Оптимизационная модель спутниковой инфокоммуникационной сети

**Человек:** В качестве объекта исследования в работе рассматриваются многоуровневые спутниковые инфокоммуникационные сети. Динамическое влияние факторов разного рода на характеристики линий связи на различных участках сети приводит к изменению распределения трафика в исследуемой сети, что в свою очередь может приводить к снижению показателей качества обслуживания, одним из которых является среднее время задержки доставки информации. В работе представлены результаты разработки модели оптимизации распределения трафика в спутниковой иерархической сети связи по критерию минимума среднего времени задержки с целью повышения качества обслуживания информационных потоков в исследуемой сети. Основным методом, используемым для разработки оптимизационной модели выбран узловой метод тензорного анализа сетей, удовлетворяющий, как по возможностям учета взаимодействия топологии сети и процессов обслуживания информационных потоков, так и по используемому набору исходных данных. Научная новизна заключается в использовании узлового метода тензорного анализа к задаче оптимизации распределения трафика в иерархической инфокоммуникационной спутниковой сети по критерию минимума среднего времени задержки путем использования целевой функции, учитывающей среднее время задержки в каждой системе маршрута передачи информации, и ограничений, определяемых тензорным уравнением поведения исходной сети.

**Key words:** спутниковые сети, среднее время задержки, тензорный анализ сетей, узловой метод, качество обслуживания, иерархические сети, топология сети, межспутниковые линии связи, загрузка системы, метод множителей Лагранжа

=================================

**FastText\_KMeans\_Clean:** Для иерархической трехуровневой (уровень сбора, уровень агрегации, уровень обработки) спутниковой инфокоммуникационной сети можно определить следующие множества моделей систем сети. Множество состоит из систем, моделирующих процессы сбора информации Множество определяет модели систем уровня агрегации Множество определяет модели систем уровня обработки Задача состоит в определении загрузок (отношение интенсивности поступающего потока к интенсивности обслуживания) систем, моделирующих процессы обработки/передачи информации в спутниковой сети таких, что позволят обеспечить минимальное время задержки в исследуемой сети. Численные результаты. Интенсивности поступления. 40. 21.183. 0.53. 3. 50.

**Key words part:** 0.6060606060606061

=================================

**FastText\_KMeans\_Raw/:** Множество состоит из систем, моделирующих процессы сбора информации Множество определяет модели систем уровня агрегации Множество определяет модели систем уровня обработки Задача состоит в определении загрузок (отношение интенсивности поступающего потока к интенсивности обслуживания) систем, моделирующих процессы обработки/передачи информации в спутниковой сети таких, что позволят обеспечить минимальное время задержки в исследуемой сети. Численные результаты. Интенсивности обслуживания. 70. 41.605. 0.594. 9,10. 75. 55.075. 0.734. 12. 90. 71.984. 0.8. 13. 100. 82.941. 0.829. 14.

**Key words part:** 0.5757575757575758

=================================

**FastText\_PageRank\_Clean/:** 40. 21.183. 0.53. 3. 50. 60. 38.438. 0.641. 5. 60. 33.892. 0.565. 6. 70. 41.605. 0.594. 9,10. 80. 44.503. 0.556. 11. 75. 55.075. 0.734. 12. 90. 71.984. 0.8. 13. 80. 55.075. 0.688. 15,16.

**Key words part:** 0.2727272727272727

=================================

**FastText\_PageRank\_Raw/:** 40. 21.183. 0.53. 3. 50. 60. 33.892. 0.565. 6. 70. 41.605. 0.594. 9,10. 80. 44.503. 0.556. 11. 75. 55.075. 0.734. 12. 100. 82.941. 0.829. 14. 80. 55.075. 0.688. 15,16. 110. 82.941. 0.754. 19.

