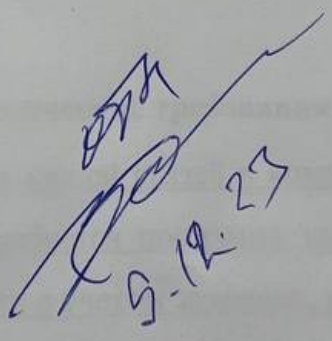
Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Пензенский государственный университет
Кафедра «Вычислительная техника»

ПОЯСИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

К курсовому проекту

по дисциплине «Методы моделирования»

на тему «Моделирование системы коммуникаций вычислительной сети»



Выполнил студент группы 21ВВП1
Митрошин А.Д.

Проверили:
д.т.н., профессор, Зинкин С.А.
к.т.н., Федюнин Р.Н.

Пенза 2023

ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Объем работы по курсу

1. Расчетная часть

Моделирование на C++, GPSS WORLD и/или PIPE. Требуется построить и отладить имитационную модель системы коммуникаций с передачей пакетов. Определить задержки в передаче пакетов, загрузку каналов связи. Собрать статистические данные о работе сети

2. Графическая часть

2.1 Структура моделируемой системы

2.2 Алгоритм моделирования

2.3 Результаты моделирования: гистограммы, графики и т.д.

3. Экспериментальная часть

Машинные эксперименты с моделью на C++, PIPE, GPSS WORLD. Сбор статистических данных о работе сети.

4. Этапы выполнения проекта

1 По графику учебного процесса

2

3

4

5

6

7

8

Дата выдачи задания 11 сентября 2023 г.

Дата защиты проекта: по графику учебного процесс

Руководитель Федюнин Р.Н. /_____/

Задание получил “ 11 ” сентября 2023 г.

Студент Мирошин А.Д. /_____/

Содержание

Введение.....5
Графическая часть.....6
Реализация алгоритма на языке *GPSS World*.....7
Расчетная часть.....9
Тестирование *GPSS*-модели сети.....10
Заключение.....17
Список используемой литературы.....18
Приложение А. Код программы на языке *GPSS World*.....19
Приложение Б. Полный отчет результата моделирования на GPSS.....22

Введение

Цель данной курсовой работы заключается в создании модели для передачи сообщений в глобальной сети с использованием языка моделирования GPSS World и программного продукта PIPE, основанного на сетях Петри. С помощью операторов языка GPSS будет выполнено моделирование передачи данных в этой сети, учитывая задержки при передаче пакетов данных по каналам связи, и получены подробные результаты моделирования.

В современной IT-сфере моделирование стало одним из основных процессов при разработке любого продукта. Оно охватывает множество областей жизни и применяется для различных исследований. Исследователю важно изучать объекты познания на их моделях, составлять и исследовать модели объектов, которые реально существуют. Важными также являются процессы и явления, изучение которых направлено на объяснение или предсказание определенных явлений. Именно для этих целей и применяется моделирование.

Модель представляет собой систему, которая используется для получения информации о другой системе. Модель также может быть рассмотрена как представление реального процесса, концепции или устройства.

Графическая часть

Согласно варианту задания №11 по заданному рисунку была построена сеть коммуникаций (рис. 1).

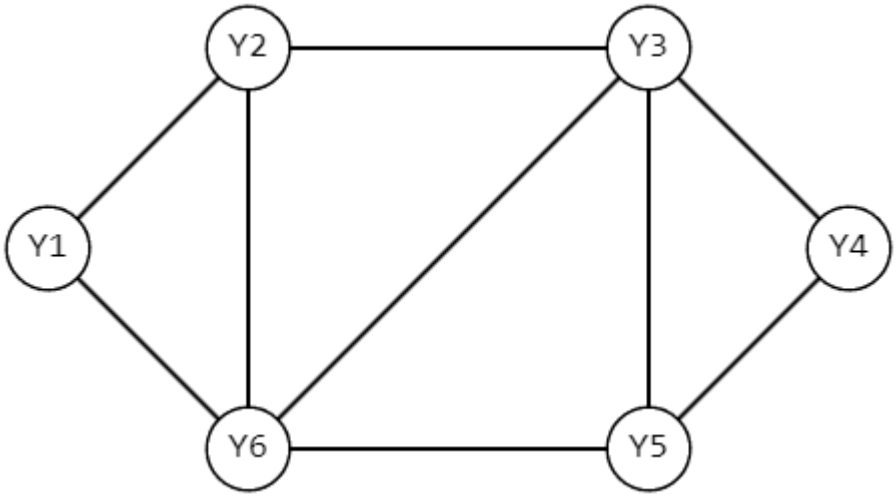


Рисунок 1 Сеть коммуникаций

В сети представлено шесть узлов компьютерной сети: Y1, Y2, Y3, Y4, Y5, Y6 и восемь каналов передачи данных: K12, K26, K65, K34, K45, K56. Узлы компьютерной сети – это компьютеры, между которыми будут передаваться пакеты.

На основе полученной сети коммуникаций определено два маршрута передачи пакетов (рис. 2).

