

УДК 004.725.7

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ СЕТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

**В. П. Корячко**, д.т.н., профессор, зав. кафедрой САПР ВС РГРТУ; koryachko.v.p@rseu.ru

**А. П. Шибанов**, д.т.н., профессор кафедры САПР ВС РГРТУ; apshibanov@yandex.ru

**В. А. Шибанов**, к.т.н., доцент кафедры САПР ВС РГРТУ; vova\_shibanov@mail.ru

**А. Н. Сапрыкин**, к.т.н., доцент кафедры САПР ВС РГРТУ; alexpizza@rambler.ru

**Х. Л. Фам**, аспирант РГРТУ; hoanglong2410@gmail.com

*Целью исследований является обзор работ, выполненных на кафедре САПР РГРТУ по методам создания перспективной сети передачи информации от измерительных систем при испытаниях летательных аппаратов. Работа основана на концепции программно-конфигурируемых сетей. Повышение надежности и быстродействия локальных сетей измерительных пунктов на трассе полета достигается на основе VLB-сетей с рандимизированным распределением нагрузки и маршрутизацией через промежуточный узел. Находится распределение времени передачи кадров оптико-электронной информации с применением теории аналитических функций комплексного переменного. С использованием теории GERT-сетей определяется величина совокупной полосы пропускания каналов и путей специализированной сети передачи данных. Оптимальное решение находится с применением генетических алгоритмов. Вводятся ограничения на среднее время передачи информации от измерительных средств до центра управления испытаниями, а также ограничения на величину резерва полосы пропускания каналов. Приводится описание визуализации трафика в сети полигонного измерительного комплекса.*

**Ключевые слова:** испытания летательных аппаратов, измерительная информация, сеть передачи данных, оптико-электронные средства, балансировка трафика, теория вычетов, распределение времени передачи кадра, полоса пропускания, генетические алгоритмы, визуализация трафика.

**DOI:** 10.21667/1995-4565-2017-60-2-105-112

### Канал передачи траекторной информации реального времени

Находятся показатели качества сети передачи траекторных измерений при испытаниях летательных аппаратов [1]. Здесь и далее плотность распределения вероятностей длительности передачи стандартной единицы измерительной информации через одно звено задается распределением Эрланга. Передача выполняется в реальном масштабе времени. Находится производящая функция моментов времени передачи таких кадров. Определяются показатели качества канала с использованием модели массового обслуживания  $M/G/1$ .

В данной работе предлагается метод нахождения показателей качества специализированной сети сбора, передачи и приема кадров траекторной информации от радиотехнических средств, средств визуального наблюдения, спутниковых систем глобального позиционирования, систем с использованием лазерных уголкового отражате-

лей и т.п. Информация снимается одновременно от нескольких систем и поступает в центр управления принятия решений по управлению объектами летных испытаний. Метод основан на нахождении характеристической функции времени передачи кадра измерительной информации с ограничением времени обработки кадра в канале передачи.

Отметим следующие особенности функционирования такого канала. В канал передачи данных поступает пуассоновский входной поток. Из входной очереди выделяются и передаются кадры с ограничением по длине, в которых содержится оптико-электронная информация реального времени. Интервал занятости определяется кадрами реального масштаба времени, интервал простоя используется для фоновых задач, а именно для передачи кадров большой длины с отдельного накопителя. Ограничение по длине кадра может изменяться пользователем. Передача в первую очередь коротких кадров улучшает характеристики системы массового обслужива-

ния при передаче в режиме реального времени, а именно средних значений основных параметров системы  $M/G/1$ , определяемых по формулам Поллачека – Хинчина.

Решается задача нахождения степени воздействия вариации максимальной величины приоритетных посылок, содержащих измерения, на показатели качества специализированной сети. Находится такое значение, при котором проектировщик может получить удовлетворяющую его зависимость между числом задержанных кадров и степенью возрастания входного потока, которая может быть достигнута в стационарном режиме работы канала.

