УДК 004.722

**Методика локализации областей воздействия дестабилизирующих факторов в сети связи на основе алгоритма иерархической кластеризации Ланса‑Вильямса**

Сидоров И.И., Иванов С. И., Абрамов М. А., Петров В. И.[[1]](#footnote-1)

***Постановка задачи:*** *увеличение структурной сложности сетей связи актуализирует вопросы обеспечения их устойчивости к воздействиям дестабилизирующих факторов. Известные способы повышения устойчивости, основывающиеся на маршрутизации информационных потоков по основному и нескольким резервным путям, обладают высокой вычислительной сложностью и не могут быть реализованы на основе существующего телекоммуникационного оборудования.* ***Целью работы*** *является локализация воздействия дестабилизирующих факторов в виде отдельных областей маршрутизации. Предлагается применять способы повышения устойчивости сети связи с высокой вычислительной сложностью только в отдельных областях маршрутизации, подвергшихся воздействию дестабилизирующих факторов, что позволит ограничить их вычислительную сложность границами этих областей.* ***Используемые методы****: решение задачи локализации воздействий дестабилизирующих факторов в виде отдельных областей маршрутизации основано на использовании метода определения сильносвязных областей графа и алгоритма иерархической кластеризации Ланса-Вильямса с учетом специфики функционирования сетей связи. В качестве критерия воздействия дестабилизирующих факторов на сеть связи предложено использовать уровень изменения метрик отдельных каналов связи.* ***Новизна:****элементами новизны представленного решения являются использование при декомпозиции сети связи алгоритма иерархической кластеризации Ланса-Вильямса и учет воздействия деструктивных факторов через параметры изменения метрики ребер графа сети. Также к элементам новизны стоит отнести новый критерий кластеризации, учитывающий воздействия деструктивных факторов на элементы сети.* ***Результат****: использование представленного решения по локализации воздействия дестабилизирующих факторов в виде отдельных областей маршрутизации позволяет снизить вычислительные требования по объему оперативной памяти пропорционально количеству полученных кластеров, а также обеспечить заданный уровень устойчивости сети на уровне не ниже заданного по показателю вероятность связности направления связи. Проведенное моделирование для сети из 30 узлов при деструктивном воздействии на 20% каналов связи показало возможность разбиения сети на 5 кластеров, снижение трудоемкости применения алгоритма маршрутизации Дейкстры в 4,5 раза по показателю требуемого объема памяти для хранения маршрутных таблиц относительно сети без кластеризации, при равном показателе вероятности связности направления связи, заданном на уровне 0,95.* ***Теоретическая/Практическая значимость****: представленное решение предлагается реализовать в виде математического обеспечения маршрутизаторов на основе протокола OpenFlow для программно-конфигурируемых сетей SDN. Реализация на основе OpenFlow позволит осуществлять адаптивную динамическую реконфигурацию областей и протоколов маршрутизации в сети связи при обнаружении воздействий дестабилизирующих факторов на ее элементы.*

***Ключевые слова:*** *сеть связи, кластеризация, маршрутизация, иерархическая маршрутизация, Open Flow, дестабилизирующий фактор, преднамеренные помехи, помехи.*

**Актуальность**

С развитием телекоммуникационных технологий и увеличением структурной сложности сетей связи актуализируются вопросы обеспечения устойчивости сети связи к воздействиям дестабилизирующих факторов (ДФ). При этом под ДФ понимаются воздействия на сеть связи, источником которых является физический или технологический процесс внутреннего или внешнего характера, приводящие к выходу из строя элементов сети. В настоящее время известен ряд решений задачи повышения устойчивости сети связи в условиях воздействия на них ДФ различной физической природы (например, представленные в работах [1, 2]). Как правило, данные решения связаны с существенной трудоемкостью выполнения операций по расчету маршрутизации информационных потоков по основному и нескольким резервным путям и не могут быть реализованы на основе существующего телекоммуникационного оборудования в сетях связи большой размерности. Таким образом, имеется проблемная ситуация, связанная с высокими требованиями по обеспечению заданного уровня устойчивости при маршрутизации информационных потоков в сети, с одной стороны, и с невозможностью технического внедрения ряда перспективных математических решений в этой области в связи с их высокой трудоемкостью, с другой стороны.

Одним из подходов к решению задач маршрутизации в больших сетях связи является группирование узлов сети в отдельные иерархические множества, называемые автономными областями (кластерами или доменами) [2]. При этом, в каждой отдельной области применяются свои независимые подходы к маршрутизации информационных потоков.

