

Abstracts of Dissertations

Institute of Information and
Communication Technologies

BULGARIAN ACADEMY OF
SCIENCES



2 / 2014



MODELLING AND
MANAGEMENT OF
INFORMATION FLOWS

Krasimir Trichkov

МОДЕЛИРАНЕ И
УПРАВЛЕНИЕ НА
ИНФОРМАЦИОННИ
ПОТОЦИ

Красимир Тричков

Автореферати на дисертации

Институт по информационни и
комуникационни технологии

БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ

ISSN: 1314-6351

Поредицата „Автореферати на дисертации на Института по информационни и комуникационни технологии при Българската академия на науките“ представя в електронен формат автореферати на дисертации за получаване на научната степен „Доктор на науките“ или на образователната и научната степен „Доктор“, защитени в Института по информационни и комуникационни технологии при Българската академия на науките. Представените трудове отразяват нови научни и научно-приложни приноси в редица области на информационните и комуникационните технологии като Компютърни мрежи и архитектури, Паралелни алгоритми, Научни пресмятания, Лингвистично моделиране, Математически методи за обработка на сензорна информация, Информационни технологии в сигурността, Технологии за управление и обработка на знания, Грид-технологии и приложения, Оптимизация и вземане на решения, Обработка на сигнали и разпознаване на образи, Интелигентни системи, Информационни процеси и системи, Вградени интелигентни технологии, Йерархични системи, Комуникационни системи и услуги и др.

Редактори

Генадий Агре

Институт по информационни и комуникационни технологии, Българска академия на науките
E-mail: agre@iinf.bas.bg

Райна Георгиева

Институт по информационни и комуникационни технологии, Българска академия на науките
E-mail: rayna@parallel.bas.bg

Даниела Борисова

Институт по информационни и комуникационни технологии, Българска академия на науките
E-mail: dborissova@iit.bas.bg

Настоящото издание е обект на авторско право. Всички права са запазени при превод, разпечатване, използване на илюстрации, цитирания, разпространение, възпроизвеждане на микрофилми или по други начини, както и съхранение в бази от данни на всички или част от материалите в настоящето издание. Копирането на изданието или на част от съдържанието му е разрешено само със съгласието на авторите и/или редакторите

*The series **Abstracts of Dissertations of the Institute of Information and Communication Technologies at the Bulgarian Academy of Sciences** presents in an electronic format the abstracts of Doctor of Sciences and PhD dissertations defended in the Institute of Information and Communication Technologies at the Bulgarian Academy of Sciences. The studies provide new original results in such areas of Information and Communication Technologies as Computer Networks and Architectures, Parallel Algorithms, Scientific Computations, Linguistic Modelling, Mathematical Methods for Sensor Data Processing, Information Technologies for Security, Technologies for Knowledge management and processing, Grid Technologies and Applications, Optimization and Decision Making, Signal Processing and Pattern Recognition, Information Processing and Systems, Intelligent Systems, Embedded Intelligent Technologies, Hierarchical Systems, Communication Systems and Services, etc.*

Editors

Gennady Agre

Institute of Information and Communication Technologies, Bulgarian Academy of Sciences
E-mail: agre@iinf.bas.bg

Rayna Georgieva

Institute of Information and Communication Technologies, Bulgarian Academy of Sciences
E-mail: rayna@parallel.bas.bg

Daniela Borissova

Institute of Information and Communication Technologies, Bulgarian Academy of Sciences
E-mail: dborissova@iit.bas.bg

This work is subjected to copyright. All rights are reserved, whether the whole or part of the materials is concerned, specifically the rights of translation, reprinting, re-use of illustrations, recitation, broadcasting, reproduction on microfilms or in other ways, and storage in data banks. Duplication of this work or part thereof is only permitted under the provisions of the authors and/or editor.



BULGARIAN ACADEMY OF SCIENCES

MODELLING AND MANAGEMENT OF INFORMATION FLOWS

Krasimir Dimitrov Trichkov

Supervisor: Prof. Todor Stoilov

Approved by Supervising Committee:

Prof. Grisha Spasov

Assoc. Prof. Nikolay Kakanakov

Assoc. Prof. Georgi Kirov

Prof. Dimitar Karastoyanov

Prof. Todor Stoilov



**INSTITUTE OF INFORMATION AND
COMMUNICATION TECHNOLOGIES**
Department of Hierarchical Systems

The PhD thesis was discussed and allowed to be defended during an extended session of the Department of Hierarchical Systems at IICT-BAS, which had been held on June 12, 2014.

The full volume of the dissertation is 115 pages. It consists of an introduction, four chapters and conclusion. The text of the dissertation includes 92 figures, 18 tables and 7 pages bibliography, including 121 titles.

The defense of the PhD thesis had been held on September 15, 2014 at 11:00 am in Room, Block 2, IICT-BAS.

Keywords: modelling, information sources, graphs, bandwidth, time-delay, fault tolerance, communications topology, optimizations.

Introduction

The aim of the PhD thesis is to offer a topology synthesis through modelling and management of information flows. The thesis proposes an optimal decision for changing the existing communication network from type “star” to a dual- or triple-connected topology, as well as a model for quantifying the quality, the continuity and fault tolerance of services provided to achieve a technologic and structural improvement of the communication network.

Information and communication systems are applied intensively in the production and business practice [15, 16, 17]. Building of a technically heterogeniuos structure requires defining a suitable network topology which will allow an optimal execution of the information tasks of the communication network customers. Therefore the optimaziation of the network structure will lead to optimizations of the information flows in the computer communication networks and in this respect the customer applications will be performed better for achieving the guaranteed quality [18, 19, 20].

The reasons above define the scope of the PhD thesis, namely to find out a suitable network topology, which will affect the management of information flows. A topology synthesis is proposed in the PhD thesis and an optimanl decision for transforming the existing communication network from type “star” to a dual- or triple-connected topology. Moreover, a model for quantified evaluation of quality is proposed as well as fault tolerance of services for technological and structural improvement of the communication network [21].

The main working task of the PhD thesis is to define and solve an optimization problem for identifying the network connectivity type. Furthermore, based on the measurement results for time delays and the failures of the communication network a decision will be made regarding transformion of the existing communication network from type “star” to a dual- or triple-connected topology.

The following tasks are defined, based on the main working task:

- 1) Analyzing models for formalization of information and communication flows in networks through graphs and evaluating their features, advantages and disadvantages; identifying of problems for finding out the shortest route from one node to the rest nodes in the network, for which the price of the arch may vary.
- 2) Defining and analyzing the bandwidth and time-delays in the network regarding the information flows; evaluating the failures of connecting a pair of nodes as a feature of fault tolerance of the existing communication network from type “star”.
- 3) Proposing an algorithm for determining the theoretical time-delays between the nodes of the additional alternative communication channels; determining an optimization problem for identification of the network connectivity based on the measurement results of time-delays and failures of the communication network.
- 4) Solving the optimization problem regarding the structure identification of the communication network as a dual- or triple-connected one; analyzing the decisions obtained; preparing a quantitative analysis of the results obtained.

1. Analysis of the problem for finding out the shortest route in the network

Models for formalization of information and communication flows in networks through graphs are analyzed in Chapter 1. Their features, advantages and disadvantages are evaluated. Furthermore, the problems for finding out the shortest route from one node to the rest nodes in networks are analyzed for which the price of the arch may vary. These problems influence the identifying of the optimal topology of the communication network. Main conclusions are drawn based on a profound research of scientific sources, as well as a task definition of the PhD thesis is proposed.

2. Definition of channel bandwidth through time measurements

The bandwidth and time-delays in the network regarding the information flows are defined and analyzed in Chapter 2. The failures of connecting a pair of nodes as a feature of the fault tolerance of the existing communication network from type “star” are evaluated as well. An algorithm for defining the time delays for reaching the respective nodes is proposed also and the average time-delays between the nodes within the existing topology are defined also. The capacity of the information network is calculated and the calculation is performed between the node Information Services (IS) - Sofia and the rest nodes.

The tools for calculating the bandwidth based on time-delays are presented as well as the definition of the bandwidth of a communication channel. There are three methods for measuring the time delays of a communication network – active measurement, passive measurement and hybrid measurement. Bearing in mind the main tasks of the PhD thesis the active measurement is used and the ping tool as well.

A model is presented also and a formula for calculation the bandwidth of each node based on time-delays. The bandwidth reached between two hosts [105] is calculated using two measurements with two different sizes of the package - 100 bytes and 1300 bytes. The analysed communication network is presented also, which reveals a subsidiary network of 27 nodes (See table 2.1. and fig. 2.3.). There is a centralized management - topology from type “star” and the central point is located in IS-Sofia.

Table 2.1

Node	City	Node	City	Node	City
1	Sofia	10	Pazardzhik	19	Razgrad
2	Pernik	11	Smolyan	20	Targovishte
3	Kyustendil	12	Plovdiv	21	Sliven
4	Blagoevgrad	13	Kardzhali	22	Yambol
5	Vidin	14	Haskovo	23	Burgas
6	Montana	15	Stara Zagora	24	Shumen
7	Vratsa	16	Gabrovo	25	Silistra
8	Pleven	17	Veliko Tarnovo	26	Dobrich
9	Lovech	18	Ruse	27	Varna

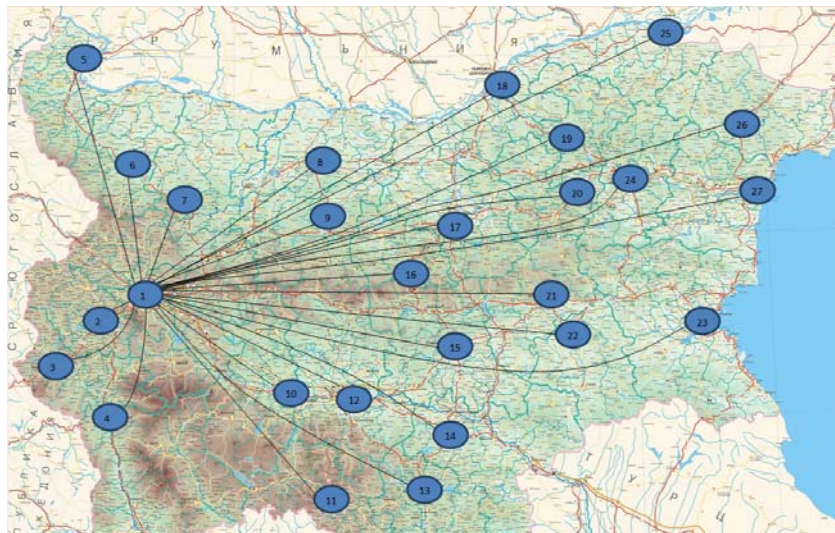


Fig. 2.3 Communication subsidiary network from type “star” with 27 nodes

The software product PRTG Network Monitor is applied for calculating the bandwidth of the communication network to the respective nodes. The results of all calculations made are summarized in the table 2.2.

Table 2.2

Node	City	100 bytes		1300 bytes		R – bandwidth, M bits/s	Up, %	Down, %
1	Sofia	0	ms	0	ms	0	100	0
2	Pernik	12, 10	ms	17,74	ms	3,4	99,922	0,078
3	Kyustendil	13,71	ms	19,38	ms	3,38	99,922	0,078
4	Blagoevgrad	14,36	ms	19,97	ms	3,42	99,913	0,087
5	Vidin	14,61	ms	20,58	ms	3,22	99,905	0,095
6	Montana	13,51	ms	19,27	ms	3,33	99,922	0,078
7	Vratsa	13,75	ms	19,66	ms	3,25	88	12
8	Pleven	22,10	ms	27,05	ms	3,88	98,922	1,078
9	Lovech	19,09	ms	24,71	ms	3,42	99,375	0,625
10	Pazardzhik	13,72	ms	19,09	ms	3,58	99,844	0,156
11	Smolyan	11,28	ms	16,88	ms	3,43	99,922	0,078
12	Plovdiv	8,86	ms	14,28	ms	3,54	99,514	0,486
13	Kardzhali	9,92	ms	16,00	ms	3,16	99,828	0,172
14	Haskovo	9,17	ms	15,02	ms	3,28	99,922	0,078
15	Stara Zagora	14,19	ms	20,27	ms	3,16	99,922	0,078
16	Gabrovo	9,37	ms	13,64	ms	4,97	99,687	0,313
17	Veliko Tarnovo	11,72	ms	17,29	ms	3,45	99,749	0,251
18	Ruse	5,51	ms	11,16	ms	3,4	99,913	0,087
19	Razgrad	6,86	ms	12,63	ms	3,33	99,905	0,095
20	Targovishte	3,93	ms	9,97	ms	3,18	99,913	0,087
21	Sliven	11,42	ms	17,11	ms	3,37	99,158	0,842
22	Yambol	5,94	ms	11,77	ms	3,29	99,905	0,095
23	Burgas	5,19	ms	9,82	ms	4,15	99,913	0,087
24	Shumen	4,08	ms	9,16	ms	3,78	99,913	0,087
25	Silistra	7,24	ms	13,48	ms	3,08	99,922	0,078
26	Dobrich	3,86	ms	9,03	ms	3,71	97,665	2,335
27	Varna	1,98	ms	5,68	ms	5,19	100	0

Based on the results obtained we can summarize the following: the existing already communication network from type “star” causes failures in the information communication between the individual nodes. This will lead to problems accessing the subsidiary network and the normal connectivity as well. The lack of connectivity between the individual nodes in the network varies from 10 min. up to 23 hours, which is unacceptable. The calculated bandwidth shows approximately equal capacities of the network between the individual endpoints.

3. Designing a triple-connected network considering the existing topology from type “star”

The architecture of the existing network from type “star” has been synthesized in Chapter 3. The additional alternative communication channels for transition from a dual- to a triple-connected architecture is defined in this chapter also. An algorithm for defining the theoretical time-delays between the nodes of the additional alternative communication channels is proposed in chapter 3, as well. The optimization problem is solved for defining and classifying the structure of the network either as a dual- or as a triple-connected one. Furthermore, the obtained decisions are analysed also. The actual information network with an exact location of the individual points, which connectivity is from type “star”, is presented in fig. 3.1. The network of 27 nodes, which represents the subsidiaries in the different cities providing information services. Due to the centralized management (as the whole information flow runs through a single node) this connectivity leads to job losses and isolation between the single nodes of the communication network in case of failures of the connection between the single points.

Decision for improving the connectivity between the single nodes using the multi-connected topology is presented in fig. 3.2. Based on it, the exchange of information flows will be improved. Moreover, in case of failure of the central communication node it will not be possible to block the job of all endpoints. In this case an interchangeability between the communication channels will be achieved and the opportunity of breaking the information flows will be eliminated. The added virtual channels are presented in this chapter also. Within the defined new connectivity, the time-delays between the single nodes of the virtual network, that are directly connected, are calculated theoretically as well.

The additional connections between the nodes are defined according to their geographical location and the following rule is considered in this case: each point representing a node has to have at least 4 additional routes excluding the ones of the existing network.

The defined network is presented in fig. 3.3. Based on it calculations regarding the choice of the alternative routes are performed. For the research purposes the virtual weights are defined also. The compliance between the number of the node/ subsidiary and the respective city is revealed in table 3.1.

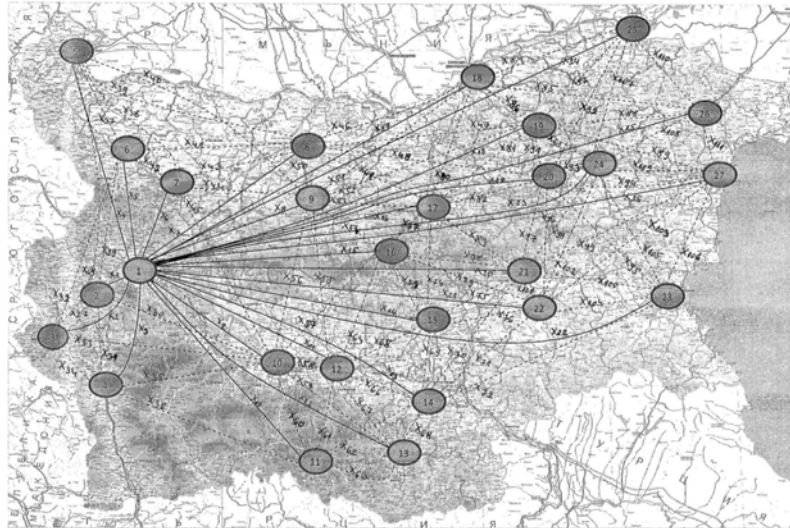


Fig. 3.3 Weights of the virtual alternative channels

The formula (37) is derived in chapter 3. Based on it the theoretical time-delays between the nodes of the added virtual channels are defined also:

$$\tau_{i,j} = \tau_{00} + \tau_{00,i} + \tau_{00,j} + \alpha_i + \tau_{00,j} + \tau_{00,j} + \alpha_j \tag{37}$$

Based on the defined new connectivity and according to the theoretically defined model the time-delays of the additionally channels between the end points are calculated in order to receive interchangeability between the channels. All calculated time-delays between the end points, connected to the alternative virtual routes, according to the formula 3.7., are presented in table 3.3. The average time-delays of the existing network as well as the theoretically calculated ones are shown in table 3.5.

