

Лабораторная работа 1

Математическое описание функционирования систем коммутации

Цель работы - получение навыков расчета потоков вызовов и времени обслуживания

Основные сведения

Детерминированный поток вызовов – последовательность вызовов, в которой вызовы поступают в определенные, строго фиксированные неслучайные моменты времени. Он может задаваться в явном виде моментами поступления вызовов, в виде рекуррентной последовательности, в виде последовательности промежутков между вызовами.

Случайный поток вызовов – последовательность вызовов, в которой моменты поступления вызовов и промежутки между вызовами являются случайными величинами.

Однородный поток вызовов характеризуется только законом поступления вызовов.

В **неоднородном** потоке вызовов каждый вызов характеризуется двумя и более характеристиками, например, моментом поступления вызова и его направлением.

Рекуррентным потоком вызовов называется поток, у которого промежутки времени между соседними вызовами независимы друг от друга и распределены по одинаковому закону.

Поток вызовов является **стационарным**, если число вызовов, поступивших за промежуток времени Dt , зависит только от длительности этого промежутка времени Dt и не зависит от нахождения этого промежутка на оси времени t .

Поток вызовов является потоком без последствия, если вероятность поступления вызовов за некоторый промежуток времени t не зависит от процесса поступления вызовов до этого промежутка.

Поток вызовов является ординарным, если вероятность поступления двух и более вызовов за бесконечно малый промежуток времени много меньше, чем вероятность поступления одного вызова.

В теории телетрафика часто используется простейший поток вызовов. **Простейшим** потоком вызовов называется ординарный стационарный поток без последствия. Простейший поток вызовов задается вероятностью поступления k вызовов за время t (формулой Пуассона)

$$\pi_k(t) = (\lambda t)^k e^{-\lambda t} / k!$$

где параметр λ – интенсивность поступающего потока вызовов, численно равен количеству вызовов, поступающих за единицу времени.

Время обслуживания в теории телетрафика задается функцией распределения времени обслуживания вызова $H(t)$. Для экспоненциального распределения – $H(t) = 1 - \exp(-\mu t)$.

В качестве персональных данных для исследования используйте две последние цифры зачетной книжки А и В, которые преобразуются в исходные данные следующим образом

$$\begin{aligned} x_1 &= A, A \neq 0 \\ 10, A &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x_2 &= B, B \neq 0 \\ 10, B &= 0 \end{aligned}$$

Содержание работы

1. Используя программу MS Excel и формулу Пуассона определить вероятность
 - поступления к вызовов при заданных $\lambda=x1 \text{ с}^{-1}$, $t = x2 \text{ с}$,
 - поступления к вызовов при заданных $\lambda=x2 \text{ с}^{-1}$, $t = 0.01 \text{ с}$.

Построить графики. Определить максимум функции. Объяснить его расположение.

2. Используя программу MS Excel определить функцию распределения окончания обслуживания вызова при заданных $\mu1=x1 \text{ с}^{-1}$ и $\mu2=x2 \text{ с}^{-1}$. Построить графики. Объяснить различие.

3. Вычислить вероятность поступления 20 вызовов за $t=x1/100$ минут при поступлении простейшего потока вызовов с параметром $\lambda=x2 \text{ с}^{-1}$.

Содержание отчета

1. Цель работы
2. Расчеты по каждому пункту задания, графики, анализ
3. Выводы

Лабораторная работа 2

Расчет нагрузки

Цель работы - ознакомление с типами систем коммутации, получение навыков расчета нагрузки.

Основные сведения

Нагрузка есть суммарное время обслуживания вызовов за фиксированное время t . Единица измерения нагрузки – часо-занятие. Нагрузка обладает аддитивным свойством

$$Y(t, t + \tau) = Y(t) + Y(t + \tau).$$

Интенсивность нагрузки – нагрузка обслуженная в течение часа. Единица измерения – часо-занятие/час = **Эрланг**. Интенсивность нагрузки численно равна числу вызовов, поступивших за время занятия. В теории телетрафика часто для краткости интенсивность нагрузки называют нагрузкой.

В общем случае система коммутации состоит из коммутационного поля (КП) и управляющего устройства (УУ). Вызовы, поступающие в систему в виде пакетов, характеризуется

- параметром поступающего потока вызовов λ_o , численно равным числу пакетов, поступающих в единицу времени;
- средней длительностью занятия t_s , зависящей от скорости прохождения вызова через КП.

Поступающий вызов содержит информацию пользователя и служебную информацию. Последняя включает адрес пункта назначения и используется для маршрутизации вызова в сети связи. Она обрабатывается УУ, темп ее поступления совпадает с параметром поступающего потока вызовов λ_o . Если необходимые ресурсы для установления соединения имеются, то вызов принимается к обслуживанию.

Время обработки вызова управляющим устройством образует аппаратную задержку, которая не зависит от скорости прохождения вызова через КП. Принятые к обслуживанию вызовы обрабатываются (коммутируются) в КП и образуют обслуженную нагрузку $A_s = \lambda_s t_s$.

В отдельные моменты времени число одновременно поступивших вызовов может превышать ресурсы системы, что приводит к блокировке некоторых вызовов, то есть к невозможности обслуживания вызова в момент его поступления. В зависимости от типа системы коммутации, блокированные вызовы (образующие потерянную нагрузку A_L) обслуживаются различно. Они могут сразу же удаляться из системы (система с явными потерями), ставиться в очередь на обслуживание (система с ожиданием) или обслуживаться иным образом.

Промежуток времени в 1 час, где среднее значение нагрузки имеет максимальное значение, носит название часа наибольшей нагрузки (ЧНН). Наибольшая телефонная нагрузка приходится на периоды между 11-12 и 19.30-20.30 часами, в эти периоды обслуживается 10-12% суточной нагрузки. При расчете оборудования следует ориентироваться на статистические данные этого часа, когда нагрузка имеет наибольшее значение.

Согласно теории вероятностей средняя нагрузка, обслуженная за время t равна ее математическому ожиданию.

В стационарном режиме среднее число занятых линий $M_i(t) = \nu$ и не зависит от времени. Поэтому $M(t) = \nu t$. Принимая $t=1$ час, получаем, что средняя обслуженная

нагрузка за единицу времени (час) численно равна среднему числу занятых линий за то же время.

В качестве персональных данных для исследования используйте две последние цифры зачетной книжки А и В, которые преобразуются в исходные данные следующим образом

$$x1 = A, A \neq 0$$

$$10, A=0$$

$$x2 = B, B \neq 0$$

$$10, B=0$$

Содержание работы

1. Используя программу MS Excel и основные соотношения для систем коммутации определить интенсивность обслуживания и поступающую нагрузку, если абонент в течение часа произвел $x1$ вызовов со средней длительностью $x2/10$ минут.

2. В обслуживании системы находится $x1$ вызовов. Среднее время обслуживания вызова $x2$ секунд.

Выведите формулы вероятности того, что за время t а)освободятся все вызовы, б)не освободится ни один вызов, в)освободится хотя бы один вызов.

Постройте графики этих вероятностей.

3. В течение 5 минут на систему поступило $x1$ вызовов со средней длительностью занятия $x2$ минут.

Определите интенсивность поступления вызовов и поступающую нагрузку.

4. В течение 5 минут на систему поступило $10 \cdot x1$ вызовов со средней длительностью занятия $x2$ секунд. Принято к обслуживанию 7 вызовов.