Предложенный метод выбора вероятностно-временных характеристик канала с выделением кадров оптико-электронной информации реального времени для их первоочередной передачи может быть использован при построении моделей каналов, в которых передаются кадры оптико-электронной информации с различными длинами.

### **Передача траекторной информации в потоке**

Решается задача расчета показателей качества сети передачи траекторных измерений при проведении испытаний беспилотных и пилотируемых летательных аппаратов [2]. Передаваемый кадр делится на две части, каждая из которых передается по отдельному подканалу. В результате этого повышаются отказоустойчивость и быстродействие канала. Длительность передачи кадра находится через характеристическую функцию, а величина потока – через производящую функцию числа измерений. Простейший поток задает точки на временной оси, в которых поступают измерительные потоки на вход канала. Проходящий трафик моделируется системой массового обслуживания, в которой входной поток простейший, а распределение времени обслуживания произвольное

Собираются информационные потоки от различных измерительных средств. Объединение потоков в соответствии с теоремой Джексона порождает простейший поток на входе канала.

Вероятностное распределение длины сообщения считается известным. Передача кадров оптико-электронной информации осуществляется протоколом канала независимо и последовательно один за другим.

В результате обработки большого числа измерений времени передачи кадров ОЭС по специализированному каналу установлено, что задержка их прохождения в соответствии с критерием согласия «хи-квадрат» может быть представлена нормированным распределением Эр-

ланга второго порядка при значениях интенсивности  $0,1-2$ . Агрегированный канал обладает определенной степенью рассогласования работы подканалов. Каждый из подканалов передает половину пакета за случайное время. Так как полный кадр можно собрать только после прихода обеих половин пакета, то общая длительность передачи посылки измерений находится по максимальной из двух случайных величин. Таким образом, используя агрегированный канал, мы добиваемся практически вдвое уменьшения времени передачи, но затрачиваем некоторое добавочное время на ожидание второй половины кадра.

Найдены основные показатели качества канала специализированной сети по формулам Поллачека – Хинчина для системы  $M/G/1$ .

Это средние значения, отнесенные к одному потоку: число заявок, а также время нахождения в очереди и системе. В частности, средняя длина очереди сообщений определяет и емкость входного буферного устройства канала для передачи траекторных измерений.

### **Канал передачи данных с отказами и восстановлением работоспособности**

Рассматривается задача нахождения вероятностно-временных характеристик специализированного канала передачи информации [3]. В канале имеются средства проверки его готовности к выполнению текущей операции. Работоспособность канала характеризуется коэффициентом готовности. Реальные каналы могут быть не готовыми к функционированию по различным причинам. Это может происходить:

- из-за неисправности технических средств;
- временного использования его для других целей с переключением оборудования канала (на которое затрачивается дополнительное время) в основной режим, когда появляются информационные пакеты;
- из-за изменения режимов работы канала, например включения резервного оборудования и т.п.

Появление такого события в дальнейшем будем определять термином «отказ оборудования». Если данный узел канала неработоспособен, то прилагаются усилия по его восстановлению. Задаются вероятности неготовности узлов канала и его восстановления. Известен закон распределения времени восстановления канала. Использование режимов восстановления функционирования канала повышает его надежность и живучесть, но может привести к нежелательным изменениям его вероятностно-временных характеристик. Оценке количественного влияния времени операций восстановления на вероят-

ностно-временные характеристики качества канала передачи пакетов и определению предельно допустимых значений операций восстановления и посвящается данная статья.

Поставленная задача решается посредством использования GERT-сетей (*Graphical Evaluation and review technique*). В основе классической теории GERT-сетей лежит уравнение Мейсона. При его использовании конечные результаты, а именно среднее значение и вариация времени выполнения моделируемого процесса, находятся через комбинации петель первого порядка (их аналогом являются контуры в ориентированном графе). Выполняемые на их основе преобразования характеризуются экспоненциальной вычислительной сложностью, поскольку используются всевозможные сочетания петель первого порядка, порождающие петли более высоких порядков. Применение топологических методов моделирования с использованием операций, основанных на всевозможных сочетаниях параметров или функциональных зависимостей контуров графа, приводит к уменьшению возможностей использования на практике GERT-сетей по вышеуказанной причине. В то же время имеется много задач, для моделирования которых необходимо использовать большое число операций циклического характера. Именно такой характер имеют процессы передачи пакетов с выполнением операций восстановления оборудования сетевых каналов.

