

УДК 04.057.4

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ІНФОРМАЦІЙНОГО ОБМІНУ НА БАЗІ МЕРЕЖНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ЗІ ЗМІННИМ РОЗМІРОМ МЕРЕЖНОЇ АДРЕСИ



[К.Д. Гуляєв](#)

Інститут телекомунікацій та глобального інформаційного простору НАН України

[В.А. Каптур](#), [О.В. Степаненко](#)

Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова

Abstract – It is shown that one of the addressing methods optimization used in small, closed networks, is the use of the variable size addresses. This article contains the process of information exchange simulation in the network, that uses EX addressing system by Petri Nets tools. EX technology involves the use of protocol overhead transport, network and datalink layers composed to single EX header. Previously developed components for networks with fixed size network address (for the E6 technology) are used as a basis for new simulation model. In developing considered three possible scenarios (based on EX technology features): the use of addresses of less than 6 bytes, 6 bytes, or more than 6 bytes. For the distribution of the address space used technology similar to Variable Length Subnet Mask (VLSM) technology. The core of the developed model is the model of EX switching device that performs the functions of switching and routing, as well as the model of the terminal network. Article contains a complete description of data types, variables, and functions, as well as the detailed algorithms of the model's components in different situations. It is shown that the use of various lengths EX addressing is possible under similar circumstances, provided the use of VLSM technology. Designed components of simulation model can be used for further research of the information transmission processes in the EX-networks.

Анотація – Показано що, одним з методів оптимізації систем адресації, що використовуються в невеликих, замкнутих мережах є застосування адрес змінної довжини. За допомогою інструментарію мереж Петрі проведено імітаційне моделювання процесу інформаційного обміну в мережі, що використовує технологію EX, що передбачає використання службової інформації протоколів транспортного, мережного та каналного рівнів у складі єдиного EX заголовку. Показано, що використання адресації різної довжини є можливим за схожих обставин при умові використання маски змінної довжини.

Анотация – Показано, что одним из методов оптимизации систем адресации, использующихся в небольших, замкнутых сетях, является применение адресов переменного размера. При помощи инструментария сетей Петри приведено имитационное моделирование процесса информационного обмена в сети, использующей технологию EX, предполагающую использование служебной информации протоколов транспортного, сетевого и канального уровней в составе единого EX заголовка. Показано, что использование адресации EX различной длины является возможным при сходных обстоятельствах при условии использования технологии маски сменной длины.

Вступ

Уніфікація технологій, що спостерігається сьогодні на мережах всіх рівнів, призводить до того, що більшість винаходів останніх десятиріч залишається рудиментарними, тобто такими, що підтримуються лише для забезпечення сумісності між мережами різних власників. На тлі стрімкого зростання популярності технології Ethernet яскравим прикладом такої рудиментарності стає неадекватність систем адресації, що використовуються сьогодні в телекомунікаційних мережах, при побудові замкнутих інфокомунікаційних систем. Так, наприклад, використання технології IPv4 разом із технологією Ethernet передбачає виділення на адресацію кожного вузла

10 байт (4 байти на адресу мережного рівня і 6 байт канального), навіть якщо мова йде про мережу, що складається лише з сотні вузлів, кожен з яких взаємодіє із зовнішніми телекомунікаційними мережами лише через певний шлях.

Для вирішення цієї проблеми вченими-дослідниками було запропоновано декілька різноманітних шляхів, таких як використання принципу ієрархічної адресації [1], відмови від протоколів третього рівня [2] тощо. Однак більшість зазначених технологій сьогодні залишається лише в теорії або мають суттєві обмеження (наприклад, використання адрес фіксованого розміру). Логічним продовженням досліджень з підвищення ефективності використання адресного простору в конкретних умовах виступила концепція технології «ЕХ», що передбачає використання службової інформації протоколів транспортного, мережного та канального рівнів у складі єдиного ЕХ заголовку, в якому для мережевої адресації вузлів відведено змінну кількість байт [3-5].