Определите вероятность потерь, обслуженную нагрузку, потерянную нагрузку.

Содержание отчета

1. Цель работы

2. Расчеты по каждому пункту задания, графики, анализ

3. Выводы

Лабораторная работа 3

Модель Эрланга

Цель работы - исследование модели Эрланга, получение навыков расчета качества обслуживания по модели Эрланга

Основные сведения

В системах распределения информации большой емкости, когда число источников нагрузки (абонентов) велико, а параметр потока от одного источника мал, поведение одного источника (наличие или отсутствие от него вызовов) мало влияет на суммарный поток вызовов. В этом случае суммарный поток вызовов является практически постоянной величиной и не зависит от состояния $\{x\}$, ($x=0,1,\dots,V$). Такой поток называется простейшим. Для него $\lambda_0 = \lambda_1 = \dots = \lambda_{V-1} = \lambda$, $\mu_x = x \mu$.

Модель Эрланга для расчета вероятности потерь справедлива при предположениях:

- вызовы, поступающие на вход системы, образуют пуассоновский поток постоянной интенсивности с параметром λ ;
- длительность занятия подчиняется экспоненциальному распределению с параметром μ ;
- вызов, не принятый к обслуживанию в момент занятости V линий пучка, теряется, не влияя на моменты поступления последующих вызовов;
- любой из V выходов пучка доступен, когда он свободен, для любого поступающего вызова;
- исходной для расчета является поступающая нагрузка;
- система находится в стационарном режиме.

Потери по времени в полнодоступном пучке носит название *первой формулы Эрланга*.

$$[V] = E_V(A) - (A^V / V!) * [\sum (A^i / i!)]^{-1}$$

В модели Эрланга потери по времени, вызовам, нагрузке – совпадают, параметр потеряннного потока – $\lambda E_V(A)$, потерянная нагрузка – $AE_V(A)$.

Прямой расчет формулы Эрланга во многих практических случаях невозможен из-за переполнения разрядной сетки вычислительного устройства (при больших значениях A и V). Поэтому для ее расчета пользуются рекуррентным соотношением

$$E_V(A) = \frac{AE_{V-1}(A)}{V + AE_{V-1}(A)}.$$

В качестве персональных данных для исследования используйте две последние цифры зачетной книжки A и B , которые преобразуются в исходные данные следующим образом

$$\begin{aligned} x1 &= A, A \neq 0 \\ 10, A &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x2 &= B, B \neq 0 \\ 10, B &= 0 \end{aligned}$$

Содержание работы

1. На систему $M/M/V/0$ поступает пуассоновская нагрузка первого рода (x_1+x_2) Эрланг, система имеет (x_2+1) обслуживающих приборов.
Вычислите распределение вероятностей и постройте график.
Вычислите потери по рекуррентной формуле Эрланга.
2. Средняя длительность занятия x_1 минут.
Постройте график зависимости вероятности окончания времени обслуживания.
- Определите вероятность окончания времени обслуживания за x_2 минут.
3. На систему $M/M/V/0$ поступает $10 \cdot x_2$ Эрланг, система имеет $10 \cdot x_2 + x_1$ обслуживающих приборов. Определите поступающую нагрузку, вероятность потерь, обслуженную нагрузку, потерянную нагрузку.
4. Дайте расширенное описание систем $M/M/50/0$, $M/D/30/0$, $D/M/10/0$.
Приведите примерный вид поступающего трафика указанных систем.

Лабораторная работа За Система М/М/В/0/ /PQ

Цель работы - исследование системы с явными потерями и приоритетами.

Основные сведения

Для системы $M/M/V/0/PQ$ с абсолютным приоритетом первого потока и прерыванием вызовов второго потока справедливы предположения:

- на вход системы поступают два пуассоновских потока с интенсивностями λ_1 и λ_2 , соответственно;
- длительность занятия подчиняется экспоненциальному распределению с параметром μ ;
- если в момент поступления вызова первого потока все линии заняты вызовами первого потока, то вызов теряется, если нет, то поступивший вызов замещает занятую линию вторым потоком. Потерянные или замещенные вызовы покидают систему;
- любой из V выходов пучка доступен, когда он свободен, для любого поступающего вызова;
- исходной для расчета является поступающая нагрузка;
- система находится в стационарном режиме.

В системе $M/M/V/0$ без приоритетов распределение вероятностей для первого и второго потоков пропорциональны поступающим нагрузкам

$$A_1 = \lambda_1 / \mu, \quad A_2 = \lambda_2 / \mu, \quad q_1 = \frac{A_1}{A} = \frac{A_1}{A_1 + A_2}, \quad E_v(A_1 + A_2) = \frac{(A_1 + A_2)^V / V!}{\sum_{i=0}^V (A_1 + A_2)^i / i!}.$$

Общая обслуженная нагрузка

$$A_s = (A_1 + A_2) \cdot [1 - E_v(A_1 + A_2)],$$

обслуженная нагрузка первого потока

$$A_{s1} = A_s \cdot q_1 = A_1 \cdot [1 - E_v(A_1 + A_2)],$$

обслуженная нагрузка второго потока

$$A_{s2} = A_s \cdot (1 - q_1) = A_2 \cdot [1 - E_v(A_1 + A_2)].$$

В системе $M/M/V/0/P$ с абсолютным приоритетом первого потока вызовы второго потока не оказывают никакого влияния на вызовы первого потока, поэтому

$$E_v(A_1 + A_2) = \frac{(A_1 + A_2)^V / V!}{\sum_{i=0}^V (A_1 + A_2)^i / i!}, \quad E_v(A_1) = \frac{A_1^V / V!}{\sum_{i=0}^V A_1^i / i!},$$

общая обслуженная нагрузка

$$A_s = (A_1 + A_2) \cdot [1 - E_v(A_1 + A_2)],$$

обслуженная нагрузка первого потока

$$A_{s1} = A_1 \cdot [1 - E_v(A_1)],$$

обслуженная нагрузка второго потока

$$A_{s2} = A_s - A_{s1}.$$

В качестве персональных данных для исследования используйте две последние цифры зачетной книжки А и В, которые преобразуются в исходные данные следующим образом

$$\begin{aligned}x1 &= A, A \neq 0 \\ 10, A &= 0\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}x2 &= B, B \neq 0 \\ 10, B &= 0\end{aligned}$$

Содержание работы

1. На систему поступают две пуассоновские нагрузки первого рода с интенсивностями $x1$ и $x2$ Эрланг, соответственно. Система имеет 15 обслуживающих приборов.

Вычислите вероятность потерь для каждого потока при отсутствии приоритетного обслуживания.

2. На систему поступают две пуассоновские нагрузки первого рода с интенсивностями $x1$ и $x2$ Эрланг, соответственно. Система имеет 15 обслуживающих приборов.

Вычислите вероятность потерь для каждого потока при абсолютном приоритете первого потока.

Содержание отчета

1. Цель работы
2. Расчеты по каждому пункту задания, графики, анализ
3. Выводы

Лабораторная работа 4

Модель Энгсета

Цель работы - исследование модели Энгсета, получение навыков расчета качества обслуживания по модели Энгсета

Основные сведения

В системах распределения информации малой емкости, когда число источников нагрузки (абонентов) мало, параметр потока от одного источника сравним с суммарным потоком вызовов. В этом случае суммарный поток вызовов зависит от числа источников и от состояния $\{x\}$, $(x=0,1,...,V)$ системы обслуживания. Такой поток называется примитивным потоком с простым последствием.