В высокопроизводительных базовых каналах крупных сетей и специализированных сетях реального времени выделяются относительно независимые функциональные группы, имеющие средства восстановления функционирования (например, за счет резервирования аппаратуры). Наиболее близкой областью применения такого подхода является выполнение мероприятий по обеспечению живучести и заданной надежности базовых опорных магистралей [6] на оптических волокнах в системах:

– синхронной цифровой иерархии SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*);

– в специализированных системах связи реального времени, предназначенных, например, для передачи информации от удаленных измерительных средств в центры анализа и управления испытаниями сложных технических объектов.

В частности, в SDH резервируются отдельные оптические волокна, трибутарные и административные карты, блоки питания мультиплексоров, аппаратура тактовой синхронизации,

система восстановления магистрали с использованием 2-х и 4-х оптоволоконных колец.

При увеличении вероятности отказа и уменьшении вероятности выполнения операции восстановления дисперсия времени передачи значительно увеличивается. Это приводит к ухудшению характеристик узла коммутации, который описывается системой массового обслуживания (СМО)  $M/G/1$ , характеризуемой пуассоновским входящим потоком при произвольном времени обслуживания, задаваемом распределением времени выполнения GERT-сети. Изменяя входные данные СМО  $M/G/1$ , можно решить задачу определения нормативного времени восстановления отказавшего узла. Для современного сетевого оборудования при передаче синхронного трафика (чувствительного к задержкам пакетов) это время равно 50 мс, а может быть определено и меньше. Одним из важнейших показателей качества коммуникационного узла является среднее время ожидания пакета в очереди на обслуживание коммуникационного узла  $\bar{W}$ , которое определяется формулой Поллачека – Хинчина.

Наиболее важные результаты и положения работы заключаются в следующем:

– использована модель  $M/G/1$ , в которой входной поток является пуассоновским, часто используемым для моделирования компьютерных сетей. Например, при средних и больших нагрузках (в стационарном режиме) на основании теоремы Джексона слияние потоков на входе узла и вероятностное разделение потока на его выходе описываются как действия над потоками Пуассона;

– в модели  $M/G/1$  время работы обслуживающего прибора характеризуется распределением произвольного вида, рассматриваемым как выходная величина GERT-сети. Это позволяет моделировать сложные процессы, состоящие из последовательно выполняемых операций со случайным временем выполнения и вероятностными ветвлениями;

– предложена методика расчета времени восстановления работоспособности базового опорного сетевого канала с использованием эквивалентных упрощающих преобразований GERT-сети. При этом известны характеристики случайного времени выполнения множества операций восстановления и вероятности отказа отдельных технических систем. Доказана возможность применения данной методики для моделирования систем и процессов с большим числом циклов.

### Планирование полосы пропускания сетевых каналов полигонного измерительного комплекса

Рассмотрен метод планирования полосы пропускания сети передачи данных полигонного измерительного комплекса при проведении испытаний летательных аппаратов [4-21]. Центр управления комплекса строится на основе сети с дозированной балансировкой нагрузки. Переменная составляющая времени передачи кадра отражается нормированным распределением Эрланга второго порядка. Находится плотность распределения вероятностей времени передачи кадра измерительной информации. Используется теория аналитических функций комплексного переменного. Определяется производящая функция моментов времени передачи кадра от измерительных пунктов до центра управления испытаниями. С применением численных методов теории GERT-сетей определяется величина совокупной полосы пропускания каналов. Оптимальное решение находится с применением генетических алгоритмов при ограничениях на время передачи кадров и на величину резерва полосы пропускания каналов. Приводится описание визуализации трафика в сети полигонного измерительного комплекса.

