

Федеральное агентство связи

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ ИМ. ПРОФ. М. А. БОНЧ-БРУЕВИЧА» (СПбГУТ)**

Факультет информационных технологий и программной инженерии Кафедра: Программная инженерия. Разработка программного обеспечения и приложений искусственного интеллекта в киберфизических системах

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №9

по дисциплине «**Математические модели в сетях связи**»

**Тема: ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
МНОЖЕСТВЕННОГО ДОСТУПА С МЕХАНИЗМОМ
ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ КОЛЛИЗИЙ**

Бригада №2: Терещенко Максим, Гарькуша Никита, Челноков Александр

Преподаватель: Гребенщикова Александра Андреевна

Санкт-Петербург 2025

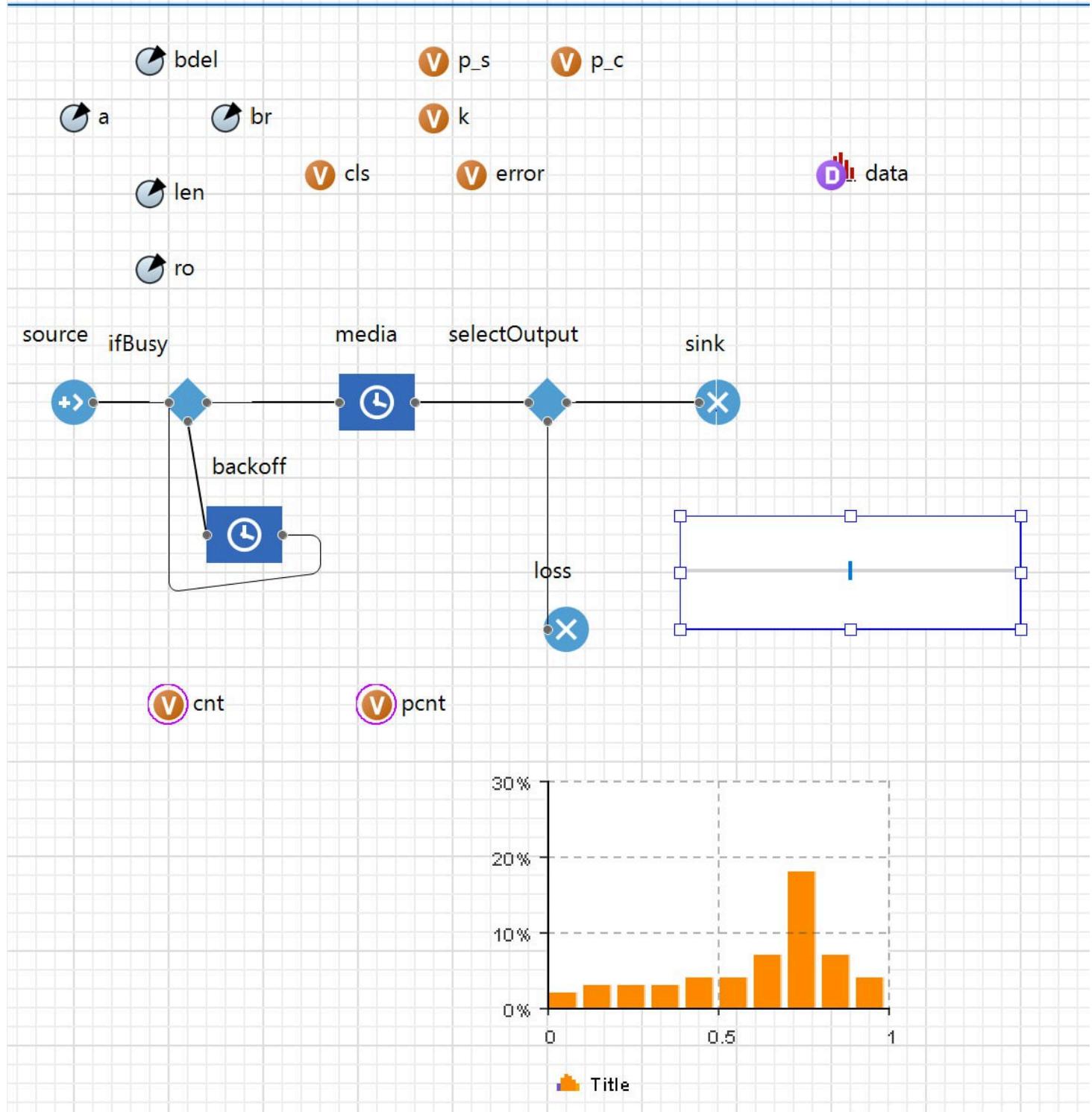
1. Цель работы и краткое описание проводимых исследований