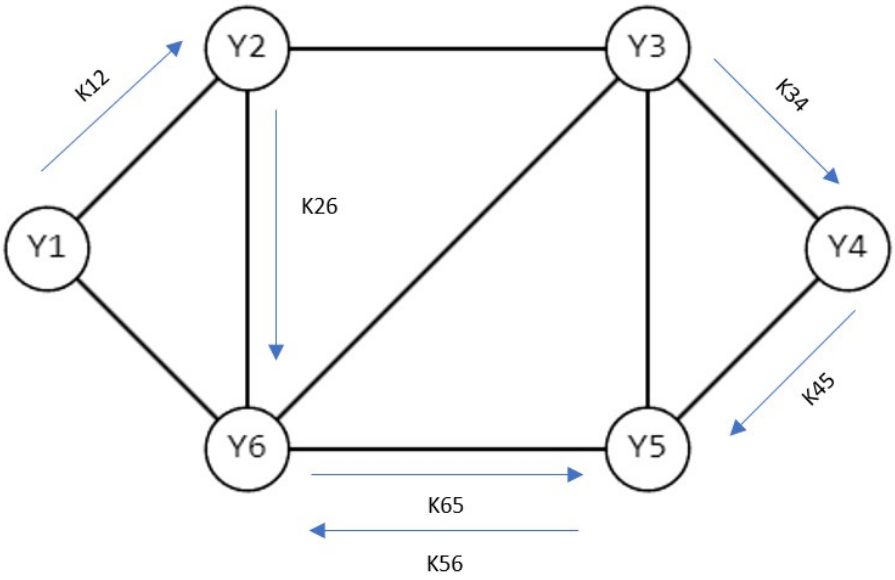


Рисунок 2. Маршруты

Реализация алгоритма на языке *GPSS World*

Имитация передачи пакетов через канал передачи данных производится следующим образом.

Объявим четыре функции *NUM1*, *NUM2*, *NPACK1*: первые две функции отвечают за выбор узла в 1-м и 2-м маршрутах (соответственно), куда будут направляться пакеты. Выбор того или иного узла определяется случайным образом с вероятностью 0.33, 0.66, 1 для первого маршрута, а также 0.25, 0.5, 0.75, 1 для второго.

Функции *NPACK1* выполняет разбиение сообщения на 2, 4 или 8 пакетов с вероятностью 0.33, 0.66, 1.0 соответственно.

```
; GLOBAL NETWORK
NUM1 FUNCTION RN1,D3
.33,2/.66,3/1.,4
NUM2 FUNCTION RN3,D4
.25,6/.5,3/.75,4/1.0,5
NPACK1 FUNCTION RN2,D3
.33,2/.66,4/1.,8

    GENERATE  5000,1000
    ASSIGN    1,FN$NUM1
    ASSIGN    2,FN$NPACK1
    SPLIT     P2,MET1
    TERMINATE
```

Рассмотрим реализацию передачи пакетов, взяв в качестве примера узел Y1, Y2 и канал связи K12:

```
; путь y1-k12-y2
MET1  GATE NU   y1
      GATE NU      k12
```

```
GATE NU      y2
TRANSFER   SIM,,MET1
SEIZE y1
SEIZE k12
SEIZE y2
ADVANCE    250
RELEASE      y2
RELEASE      k12
RELEASE      y1
TEST NE      P1,2,ASM2
```

Используем блок *GATE* с режимом работы *NU*, который проверяет доступность узлов Y1, Y2 по каналу K12. Если все три устройства свободны, то при помощи блока *SEIZE* захватываем Y1, Y2, K12, иначе – ожидаем, пока не освободятся все три устройства, что достигается за счёт блока *TRANSFER* в режиме работы *SIM*. Затем создается задержка с помощью блока *ADVANCE* в 50 единиц модельного времени, после чего освобождается канал и узлы с помощью оператора *RELEASE*. В заключение, проверяем, в какой именно узел был направлен пакет, воспользовавшись блоком *TEST* с параметром *NE*.

Когда пакеты доставлены, произведем их склеивание, прописав оператор *ASSEMBLE*. Не забываем уничтожить транзакцию после завершения - блок *TERMINATE 1*.

Расчетная часть

В представленном типе модели сети каждый пакет имеет заголовок, в котором содержится номер пакета и адрес узла-получателя. У модели сети с коммутацией пакетов есть ряд преимуществ:

1) Эффективное использование пропускной способности.

2) Небольшие затраты.

3) Если сеть перегружена, то она просто снижает абонентам скорость передачи, а не перестает функционировать. Для моделирования, предположим, что размер одного пакета = 64 Кбайт. Максимальная пропускная способность сети Ethernet в нашем случае пусть будет равна 2 Мбит/с, то есть 250 Кбайт/с. Имея эти данные, можно рассчитать какое количество пакетов будет передаваться за секунду при условии, что сеть будет иметь скорость равной максимальной пропускной способности. Количество пакетов, передаваемых за секунду, равно 250 / 64, то есть приблизительно около 3-х пакетов.

Задержка сообщения будет равняться 0,25 секунд = 250 мс. Задержки представлена на рисунке 3, в колонке AVE

FACILITY	ENTRIES	UTIL.	AVE. TIME	AVAIL.	OWNER	PEND	INTER	RETRY	DELAY
Y3	2878	0.287	250.000	1	0	0	0	0	0
K34	2878	0.287	250.000	1	0	0	0	0	0
Y4	4983	0.497	250.000	1	0	0	0	0	0
Y1	2274	0.227	250.000	1	0	0	0	0	0
K12	2274	0.227	250.000	1	0	0	0	0	0
Y2	3836	0.382	250.000	1	0	0	0	0	0
K45	2105	0.210	250.000	1	0	0	0	0	0
Y5	4357	0.434	250.000	1	0	0	0	0	0
K26	1562	0.156	250.000	1	0	0	0	0	0
Y6	3814	0.380	250.000	1	0	0	0	0	0
K56	1392	0.139	250.000	1	0	0	0	0	0
K65	860	0.086	250.000	1	0	0	0	0	0

Рисунок 3. Задержка

Тестирование *GPSS*-модели сети

Далее будут рассмотрены результаты моделирования на различных интервалах, а к каждому из них будет приведена гистограмма. Исходя из рисунка 4, видим, что самым нагруженным узлом является узел Y4 с занятостью 49,7%. На втором месте по загруженности расположился узел Y5 с результатом 43,4%.