Рассматривается задача оперативного планирования полосы пропускания специализированной сети передачи кадров полигонного измерительного комплекса (ПИК) при проведении испытаний летательных аппаратов (ЛА). Информация о ходе полета снимается с наземной части измерительных систем (ИС). Каждая из таких систем передает определенный вид кадров, в которых содержится траекторная информация о трассе полета и телеметрическая информация о состоянии ЛА. Снятые кадры передаются по каналам сети передачи данных произвольной структуры, но со следующими ограничениями. *Во-первых*, рассчитывается полоса пропускания физических каналов при передаче кадров в одном направлении от измерительных пунктов (ИП), на которых расположено несколько ИС. *Во-вторых*, пути передачи кадров не могут содержать циклов.

Каналы передачи кадров соединены маршрутизаторами. Кадры передаются в центр управления (ЦУ) через специализированную сеть с дозированной балансировкой нагрузки (или сеть VLB-сеть) с двухпутевой маршрутизацией. Такие сети могут использоваться в наиболее важных участках полигонной сети: на вычислительном центре, на стартовой позиции, в районе приземления ЛА, в центрах анализа хода испытаний

и в других важных местах со значительным сосредоточением технических средств и обслуживающего персонала. Характерными чертами такой VLB-сети является параллельная передача информации между оконечными узлами по двум путям одновременно, производимая через промежуточный узел. Это позволяет повысить надежность передачи информации, уменьшить время передачи и обеспечить возможность прокладки такого числа виртуальных каналов, что делает эту сеть инвариантной по отношению к задачам разных служб полигона.

Рассмотрим использование в полигонной сети ЦУ на основе однородной сети с дозированной балансировкой нагрузки (VLB-сети), в которую поступают потоки кадров через каналы и маршрутизаторы от измерительных систем с трасс полета ЛА (рисунок 1).

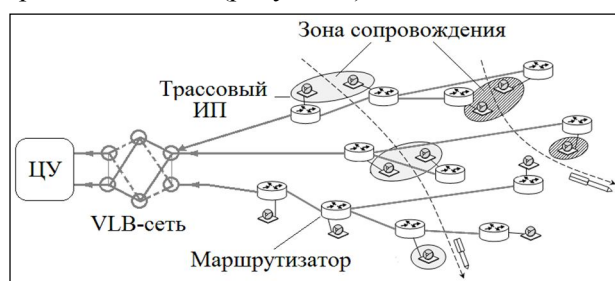


Рисунок 1 – Схема передачи информации

Информационный кадр имеет постоянную длину. В нем передается информация различной природы, сформированная на измерительных пунктах (ИП). ИП состоит из нескольких разных по назначению и реализации ИС. Для прохождения VLB-сети кадр делится на два равных пакета. После чего он снова собирается и передается в ЦУ. Временем сборки такого пакета пренебрегаем, так как такая операция выполняется с регистрами и реализуется аппаратно.

Целью исследований является решение задачи обеспечения необходимых резервов полосы пропускания каналов в условиях динамического изменения трафика, передаваемого от ИС в реальном масштабе времени. В процессе испытаний нескольких ЛА траектории их движения не всегда предсказуемы. Заранее неизвестно, какие ИС будут сопровождать в определенное время летательные аппараты. Так как источниками информации для сети являются ИС, то изменение их активности и может привести к дисбалансу трафика в каналах сети и неприемлемым задержкам информации и ее потерям.

Если достаточные резервы полосы пропускания какого-то канала не могут быть обеспечены, то необходимо определить величину дополнительной емкости одного или нескольких каналов.

Каналы специализированной сети передачи кадров ИИ отличаются друг от друга величиной полосы пропускания. Увеличение полосы пропускания может быть достигнуто, например, делением кадра ИИ на части для параллельной передачи по физическому каналу, повышением быстродействия канала и т.п.