Однак подальший розвиток технології потребує ретельної перевірки працездатності концепції та фізичної можливості використання адрес різної довжини за схожих умов, що можливо лише шляхом дослідження спеціальних імітаційних моделей. Метою роботи є розробка імітаційної моделі мережі, що побудована з використанням технології із змінним розміром мережної адреси, та перевірка можливості використання адреси змінного розміру в умовах імітації реальної роботи мережі.

I. Опис мережі, що моделюється

Під час попередніх досліджень було розроблено моделі компонентів мереж із фіксованим розміром мережної адреси (Е6-мереж) за допомогою часових розфарбованих мереж Петрі [6], серед яких слід виділити моделі комутуючих маршрутизаторів, які включають в себе 4 мережні інтерфейси, а також моделі термінальних мереж для формування запитів і отримання відповідей. Розвитком цієї ідеї стала розробка моделі мережі Е6, яка підтримувала модифікацію протоколу маршрутизації RIP, що дозволило спростити процес реалізації протоколу.

З цієї точки зору, найбільш доцільним шляхом розробки загальної моделі, а також моделей комутаторів і термінальних ЕХ мереж, є використання створених раніше компонентів. При цьому створювана модель має реалізовувати декілька різноманітних випадків роботи ЕХ-мережі. Для моделювання було обрано спрощену схему типової розподіленої корпоративної мережі, що складається з трьох відділень, які пов'язані між собою за допомогою технологій WAN-мереж. Загальний вигляд мережі, що моделюється, представлено на рис. 1. Основою такої мережі є комутуючі ЕХ пристрої. Кожен з них представляє собою комутатор і маршрутизатор в одному пристрої, так як кожний з таких пристроїв формує як записи до таблиці комутації про індивідуальні абонентські пристрої, що підключено до його портів, так і записи в таблиці маршрутизації про віддалені мережі, до яких можна отримати доступ через сусідні ЕХ комутатори. Такі записи в таблиці маршрутизації пов'язують між собою адресу віддаленої мережі, її маску, номер вихідного інтерфейсу ЕХ комутатора і метрику (відстань до віддалених мереж).

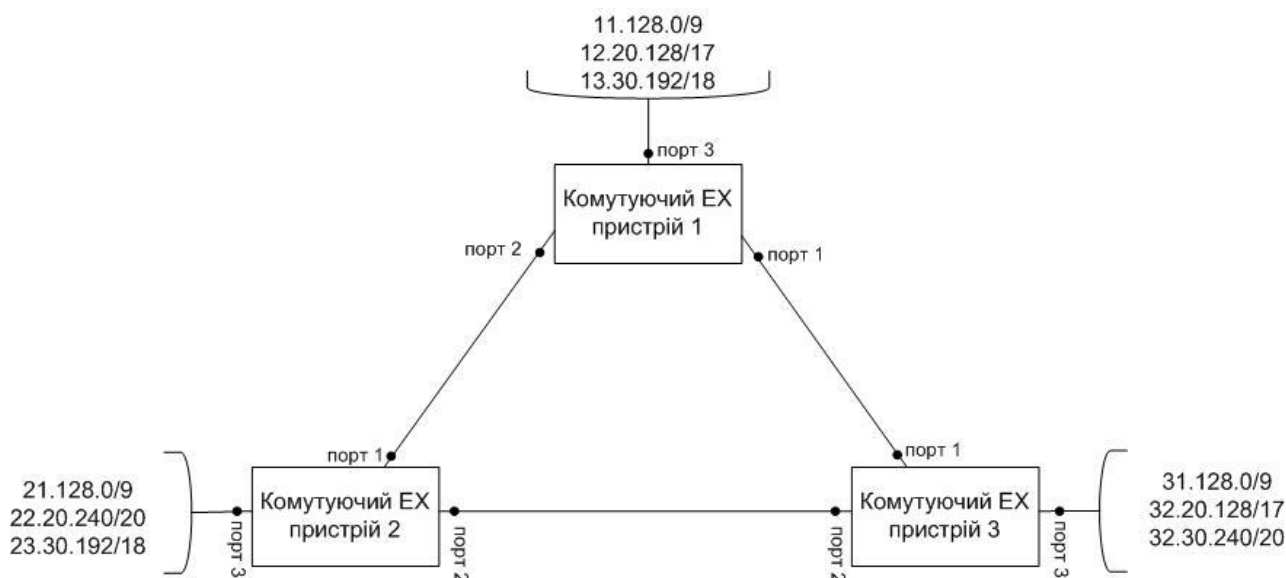


Рис. 1. Візуальне представлення корпоративної мережі, що моделюється

Для побудови імітаційних моделей було обрано три різних довжини адреси абонентського терміналу (для Ethernet-мереж):