FACILITY	ENTRIES	UTIL.	AVE. TIME	AVAIL.	OWNER	PEND	INTER	RETRY	DELAY
Y3	2878	0.287	250.000	1	0	0	0	0	0
K34	2878	0.287	250.000	1	0	0	0	0	0
Y4	4983	0.497	250.000	1	0	0	0	0	0
Y1	2274	0.227	250.000	1	0	0	0	0	0
K12	2274	0.227	250.000	1	0	0	0	0	0
Y2	3836	0.382	250.000	1	0	0	0	0	0
K45	2105	0.210	250.000	1	0	0	0	0	0
Y5	4357	0.434	250.000	1	0	0	0	0	0
K26	1562	0.156	250.000	1	0	0	0	0	0
Y6	3814	0.380	250.000	1	0	0	0	0	0
K56	1392	0.139	250.000	1	0	0	0	0	0
K65	860	0.086	250.000	1	0	0	0	0	0

Рисунок 4. Нагрузка пакетов

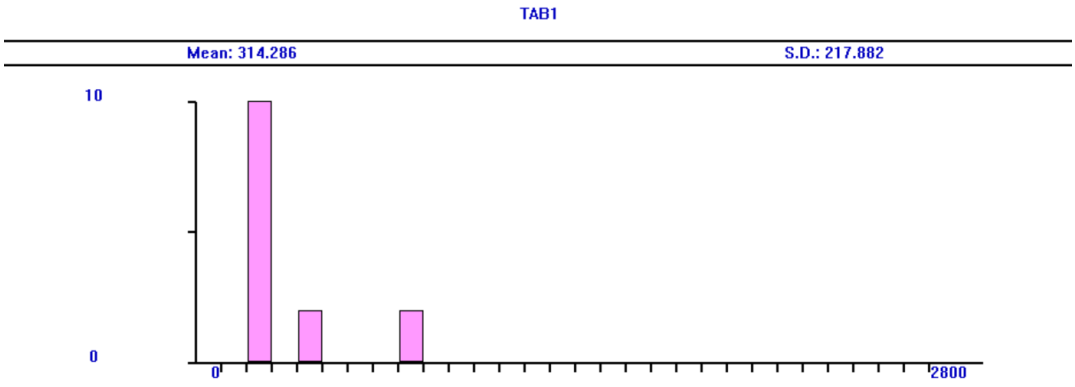


Рисунок 5. Гистограмма по 1-му блоку маршрута №1

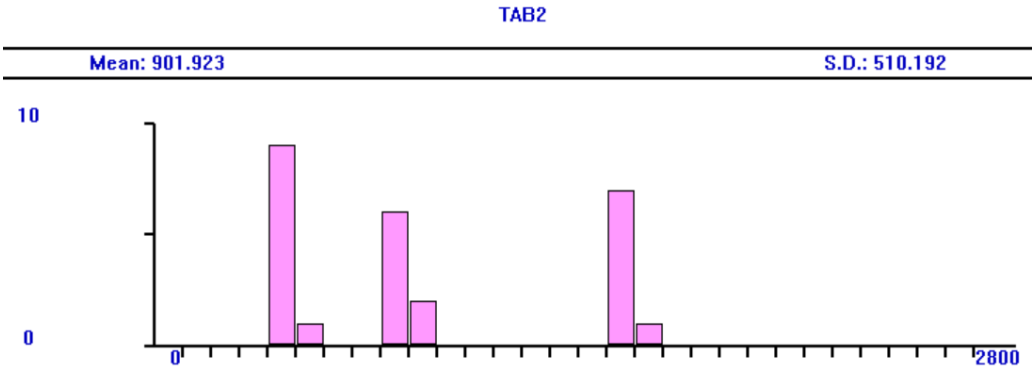


Рисунок 6. Гистограмма по 2-му блоку маршрута №1

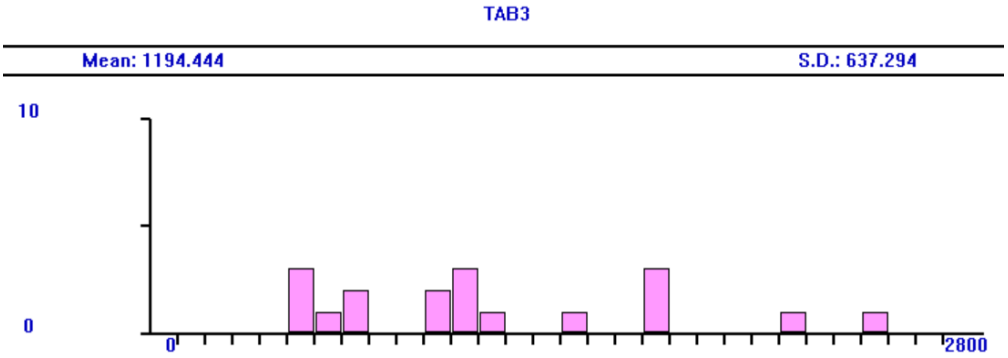


Рисунок 7. Гистограмма по 3-му блоку маршрута №1

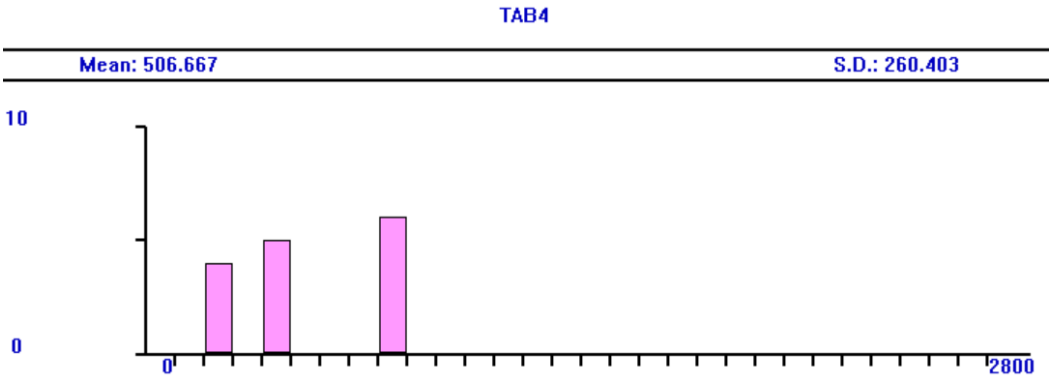


Рисунок 8. Гистограмма по 1-му блоку маршрута №2

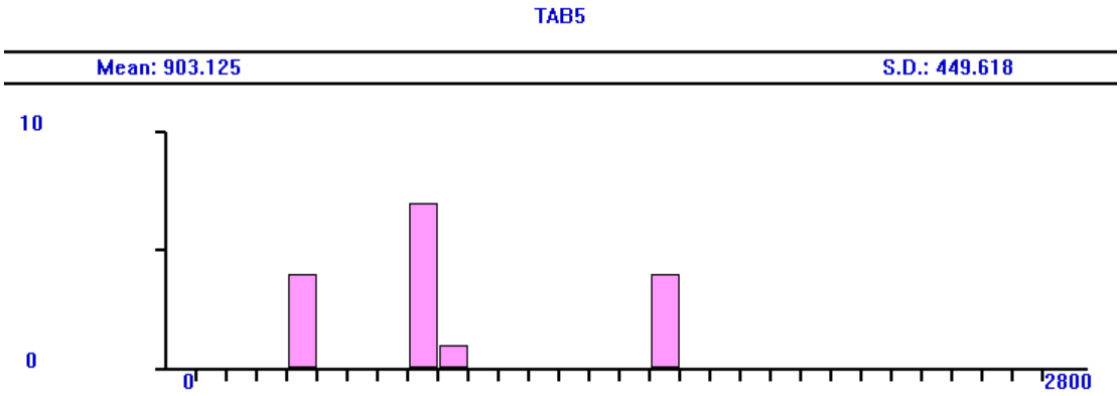


Рисунок 9. Гистограмма по 2-му блоку маршрута №2

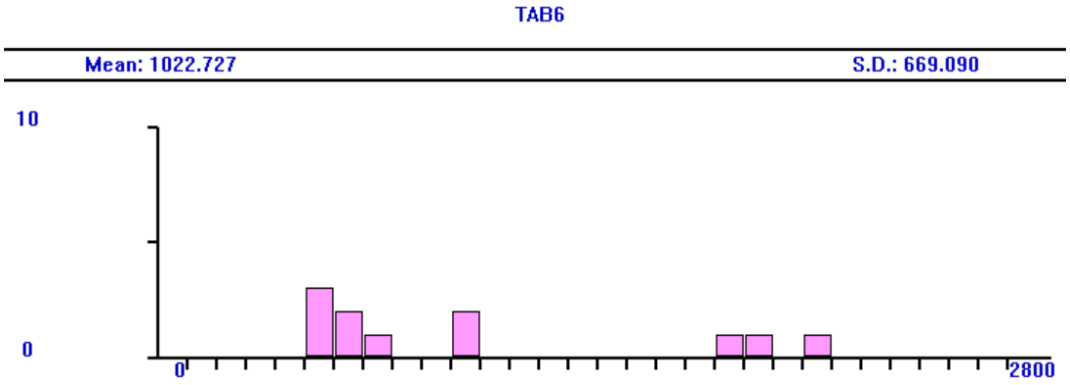


Рисунок 10. Гистограмма по 3-му блоку маршрута №2

	X	mean			
20	50,00	34,77		Xначальное=	20
20,5	48,78	38,61			
21	47,62	35,55			
21,5	46,51	40,87			