Модель Энгсета для расчета вероятности потерь справедлива при предположениях:

- параметр поступающего потока вызовов в момент занятости x выходов пропорционален числу свободных источников, т.е.

$$\lambda_x = (N-x)\alpha, \quad 0 \leq x \leq V,$$

где N – число источников вызовов (число входов в КП), α – интенсивность поступления вызова от свободного источника;

- длительность занятия подчиняется экспоненциальному распределению с параметром μ ;

- вызов, не принятый к обслуживанию в момент занятости V линий пучка, теряется, не влияя на моменты поступления последующих вызовов;

- любой из V выходов пучка доступен, когда он свободен, для любого поступающего вызова.

- исходной для расчета является поступающая нагрузка;

- система находится в стационарном режиме.

Подставляя значения параметров λ_x и μ в формулу (4.3.1) вероятностей стационарного процесса рождения и гибели, получим

$$[x] = C_N^x A^x \left[\sum_{i=0}^V C_N^i A^i \right]^{-1},$$

где $A = \alpha/\mu$ – пуассоновская нагрузка **второго рода**.

Финальная вероятность

$$P_t = [V] = E_{N,V}(A) = C_N^V A^V \left[\sum_{i=0}^V C_N^i A^i \right]^{-1} = C_N^V A^V [0]$$

определяет потери по времени и носит название **формулы Энгсета**.

Среднее число занятых линий (обслуженная нагрузка)

$$V_m = \sum_{x=0}^V x[x] = (N - (N - V)P_t) \alpha = \frac{N\alpha}{\alpha + \mu} \left(1 - \left(1 - \frac{V}{N} \right) E_{N,V}(A) \right).$$

Прямой расчет формулы Энгсета во многих практических случаях невозможен из-за переполнения разрядной сетки вычислительного устройства (при больших значениях A и V). Поэтому для ее расчета пользуются рекуррентным соотношением

$$E_{N,V}(A) = \frac{A(N - V + 1)E_{N,V-1}(A)}{A(N - V + 1)E_{N,V-1}(A) + V},$$

последовательно вычисляя $E_{N,1}, E_{N,2}, \dots, E_{N,V}$ при начальном значении $E_{N,0}=1$.

В качестве персональных данных для исследования используйте две последние цифры зачетной книжки А и В, которые преобразуются в исходные данные следующим образом

$$\begin{aligned}x1 &= A, A \neq 0 \\ 10, A &= 0\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}x2 &= B, B \neq 0 \\ 10, B &= 0\end{aligned}$$

Содержание работы

1. К учрежденческой АТС подключено 15 абонентов и $x2$ соединительных линий (СЛ). Удельная нагрузка от абонента на СЛ составляет 0.2 Эрланг.
Вычислите распределение вероятностей и постройте график.
2. К учрежденческой АТС подключено $x2$ абонентов и $x2$ соединительных линий (СЛ). Удельная нагрузка от абонента на СЛ составляет 0.2 Эрланг.
Вычислите потери по времени и вызовам.
3. К учрежденческой АТС подключено 50 абонентов и $2 \cdot (x1 + x2)$ соединительных линий (СЛ). Удельная нагрузка от абонента на СЛ составляет 0.25 Эрланг.
Вычислите потери по времени, вызовам и нагрузке
4. Дайте расширенное описание систем М/М/50/0/70, М/Д/30/0/100, Д/М/10/0/50.
Приведите примерный вид поступающего трафика указанных систем.

Содержание отчета

1. Цель работы
2. Расчеты по каждому пункту задания, анализ
3. Выводы

Лабораторная работа 5

Система с ожиданием без потерь (модель М/М/В)

Цель работы - исследование системы с ожиданием (модели М/М/В), получение навыков расчета качества обслуживания системы с ожиданием

Основные сведения

В системе с ожиданием при недостатке обслуживающих приборов блокированные вызовы становятся в *бесконечную* очередь и обслуживаются в порядке поступления. Во многих практических случаях число мест ожидания довольно велико, поэтому результаты расчета такой системы вполне пригодны для инженерных оценок.

Модель справедлива при предположениях:

- вызовы, поступающие на вход системы, образуют пуассоновский поток постоянной интенсивности с параметром λ ;
- интенсивность обслуживания подчиняется экспоненциальному распределению с параметром $\mu = VEL/LEN$, где VEL – скорость передачи интерфейса, LEN – средняя длина пакета;
- любой из V выходов пучка доступен, когда он свободен, для любого поступающего вызова;
- вызов, не принятый к обслуживанию в момент занятости V линий пучка, поступает в очередь и обслуживается в порядке поступления (дисциплина FIFO);
- исходной для расчета является поступающая нагрузка;
- система находится в стационарном режиме.

Используя уравнения стационарного процесса рождения и гибели при $A = \lambda/\mu$, $A < V$ имеем

$$[x] = \begin{cases} \frac{A^x}{x!} [0], & 0 \leq x \leq V, \\ \frac{A^V}{V!} \left(\frac{A}{V}\right)^{x-V} [0], & x \geq V, \end{cases}$$

где $[0]$ определяется из нормирующего условия

$$[0]^{-1} = \sum_{x=0}^V \frac{A^x}{x!} + \frac{A^V}{V!} \sum_{x=V+1}^{\infty} \left(\frac{A}{V}\right)^{x-V} \Big|_{A < V} = \sum_{x=0}^V \frac{A^x}{x!} + \frac{A^V}{V!} \frac{A}{V-A},$$

Потери по времени равны вероятности того, что свободных линий нет, она же – вероятность ожидания начала обслуживания

$$P_t = P(> 0) = \sum_{x=V}^{\infty} [x] = \frac{A^V}{V!} [0] \sum_{x=V}^{\infty} \left(\frac{A}{V}\right)^{x-V} = \frac{V}{V-A} [V] = \frac{V \cdot E_V(A)}{V-A+A \cdot E_V(A)}.$$

ФРВ конца обслуживания вызова (ФРВ пребывания вызова в системе)

$$F_e(t) = \begin{cases} 1 + \frac{P(> 0)}{V-A-1} [e^{-\mu(V-A)t} - e^{-\mu t}] - e^{-\mu t}, & 0 < A \neq V-1 < V, \\ 1 - \mu t P(> 0) e^{-\mu t} - e^{-\mu t}, & A = V-1, \end{cases}$$

В качестве персональных данных для исследования используйте две последние цифры зачетной книжки А и В, которые преобразуются в исходные данные следующим образом

$$\begin{aligned}x_1 &= A, A \neq 0 \\ 10, A &= 0\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}x_2 &= B, B \neq 0 \\ 10, B &= 0\end{aligned}$$

Содержание работы

На 10-линейный пучок поступает в среднем (x_1+x_2) заявок в секунду. Интенсивность обслуживания заявки (x_2+1) секунд.

1. Постройте графики распределения стационарных вероятностей.
2. Постройте графики ФРВ конца обслуживания вызова (ФРВ пребывания вызова в системе).