Table 3.5

Time-delays in ms between the individual subsidiaries	Average time-delays, ms	Theoretically calculated time-delays, ms
Sofia		
Pernik	15	0,555
Kyustendil	16	0,830
Blagoevgrad	16	0,880
Vidin	23	1,640
Montana	17	1,135
Vratsa	15	0,945
Pleven	21	1,215
Lovech	21	1,185
Pazardzhik	15	0,955
Smolyan	17	1,610
Plodiv	16	1,110
Kardzhali	23	1,610
Haskovo	23	1,530
Stara Zagora	20	1,555
Gabrovo	19	1,415
Veliko Tarnovo	18	1,510
Ruse	19	1,955
Razgrad	6	2,060
Targovishte	6	1,990
Sliven	21	1,935
Yambol	7	1,885
Burgas	5	2,315
Shumen	5	2,210
Silistra	7	2,540
Dobrich	5	2,805
Varna	3	2,645

The results obtained show a significant difference between them, which is a prerequisite for a decreased bandwidth among the measured ones in practice. This causes delays and greater opportunities for problems emerging when communicating between the nodes and fault tolerance.

The main purpose of the research in the PhD thesis is to identify and solve an optimizing problem for defining the connectivity of the network, based on the results for time-delays measuring and the failures of the communication network. Furthermore, a decision is proposed for the transition from type “star” to a dual- and triple-connectivity. The time-delays measured in practice as well as the theoretically measured time-delays between the individual nodes are used as parameters for this problem. These measured and calculated time-delays are used as weights in the criterion function of the defined and solved optimization problem.

The optimizing problem is defined as a linear optimizing problem, which identifies the maximal information flow between all pairs of nodes and the information that can be transported through the network. It is defined and solved [117, 118]. The problem that determines the maximal flow in the network is based on the following:

- Given network topology,
- Given matrix of the traffic volume which has to be transferred between each pair of nodes in the network;
- Given weights of the archs in the network, that define the “price” of transferring unit volume traffic along the respective arch.

Solving this problem shows clearly the necessary bandwidth of the channels. After that we can receive the given matrix of the volumes traffic between the individual nodes.

The problem is defined as a problem of linear programming.

$$\min c^T x \text{ като } A \cdot x \geq b$$

Where,

c - is the “price” matrix for transferring a unit volume along the respective arch of the network;

b - is the matrix of the traffic volume which has to be transferred between each pair of nodes in the network;

x - is the decision of the problem, where x is the bandwidth of the respective arch in the network;

This problem is used and modified in the PhD thesis in order to synthesize the topology of a dual- and triple-connected network. These modifications are as follows:

- An initial full-connected topology of the network is used. The decisions of the problem define which lines of the full-connected topology has to omitted in order to reach the wished dual- and triple-connected network.
- The decisions x are determined so that to belong to the set 0 or 1. If the value is $x_i = 1$, the respective arch remains in the network topology. If the value is $x_i = 0$, the arch will not be in the network topology. So the basic problem for defining the maximal flow will be modified into a linear problem of integer programming.
- The matrix of the necessary traffic volume, b , which has to be transferred in the network is modified and accepts values 2 or 3 for each pair of nodes. In such way the topology for a dual- or triple-connected network is synthesized.

The criterion function for a synthesis of topology is the following [119]:

$$\begin{aligned} & \min c(x) \\ & x \in A \\ & \{g_l(x) \geq b_l, l = 1, n\} \end{aligned} \tag{38}$$

$c(x)$ – criterion function

Where,

$g_l(x)$ – restriction function
 x – solution

In the PhD thesis the matrix c has an engineering content of the delays in the individual line. The numerical values of the delays are obtained by the measurements done in chapter 2. and presented in table 3.4 as well as theoretically calculated in the current chapter (table 3.3).

The problem solution x is limited within [0 and 1]. Moreover, the value of the variable x_i determines if either there is a communication channel ($x_i = 1$) or there is no channel at all ($x_i = 0$).

We have to point out that there is the following technical particularity – when defining the variables x_i an index is used, instead of the explanations in the text regarding x_{ij} which is interpreted as an arch between nodes i и j .

The problem constraints are determined according to the model in [117, 118] for defining the maximal flow in the network. Constraints are the possible sections of archs which removal separates all connections between the analyzed pair of nodes.

The criterion function of the problem can be defined analytically as follows:

$$\min_x \sum_i^{111} c_i x_i \quad (39)$$

The following constraints for the non-negativity have to be respected also:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^{111} a_i x_i \geq b_j, j = 2;3 \\ x_i \text{ is a binary number} \end{cases}$$

a_i - vector conditions that determine whether the connection between two nodes exists or not; the possible values are either 1 or 0.

The solutions x have values either 1 or 0.

The constraints vector b_j has two parametric states as follows:

- Parametric state one, which determines constraint 2. of the criterion function for finding the best two routes between the nodes (synthesis of a dual-connected network).
- Parametric state two, which determines constraint 3. of the criterion function for finding the best three routes between the nodes (synthesis of a triple-connected network).

The generalized view of the constraints of the criterion function is the following:

$$a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3 + \dots + a_i x_i \geq b_j \quad (41)$$

In order to receive a dual- (triple-) connected network it is necessary to point out all sections of each pair of nodes in the network. In this way the constraints of the problem will increase drastically.

The generalized view of the determined optimization problem is the following:

$$\min_x c_i^T x_i \begin{cases} A \cdot x_i \geq b \\ x \text{ is a binary number} \end{cases} \quad (49)$$

Where,

c_i – *measured really and theoretically calculated time – delays between the nodes*

The solution x defines the topology of the communication network that can be synthesized.

The problem constraints consider the connectivity between the individual nodes, according to the conditions set for synthesizing a dual- and triple-connected network. The solutions of the optimizing problem determine the new topology of the dual- or triple-connected network. The solution obtained can be interpreted as a potential for improving the determined communication network [120]. The understanding of the optimization means defining the topology of the network that can be synthesized at a minimal price, when the condition for reliability is met also. The reliability is determined quantified by the network connectivity.

The optimizing problem is solved using the Matlab product and its function `bintprog`, which is as follows:

$$\min_x c^T x \begin{cases} A \cdot x_i \geq b \\ x \text{ is a binary number} \end{cases} \quad (50)$$

Where,

c and b are vectors, A is a matrix, and the solution x can be determined as a binary vector integer number that means the possible values of x are either 0 or 1.

The problem (50) according to the Matlab format is as follows:

$$x = \text{bintprog}(c, A, b) \quad (51)$$

11 MODELLING AND MANAGEMENT OF INFORMATION FLOWS

These problems are determined as binary integer programming and therefore the problem (50) will be transformed as follows:

$$\min_x c^T x \text{ KATO } A \cdot x_i \geq b_j \tag{52}$$

Where, x has possible values of 0 and 1.

In order to receive exact and correct values, the matrix A parameters are inverted and the same has to be done for the constraint b also. Therefore the end function used in the PhD thesis is the following [121]:

$$\min_x c^T x \text{ KATO } - A \cdot x_i \geq -b_j \tag{53}$$

Where, x has possible values of 0 and 1.

The problem determined in the PhD thesis refers to 27 nodes. Matching of each variable number with the respective pair of nodes is presented in the table 3.7. The matching between a node number (subsidiary number) and the respective city is presented in table 3.1.

Table 3.7

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	A	
1	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11	x12	x13	x14	x15	x16	x17	x18	x19	x20	x21	x22	x23	x24	x25	x26	26		
2	x1	x27	x31	x28	x29					x30																		5	
3	x2	x27	x31	x34	x32					x33																		3	
4	x3	x31	x34							x35	x36																	2	
5	x4	x28			x37	x38	x39	x40																				4	
6	x5	x29	x32		x37	x42	x41																					2	
7	x6				x38	x42	x43	x44	x45																			3	
8	x7				x39	x41	x43	x50								x49	x46	x47	x48									5	
9	x8				x40		x44	x50	x56			x55				x54	x53	x51	x52									6	
10	x9	x30	x33	x35		x45		x56		x60	x58	x59				x57												4	
11	x10			x36				x60	x61	x63	x62																	3	
12	x11							x55	x58	x61	x67	x66	x65	x64														4	
13	x12							x59	x63	x67	x68																	1	
14	x13								x62	x66	x68	x69										x70	x71	x72				4	
15	x14									x65	x68	x69										x75	x76					4	
16	x15							x54	x57	x64		x73	x74									x78	x79					3	
17	x16											x74	x77	x80	x81	x82	x83											4	
18	x17							x49	x53																x84	x85		3	
19	x18							x46	x51																			5	
20	x19							x47	x52																			6	
21	x20							x48																				4	
22	x21												x70	x75	x78	x83					x97	x96	x95	x98				3	
23	x22												x71	x76	x79						x91	x97	x101	x100	x98			2	
24	x23																					x96	x104	x102				3	
25	x24																					x95	x100	x104	x105			2	
26	x25																					x90	x93	x98	x102	x105	x107	x108	3
27	x26																					x84	x87	x92		x107	x110	x109	1
																						x85	x88		x108	x110	x111	1	
																						x89	x94	x99	x103	x106	x109	x111	III

Matrix A has a rectangular shape and over 360 constraints which are determined according to the equations for a maximal flow in the network. Among these constraints there are such repeating inequalities, although they refer to a different pair of nodes. The reason for these repeating inequalities is that the respective component from matrix b is one and the same number, 2 or 3. So that when determining the optimization problem in the PhD thesis the same inequalities are reduced to a single inequality, which is applied in the optimization problem. After reducing the repeating inequalities there are 141 inequalities included and matrix A is transformed to 111 columns and 141 rows. So that the determined problem in the PhD thesis has 111 variables. The optimization problem is solved with 111 variables and 141 constraints. The problem is modified in such a way to receive solutions for a dual- and triple-connected network. All solutions obtained are presented graphically for a better interpretation of the results. These solutions are presented in the following chapter through the analysed three models with the respective parametric states.

4. Analysis of the results of designing the communication network

The three models for determining the optimal option for improving the existing communication network are presented and analysed in Chapter 4. There is a quantified evaluation of the results obtained also. Based on a topology synthesis the best model with the respective parametric state is selected for the transition from the existing topology type “star” to a distributed triple-connected network between the single node points. The aim is to achieve a continuity of the information flows. The first model for a quantified analysis of the results obtained is presented. The weights of the existing network correspond to the table 3.4 from the previous chapter. The rest weights correspond to the table 3.3 and present the theoretically calculated values.

Model 1. and the results for the parametric state 1 for a topology synthesis of the two best routes are shown in fig. 4.1. It is revealed that from the existing network from type “star” there are only two connections left. Moreover, some of the nodes groups are isolated and this is the reason why this

parametric state cannot be applied for the purposes and tasks of the PhD thesis.

Model 1. and the results for the parametric state 2 for a topology synthesis of the three best routes are shown in fig. 4.2. It is revealed that from the existing network there are only these connections left. In comparison to the previous parametric state, there are no isolated nodes from the main idea of the network. On the other hand, there is an asymmetry as node 1. has no connection to the neighbouring points but it is connected to the end points - 23, 26, 27.

This parametric state is acceptable having in mind the comprehensive distribution of the alternative routes and their interchangeability. Based on the results obtained, the following conclusion can be drawn - the parametric state 2 is an acceptable option to some extent as it is possible to improve the existing communication network.

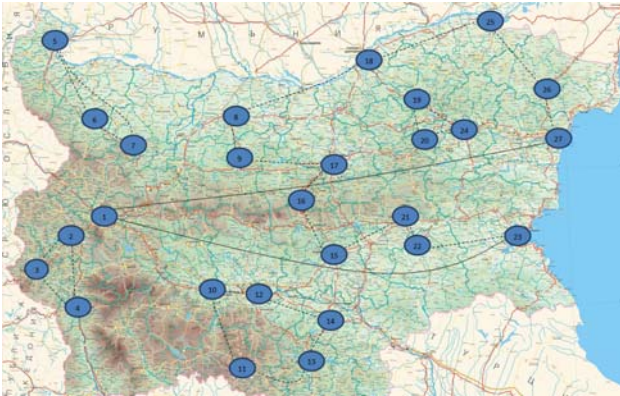


Fig. 4.1 Model 1. for the parametric state 1 for a topology synthesis of the two best routes

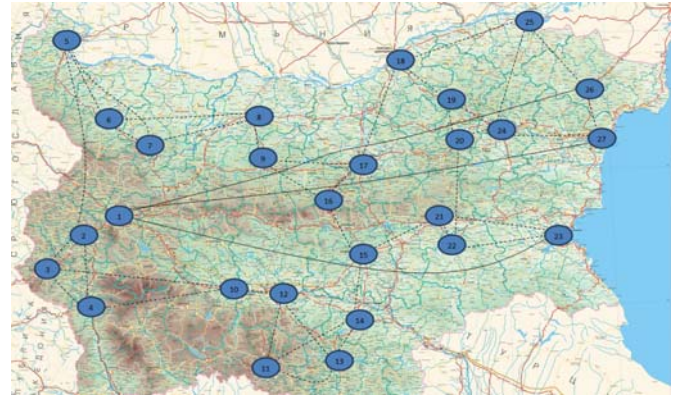


Fig. 4.2 Model 1. for the parametric state 2 for a topology synthesis of the three best routes

Furthermore, the second model of the results obtained is analysed quantitatively. The weights of the existing network are with their minimal values and for this given case we use the factor 0. This means that the existing network has already a solid connection with the rest endpoints. The rest weights are according to the table 3.3 and represent the theoretically calculated values.

Model 2. and the results for the parametric state 1 for a topology synthesis of the two best routes are shown in fig. 4.3. The existing network is with zero values, in order to retain all available connections. Based on the results obtained the connections between nodes 1 and 3 are removed, as well as the connections between the nodes 1 and 6. The obtained network is not acceptable because if there is an interruption of the central node, connection failures between the individual subsidiaries are expected.

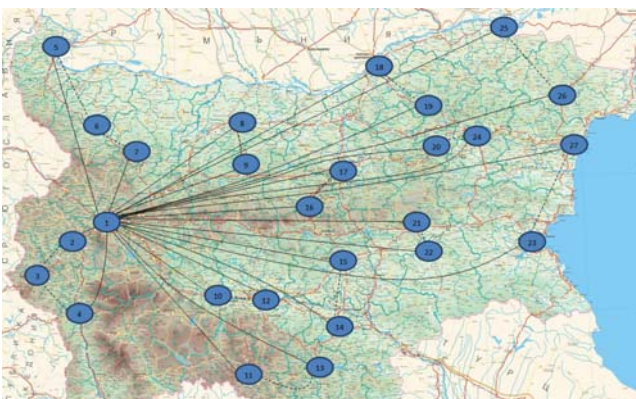


Fig. 4.3 Model 2. for the parametric state 1 for a topology synthesis of the two best routes

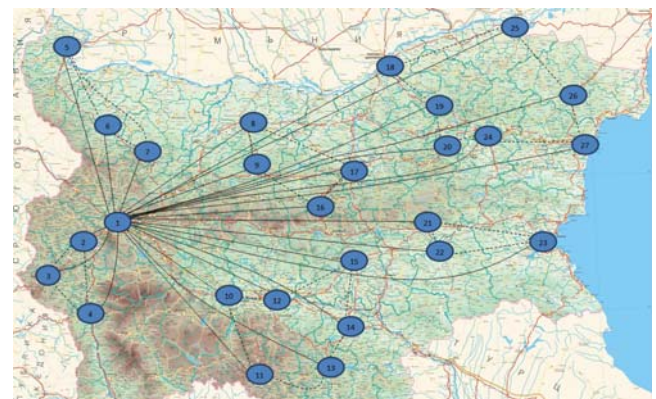


Fig. 4.4 Model 2. for the parametric state 2 for a topology synthesis of the three best routes

Model 2. and the parametric state 2 for the topology synthesis of the three best routes are shown in fig. 4.4. In this case all connections of the existing network are retained. The obtained topology is not acceptable either. The reason is that if there is an interruption of the central node, the

13 MODELLING AND MANAGEMENT OF INFORMATION FLOWS

communication between the individual subsidiaries will be lost and it will lead to failures and lost of information resources.

The results obtained from model 2. lead to the conclusion that the model is not applicable for the purposes and tasks of the PhD thesis because there is no improvement of the continuity of servicing the information resources, neither any improvement of the communication network structure.

Afterwards model 3. is analysed quantitatively with the results obtained also. The weights of the existing network are according to table 3.3 of the previous chapter, where the theoretically calculated time-delays of all individual nodes are shown.

Model 3 and the results of the parametric state 1 for a topology synthesis of the two best routes are presented in fig. 4.5. There is a fragmentation of the network as the results obtained lead to 6 entirely independent groups of nodes. Due to this reason the network topology obtained does not contributes for improving of the existing communication structure. Therefore it cannot be used as an alternative for providing continuity of information flows and services.

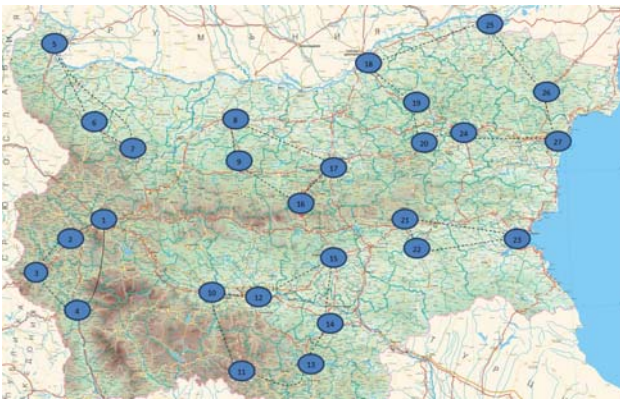


Fig. 4.5 Model 3. for the parametric state 1 for a topology synthesis of the two best routes

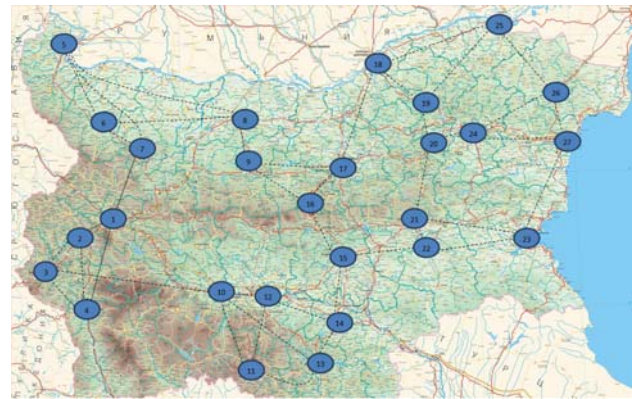


Fig. 4.6 Model 3. for the parametric state 2 for a topology synthesis of the three best routes

Model 3. and the parametric state 2 for a topology synthesis of the three best routes are presented in fig. 4.6. The result obtained is relatively good as there are no isolated nodes in comparison to the previous state. At the same time there are some critical node points (between nodes 1 and 7, nodes 8 and 9, nodes 3 and 10, nodes 14 and 15). But their elimination is possible through appropriate planning and adding of additional spare connection channels. This parametric state is an acceptable one considering the overall distribution of the alternative routes and their interchangeability. Based on the results obtained the conclusion is that the parametric state 2 of the model is a suitable alternative for improving the existing communication network.

