

Системный подход к математическому моделированию и выбору режима работы подсистемы сложной системы

Л.А. Чижикова

Аннотация— Сложность систем управления, интеграции подсистем и взаимодействия интерфейсов, разработки программно-алгоритмического обеспечения комплексов управления породило частную задачу поиска оптимального режима работы подсистемы с заданными ограничениями по времени обработки данных, каналу обмена данными, а также объему передаваемой и принимаемой информации.

В данной работе посредством применения методов динамического программирования решаются задачи выбора режима работы подсистемы с заданными характеристиками каналов связи и требуемого объема данных, отвечающих функционированию и назначению системы. Создан алгоритм поиска режима работы в заданных ограничениях минимизации времени на получение данных и пакетов данных в сети системы управления и принятия решения.

Ключевые слова— системный анализ, система управления, режим работы, мат моделирование.

I. ВВЕДЕНИЕ

Задача получения данных с наибольшей скоростью важна в системах реального времени, особенно в аэрокосмических критических к отказам системах. Данная работа посвящена определению режима работы подсистемы S_4 по минимальному возможному времени принятия и выдаче необходимых данных от остальных подсистем и управляющей системы заданном канале связи.

Поскольку все вычислительные процессы и впоследствии механизмы принятия решений в системе управления рекурсивны по получению данных от датчиков – чувствительных измерительных подсистем, а, согласно исследователям [1], [2], [3] задачи быстрого действия получения данных в сложных системах управления, а также технологии проектирования таких систем и идентификации параметров актуальны на сегодняшний день.

В данной работе рассматривается система управления и обработки информации в составе одного главного вычислителя с характеристиками и четырех

подсистем, три из которых являются чувствительными элементами, четвертая подсистема также обрабатывает данные для алгоритма принятия решения в главной вычислительной машине рассматриваемой системы управления.

Как было описано выше, проблема исследования – нахождение оптимального режима работы подсистемы S_4 с ограничениями по времени получения пакетов данных $\lim t \rightarrow \min$ и выработка алгоритма решения подобных задач.

Перейдем к характеристикам системы и канала связи решаемой задачи.

Измерение времени обработки данных в низкоуровневых вычислительных системах выражается, как правило, в миллионах инструкций в секунду – MIPS. При этом, число вычислительных циклов в секунду (CPU) делят на число циклов на каждую инструкцию в процессоре (CPI), полученное значение делят на 1 млн.

В данной работе рассматривается система управления с отдельным управляющим вычислительным блоком с характеристиками обработки данных 800 MIPS. Для рассмотрения взаимодействия и потоков данных в подсистемах, обработка внутренних алгоритмов и полученных данных в управляющем вычислительном блоке принимается равной $145 \text{ Кб} + 1760 \text{ бит} = 145220 \text{ байт}$. Заданный канал обмена данными – в соответствии с описанными характеристиками в стандарте ГОСТ Р 52070 -2003 (MIL-STD 1553 B).

II. МЕТОДЫ

В данной работе применены теоретические методы исследования. Использовались качественные методы исследования: мета – анализ данных аппаратных систем с заданными характеристиками обмена данными, для вычислительной базы использовались вторичные источники данных, их систематический анализ (запланированный отбор таких источников состоял из двух частей : первоначальный отбор из результатов поиска работ, которые удовлетворяли критериям на основе прочтения аннотации и окончательный отбор на основании систематического обзора работ, ключевой частью которого является извлечение данных в соответствии с глубиной и широтой приведенных доказательств по теме исследования). Для извлечения данных использована техника структурированного чтения, использованная Крузесом [4]

Также для написания данной работы с целью обнаружения новых свойств и взаимосвязей был поставлен эксперимент – математическое моделирование. Модель строилась на формальном

Статья получена 30 марта 2022 года. Работа выполнена как часть диссертации на соискание звания кандидата наук.

Л.А. Чижикова АО НПО Лавочкина (e-mail: ludmilachizhikova@yahoo.com).