Содержание отчета

1. Цель работы
2. Расчеты по каждому пункту задания, график, анализ
3. Выводы

Лабораторная работа 5а

Системы с ожиданием без потерь (модели M/M/1 M/D/1)

Цель работы - исследование систем с ожиданием (модели M/M/1 и M/D/1), получение навыков расчета качества обслуживания систем с ожиданием

Основные сведения

Для модели **M/M/1** справедливо $V=1, A=a$,

$$[0]^{-1} = \frac{1}{1-a}, \quad [x] = a^x (1-a), \quad [1] = a(1-a),$$

Вероятность того, что все линии заняты, и поступивший вызов будет поставлен на ожидание

$$P_t = P(> 0) = \frac{V}{V-A} [V]_{|V=1} = a,$$

среднее число вызовов в очереди (место ожидания последнего вызова)

$$Q_w = \sum_{k=V+1}^{\infty} (k-V) \cdot [k] = \frac{A \cdot V}{(V-A)^2} \cdot [V]_{|V=1} = \frac{a^2}{1-a},$$

среднее время ожидания начала обслуживания

$$t_w = \frac{Q_w}{\lambda} = \frac{1}{\mu} \frac{V}{(V-A)^2} [V]_{|V=1} = \frac{1}{\mu} \frac{a}{1-a},$$

среднее время пребывания вызова в системе

$$t_e = t_w + t_s = \frac{1}{\mu} \frac{a}{1-a} + \frac{1}{\mu} = \frac{1}{\mu} \frac{1}{1-a} = \frac{1}{\mu - \lambda},$$

ФРВ ожидания конца обслуживания – $F_e(t) = 1 - e^{-(\mu-\lambda)t}$.

Для модели **M/D/1** справедливо $V=1, A=a$,

ФРВ пребывания вызова в системе

$$F_e(t) = 1 - a \cdot a^{\mu t - 1} = 1 - a^{\mu t}, \quad t \geq 1/\mu.$$

среднее время ожидания начала обслуживания – $t_w = -\frac{a}{\mu \ln a}$,

среднее время пребывания вызова в системе – $t_e = \frac{1}{\mu} \frac{\ln a - a}{\ln a}$.

В качестве персональных данных для исследования используйте две последние цифры зачетной книжки А и В, которые преобразуются в исходные данные следующим образом

$$\begin{aligned} x1 &= A, A \neq 0 \\ 10, A &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x2 &= B, B \neq 0 \\ 10, B &= 0 \end{aligned}$$

Содержание работы

На процессор поступает в среднем (x_1+x_2) заявок в секунду. Среднее время обслуживания заявки x_2 миллисекунд.

1. Для экспоненциального времени обслуживания вычислите:

- вероятность немедленного обслуживания;
- среднее время ожидания начала обслуживания;
- вероятность нахождения в очереди трех заявок;
- среднюю длину очереди.

2. Постройте графики ФРВО конца обслуживания

- для экспоненциального времени обслуживания.
- для постоянного времени обслуживания.

3. Вычислите среднее время ожидания начала обслуживания и среднее время ожидания конца обслуживания

- для экспоненциального времени обслуживания.
- для постоянного времени обслуживания.

Содержание отчета

1. Цель работы

2. Расчеты по каждому пункту задания, график, анализ

3. Выводы

Лабораторная работа 6

Система с ожиданием и потерями (модель М/М/V/K)

Цель работы - исследование системы с ожиданием и потерями (модели М/М/V/K), получение навыков расчета качества обслуживания системы с ожиданием и потерями

Основные сведения

В системе с ожиданием и потерями при недостатке обслуживающих приборов блокированные вызовы становятся в *конечную* очередь и обслуживаются в порядке поступления. Такой принцип обслуживания применяется в системе с коммутацией пакетов, например, в маршрутизаторах при использовании алгоритма “с наибольшими усилиями” (Best Effort).

Если число обслуживающих приборов больше нагрузки, т.е. $A < V$, то

потери по времени равны вероятности того, что свободных линий нет, она же – вероятность ожидания начала обслуживания

$$P_t = P(> 0) = \sum_{x=V}^{V+K} [x] = \frac{A^V}{V!} \sum_{x=V}^{V+K} \left(\frac{A}{V}\right)^{x-V} [0] = \frac{A^V}{V!} \frac{1-a^{K+1}}{1-a} [0] = \frac{(1-a^{K+1})E_V(A)}{1-a+a(1-a^K)E_V(A)},$$

потери по вызовам наступают только в том случае, если система окажется в состоянии $[V+K]$

$$P_c = [V+K] = \frac{a^K (1-a) E_V(A)}{1-a+a(1-a^K)E_V(A)}.$$

Если число обслуживающих приборов равно нагрузке, т.е. $A=V$, то

потери по времени равны вероятности того, что свободных линий нет, она же – вероятность ожидания начала обслуживания

$$P_t = P(> 0) = \sum_{x=V}^{V+K} [x] = \frac{A^V}{V!} \sum_{x=V}^{V+K} \left(\frac{A}{V}\right)^{x-V} [0] = \frac{A^V}{V!} (K+1) [0] = \frac{(K+1)E_V(A)}{1+K \cdot E_V(A)},$$

потери по вызовам наступают только в том случае, если система окажется в состоянии $[V+K]$

$$P_c = [V+K] = \frac{E_V(A)}{1+K \cdot E_V(A)}.$$

В качестве персональных данных для исследования используйте две последние цифры зачетной книжки А и В, которые преобразуются в исходные данные следующим образом

$$\begin{aligned} x1 &= A, A \neq 0 \\ 10, A &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x2 &= B, B \neq 0 \\ 10, B &= 0 \end{aligned}$$

Содержание работы

1. На 10-линейный пучок с 7 местами ожидания поступает нагрузка (х2-1) Эрланг. Постройте графики распределения стационарных вероятностей. Определите потери по времени и вызовам.
2. На 10-линейный пучок с 7 местами ожидания поступает нагрузка 10 Эрланг. Постройте графики распределения стационарных вероятностей. Определите потери по времени и вызовам.

Содержание отчета

1. Цель работы
2. Расчеты по каждому пункту задания, график, анализ
3. Выводы

Лабораторная работа ба

Система с ожиданием (модель М/М/1/К)

Цель работы - исследование системы с ожиданием (модель М/М/1/К), получение навыков расчета качества обслуживания системы с ожиданием.

Основные сведения

Для системы М/М/1/К :

Стационарные вероятности состояния $\{x\}$ при $A=a \neq 1$

$$[0]^{-1} = \sum_{x=0}^V \frac{A^x}{x!} + \frac{A^V}{V!} \sum_{x=V+1}^{V+K} \left(\frac{A}{V}\right)^{x-V} = \sum_{x=0}^V \frac{A^x}{x!} + \frac{A^V}{V!} \frac{(a - a^{K+1})}{1-a} \Big|_{V=1} = \frac{1-a^{K+2}}{1-a},$$

$$[x] = \frac{a^x (1-a)}{1-a^{K+2}},$$

вероятность постановки в очередь (*потери по времени*) –

$$P_t = P(> 0) = \sum_{x=V}^{V+K} [x] = \frac{A^V}{V!} \sum_{x=V}^{V+K} \left(\frac{A}{V}\right)^{x-V} [0] = \frac{A^V}{V!} \frac{1-a^{K+1}}{1-a} [0] \Big|_{V=1} = \frac{a^{K+2} - a}{a^{K+2} - 1},$$

$$P_c = [1+K] = \frac{a^{K+1}(1-a)}{1-a^{K+2}}.$$

При $A=a=1$

$$\lim_{a \rightarrow 1} [x] = \lim_{a \rightarrow 1} a^x \frac{1-a}{1-a^{K+2}} = \lim_{a \rightarrow 1} \frac{(a^x - a^{x+1})}{(1-a^{K+2})} = \frac{xa^{x-1} - (x+1)a^x}{-(K+2)a^{K+1}} = \frac{x - (x+1)}{-(K+2)} = \frac{1}{K+2}$$

$a \rightarrow 1$

поэтому потери по времени

$$P_t = P(> 0) = \sum_{x=V}^{1+K} [x] = \frac{K+1}{K+2},$$

потери по вызовам

$$P_c = [1+K] = \frac{1}{K+2}.$$

В качестве персональных данных для исследования используйте две последние цифры зачетной книжки А и В, которые преобразуются в исходные данные следующим образом

x1 = А, А≠0
10, А=0

x2 = В, В≠0
10, В=0

Содержание работы

1. На 1-линейный пучок с 7 местами ожидания поступает нагрузка $x_2/(x_1+x_2)$ Эрланг.

