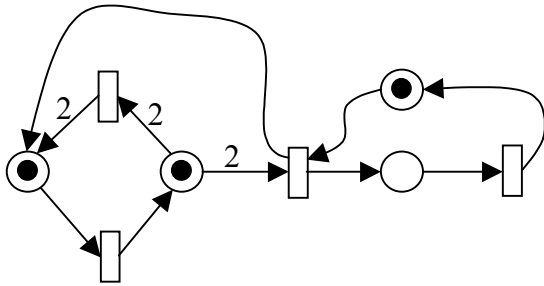
15



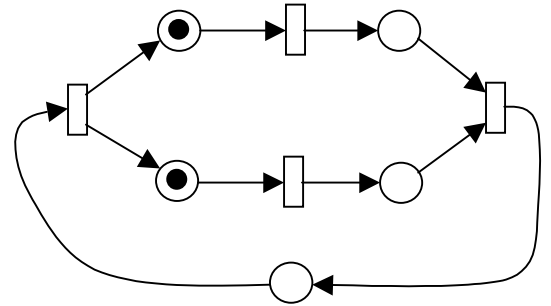
16



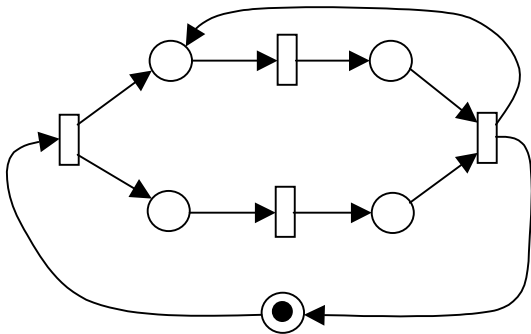
17



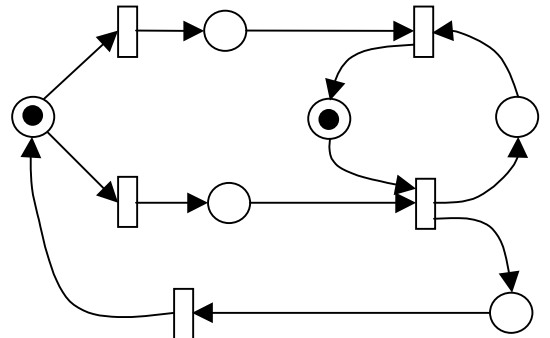
18



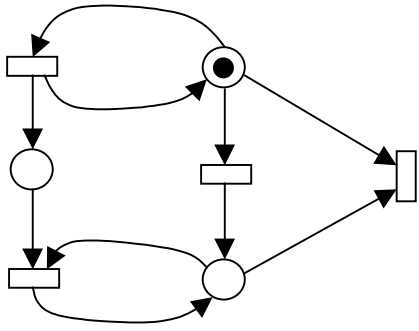
19



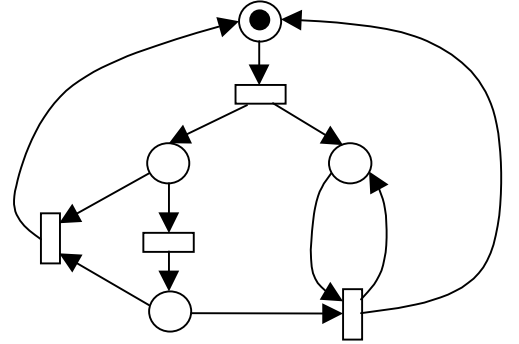
20



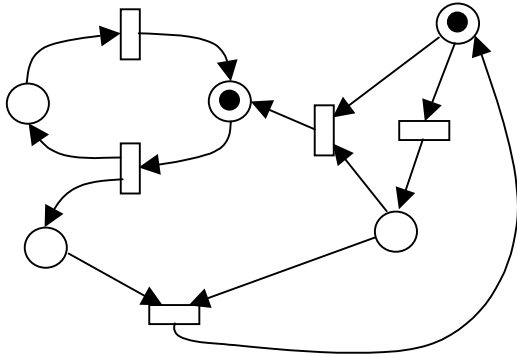
21



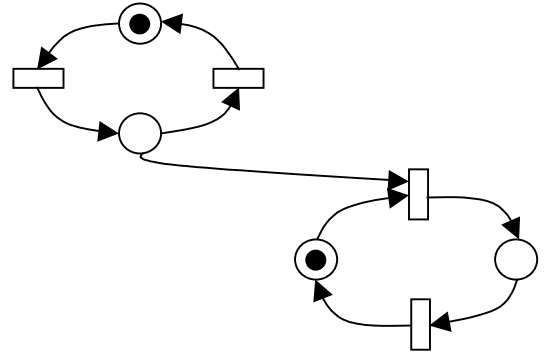
22



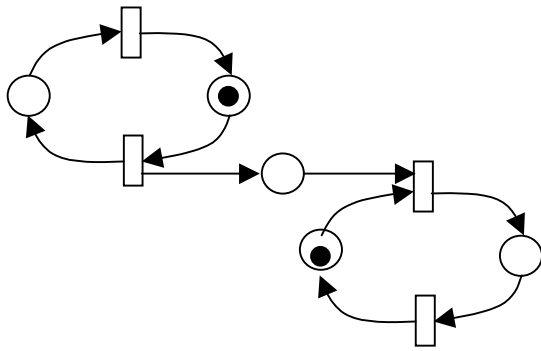
23



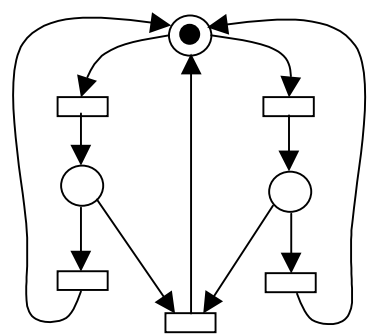
24



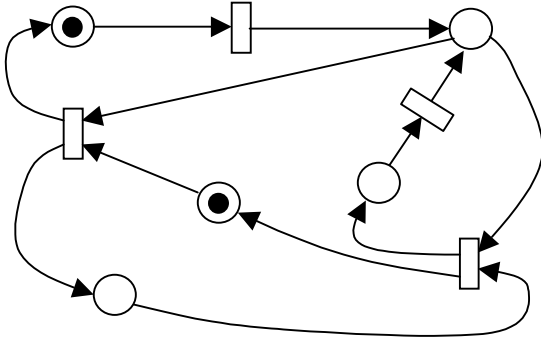
25



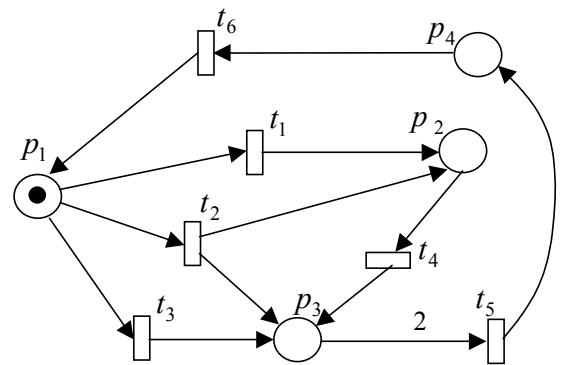
26



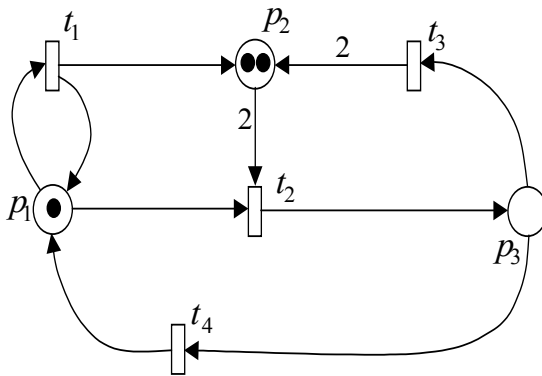
27



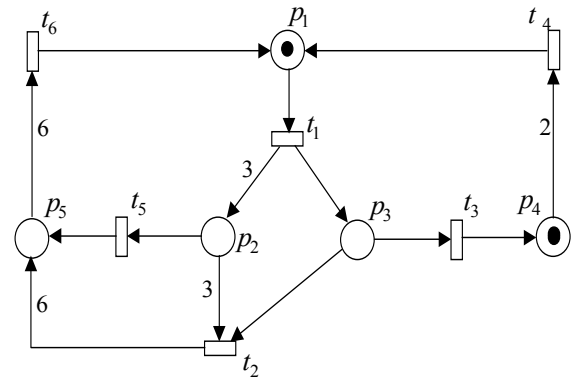
28



29



30



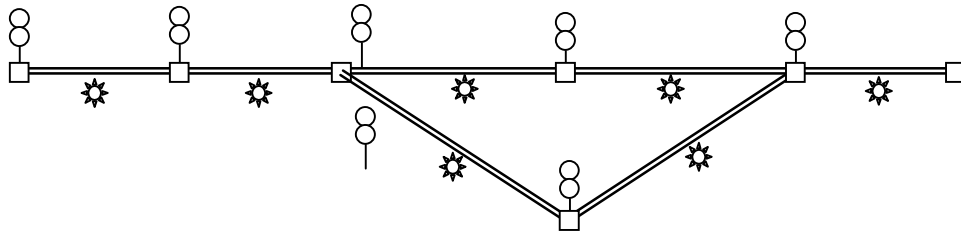
Додаток 2

Індивідуальні завдання до побудови моделей систем

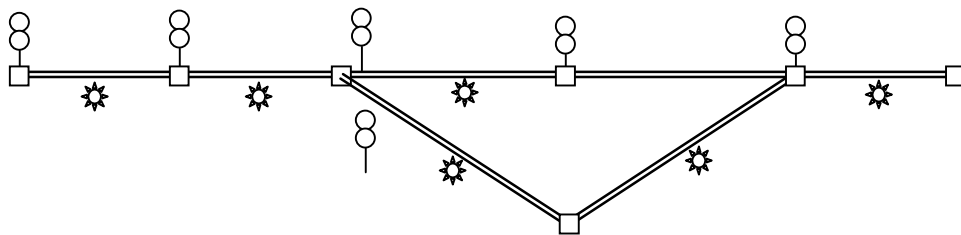