(математическом) подобии аппаратных подсистем, выбранного канала обмена данными, характеризующих их основную функциональную зависимость, что позволило раскрыть свойства реальных объектов исследования и характеристик обмена данными. Результаты данного эксперимента и моделирования обладают научной значимостью, так как выражены посредством измерения. Системный подход к определению минимального количества времени для получения необходимых данных системой S_4 обусловлен базовыми аспектами теории информации, математическим моделированием, программированием.

III. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Рассматриваемая система состоит из одного управляющего устройства и четырех чувствительных элементов, соединенных в сеть приема и передачи данных посредством канала связи в соответствии с ГОСТ Р 52070-2003. Данный канал связи предусматривает возможность работы подсистем в режиме оконечного устройства – отправлять информацию управляющему устройству по запросу от него и в режиме монитора шины – принимать информацию от других оконечных устройств без отдельного запроса к ним, по факту и времени передачи данных от этих устройств к управляющему. В данной работе рассчитывается затраченное время на получение необходимых данных одной из подсистем в разных режимах работы при условии, что в режиме оконечного устройства оно будет получать не полный пакет данных по сравнению с работой в режиме монитора шины. В данной работе рассматривается такая системы как детерминированная, на которую не воздействуют случайные процессы (помехи электропитания, шумовые воздействия и пр.)

Вся система и его подсистемы *составляют фазовое пространство их режимов работы*: с точки зрения классификации режимов работы системы управления сложной киберфизической системы, все режимы работы можно представить в виде *фазового поля* – пространства в котором точка описывает состояние всей системы целиком в *фиксированный момент времени*. Поскольку, каждая подсистема вырабатывает, передает и принимает данные, в целом они могут быть определены как *метрическое пространство* – непустое множество, в котором между любой парой элементов определено расстояние – время приема и передачи данных и объем данных.

В качестве вторичных источников для анализа обработки и передачи данных использованы основные аспекты, приведенные в [5], теории информации.

Скорость передачи данных в выбранном канале связи составляет 1 Мбит/с = 1 бит/мкс. Паузы между передачей пакетов данных ограничены следующими временными рамками:

$$4 \leq t_1 \leq 12 \quad (1)$$

$$t_2 \leq 4$$

Для передачи слова данных объемом 20 бит требуется 20 мкс. С точки зрения информационного обмена и теории вероятности передача пакетов данных от любой подсистемы равновероятны как было описано ранее в работах автора данного исследования. При

подсчете количества информации и обрабатываемых данных в БКУ появление любого сообщения от датчиков равновероятны, приходят в двоичном коде, следовательно, возможна комбинация из m двоичных символов с равной вероятностью. Таким образом, объем данных, требуемых для каждого параметра равен :

$$I = -lb \frac{1}{2^m} = m \text{ bit} \quad (2)$$

Поскольку объем информации, согласно [5] с вероятностью $p(x_i)$ символов равен:

$$I(x_i) = -\log p(x_i) \quad (3)$$

Если от источника информации поступает информация в двоичном виде, т.е. символ 0 или 1 с равной вероятностью, то объем информации составляет:

$$I(0) = I(1) = lb 2 = 1 \text{ bit} \quad (4),$$

где lb – двоичный логарифм, так как при анализе информационных процессов используем логарифм по основанию 2, т.к. исследуемая вычислительная система БКУ ЛА функционирует на основе двоичной системы счисления, а алфавит в двоичной системе $n = 2$. При передаче 16 значащих разрядов данных от любого устройства согласно выбранному каналу связи ГОСТ Р 52070-2003 и равной вероятности возникновения 1 или 0 передается 20 бит каждый раз.

Тогда, с учетом вышесказанного, временные характеристики обмена данными по выбранному каналу связи со скоростью передачи данных 1 Мбит/с = 1000 бит/мс, т.е. один бит в микросекунду, составляют:

- Для запроса информации от чувствительных элементов, осуществляющих измерения требуется 20 мкс + пауза на выдачу пакета данных, составляющая 12 мкс, суммарно 32 мкс;
- Для передачи одного командного слова или одного ответного слова, равно как и каждого их слов данных требуется 20 мкс вне зависимости от того, передают они данные или нет.