- адреса, що збігається за довжиною із стандартною MAC-адресою і дорівнює 6 байт;
- адреса, що є меншою за довжину стандартної MAC-адреси, для цього випадку була обрана довжина 3 байти;
- адреса, що є більшою за довжину стандартної MAC-адреси, для цього випадку була обрана довжина 9 байт.

На рис. 1 використано довжину адрес розміром 3 байти, а також загальноприйняті принципи позначення адрес протоколу мережного рівня IPv4: кожний байт адреси позначається окремим числом, байти між собою розділяються крапками, після адреси використовується позначення маски (префіксу), що відповідає кількості виділених бітів на адресу мережі або підмережі з загального розміру адреси. Для розподілу адресного простору використовувалась технологія, аналогічна до технології маски змінної довжини (Variable Length Subnet Mask, VLSM), внаслідок чого можна було задати будь-яку довжину мереж або підмереж в розглянутих випадках. Аналогічним чином були сформовані мережі для випадків, коли було обрано адресу довжиною 6 байт і 9 байт відповідно.

II. Імітаційна модель мережі

Модель сформованої мережі, що зображено на рис. 2, являє собою перший рівень ієрархії мережі Петрі [7].

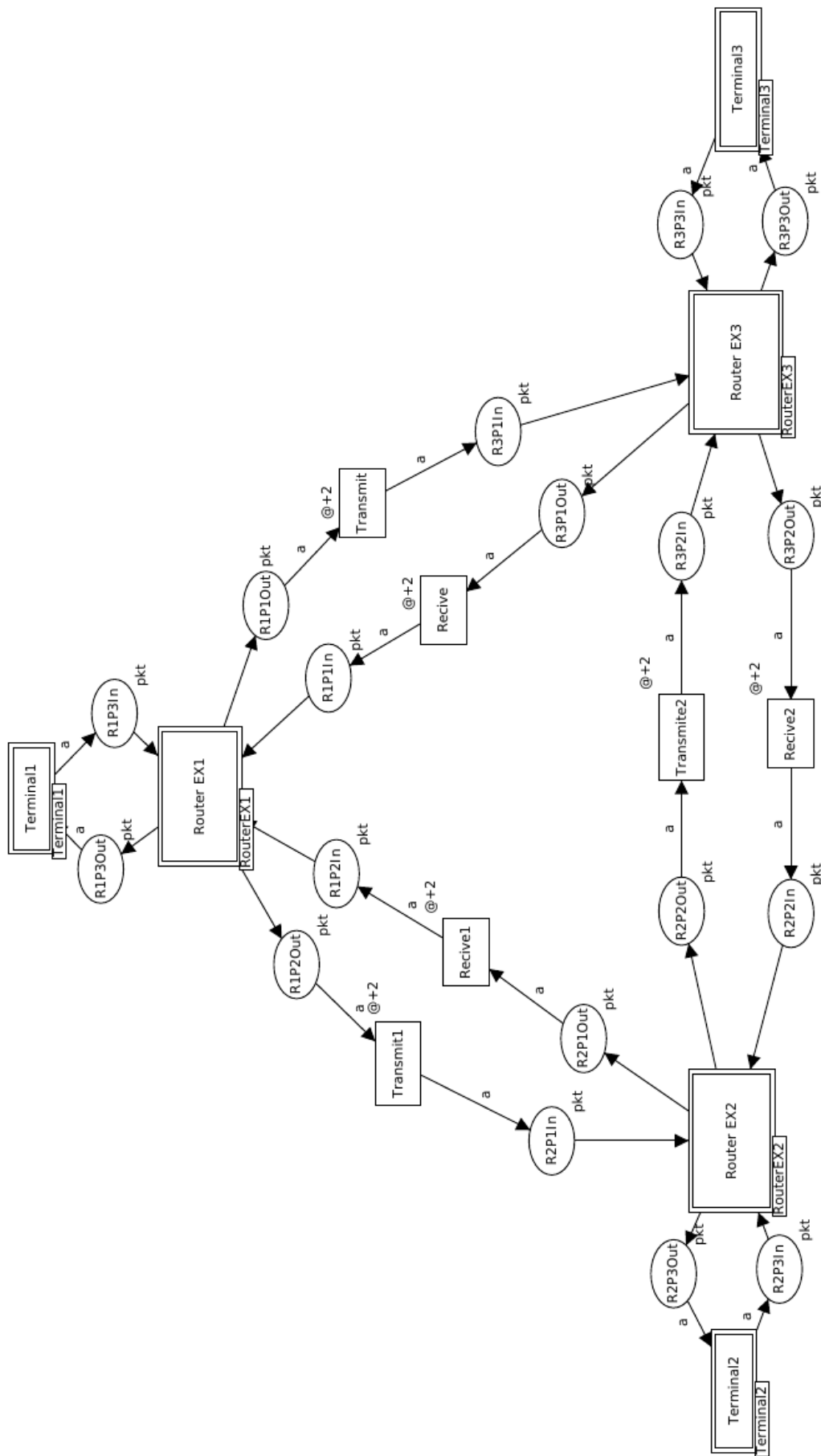


Рис. 2. Загальний вигляд моделі головної сторінки EX мережі

Переходи, що позначають собою комутуючі ЕХ пристрої (переходи з позначкою «Router»), а також переходи, що позначають собою термінальні мережі (переходи з позначкою «Terminal»), представлено другим рівнем ієрархії мережі Петрі і являють собою додаткові моделі. Таким чином, загальний вигляд імітаційної моделі є візуально схожим на мережу, що моделюється.

Позиції типу R_iP_jIn , а також R_iP_jOut відповідають входам і виходам мережних інтерфейсів комутуючих ЕХ пристроїв, де: i – номер комутуючого ЕХ пристрою; j – номер інтерфейсу у кожного з комутуючих пристроїв. Переходи з назвами типу «Transmit» і «Receive» відповідають прямим і зворотним каналам передавання інформації між комутуючими ЕХ пристроями.