1. Задача про філософів, що обідають. П'ять філософів відпочивають у пансіонаті. Кожний з філософів може або віддаватися міркуванням, або обідати, відвідавши їдальню. У їдальні знаходиться круглий стіл, за яким є місця для кожного з філософів, п'ять тарілок, п'ять виделок, розташованих між тарілками і блюдо спагеті в центрі столу. Кожен філософ для того щоб пообідати берет одночасно дві виделки і приступає до трапези, по завершенню якої він кладе виделки на стіл і віддається міркуванню.
2. Представити задачу 1 про філософів, що обідають, для випадку, коли ліву і праву виделки беруть по черзі.
3. Представити модель задачі 2 для випадку, коли за стіл запрошують одного з філософів, не перешкоджаючи спільному поглинанню їжі обідуючими.
4. Представити модель задачі 3 для випадку, коли запрошення до столу необов'язкові до розгляду філософом.
5. Побудувати модель обслуговування процесів у комп'ютері, що має два процесора, магнітний диск і принтер.
6. Побудувати модель взаємодії трьох процесів, з яких один пише повідомлення в буфер, а інші два обробляють повідомлення і поміщають результат у вихідний буфер.
7. Представити модель задачі 6 при обмеженнях на розмір буферів.
8. Представити модель задачі 7 для довільного заданого числа пишучих і читаючих процесів.
9. Побудувати модель ліфта для чотирьохповерхового будинку. Кнопки виклику знаходяться на кожному поверсі.
10. Представити модель задачі 9 з обмеженнями на кількість пасажирів.
11. Побудувати модель задачі іспиту групою з чотирьох чоловік одному екзаменатору.
12. Побудувати модель перукарні, у якій працює три перукаря і є п'ять сидячих місць для чекання клієнтів.

13. Представити модель задачі 12 для випадку коли клієнт, якому не дісталось місце, може або очікувати стоячи, або піти непідстриженим.
14. Побудувати модель безпечного руху на ділянці залізниці, представленому на схемі. Рух однобічний. Дорога складається з перегонів зі світлофорами (!) і датчиками зайнятості (*).

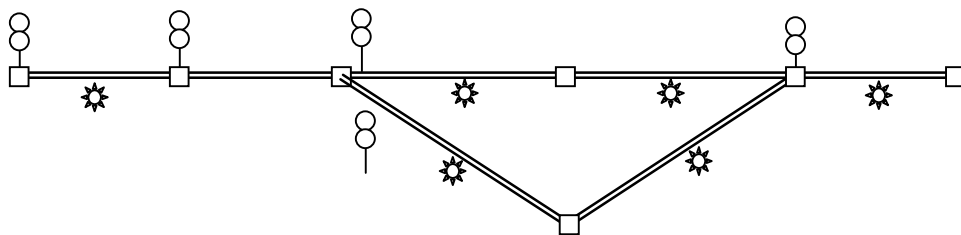
A.