В работах С.Н. Новикова [3], Ю.И. Припачкина, Ю.А. Тамма [4], И.Н. Давиденко, Д.Н. Гиренко [5] анализируются современные подходы к построению иерархических сетей. В данных работах показано, что в современных больших сетях для решения трудоемких задач маршрутизации применяется декомпозиция сети на отдельные кластеры (домены или автономные области).

Анализ работ [2-5] показал, что в практике эксплуатации сетей связи зачастую кластеры для маршрутизации назначаются в административном порядке. В случае применения научно обоснованного подхода к кластеризации сетей в интересах маршрутизации в них, решение задачи происходит на основе одного из трех подходов [5]:

1. кластеризация областей, содержащих локальные максимумы интенсивности информационного обмена;
2. разбиение сети на минимальное количество областей маршрутизации с максимальным радиусом каждой области по критерию ограничения суммарной интенсивности информационных потоков внутри ‑ не выше заданного;
3. выделение доминирующих областей с высокой степенью связности узлов.

Предлагается воспользоваться разработанными подходами, связанными с декомпозицией сети на отдельные области маршрутизации, для решения задачи обеспечения устойчивости сети за счет использования новых способов маршрутизации информационных потоков, обладающих высокой трудоемкостью. Для это требуется выделение в составе общей сети тех областей, которые подвергаются воздействию ДФ. Предлагается на основе критерия воздействия ДФ, во-первых, формировать отдельные автономные области маршрутизации, во-вторых, применять способы обеспечения устойчивости с повышенной трудоемкостью только в этих сформированных областях воздействия ДФ. При этом, в остальной сети будут использоваться стандартные способы маршрутизации информационных потоков.

**Постановка задачи**

Для формальной постановки и решения задачи в работе введены обозначения, представленные в таблице 1.

Таблица 1 – Обозначения

| Обоз-начение | Физический смысл обозначения |
| --- | --- |
| *G*(*U*, *V*) | – множество вершин и ребер в исходном графе сети |
| *G*T | – транспонированный граф *G* |
| *G*\* | – связный граф, содержащий узлы сети, которые сохранили свойство связности после воздействия ДФ |
| *G\*\** | – множество узлов, которые не подверглись воздействию ДФ |
| *U*={*u*} | – множество узлов в графе сети, соответствующих узлам связи в рассматриваемой сети |
| *V*={*v*} | – множество ребер в графе сети, соответствующих каналам связи в рассматриваемой сети |
| *n* | – количество узлов в графе *G* |
| *n\** | – количество узлов в графе *G*\* |
| *s*(*ui*, *uj*) | – количество необходимых шагов из узла *ui* для достижения узла *uj* |
| *M* | – метрика отдельного ребра, соответствующая метрике отдельного канала связи в рассматриваемой сети |
| Δ*M* | – изменение метрики отдельного ребра (отдельного канала связи), что рассматривается как эффект воздействия ДФ на конкретный канал связи |
| *с* | – кластер, являющийся множеством, содержащим узлы, классифицированные по критерию воздействия ДФ |
| *C=*{*c*} | – множество кластеров, содержащих узлы связи на различных этапах процесса кластеризации |
| *R* | – множество кластеров, соответствующих областям, которые подвергаются воздействию ДФ, но сохраняют связность |
| *Y* | – множество узлов, которые в результате воздействия ДФ, утратили свойство связности с графом *G*\* |
| *i, j, k, v, w* | – счетчики |

На вербальном уровне задача локализации в сети областей, которые подвергаются воздействию ДФ, может быть декомпозирована в следующем виде:

* формирование критерия диагностики деструктивного воздействия на ребра графа общей сети *G*(*U*, *V*);
* нахождения подграфа *G*\* графа *G*, для которого после воздействия ДФ выполняется свойство связности узлов (множество *Y*=*G*\*G*\* включает узлы, которые утратили связность с остальной сетью в результате воздействия ДФ);
* выделение в графе *G*\* подграфа *G\*\**, который не подвергался воздействию ДФ, а также отдельных кластеров, содержащих множество узлов, которые подверглись воздействию ДФ.

На формальном уровне постановка задачи исследования имеет следующий вид.

Дано: множество, определяющее граф сети *G*; оператор *E*, определяющий воздействие ДФ. Найти: показатель, определяющий уровень воздействия ДФ Δ*М*; декомпозицию множества *G* на: подмножество *Y,* состоящее из узлов, утративших связность; подмножество *R,* состоящее из областей, подвергшихся воздействию ДФ; подмножество *G\*\*,* состоящее из узлов,не подвергшихся воздействию ДФ*.* То есть определить последовательность решения:

*E:G→G*\*,

*Y*=*G*\*G*\*,

Δ*М=f*(*E*),

Δ*М*:*G*\**→R*,

*G\*\*=G*\*\*R*,

при условиях: *RG*\**G* и *G*\*\**G*\**G*, *YG*.