Для достижения поставленных выше целей решены следующие задачи:

- для каждой ИС находится множество кратчайших путей до ЦУ, исходя из веса дуги графа сети передачи данных, в качестве которого берется среднее время передачи кадра через канал. Для каждого из таких путей вычисляется распределение времени передачи кадра. Это необходимо для расчета вероятности своевременной доставки кадров реального времени;

- планируется трафик, передаваемый от множества ИС к ЦУ по каналам сети передачи данных так, чтобы среднее значение резерва полосы пропускания по всей сети было максимальным;

- определяется вариация полосы пропускания физических каналов (всех или наиболее важных) для оценки вероятности уменьшения резервов полосы пропускания физических каналов;

- разработана программа отображения полученных результатов планирования трафика на экране компьютера в зависимости от используемых матриц трафика, передаваемого от измерительных систем.

Найденные плотности распределения времени передачи кадра используются для планирования полосы пропускания физических каналов. Меньшим значениям времени передачи кадров соответствуют большие значения скоростей передачи. Распределение суммы случайных величин полос пропускания виртуальных каналов определяет резерв полосы пропускания физического канала.

Если  $\bar{t}_{пр}$  – средняя длительность пересылки потока, а  $\sigma_{пр}$  – среднееквадратическое значение этой случайной величины, то оптимальное решение для пути  $l$  находится по выражению:

$$\min \sum_l \exp \left[ \left( \sum_{j,k} x^{(j,k)} \rho_l^{(j,k)} \right) / l \right]$$

при условии  $\sum_{j,k} x^{(j,k)} \rho_l^{(j,k)} \leq c_l$ ,  $x \geq 0$ ,  $\bar{t}_l \leq \bar{t}_{пр}$ ,

$$\sigma_l \leq \sigma_{пр}.$$

Максимальная скорость передачи по линии  $l$  равна  $c_l$ . Пусть  $\rho_l^{(j,k)}$  есть объем трафика от коммуникационного устройства  $j$  к коммуника-

ционному устройству  $k$ , а индекс  $l$  идентифицирует данную линию. Соответствующая скорость передачи трафика равна  $x^{(j,k)}$ .

Общая величина трафика есть  $y_l = \sum_{j,k} x^{(j,k)} \rho_l^{(j,k)}$ . Оптимальное решение нахо-

дится с использованием генетических алгоритмов. Функция полезности сводит к минимуму выражение  $\sum_l g(y_l/c_l)$ . Функция  $g$  является

штрафной, и ее значение возрастает при возрастании трафика в данном звене.

Рассматриваемая задача оптимизации является NP-трудной. Поэтому для ее решения используется генетический алгоритм. Хромосома описывается множеством последовательно расположенных элементов, соответствующих узлам следования виртуального канала от узла отправления  $s$  до узла назначения  $t$ .

Существует вероятность появления хромосом, связанных с номерами узлов, отсутствующих в сети. Для устранения этого противоречия используется механизм мутации.

Программа планирования полосы пропускания каналов реализована на языке C#. Пользователь на основе стандартных изображений элементов создает на экране схему сети ПИК. Элементами являются ИС, маршрутизаторы, каналы, VLB-сеть, ЦУ. Задаются предельные значения полосы пропускания физических каналов и входные потоки, принимаемые от ИС (в Мбит/с). Веса каналов задаются через средние значения времени передачи. Для функционирования генетического алгоритма определяется заданное число кратчайших путей по методу Хоффмана и Павлеи. Эти пути выводятся на экран компьютера (см. рисунок 2). Степени загрузки канала соответствует интенсивность окраски его изображения в цвете. Можно показывать состояние каналов в черно-белом изображении. При наведении курсора на линию канала раскрывается окошко с основными его характеристиками: вес канала, емкость канала, реальная нагрузка, уровень использования в процентах. Выдаются сообщения о перегруженных каналах.