Методы комбинаторики для определения режима работы подсистемы S_4 для данной задачи неприменимы, поскольку дают лишь количество запросов и получения данных от S_4 :

$$C_n^k = \frac{n!}{k!(n-k)!} = \frac{4!}{1!(4-1)!} = 4 \quad (5)$$

Где n – общее число подсистем, а k – выбор одной подсистемы S_4 для обмена из общего числа. В данной задаче число способов выбора без возвращения к опросу и с возвращением дают идентичные результаты:

$$C_n^k = \frac{n!}{(n-k)!} = \frac{4!}{(4-1)!} = 4 \quad (6)$$

Также, возвращаясь к методам комбинаторике, представим количество затрачиваемого времени на передаваемые и принимаемые пакеты данных числом Стирлинга первого рода, но получим лишь количество перестановок множества, состоящего из n элементов – подсистем управляющей систем с k циклами передачи и приема данных:

$$(x)_n = \sum_{k=0}^n S(n, k) x^k \quad (7)$$

Где $(x)_n$ – символ Похгамера (убывающий факториал)

$$(x)_n = x(x-1)(x-2) \dots (x-n+1) \quad (8)$$

Обмен данными и затрачиваемое время на их передачу с выбранным каналом связи, предусматривающим предварительный запрос данных в рассматриваемой системе управления с четырьмя подсистемами – чувствительными измерительными системами можно рассматривать с точки зрения математического аппарата теории телетрафика. В соответствии с основными положениями данной теории “интенсивность поступления требований в систему R (gate – количество вызовов, сообщений или пакетов в единицу времени) не должна превышать пропускную способность системы C_1 , т. е. должно выполняться неравенство $R < C_1$ для недопущения перегрузки системы распределения информации” [6].

Поскольку, относительная пропускная способность обмена данными в системе

$$q(t) = 1 - p_n(t) = \frac{N_{обсл}}{N_{пост}} \quad (9),$$

где $N_{обсл}$ - число обслуженных за время t заявок (передачу данных) к $N_{пост}$ - среднему числу поступивших запросов информации, а объем передаваемых и принимаемых данных в такой подсистеме заранее не известен в каждый промежуток времени, то пропускную способность канала связи определить невозможно.

Рассматриваемая система является сложной, для изучения ее свойств и определения оптимального режима работы системы S_4 используем также раздел теории динамических систем – анализ временных рядов. В рассматриваемой системе скалярным временным рядом $\{x_i\}_{i=1}^N$ массив из N чисел – значение объема пакетов данных – значения динамической наблюдаемой переменной $x(t)$ с некоторым постоянным шагом τ по времени

$$t_i = t_0 + (i-1)\tau; x_i = x(t_i), i = 1, \dots, N \quad (10)$$

в повторяющемся интервале времени 50 мс. В данном случае рассматриваем задачу прогноза.

Основные постулаты теории телетрафика частично применимы к задаче нахождения оптимального режима работы устройства при затрачиваемом времени t получения необходимых данных таким устройством $t \rightarrow \min$ для понимания процессов, происходящих в такой системе и дальнейшего анализа с помощью математического программирования. С точки зрения процессов массового обслуживания управляющую систему, запрашивающую данные от подсистем можно характеризовать как центр обслуживания. Для передачи данных масштаб определяется битовой скоростью передатчика, при этом, в таких системах передачи данных поток информации может быть описан математической моделью марковской цепи чистого рождения [6]:

$$\frac{dP_k(t)}{dt} = -\lambda_k P_k(t) + \lambda_{k-1} P_{k-1}(t) \quad (11)$$

Где интенсивности появления пакетов данных - рождения выбраны постоянными $\lambda_k = \lambda$, а интенсивности гибели равны нулю $\mu_k = 0$. Математической моделью появления пакетов данных является сам процесс чистого рождения.