**Методика локализации областей
воздействия дестабилизирующих факторов в сети связи**

Задача локализации области воздействия ДФ решается за счет использования метода определения сильносвязных областей графа из теории графов, представленного в работе [13], и алгоритма иерархической кластеризации Ланса-Вильямса из теории кластеризации, рассмотренного в работах [14, 15].

Метод определения сильносвязных областей, примененный к графу сети связи *G* после воздействия ДФ, позволяет за счет поиска в глубину по матрице смежности узлов графа выделить связную область *G*\*, а также множество узлов *Y*=*G*\*G*\*, которые в результате воздействия ДФ утратили связность с областью *G*\*.

Особенностью алгоритма иерархической кластеризации Ланса-Вильямса является объединение объектов по заданному критерию «снизу-вверх». То есть каждый узел помещается в свой отдельный кластер. Отдельные кластеры объединяются при выполнении критерия кластеризации в слитные кластеры. Предлагается применить данный алгоритм к связному графу *G*\* и провести кластеризацию узлов, ребра между которыми подверглись воздействию ДФ. Критерием объединения узлов будет служить критерий воздействия ДФ на ребро между узлами. Это позволит сформировать в составе *G*\* множество автономных областей *R,* подвергшихся воздействию ДФ.

В качестве критерия воздействия ДФ на сеть предлагается выбрать уровень изменения метрики ребра между узлами сети. За ее основу предлагается взять метрику протокола IGRP [2], которая является комплексным показателем, учитывающим надежность, пропускную способность, загрузку отдельного канала связи, а также время передачи данных по нему:

|  |  |
| --- | --- |
| $$M=\left(\frac{10^{7}K\_{1}}{C}+\frac{10^{7}K\_{2}}{256C\left(1-ρ\right)}+\frac{K\_{3}T\_{зад}}{10}\right)×\frac{K\_{5}}{N+K\_{4}}$$ | (1) |

где: *M* – метрика канала связи; *С* – пропускная способность канала связи в отсутствии нагрузки [бит/с]; ρ – нагрузка канала связи, в диапазоне 0..1; *N* – надежность канала связи, как доля успешно переданных по каналу связи пакетов; *Тзад* – задержка передачи равная [c]; *K*1*, K*2*, K*3*, K*4*, K*5 – коэффициенты, определяющие значимость параметров.

Схема методики локализации областей воздействия ДФ в сети представлена на рис. 1. Рассмотрим ее основные этапы.

В начале инициализируются исходные данные, необходимые для проверки связности графа сети *G* и формирования связной области *G*\* (блок 1 на рис. 1). В качестве показателя уровня качества канала связи принимается метрика *М* (выражение (1), блок 2 на рис. 1). Введем допущение, что множество воздействий ДФ на канал связи может быть описано через изменение параметров метрики Δ*M* в соответствии с изменением параметров, входящих в выражение(1)*.*

Рис. 1. Схема методики локализации областей воздействий ДФ в сети

На первом этапе вводится допущение, что в начальный момент времени произошло воздействие ДФ и необходимо проверить связность текущего графа *G*. Для определения связности области *G* используется известный метод определения сильносвязных областей [13]. При использовании данного метода для всех узлов *ui*, *i*=1..*n* в составе графа *G* сначала ведется поиск путей в глубину до всех других узлов *uj*, *j*=1..*n*, *i*≠*j* с целью определения количества шагов *s*(*ui*, *uj*) от *ui* до *uj* (цикл из блоков 3-6 на рис. 1). При этом считается, что шаг для достижения следующей вершины возможен (*s*(*ui*, *ui+*1)=1), если метрика пути на данном шаге определена (*M*(*ui*, *ui+1*)≠), то есть канал связи между *ui* и *ui+*1 существует. После этого ведется расчет количества шагов в обратных путях *s*T(*ui*, *uj*) тем же способом, но с использованием транспонированной матрицы связности *G*T (блоки 7-11 на рис. 1). Вершины *ui* и *uj*, между которыми имеются пути из счетного количества шагов в прямом или обратном направлении, добавляются в качестве элементов связного графа *G*\* (блоки 6, 11 на рис. 1). Из тех узлов графа *G*, которые не вошли в множество связных вершин *G*\*, образуется множество узлов *Y,* утративших связность вследствие воздействия ДФ (блок 12 на рис. 1):

*Y*=*G*\*G*\*,

которое в дальнейшем, при локализации областей воздействия ДФ, не рассматривается. Считается, что уровень воздействия ДФ по данным узлам таков, что разрушает связность этого сегмента сети и не позволяет реализовать там решения по повышению устойчивости сети.