**Key words part:** 0.2727272727272727

=================================

**Mixed\_ML\_TR/:** В многоуровневой иерархической спутниковой сети условно можно определить несколько уровней взаимодействия систем: спутниковые системы сбора информации (обычно низкие и средние орбиты ), спутниковые системы агрегации информации (возможно использование геостационарных систем), наземные системы обработки (анализа) информации [1-3,5,8,9]. Множество состоит из систем, моделирующих процессы сбора информации Множество определяет модели систем уровня агрегации Множество определяет модели систем уровня обработки Задача состоит в определении загрузок (отношение интенсивности поступающего потока к интенсивности обслуживания) систем, моделирующих процессы обработки/передачи информации в спутниковой сети таких, что позволят обеспечить минимальное время задержки в исследуемой сети. Например, при использовании в качестве моделей систем массового обслуживания вида M /M /1, целевая функция записывается, как: , где – номер системы модели, участвующие в процессах передачи и обработки информации в исследуемой спутниковой инфокоммуникационной сети; – загрузка m -ой системы модели (определяется интенсивностью нагрузки, поступающей в систему); – интенсивность обслуживания обработки/передачи информации в системе . где – тензор преобразования загрузок исходной (вспомогательной) и примитивной сетей [10,11], – тензор интенсивностей обслуживания, – тензор загрузок систем вспомогательной сети, – тензор интенсивностей поступления. Интенсивности обслуживания определяются уровнем размещения системы в модели сети. В результате решения системы уравнений для рассматриваемой спутниковой сети при заданных интенсивностях источников и были получены значения загрузок, позволяющие обеспечить минимальное время задержки путем перераспределения трафика (табл. 80. 44.503. 0.556. 11.

**Key words part:** 0.696969696969697

=================================

**MultiLingual\_KMeans/:** В многоуровневой иерархической спутниковой сети условно можно определить несколько уровней взаимодействия систем: спутниковые системы сбора информации (обычно низкие и средние орбиты ), спутниковые системы агрегации информации (возможно использование геостационарных систем), наземные системы обработки (анализа) информации [1-3,5,8,9]. где – тензор преобразования загрузок исходной (вспомогательной) и примитивной сетей [10,11], – тензор интенсивностей обслуживания, – тензор загрузок систем вспомогательной сети, – тензор интенсивностей поступления. Интенсивности обслуживания определяются уровнем размещения системы в модели сети. В результате решения системы уравнений для рассматриваемой спутниковой сети при заданных интенсивностях источников и были получены значения загрузок, позволяющие обеспечить минимальное время задержки путем перераспределения трафика (табл. 80. 44.503. 0.556. 11.

**Key words part:** 0.6666666666666666

=================================

**Multilingual\_PageRank/:** 40. 21.183. 0.53. 3. 50. 60. 38.438. 0.641. 5. 60. 33.892. 0.565. 6. 70. 41.605. 0.594. 9,10. 75. 55.075. 0.734. 12. 80. 55.075. 0.688. 15,16. 100. 71.984. 0.72. 17,18. В таком случае среднее время задержки в сети составляет 0.917, что относительно обеспечивает худшие показатели примерно на 30%.

**Key words part:** 0.4848484848484849

=================================

**RuBERT\_KMeans\_Without\_ST/:** Таким образом, для обеспечения своевременной и оперативной доставки информации с уровня сбора на уровень анализа необходимо обеспечить такое распределение трафика, которое бы приводило к минимизации среднего времени задержки информации в исследуемой спутниковой сети. Например, при использовании в качестве моделей систем массового обслуживания вида M /M /1, целевая функция записывается, как: , где – номер системы модели, участвующие в процессах передачи и обработки информации в исследуемой спутниковой инфокоммуникационной сети; – загрузка m -ой системы модели (определяется интенсивностью нагрузки, поступающей в систему); – интенсивность обслуживания обработки/передачи информации в системе . В результате решения данной системы уравнений будут получены значения загрузок вспомогательной сети (), из которых определяются загрузки систем в исходной сети ( [10,11]), используя которые находим среднее время задержки () в исследуемой спутниковой сети. Интенсивности обслуживания. 110. 82.941. 0.754. 19. Предложенная в данной работе модель оптимизации распределения трафика по критерию среднего времени задержки основана на тензорной методологии сетей и позволяет решать задачи обеспечения минимальной задержки в спутниковой инфокоммуникационной сети с учетом структурно-процессного взаимодействия.