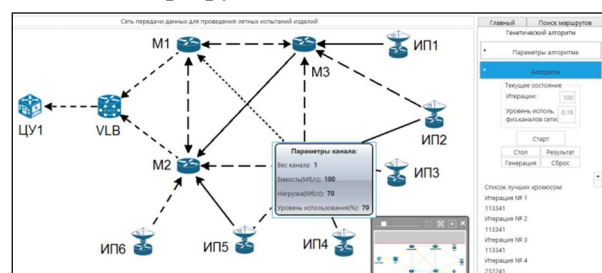


Рисунок 2 – Образец экранной формы

Визуализация трафика в сетях реального времени позволяет решить ряд задач как на этапе подготовки к испытаниям, так и при их проведении. Отметим наиболее важные из них:

- изучение закономерностей изменения трафика в отдельных географических зонах;
- фиксация перегрузок в буферных устройствах маршрутизаторов;
- выявление недоработок алгоритмов;
- при предварительном проектировании сети ПИК можно реализовать дополнительные связи, если при моделировании выявлено, что канальных ресурсов действующей сети недостаточно;

- отработка нештатных ситуаций, индикатором которых является характерное изменение трафика. Например, прекращение (или уменьшение объема) трафика от некоторых ИС может свидетельствовать о срыве сопровождения ЛА по азимуту, углу места или высоте;

- уменьшение объемов трафика, передаваемого от отдельных ЛА, может свидетельствовать о попадании их в зоны неустойчивого сопровождения измерительными средствами, например, «пропадания» ЛА на фоне складок местности;

- оценка показателей качества сети, таких как производительность сети, степень эффективности обработки отказов, степень загруженности физического канала, вероятность потери кадров в отдельных каналах и т.п.;

- отражение общего хода испытаний на демонстрационных табло. Это необходимо как инженерам-исследователям, так и представителям заказчиков и другому заинтересованному персоналу. В качестве примера можно назвать сопряжение программ планировки трафика с программами: рисовки траекторий ЛА на фоне географической карты; контроля остающихся запасов топлива в ЛА; демонстрации моментов разделения ступеней, разведения головных частей и их имитаторов и т.п.

Рассмотренный метод может быть использован:

- для определения степени загрузки физических каналов и нахождения резерва полосы пропускания наиболее загруженных из них;

- для определения среднего значения резерва полосы пропускания всего множества каналов сети передачи кадров ПИК;

- для нахождения значений, на которые необходимо увеличить резерв полосы пропускания каких-либо каналов ПИК.

Полоса пропускания физического канала определяется суммой полос пропускания виртуальных каналов, являющихся случайными величинами. Резерв полосы пропускания физического канала целесообразно использовать для решения следующих практических задач:

- обработки случайных пульсаций трафика;
- предварительного создания нескольких резервных каналов при известных «сценариях отказов», обрабатываемых без проведения повторной маршрутизации;

- реализации явных обратных связей для функционирования сетевых протоколов и передачи команд управления испытаниями.

В данной работе рассмотрена сеть с множеством ИС, маршрутизаторов и соединяющих их каналов и только с одной VLB-сетью. Одной из перспектив развития метода является увеличение в сети ПИК числа VLB-сетей и увеличение числа параллельных путей в них. При этом возможно их соединение в кольцо, по древообразной схеме и в ячеистую сеть.