After developing the three possible models with their respective parametric states we can proceed with their graphical visualization. That is why we present all 27 nodes in a square matrix (27 x 27) where each row and column fits each individual node (from 1 up to 27). The table 4.2 presents all criteria used for evaluation of the three scenarios.

Table 4.2

A.	Sum of the connections of a single node to the rest nodes
B.	Sum of the time delays of the connections of a single node with the rest nodes
C.	System dependance on a single node
D.	Nodes group number

The A. criterion is a sum of all connections of a given node. The respective symmetric values are not included in this sum as the sum includes just the connections located to the right of the main diagonal. The B. criterion is a sum of the time-delays of the connections of a given node with the rest nodes, presented in the respective row. Similarly this sum does not include any symmetric values, just the time-delays located to the right of the main diagonal.

In the following two consecutive columns after each table the number of the connections of the node, presented in the respective row is summed as well as the time-delays (Sum A. and Sum B.).

Both sums A. and B. do not include the respective symmetric values, just the values of the connections located to the right of the main diagonal. Moreover, two additional criteria are added - a C. criterion (system dependence on a single node) and a D. criterion (number of nodes groups).

Both tables 4.3 and 4.4 present the results obtained when analyzing model 1. with both parametric states – 1. and 2. It is clearly shown that there are 5 groups of connected nodes in table 4.3, which are marked in different colours respectively. On the other hand, it is shown that in table 4.4 all nodes are connected with each other, just in one group and respectively marked in one colour only.

In this model we use the actual measurements of the time-delays as weights. The results obtained for the parametric state one show isolation of the nodes groups. This is the reason why this model for the parametric state one cannot be used further for the improvement of the network connectivity.

On the other hand, for the parametric state 2 of this model we obtain an acceptable result but there is a disadvantage due to the asymmetry. The node 1. has no connection with its neighbouring nodes located geographically near the node 1. For this state there are some critical access points.

The results obtained for both parametric states of model 2 are presented in tables 4.5 and 4.6. In both tables all nodes are connected to each other in one group and are marked in just one colour respectively. There is a complete dependence on the node 1. as it is connected with all the rest nodes.

Except for the nodes connectivity in both tables the values for the selected criteria A. and B. are included. As it was mentioned above, each row in the A. column shows the number of connections of a given node with the rest nodes, without their symmetric values. Each row in the B. column shows the respective sum of the time-delays of the given node. After that the results of these criteria will be used for a comparison and evaluation of the different options.

According to the results obtained for both parametric states of the model 2. the following conclusions can be drawn: it is not appropriate for any improvements due the retaining of the existing structure and asymmetry of the newly added connections. This would lead to a lack of a secure and reliable connection between the nodes in the subsidiary network of the analyzed structure.

The results obtained regarding the two parametric states of model 3 are presented in tables 4.7. and table 4.8. 6 groups of connected nodes, marked in 6 different colours, are revealed in table 4.7. All nodes that are connected with each other in just one group are presented in table 4.8. They are marked in just one colour respectively.

Analyzing model 3. and its parametric state 1, we can sum up that it leads to a constant isolation of the nodes groups. This topology is not applicable, similarly to the mentioned above states. Analyzing model 3. and its parametric state 2, the best optimal topology location of the alternative routes obtained is presented, although there are some critical points.

15 MODELLING AND MANAGEMENT OF INFORMATION FLOWS

Table 4.3

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	A	B
1																							5,000				3,000	2	8,000
2			0,690	0,810																								2	1,500
3		0,690	0,745	0,745																								1	0,745
4		0,810	0,745																									0	0,000
5						0,920	1,115																					2	2,035
6					0,920	0,595																						1	0,595
7					1,115	0,595																						0	0,000
8								0,575	0,575									1,150										2	1,725
9										0,575							0,865											1	0,865
10											1,080	0,590																2	1,670
11											1,080		1,165															1	1,165
12											0,590			0,790														1	0,790
13											1,165			0,635														1	0,635
14												0,790	0,635														0	0,000	
15																0,805					0,755						2	1,560	
16															0,805	0,620											1	0,620	
17								0,865								0,620											0	0,000	
18								1,150																		1,005		1	1,005
19																			0,590	0,590					0,655		2	1,245	
20																									0,615		1	0,615	
21															0,755							0,545	0,545				1	0,545	
22																							0,860	0,860			1	0,860	
23	5,000																										0	0,000	
24																											0	0,000	
25																										0,850	1	0,850	
26																										0,850	1	0,670	
27	3,000																									0,670	0	0	
																											27	27,695	

Table 4.4

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	A	B
1																							5,000			5,000	3,000	3	13,000
2			0,690	0,810	1,835																							3	3,335
3		0,690	0,745	0,745						1,370																		2	2,115
4		0,810	0,745							1,420																		1	1,420
5		1,835				0,920	1,115																					2	2,035
6					0,920	0,595	1,035																					2	1,630
7					1,115	0,595	0,940																					1	0,940
8						1,035	0,940																					1	0,575
9								0,575									0,770	0,865										2	1,635
10			1,370	1,420								0,590																1	0,590
11												0,890	1,165	1,265														3	3,320
12										0,590	0,890	1,040	1,040															1	1,040
13											1,165	1,040	0,635															1	0,635
14											1,265		0,635		0,710													1	0,710
15													0,710	0,710							0,755							2	1,560
16									0,770						0,805	0,805												1	0,620
17								0,865								0,620												1	0,945
18																	0,945	0,945										2	1,735
19																		0,730	0,730							1,005		2	1,245
20																				0,590					0,655		2	1,640	
21																						1,025			0,615		2	1,520	
22															0,755							0,545	0,975				2	1,520	
23	5,000																						0,860				1	0,860	
24																											0	0,000	
25																										0,975	2	1,820	
26	5,000																									0,850	1	0,850	
27	3,000																									0,845	0	0	
																										0,670	0	0	
																											41	46,445	

Table 4.5

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	A	B
1		0,000		0,000	0,000		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	24	0,000
2	0,000		0,690																									1	0,690
3		0,690		0,745																								1	0,745
4	0,000		0,745																									0	0,000
5	0,000					0,920																						1	0,920
6					0,920		0,595																					1	0,595
7	0,000					0,595																						0	0,000
8	0,000							0,575																				1	0,575
9	0,000							0,575																				0	0,000
10	0,000											0,590																1	0,590
11	0,000												1,165															1	1,165
12	0,000									0,590																		0	0,000
13	0,000										1,165																	0	0,000
14	0,000																											1	0,710
15	0,000													0,710														0	0,000
16	0,000																0,620											1	0,620
17	0,000																	0,620										0	0,000
18	0,000																											1	0,730
19	0,000																											0	0,000
20	0,000																											1	0,615
21	0,000																											1	0,545
22	0,000																											0	0,000
23	0,000																											1	1,050
24	0,000																											0	0,000
25	0,000																											1	0,850
26	0,000																											0	0,000
27	0,000																											0	0
																												38	10,400

Table 4.6

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	A	B	
1		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	26	0,000	
2	0,000		0,690	0,810																									2	1,500
3	0,000	0,690		0,745																									1	0,745
4	0,000	0,810	0,745																										0	0,000
5	0,000					0,920	1,115																						2	2,035
6	0,000				0,920		0,595																						1	0,595
7	0,000				1,115	0,595																							0	0,000
8	0,000																	1,075											2	1,650
9	0,000							0,575									0,770												1	0,770
10	0,000																												2	1,670
11	0,000									1,080	1,080	0,590		1,165															1	1,165
12	0,000									0,590					0,910														1	0,910
13	0,000										1,165			0,635															1	0,635
14	0,000													0,635	0,710														1	0,710
15	0,000											0,910		0,710															0	0,000
16	0,000																	0,620											1	0,620
17	0,000							1,075																					0	0,000
18	0,000																												2	1,735
19	0,000																		0,730		0,590								1	0,590
20	0,000																												1	0,615
21	0,000																												2	1,520
22	0,000																												1	0,860
23	0,000																												0	0,000
24	0,000																												1	0,845
25	0,000																												1	0,850
26	0,000																												1	0,670
27	0,000																												0	0
																													52	20,690

17 MODELLING AND MANAGEMENT OF INFORMATION FLOWS

Table 4.7

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	A	B
1		0,555		0,880																								2	1,435
2	0,555		0,690																									1	0,690
3		0,690		0,745																								1	0,745
4	0,880		0,745																									0	0,000
5						0,920	1,115																					2	2,035
6						0,920	0,595																					1	0,595
7						1,115	0,595																					0	0,000
8								0,575									1,075											2	1,650
9								0,575									0,770											1	0,770
10										1,080	0,590																	2	1,670
11										1,080		0,590																1	1,165
12										0,590			1,165															1	0,910
13													1,165															1	0,635
14														0,635														1	0,710
15														0,635														0	0,000
16														0,710														1	0,620
17														0,710														0	0,000
18																												2	1,735
19																			0,730		0,590							1	0,590
20																												1	0,615
21																												2	1,520
22																						0,545	0,975					1	0,860
23																						0,975	0,860					0	0,000
24																												1	0,845
25																										0,850		1	0,850
26																										0,670		1	0,670
27																							0,845				0	0	0
																								0,845				27	21,315

Table 4.8

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	A	B
1		0,555		0,880			0,945																					3	2,380
2	0,555		0,690	0,810																								2	1,500
3		0,690		0,745							0,865																	2	1,610
4	0,880	0,810	0,745																									0	0,000
5						0,920	1,115	1,155																				3	3,190
6					0,920		0,595	1,035																				2	1,630
7	0,945				1,115	0,595																						0	0,000
8					1,155	1,035			0,575																			1	0,575
9								0,575									0,770	0,865										2	1,635
10			0,865								1,080	0,590	1,230															3	2,900
11											1,080	0,890	1,165															2	2,055
12											0,590	0,890		0,790														1	0,790
13											1,230	1,165		0,635														1	0,635
14														0,790	0,635													1	0,710
15															0,710													2	1,645
16									0,770						0,805													1	0,620
17								0,865								0,620												1	0,945
18																												2	1,735
19																			0,730	0,730						1,005		2	1,645
20																				0,590								2	1,675
21																					1,060	0,545	0,975	0,615				2	1,520
22																						0,545	0,860					1	0,860
23																												1	1,050
24																										1,035	0,845	2	1,880
25																									0,850		1	0,850	
26																										1,035	0,850	1	0,670
27																										0,670		0	0
																												41	34,705

The quantified analysis of the three models with the respective parametric states is presented in table 4.9. It shows a comparison between the values of the sums obtained for both criteria A. and B.

Table 4.9

Table	Model	Parametric state	A	B	C	D
4.3	Model 1.	Parametric state 1.	27	27,695	Low	5
4.4	Model 1.	Parametric state 2.	41	46,445	Low	1
4.5	Model 2.	Parametric state 1.	38	10,400	High	1
4.6	Model 2.	Parametric state 2.	52	20,690	High	1
4.7	Model 3.	Parametric state 1.	27	21,315	Low	6
4.8	Model 3.	Parametric state 2.	41	34,705	Low	1

According to the results obtained from the analysis of the model 2. with its two parametric states 1 and 2 in both tables 4.5. and 4.6. it is seen that the values of sum of time-delays (the B. criterion) are the lowest and there are no interruptions between the nodes. But on the other hand, they are sternly dependent on each other (1. Node).

Table 4.3. (model 1. for the parametric state 1) and table 4.7. (model 3. for the parametric state 1) are the next two low values of the B. criterion. In both cases there are interruptions between the nodes as there are 5 and 6 groups of independent nodes groups respectively.

Table 4.4. (model 1 for the parametric state 2) and table 4.8. (model 3 for the parametric state 2) present the highest values of the B. criterion but on the other hand, there are no interruptions between the nodes and no dependence on a single node. Therefore model 3. for the parametric state 2 presents the best option for a distributed network as the sum of the time-delays is the lowest.

Based on the analysis of the three models for improving the continuity of communication and information services as well as the quality of the services provided, we can sum up that the last model (3.) for its parametric state 2 is the optimal one. In this case the level of the alternative routes is acceptable and will lead to a continuity and security of the information resources.

The main contributions of the PhD thesis are focused on the improving of the communication structure of the analyzed network through a topology synthesis. This will lead to a substantial reduction of failures and connection losses between the single endpoints. The main results are the optimal connectivity and reducing the losses of information resources due to improvements of the fault tolerance of the proposed communication network.

The data used and the measurements done in the PhD thesis refer to the actual existing communication network in the practice of the company Information services (IS) Plc.

Contributions of the PhD thesis

The main results have scientific features and can be applied in the practice as well.

1. The models for formalization of information and communication flows in networks are analyzed through graphs and further the network topology influence is evaluated as well as their features, advantages and disadvantages. Problems for finding out the shortest route from a single node to the rest nodes of the network are also presented, considering the variable price of the arch.
2. Bandwidth and time-delays in the network are defined through measurements and analyzed regarding the information flows. Furthermore, it is evaluated the failures of nodes connections as a fault tolerance feature of the existing communication network from type "star".
3. An algorithm is synthesized for determining the theoretical time-delays between the nodes of the additional alternative communication channels. The measured and theoretically calculated time-delays are used when determining the problem for an optimal synthesis of the network topology.
4. The optimization problem is determined and solved regarding the structure identification of the communication network with 27 nodes as a dual- or triple-connected one. The decisions obtained are analyzed in details and a quantitative analysis is proposed of the results obtained in order to achieve information flows continuity.

Bibliography

15. Jing N., Huang Y.W., Rundensteiner E. A., Hierarchical optimization of optimal path finding for transportation applications. In CIKM, pages 261–268, 1996.
16. Kimura T. Approximations for the waiting time in the GI/G/S queue. Journal of the O.R.Society of Japan, 34, 1992, 2(June), p.173-186.
17. G. Spasov, “Future Internet Technology”, Journal Automatics & Informatics, Year XLIII, № 3/2009, pp. 11-15, ISSN 0861-7562.
18. Стоилов Т. Проблеми при експериментирането в компютърни WAN и LAN мрежи. Международна Конференция "Автоматика и информатика '2000", 24-26 октомври 2000, Сборник доклади, т.1, Симпозиум Компютърни и комуникационни системи в приложения с повишена отговорност. Симпозиум Информационни технологии. София, стр.5-7.
19. Наков О., Р. Трифонов, Г. Попов, П. Вачков, С. Манолов, Р. Йошинов. Мрежова и информационна сигурност. София, Изд. “Авангард Прима” – 2013, 367 стр. ISBN 978-619-160-183-7.
20. Ling S.T., Furuno K., Tezuka Y., Optimal Path in Networks with Time-Varying Traverse Time and Expenses Branches, Technological Reports of Osaka University, Japan (1972).
21. Dochev, D., Yoshinov, R. Pavlov. (2000) An Open Distributed Computer Environment for Educational Telematics, in Proceedings of the EDEN Fourth Open Classroom Conference, Barcelona, Spain, November 19-21, pp.247-252.
105. N. Kakanakov, E. Kostadinova, G. Spasov, “Using SNMP for Remote Measurement and Automation”, Proc. Conf. Electronics ET’07, 20-22 Sept 2007, Book 2, pp. 85-90, ISBN: 1313-1842.
117. Л. Р. Форд, Д. Р. Фалкерсон, Потоки с сетях, Издателство „Мир“, Москва, 1966.
118. Л. С. Лэсдон, Оптимизация больших систем, Издателство „Наука“, Москва, 1975.
119. Стоилов Т. Неитеративна координация в йерархични системи. Академично издателство на БАН, "Проф.М.Дринов", София, 1998, стр.272
120. Д. Младенов, К. Стоилова, Т.Стоилов. Теория и практика на йерархичните системи. Издателство на Българската академия на науките, София, 1989.
121. Stoilova K., T. Stoilov, R. Yoshinov. Predictive Coordination in Two Level Hierarchical Systems. WSEAS Transaction of Mathematics. Issue 3, Volume 3, July 2004. p.631-636.



АВТОРЕФЕРАТ НА ДИСЕРТАЦИЯ

за присъждане на образователна и научна степен “доктор” по научна специалност 02.21.10 „Приложение на принципите и методите на кибернетиката в различни области на науката“

МОДЕЛИРАНЕ И УПРАВЛЕНИЕ НА ИНФОРМАЦИОННИ ПОТОЦИ

Красимир Димитров Тричков

Ръководител: проф. Тодор Стоилов

Научно жури:

Проф. Гриша Спасов
Доц. Николай Каканакوف
Доц. Георги Киров
Проф. Димитър Карастоянов
Проф. Тодор Стоилов



21 МОДЕЛИРАНЕ И УПРАВЛЕНИЕ НА ИНФОРМАЦИОННИ ПОТОЦИ

Дисертацията е обсъдена и допусната до защита на разширено заседание на секция „Йерархични системи“ на ИИКТ-БАН, състояло се на 12.06.2014 г.