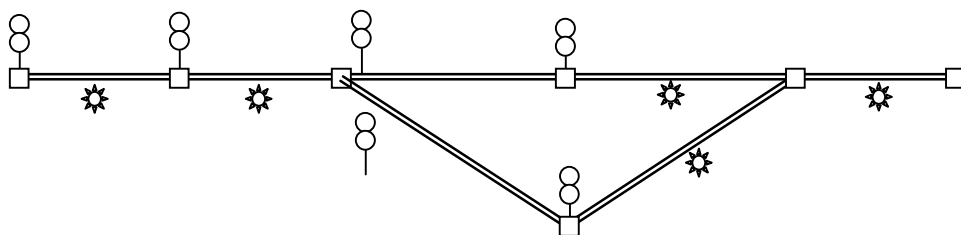
B.



C.



D.



15. Побудувати модель ядерної реакції, при якій з кожного атома, у який попадає нейтрон, виділяється при розпаді вісім нейтронів і виходить новий атом.

Додаток 3

Короткий опис використовуваних моделюючих систем

Д.3.1. Моделююча система rndpi

Pndpi – це найпростіша інструментальна система графічного введення, редагування та імітації динаміки базових мереж Петрі. Система розроблена в Донецьком політехнічному інституті і є вільно розповсюджуваною.

Pndpi має три основних групи функцій: файлові, редагування та імітації.

Файлові функції дозволяють завантажити, зберегти або очистити поточну мережу Петрі, з якою працює система.

Функції редагування дозволяють виконувати графічну інтерактивну побудову і модифікацію мережі. При цьому область побудови являє собою лист, покритий прямокутною опорною ґратою, у вузлах якої можуть знаходитися вершини мережі: позиція або перехід. Дуги, що з'єднують вершини, також проходять через вузли ґрат. Для вказівки поточного положення на листі служить графічний хрестоподібний курсор. Положення вікна змінюється при русі курсору за його границі і відображається в рядку стану у верхній частині екрана. Маркування вводяться в рядку повідомлень у нижній частині екрана і відображаються в позиціях мережі. Для зручності графічного представлення мереж забезпечується масштабування зображення.

Функції імітації включають запуск мережі в покроковому й автоматичному режимах. У покроковому режимі відображаються збуджені і спрацьовуючі переходи. При цьому можна вказати курсором або прийняти автоматичний вибір спрацьовуючого переходу. Автоматичний режим може забезпечувати візуалізацію динаміки.

Система проста в експлуатації і дозволяє освоїти основи теорії мереж Петрі, а також виконати аналіз нескладних моделей шляхом імітації їхньої динаміки.

Д.3.2. Моделююча система Tina

Tina розроблена в лабораторії LAAS у Франції. Система має убудований графічний редактор мереж, а також містить засоби автоматичної побудови рисунка по текстовому опису мережі, а також засоби для переміщення елементів мережі на рисунку, щоб унаочнити автоматично побудований рисунок.

Основною позитивною якістю системи є наявність функцій побудови дерева досяжних і дерева покриваючих маркувань, а також засобів структурного аналізу, заснованих на обчисленні інваріантів позицій і переходів мережі.

Вхідний файл мережі має тип .net та у найпростішому випадку має структуру:

```
net <petri net name>
tr <transition name> <list of input places> -> <list of output places>
...
pl <place name> (<initial marking>)
...
```

Для представлення кратних дуг після імені позиції вказують символ зірочки і кратність відповідної дуги.

Набір функцій меню Tools дозволяє побудувати дерево досяжних і дерево покриваючих маркувань. І хоча дерева представлені в текстовій формі шляхом перерахування досяжних (покриваючих) маркувань і дуг, система виконує автоматичний аналіз ємнісних властивостей за побудованим деревом.