22	45,45	38,9			
22,5	44,44	37,57			
23	43,48	38,23			
23,5	42,55	40,01			
24	41,67	38,44			
24,5	40,82	44,16			
25	40,00	45,51			
25,5	39,22	46,21			
26	38,46	43,31			
26,5	37,74	42,99			
27	37,04	45,71			
27,5	36,36	52,04			
28	35,71	46,01			
28,5	35,09	49,39			
29	34,48	45,21			
29,5	33,90	55,73			
30	33,33	47,53			
30,5	32,79	56,31			
31	32,26	60,37			
31,5	31,75	61,46			
32	31,25	57,94			
32,5	30,77	60,21			
33	30,30	65,24			
33,5	29,85	62,78			
34	29,41	84,22			
34,5	28,99	78,49			
35	28,57	65,95			

Рисунок 11. Ручной просчет для графика TAB3

	X	mean			
20	50,00	26,09		Хначальное=	20
20,5	48,78	25,09			
21	47,62	28,57			
21,5	46,51	26,11			
22	45,45	26,42			
22,5	44,44	24,81			
23	43,48	26,14			
23,5	42,55	28,31			
24	41,67	30,47			
24,5	40,82	28,1			
25	40,00	28,35			
25,5	39,22	28,54			
26	38,46	27,82			
26,5	37,74	30,15			
27	37,04	36,91			
27,5	36,36	30,15			
28	35,71	37,9			
28,5	35,09	40,96			
29	34,48	42,55			
29,5	33,90	36,36			
30	33,33	46,68			
30,5	32,79	48,93			
31	32,26	42,68			
31,5	31,75	40,73			
32	31,25	44,6			
32,5	30,77	39,24			
33	30,30	52,1			
33,5	29,85	57,66			
34	29,41	50,4			
34,5	28,99	42,1			
35	28,57	48,53			