Дисертацията съдържа 115 стр., в които 92 фигури, 18 таблици и 7 стр. литература, включваща 121 заглавия.

Материалите за защитата са на разположение на интересуващите се в стая на ИИКТ-БАН, ул. „Акад. Г. Бончев“, бл. 2

Обща характеристика на дисертацията

Актуалност на темата и обзор на основните резултати в областта

Цел на дисертационния труд е посредством моделиране и управление на информационни потоци да се направи топологичен синтез и предложи оптимално решение за преминаване на съществуваща комуникационна мрежа от свързаност тип „звезда“ към двусвързана и трисвързана топология. Да се разработи модел за количествена оценка на качеството, непрекъсваемостта и отказоустойчивостта на обслужването с оглед технологично и структурно подобряване на комуникационната мрежа.

Актуалност на проблема

Компютърните комуникационни мрежи функционират в нестационарни условия на възникване на заявки за обслужване: предаване на данни, файлов обмен, дистанционно ползване на изчислителни ресурси, мултимедийни приложения. Нестационарността на натоварването е основна трудност за точността на анализа, моделирането, оптимизацията на компютърно-комуникационните мрежи [1, 2].

Топологичният синтез на избор на комуникационни канали в компютърна мрежа оказва влияние на множество задачи, свързани с експлоатацията и управлението на комуникационната мрежа. Топологичният синтез влияе на задачи като: задача за предаване на съобщение от източник до потребител [3, 4, 5, 6] при зададена топология и пропускателни способности на каналите, и обем трафик между всяка двойка източник - получател [7, 8] е необходимо да се определят информационните потоци в мрежата; определяне на маршрутът на съобщение, за всяка двойка източник - получател, при което се удовлетворяват изисквания за минимален път, времезакъснения, цена и др. Тези оптимизационни задачи имат голяма размерност и голям брой ограничения [9, 10, 11] и техните решения се влияят от топологията на комуникационната мрежа.

В ежедневната си дейност се стремим към определени цели, за постигането на които е необходимо да решаваме взаимно свързани проблеми [12, 13]. Всеки от тези проблеми обикновено има множество решения. Естествено е предпочитанието да изберем от многото възможни решения най-доброто, т.е. оптималното решение [14].

Информационните и комуникационни системи интензивно се използват в производствената и стопанска практика [15, 16, 17]. Изграждането на техническа хетерогенна структура изисква да се определи удачна топология на мрежата. Това ще позволи удачно и оптимално да се изпълняват информационните задачи на потребителите на комуникационната мрежа. Така оптимизирането на структурата на мрежата ще позволи да се оптимизират и информационните потоци в компютърни комуникационни мрежи за да се изпълняват потребителски приложения, които изискват гарантирано качество на обслужване [18, 19, 20]. Това определи обхвата на дисертационния труд, за намиране на удачна топология на мрежа, което ще влияе на управлението на информационни потоци. В дисертационната работа се извършва топологичен синтез и се определя оптимално решение за преминаване на съществуваща комуникационна мрежа от свързаност тип „звезда“ към двусвързана и трисвързана топология. Разработва се модел за количествена оценка на качеството и отказоустойчивостта на обслужването с оглед технологично и структурно подобряване на комуникационната мрежа [21].

Основната работна задача, която си поставя дисертационния труд е да дефинира и реши оптимизационна задача за определяне на свързаността на мрежа като се използват резултати от измервания на времезакъсненията и пропаданията в комуникационната мрежа и се определи решение за преминаване на съществуваща комуникационна мрежа от свързаност тип „звезда“ към двусвързана и трисвързана топология. С цел подобряване качеството, непрекъсваемостта и отказоустойчивостта на обслужването и с оглед технологично, и структурно подобряване на комуникационната мрежа да се направи количествена оценка на моделите със съответните параметрични състояния.

Целите и задачите на дисертацията са изложени в края на глава първа.

Структура на дисертацията

Дисертационният труд е разделен на увод, четири глави и заключение. Дисертацията съдържа 115 страници, 92 фигури и 18 таблици, 121 цитирани литературни източника и списък на използваните съкращения. По дисертационния труд са публикувани 8 публикации, като 4 от тях са доклади от международни конференции. Изследванията са част от получените резултати на 6 научноизследователски проекта.

В първа глава са анализирани моделите за формализиране на информационни и комуникационни потоци в мрежи чрез графи. Оценени са техните особености, предимства и недостатъци. Разгледани са проблемите за намиране на най-кратък път от един възел към всички останали възли в мрежи, за които цената на дъгата може да варира. Тези задачи имат влияние за определяне на оптимална топология на комуникационна мрежа. Направени са основни изводи на базата на проучените литературни източници и са формулирани целите и задачите на дисертацията.

Във втора глава е определена и анализирана пропускателната способност и времезакъсненията в мрежата при предаване на информационни потоци. Оценявано е пропадането на връзка между двойка възли като характеристика на отказоустойчивостта на съществуваща комуникационна мрежа със свързаност тип „звезда“. Дефиниран е алгоритъм за определяне пропускателните способности на база времезакъснението на достъпа до съответните възли. Определени са средните времеви закъснения между отделните възли при съществуващата топология. Изчислен е капацитетът на информационната мрежа.

В трета глава е синтезирана архитектура на съществуваща мрежа от свързаност тип „звезда“ с определени допълнителни алтернативни комуникационни канали за преход към двусвързана и трисвързана архитектура. Синтезиран е алгоритъм за определяне на теоретичните времезакъснения между възлите на добавените алтернативни комуникационни канали. Дефинирана е оптимизационна задача за определяне на свързаността на мрежата като са използвани резултатите от измерванията на времезакъсненията и пропаданията в комуникационната мрежа. Оптимизационната задача е решавана за определяне на структура на комуникационната мрежа като двусвързана и трисвързана. Анализирани са получаваните решения.

В четвърта глава са разгледани и анализирани три модела за определяне на оптималния вариант за подобряване на съществуваща комуникационна мрежа. Направена е количествена оценка на получените резултати. На база топологичен синтез е избран най-добрият модел със съответно параметрично състояние за преминаване от съществуваща топология „звезда“ към разпределена трисвързана мрежа между отделните възлови точки с цел постигане на непрекъсваемост на информационните потоци.

В заключението са описани различните дейности, извършени при изпълнението на отделните етапи. Включени са приносите на дисертационния труд, бъдещите насоки на работа, научните публикации по дисертацията, както и научно-изследователските проекти, по които е работено във връзка с изследванията по дисертационния труд.

Цели и задачи на дисертацията

Цел: Посредством моделиране и управление на информационни потоци да се направи топологичен синтез и предложи оптимално решение за преминаване на съществуваща комуникационна мрежа от свързаност тип „звезда“ към двусвързана и трисвързана топология. Да се разработи модел за количествена оценка на качеството, непрекъсваемостта и отказоустойчивостта на обслужването с оглед технологично и структурно подобряване на комуникационната мрежа.

Задачи:

- 1) Да се анализират моделите за формализиране на информационни и комуникационни потоци в мрежи чрез графи и да се оценят техните особености, предимства и недостатъци. Да се разгледат проблемите за намиране на най-кратък път от един възел към всички останали възли в мрежи, за които цената на дъгата може да варира.

- 2) Да се определи и анализира пропускателната способност и времезакъсненията в мрежата при предаване на информационни потоци. Да се оцени пропадането на връзка между двойка възли като характеристика на отказоустойчивостта на съществуваща комуникационна мрежа със свързаност тип „звезда“.
- 3) Да се синтезира алгоритъм за определяне на теоритичните времезакъснения между възлите на добавените алтернативни комуникационни канали. Да се дефинира оптимизационна задача за определяне на свързаността на мрежата като се използват резултатите от измерванията на времезакъсненията и пропаданията в комуникационната мрежа.
- 4) Да се реши оптимизационна задача за определяне на структура на комуникационната мрежа като двусвързана и трисвързана. Да се анализират получаваните решения. Да се направи количествен анализ на получените резултати.

Настоящата дисертация се състои от увод, четири глави, заключение и списък на цитираната литература. Основното съдържание е поместено на 115 страници, а изложението е придружено с фигури и таблици. Списъкът на цитираната литература включва 121 заглавия.

Глава 1. Анализ на проблема за намиране на най-кратък път в мрежа

В първа глава се анализират моделите за формализиране на информационни и комуникационни потоци в мрежи чрез графи, които имат отношение към темата на дисертацията. Оценяват се техните особености, предимства и недостатъци. Разглеждат се проблемите за намиране на най-кратък път от един възел към всички останали възли в мрежи, за които цената на дъгата може да варира. Също така се извършва теоретично изследване и анализиране на аспектите, свързани с моделирането и управлението на информационни потоци в мрежи.

В първа секция се представя кратък анализ на задачите, решавани в първа глава.

Във втора секция е разгледан проблема за намиране на най-кратък път. Намирането на най-кратък път има много полезни приложения. По тази причина, това е било обект на задълбочени изследвания. Дийкстра [23] е представил добре известния алгоритъм, който решава проблема за $O(n^2)$ време. Флойд [24] допуска ограничението, че всички теглови коефициенти трябва да бъдат не отрицателни. Флойд е представил алгоритъм, който решава този по-общ проблем за $O(n^3)$ време. Когато тегловете коефициенти се променят като функция на времето $w_{ij}(t)$, такива мрежи са наречени динамични мрежи. В динамична мрежа, тегловете коефициенти показват динамичен модел.

В трета секция са дефинирани основните алгоритми за намиране на най-кратък път и е описано представяне на комуникационните мрежи и системи чрез графи [78].

В четвърта секция са разгледани два метода за определяне на всички пътища между зададени два възела от граф - рекурсивен метод чрез изчисляване на поддетерминантата (ресурсоемък метод) и метод чрез обхождане в широчина (оптимизационен метод).

За структурния анализ на комуникационните мрежи (намиране на пътища, сечения и техните характеристики), представени чрез графи е целесъобразно да се използват структурни матрици, както и някои основни булеви операции с тях. Всеки път (сечение) се представя като конюнкция на ребрата, образуващи този път (сечение).

В пета секция е описано определяне на сечения посредством метод с булево инвертиране и оптимизиране на резултата.

В шеста секция са разгледани задачи за вземане на решение.

В седма секция са разгледани задачи за линейно програмиране.

- Общ вид на математически модел на задача за линейно програмиране [82] - В общ вид задачата за линейно програмиране може да се представи по следния начин:

Да се намери набор от управляеми параметри $\bar{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, които постигат най-големи (най-малки) стойности на показателя за ефективност

$$F(\bar{x}) = \sum_{j=1}^n c_j x_j \rightarrow \max(\min) \quad (7)$$

при изпълнение на определени ограничения.

Задачата за линейното програмиране се нарича разрешима, ако има дори и само едно оптимално решение. При неразрешимите задачи или е празна областта на допустимите решения, или целевата функция не е ограничена.

- Форми на задачата за линейно програмиране - В зависимост от вида на ограничението се различават три форми задачи [82] - канонична, симетрична и обща.

Глава 2. Определяне на пропускателните способности на канали чрез времеви измервания

Във втора глава е определена и анализирана пропускателната способност и времезакъсненията в мрежата при предаване на информационни потоци. Определени са средните времеви закъснения между отделните възли при съществуващата топология. Изчислен е капацитетът на информационната мрежа, като изчислението е извършено между възел ИО-София и останалите възли. Оценено е пропадането на връзката между двойка възли като характеристика на отказоустойчивостта на съществуваща комуникационна мрежа със свързаност тип „звезда“.

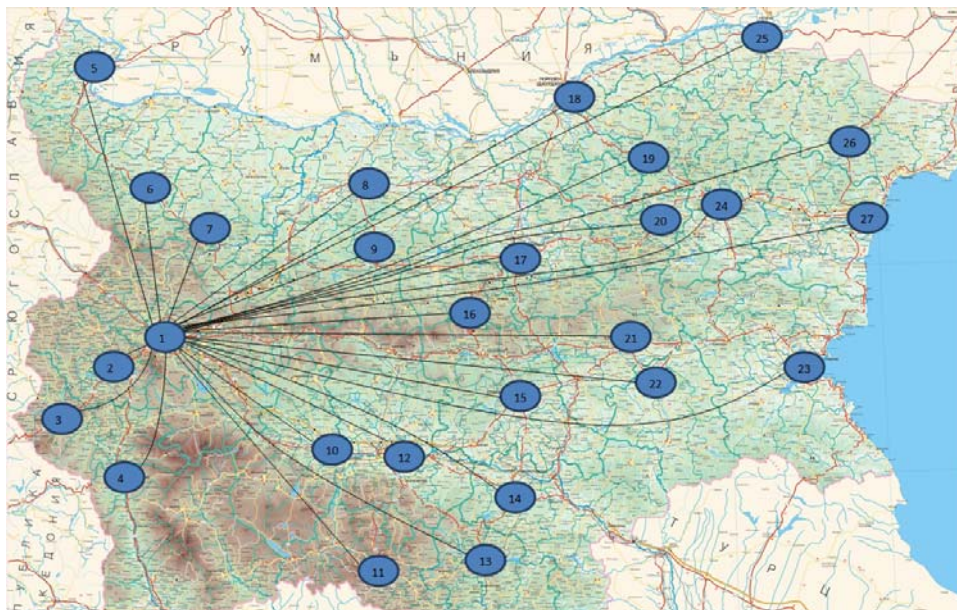
В първа секция са описани задачите и проблемите, решавани във втора глава.

Във втора секция са представени инструменти за изчисляване на пропускателна способност на база времезакъснението. Дефинирано е определение за пропускателна способност на комуникационен канал. Разгледани са три методи за измерване на времезакъсненията в комуникационна мрежа - активно измерване, пасивно измерване, хибридно измерване. За целите на дисертационния труд се използва активно мрежово измерване.

В трета секция е представен модел и е разгледана формула за изчисляване на пропускателна способност на отделни възли на база времезакъснението. С две измервания (с два различни по стойност размера на пакета) се изчислява постигнатата пропускателна способност между два хоста [105]. При изследване на времезакъснението са използвани пакети с два различни размера - 100 bytes и 1300 bytes. Представена е разглежданата комуникационна мрежа, която представлява клонова мрежа с 27 възела (таблица 2.1, фигура 2.3) и централизирано управление - топология „звезда“, като централната точка се намира в ИО-София.

Таблица 2.1

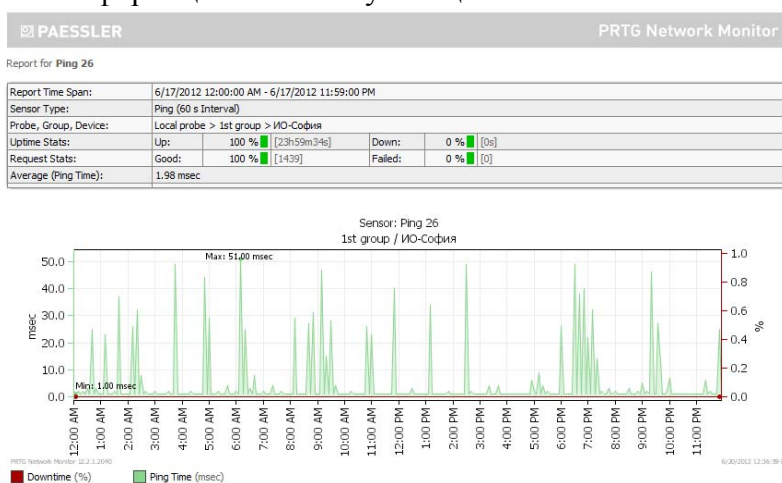
Възел / клон	Град
1	София
2	Перник
3	Кюстендил
4	Благоевград
5	Видин
6	Монтана
7	Враца
8	Плевен
9	Ловеч
10	Пазарджик
11	Смолян
12	Пловдив
13	Кърджали
14	Хасково
15	Стара Загора
16	Габрово
17	Велико Търново
18	Русе
19	Разград
20	Търговище
21	Сливен
22	Ямбол
23	Бургас
24	Шумен
25	Силистра
26	Добрич
27	Варна



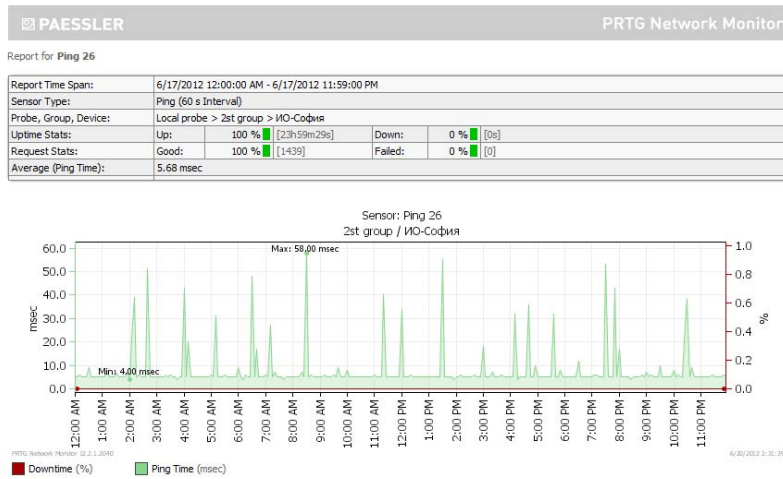
Фигура 2.3 Комуникационна клонова мрежа мрежа с 27 възела тип „звезда“

За изчисляването пропускателната способност на комуникационната мрежа до съответните възли е използван софтуерния продукт PRTG Network Monitor.