#### Библиографический список

1. **Корячко В. П., Шибанов А. П., Лукьянов О. В.** Канал передачи данных оптико-электронных средств с выделением кадров реального времени // Радиотехника. 2015. № 5. С. 41-45.
2. **Корячко В. П., Шибанов А. П., Лукьянов О. В.** Канал передачи потоковых данных оптико-электронных средств полигонного измерительного комплекса // Радиотехника. 2015. № 11. С. 35-39.
3. **Корячко В. П., Фам Х. Л., Шибанов А. П.** Канал передачи данных с отказами и восстановлением работоспособности // Вестник РГРТУ. 2016. № 4(58) С. 37-41.
4. **Корячко В. П., Шибанов А. П., Сапрыкин А. Н., Фам Х. Л.** Планирование полосы пропускания сетевых каналов полигонного измерительного комплекса // Радиотехника. 2016. № 11. С. 103-110.
5. **Rexford D., Dovrolis K.** Future Internet Architecture: Clean-Slate Versus Evolutionary Research <http://www.cs.princeton.edu/~jrex/papers/cacm10.pdf>.
6. **Jiayue H., Rexford J., Chiang M.** Don't Optimize Existing Protocols, Design Optimizable Protocols: <http://www.princeton.edu/~chiangm/dfo.pdf>.
7. **Umar J., Martin S., Jiayue H., and Jennifer R.** Multipath Protocol for Delay-Sensitive Traffic. <http://ieeexplore.ieee.org/document/4808885/>
8. «Cisco Visual Networking Index – Forecast and Methodology, 2007–2012».
9. **Xiao X. and Ni L.**, «Internet QoS: a big picture», IEEE Network, vol. 13, pp. 8–18, March 1999.
10. **He J. and Rexford J.**, «Towards Internet-wide Multipath Routing». IEEE Network Magazine, Special Issue on Internet Scalability, March 2008.
11. **He J., Chiang M., and Rexford J.**, «TCP/IP Interaction Based on Congestion Price: Stability and Optimality», in Proc. International Conference on Communications, June 2006.
12. **Kelly F. and Voice T.**, «Stability of end-to-end algorithms for joint routing and rate control», ACM SIGCOMM Computer Communication Review, vol. 35, pp. 5–12, April 2005.
13. **He J., Suchara M., Bresler M., Rexford J., and Chiang M.**, «Rethinking Internet traffic management:

From multiple decompositions to a practical protocol», in Proc. CoNEXT, December 2007.

14. **Lin X.** and **Shroff N. B.**, «Utility Maximization for Communication Networks with Multi-path Routing», IEEE Trans. Automatic Control, vol. 51, May 2006.

15. **Paganini F.**, «Congestion Control with Adaptive Multipath Routing Based on Optimization», in Proc. Conference on Information Sciences and Systems, March 2006.

16. **Valiant L. G.** A scheme for fast parallel communication. SIAM Journal on Computing, 11(2):350–361, 1982.

17. **Aleliunas R.** Randomized parallel communication (preliminary version). In PODC '82: Proceedings of the first ACM SIGACT-SIGOPS symposium on Principles of distributed computing. P. 60–72, 1982.

18. **Mitra D.** and **Cieslak R. A.** Randomized parallel communications on an extension of the omega network. J. ACM, 34(4):802–824, 1987.

19. **Singh A.** Load-Balanced Routing in Interconnection Networks. PhD thesis, Department of Electrical Engineering, Stanford University, 2005.

20. **Singh A., Dally W. J., Towles B., and Gupta A. K.** Locality-preserving randomized oblivious routing on to rusnet works. In SPAA'02: Proceedings of the fourteenth annual ACM symposium on parallel algorithms and architectures. P. 9–13, 2002.

21. **Henrion M., Schrodi K., Boettle D., Somer M., and Dieudonne M.** Switching network architecture for ATM based broadband communications. Switching Symposium, 1990. XIII International, 5:1–8, 1990.

UDC 004.725.7

## DESIGNING THE DATA NETWORK OF OPTOELECTRONIC DEVICES DURING FLYING APPARATUSES TESTING

**V. P. Koryachko**, PhD (technical sciences), full professor, Head the Department, RSREU, Ryazan; koryachko.v.p@rseu.ru

**A. P. Shibanov**, PhD (technical sciences), full professor, RSREU, Ryazan; apshibanov@yandex.ru

**V. A. Shibanov**, Ph.D., assistant professor of CAD RSREU, Ryazan; vova\_shibanov@mail.ru

**A. N. Saprykin**, Ph.D., assistant professor of CAD RSREU, Ryazan; alexpizza@rambler.ru

**X. L. Fam**, post-graduate student, RSREU, Ryazan; hoanglong2410@gmail.com

*The aim of the research is to review the work done at the CAD RSREU department on methods for creating a promising network for transmitting information from measuring systems while testing the aircraft. Increase of reliability and speed of local networks of measuring points on the flight path is achieved on the basis of VLB-networks with a randomized load distribution and routing through the intermediate node. The distribution of the transmission time of optical-electronic information frames using the theory of analytic functions of a complex variable is found. Using the theory of GERT-networks, the total bandwidth of channels and paths of a specialized data transmission network is determined. The optimal solution is found using genetic algorithms. Limits on the average time of information transfer from measuring devices to test control center, as well as restrictions on the amount of the reserve of channel bandwidth are introduced. The description of traffic visualization in the network of a polygon measuring complex is given.*

**Key words:** aircraft testing, measuring information, data transmission network, optoelectronic facilities, traffic balancing, theory of deductions, time distribution of frame transmission, bandwidth, genetic algorithms, traffic visualization.