Рисунок 12. Ручной просчет для графика TAB5

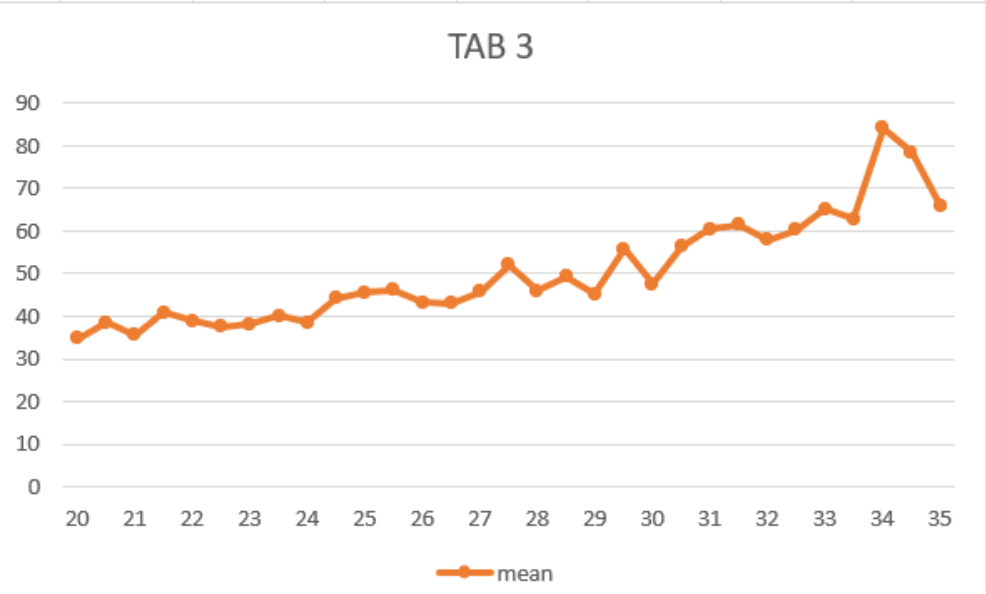


Рисунок 13. График для TABLE3

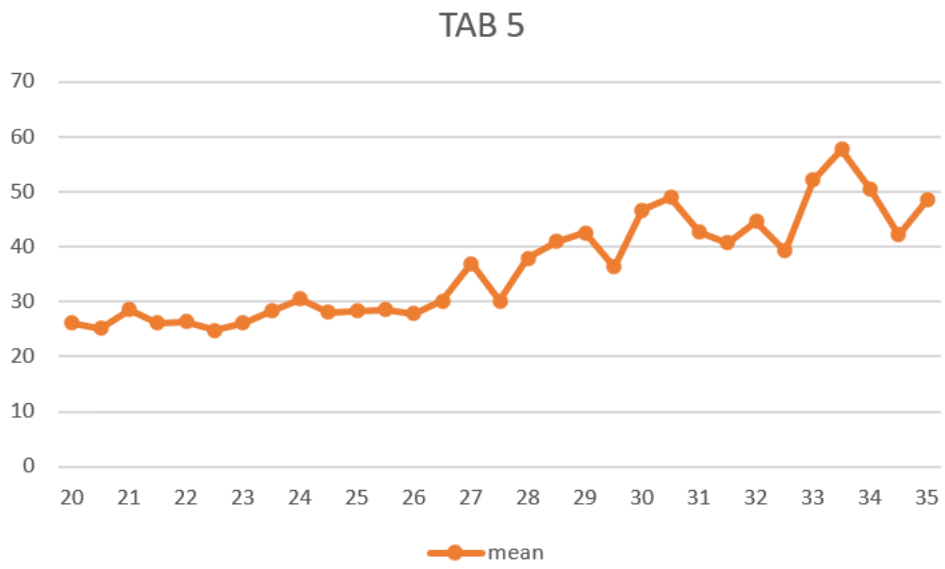


Рисунок 14. График для TABLE5

Согласно варианту задания была построена и протестирована модель с использованием сетей Петри в программе PIPE (рис. 14).