**Key words part:** 0.696969696969697

=================================

**RuBERT\_KMeans\_With\_ST/:** Уравнение поведения узловой модели тензорного анализа сетей имеет следующий вид [10,11]:. В данной работе в качестве вспомогательной сети рассматривается сеть массового обслуживания, обеспечивающая геометрические преобразования между исходной и примитивной сетями с целью введения информации о структуре связей между системами в модель исследуемой спутниковой сети [10,11]. Таким образом, задача минимизации средней задержки в исследуемой спутниковой сети сводится к решению системы алгебраических уравнений, составленной из частных производных функции Лагранжа по всем переменным: . Интенсивности обслуживания определяются уровнем размещения системы в модели сети. 80. 44.503. 0.556. 11.

**Key words part:** 0.7272727272727273

=================================

**RUBERT\_page\_rank\_Without\_ST/:** Численные результаты. Обобщенная структура спутниковой сети. Спутниковая система 1 (рис. 1) моделируется системами 1-4 (рис. 2), где через систему 1 поток информации поступает в сеть и через системы 2, 3 и 4 поступает на модели спутниковых систем 4, 5 и 6 (т.е. на системы модели 11, 12 и 13) соответственно. Интенсивности обслуживания определяются уровнем размещения системы в модели сети. 1: все значения в условных единицах).

**Key words part:** 0.4848484848484849

=================================

**RUBERT\_page\_rank\_With\_ST/:** Численные результаты. Структура узловой модели исследуемой сети. Номер системы модели. Интенсивности обслуживания. Интенсивности поступления.

**Key words part:** 0.4848484848484849

=================================

**RUSBERT\_KMeans\_Without\_ST/:** Для иерархической трехуровневой (уровень сбора, уровень агрегации, уровень обработки) спутниковой инфокоммуникационной сети можно определить следующие множества моделей систем сети. Обобщенная структура спутниковой сети. С учетом присутствия мнимых систем и необходимости выполнения условия равенства суммы интенсивностей потоков в узле нулю, систему ограничений записывается, как [10,11]:. 70. 41.605. 0.594. 9,10.

**Key words part:** 0.4848484848484849

=================================

**RUSBERT\_KMeans\_With\_ST/:** В результате решения данной системы уравнений будут получены значения загрузок вспомогательной сети (), из которых определяются загрузки систем в исходной сети ( [10,11]), используя которые находим среднее время задержки () в исследуемой спутниковой сети. Интенсивности обслуживания определяются уровнем размещения системы в модели сети. С учетом присутствия мнимых систем и необходимости выполнения условия равенства суммы интенсивностей потоков в узле нулю, систему ограничений записывается, как [10,11]:. 70. 41.605. 0.594. 9,10.

**Key words part:** 0.6060606060606061

=================================

**RUSBERT\_page\_rank\_Without\_ST/:** 1: все значения в условных единицах). 75. 55.075. 0.734. 12. 90. 71.984. 0.8. 13. 80. 55.075. 0.688. 15,16. 100. 71.984. 0.72. 17,18.

**Key words part:** 0.2727272727272727

=================================

**RUSBERT\_page\_rank\_With\_ST/:** Численные результаты. Структура этой модели представлена на рис. 2. 1: все значения в условных единицах). Интенсивности обслуживания. Интенсивности поступления.

**Key words part:** 0.30303030303030304

=================================

**Simple\_PageRank/:** Например, при использовании в качестве моделей систем массового обслуживания вида M /M /1, целевая функция записывается, как: , где – номер системы модели, участвующие в процессах передачи и обработки информации в исследуемой спутниковой инфокоммуникационной сети; – загрузка m -ой системы модели (определяется интенсивностью нагрузки, поступающей в систему); – интенсивность обслуживания обработки/передачи информации в системе . Для обеспечения минимума среднего времени задержки сообщений в исследуемой спутниковой сети и в связи с тем, что целевая функция является нелинейной, при решении поставленной задачи используем метод множителей Лагранжа [11,12]. В результате решения данной системы уравнений будут получены значения загрузок вспомогательной сети (), из которых определяются загрузки систем в исходной сети ( [10,11]), используя которые находим среднее время задержки () в исследуемой спутниковой сети. На первом уровне размещаются системы сбора (системы 1 и 2) на низких орбитах, ко второму уровню относятся системы агрегации (системы 4, 5, 6) на геостационарных или средних орбитах, на третьем наземном уровне производится обработка и анализ информации (система 3). Определенное ранее множество состоит из систем с 1 по 10, включая мнимые 8 и 10; множество определяет модели систем уровня агрегации с 11 по 18, в том числе мнимые 16 и 18; множество состоит из системы 19. Таким образом, целевая функция для данного частного случая записывается, как (при этом результат вносимый мнимыми системами не учитывается): где определяются тензором [10].