Поскольку выбран единственный канал приема и передачи данных по ГОСТ Р 52070-2003, то есть рассматриваем, что очередь заявок одна, при этом каналы – связи от каждой подсистемы, равны $S = 4$, то среднее число заявок (пакетов данных) в очереди будет равно [7]:

$$\bar{v} = 1p_{1+S} + 2p_{2+S} + \dots + (m-S)p_m = \sum_{n=S+1}^m (n-S)p_n \quad (12)$$

Где m – общее число заявок (пакетов данных от подсистем), n – число пакетов данных, поступивших в систему, v – число заявок, ожидающих в очередях, S – число каналов. Такой подход также не дает ответа, какой режим работы подсистемы S_4 даст более быстрое получение и обработку необходимых данных.

Управляющую систему с подсистемами, их сеть можно представить как метрическое пространство.

Поскольку, согласно проблеме Штейнера в пространстве Громова – Хаусдорфа в работе [8] было доказано, что каждое конечное семейство конечных метрических пространств соединяется некоторой кратчайшей сетью, построим такую сеть из элементов – рассматриваемой управляющей системы и ее подсистем.

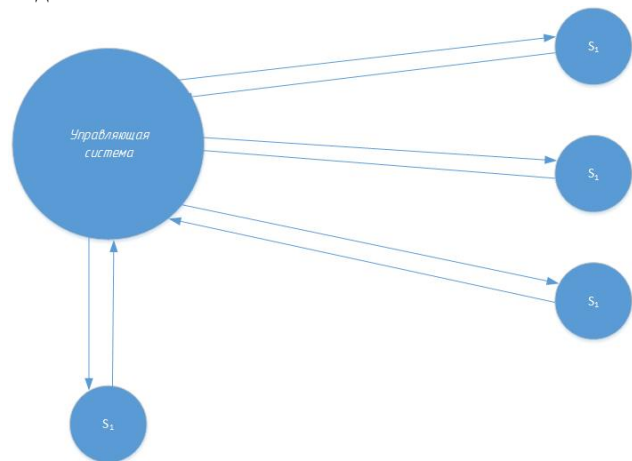


Рис. 1. Иллюстрация сети обмена данными управляющей системы и ее подсистем

Методы математического программирования и, в частности, динамического программирования применяются для решения различных задач сложных систем издавна [9], [10], также посредством динамического программирования рассматриваются более сложные задачи – решение проблемы принцепала – агента [11]. Подобную рассматриваемой задаче решали исследователи в [12], [13].

Также выбор метода динамического программирования обусловлен возможностью визуализации решаемой задачи в виде графа, а связи передачи данных системы управления и ее подсистем можно представить в виде сети. Задачу нахождения оптимального по минимуму времени получения необходимых данных считаем частной модификацией проблемы Штейнера – нахождение кратчайшего дерева, соединяющее данное фиксированное конечное

множество точек плоскости. Подобную данной работе задачу решали [12]

Рассматриваемая проблема относится к изначальному анализу процессов с дискретными состояниями. Граф состояний систем получения и отправки данных S_1, S_2, S_3, S_4 , где ребра графа – время передачи пакетов данных:

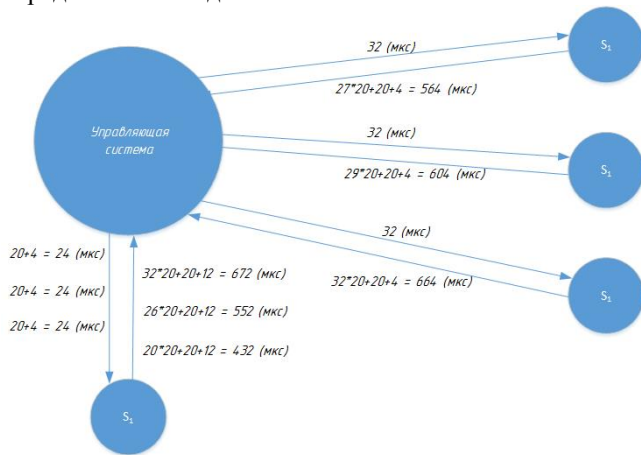


Рис 2. Сеть обмена данными

Заведём массив d , в котором для каждой вершины - подсистемы S_1, S_2, S_3, S_4 будем хранить текущую длину – время приема и передачи данных $d[v]$ кратчайшего пути из v в S (любого S_1, S_2, S_3, S_4).