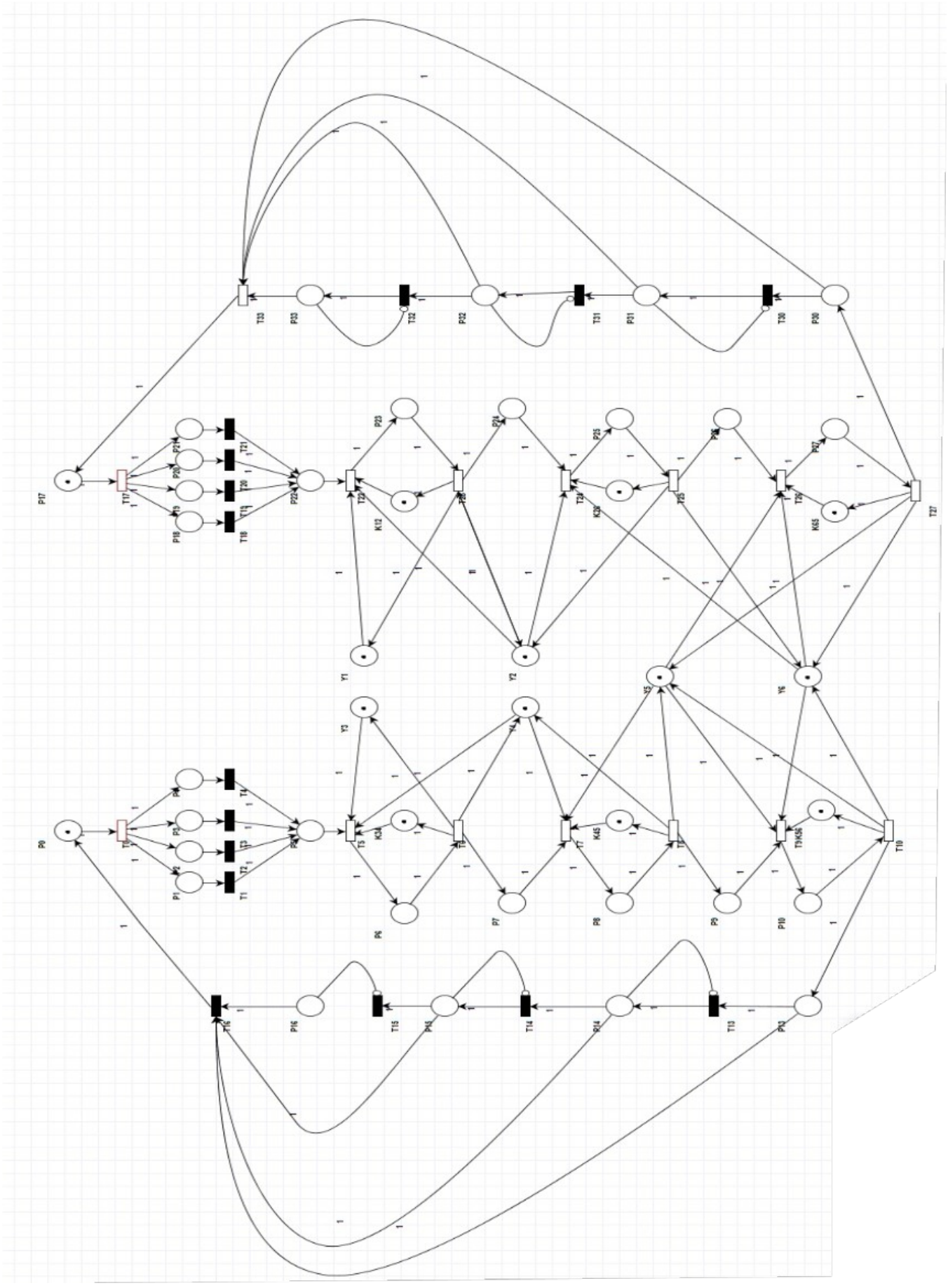


Рисунок 14. Модель с использованием сетей Петри

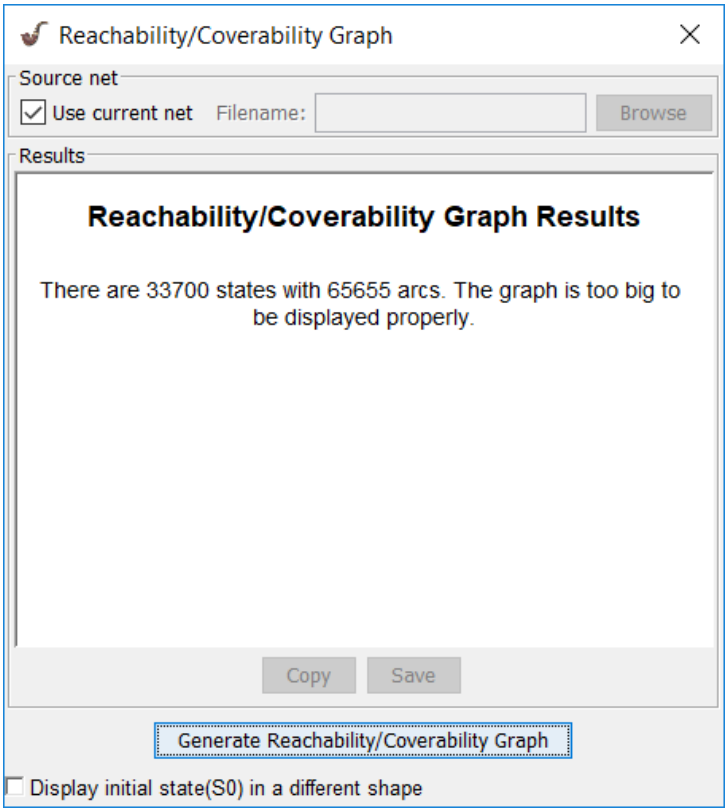


Рисунок 15. Reachability/Coverability результат

Заключение

При выполнении данной курсовой работы были получены навыки моделирование на языке GPSS-WORLD . Были изучены основные операторы данного языка.

В рамках выполнения курсовой работы по изначальному графу коммуникация была создана структура моделируемой сети, на которой были расставлены имена узлов и каналы передачи данных. По данной структуре была создана имитационная модель передачи сообщений в сети. По результатам успешного моделирования был получен отчет показывающий всю информацию о транзактах (которые соответствуют сообщениям) в разных блоках модели.

Список используемой литературы

1. Кудрявцев Е. М. GPSS World. Основы имитационного моделирования различных систем. / Е. М.. Кудрявцев. - М.: ДМК Пресс, 2004. – 320 с.

2. Е.В. Смирнова, П.В. Козик. Технологии современных сетей Ethernet. Методы коммутации и управления потоками данных. - СПб.: БХВПетербург, 2012. - 272 с.

3. Томашевский В., Жданова Е. Имитационное моделирование в среде GPSS. / В. Томашевский, Е. Жданова – М.:Бестселлер, 2003. – 416 с.

4. В.Д. Боев. Моделирование систем. Инструментальные средства GPSS World. - СПб.: БХВ-Петербург, 2004. - 368 с.