Второй этап методики локализации областей непосредственно посвящен решению поставленной задачи. Для данного этапа инициируются следующие исходные данные. Каждый узел помещается в собственный отдельный кластер (блок 13 на рис. 1). Инициализируется пустое начальное множество *R*={○}, содержащее кластеры, подвергшиеся воздействию ДФ. Задается критерий воздействия ДФ в виде граничного показателя Δ*Mmin*(блок 16, 17 на рис. 1). Если значение Δ*M* отдельного канала превышает значение Δ*Mmin*, то делается вывод о воздействии ДФ на этот канал.

Процесс локализации областей, которые подверглись воздействию ДФ, состоит в следующем. Для ребер между всеми связными парами узлов *ui* и *uj* (*i*=1..*n, j*=1..*n*, *i*≠*j*) в графе *G*\* задается текущее значение метрик *M*(*ui*, *uj*), соответствующее метрике отдельных каналов связи, в соответствии с выражением (1), а также значение ее изменения Δ*M*(*ui*, *uj*) в процессе воздействия ДФ (блоки 19, 20 на рис. 1). Если учесть, что при инициализации каждый узел был помещен в отдельный кластер, то процесс формирования областей воздействия ДФ состоит в объединении узлов, находящихся в кластерах *ci* и *cj* с наибольшим значением изменения метрики Δ*M*(*ci*, *cj*). При этом значение Δ*M*(*ci*, *cj*) должно превышать пороговое значение Δ*Mmin* (блоки 21-28 на рис. 1).

Значение Δ*Mmin* фактически определяет «чувствительность» методики к уровню воздействия ДФ, выраженному в безразмерных единицах в соответствии с выражением (1). На каждом следующем шаге находятся ребра с метрикой Δ*M*≥Δ*Mmin*, узлы которых либо вновь добавляются в множество *R*, которое содержит области воздействия ДФ, либо объединяются с областями, уже находящимися в множестве *R*. Процесс продолжается до тех пор, пока не останется ребер, соответствующих критерию Δ*M*≥Δ*Mmin* (блок 23 на рис. 1). По завершению процесса объединения кластеров, множество *R* будет содержать кластеры, соответствующие автономным областям, которые подверглись воздействию ДФ. В случае, если воздействий ДФ на сеть не было, критерийΔ*M*≥Δ*Mmin* для объединения кластеров не будет выполнен и множество *R* будет пустым*.* Если воздействие ДФ привело к выполнению критерия Δ*M*≥Δ*Mmin*для всех узлов сети, то они все будут объединены в единый кластер, входящий в множество *R*.

Множество *G*\*\*, содержащее узлы сети, которые не подверглись воздействию ДФ, вычисляется путем исключения из множества *G*\* узлов, входящих в кластеры множества *R*:

*G*\*\*=*G*\*\*R*.

Таким образом, данная методика позволяет разложить исходный граф *G*, соответствующий сети связи, на связный граф *G*\* и изолированное в результате воздействия ДФ множество узлов *Y*. А, в свою очередь, связный граф *G*\* – на области, подвергшиеся воздействию ДФ, объединенные в множество *R,* и область *G*\*\*, не подвергшуюся воздействию ДФ.

**Пример применения методики**

Рассмотрим использование методики применительно к конкретной сети. Пусть имеется сеть, состоящая из 20 узлов. Первоначальные параметры метрики всех каналов связи: *M*(*ui*,*uj*)=1,Δ*M*(*ui*,*uj*)=0 для *i*, *j*=1..20 и *i*≠*j*. Сеть подвергается воздействию ДФ (рис. 2). В области узлов *u*11 и *u*15 воздействие ДФ достигает критичных значений. В остальных местах воздействие ДФ вызывает изменение метрики Δ*M* ребер графа в пределах ±3..±5. За критерий воздействия ДФ примем значение Δ*Mmin*=1.

На первом этапе, в соответствии с представленной методикой, будет проверена связность сети. В местах критичного воздействия ДФ (узлы *u*11, *u*15) метрика ребер будет стремиться к максимальному значению (таблица 2). В связи с этим, на этапе определения связного графа *G*\* узлы *u*11 и *u*15 будут выделены в множество *Y*, и на втором этапе исключены из рассмотрения (рис. 3).