Изначально $d[S] = 0$, для всех остальных узлов – вершин графа эта длина равна бесконечности [14], [15]:

$$d[S] = \infty, S \neq v \quad (13)$$

Кроме того, для каждой вершины S следует создать массив булевых переменных $u[]$, где отмечается пройдена вершина или нет. Так как изначально все вершины не помечены, то верно:

$$u[S] = false \quad (14)$$

Примем, что алгоритм Дейкстры состоит из n итераций.

На каждой итерации выбирается вершина - подсистема S с наименьшей величиной $d[v]$ среди ещё не помеченных. Выбранная таким образом вершина S отмечается помеченной. Далее, на текущей итерации, из вершины S просматриваются все рёбра (v, to) , исходящие из этой вершины и для каждой такой вершины алгоритм пытается улучшить

значение $d[to]$. Пусть длина текущего ребра равна len ,

тогда:

$$d[to] = \min(d[to], d[v] + len) \quad (15)$$

На этом текущая итерация заканчивается, алгоритм переходит к следующей итерации (снова выбирается вершина с наименьшей величиной ребра, из неё производятся вычисления, и т.д.). При этом в конце концов, после n итераций, все вершины графа станут помеченными, и алгоритм свою работу завершает. Найденные значения кратчайших путей каждой из рассматриваемых узлов такой сети.

Применяя метод кратчайших путей Дейкстры, определим наименьшее время на передачу и прием пакетов данных в разных режимах работы подсистемы S_4 .

Для запроса информации от чувствительных элементов, осуществляющих измерения требуется 20 мкс + пауза на выдачу пакета данных, составляющая 12 мкс, суммарно 32 мкс

Пакет данных измерений, преобразованных в управляющей системе от подсистем S_1, S_2, S_3, S_4 составляет $58 \cdot 20$ (бит). Всего потребуется 1728 мкс на передачу данных из управляющего устройства. Поскольку подсистема S_4 может получить все эти данные в режиме оконечного устройства, следует также учитывать время на запрос управляющей системой данных от подсистем измерений. Время на запрос и получение таких данных составляет 1928 мкс. Суммарно, для получения всех требуемых данных подсистеме S_4 потребуется

$$1928 + 12 \cdot 125 + 1728 = 3668,125 \text{ (мкс)} \approx 3,7 \text{ (мс)} \quad (16)$$

В режиме монитора шины подсистема S_4 получает данные от подсистем S_1, S_2, S_3 после запроса их управляющей системой, т.е. в течение 1928 (мкс).

В режиме монитора шины время обработки и выдачи дополнительных данных в подсистему S_4 (от обработанных внутренних алгоритмов) составит $12,125 + 20 \cdot 20 + 20 + 12 + 20 + 4 = 468,125 \text{ (мкс)}$ (17)

Полное требуемое количество данных подсистема S_4 получит за время, равное 2396,125 (мкс)

При этом, при работе в режиме оконечного устройства подсистема S_4 получение того же количество данных увеличивается на 1308 (мкс) = 1,308 (мс) Следовательно, подсистема S_4 примет и выдаст нужные данные в режиме монитора шины, что послужит лучшим параметром для принятия решений управляющей системой.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании приведенных в работе расчетов можем сделать вывод, что оптимальным по минимизации времени получения данных подсистемой 4 является ее работа в режиме монитора шины. В данной работе излагаются результаты расчетов, основанные на предоставленных характеристиках приборов,

объединенных в систему. Показан выбор методов решения из различных разделов наук – комбинаторики, теории телетрафика, математического программирования.