Всі описання типів даних (*color*), змінних (*var*) і функцій (*fun*), що використовуються в моделі, представлено на рис. 3. В даному випадку представлено опис для мережі, що використовує адреси довжиною 3 байти.

```
colset ex3=product INT*INT*INT timed;
var i,c,k:INT;
colset mask=INT;
colset nwt=product ex3*mask timed;
var q:nwt;
colset b=INT timed;
colset pkt=record ex3src:ex3*ex3dst:ex3*data:b timed;
colset rtr=record nw:nwt *port:INT*metric:INT timed;
var r:rtr;
var p,src,dst:ex3;
var a:pkt ;
colset buf=product pkt*INT;
fun pow(x,0)=1 | pow(x,y)=pow(x,y-1)*x;
var tr:buf;
var v:INT;
fun sameNW3(a1:ex3,a2:ex3,m:INT)
fun gene3(q:nwt)
val numpkt=1000;
val DTsrc=50;
val DTdst=200;
colset prtn=INT;
var prt : prtn;
```

Рис. 3. Описання типів, змінних і функцій

Мережні адреси відправника або одержувача в ЕХ мережі **ex3** представлені переліком цілих чисел (по одному числу на кожен байт адреси). Інформаційний пакет **pkt**

представлено поєднанням адреси відправника **ex3src**, адреси одержувача **ex3dst**, а також дані додаткового поля, що моделює корисне навантаження. Від інших полів пакету (на даному етапі моделювання) було прийнято рішення абстрагуватися, тому що вони не впливають на вирішення поставленої задачі. Запис до таблиці маршрутизації комутуючого EX пристрою сформовано як поєднання інформації про віддалену мережу **nw**, вихідний порт пристрою **port** і відстань до віддаленої мережі **metric**. Тип **buf** відповідає за записи пакетів в буфері комутуючого EX пристрою, які складаються з пов'язаних між собою пакета **pkt**, що необхідно ретранслювати, і представленого цілим числом номера вихідного інтерфейсу, через який буде відправлено пакет по шляху до одержувача.