Таблица 2 – Метрика ребер сети
в местах критического воздействия ДФ

| Метрика ребер | Значение |
| --- | --- |
| *M*(*u*5,*u*11) | ∞ |
| *M*(*u*8,*u*11) | ∞ |
| *M*(*u*12,*u*15) | ∞ |
| *M*(*u*15,*u*16) | ∞ |
| *M*(*u*15,*u*18) | ∞ |
| *M*(*u*15,*u*19) | ∞ |
| *M*(*u*11,*u*15) | ∞ |

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| Рис. 2. Формирование в сети *G* множеств *G*\* и *Y* | Рис. 3. Декомпозиция графа *G*\* на множества *R* и *G*\*\* |

На втором этапе методики все узлы графа *G*\* будут помещены в отдельные кластеры, после чего начнется их объединение по критерию Δ*M*≥Δ*Mmin*. Итогом данного процесса станет формирование двух кластеров: *с*1(*u*9, *u*14, *u*17) и *с*2(*u*5, *u*4, *u*6, *u*8,*u*12, *u*13, *u*16), которые соответствуют областям сети, которые подверглись воздействию ДФ. Предполагается, что именно в данных кластерах и будут применяться способы повышения устойчивости сети, в том числе и с высокой трудоемкостью. Остальные узлы (*u*1..*u*3, *u*7, *u*18..*u*20) формируют область *G*\*\* (рис. 3). Так как элементы сети в области *G*\*\* не подвергаются воздействию ДФ, то применение в ней специальных способов повышения устойчивости нецелесообразно.

Результаты моделирования снижения качества обслуживания трафика в сети в областях где происходит воздействие ДФ представлено на рис. 4, 5.



Рис. 4. Область {α, ρ}, в которой происходит существенное снижение своевременности обслуживания трафика со сложной структурой [13]



Рис. 5. Своевременность обслуживания сложного трафика

по показателю «время задержки пакета в узле» [14]

Реализация методики и моделирование ее использования применительно к сети на рис. 2 велось на основе программы на языке GPSS представленной в приложении 1.

**Выводы**

Представленная методика позволяет автоматически формировать области маршрутизации для сети, подверженной воздействию ДФ, с учетом применения в отдельных областях перспективных, но трудоемких способов обеспечения устойчивости связи.

Элементами новизны представленного решения являются использование при декомпозиции сети алгоритма иерархический кластеризации Ланса-Вильямса, учет воздействия ДФ через параметры изменения метрики ребер графа, а также проверка сети на связность перед процессом кластеризации. К исследованиям, в которых предлагается декомпозиция сети на отдельные области в интересах решения задачи маршрутизации, можно отнести работы [5-12]. Однако, в работах [5-9, 11-12] для декомпозиции сети используются другие подходы. Кроме того, в данных работах в качестве критерия кластеризации не рассматривается критерий воздействия ДФ на элементы сети.

Наиболее близкой работой по подходу к кластеризации сети на отдельные области при решении задачи маршрутизации, представленному в данной статье, является работа К.В. Кетовой, Е.В. Трушковой [10]. Однако данная работа посвящена решению задачи топливоснабжения распределенной системы теплоснабжения и не учитывает специфику организации и функционирования сети связи.

На основе методики локализации воздействия ДФ на сеть планируется разработка элементов математического обеспечения маршрутизаторов на основе протокола OpenFlow для сети специального назначения, осуществляющих динамическую реконфигурацию областей маршрутизации и протоколов маршрутизации при обнаружении воздействий ДФ на элементы сети. Представленный подход может быть применен не только в предметной области связи, но и в других областях, задачи в которых могут быть формализованы на основе теории графов.

В дальнейшем планируется развитие представленной методики в направлении учета при кластеризации не только воздействия ДФ, но и других факторов, значимых при маршрутизации: интенсивности информационного обмена между узлами, показателей метрики отдельных каналов, учета интенсивности и динамики воздействия ДФ, возможности воздействия ДФ не только на каналы связи, но и на узлы связи с целью их поражения.

Авторы выражают благодарность за помощь в организации и проведении моделирования доктору технических наук профессору Величко С.А., а также признательность Владимировой В.И. за помощь в оформлении работы.

Работа выполнена при государственной финансовой поддержке РФФИ инициативного научного проекта № 11-22-99988.

**Приложение 1.**

Программа на языке GPSS реализующая методику локализации областей
воздействия дестабилизирующих факторов в сети связи

VrDelta TABLE X$Delta,0,1,60 ; Данные для построения распределения

 ; интервалов времени выходных транзактов.

 INITIAL X$Time,0 ; Установить начальное значение переменной

 ; Time, сохраняющей значение абсолютного

 ; модельного времени = 0.

Ver1 EQU 0.4 ; Значение вероятности р1 1-го

 ; экспоненциального потока.

Ver2 EQU (1-Ver1) ; Значение вероятности р2 2-го

 ; экспоненциального потока.

T1 EQU 5 ; Интервалы поступления транзактов-пакетов

 ; 1-го потока.

T2 EQU 0 ; Интервалы поступления транзактов-пакетов

 ; 2-го потока.