На фигура 2.6 и фигура 2.7 е показана информация за възел ИО - Варна при изследване на времезакъснението за период от 24 часа и е изобразена статистиката на получените резултати при размер на пакетите 100 bytes и 1300 bytes. При този възел не се наблюдават срывове в информационната комуникация.

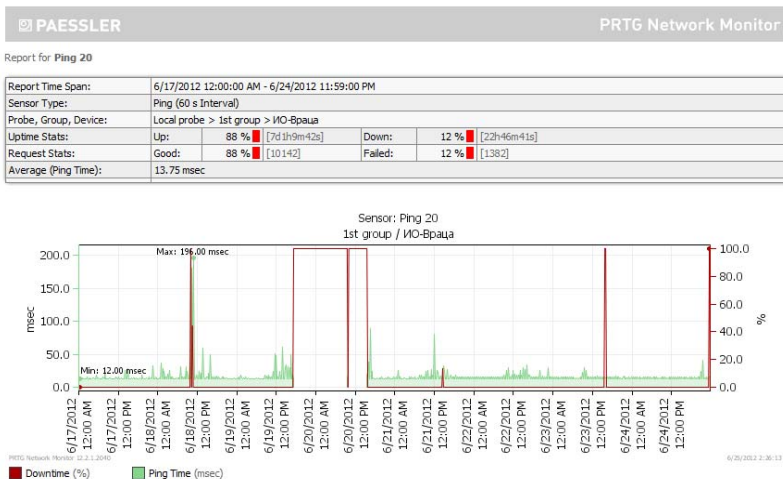


Фигура 2.6 Статистиката на резултати при размер на пакета 100 bytes

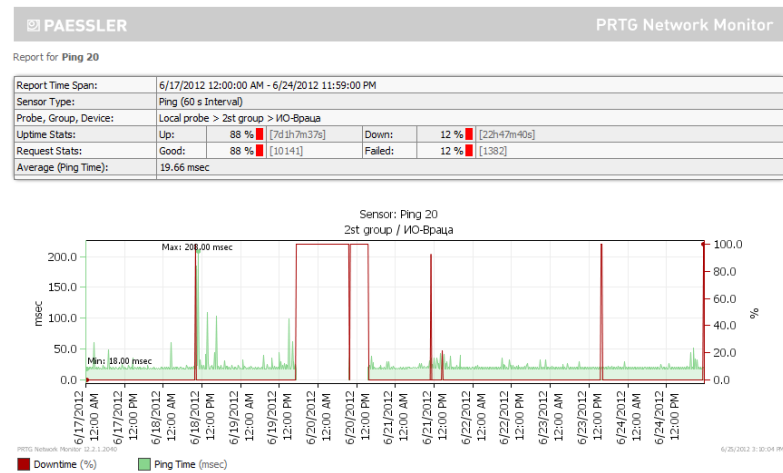


Фигура 2.7 Статистиката на резултати при размер на пакета 1300 bytes

На фигура 2.22 и фигура 2.23 е показана информация за възел ИО - Браца при изследване на времезакъснението за период от една седмица и е изобразена статистиката на получените резултати при размер на пакетите 100 bytes и 1300 bytes. При този възел се наблюдават най-големи сривове в комуникационната връзка, което довежда до проблеми с достъпа до информационните услуги и нарушена нормална свързаност.



Фигура 2.22 Статистиката на резултати при размер на пакета 100 bytes



Фигура 2.23 Статистиката на резултати при размер на пакета 1300 bytes

В таблица 2.2 са показани обобщени резултати от направените измервания.

Таблица 2.2

Възел / клон	Град	100 bytes		1300 bytes		R - пропускателна способност, M bits/s	Up, %	Down, %
1	София	0	ms	0	ms	0	100	0
2	Перник	12,10	ms	17,74	ms	3,4	99,922	0,078
3	Кюстендил	13,71	ms	19,38	ms	3,38	99,922	0,078
4	Благоевград	14,36	ms	19,97	ms	3,42	99,913	0,087
5	Видин	14,61	ms	20,58	ms	3,22	99,905	0,095
6	Монтана	13,51	ms	19,27	ms	3,33	99,922	0,078
7	Враца	13,75	ms	19,66	ms	3,25	88	12
8	Плевен	22,10	ms	27,05	ms	3,88	98,922	1,078
9	Ловеч	19,09	ms	24,71	ms	3,42	99,375	0,625
10	Пазарджик	13,72	ms	19,09	ms	3,58	99,844	0,156
11	Смолян	11,28	ms	16,88	ms	3,43	99,922	0,078
12	Пловдив	8,86	ms	14,28	ms	3,54	99,514	0,486
13	Кърджали	9,92	ms	16,00	ms	3,16	99,828	0,172
14	Хасково	9,17	ms	15,02	ms	3,28	99,922	0,078
15	Стара Загора	14,19	ms	20,27	ms	3,16	99,922	0,078
16	Габрово	9,37	ms	13,64	ms	4,97	99,687	0,313
17	Велико Търново	11,72	ms	17,29	ms	3,45	99,749	0,251
18	Русе	5,51	ms	11,16	ms	3,4	99,913	0,087
19	Разград	6,86	ms	12,63	ms	3,33	99,905	0,095
20	Търговище	3,93	ms	9,97	ms	3,18	99,913	0,087
21	Сливен	11,42	ms	17,11	ms	3,37	99,158	0,842
22	Ямбол	5,94	ms	11,77	ms	3,29	99,905	0,095
23	Бургас	5,19	ms	9,82	ms	4,15	99,913	0,087
24	Шумен	4,08	ms	9,16	ms	3,78	99,913	0,087
25	Силистра	7,24	ms	13,48	ms	3,08	99,922	0,078
26	Добрич	3,86	ms	9,03	ms	3,71	97,665	2,335
27	Варна	1,98	ms	5,68	ms	5,19	100	0

От получените резултати може да се обобщи, че така съществуващата комуникационна мрежа с топология звезда предизвиква срывове в информационната комуникация между отделни възли, което от своя страна води до проблеми с достъпа до клоновата мрежа и нормалната свързаност. Липсата на свързаност между отделните възли на мрежата варира от 10 мин. до 23 часа, което е недопустимо. Изчислените пропускателни способности показват приблизително еднакви капацитети на мрежата между отделните крайни точки.

Глава 3. Проектиране на трисвързана мрежа при отчитане на съществуваща топология тип звезда

В трета глава е синтезиран алгоритъм за определяне на теоретичните времезакъснения между възлите на добавените алтернативни комуникационни канали и е дефинирана оптимизационна задача за определяне на свързаността на мрежата като са използвани резултатите от измерванията на времезакъсненията и пропаданията в комуникационната мрежа. Решена е оптимизационна задача за определяне на структура на комуникационната мрежа като двусвързана и трисвързана. Анализирани са получените решения.

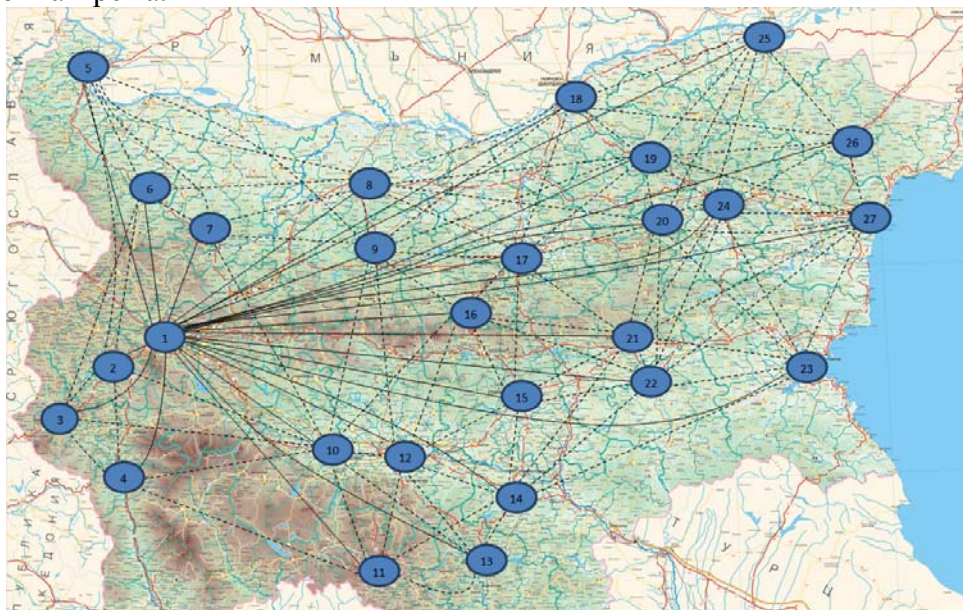
В първа секция са описани задачите, свързани с проектиране на трисвързана мрежа при отчитане на съществуваща топология тип звезда.

Във втора секция е определен модела на комуникационна мрежа за получаване на трисвързаност между отделните точки. На фигура 3.1 е представена реална информационна мрежа с точно разположение на отделните точки, чиято свързаност е тип „звезда“, състояща се от 27 възела, които представляват клонове в различни градове, предоставящи информационни услуги. Поради централизираното си управление (целият информационен поток да преминава през една възлова точка), тази свързаност допуска при срывове във връзката между отделните точки да се получат загуби при работа и откъснатост между отделните възли от комуникационната мрежа.

На фигура 3.2 е представено решение за подобряване свързаността между отделните клонове като се използва многосвързана топология. На тази база се подобрява обменът на информационни потоци и се елиминира възможността при отпадане на централният комуникационен възел да се достигне до блокиране работата на всички крайни точки. По този начин се получава и взаимозаменяемост на комуникационните канали и отпада

29 МОДЕЛИРАНЕ И УПРАВЛЕНИЕ НА ИНФОРМАЦИОННИ ПОТОЦИ

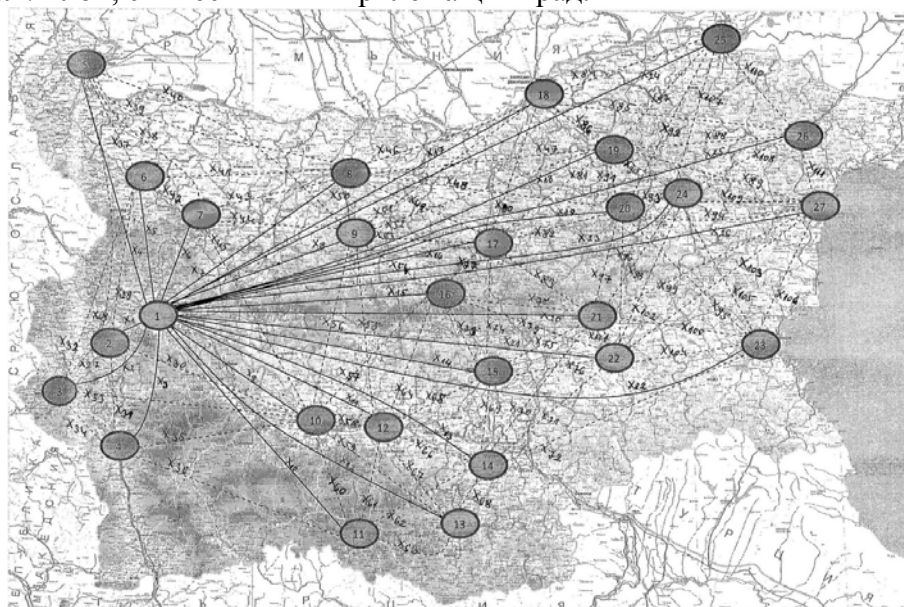
възможността за прекъсване на информационните потоци. Представени са добавените виртуални канали. При така дефинираната нова свързаност, теоретично се изчисляват времезакъсненията между отделните директно свързани възли на виртуалната мрежа, като целта е измежду всички възможни алтернативни пътища да се изберат най-добрите два и заедно със съществуващите такива да се получи трисвързана топология на разглежданата информационна мрежа.



Фигура 3.2 Реална информационна мрежа с 27 възела и добавени виртуални алтернативни канали

Допълнителните връзки между възлите са дефинирани на географски принцип, като е определено условие, всяка възлова точка да има минимум четири допълнителни пътя, в които не се включват тези от съществуващата мрежа.

На фигура 3.3 е показана дефинираната мрежа, на чиято база се извършват изчисленията за избор на алтернативни пътища, с определени виртуални теглови коефициенти за целите на изследването. В таблица 3.1 е показано съответствието между номер на възел / клон, съвместим към прилежащия град.



Фигура 3.3 Теглови коефициенти на виртуални алтернативни канали

В трета секция се извежда формула 37, която служи за основа да се определят теоретичните времезакъснения между възлите на добавени виртуални канали.

$$\tau_{i,j} = \tau_{об} + \tau_{вк,i} + \tau_{хо,i} + \alpha_i + \tau_{вк,j} + \tau_{хо,j} + \alpha_j \quad (37)$$

В четвърта секция, при така дефинираната нова свързаност и съгласно теоретично определения модел се изчисляват времезакъсненията на допълнителните канали между отделните крайни точки за получаване на взаимозаменяемост на каналите. Пресмятането се извършва на база изчисляването на времезакъснението между отделните възли на определената виртуална мрежа.

В таблица 3.3 са дадени всички изчислени времезакъснения между отделните крайни точки, свързани с алтернативните виртуални пътища, съгласно формула 37.

Със зелен цвят са показани теоретично изчислените времезакъснения между възлите при сега съществуващата мрежа, топология звезда. Със син цвят е въведена информацията за времезакъсненията на дефинираните алтернативни виртуални пътища между крайните точки, съгласно фигура 3.3, а останалите данни представляват времезакъсненията между останалите възли.

Таблица 3.3

Време закъснение в милисекунди между отделните клонове.																													
Клонове	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27		
София	1	0,400	0,555	0,830	0,880	1,640	1,135	0,945	1,215	1,185	0,955	1,610	1,110	1,610	1,530	1,555	1,415	1,510	1,955	2,060	1,990	1,935	1,885	2,315	2,210	2,540	2,805	2,645	
Перник	2	0,555	0,400	0,690	0,810	1,835	1,335	1,140	1,375	1,375	1,095	1,825	1,275	1,930	1,900	1,695	1,610	1,695	2,115	2,655	2,150	2,070	2,225	2,595	2,375	2,700	3,010	2,770	
Кюстендил	3	0,830	0,690	0,400	0,745	1,760	1,605	1,380	1,650	1,650	1,370	2,105	1,550	2,205	2,175	1,970	1,885	1,975	2,420	2,780	2,460	2,345	2,440	2,885	2,655	2,975	3,250	3,045	
Благоевград	4	0,880	0,810	0,745	0,400	2,140	1,625	1,430	1,700	1,700	1,705	1,420	2,080	1,620	2,200	2,040	2,025	1,905	1,990	2,435	2,835	2,475	2,395	2,495	2,925	2,705	3,025	3,300	3,100
Видин	5	1,640	1,835	1,760	2,140	0,400	0,920	1,115	1,555	1,725	2,150	2,835	2,320	3,190	2,945	2,740	2,090	2,180	2,660	2,915	2,665	2,780	2,865	3,500	2,880	3,235	3,495	3,290	
Монтана	6	1,135	1,335	1,605	1,625	0,920	0,400	0,595	1,035	1,205	1,630	2,320	1,810	2,670	2,435	2,230	1,580	1,665	2,115	2,405	2,155	2,240	2,335	2,795	2,370	2,705	2,980	2,775	
Враца	7	0,945	1,140	1,380	1,430	1,115	0,595	0,400	0,940	1,120	1,430	2,125	1,615	2,475	2,240	2,035	1,385	1,475	1,920	2,215	1,960	2,075	2,170	2,840	2,175	2,510	2,785	2,585	
Плевен	8	1,215	1,375	1,650	1,700	1,555	1,035	0,940	0,400	0,575	1,710	2,395	1,885	1,965	1,700	1,350	0,945	1,075	1,150	1,450	1,310	1,605	1,700	2,130	1,735	1,730	2,345	2,140	
Ловеч	9	1,185	1,375	1,650	1,705	1,725	1,205	1,120	0,575	0,400	1,675	2,360	1,830	1,755	1,475	1,170	0,770	0,865	1,325	1,625	1,340	1,425	1,520	1,955	1,555	1,905	2,165	1,965	
Пазарджик	10	0,955	1,095	1,370	1,420	2,150	1,630	1,430	1,710	1,675	0,400	1,080	0,590	1,230	1,290	1,085	1,500	1,715	2,235	2,550	2,220	1,460	1,555	1,990	2,380	2,825	2,875	2,610	
Смолян	11	1,610	1,825	2,105	2,080	2,835	2,320	2,125	2,395	2,360	1,080	0,400	0,890	1,165	1,265	1,560	1,970	2,185	2,700	3,045	2,665	1,935	2,030	2,460	2,885	3,335	3,345	3,115	
Пловдив	12	1,110	1,275	1,550	1,620	2,320	1,810	1,615	1,885	1,830	0,590	0,890	0,400	1,040	0,790	0,910	1,320	1,530	2,075	2,390	2,065	1,280	1,375	1,805	2,115	2,645	2,695	2,425	
Кърджали	13	1,610	1,930	2,205	2,200	3,190	2,670	2,475	1,965	1,755	1,230	1,165	1,040	0,400	0,635	0,925	1,335	1,560	2,100	2,420	2,055	1,300	1,410	1,840	2,130	3,210	2,775	2,375	
Хасково	14	1,530	1,900	2,175	2,040	2,945	2,435	2,240	1,700	1,475	1,290	1,265	0,790	0,635	0,400	0,710	1,145	1,335	1,875	2,190	1,825	1,085	1,035	1,465	1,940	3,015	2,585	2,160	
Стара Загора	15	1,555	1,695	1,970	2,025	2,740	2,230	2,035	1,350	1,170	1,085	1,560	0,910	0,925	0,710	0,400	0,805	1,015	1,545	1,860	1,500	0,925	0,840	1,355	1,665	2,675	2,240	1,975	
Габрово	16	1,415	1,610	1,885	1,905	2,090	1,580	1,385	0,945	0,770	1,500	1,970	1,320	1,335	1,145	0,805	0,400	0,620	1,150	1,465	1,105	1,070	1,160	1,590	1,320	2,400	1,965	1,715	
Велико Търново	17	1,510	1,695	1,975	1,990	2,180	1,665	1,475	1,075	0,865	1,715	2,185	1,530	1,560	1,335	1,015	0,620	0,400	0,945	1,070	0,895	0,960	1,370	1,800	1,110	2,185	1,755	1,505	
Русе	18	1,955	2,115	2,420	2,435	2,660	2,115	1,920	1,150	1,325	2,235	2,700	2,075	2,100	1,875	1,545	1,150	0,945	0,400	0,730	1,065	1,835	1,685	2,020	0,965	1,005	1,570	1,370	
Разград	19	2,060	2,655	2,780	2,835	2,915	2,405	2,215	1,450	1,625	2,550	3,045	2,390	2,420	2,190	1,860	1,465	1,070	0,730	0,400	0,590	1,405	1,370	1,705	0,655	1,055	1,255	1,060	
Търговище	20	1,990	2,150	2,460	2,475	2,665	2,155	1,960	1,310	1,340	2,220	2,665	2,065	2,055	1,825	1,500	1,105	0,895	1,065	0,590	0,400	1,060	1,025	1,310	0,615	1,235	1,215	1,020	
Сливен	21	1,935	2,070	2,345	2,395	2,780	2,240	2,075	1,605	1,425	1,460	1,935	1,280	1,300	1,085	0,755	1,070	0,960	1,835	1,405	1,060	0,400	0,545	0,975	1,295	2,270	1,840	1,595	
Ямбол	22	1,885	2,225	2,440	2,495	2,865	2,335	2,170	1,700	1,520	1,555	2,030	1,375	1,410	1,035	0,840	1,160	1,370	1,685	1,370	1,025	0,545	0,400	0,860	1,230	2,235	1,820	1,480	
Бургас	23	2,315	2,595	2,885	2,925	3,500	2,795	2,840	2,130	1,955	1,990	2,460	1,805	1,840	1,465	1,355	1,590	1,800	2,020	1,705	1,310	0,975	0,860	0,400	1,165	1,750	1,320	1,050	
Шумен	24	2,210	2,375	2,655	2,705	2,880	2,370	2,175	1,735	1,555	2,380	2,885	2,115	2,130	1,940	1,665	1,320	1,110	0,965	0,655	0,615	1,295	1,230	1,165	0,400	0,975	1,035	0,845	
Силистра	25	2,540	2,700	2,975	3,025	3,235	2,705	2,510	1,730	1,905	2,825	3,335	2,645	3,210	3,015	2,675	2,400	2,185	1,005	1,055	1,235	2,270	2,235	1,750	0,975	0,400	0,850	1,105	
Добрич	26	2,805	3,010	3,250	3,300	3,495	2,980	2,785	2,345	2,165	2,875	3,345	2,695	2,775	2,585	2,240	1,965	1,755	1,570	1,255	1,215	1,840	1,820	1,320	1,035	0,850	0,400	0,660	
Варна	27	2,645	2,770	3,045	3,100	3,290	2,775	2,585	2,140	1,965	2,610	3,115	2,425	2,375	2,160	1,975	1,715	1,505	1,370	1,060	1,020	1,595	1,480	1,050	0,845	1,105	0,670	0,400	