**Key words part:** 0.8181818181818182

=================================

**TextRank/:** Множество состоит из систем, моделирующих процессы сбора информации Множество определяет модели систем уровня агрегации Множество определяет модели систем уровня обработки Задача состоит в определении загрузок (отношение интенсивности поступающего потока к интенсивности обслуживания) систем, моделирующих процессы обработки/передачи информации в спутниковой сети таких, что позволят обеспечить минимальное время задержки в исследуемой сети. Например, при использовании в качестве моделей систем массового обслуживания вида M /M /1, целевая функция записывается, как: , где – номер системы модели, участвующие в процессах передачи и обработки информации в исследуемой спутниковой инфокоммуникационной сети; – загрузка m -ой системы модели (определяется интенсивностью нагрузки, поступающей в систему); – интенсивность обслуживания обработки/передачи информации в системе . В данной работе в качестве вспомогательной сети рассматривается сеть массового обслуживания, обеспечивающая геометрические преобразования между исходной и примитивной сетями с целью введения информации о структуре связей между системами в модель исследуемой спутниковой сети [10,11]. В соответствии с выводами, представленными в работе [11], уравнение (1) позволяет задать ограничения, накладываемые на целевую функцию минимизации среднего времени задержки для узловой модели спутниковой инфокоммуникационной сети . В результате решения данной системы уравнений будут получены значения загрузок вспомогательной сети (), из которых определяются загрузки систем в исходной сети ( [10,11]), используя которые находим среднее время задержки () в исследуемой спутниковой сети. В результате решения системы уравнений для рассматриваемой спутниковой сети при заданных интенсивностях источников и были получены значения загрузок, позволяющие обеспечить минимальное время задержки путем перераспределения трафика (табл.

**Key words part:** 0.696969696969697

=================================

**TF-IDF\_KMeans/:** Построение таких сетей обычно основано на многоуровневом взаимодействии систем связи [5-7]. Например, при использовании в качестве моделей систем массового обслуживания вида M /M /1, целевая функция записывается, как: , где – номер системы модели, участвующие в процессах передачи и обработки информации в исследуемой спутниковой инфокоммуникационной сети; – загрузка m -ой системы модели (определяется интенсивностью нагрузки, поступающей в систему); – интенсивность обслуживания обработки/передачи информации в системе . Как было отмечено ранее, в качестве модели спутниковой инфокоммуникационной сети рассматривается узловая модель тензорного анализа сетей [10]. Структура узловой модели исследуемой сети. С учетом присутствия мнимых систем и необходимости выполнения условия равенства суммы интенсивностей потоков в узле нулю, систему ограничений записывается, как [10,11]:. В результате решения системы уравнений для рассматриваемой спутниковой сети при заданных интенсивностях источников и были получены значения загрузок, позволяющие обеспечить минимальное время задержки путем перераспределения трафика (табл. 40. 21.183. 0.53. 3. 50.