Функція **sameNW3** використовується для проведення рекурсивного пошуку мережі призначення пакету з таблиці маршрутизації комутуючого EX пристрою. Функція **gene3** призначається для формування випадкової адреси відправника і одержувача, використовується в момент формування пакету в термінальній мережі. Таким чином забезпечується рівномірна ймовірність формування будь-якої адреси відправника або одержувача з переліку наявних мереж.

III. Модель комутуючого EX пристрою

Основою моделі комутуючого EX пристрою виступає мережний інтерфейс, що зображено на рис. 4. Модель комутуючого EX пристрою складається в даному випадку з трьох з'єднаних між собою моделей інтерфейсів.

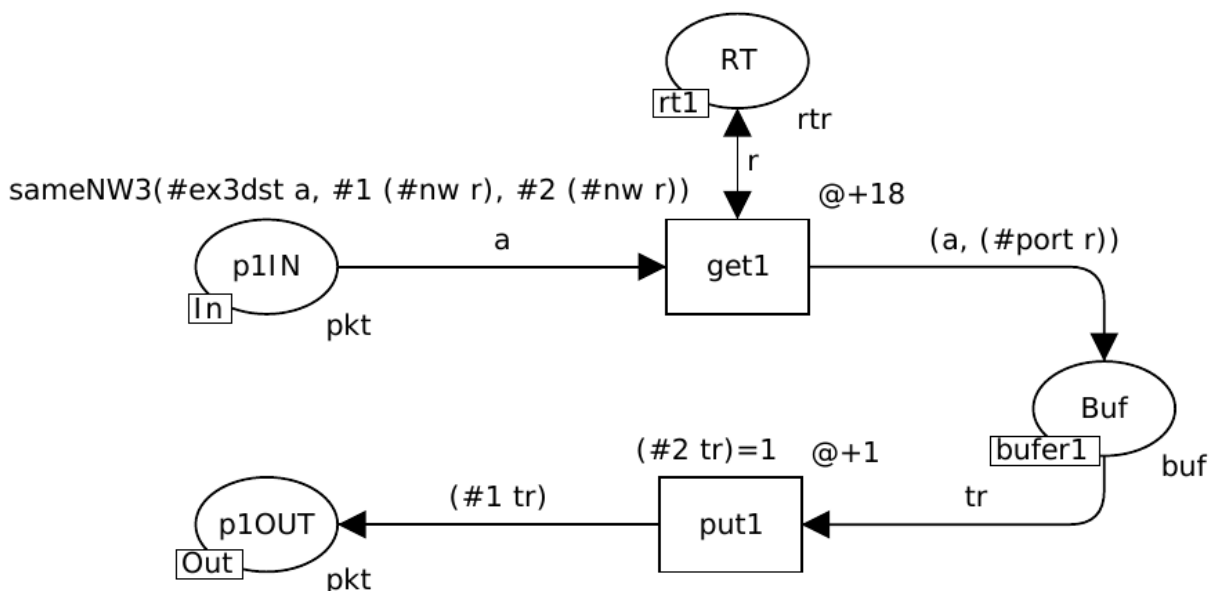


Рис. 4. Модель інтерфейсу комутуючого EX пристрою

Основним принципом поєднання між собою декількох інтерфейсів в один пристрій є злиття позицій з назвою **RT** до єдиної позиції, а також злиття позицій з назвою **BUF** до єдиної позиції. Позиція **RT** являє собою сховище, в якому зберігаються

записи таблиці маршрутизації комутуючого ЕХ пристрою. Позиція **BUF** є єдиним буфером проміжного зберігання ЕХ кадрів, що очікують перенаправлення на вихідний інтерфейс пристрою. Динамічні елементи (фішки) або записи, що зберігаються в цій позиції, являють собою поєднання ЕХ кадру і номера вихідного інтерфейсу, через який необхідно відправити кадр у бік кінцевого одержувача.