В таблица 3.4 са показани реалните средни времезакъснения, както и най-големите (пикови) времезакъснения на съществуващата мрежа за период от един месец.

Таблица 3.4

Времезакъснение в ms между отделните клонове	Средно времезакъснение, ms	Най-голямо времезакъснение, ms
София		
Перник	15	2900
Кюстендил	16	2900
Благоевград	16	2900
Видин	23	2901
Монтана	17	2901
Враца	15	2901
Плевен	21	2901
Ловеч	21	2901
Пазарджик	15	2901
Смолян	17	2902
Пловдив	16	2887
Кърджали	23	2902
Хасково	23	2902
Стара Загора	20	2887
Габрово	19	2886
Велико Търново	18	2887
Русе	19	2887
Разград	6	2887
Търговище	6	2887
Сливен	21	2888
Ямбол	7	2887
Бургас	5	2887
Шумен	5	2887
Силистра	7	2887
Добрич	5	2887
Варна	3	2871

В таблица 3.5 са показани средните измерени времезакъснения на съществуващата мрежа, както и теоретични изчислените такива.

Таблица 3.5

Времезакъснение в ms между отделните клонове	Средно времезакъснение, ms	Теоритично времезакъснение, ms
София		
Перник	15	0,555
Кюстендил	16	0,830
Благоевград	16	0,880
Видин	23	1,640
Монтана	17	1,135
Враца	15	0,945
Плевен	21	1,215
Ловеч	21	1,185
Пазарджик	15	0,955
Смолян	17	1,610
Пловдив	16	1,110
Кърджали	23	1,610
Хасково	23	1,530
Стара Загора	20	1,555
Габрово	19	1,415
Велико Търново	18	1,510
Русе	19	1,955
Разград	6	2,060
Търговище	6	1,990
Сливен	21	1,935
Ямбол	7	1,885
Бургас	5	2,315
Шумен	5	2,210
Силистра	7	2,540
Добрич	5	2,805
Варна	3	2,645

Получените резултати показват съществена разлика между тях, което е предпоставка до намалена пропускателна способност при реално измерените, което пък от своя страна предизвиква забавяне и по-голяма възможност за възникване на проблеми при комуникацията между възлите и отказоустойчивост.

В пета секция се дефинира задачата за оптимизация за определяне свързаността на мрежата.

Изследванията в дисертационната работа целят да се дефинира и реши оптимизационна задача за определяне на свързаността на мрежа като се използват резултати от измервания на времезакъсненията и пропаданията в комуникационната мрежа и се предложи решение за преминаване на съществуваща комуникационна мрежа от свързаност тип „звезда“ към

двусвързана и трисвързана топология. Като параметри на тази задача са използвани реално измерените и теоретично изчислените времезакъснения между определените възли. Тези измерени и изчислени времезакъснения са използвани като теглови коефициенти в целевата функция на дефинираната и решавана оптимизационна задача.

Оптимизационната задача е дефинирана като линейна оптимизационна задача, която определя максималния поток от информация между всички двойки възли, която може да се пренесе през мрежа, при зададена топология на мрежата. Тази задача е за определяне на максимален поток в мрежа и е дефинирана и решавана в [117, 118].

Задачата за определяне на максимален поток в мрежа се дефинира като:

- зададена е топологията на мрежата
- зададена е матрицата от обеми трафик, който трябва да се предаде между всяка двойка възли в мрежата
- зададени са теглови коефициенти по дъгите на мрежата, които определят „цената“ за прокарване на единица обем трафик по съответната дъга

Решението на задачата показва какви трябва да се пропускателните способности на каналите, така, че да може да се предаде зададената матрица от обеми трафик за предаване между отделните възли.

Задачата се дефинира като задача на линейно програмиране.

$$\min c^T x \text{ като } A \cdot x \geq b$$

където,

c - е матрицата на „цените“ за прокарване на единица трафик по съответна дъга на мрежата

b - е матрицата на обема трафик, който трябва да се предаде между всяка двойка възли в мрежата

x - е решението на задачата, където стойността на x е пропускателната способност на съответната дъга в мрежата

Тази задача е използвана и модифицирана в дисертационната работа за да синтезира топология на двусвързана и трисвързана мрежа. Модификациите се състоят в:

- Използва се начална пълносвързана топология на мрежата. Решенията на задачата определят, кои линии от пълносвързаната топология да отпаднат за да се получи желана двусвързана или трисвързана мрежа.
- Решенията x се определят да принадлежат на множеството 0 или 1. При стойност $x_i = 1$, съответната дъга остава в топологията на мрежата. В случая на $x_i = 0$, дъгата не присъства в топологията. Така изходната задача за намиране на максимален поток се модифицира до линейна задача на целочисленото програмиране.
- Матрицата на необходим обем трафик, b , който трябва да се предаде в мрежата се модифицира да приема стойности 2 или 3 за всяка двойка възли. Така се синтезира топология с двусвързана или трисвързана мрежа.

Общият вид на целевата функция на задачата за синтез на топология представлява [119]:

$$\begin{aligned} & \min c(x) \\ & x \in A \\ & \{g_l(x) \geq b_l, l = 1, n\} \end{aligned} \quad (38)$$

където,

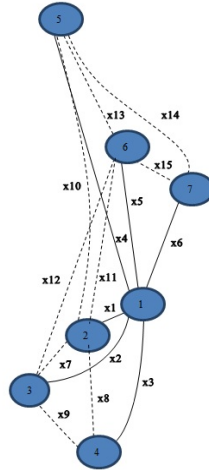
$c(x)$ – целева функция

$g_l(x)$ функция на ограниченията
 x – решение

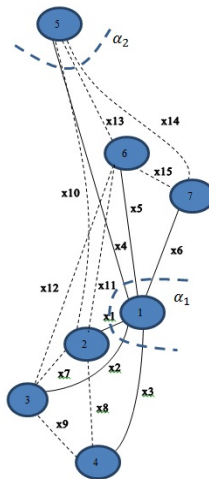
В дисертационната работа матрицата c има инженерно съдържание на закъсненията по отделните линии. Числовите стойности на закъсненията са приети от измерванията, направени в глава 2 и показани в таблица 3.4, както и от теоретично изчислените такива в текущата глава (таблица 3.3).

Решението на задачата x е ограничено в диапазона $[0 \text{ или } 1]$. Така стойността на променливата x_i определя дали има комуникационен канал ($x_i = 1$) или няма канал ($x_i = 0$). Техническа особеност е, че при дефинирането на променливите x_i се използва един индекс, вместо прилаганите в текста обяснения за x_{ij} , което се тълкува като дъга между възли i и j .

За илюстриране на дефинираната целева функция за поставената задача се използва част от определената комуникационна мрежа, съгласно фигура 3.3. На фигура 3.4 са разгледани седем възела със съответни стойности на връзките между тях, а на фигура 3.5 е показано определяне на сечение за намиране на ограниченията на оптимизационната задача.



Фигура 3.4 Теглови коефициенти между възлите



Фигура 3.5 Сечение за намиране на ограниченията

Ограниченията на задачата се дефинират, съгласно модела на [117, 118] за определяне на максимален поток в мрежи, като ограниченията се дефинират като възможни сечения от дъги, чието премахване отделя всички връзки между разглежданата двойка възли. Целевата функция за поставената задача аналитично се дефинира като:

$$\min_x \sum_i^{111} c_i x_i \quad (39)$$

При изпълнение на следните ограничения и условия за неотрицателност:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^{111} a_i x_i \geq b_j, j = 2;3 \\ x_i \text{ е бинарно число} \end{cases} \quad (40)$$

a_i - вектор на условията, определящ дали съществува или не връзка между два възела и приема стойности нула или едно.

Решенията x имат стойност или 1 или 0.

Вектора на ограниченията b_j приема две параметрични състояния:

- Параметрично състояние едно, което дефинира ограничение две на целевата функция за намиране на най-добрите два пътя между възлите (синтезиране на двусвързана мрежа).
- Параметрично състояние две, което дефинира ограничение три на целевата функция за намиране на най-добрите три пътя между възлите (синтезиране на трисвързана мрежа).

Обобщения израз за ограниченията на целевата функция приема вида:

$$a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + \dots + a_nx_n \geq b_j \quad (41)$$

При зададена топология в мрежата от 7 възела, съгласно фигура 3.5, се дефинират сеченията, през които минава потока между съответните възли. Тези сечения се дефинират по начин, че при премахване на съответните дъги, възлите ще бъдат откъснати.

За сечение α_1 : при премахване на дъги x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 и x_6 възел 1 ще се отдели от останалите. Това сечение определя ограничението:

$$\alpha_1: x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 \geq 2$$

Дясната част, съдържащо числото 2 определя, че трябва да се предаде общо 2 единици трафик между възлите. На решението на задачата, това се отразява като се синтезират поне две връзки за всеки от разглежданата двойка възли. При промяна на дясната част на неравенството на три се синтезира трисвързана мрежа за съответната двойка възли.

За сечение α_2 : то съдържа четири дъги и при премахването им x_4, x_{10}, x_{13} и x_{14} , възел 5 ще се отдели от останалите. Това сечение определя аналитичното ограничението да има вида:

$$\alpha_2: x_4 + x_{10} + x_{13} + x_{14} \geq 2$$

За примера, даден на фигура 3.4 и след изпълнение на сеченията за всеки един възел (фигура 3.5) за ограниченията на целевата функция при параметрично състояние едно получаваме следните аналитични изрази:

- Възел 1

$$\begin{aligned} x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 &\geq 2 \\ x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 + x_{10} + x_{11} &\geq 2 \\ x_1 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_9 + x_{12} &\geq 2 \\ x_1 \mid x_2 \mid x_4 \mid x_5 \mid x_6 \mid x_8 \mid x_9 &\geq 2 \\ x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_{10} + x_{13} + x_{14} &\geq 2 \\ x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_6 + x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{15} &\geq 2 \\ x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_{14} + x_{15} &\geq 2 \end{aligned} \quad (42)$$

- Възел 2

$$\begin{aligned} x_1 + x_7 + x_8 + x_{10} + x_{11} &\geq 2 \\ x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 + x_{10} + x_{11} &\geq 2 \\ x_1 + x_2 + x_8 + x_9 + x_{10} + x_{11} + x_{12} &\geq 2 \\ x_1 + x_3 + x_7 + x_9 + x_{10} + x_{11} &\geq 2 \\ x_1 \mid x_4 \mid x_7 \mid x_8 \mid x_{11} \mid x_{13} \mid x_{14} &\geq 2 \\ x_1 + x_5 + x_7 + x_9 + x_{10} + x_{12} + x_{13} + x_{15} &\geq 2 \end{aligned} \quad (43)$$

- Възел 3

$$\begin{aligned} x_2 + x_7 + x_9 + x_{12} &\geq 2 \\ x_1 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_9 + x_{12} &\geq 2 \\ x_1 + x_2 + x_8 + x_9 + x_{10} + x_{11} + x_{12} &\geq 2 \\ x_2 + x_3 + x_7 + x_9 + x_{12} &\geq 2 \\ x_2 + x_5 + x_7 + x_9 + x_{11} + x_{13} + x_{15} &\geq 2 \end{aligned} \quad (44)$$

- Възел 4

$$\begin{aligned}
 x_3 + x_8 + x_9 &\geq 2 \\
 x_1 + x_2 + x_4 + x_5 + x_6 + x_8 + x_9 &\geq 2 \\
 x_1 + x_3 + x_7 + x_9 + x_{10} + x_{11} &\geq 2 \\
 x_2 + x_3 + x_7 + x_8 + x_{12} &\geq 2
 \end{aligned} \tag{45}$$

- Възел 5

$$\begin{aligned}
 x_4 + x_{10} + x_{13} + x_{14} &\geq 2 \\
 x_1 + x_2 + x_3 + x_5 + x_6 + x_{10} + x_{13} + x_{14} &\geq 2 \\
 x_1 + x_4 + x_7 + x_8 + x_{11} + x_{13} + x_{14} &\geq 2 \\
 x_4 + x_5 + x_{10} + x_{11} + x_{13} + x_{14} + x_{15} &\geq 2 \\
 x_4 \mid x_6 \mid x_{10} \mid x_{13} \mid x_{15} &\geq 2
 \end{aligned} \tag{46}$$

- Възел 6

$$\begin{aligned}
 x_5 + x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{15} &\geq 2 \\
 x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_6 + x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{15} &\geq 2 \\
 x_1 + x_5 + x_7 + x_8 + x_{10} + x_{12} + x_{13} + x_{15} &\geq 2 \\
 x_2 + x_5 + x_7 + x_9 + x_{11} + x_{13} + x_{15} &\geq 2 \\
 x_4 + x_5 + x_{10} + x_{11} + x_{12} + x_{14} + x_{15} &\geq 2 \\
 x_5 + x_6 + x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} &\geq 2
 \end{aligned} \tag{47}$$

- Възел 7

$$\begin{aligned}
 x_6 + x_{14} + x_{15} &\geq 2 \\
 x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_{14} + x_{15} &\geq 2 \\
 x_4 \mid x_6 \mid x_{10} \mid x_{13} \mid x_{15} &\geq 2 \\
 x_5 + x_6 + x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} &\geq 2
 \end{aligned} \tag{48}$$

За конкретния пример, параметъра i приема стойност 15.

За получаване на двусвързана (трисвързана) мрежа е необходимо да се запишат сеченията на всяка двойка възли от мрежата. Така броят на ограниченията на задачата рязко се увеличава.

Общият аналитичен вид на дефинираната задача за оптимизация приема вида:

$$\min_x c_i^T x_i \begin{cases} A \cdot x_i \geq b \\ x \text{ е бинарно число} \end{cases} \tag{49}$$

където,

c_i измерени реални и теоретично изчислени времезакъснения между възлите

Решението x определя топологията на синтезируемата комуникационна мрежа.

Ограниченията на задачата отчитат свързаността между отделните възли, съгласно поставените условия за синтезиране на двусвързана и трисвързана мрежа.

Решенията на оптимизационната задача определят нова топология на двусвързана или трисвързана мрежа. Получаваното решение може да се интерпретира и като потенциал за подобряване свързаността на дефинираната комуникационна мрежа [120].