Fun VARIABLE (AC1-X$Time) ; Вычисления значений интервалов времени Delta

 ; между выходными транзактами-пакетами

 ; (разность абсолютного время и сохраненного

 ; значения переменной Time).

; Имитация работы ключа.

 GENERATE ,,,1 ; Генерация одного транзакта, управляющего

 ; переключением ключей.

Variator TRANSFER Ver1,Met2,Met1 ; Включение 1-го и 2-го ключей

 ; с вероятностью 0.5.

Met1 TRANSFER ,Klu1 ; Отправить транзакт на 1-й ключ.

Met2 TRANSFER ,Klu2 ; Отправить транзакт на 2-й ключ.

;

Klu1 LOGIC S Kluch1 ; Включить ключ 1, соответствующий

 ; 1-му потоку.

 ADVANCE (T1#50) ; Задержка рабочего состояния 1-го ключа на

 ; время пропорциональное вероятности

 ; поступления транзактов из 1-го потока.

 LOGIC R Kluch1 ; Выключить ключ 1, соответствующий 1-му

 ; потоку.

 TRANSFER ,Variator ; Отправить транзакт на цикл выбора

 ; рабочего ключа.

Klu2 LOGIC S Kluch2 ; Включить ключ 2, соответствующий

 ; 2-му потоку.

 ADVANCE (T2#50) ; Задержка рабочего состояния 2-го ключа на

 ; время пропорциональное вероятности

 ; поступления транзактов из 2-го потока.

 LOGIC R Kluch2 ; Выключить ключ 2, соответствующий

 ; 2-му потоку.

 TRANSFER ,Variator ; Отправить транзакт на цикл выбора

 ; рабочего ключа.

; Имитация потоков с различной интенсивностью.

 GENERATE (Exponential(1,0,T1)) ; Генерация 1-го потока с интервалом

 ; поступления транзактов-пакетов, равным Т1

 ; (распр. по экспоненц. закону без смещения).

 GATE LS Kluch1,Met10 ; Проверка 1-го ключа на предмет его

 ; включенного состояния (Включен - след.

 ; строчка, выключен - Met10).

 TRANSFER ,Met20 ; Отправка транзакта на Met20.

;

 GENERATE (Exponential(29,0,T2)) ; Генерация 2-го потока с интервалом

 ; поступления транзактов-пакетов, равным Т2

 ; (распр. по экспоненц. закону без смещения).

 GATE LS Kluch2,Met10 ; Проверка 2-го ключа на предмет его

 ; включенного состояния (Включен - след.

 ; строчка, выключен - Met10).

 TRANSFER ,Met20 ; Отправка транзакта на Met20.

; Накопленные статистики.

Met20 SAVEVALUE Delta,V$Fun ; Сохранить в Delta значение, вычисленное

 ; по формуле Fun.

 SAVEVALUE Time,AC1 ; Сохранить в Time значение, равное

 ; абсолютному времени.

 TABULATE VrDelta ; Сохранить вычисленное значение переменной

 ; Delta в таблицу.

 TERMINATE 1 ; Вывести из системы обслуженный транзакт.

Met10 TERMINATE ; Вывести из системы не обслуженный транзакт.

 START 1000000 ; Начало имитации работы

 ; на 1000000 транзактов.

**Литература**

1. Цветков К. Ю., Михайлов Р. Л. Формирование резервных путей на основе алгоритма Дейкстры в целях повышения устойчивости информационно-телекоммуникационных сетей // Информационно-управляющие системы. 2014. № 2(69). С. 71–78.

2. Программа сетевой академии Cisco CCNA 3 и 4. Вспомогательное руководство. М.: Издательский дом «Вильямс», 2007. 1168 с.

3. Новиков С. Н. Классификация методов маршрутизации в мультисервисных сетях связи // Вестник Сибирского государственного университета телекоммуникаций и информатики. 2013. № 1. C. 57–67.

4. Давиденко И. Н., Гиренко Д. Н. Способы формирования структуры доменов маршрутизации // Проблеми інформатизації та управління. 2010. № 1 (29). С. 41–44.

5. Телекамеры SMARTEC премиум-класса серии ULTIMATE // Smartec CCTV [Электронный ресурс]. 01.07.2016. – URL: www.smartec-cctv.ru (дата обращения 01.07.2016).

6. ТВ камера на основе EMCCD черно-белого изображения MERLIN EM247 // Фирма Raptor Photonics [Электронный ресурс]. 04.072016. – URL: www.diawirld.ru (дата обращения 04.07.2016).

7. Зацаринный А. А., Шабанов А. П. Система управления деятельностью организационных систем // Патент на изобретение RU 2595335 C2, опубл. 27.08.2016, бюл. № 24. – URL: http://elibrary.ru/item.asp?id=26545435 (дата обращения 04.07.2016).