Постройте графики распределения стационарных вероятностей. Определите потери по времени и вызовам.

2. На 1-линейный пучок с 7 местами ожидания поступает нагрузка 1 Эрланг.

Постройте графики распределения стационарных вероятностей. Определите потери по времени и вызовам.

Содержание отчета

1. Цель работы
2. Расчеты по каждому пункту задания, график, анализ
3. Выводы

Лабораторная работа 7

Система с ожиданием и приоритетами (модель M/M/V//PQ)

Цель работы - исследование системы с ожиданием и потерями (модели M/M/V//PQ), получение навыков расчета качества обслуживания системы с ожиданием и приоритетами

Основные сведения

Для системы **M/M/1//PQ** справедливы следующие предположения:

- на вход системы поступают четыре пуассоновских потока с интенсивностями $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$, соответственно;
- длительность занятия подчиняется экспоненциальному распределению с параметром $\mu = VEL/LEN$;
- поступивший вызов более высокого приоритета при отсутствии очереди своего приоритета вытесняет самый неприоритетный вызов, в противном случае становится в очередь своего приоритета. При освобождении линии поочередно обслуживаются все вызовы из первой очереди, затем – все вызовы из второй, третьей, четвертой очереди. Следовательно, вызовы четвертого потока обслуживаются только при отсутствии в очереди вызовов первого, второго и третьего потоков;
- пучок доступен, когда он свободен, для любого вызова;
- исходной для расчета является поступающая нагрузка;
- система находится в стационарном режиме.

Поскольку потоки низших приоритетов не влияют на потоки высших приоритетов, то для первого потока в системе **M/M/1//PQ** имеем:

среднее время пребывания вызова первого потока в системе –

$$te1(P) = \frac{Qe1(P)}{\lambda_1} = \frac{1}{\mu} \frac{1}{1 - a_1}, \quad a_1 < 1,$$

среднее время пребывания вызова второго потока в системе –

$$te2(P) = \frac{Qe2(P)}{\lambda_2} = \frac{1}{\mu(1 - a_1 - a_2)(1 - a_1)}, \quad a_1 + a_2 < 1,$$

среднее время пребывания вызова третьего потока в системе –

$$te3 = \frac{Qe3(P)}{\lambda_3} = \frac{1}{\mu(1 - a_1 - a_2 - a_3)(1 - a_1 - a_2)}, \quad a_1 + a_2 + a_3 < 1,$$

среднее время пребывания вызова четвертого потока в системе –

$$te4(P) = \frac{Qe4(P)}{\lambda_4} = \frac{1}{\mu(1 - a_1 - a_2 - a_3 - a_4)(1 - a_1 - a_2 - a_3)}, \quad a_1 + a_2 + a_3 + a_4 < 1.$$

В качестве персональных данных для исследования используйте две последние цифры зачетной книжки А и В, которые преобразуются в исходные данные следующим образом

$$\begin{aligned} x1 &= A, \quad A \neq 0 \\ 10, A &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x2 &= B, \quad B \neq 0 \\ 10, B &= 0 \end{aligned}$$

Содержание работы

1. На 1-линейный пучок поступают 2 потока с параметрами $L_1=x_1 \text{ с}^{-1}$ и $L_2=x_2 \text{ с}^{-1}$. Интенсивность обслуживания $M=(x_1+x_2+2) \text{ с}^{-1}$. Первый поток имеет абсолютный приоритет.

Определите среднее время пребывания вызова в системе для каждого потока. Постройте графики ФРВ окончания обслуживания для каждого потока.

2. На 1-линейный пучок поступают 3 потока с параметрами $L_1=x_1 \text{ с}^{-1}$, $L_2=x_2 \text{ с}^{-1}$, $L_3=3 \text{ с}^{-1}$. Интенсивность обслуживания $(x_1+x_2+2) \text{ с}^{-1}$. Система с абсолютными приоритетами.

Определите среднее время пребывания вызова в системе для каждого потока. Постройте графики ФРВ окончания обслуживания для каждого потока.

Содержание отчета

1. Цель работы
2. Расчеты по каждому пункту задания, график, анализ
3. Выводы

Лабораторная работа 7а

Система с ожиданием и приоритетами (модель M/M/V//CBWFQ)

Цель работы - исследование системы с ожиданием и потерями (модели M/M/V//CBWFQ), получение навыков расчета качества обслуживания системы с ожиданием и приоритетами

Основные сведения

Для системы **M/M/1//CBWFQ** справедливы предположения:

- на вход системы поступают n пуассоновских потоков различных классов с известными интенсивностями $\lambda_i, i=1,..,n$;
- средняя длительность занятия для всех потоков подчиняется экспоненциальному распределению с параметром $\mu=VEL/LEN$;
- вызов, не принятый к обслуживанию в момент занятости линии пучка, поступает в бесконечную очередь своего класса. При освобождении линии из i -ой очереди обслуживается $k_i \leq q_i = bwi\%/min(bwi\%)$ вызовов в соответствии с выделенной полосой;
- пучок доступен, когда он свободен, для любого вызова;
- исходной для расчета является поступающая нагрузка;
- система находится в стационарном режиме.

Число вызовов i -го потока в системе прямо пропорционально поступающей нагрузке i -го потока и обратно пропорционально выделенной для этого потока полосе. Поэтому приоритет обслуживания i -го потока равен $prio(i)=ai/bwi$, где $ai=\lambda_i/\mu$ – поступающая нагрузка, $bwi=bwi\%/100$ – выделенная полоса.

При расчете системы следуем следующим правилам.

1. Нумеруем потоки в соответствии с приоритетом обслуживания $prio(i)=ai/bwi$, где $ai=\lambda_i/\mu$ – поступающая нагрузка, $bwi=bwi\%/100$ – выделенная полоса.
2. При равенстве $prio(i)$ потоки объединяются в один поток с суммированием нагрузок и полос.