Разбирането за оптималността се състои в определяне на топологията на синтезируемата мрежа при минимална цена, като е изпълнено условието за надеждност. Надеждността количествено се определя от свързаността на мрежата.

Оптимизационната задача е решена с програмен продукт Матлаб чрез неговата функция `bintprog`. Тази функция има следния вид:

$$\min_x c^T x \begin{cases} A \cdot x \geq b \\ x \text{ е бинарно число} \end{cases} \tag{50}$$

където,

c , и b са вектори, A е матрица, и решението x се определя като целочислено бинарно векторно число - това означава, че стойностите на x могат да бъдат 0 или 1.

Задача (50) съгласно формата на Матлаб се представя във вида:

$$x = \text{bintprog}(c, A, b) \tag{51}$$

Този синтаксис решава задачите, дефинирани като бинарно целочислено програмиране, откъдето следва, че за разглеждания случай задача (50) добива вида:

$$\min_x c^T x \text{ като } A \cdot x_i \geq b_j \quad (52)$$

където, x приема стойности 0 или 1.

За примера, даден на фигура 3.4, на база получените аналитични изрази (42 - 48) и след премахване на повтарящите се редове, за матрицата на условията A се получава (таблица 3.6):

Таблица 3.6

x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11	x12	x13	x14	x15
1	1	1	1	1	1									
	1	1	1	1	1	1	1		1	1				
1		1	1	1	1	1		1			1			
1	1		1	1	1		1	1						
1	1	1		1	1				1			1	1	
1	1	1	1		1					1	1	1		1
1	1	1	1	1									1	1
1						1	1		1	1				
1	1						1	1	1	1	1			
1		1				1	1	1	1	1		1	1	
1			1			1	1		1	1		1	1	
1				1		1	1		1		1	1		1
	1					1	1	1			1			1
	1	1				1	1				1			1
	1			1		1		1		1		1		1
		1						1				1		1
			1						1			1		1
				1						1		1		1
					1						1	1		1
						1						1	1	1
							1	1				1	1	1
								1	1			1	1	1
										1		1	1	1
											1	1	1	1
												1	1	1
													1	1
														1

За вектора на ограниченията при използване на зададените две параметрични състояния се получава:

$$b = \begin{bmatrix} 2 \\ 2 \\ 2 \\ 2 \\ 2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ 2 \end{bmatrix} \text{ при синтезиране на двусвързана мрежа}$$

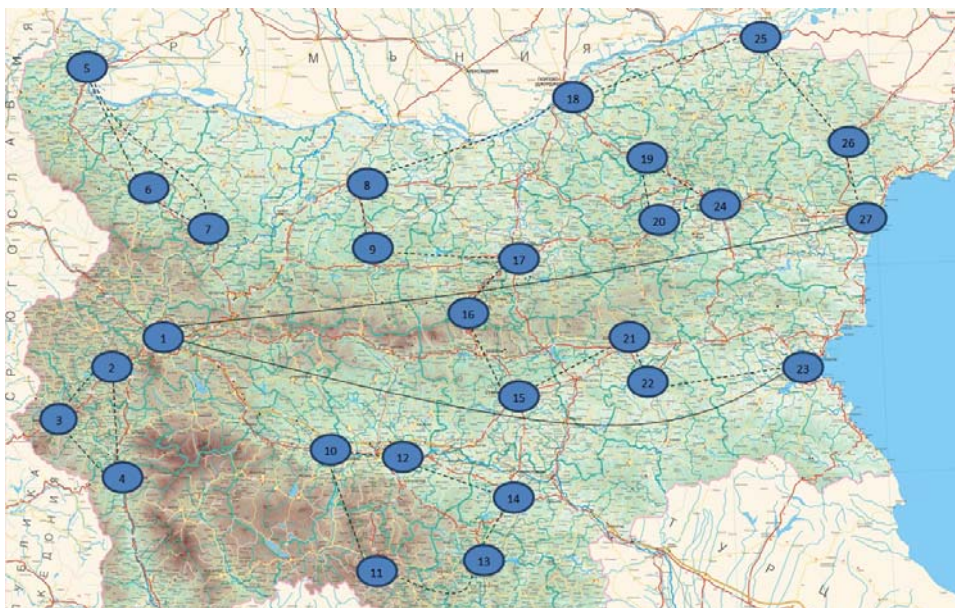
$$b = \begin{bmatrix} 3 \\ 3 \\ 3 \\ 3 \\ 3 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ 3 \end{bmatrix} \text{ при синтезиране на трисвързана мрежа}$$

За получаване на точни и коректни данни, параметрите на матрицата A се инвертират, като същото действие се извършва и за ограничението b . Следователно, за окончателната функция, използвана в дисертационния труд се получава [121]:

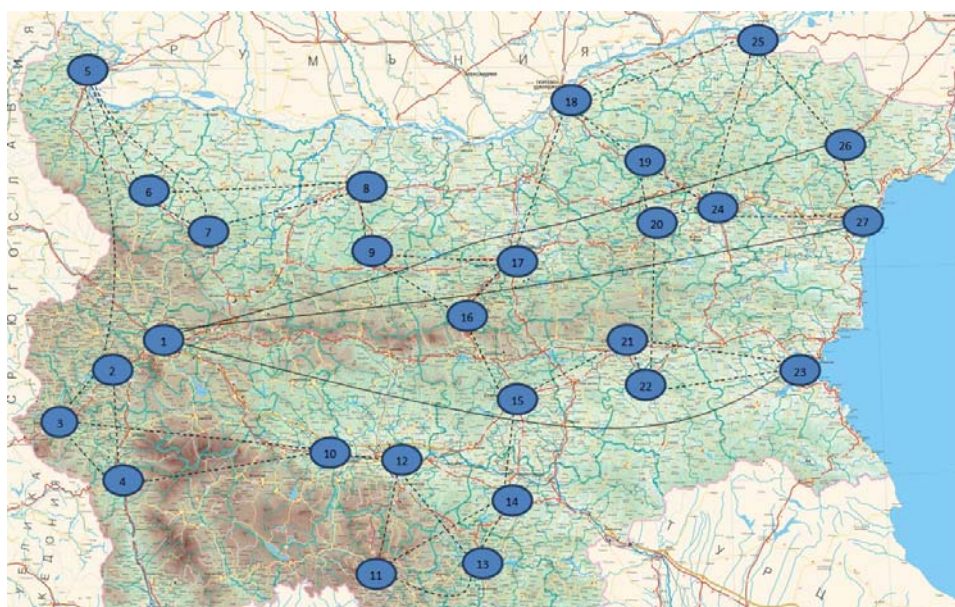
$$\min_x c^T x \text{ като } -A \cdot x_i \geq -b_j \quad (53)$$

където, x приема стойности 0 или 1.

В дисертационната работа е дефинирана задача с 27 възела. Съответствието на номера на променливата към съответната двойка възли е представено в таблица 3.7, а съответствието между номер на възел / клон, съвместим към прилежащия град е дадено в таблица 3.1.



Фигура 4.1 Модел с параметрично състояние едно за топологичен синтез на двата най-добри ПЪТЯ



Фигура 4.2 Модел с параметрично състояние две за топологичен синтез на трите най-добри ПЪТЯ

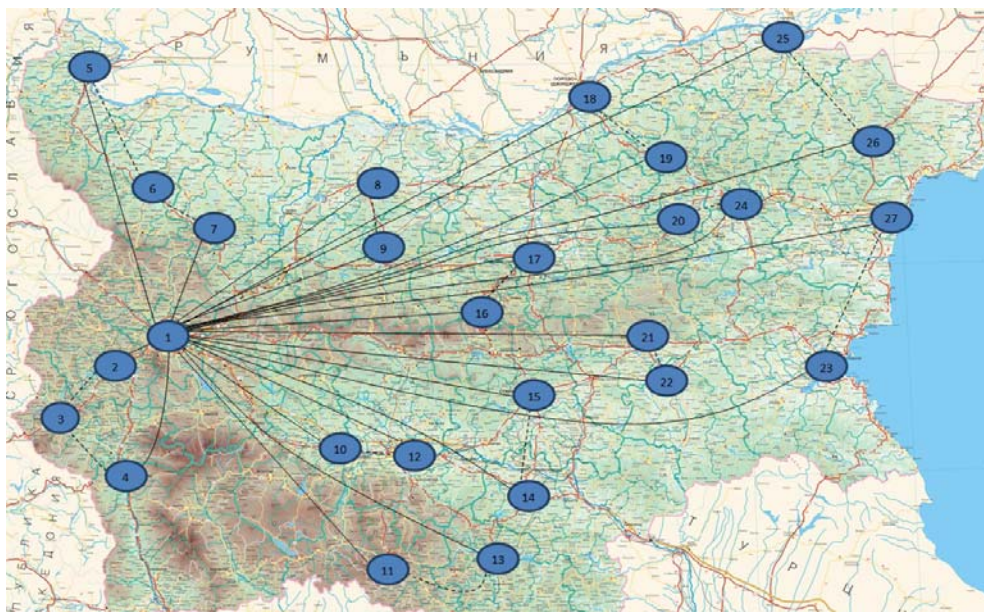
На първата фигура се вижда, че от настоящата мрежа тип „звезда“ остават само две връзки. Също така се забелязва, че се получава откъснатост на няколко групи възли от основната мрежа и поради тази причина, това параметрично състояние е неприложимо за целите на дисертационния труд.

На следващата фигура, от вече съществуващата мрежа остават три връзки. Няма откъснати възли от основната идея на мрежата (както се случва при предишното параметрично състояние), но се получава несиметричност, тъй като възел 1 няма връзка със съседните си точки, а е свързан с крайните такива - 23, 26, 27. Това параметрично състояние е приемливо с оглед цялостното разпределение на алтернативните пътища и тяхната взаимозаменяемост.

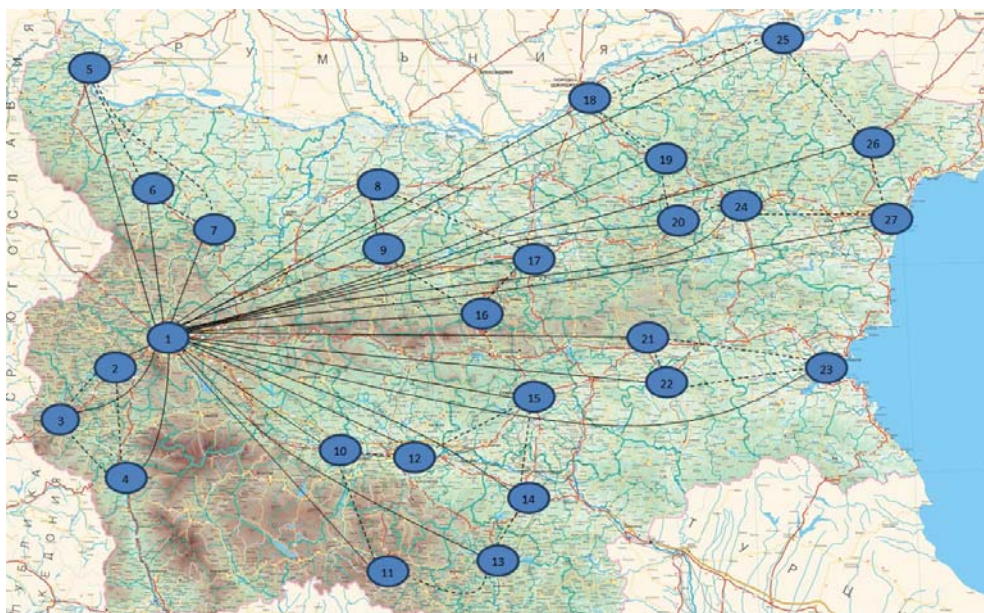
На база получените резултати, може да се направи извода, че параметрично състояние две е приемлив вариант в някаква степен, като възможен за подобряване на съществуващата комуникационна мрежа.

В трета секция се разглежда втори модел за количествен анализ на получените резултати. Тегловите коефициенти на съществуващата мрежа се взимат с минимална стойност, за конкретния случай се използва коефициент нула, което изразява, че вече изградената мрежа има твърда връзка с останалите крайни точки. Останалите теглови коефициенти се взимат съгласно таблица 3.3, които представляват теоретично изчислените стойности.

На фигура 4.3 е показан резултата от параметрично състояние едно за топологичен синтез на двата най-добри пътя, а на фигура 4.4, параметрични състояние две за топологичен синтез на трите най-добри пътя.



Фигура 4.3 Модел с параметрично състояние едно за топологичен синтез на двата най-добри пътя



Фигура 4.4 Модел с параметрично състояние две за топологичен синтез на трите най-добри пътя

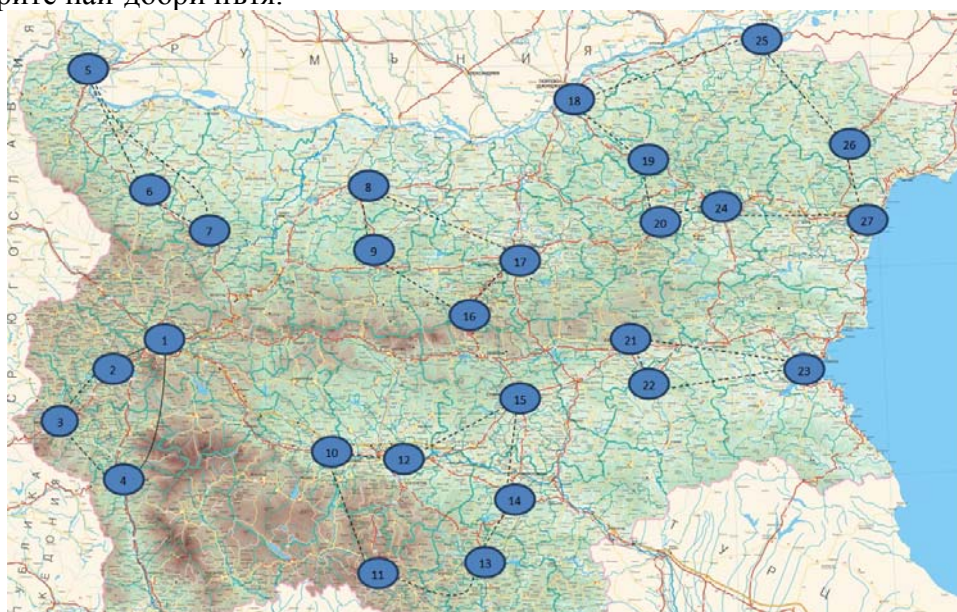
На първата фигура се вижда, че при параметрично състояние едно за този модел, въпреки зададени нулеви стойности на съществуващата мрежа, с цел запазване на всички налични връзки, на база получените резултати се премахват връзките между възли 1 и 3, както и между 1 и 6. Така получената мрежа не е приемлива, тъй като при прекъсване на централния възел, отново ще има срив във връзките между отделните клонове.

На втората фигура, при параметрично състояние две за модела и зададено топологично решение за минимум три алтернативни пътища, се запазват всички връзки на съществуващата мрежа. Така получената топология отново е неприемлива, тъй като при получаване на прекъсване в централния възел, ще се загуби комуникацията между отделните клонове, което ще породи срив и загуба на информационни ресурси.

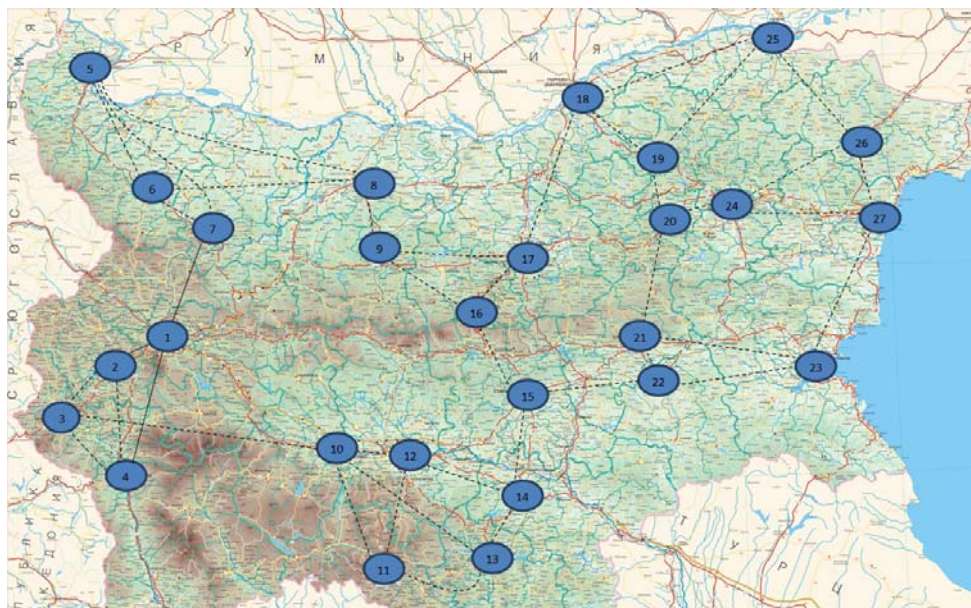
От получените резултати за този модел може да се направи извод, че той не е приложим да целите на дисертационния труд, тъй като не води до подобряване непрекъсваемостта на обслужването на информационните ресурси, както и не подобрява структурата на комуникационната мрежа с цел определяне на взаимнозаменяеми алтернативни маршрути.

В четвърта секция се разглежда трети модел за количествен анализ на получените резултати. Тегловите коефициенти на съществуващата мрежа се взимат съгласно таблица 3.3 от предходната глава, където са показани теоретично изчислените времезакъснения на всички определени възли.