8. Гольдштейн C. K., Кудрявцев А. Г. Ситуационный центр // Патент на полезную модель RU 105031 U1, опубл. 27.05.2011, бюл. № 11.

9. Семенов С. С. Разработка автоматизированной системы поддержки принятия решений при построении сетей связи. – СПб.: ВАС, 2014. – 61 с.

10. О стратегии национальной безопасности Российской Федерации. Указ Президента Российской Федерации от 31 декабря 2015 г. № 683 // Официальный интернет-портал правовой информации [Электронный ресурс]. 2016. – URL: http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201512310038 (дата обращения 11.09.2016).

11. Перцовский А. К. Адаптивные модели и алгоритмы маршрутизации. Автореферат дис. … д-ра физ.-мат. наук. – СПб.: СПбГУ, 2013. – 16 с.

12. Пожидаев М. С. Алгоритмы решения задачи маршрутизации транспорта. Дис. … канд. техн. наук. – Томск: ТГУ, 2010. – 136 с.

13. Кормен Т., Лейзерсон Ч., Ривест Р. Алгоритмы: построение и анализ. – М.: МЦНМО, 2000. – 960 с.

14. Воронцов К. В. Лекции по алгоритмам кластеризации и многомерного шкалирования. – М.: ВЦим. А.А. Дородницына РАН, 2007. – 18 с. – URL: http://www.ccas.ru/voron/download/Clustering.pdf (дата обращения 07.06.2014).

15. Lance G. N., Williams W. T. A general theory of classificatory sorting strategies. Hierarchical systems // The Computer Journal. 1967. Vol. 4. No. 9. P. 373–380. doi: 10.1093/comjnl/9.4.373.

16. Gilb T. Principles of Software Engineering Management. – Addison Wesley, Reading MA, 1988. – 464 p.

17. Елесин М. Е., Ходаревский Д. Н. Аналитическая модель влияния вероятности ошибки в радиоканале на характеристики пакетной передачи сети беспроводного доступа // Актуальные проблемы развития технологических систем государственной охраны, специальной связи и специального информационного обеспечения: VIII Всероссийская межведомственная научная конференция: материалы и доклады (Орёл, 13–14 февраля 2013 г.). – Орёл: Академия ФСО России, 2013. С. 36–40.

18. Вялых А. С., Вялых С. А., Сирота А. А. Алгоритм анализа надежности программного обеспечения информационных систем в условиях внутренних уязвимостей и негативных воздействий // Фундаментальные проблемы системной безопасности: материалы V Международной научной конференции. – М.: Вычислительный центр им. А.А. Дородницына. 2014. – С. 158–163.

19. Сети связи специального назначения // Википедия: свободная энциклопедия [Электронный ресурс]. 01.06.2016. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Сети\_связи\_специального\_назначения (дата обращения 01.06.2016).

20. АРТ-ПРОФИ 2012. Сети связи и системы коммутации // You Tube [Электронный ресурс]. 01.06.2016. – URL: https://www.youtube.com/watch?v=hRMHQxsPHo8 (дата обращения 01.06.2016).

**Статья поступила 21 марта 2013 г.**

**Информация об авторах**

*Сидоров Иван Иванович* – соискатель ученой степени кандидата технических наук. Адъюнкт кафедры сбора и обработки информации. Михайловская артиллерийская военная академия. Область научных интересов: мониторинг информационных ресурсов; сбор и обработка информации. Тел.: +7 981 820 41 92. E‑mail: mak1234@ya.ru

*Иванов Сергей Игоревич* – кандидат технических наук, доцент. Доцент кафедры сбора и обработки информации. Михайловская артиллерийская военная академия. Область научных интересов: мониторинг информационных ресурсов; сбор и обработка информации. Тел.: +7 981 820 41 92. E‑mail: mak1234@ya.ru

*Абрамов Максим Анатольевич* – соискатель ученой степени кандидата технических наук. Научный сотрудник 234 научно-исследовательской лаборатории отдела радиотехнических систем управления сетей и систем связи. Научно-исследовательский центр проблем передачи информации ОАО «Интелтех». Область научных интересов: моделирование радиотехнических систем; прием и обработка сигналов в условиях помех; системы управления связью. Тел.: +7 981 998 48 92. E‑mail: 123-av@mail.ru

*Петров Валерий Иванович* – доктор военных наук, профессор. Заведующий кафедрой информационной безопасности. Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения. Область научных интересов: информационная безопасность; криптографические алгоритмы; стеганография. Тел.: +7 911 999 45 95. E‑mail: 123-av@mail.ru

Адрес: 194064, Россия, г. Санкт-Петербург, Тихорецкий пр., д. 3.