**Key words part:** 0.7272727272727273

=================================

**Текст:** В настоящее время с целью формирования глобального информационного пространства без ограничений, накладываемых на мобильность пользователей, широко используются возможности технологий спутниковых инфокоммуникационных сетей. Современные и перспективные спутниковые технологии предполагают реализацию практически любого вида взаимодействия сетей и систем, включая мультисервисное обслуживание, путем применения различных алгоритмов обработки и передачи информации и разнообразных видов доступа [1-4].. Для решения задач специального назначения, например при обработке и передаче информации об оперативной обстановке на театре военных действий, требуется обеспечить своевременную (или в режиме реального времени) доставку сообщений в независимости от местонахождения объектов связи или наблюдения. Обеспечить такую возможность позволяют спутниковые инфокоммуникационные сети специального назначения. Построение таких сетей обычно основано на многоуровневом взаимодействии систем связи [5-7]. При этом, для обеспечения режима реального времени, необходимо обеспечить требуемое качество обслуживания трафика, одним из показателей которого является среднее время задержки [3,4,7-9].. Многоуровневое взаимодействие, используемое в иерархических спутниковых сетях, основано на декомпозиции функций, обеспечивающих обработку и передачу информации. Это позволяет: упростить алгоритмы взаимодействия систем, повысить надежность оборудования, обеспечить заданное качество обслуживания [5,7-9]. В многоуровневой иерархической спутниковой сети условно можно определить несколько уровней взаимодействия систем: спутниковые системы сбора информации (обычно низкие и средние орбиты ), спутниковые системы агрегации информации (возможно использование геостационарных систем), наземные системы обработки (анализа) информации [1-3,5,8,9]. Взаимодействие между уровнями сети и систем одного уровня обеспечивается спутниковыми линиями (в том числе и межспутниковыми) различного вида и их количество может динамически изменяться в зависимости от пространственного расположения спутниковых систем и других факторов [1-5,8-10]. Создаваемая отдельными системами сети задержка определяется интенсивностью нагрузки, поступающей на эти системы со стороны других систем.. Таким образом, для обеспечения своевременной и оперативной доставки информации с уровня сбора на уровень анализа необходимо обеспечить такое распределение трафика, которое бы приводило к минимизации среднего времени задержки информации в исследуемой спутниковой сети. Следовательно, актуальной является задача разработки модели оптимизации многоуровневой иерархической спутниковой инфокоммуникационной сети [6-9] по критерию минимизации среднего времени задержки.. Модель оптимизации спутниковой инфокоммуникационной сети.. Для иерархической трехуровневой (уровень сбора, уровень агрегации, уровень обработки) спутниковой инфокоммуникационной сети можно определить следующие множества моделей систем сети. Множество состоит из систем, моделирующих процессы сбора информации Множество определяет модели систем уровня агрегации Множество определяет модели систем уровня обработки Задача состоит в определении загрузок (отношение интенсивности поступающего потока к интенсивности обслуживания) систем, моделирующих процессы обработки/передачи информации в спутниковой сети таких, что позволят обеспечить минимальное время задержки в исследуемой сети.. Целевую функцию для такой оптимизационной задачи можно задать в виде суммы средних времен задержек для всех систем сети. Например, при использовании в качестве моделей систем массового обслуживания вида M /M /1, целевая функция записывается, как: , где – номер системы модели, участвующие в процессах передачи и обработки информации в исследуемой спутниковой инфокоммуникационной сети; – загрузка m -ой системы модели (определяется интенсивностью нагрузки, поступающей в систему); – интенсивность обслуживания обработки/передачи информации в системе . Уравнение поведения узловой модели тензорного анализа сетей имеет следующий вид [10,11]:. . (1). . где – тензор преобразования загрузок исходной (вспомогательной) и примитивной сетей [10,11], – тензор интенсивностей обслуживания, – тензор загрузок систем вспомогательной сети, – тензор интенсивностей поступления. В данной работе в качестве вспомогательной сети рассматривается сеть массового обслуживания, обеспечивающая геометрические преобразования между исходной и примитивной сетями с целью введения информации о структуре связей между системами в модель исследуемой спутниковой сети [10,11].. В соответствии с выводами, представленными в работе [11], уравнение (1) позволяет задать ограничения, накладываемые на целевую функцию минимизации среднего времени задержки для узловой модели спутниковой инфокоммуникационной сети . В таком случае система ограничений может быть определена, как:. . (2). . Число уравнений равно количеству узлов модели сети и обычно совпадает с числом систем модели [10]. Кроме использования системы (2) требуется обеспечить учет наличия мнимых систем [10,11] и выполнение