Решение данной задачи показывает применимость методов математического моделирования и программирования к задачам оценки времени и объема данных в искусственных сложных системах управления. Решение данной задачи показал следующий алгоритм при определении выбора режима работы одной из подсистем.

Алгоритм решения задачи

1. Изначально находятся объем пакетов данных и время передачи данных между управляющей системой и ее подсистемами

2. Строится граф потоков данных между узлами – подсистемами приема, передачи и обработки данных

3. Применяя методы динамического программирования, а именно алгоритм кратчайших путей Дейкстры находится минимальное время с заданными ограничениями пакета данных и выбирается оптимальный режим работы подсистемы S_4 .

Практическое применение описанных подходов нашло в задаче интеграции бортовых навигационных приборов и системы технического зрения (подсистема S_4).

БИБЛИОГРАФИЯ

- [1] В.Ю. Цыганова М.В. Куликова Об эффективности методах параметрической идентификации линейных дискретных стохастических систем // Автоматика и телемеханика. 2012. № 6. С. 34-51
- [2] Е.А. Перепелкин Методы синтеза многосвязных систем управления с неполной информацией о состоянии, параметрах и возмущениях на основе матричных уравнений и передаточных матриц, диссертация на соискание кандид. наук по спец.05.13.01, 2000 год
- [3] И.С. Левин Синтез оптимальных по быстродействию систем управления с распределенными параметрами в условиях интервальной неопределенности характеристик объекта, диссертация на соискание кандид. наук по спец. 05.13.01, 2016, Самара
- [4] Cruzes D.S., Mendonca M.G. Basili V.R. , Shull F. And Jino M. "Extracting Information from Experimental Software Engineering Papers" Proc.SCCC'07 p.105-114, 2007
- [5] Xuehong Cao, Zongcheng Zhang, Information Theory and Coding, Tsinghua University Press Co., Ltd., 2004-Теория кодирования-233 страницы
- [6] Пономарев, Д. Ю. П56 Теория телетрафика : учеб. пособие / Д. Ю. Пономарев ; СибГУ им. М. Ф. Решетнева. – Красноярск, 2017. – 160 с.
- [7] Емельянов А. А. Модели процессов массового обслуживания //Прикладная информатика. – 2008. – №. 5. – С. 92-130
- [8] Иванов А. О., Николаева Н. К., Тужилин А. А. Проблема Штейнера в пространстве Громова–Хаусдорфа: случай конечных метрических пространств //Труды Института математики и механики УрО РАН. – 2017. – Т. 23. – №. 4. – С. 152-161
- [9] Kang Shin N.McKay A dynamic programming approach to trajectory planning of robotic manipulators IEEE Transactions on Automatic Control, vol.31 no.6, pp.491-500
- [10] Robert Giegerich A systematic approach to dynamic programming in bioinformatics, Bio Informatics, Volume 16, Issue 8, August 2000, p.665-671
- [11] Cvitanic J., Possamai D., Touzi N. Dynamic programming approach to principal – agent problems. Finance Stoch 22, 1-37 (2018)

- [12] Robert E. Jensen (1969) A Dynamic Programming Algorithm for Cluster Analysis Operations Research 17(6) : 1034-1057
- [13] Pierre Hansen , Brigitte Jaumard Cluster Analysis and Mathematical Programming. Mathematical Programming 79, 191 – 215 (1997)
- [14] <https://e-maxx.ru/algo/dijkstra> (дата обращения 30.03.2022)
- [15] Кормен Томас Х. и др. Алгоритмы: построение и анализ, 3-е изд.: Пер. с англ. – М. : ООО «И.Д. Вильямс», 2013 – 1328 стр.