Цель работы: исследование влияния метода формирования таймаута (задержки перед повторной попыткой передачи при занятости канала) на эффективность использования ресурса канала в протоколе множественного доступа с прослушиванием несущей и предотвращением коллизий (non-persistent CSMA).

Задачи:

- Модифицировать модель канала с коллизиями, добавив механизм предотвращения коллизий
- Исследовать зависимость среднего времени доставки кадра от интенсивности нагрузки ρ при фиксированном среднем таймауте.
- Сравнить результаты имитационного моделирования с аналитическими.
- Исследовать влияние среднего значения таймаута (параметр b_{del}) на среднее время доставки кадра и найти оптимальное значение таймаута.

2. Имитационная модель в AnyLogic



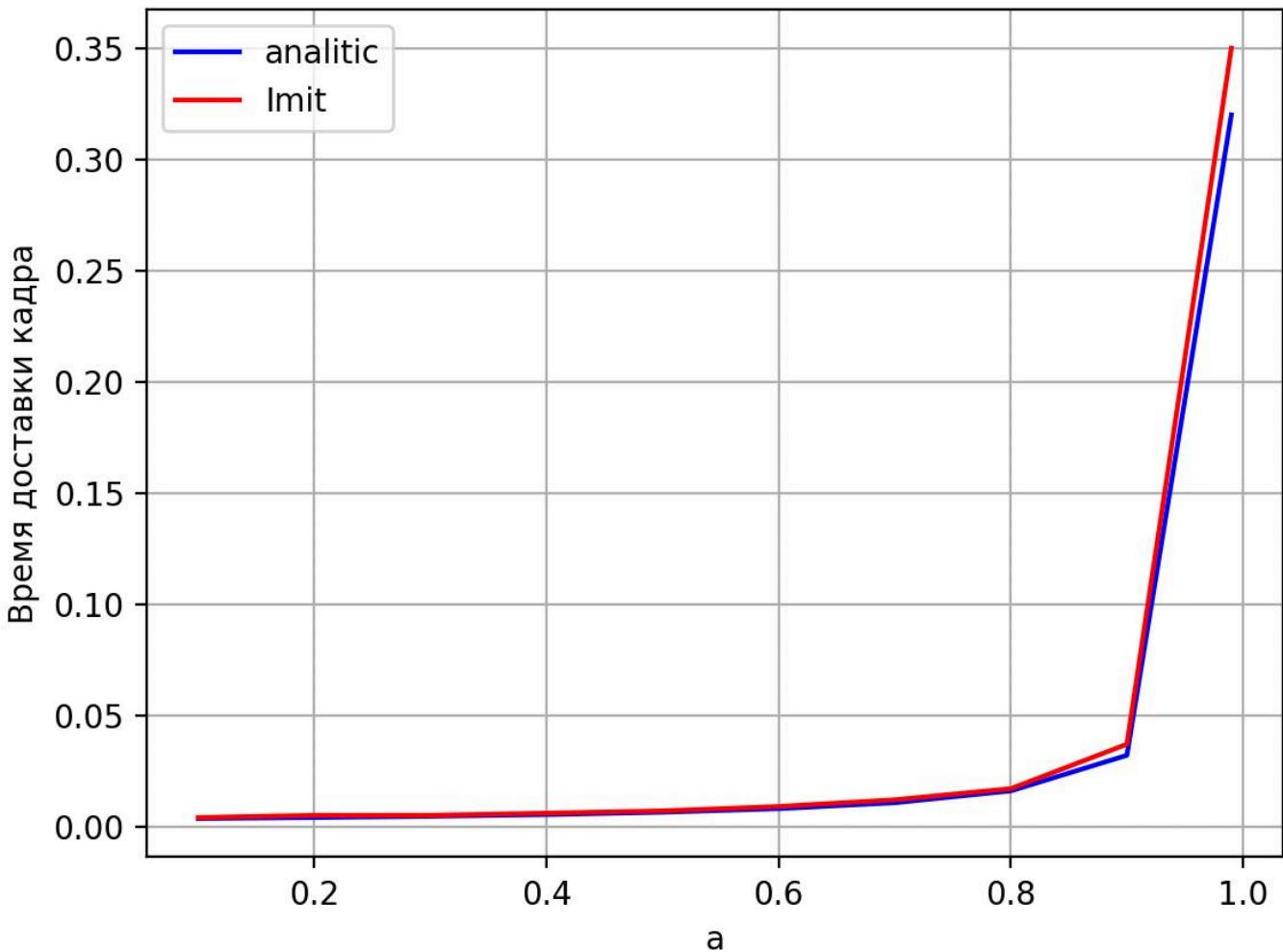
Основные элементы модели:

- **source** – генерация кадров с экспоненциальным интервалом прибытия, интенсивность λ задаётся через параметр **a**.
- **ifBusy** (SelectOutput) – проверяет `media.size() == 0`. Если канал свободен → в **media**, иначе → в **backoff**.

- **backoff** (Delay) – задержка с экспоненциальным распределением, среднее значение задаётся параметром **bdel**. Максимальная вместимость – неограничена.
- **media** (Delay) – имитация времени передачи кадра, длительность $len*8/br$.
- **data** (Dataset/TimeStackChart/Histogram) – сбор статистики о времени доставки.
- Параметр $ro = a*len*8/br$ – интенсивность нагрузки ρ .

3.1 Зависимость среднего времени доставки кадра от интенсивности нагрузки ρ

№	ρ (ro)	Время доставки (имитация), усл. ед.	Время доставки (аналитическое), усл. ед.
0	0,10	0,004	0,003556
1	0,20	0,005	0,004000
2	0,30	0,005	0,004571
3	0,40	0,006	0,005333
4	0,50	0,007	0,006400
5	0,60	0,009	0,008000
6	0,70	0,012	0,010667
7	0,80	0,017	0,016000
8	0,90	0,037	0,032000
9	0,99	0,350	0,320000



4. Аналитическая формула

$$T_{\text{exp}} = \frac{\bar{t}}{1 - \rho}$$

5. Выводы по работе

1. Модель с предотвращением коллизий

Реализованы генерация кадров, проверка занятости канала, очередь backoff с экспоненциальной задержкой и передача. Модель корректно собирает статистику времени доставки.

2. Сравнение имитации и аналитики

При $\rho \leq 0.8$ результаты хорошо совпадают (ошибка в пределах $\sim 10\text{--}15\%$). При $\rho \rightarrow 1$ расхождение растет из-за накопления в backoff и высокой вариативности.

3. Оптимальный таймаут

Слишком малые задержки вызывают конкуренцию повторов, большие увеличивают ожидание. Наименьшее время доставки достигается при среднем b_{del} , сопоставимом с временем передачи кадра.

4. Общий вывод

non-persistent CSMA с backoff работает эффективно при средней нагрузке, а при высокой требует дополнительных прогонов и уточнения параметров таймаута.

Приложение

```
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
import pandas as pd

a = [0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 0.99]

def f(a):
    t = 800/250_000
    return t/(1-a)

anal = [f(i) for i in a]
print(anal)
imit = [0.004, 0.005, 0.005, 0.006, 0.007, 0.009, 0.012, 0.017, 0.037, 0.35]

data = pd.DataFrame({"rho": a, "Имитация": imit, "Аналитика": anal})
print(data)

plt.plot(a, anal, label="аналитик", color="blue")
plt.plot(a, imit, label="Имит", color="red")
plt.xlabel("a")
plt.ylabel("Время доставки кадра")
plt.grid(True)
plt.legend()
plt.show()
```