Приложение А. Код программы на языке *GPSS World*

```
; GLOBAL NETWORK
NUM1 FUNCTION RN1,D3
.33,2/.66,3/1.,4
NUM2 FUNCTION RN3,D4
.25,6/.5,3/.75,4/1.0,5
NPACK1 FUNCTION RN2,D3
.33,2/.66,4/1.,8

        GENERATE  5000,1000
        ASSIGN    1,FN$NUM1
        ASSIGN    2,FN$NPACK1
        SPLIT     P2,MET1
        TERMINATE
; путь y1-k12-y2
MET1      GATE NU   y1
          GATE NU   k12
          GATE NU   y2
          TRANSFER  SIM,,MET1
          SEIZE     y1
          SEIZE     k12
          SEIZE     y2
          ADVANCE   250
          RELEASE   y2
          RELEASE   k12
          RELEASE   y1
          TEST NE   P1,2,ASM2
;путь y2-k23-y3
MET2      GATE NU   y2
          GATE NU   k26
          GATE NU   y6
          TRANSFER  SIM,,MET2
          SEIZE     y2
          SEIZE     k26
          SEIZE     y6
          ADVANCE   250
          RELEASE   y6
          RELEASE   k26
          RELEASE   y2
          TEST NE   P1,3,ASM3
;путь y3-k34-y4
MET3      GATE NU   y6
          GATE NU   k65
          GATE NU   y5
          TRANSFER  SIM,,MET3
          SEIZE     y6
          SEIZE     k65
          SEIZE     y5
          ADVANCE   250
          RELEASE   y5
          RELEASE   k65
          RELEASE   y6
          TEST NE   P1,4,ASM4
          TERMINATE
ASM2   ASSEMBLE P2
       TABULATE TAB1
       TERMINATE 1

ASM3   ASSEMBLE P2
```

```
       TABULATE TAB2
       TERMINATE 1

ASM4   ASSEMBLE P2
       TABULATE TAB3
       TERMINATE 1

NUM2 FUNCTION RN3,D4
.25,6/.5,3/.75,4/1.0,5
NPACK1 FUNCTION RN2,D3
.33,2/.66,4/1.,8
GENERATE  5000,1000
ASSIGN    3,FN$NUM2
ASSIGN    4,FN$NPACK1
SPLIT     P4,MET4

;путь y6-k46-y4
MET4      GATE NU   y3
          GATE NU   k34
          GATE NU   y4
          TRANSFER  SIM,,MET4
          SEIZE     y3
          SEIZE     k34
          SEIZE     y4
          ADVANCE   250
          RELEASE   y4
          RELEASE   k34
          RELEASE   y3
          TEST NE P3,4,ASM5

;путь y4-k45-y5
MET5      GATE NU   y4
          GATE NU   k45
          GATE NU   y5
          TRANSFER  SIM,,MET5
          SEIZE     y4
          SEIZE     k45
          SEIZE     y5
          ADVANCE   250
          RELEASE   y5
          RELEASE   k45
          RELEASE   y4
          TEST NE P3,5,ASM6
;путь y5-k53-y3
MET6      GATE NU   y5
          GATE NU   k56
          GATE NU   y6
          TRANSFER  SIM,,MET6
          SEIZE     y5
          SEIZE     k56
          SEIZE     y6
          ADVANCE   250
          RELEASE   y6
          RELEASE   k56
          RELEASE   y5
          TEST NE P3,3,ASM7

ASM5   ASSEMBLE P4
       TABULATE TAB4
       TERMINATE 1
ASM6   ASSEMBLE P4
       TABULATE TAB5
       TERMINATE 1
```

```
ASM7   ASSEMBLE P4
       TABULATE TAB6
       TERMINATE 1

TAB1    TABLE M1,0,2000,30
TAB2    TABLE M1,0,2000,30
TAB3    TABLE M1,0,2000,30
TAB4    TABLE M1,0,2000,30
TAB5    TABLE M1,0,2000,30
TAB6    TABLE M1,0,2000,30

START 1000
```

Приложение Б. Полный отчет результата моделирования на GPSS

GPSS World Simulation Report - Untitled Model 1.68.1

Saturday, December 09, 2023 00:18:52

START TIME	END TIME	BLOCKS	FACILITIES	STORAGES
0.000	2507204.702	100	12	0

NAME	VALUE
ASM2	43.000
ASM3	46.000
ASM4	49.000
ASM5	92.000
ASM6	95.000
ASM7	98.000
K12	10013.000
K26	10017.000
K34	10010.000
K45	10015.000
K56	10019.000
K65	10020.000
MET1	6.000
MET2	18.000
MET3	30.000
MET4	56.000
MET5	68.000
MET6	80.000
NPACK1	10002.000
NUM1	10000.000
NUM2	10001.000
TAB1	10003.000
TAB2	10004.000
TAB3	10005.000

TAB4	10006.000
TAB5	10007.000
TAB6	10008.000
Y1	10012.000
Y2	10014.000
Y3	10009.000
Y4	10011.000
Y5	10016.000
Y6	10018.000

LABEL	LOC	BLOCK TYPE	ENTRY COUNT	CURRENT COUNT	RETRY
	1	GENERATE	498	0	0
	2	ASSIGN	498	0	0
	3	ASSIGN	498	0	0
	4	SPLIT	498	0	0
	5	TERMINATE	498	0	0
MET1	6	GATE	4066	0	0
	7	GATE	4066	0	0
	8	GATE	4066	0	0
	9	TRANSFER	4066	0	0
	10	SEIZE	2274	0	0
	11	SEIZE	2274	0	0
	12	SEIZE	2274	0	0
	13	ADVANCE	2274	0	0
	14	RELEASE	2274	0	0
	15	RELEASE	2274	0	0
	16	RELEASE	2274	0	0
	17	TEST	2274	0	0
MET2	18	GATE	2474	0	0
	19	GATE	2474	0	0
	20	GATE	2474	0	0
	21	TRANSFER	2474	0	0
	22	SEIZE	1562	0	0
	23	SEIZE	1562	0	0
	24	SEIZE	1562	0	0