Чижикова Л.А. закончила Московский технический университет связи и информатики по специальности «Управление и информатика в технических системах». С 2011 ведет свою профессиональную деятельность по специальности в авиакосмической отрасли. С 2020 года занимается написанием диссертационной работы по тематике бортовых комплексов управления и совершенствования методики разработки программно-алгоритмического обеспечения.

The system approach to mathematical modeling and selection of the complex systems' subsystems operational modes

Liudmila Chizhikova

Abstract – The complexity of the control systems, integration of subsystems and interfaces, software development of control systems evoke the special task of the optimal operation mode search with given limitations in time of data operation, data exchange channel and the volume of input and output data.

Using the application of the dynamical programming methods the task of one subsystem's operation mode search is solved.

The search algorithm of the operational mode in given limitations of the time minimizing for receiving data and data packages at the control system and decision making network is created.

Key words – system analysis, control system, operational mode, math modelling

REFERENCES

- [1] V.Yu. Cyganova M.V. Kulikova Ob effektivnosti metodah parametricheskoy identifikatsii lineynykh diskretnykh stohasticheskikh sistem // Avtomatika i telemekhanika. 2012. № 6. S. 34-51
- [2] E.A. Perepelkin Metody sinteza mnogosvyaznykh sistem upravleniya s nepolnoy informatsiej o sostoyanii, parametroh i vozmushcheniyah na osnove matrichnykh uravnenij i peredatochnykh matric , dissertatsiya na soiskanie kandid. nauk po spec.05.13.01, 2000 god
- [3] I.S. Levin Sintez optimal'nykh po bystrodejstviyu sistem upravleniya s raspredelennymi parametrami v usloviyah interval'noj neopredelennosti harakteristik ob"ekta, dissertatsiya na soiskanie kandid. nauk po spec. 05.13.01, 2016, Samara
- [4] Cruzes D.S., Mendonca M.G. Basili V.R. , Shull F. And Jino M. "Extracting Information from Experimental Software Engineering Papers" Proc.SCCC'07 p.105-114, 2007
- [5] Xuehong Cao, Zongcheng Zhang, Information Theory and Coding, Tsinghua University Press Co., Ltd., 2004-Teoriya kodirovaniya-233 stranicy
- [6] Ponomarev, D. Yu. P56 Teoriya telegrafika : ucheb. posobie / D. Yu. Ponomarev ; SibGU im. M. F. Reshetneva. – Krasnoyarsk, 2017. – 160 s.
- [7] Emel'yanov A. A. Modeli processov massovogo obsluzhivaniya //Prikladnaya informatika. – 2008. – №. 5. – S. 92-130
- [8] Ivanov A. O., Nikolaeva N. K., Tuzhilin A. A. Problema Shtejnera v prostranstve Gromova–Hausdorfa: sluchaj konechnykh metricheskikh prostranstv //Trudy Instituta matematiki i mekhaniki UrO RAN. – 2017. – T. 23. – №. 4. – S. 152-161
- [9] Kang Shin N.McKay A dynamic programming approach to trajectory planning of robotic manipulators IEEE Transactions on Automatic Control, vol.31 no.6, pp.491-500
- [10] Robert Giegerich A systematic approach to dynamic programming in bioinformatics, Bio Informatics, Volume 16, Issue 8, August 2000, p.665-671
- [11] Cvitanic J., Possamai D., Touzi N. Dynamic programming approach to principal – agent problems. Finance Stoch 22, 1-37 (2018)
- [12] Robert E. Jensen (1969) A Dynamic Programming Algorithm for Cluster Analysis Operations Research 17(6) : 1034-1057
- [13] Pierre Hansen , Brigitte Jaumard Cluster Analysis and Mathematical Programming. Mathematical Programming 79, 191 – 215 (1997)
- [14] <https://e-maxx.ru/algo/dijkstra> (data obrashcheniya 30.03.2022)
- [15] Kormen Tomas H. i dr. Algoritmy: postroenie i analiz, 3-e izd.: Per. s angl. – M. : OOO «I.D. Vil'yams», 2013 – 1328 str.