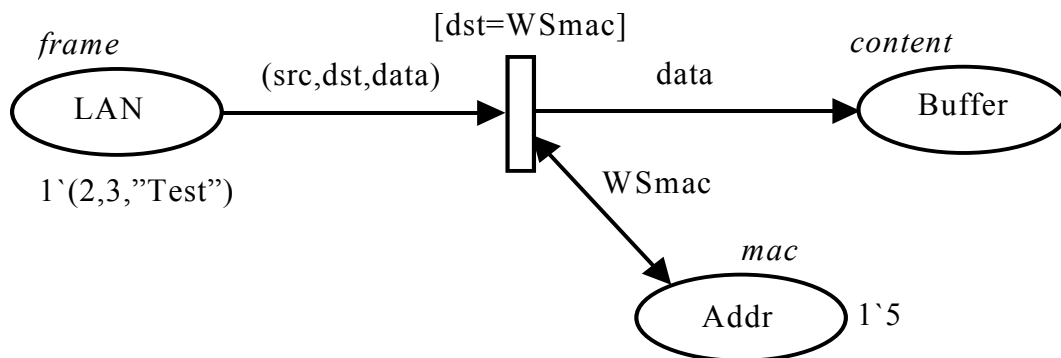
Структурний аналіз мережі виконується шляхом побудови і дослідження інваріантів позицій і переходів.

Д.3.3. Моделююча система Design/CPN

Design/CPN розроблена в університеті Орхуса (Данія). Система функціонує в середовищі ОС Unix і дозволяє будувати і досліджувати детальні моделі реальних об'єктів, що містять сотні тисяч елементів. Design/CPN застосовано в десятках промислових проектах, найбільш відомими з яких є проектування інтелектуальних мереж Deutsche Telekom, проектування системи керування мережею в RC International A/S, проектування архітектури нових мобільних телефонів Nokia, розробка системи безпеки і контролю доступу Dalcotech A/S, планування операцій у військово-повітряних силах США. Ліцензія на використання системи Design/CPN у навчальних і дослідницьких проектах надана університетом Орхуса Одеській національній академії зв'язку.

Система Design/CPN містить у собі графічний редактор моделей, компілятор мови ML, модуль імітації і модуль аналізу. Модель представлена розфарбованою часовою ієрархічною мережею Петрі. Надаються засоби конструювання складної моделі, що займає декілька аркушів, за допомогою ієрархічної схеми, а також засобу зображення додаткових графічних і текстових елементів для підвищення наочності. Мова ML призначена для опису характеристик елементів мережі.

У системі Design/CPN елементи мережі крім індивідуальних імен мають наступні характеристики: позиція – тип даних збережених фішок; вхідна дуга переходу – шаблон для вибору вхідних фішок; перехід – умова порушення у формі предиката; вихідна дуга – шаблон для формування вихідних фішок. Далі зображений фрагмент мережі, що представляє процес вибору фреймів, спрямованих до робочої станції з зазначеною адресою.



```

color mac = int;
color content = string;
color frame = product mac * mac * content;
var src, dst, WSmac : mac;
  
```

var data : content;

Для простоти представлення адреси робочих станцій використані цілі числа; передані дані представлені символьними рядками. Фрейм складається з адреси відправника, адреси одержувача і даних. Виконується перевірка адреси і, у випадку збігу, дані переміщуються в буфер. Наявність фішок у позиції представлена мультімногою, де числом задається кратність, а потім надається опис фішки. Традиційно типи даних у системі звуться кольорами (color).

Часові характеристики задаються за допомогою виразів виду $@+Delay$, де значення *Delay* визначає часову затримку. У найпростішому випадку часові затримки можуть бути зіставлені переходам мережі. У більш складних ситуаціях затримуються індивідуальні фішки, у цьому випадку час указується на вихідних дугах.

Для побудови ієрархічних мереж використовується підстановка переходу, при якій перехід мережі замінюється деякою мережею, а також об'єднання позицій, що дозволяє конструювати модель із фрагментів, розташованих на різних аркушах.

Список рекомендованої літератури

3. Зайцев Д.А. Математичні моделі дискретних систем: Навчальний посібник // Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2004. – 40 с.
4. Математичні основи теорії телекомунікаційних систем / Підручник за загальною редакцією В.В. Поповського. – Харків, ТОВ «Компанія СМІТ», 2006. – 564 с.
5. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем. – М. Мир, 1984. – 264 с.
6. Котов В.Е. Сети Петри. – М.: Наука, 1984. – 160 с.
7. Ачасова С.М., Бандман О.Л. Корректность параллельных вычислительных процессов. – Н.: Наука, 1990. – 253 с.
8. Слепцов А.И., Юрасов А.А. Автоматизация проектирования управляющих систем гибких автоматизированных производств / Под ред. Б.Н.Малиновского. – К.: Техніка, 1986. – 160 с.