**DOI:** 10.21667/1995-4565-2017-60-2-105-112

### References

1. **Korjachko V. P., Shibanov A. P., Luk'janov O. V.** Kanal peredachi dannyh optiko-jelektronnyh sredstv s vydeleniem kadrov real'nogo vremeni. Radiotekhnika. 2015. no. 5. pp. 41-45.

2. **Korjachko V. P., Shibanov A. P., Luk'janov O. V.** Kanal peredachi potokovyh dannyh optiko-jelektronnyh sredstv poligonogo izmeritel'nogo kompleksa // Radiotekhnika. 2015. no. 11. pp. 35-39.

3. **Korjachko V. P., Fam H. L., Shibanov A. P.** Kanal peredachi dannyh s otkazami i vosstanovleniem

rabotosposobnosti. Vestnik RGRTU. 2016. no. 4(58) pp. 37-41.

4. **Korjachko V. P., Shibanov A. P., Saprykin A. N., Fam H. L.** Planirovanie polosy propuskaniya setevykh kanalov poligonogo izmeritel'nogo kompleksa. Radiotekhnika. 2016. no. 11. pp. 103-110.

5. **Rexford D., Dovrolis K.** Future Internet Architecture: Clean-Slate Versus Evolutionary Research <http://www.cs.princeton.edu/~jrex/papers/cacm10.pdf>.

6. **Jiayue H., Rexford J., Chiang M.** Don't Optimize Existing Protocols, Design Optimizable Protocols: <http://www.princeton.edu/~chiangm/dfo.pdf>.

7. **Umar J., Martin S., Jiayue H., and Jennifer R.** Multipath Protocol for Delay-Sensitive Traffic. <http://ieeexplore.ieee.org/document/4808885/>
8. «Cisco Visual Networking Index – Forecast and Methodology, 2007–2012.»
9. **Xiao X. and Ni L.**, «Internet QoS: a big picture,» IEEE Network, vol. 13, pp. 8–18, March 1999.
10. **He J. and Rexford J.**, «Towards Internet-wide Multipath Routing.» IEEE Network Magazine, Special Issue on Internet Scalability, March 2008.
11. **He J., Chiang M., and Rexford J.**, «TCP/IP Interaction Based on Congestion Price: Stability and Optimality,» in Proc. International Conference on Communications, June 2006.
12. **Kelly F. and Voice T.**, «Stability of end-to-end algorithms for joint routing and rate control,» ACM SIGCOMM Computer Communication Review, vol. 35, pp. 5–12, April 2005.
13. **He J., Suchara M., Bresler M., Rexford J., and Chiang M.**, «Rethinking Internet traffic management: From multiple decompositions to a practical protocol», in Proc. CoNEXT, December 2007.
14. **Lin X. and Shroff N. B.**, «Utility Maximization for Communication Networks with Multi-path Routing», IEEE Trans. Automatic Control, vol. 51, May 2006.
15. **Paganini F.**, «Congestion Control with Adaptive Multipath Routing Based on Optimization», in Proc. Conference on Information Sciences and Systems, March 2006.
16. **Valiant L. G.** A scheme for fast parallel communication. SIAM Journal on Computing, 11(2):350–361, 1982.
17. **Aleliunas R.** Randomized parallel communication (preliminary version). In PODC '82: Proceedings of the first ACM SIGACT-SIGOPS symposium on Principles of distributed computing, p. 60–72, 1982.
18. **Mitra D. and Cieslak R. A.** Randomized parallel communications on an extension of the omega network. J. ACM, 34(4):802–824, 1987.