Для первого потока в системе **M/M/1//CBWFQ** имеем:

среднее число вызовов только первого потока в очереди –

$$QW1(CB) = Qw1(CB) = \frac{a1^2}{(1-a1) \cdot bw1};$$

среднее число вызовов первого потока в обслуживании –

$$Qs1(CB) = a1;$$

среднее число вызовов первого потока в системе –

$$Qe1(CB) = Qw1(CB) + Qs1(CB);$$

среднее время пребывания вызова первого потока в системе –

$$te1(CB) = \frac{Qe1(CB)}{\lambda1}, \quad a1 < 1.$$

Для второго потока в системе **M/M/1//CBWFQ**:

среднее число вызовов только 1 и 2 потоков в очереди –

$$QW2(CB) = \frac{(a1+a2)^2}{(1-a1-a2) \cdot (bw1+bw2)};$$

среднее число вызовов только 2 потока в очереди –

$$Qw2(CB) = QW2(CB) - QW1(CB);$$

среднее число вызовов второго потока в обслуживании –

$$Q_{s2}(CB) = a_2;$$

среднее число вызовов второго потока в системе –

$$Q_{e2}(CB) = Q_{w2}(CB) + Q_{s2}(CB);$$

среднее время пребывания вызова второго потока в системе –

$$t_{e2}(CB) = \frac{Q_{e2}(CB)}{\lambda_2}, \quad a_1 + a_2 < 1.$$

В качестве персональных данных для исследования используйте две последние цифры зачетной книжки А и В, которые преобразуются в исходные данные следующим образом

$$x_1 = A, \quad A \neq 0$$

$$10, A = 0$$

$$x_2 = B, \quad B \neq 0$$

$$10, B = 0$$

Содержание работы

1. На 1-линейный пучок поступают 2 потока с параметрами $L_1 = x_1 \text{ с}^{-1}$ и $L_2 = x_2 \text{ с}^{-1}$. Интенсивность обслуживания $M = (x_1 + x_2 + 2) \text{ с}^{-1}$. Первому потоку выделена полоса 10%, оставшаяся полоса – второму потоку.

Определите среднее время пребывания вызова в системе для каждого потока. Постройте графики ФРВ окончания обслуживания для каждого потока.

2. На 1-линейный пучок поступают 2 потока с параметрами $L_1 = x_1 \text{ с}^{-1}$ и $L_2 = x_2 \text{ с}^{-1}$. Интенсивность обслуживания $m = (x_1 + x_2 + 2) \text{ с}^{-1}$.

Распределите полосы между потоками так, чтобы среднее время пребывания вызовов в системе было одинаково. Постройте графики ФРВ окончания обслуживания для каждого потока.

Содержание отчета

1. Цель работы

2. Расчеты по каждому пункту задания, график, анализ

3. Выводы

Лабораторная работа 8

Системы с повторными вызовами

Цель работы - исследование системы с повторными вызовами, получение навыков расчета систем с повторными вызовами

Основные сведения

Причиной повторных вызовов являются блокировка вызова, ошибка в наборе номера, занятость абонента, безответность абонента. Повторные вызовы создают дополнительную неоплачиваемую нагрузку, как на каналы связи, так и на управляющие устройства, поскольку начисление платы за разговор начинается с момента ответа вызываемого абонента.

Число повторных вызовов абсолютно настойчивого абонента оценивается средним числом попыток M на один успешный вызов, при этом, естественно, среднее число повторных попыток равно $(M-1)$.

Для модели с повторными вызовами справедливы предположения:

- вызовы, поступающие на вход системы, образуют пуассоновский поток постоянной интенсивности с параметром λ ;
- длительность обслуживания вызова управляющим устройством подчиняется экспоненциальному распределению с параметром μ ;
- вызов, не принятый к обслуживанию в момент занятости V линий пучка, через случайный интервал времени, со средним, равным времени занятия, вновь поступает на вход системы;
- любой из V выходов пучка доступен, когда он свободен, для любого поступающего вызова.
- исходной для расчета является обслуженная нагрузка $A_s < V$;
- система находится в стационарном режиме.

Обслуженная и консолидированная нагрузки связаны соотношением $A_s = B(1 - E_v(B))$.

ФРВО конца обслуживания вызовов управляющим устройством.

$$F_e(t) = 1 - \exp\{-\mu(1 - E_v(B))t\}.$$

Среднее время обслуживания повторного вызова управляющим устройством $TR = (\mu(1 - E_v(B)))^{-1}$, а одиночного вызова – $T1 = (\mu)^{-1}$, поэтому среднее число попыток на один успешный вызов

$$M = \frac{TR}{T1} = \frac{1}{1 - E_v(B)} = \frac{B}{A_s}.$$

Для исключения повторных вызовов, т.е. для перехода к системе с явными потерями в формуле Эрланга следует использовать обслуженную, а не поступающую (консолидированную) нагрузку.

В качестве персональных данных для исследования используйте две последние цифры зачетной книжки A и B , которые преобразуются в исходные данные следующим образом

$$\begin{aligned} x1 &= A, A \neq 0 \\ 10, A &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x2 &= B, B \neq 0 \\ 10, B &= 0 \end{aligned}$$

Содержание работы

Система с повторными вызовами имеет $(x+2)$ обслуживающих прибора и обслуживает нагрузку x Эрланг. Среднее время обслуживания вызова управляющим устройством – 20 миллисекунд.

1. Вычислите консолидированную нагрузку.
2. Вычислите среднее число попыток на успешный вызов.
3. Постройте графики ФРВО конца обслуживания вызова управляющим устройством без и с повторными вызовами.
4. Определите число обслуживающих приборов для перевода системы в режим с явными потерями на уровне не более 0,005.

Содержание отчета

1. Цель работы
2. Расчеты по каждому пункту задания, анализ
3. Выводы

Лабораторная работа 9

Обеспечение качества обслуживания в Интернет

Цель работы - изучение подходов к обеспечению качества обслуживания в Интернет

Основные сведения

В соответствии с *Рекомендацией G.711* время между соседними выборками равно 125 микросекунд, поэтому в поле данных пакета (Payload) за 10, 20 или 30 мс помещается соответственно 80, 160 или 240 байт. При прохождении по стеку протоколов добавляются заголовки RTP (12 байт), UDP (8 байт), IP (20 байт) и байты канального уровня (8 байт для PPP или 14 байт для Ethernet). В наихудшем случае (Ethernet) с учетом преамбулы и межпакетного интервала в сумме добавляется 78 байт.

Общая характеристика пакета для приведенных случаев дана в табл. 1.

Табл. 1 – Параметры пакетов с кодеком G.711

Тип кодека	Алгоритм кодирования	Полоса передачи речи, Кбит/с	Время формирования пакета, мс	Общая длина пакета, байт (LEN)	Суммарная полоса передачи, Кбит/с (bw)	MOS
G.711	PCM	64	10 (80 байт)	80+78=158	126.4	4.3
			20 (160 байт)	160+78=238	95.2	4.3
			30 (240 байт)	240+78=318	84.8	4.3

Интенсивность обслуживания пакета интерфейсом маршрутизатора равна VEL/LEN , где VEL – скорость передачи интерфейса, LEN – длина пакета.

Параметр потока речевых пакетов λ_{pac} вычисляется по формуле

$$\lambda_{pac} = \lambda \frac{ts}{tcod},$$

где λ - параметр потока вызовов от абонента,

ts – средняя длительность разговора,

$tcod$ – время формирования пакета речевым кодеком.