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

**Localization of Areas of Influence Destabilizing Factors in Network Based on the Algorithm of Hierarchical Clustering of Lance-Williams**

I. I. Sidorov, S. I. Ivanov, М. А. Abramov, V. I. Petrov

***Purpose.*** *Enhancement of communications networks structured complexity makes more actual tasks of their operation stability providing in conditions of destabilizing factors. Known ways of operation stability increasing based on traffic routing using main and some reserve paths have high-level calculative complexity and cannot be executed by means of existing network environment. The purpose of the present paper is to develop methods providing localization of destabilizing factors impact in form of discrete routing areas.* ***Methods.*** *There has been proposed to use ways of communications network operation stability increasing, characterized by high level of calculative complexity only in areas, exposed by destabilizing factors. It allows to limit their calculative complexity by frames of this routing areas. Localization of destabilizing factors impact in form of discrete routing areas is based on method of strong connected graph areas definition and using of Lance-Williams hierarchical clustering algorithm in view of specific communications network functioning. There has been proposed value of discrete metrics variations as criterion of destabilizing factors impact on communications networks. Criterion of clustering process stop is achievement of certain stability value in terms of direction of the relationship coherence probability.* ***Novelty.*** *Elements of novelty in presented method are using of Lance-Williams hierarchical clustering algorithm in progress of communication network decomposition and accounting of destabilizing factors impact by means of communication network graph edges metrics variation. A side from novelty element is new clustering criterion taking into account the destabilizing factors impact on communication network elements.* ***Results.*** *Using of presented method comprising in destabilizing factors impact localization in the form of single routing areas allows to decrease calculative demands in the context of random access memory proportionally number of obtained clusters and provide adjusted level of network stability not less than one in terms of direction of the relationship coherence probability. Modeling in thirty- node network in conditions of destabilizing factors impact on 20% of channels showed ability of network partition to 5 clusters, reduction of Dijkstra routing algorithm laboriousness in 4,5 times taking into account the required storage routing tables memory comparatively with network without clustering and equal indicator of relationship coherence probability at the level of 0,95.* ***Practical relevance.*** *Presented method is proposed to realize in router software on the basis of Open Flow protocol for software-configurable SDN networks. Realization on the basis of Open Flow allows to carry out adaptive dynamic reconfiguration of routing areas and protocols in network in detection of destabilizing factors impact on network elements.*

***Key words:*** *communications network, clustering, routing, hierarchical routing, destabilizing factor, purposive noise, noise.*

**Information about Authors**

*Ivan Ivanovich Sidorov –* Doctoral Student. The postgraduate student of the Department of Acquisition and Processing Information. Mikhailovskaya Military Artillery Academy. Field of research: information monitoring; data acquisition. Tel.: +7 981 820 41 92. E‑mail: mak1234@ya.ru

*Sergey Igorevich* *Ivanov* – Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor. Associate Professor at the Department of Acquisition and Processing Information. Mikhailovskaya Military Artillery Academy. Field of research: information monitoring; data acquisition. Tel.: +7 981 820 41 92. E‑mail: mak1234@ya.ru

*Maxim Anatol’evich* *Abramov* – Doctoral Student. Research Officer of 234 Research Laboratory of the Radio Engineering Control Systems. Scientific Center for Information Transmission Problems. Joint Stock Company “Inteltech”. Field of research: models of the radiotechnical communication components; reception and processing of signals with the radio countermeasure condition; the control communication systems. Tel.: +7 981 998 48 92. E‑mail: 123-av@mail.ru

*Valeriy Ivanovich* *Petrov* – Dr. habil.of Military Sciences, Full Professor. Head of the Department of Information Security. Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation. Field of research: information security; cryptography algorithms; steganography. Tel.: +7 911 999 45 95. E‑mail: 123-av@mail.ru

Address: Russia, 194064, Saint-Petersburg, Tihoreckiy prospekt, 3.

1. **Библиографическая ссылка на статью:**

Сидоров И. И., Иванов С. И., Абрамов М. А., Петров В. И. Методика локализации областей воздействия дестабилизирующих факторов в сети связи на основе алгоритма иерархической кластеризации Ланса Вильямса // Вестник СПбГУТ. 2024. Т. 2. № 2. С. 1. EDN: HHHHH

**Reference for citation:**

Sidorov I. I., Ivanov S. I., Abramov М. А., Petrov V. I. Localization of Areas of Influence Destabilizing Factors in Network Based on the Algorithm of Hierarchical Clustering of Lance-Williams. *Herald of SPbSUT*. 2024. Vol. 2. Iss. 2. P. 1. (in Russian). EDN: HHHHH [↑](#footnote-ref-1)