Позиція **RT** має початкові маркування, що являють собою динамічні елементи, які відповідають записам таблиці маршрутизації. Наприклад таблиця маршрутизації комутуючого ЕХ пристрою №2 для моделі мережі, в якій використана довжина адреси 3 байти, має наступний вигляд:

```
1`{nw=((11,128,0),9),port=1,metric=1}++  
1`{nw=((12,20,128),17),port=1,metric=1}++  
1`{nw=((13,30,192),18),port=1,metric=1}++  
1`{nw=((21,128,0),9),port=3,metric=0}++  
1`{nw=((22,20,240),20),port=3,metric=0}++  
1`{nw=((23,30,192),18),port=3,metric=0}++  
1`{nw=((31,128,0),9),port=2,metric=1}++  
1`{nw=((32,20,128),17),port=2,metric=1}++  
1`{nw=((32,30,240),20),port=2,metric=1}
```

IV. Модель термінальної мережі

Модель термінальної мережі, що використовується при імітаційному моделюванні, майже повністю збігається з моделлю, запропонованою в [6, 7]. Основною відмінністю є зміна початкового маркування, яке відповідає за перелік власних і віддалених мереж. Загальний вигляд моделі, що використовує адресацію довжиною 3 байти, представлено на рис. 5. До основних завдань, що виконує модель термінальної мережі, слід віднести формування нових запитів до інших термінальних мереж з випадковими адресами відправника і одержувача, а також отримання і зберігання кількості пакетів, що надійшли до термінальної мережі у відповідь на надіслані запити.

Висновки та результати імітаційного моделювання

Результати покрокового трасування розроблених моделей показали їх цілковиту коректність. Для обчислення кількості коректно доставлених ЕХ кадрів було використано суміщені позиції термінальних мереж під назвою **Traffic**. Для кожної з термінальних мереж було встановлено ліміт кількості кадрів, що відправляються до ЕХ мережі, у розмірі 1000 одиниць (вказаний параметр задавався початковим маркуванням константи **1`numpkt**). В результаті імітаційного моделювання модель зробила 42003 кроки та зупинилась у кінцевому стані (жодного переходу не збуджено). Значення позиції **Traffic** склало 3000, що відповідає коректній роботі використаних схем адресації ЕХ та відповідних алгоритмів доставки ЕХ фреймів. Результати також було перевірено на довгих інтервалах часу декілька разів, що забезпечило статистичне підтвердження отриманих результатів.