В качестве персональных данных для исследования используйте две последние цифры зачетной книжки А и В, которые преобразуются в исходные данные следующим образом

$$x1 = A, A \neq 0 \\ 10, A = 0$$

$$x2 = B, B \neq 0 \\ 10, B = 0$$

Содержание работы

1. Кодек G.711(10) каждые 30 мс генерирует пакеты длиной 158 байт. Вычислите полосу передачи кодека.
2. Кодек G.711(30) каждые 10 мс генерирует пакеты длиной 318 байт. Вычислите полосу передачи кодека.
3. Интерфейс маршрутизатора со скоростью $\times 1$ Мбит/с обслуживает пакеты кодека G.711(10). Вычислите интенсивность обслуживания.
4. Интерфейс маршрутизатора со скоростью $\times 1$ Мбит/с обслуживает пакеты кодека G.711(30). Вычислите интенсивность обслуживания.
5. На один из интерфейсов маршрутизатора со скоростью $\times 1$ Мбит/с поступают пакеты от абонента с кодеком G.711(10) от 100 пользователей. На другой интерфейс маршрутизатора со скоростью $\times 1$ Мбит/с поступают пакеты от абонента с кодеком G.711(30) от 100 пользователей. Каждый абонент производит 1 вызов в час, длительность разговора 3 минуты.
Постройте графики ФРВ окончания обслуживания на каждом интерфейсе.

Содержание отчета

1. Цель работы
2. Расчеты по каждому пункту задания, анализ
3. Выводы

Лабораторная работа 10

Система с коллизией

Цель работы - исследование системы с коллизией, получение навыков расчета систем с коллизией

Основные сведения

Коллизии имеют место в локальных сетях с коммутацией пакетов Ethernet. При возникновении коллизии повторная попытка соединения осуществляется через случайный момент времени, вычисляемый по формуле $t_{\text{rep}} = t_{512} \cdot k$, где t_{512} – длительность промежутка в 512 тактовых интервалов. Значение k равновероятно принимает целочисленные значения в диапазоне $(0-2^n)$, где n равно номеру повторной попытки, если номер попытки не больше 10. С 10-й попытки значение n не увеличивается и остается равным 10. Например, для Ethernet со скоростью 10 Мбит/с длительность промежутка в 512 тактовых интервалов $t_{512} = 51.2$ мкс, максимальная задержка 1-ой повторной попытки составит $t_{\text{rep}1} = 51.2 \text{ мкс} \cdot 2 = 0.1$ мс, а максимальная задержка 16-ой попытки составит $t_{\text{rep}16} = 51.2 \text{ мкс} \cdot 2^{10} = 52.4288$ мс.

Условие обеспечения максимальной пропускной способности V линий пучка, когда они обслуживают максимальную долю поступающей нагрузки

$$\sum_{k=0}^V \frac{B_{\text{max}}^k}{k!} = (V+1) \frac{B_{\text{max}}^{V+1}}{(V+1)!}$$

Принимая $V=1$ (сеть Ethernet), получаем, $B_{\text{max}}^2 - B_{\text{max}} - 1 = 0$, откуда максимальное значение консолидированной нагрузки $B_{\text{max}} = \frac{1+\sqrt{5}}{2} = 1.618$ Эрланг, при этом максимальную обслуженную нагрузку находим как $A_{S \text{ max}} = A_{0 \text{ max}} = B_{\text{max}} (e^{-B_{\text{max}}} + B_{\text{max}} e^{-B_{\text{max}}}) = 0.839$ Эрланг

При использовании Ethernet для IP-телефонии

параметр потока вызовов от одного пользователя $\lambda = \alpha \cdot t_s / t_{\text{cod}}$

время передачи одного фрагмента разговора (пакета) $t_{\text{pac}} = \text{LEN} / \text{VEL}$

удельная нагрузка одного активного пользователя $a_{\text{pac}} = \lambda \cdot t_{\text{pac}}$.

В качестве персональных данных для исследования используйте две последние цифры зачетной книжки А и В, которые преобразуются в исходные данные следующим образом

$$\begin{aligned} x1 &= A, A \neq 0 \\ 10, A &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x2 &= B, B \neq 0 \\ 10, B &= 0 \end{aligned}$$

Содержание работы

1. Сеть Ethernet 2,048 Мбит/с используется только для передачи данных. Один узел производит обмен 10*х2 файлами в час, средняя длина файла 100*х2 байт.

- вычислите нагрузку на один узел.
- вычислите максимальное число узлов, при котором достигается максимум обслуженной нагрузки
- постройте график функции распределения времени окончания обслуживания.

2. Сеть Ethernet 2,048 Мбит/с используется для IP-телефонии. Один узел производит сеанс связи х2 раза в час, среднее время разговора 200 секунд. Фрагмент речи длиной 200 байт посылается каждые 20 мс.

- вычислите нагрузку на один узел.
- вычислите максимальное число узлов, при котором достигается максимум обслуженной нагрузки,
- постройте график функции распределения времени окончания обслуживания.

Содержание отчета

1. Цель работы
2. Расчеты по каждому пункту задания, анализ
3. Выводы

Лабораторная работа 11

Оценка надежности сетевых элементов

Цель работы - получение навыков расчета надежности

Основные сведения

Очень важна оценка надежности сетевых элементов. Комплекс мер со стороны оператора для поддержания сети связи в работоспособном состоянии получил название системы технического обслуживания (СТО). Различают децентрализованную и централизованную СТО. В первом случае на каждом узле коммутации имеется свой обслуживающий персонал, во втором, только на одном (главном) узле коммутации организуется центр технического обслуживания (ЦТО).

Надежность системы оценивается **коэффициентом готовности** - доля времени, в течение которого вызовы обслуживаются с заданным качеством. На коэффициент готовности оборудования влияют среднее время наработки оборудования на отказ $T\xi$ и время его восстановления T_r .

Среднее время наработки на отказ равно промежутку времени от начала функционирования в исправном состоянии до момента отказа и зависит от соответствия эксплуатации оборудования техническим условиям и от качества его изготовления. Величина ξ , обратная времени наработки на отказ, называется интенсивностью отказов.

Время восстановления включает в себя время обнаружения неисправности, время прибытия ремонтно-восстановительной бригады и время замены неисправного оборудования. Величина r , обратная времени восстановления, называется интенсивностью восстановления.

В обеих СТО для повышения надежности используют один из двух способов резервирования.

Функционально-задействованное резервирование - резервное оборудование участвует в обслуживании вызовов вместе с основным оборудованием и обслуживает половину поступающей нагрузки. Основное и резервное оборудование **имеют независимые базы данных** установленных соединений. Выход из строя основного или резервного оборудования приводит к потере половины установленных соединений. Оставшееся исправное оборудование продолжает обслуживание всей поступающей нагрузки, но с пониженным качеством. Выход из строя основного и резервного оборудования приводит к отказу системы. Этот способ резервирования наиболее характерен для систем с коммутацией пакетов.

Функционально-незадействованное - резервное оборудование постоянно отслеживает и копирует состояние основного оборудования, **имея одну и ту же базу данных** установленных соединений. Выход из строя основного или резервного оборудования не приводит к понижению качества обслуживания. Выход из строя основного и резервного оборудования приводит к отказу всей системы. Этот способ резервирования применяется тогда, когда потеря ранее установленных соединений приводит к весьма негативным последствиям и применяется, например, для резервирования коммутационных полей в системах с коммутацией каналов.