	25	ADVANCE	1562	0	0
	26	RELEASE	1562	0	0
	27	RELEASE	1562	0	0
	28	RELEASE	1562	0	0
	29	TEST	1562	0	0
MET3	30	GATE	1267	0	0
	31	GATE	1267	0	0
	32	GATE	1267	0	0
	33	TRANSFER	1267	0	0
	34	SEIZE	860	0	0
	35	SEIZE	860	0	0
	36	SEIZE	860	0	0
	37	ADVANCE	860	0	0
	38	RELEASE	860	0	0
	39	RELEASE	860	0	0
	40	RELEASE	860	0	0
	41	TEST	860	0	0
	42	TERMINATE	0	0	0
ASM2	43	ASSEMBLE	712	0	0
	44	TABULATE	161	0	0
	45	TERMINATE	161	0	0
ASM3	46	ASSEMBLE	702	0	0
	47	TABULATE	147	0	0
	48	TERMINATE	147	0	0
ASM4	49	ASSEMBLE	860	0	0
	50	TABULATE	190	0	0
	51	TERMINATE	190	0	0
	52	GENERATE	502	0	0
	53	ASSIGN	502	0	0
	54	ASSIGN	502	0	0
	55	SPLIT	502	0	0
MET4	56	GATE	5287	0	0
	57	GATE	5287	0	0
	58	GATE	5287	0	0
	59	TRANSFER	5287	0	0
	60	SEIZE	2878	0	0

	61	SEIZE	2878	0	0
	62	SEIZE	2878	0	0
	63	ADVANCE	2878	0	0
	64	RELEASE	2878	0	0
	65	RELEASE	2878	0	0
	66	RELEASE	2878	0	0
	67	TEST	2878	0	0
MET5	68	GATE	3275	0	0
	69	GATE	3275	0	0
	70	GATE	3275	0	0
	71	TRANSFER	3275	0	0
	72	SEIZE	2105	0	0
	73	SEIZE	2105	0	0
	74	SEIZE	2105	0	0
	75	ADVANCE	2105	0	0
	76	RELEASE	2105	0	0
	77	RELEASE	2105	0	0
	78	RELEASE	2105	0	0
	79	TEST	2105	0	0
MET6	80	GATE	1857	0	0
	81	GATE	1857	0	0
	82	GATE	1857	0	0
	83	TRANSFER	1857	0	0
	84	SEIZE	1392	0	0
	85	SEIZE	1392	0	0
	86	SEIZE	1392	0	0
	87	ADVANCE	1392	0	0
	88	RELEASE	1392	0	0
	89	RELEASE	1392	0	0
	90	RELEASE	1392	0	0
	91	TEST	1392	0	0
ASM5	92	ASSEMBLE	1501	255	0
	93	TABULATE	255	0	0
	94	TERMINATE	255	0	0
ASM6	95	ASSEMBLE	713	121	0
	96	TABULATE	121	0	0

	97	TERMINATE	121	0	0
ASM7	98	ASSEMBLE	664	126	0
	99	TABULATE	126	0	0
	100	TERMINATE	126	0	0

FACILITY	ENTRIES	UTIL.	AVE. TIME	AVAIL.	OWNER	PEND	INTER	RETRY	DELAY
Y3	2878	0.287	250.000	1	0	0	0	0	0
K34	2878	0.287	250.000	1	0	0	0	0	0
Y4	4983	0.497	250.000	1	0	0	0	0	0
Y1	2274	0.227	250.000	1	0	0	0	0	0
K12	2274	0.227	250.000	1	0	0	0	0	0
Y2	3836	0.382	250.000	1	0	0	0	0	0
K45	2105	0.210	250.000	1	0	0	0	0	0
Y5	4357	0.434	250.000	1	0	0	0	0	0
K26	1562	0.156	250.000	1	0	0	0	0	0
Y6	3814	0.380	250.000	1	0	0	0	0	0
K56	1392	0.139	250.000	1	0	0	0	0	0
K65	860	0.086	250.000	1	0	0	0	0	0

TABLE	MEAN	STD.DEV.	RANGE			RETRY	FREQUENCY	CUM.%
TAB1	1112.600	627.281				0		
			0.000	-	2000.000		159	98.76
			2000.000	-	4000.000		2	100.00
TAB2	2483.715	1315.503				0		
			0.000	-	2000.000		83	56.46
			2000.000	-	4000.000		44	86.39
			4000.000	-	6000.000		20	100.00
TAB3	3477.788	2147.793				0		
			0.000	-	2000.000		54	28.42
			2000.000	-	4000.000		69	64.74
			4000.000	-	6000.000		48	90.00
			6000.000	-	8000.000		11	95.79
			8000.000	-	10000.000		6	98.95
			10000.000	-	12000.000		2	100.00
TAB4	2347.412	1809.427				0		
			0.000	-	2000.000		159	62.35
			2000.000	-	4000.000		50	81.96
			4000.000	-	6000.000		33	94.90
			6000.000	-	8000.000		10	98.82
			8000.000	-	10000.000		3	100.00
TAB5	2609.640	1369.900				0		
			0.000	-	2000.000		63	52.07
			2000.000	-	4000.000		38	83.47
			4000.000	-	6000.000		19	99.17
			6000.000	-	8000.000		1	100.00
TAB6	3140.397	1890.053				0		
			0.000	-	2000.000		48	38.10
			2000.000	-	4000.000		41	70.63
			4000.000	-	6000.000		28	92.86
			6000.000	-	8000.000		6	97.62
			8000.000	-	10000.000		3	100.00

FEC XN	PRI	BDT	ASSEM	CURRENT	NEXT	PARAMETER	VALUE
5645	0	2508695.700	5645	0	52		
5650	0	2511543.772	5650	0	1		