условия равенства суммы потоков в узле модели нулю.. Для обеспечения минимума среднего времени задержки сообщений в исследуемой спутниковой сети и в связи с тем, что целевая функция является нелинейной, при решении поставленной задачи используем метод множителей Лагранжа [11,12]. Функция Лагранжа для данного случая приобретает вид: где: – множители Лагранжа, – уравнения системы ограничений (2). Таким образом, задача минимизации средней задержки в исследуемой спутниковой сети сводится к решению системы алгебраических уравнений, составленной из частных производных функции Лагранжа по всем переменным: .. В результате решения данной системы уравнений будут получены значения загрузок вспомогательной сети (), из которых определяются загрузки систем в исходной сети ( [10,11]), используя которые находим среднее время задержки () в исследуемой спутниковой сети.. Численные результаты.. В качестве примера использования предложенной модели оптимизации, рассмотрим спутниковую инфокоммуникационную сеть, структура которой представлена на рис. 1 и имеет три уровня.. . Рисунок 1. Обобщенная структура спутниковой сети. . На первом уровне размещаются системы сбора (системы 1 и 2) на низких орбитах, ко второму уровню относятся системы агрегации (системы 4, 5, 6) на геостационарных или средних орбитах, на третьем наземном уровне производится обработка и анализ информации (система 3).. Как было отмечено ранее, в качестве модели спутниковой инфокоммуникационной сети рассматривается узловая модель тензорного анализа сетей [10]. Структура этой модели представлена на рис. 2.. . Рисунок 2. Структура узловой модели исследуемой сети. . Спутниковая система 1 (рис. 1) моделируется системами 1-4 (рис. 2), где через систему 1 поток информации поступает в сеть и через системы 2, 3 и 4 поступает на модели спутниковых систем 4, 5 и 6 (т.е. на системы модели 11, 12 и 13) соответственно. Определенное ранее множество состоит из систем с 1 по 10, включая мнимые 8 и 10; множество определяет модели систем уровня агрегации с 11 по 18, в том числе мнимые 16 и 18; множество состоит из системы 19.. Нагрузка, поступающая со спутниковых низкоорбитальных систем сбора поступает через системы модели 1 и 6, поэтому интенсивности трафика и являются исходными данными. В связи с тем, что рассматриваются системы без потерь, должно соблюдаться условие равенства суммы интенсивностей на входе (интенсивности и ) и выходе сети. Таким образом, целевая функция для данного частного случая записывается, как (при этом результат вносимый мнимыми системами не учитывается): где определяются тензором [10]. Интенсивности обслуживания определяются уровнем размещения системы в модели сети.. Как было отмечено ранее, в качестве ограничений выступает матричное уравнение (2), полученное на основе (1). С учетом присутствия мнимых систем и необходимости выполнения условия равенства суммы интенсивностей потоков в узле нулю, систему ограничений записывается, как [10,11]:. . (3). . Далее, необходимо сформировать функцию Лагранжа и систему уравнений, состоящую из частных производных этой функции по всем переменным. В результате решения системы уравнений для рассматриваемой спутниковой сети при заданных интенсивностях источников и были получены значения загрузок, позволяющие обеспечить минимальное время задержки путем перераспределения трафика (табл. 1: все значения в условных единицах).. Таблица 1. Результаты оптимизации распределения трафика в спутниковой сети. Номер системы модели. Интенсивности обслуживания. Интенсивности поступления. Загрузки систем. 1. 120. 90. 0.75. 2. 40. 21.183. 0.53. 3. 50. 30.379. 0.608. 4. 60. 38.438. 0.641. 5. 60. 33.892. 0.565. 6. 140. 120. 0.857. 7,8. 70. 41.605. 0.594. 9,10. 80. 44.503. 0.556. 11. 75. 55.075. 0.734. 12. 90. 71.984. 0.8. 13. 100. 82.941. 0.829. 14. 80. 55.075. 0.688. 15,16. 100. 71.984. 0.72. 17,18. 110. 82.941. 0.754. 19. 220. 210. 0.955. . Среднее время задержки для найденного оптимального распределения интенсивностей поступления составило значение: При равномерном распределении трафика, т.е. интенсивность равномерно распределяется между системами модели 2, 3 и 4, а интенсивность между системами модели 5, 7 и 9. В таком случае среднее время задержки в сети составляет 0.917, что относительно обеспечивает худшие показатели примерно на 30%.. Заключение.. Современные инфокоммуникационные спутниковые сети, в том числе и специального назначения, обладают сложной многоуровневой структурой и динамически изменяющейся, в основном в связи с непостоянством пространственного расположения систем, топологией. Для оперативной доставки информации спутниковая инфокоммуникационная сеть должна обеспечить минимальную задержку при обслуживании информационных потоков. Таким образом, требуется реализовать такое распределение трафика в исследуемой сети, которое бы привело к минимизации среднего времени задержки. Предложенная в данной работе модель оптимизации распределения трафика по критерию среднего времени задержки основана на тензорной методологии сетей и позволяет решать задачи обеспечения минимальной задержки в спутниковой инфокоммуникационной сети с учетом структурно-процессного взаимодействия.