При воздействии на систему нескольких типов неисправностей с интенсивностями отказов/восстановлений $\{\xi_1, r_1\}, \{\xi_2, r_2\}, \dots, \{\xi_m, r_m\}$ коэффициент готовности вычисляется по формуле $K=r/(\xi+r)$, где $\xi=1/T\xi$ - суммарная интенсивность отказов,

$r=1/Tr$ – суммарная интенсивность восстановления. Последние определяются из равенств

$$\xi = \xi_1 + \xi_2 + \dots + \xi_m = 1/T\xi_1 + 1/T\xi_2 + \dots + 1/T\xi_m,$$
$$r = p_1 r_1 + \dots + p_m r_m = \frac{\xi_1}{\xi_1 + \xi_2 + \dots + \xi_m} r_1 + \dots + \frac{\xi_m}{\xi_1 + \xi_2 + \dots + \xi_m} r_m.$$

В качестве персональных данных для исследования используйте две последние цифры зачетной книжки А и В, которые преобразуются в исходные данные следующим образом

$x_1 = A, A \neq 0$
10, $A=0$

$x_2 = B, B \neq 0$
10, $B=0$

Содержание работы

На прибор воздействуют два типа неисправностей. Среднее время поступления неисправности первого типа x_1 час, второго типа – x_2 час. Среднее время восстановления неисправности первого типа x_1 минут, второго типа – x_2 минут.

1. Определите

- среднее время наработки на отказ при воздействии двух типов неисправностей;
- суммарное время восстановления;
- коэффициент готовности.

2. Одиночный прибор имеет время наработки на отказ $x_1 \cdot 100$ час, время восстановления x_2 час. Определите коэффициент готовности.

3. Определите коэффициент готовности задания 2.2 при дублировании прибора. Постройте график распределения вероятностей системы из двух приборов.

Содержание отчета

1. Цель работы
2. Расчеты по каждому пункту задания, графики, анализ
3. Выводы

Лабораторная работа 12

Переходные процессы в сетях связи

Цель работы - ознакомление с переходными процессами в сетях связи, получение навыков расчета переходных процессов.

Основные сведения

Стационарный процесс характеризуется неизменностью значений вероятности на фиксированном промежутке времени, независимо от расположения этого промежутка времени на оси времени, поэтому вероятности таких событий не зависят от времени. Подавляющую долю времени сетевые элементы функционируют в стационарном режиме и ранее рассмотренные модели обладают именно таким свойством.

Вместе с тем имеются процессы, вероятность реализации которых есть функция времени. Они получили название переходных процессов. Переходные процессы возникают при резком изменении какого-либо параметра сетевого элемента: интенсивности потока поступающих вызовов, числа обслуживающих приборов (полосы пропускания), смене основного маршрута следования соединения и т.д.

При неизменности параметров системы с течением времени переходный процесс заканчивается стационарным процессом, стационарному процессу предшествует переходный процесс.

Переходный процесс рождения хорошо описывает накопление неисправностей на необслуживаемых узлах коммутации, а процесс гибели – их устранение во время посещения необслуживаемого узла ремонтно-восстановительной бригадой.

Переходный процесс рождения и гибели возникает при первоначальном запуске системы, при изменении входящего потока вызовов, вызванного перераспределением нагрузки на сети, при перегрузках сети и т.д. Для нахождения переходных вероятностей в полноступном пучке используются соответствующие дифференциальные уравнения процесса рождения и гибели при условии равенства нулю производных тех же вероятностей.

Вероятности состояний процесса рождения описываются формулой

$$p_x(t) = \begin{cases} \frac{(\lambda t)^x}{x!} e^{-\lambda t}, & x = 0, \dots, V-1, \\ F_V(t) = 1 - \sum_{i=0}^{V-1} \frac{(\lambda t)^i}{i!} e^{-\lambda t}, & x = V, \end{cases}$$

где λ – параметр потока неисправностей.

Вероятности состояний процесса гибели описываются формулой

$$p_{V-x}(t) = \begin{cases} \frac{(\mu t)^x}{x!} e^{-\mu t}, & x = 0, \dots, V-1, \\ 1 - \sum_{i=0}^{V-1} \frac{(\mu t)^i}{i!} e^{-\mu t}, & x = V. \end{cases}$$

где μ – интенсивность восстановления неисправности одной ремонтно-восстановительной бригадой.

В качестве персональных данных для исследования используйте две последние цифры зачетной книжки А и В, которые преобразуются в исходные данные следующим образом

$$x_1 = A, A \neq 0 \\ 10, A = 0$$

$$x_2 = B, B \neq 0 \\ 10, B = 0$$

Содержание работы

1. На необслуживаемую систему из 2 элементов воздействует простейший поток неисправностей. Среднее время возникновения неисправности x_1 месяца.

Начертите график состояния системы за время $3 \cdot x_1$ месяцев, если изначально система исправна.

2. На неисправную систему из 2 элементов прибыла ремонтно-восстановительная бригада. Среднее время восстановления одного элемента x_1 часов.

Начертите график состояния системы за время $3 \cdot x_1$ часов.

Содержание отчета

1. Цель работы
2. Расчеты по каждому пункту задания, графики, анализ
3. Выводы

Лабораторная работа 13

Показатели эффективности каналов передачи пакетов

Цель работы - ознакомление с методами измерения показателей эффективности (KPI) функционирования каналов передачи данных.

Основные сведения

Для расчета KPI дуплексного пучка каналов передачи данных со скоростью передачи VEL Кбит/с каждый используются следующие статистические данные (статистика за T секунд):

R_MSU – число принятых сигнальных сообщений.

R_Bytes – общее число принятых байт.

T_MSU – число переданных сигнальных сообщений.

T_Bytes – общее число переданных байт.

Эти статистические данные используются для расчета следующих KPI.

Интенсивность поступления сигнальных сообщений вычисляется как отношение числа принятых сообщений к времени наблюдения

$$R_MSU / s = \frac{R_MSU}{T}.$$

Средняя длина принятых сигнальных сообщений вычисляется как отношение общего числа принятых байт к числу принятых сигнальных сообщений

$$R_Bytes / MSU = \frac{R_Bytes}{R_MSU}.$$

Нагрузка на принимаемый сигнальный канал вычисляется как отношение числа принятых бит к общему числу бит, принятых за время наблюдения

$$R_Load = \frac{R_Bytes * 8}{VEL * T}.$$

Интенсивность передачи сигнальных сообщений вычисляется как отношение числа переданных сообщений к времени наблюдения

$$T_MSU / s = \frac{T_MSU}{T}.$$

Средняя длина переданных сигнальных сообщений вычисляется как отношение общего числа переданных байт к числу принятых сигнальных сообщений

$$T_Bytes / MSU = \frac{T_Bytes}{T_MSU}.$$

Нагрузка на передающий сигнальный канал вычисляется как отношение числа переданных бит к общему числу бит, переданных за время наблюдения (15 минут = 900 секунд)

$$T_Load = \frac{T_Bytes * 8}{VEL * T}.$$

В качестве персональных данных для исследования используйте две последние цифры зачетной книжки A и B, которые преобразуются в исходные данные следующим образом

x1 = A, A≠0
10, A=0

x2 = B, B≠0
10, B=0

Содержание работы

Измерения на дуплексном однолинейном пучке со скоростью ($x1 \cdot x2$) Кбит/с в каждом направлении за время 10 минут показали:

$R_{MSU} = 1000 \cdot x1$.

$R_{Bytes} = 20000 \cdot x1$ байт.

$T_{MSU} = 1000 \cdot x2$.

$T_{Bytes} = 20000 \cdot x2$ байт.

Определите:

- интенсивность поступления пакетов;
 - среднюю длину принятых пакетов;
 - нагрузку на приемный канал;
 - интенсивность передаваемых пакетов;
 - среднюю длину передаваемых пакетов;
 - нагрузку на передающий канал.
2. . Определите среднее время окончания обслуживания.

Содержание отчета

1. Цель работы
2. Расчеты по каждому пункту задания, графики, анализ
3. Выводы