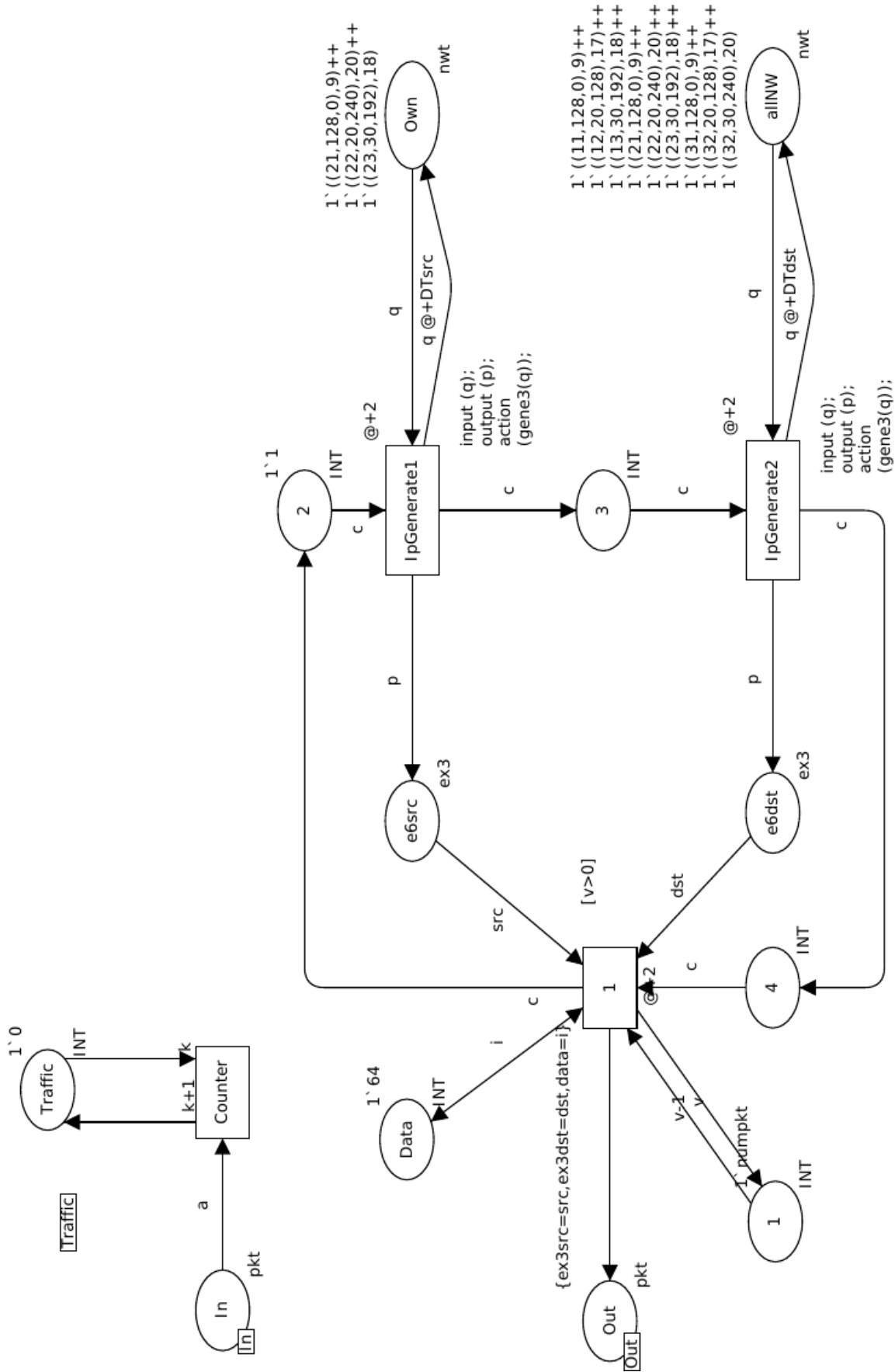


Рис. 5. Модель термінальної мережі

Отримані результати імітаційного моделювання підтвердили можливість використання адрес змінного розміру в реальних телекомунікаційних мережах, що підтверджує працездатність концепції ЕХ мереж.

Серед основних напрямків подальшого використання проведених досліджень можна виділити розрахунок ефективності технології ЕХ, а також перевірку можливості взаємодії протоколів більш високих рівнів на її базі.

Список літератури:

1. *Воробієнко П.П.* Спосіб адаптивної адресації вузлів телекомунікаційних пакетних мереж / П.П. Воробієнко, В.І. Тіхонов // Патент на корисну модель № 46477. – Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на винаходи 25.12.2009.
2. *Воробієнко П.П.* Спосіб передачі даних в мережі із заміщенням мережного та транспортного рівнів універсальною технологією каналного рівня / П.П. Воробієнко, Д.А. Зайцев, К.Д. Гуляєв // Патент на корисну модель № 35773. – Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на винаходи 10.10.2008.
3. *Довгий С.О., Воробієнко П.П., Гуляєв К.Д.* та ін. Сучасні телекомунікації: мережі, технології, послуги, економіка, управління, регулювання. Видання друге (доповнене) / Під загальною ред. С.О. Довгого. – К.: Азимут-Україна, 2013. – 608 с.
4. *Гуляєв К.Д.* Адаптивний протокол передавання інформації в Ethernet мережах // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – 2013. – №1. – С. 110–113.
5. *Гуляєв К.Д.* Стек протоколів системи адресації із змінним розміром мережної адреси // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – 2012. – №2. – С. 74 – 76
6. *Simulating E6 protocol networks using CPN Tools: (Proc. of International Conference on IT Promotion in Asia, August 22-26, 2008, Tashkent (Uzbekistan))* [Електронний ресурс] / Guliayev K.D, Zaitsev D.A., Litvin D.A., Radchenko E.V. – Режим доступу до ресурсу: <http://daze.ho.ua/e6tashkent.pdf>.
7. *Zaitsev D.A.* Clans of Petri Nets: Verification of protocols and performance evaluation of networks. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013. – 292 p.