На фигура 4.5 е показан резултата от параметрично състояние едно за топологичен синтез на двата най-добри пътя, а на фигура 4.6, параметрично състояние две за топологичен синтез на трите най-добри пътя.



Фигура 4.5 Модел с параметрично състояние едно за топологичен синтез на двата най-добри ПЪТЯ



Фигура 4.6 Модел с параметрично състояние две за топологичен синтез на трите най-добри пътя

На първата фигура се вижда, че при параметрично състояние едно за този модел, се получава разпокъсаност на мрежата, като полученият резултат води до шест, напълно самостоятелно обособени групи възли. Поради тази причина, получената топология на мрежа не води до подобряване на сегашната комуникационна структура и не може да се използва като алтернатива за осигуряване непрекъснатост на информационните потоци и услуги.

На втората фигура, при параметрично състояние две за модела, се постига достатъчно добър резултат, като няма откъснати възли, както се получава при предишното състояние. Възникват няколко критични възлови точки (между 1 и 7, 8 и 9, 3 и 10, 14 и 15 възли), но чрез подходящо планиране е възможно премахването им, посредством добавяне на допълнителни резервни канали за връзка. Това параметрично състояние е приемливо с оглед цялостното разпределение на алтернативните пътища и тяхната взаимозаменяемост.

На база получените резултати, параметрично състояние две за модела се явява подходящ за подобряване на съществуващата комуникационна мрежа.

В пета секция се извършва количествен анализ на получените резултати.

Сега съществуващата комуникационна мрежа тип „звезда“ води до прекъсване, пропадане и нестабилност за поддържане на постоянна връзка между отделните клонове и тяхната връзка един с друг.

След разработване на трите възможни модела със съответните им параметрични състояния, преминаваме към графично им изобразяване. За тази цел представяме 27-те възли в квадратна матрица (27 x 27), като всеки ред и колона отговаря на един възел (от 1 до 27). Максималният брой на възможните комбинации може да се изчисли по формула 54.

От общия възможен брой комбинации (351) са избрани само 111, означени по-горе с елементите от x_1 до x_{111} (таблица 4.1).

В таблица 4.2 са показани критериите, които се използват при оценка на трите сценария.

Таблица 4.2

A	Сума на връзките на даден възел с другите възли
Б	Сума на времезакъсненията на връзките на даден възел с останалите
В	Зависимост на системата от един възел
Г	Брой групи възли

Критерий А е сума на броя на връзките на даден възел, като не се включват съответните симетрични стойности, а само стойностите на връзките, надясно от главния диагонал. Критерий Б включва сума на времезакъсненията по връзките на даден възел,

представен на съответния ред с останалите възли. За получаване на сумата на времезакъсненията по критерий Б също не са включени съответните симетрични стойности, а само времезакъсненията по връзките, надясно от главния диагонал. В две последователни колони след всяка таблица са сумирани броя на връзките на дадения възел, представен на съответния ред, както и времезакъсненията (Сума А и сума Б). Двете суми А и Б не включват съответните симетрични стойности, а само стойностите на връзките, надясно от главния диагонал.

Към така определените два критерия добавяме допълнително критерий В (зависимост на системата от един възел) и критерий Г (брой групи възли).

В таблици 4.3 и 4.4 са показани получените резултати от двете параметрични състояния на първи модел. В първата таблица се получава обособяване на 5 групи на свързаност между възли, оцветени в пет различни цвята. Във втората таблица всички възли са свързани помежду си в една група, оцветена в един цвят.

При този модел, използвайки реално измерените времезакъснения за теглови коефициенти, за параметрично състояние едно, се получава откъснатост на отделни групи възли и по тази причина не може да бъде използвано за подобряване свързаността на мрежата. За параметрично състояние две на този модел се получава приемлив резултат, но недостатъкът е получаването на несиметричност, тъй като възел едно няма връзка със своите съседни точки, базирани на географски принцип. При това състояние се наблюдават и критични точки на достъп.

В таблици 4.5 и 4.6 са показани получените резултати от двете параметрични състояния на втори модел. И в двете таблици, всички възли са свързани помежду си в една група, оцветена в един цвят. Налице е пълна зависимост от възел 1, който е свързан с всички останали.

Освен свързаността между възлите, в таблиците са включени стойностите по двата избрани критерия А и Б. Както бе споменато по-горе, на всеки ред в колонка А са посочени броя на връзките на всеки възел с другите възли (без техните симетрични стойности). На всеки ред в колонка Б е посочена съответната сума от времезакъсненията на даден възел. Впоследствие резултатите от тези критерии ще бъдат използвани за сравнение на различните варианти и оценка.

Например, ако разгледаме първи ред, възел 1 е свързан с останалите 24 възела, без възел 3 и възел 6. Сумата на времезакъсненията е 0. На втори ред, възел 2 е свързан с възел 3 със стойност на времезакъснението 0,69. Тези резултати са отразени в последните две колонки (А, Б) на втори ред - съответно 1 и 0,69. Последователно разглеждаме трети ред и свързаността на възел 3 - съответно с възел 2 и 4. Но както посочихме, симетричните стойности се изключват от сумарните резултати в таблицата. По тази причина на трети ред, в колонка А е изписано само 1 (свързаността с възел 4) и съответното времезакъснение - 0,745. За всеки следващ ред по един и същи начин се получават стойностите за всеки възел, а на последния ред - техните сумарни стойности.

Съгласно получените резултати за двете параметрични състояния от втори модел, може да се заключи, че той не е подходящ за използване, поради запазване на настоящата структура и несиметричност на добавените нови връзки. Това би довело отново до липса на сигурна и надеждна връзка между клоновата мрежа в разглежданата структура.

В таблици 4.7 и 4.8 са показани получените резултати от двете параметрични състояния на трети модел. В първата таблица са обособени 6 групи на свързаност между възлите, оцветени в шест различни цвята. Във втората таблица, всички възли са свързани помежду си в една група, оцветена в един цвят.

Разглеждайки последния модел, параметрично състояние едно води до постоянна откъснатост между отделни групи възли и тази топология не е приложима, както останалите досега споменати състояния. При параметрично състояние две за този модел се постига най-оптимално топологично разположение на получените алтернативни пътища, въпреки някои критични точки.

Таблица 4.3

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	А	Б
1																							5,000				3,000	2	8,000
2			0,690	0,810																								2	1,500
3		0,690		0,745																								1	0,745
4		0,810	0,745																									0	0,000
5						0,920	1,115																					2	2,035
6					0,920		0,595																					1	0,595
7				1,115	0,595																							0	0,000
8								0,575										1,150										2	1,725
9								0,575									0,865											1	0,865
10											1,080	0,590																2	1,670
11											1,080		1,165															1	1,165
12											0,590			0,790														1	0,790
13												1,165			0,635													1	0,635
14												0,790	0,635															0	0,000
15															0,805						0,755							2	1,560
16														0,805		0,620												1	0,620
17								0,865																				0	0,000
18								1,150																		1,005		1	1,005
19																				0,590							2	1,245	
20																			0,590						0,655		1	0,615	
21														0,755								0,545					1	0,545	
22																						0,545		0,860			1	0,860	
23	5,000																					0,860					0	0,000	
24																												0	0,000
25																	1,005									0,850		1	0,850
26																									0,850	0,670	1	0,670	
27	3,000																									0,670		0	0
																											27	27,695	

Таблица 4.4

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	А	Б
1																							5,000			5,000	3,000	3	13,000
2			0,690	0,810	1,835																							3	3,335
3		0,690		0,745						1,370																		2	2,115
4		0,810	0,745							1,420																		1	1,420
5		1,835				0,920	1,115																					2	2,035
6					0,920		0,595	1,035																				2	1,630
7					1,115	0,595		0,940																				1	0,940
8						1,035	0,940		0,575																			1	0,575
9								0,575								0,770	0,865											2	1,635
10			1,370	1,420								0,590																1	0,590
11												0,890	1,165	1,265														3	3,320
12										0,590	0,890		1,040															1	1,040
13											1,165	1,040		0,635														1	0,635
14											1,265		0,635		0,710													1	0,710
15														0,710		0,805					0,755							2	1,560
16								0,770							0,805		0,620											1	0,620
17								0,865								0,620		0,945										1	0,945
18																	0,945		0,730							1,005		2	1,735
19																		0,730		0,590					0,655			2	1,245
20																				0,590		1,025		0,615				2	1,640
21														0,755								0,545	0,975					2	1,520
22																					1,025	0,545		0,860				1	0,860
23	5,000																					0,975	0,860					0	0,000
24																									0,975		0,845	2	1,820
25																		1,005							0,975	0,850		1	0,850
26	5,000																								0,850	0,670		1	0,670
27	3,000																								0,845	0,670		0	0
																												41	46,445

Таблица 4.5

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	А	Б
1		0,000		0,000	0,000		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	24	0,000
2	0,000		0,690																									1	0,690
3		0,690		0,745																								1	0,745
4	0,000		0,745																								0	0,000	
5	0,000					0,920																						1	0,920
6				0,920		0,595																						1	0,595
7	0,000				0,595																							0	0,000
8	0,000							0,575																				1	0,575
9	0,000						0,575																					0	0,000
10	0,000									0,590																		1	0,590
11	0,000										1,165																	1	1,165
12	0,000								0,590																			0	0,000
13	0,000										1,165																	0	0,000
14	0,000												0,710															1	0,710
15	0,000											0,710																0	0,000
16	0,000													0,620														1	0,620
17	0,000														0,620													0	0,000
18	0,000																0,730											1	0,730
19	0,000																0,730											0	0,000
20	0,000																						0,615					1	0,615
21	0,000																				0,545							1	0,545
22	0,000																				0,545							0	0,000
23	0,000																									1,050		1	1,050
24	0,000																			0,615								0	0,000
25	0,000																									0,850		1	0,850
26	0,000																								0,850			0	0,000
27	0,000																					1,050						0	0
																												38	10,400

Таблица 4.6

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	А	Б
1		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	26	0,000
2	0,000		0,690	0,810																								2	1,500
3	0,000	0,690		0,745																								1	0,745
4	0,000	0,810	0,745																									0	0,000
5	0,000					0,920	1,115																					2	2,035
6	0,000				0,920		0,595																					1	0,595
7	0,000				1,115	0,595																						0	0,000
8	0,000								0,575								1,075											2	1,650
9	0,000							0,575								0,770												1	0,770
10	0,000										1,080	0,590																2	1,670
11	0,000										1,080		1,165															1	1,165
12	0,000										0,590				0,910													1	0,910
13	0,000										1,165			0,635														1	0,635
14	0,000												0,635		0,710													1	0,710
15	0,000											0,910		0,710														0	0,000
16	0,000								0,770								0,620											1	0,620
17	0,000							1,075								0,620												0	0,000
18	0,000																	0,730							1,005			2	1,735
19	0,000																	0,730		0,590								1	0,590
20	0,000																			0,590				0,615				1	0,615
21	0,000																				0,545	0,975						2	1,520
22	0,000																				0,545		0,860					1	0,860
23	0,000																				0,975	0,860						0	0,000
24	0,000																			0,615						0,845		1	0,845
25	0,000																	1,005							0,850			1	0,850
26	0,000																								0,850	0,670		1	0,670
27	0,000																						0,845		0,670			0	0
																												52	20,690

Таблица 4.7

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	А	Б
1		0,555		0,880																							2	1,435	
2	0,555		0,690																								1	0,690	
3		0,690		0,745																							1	0,745	
4	0,880		0,745																								0	0,000	
5						0,920	1,115																				2	2,035	
6					0,920		0,595																				1	0,595	
7					1,115	0,595																					0	0,000	
8								0,575									1,075										2	1,650	
9								0,575									0,770										1	0,770	
10											1,080	0,590															2	1,670	
11											1,080		1,165														1	1,165	
12											0,590					0,910											1	0,910	
13												1,165															1	0,635	
14													0,635		0,710												1	0,710	
15												0,910		0,710													0	0,000	
16									0,770									0,620									1	0,620	
17									1,075								0,620										0	0,000	
18																			0,730						1,005	2	1,735		
19																			0,730		0,590					1	0,590		
20																				0,590				0,615		1	0,615		
21																						0,545	0,975			2	1,520		
22																						0,545	0,860			1	0,860		
23																						0,975	0,860			0	0,000		
24																					0,615					1	0,845		
25																				1,005					0,850	1	0,850		
26																								0,850	0,670	1	0,670		
27																							0,845	0,670		0	0		
																										27	21,315		

Таблица 4.8

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	А	Б
1		0,555		0,880			0,945																					3	2,380
2	0,555		0,690	0,810																								2	1,500
3		0,690		0,745						0,865																		2	1,610
4	0,880	0,810	0,745																									0	0,000
5						0,920	1,115	1,155																				3	3,190
6				0,920		0,595	1,035																					2	1,630
7	0,945			1,115	0,595																							0	0,000
8				1,155	1,035			0,575																				1	0,575
9								0,575							0,770	0,865												2	1,635
10		0,865								1,080	0,590	1,230																3	2,900
11									1,080		0,890	1,165																2	2,055
12										0,590	0,890			0,790														1	0,790
13										1,230	1,165			0,635														1	0,635
14												0,790	0,635		0,710													1	0,710
15														0,710		0,805						0,840						2	1,645
16								0,770							0,805		0,620											1	0,620
17								0,865								0,620		0,945										1	0,945
18																	0,945		0,730						1,005		2	1,735	
19																		0,730		0,590					1,055		2	1,645	
20																				0,590	1,060			0,615			2	1,675	
21																				1,060		0,545	0,975				2	1,520	
22														0,840							0,545		0,860				1	0,860	
23																					0,975	0,860				1,050	1	1,050	
24																				0,615					1,035	0,845	2	1,880	
25																1,005	1,055								0,850		1	0,850	
26																								1,035	0,850	0,670	1	0,670	
27																						1,050	0,845		0,670		0	0	
																											41	34,705	

Количественият анализ на трите модела със съответните параметрични състояния е представен в таблица 4.9 и представлява сравнение между стойностите на получените суми по двата критерия А и Б.

Таблица 4.9

Таблица	Модел	Параметрично състояние	А	Б	В	Г
4.3	Първи модел	Параметрично състояние едно	27	27,695	ниска	5
4.4	Първи модел	Параметрично състояние две	41	46,445	ниска	1
4.5	Втори модел	Параметрично състояние едно	38	10,400	висока	1
4.6	Втори модел	Параметрично състояние две	52	20,690	висока	1
4.7	Трети модел	Параметрично състояние едно	27	21,315	ниска	6
4.8	Трети модел	Параметрично състояние две	41	34,705	ниска	1

Съгласно получените резултати, таблици 4.5 и 4.6, които изобразяват втори модел с параметрични състояния едно и две, имат най-ниски стойности по критерий Б (сума на времезакъсненията) и липсват прекъсвания между възлите, но са силно зависими от един възел (възел 1).

Таблицы 4.3 (първи модел с параметрично състояние едно) и 4.7 (трети модел с параметрично състояние едно) са следващите две стойности по критерий Б (сума на времезакъсненията), но при тях са налице прекъсвания между възлите (съответно 5 и 6 обособени независими групи).

Таблицы 4.4 (първи модел с параметрично състояние две) и 4.8 (трети модел с параметрично състояние две) имат най-високи стойности по критерий Б, но липсват прекъсвания между възлите и зависимост от един възел. Следователно, най-добрият вариант за избор на разпределена мрежа се явява трети модел с параметрично състояние две, тъй като е с по-ниска стойност на сумата от времезакъсненията.

На база разгледаните три модела за подобряване непрекъсваемостта на комуникационното и информационно обслужване, както и качеството на доставяните услуги, може да се направи извода, че последния разгледан модел (трети модел с параметрично състояние две) е оптимален за получаване на приемливо ниво на алтернативни пътища, което ще доведе до непрекъсваемост и сигурност на информационния ресурс.

Приносът на дисертационния труд се състои в подобряване на комуникационната структура на разглежданата мрежа посредством направен топологичен синтез, което да доведе до осезателно намаляване на пропаданията и загуба на връзка между отделните крайни точки. Това води до оптимална свързаност и намаляване загубите на информационни ресурси вследствие подобряване отказоустойчивостта на предложената комуникационна мрежа.

Заклучение

За нуждите на дисертацията са анализирани 121 литературни източника, свързани с основните положения, методи, модели и алгоритми за формализиране на информационни и комуникационни потоци в мрежи чрез графи, необходими за преминаване на информационната мрежа от свързаност тип „звезда“ към двусвързана и трисвързана топология. Оценени са техните особености, предимства и недостатъци. Разгледани са проблемите за намиране на най-кратък път от един възел към всички останали възли в мрежи, за които цената на дъгата може да варира. Тези задачи имат влияние за определяне на оптимална топология на комуникационна мрежа. Направени са основни изводи на базата на проучените литературни източници.

Определени са чрез измервания и са анализирани пропускателната способност и времезакъсненията в мрежата при предаване на информационни потоци, като е оценено пропадането на връзка между двойка възли като характеристика на отказоустойчивостта на съществуваща комуникационна мрежа със свързаност тип „звезда“.

На базата на специализирана литература по този въпрос е синтезиран алгоритъм за определяне на теоретичните времезакъснения между възлите на добавените алтернативни

комуникационни канали и е дефинирана оптимизационна задача за определяне на свързаността на мрежата като са използвани резултатите от измерванията на времезакъсненията и пропаданията в комуникационната мрежа.

Решена е оптимизационна задача за определяне на структура на комуникационната мрежа като двусвързана и трисвързана. Анализирани са получаваните решения и е направен количествен анализ на получените резултати с цел постигане на непрекъсваемост на информационните потоци.

Посредством получените резултати от оптимизационната задача са разгледани и анализирани три модела за определяне на оптималния вариант за подобряване на съществуваща комуникационна мрежа. Направена е количествена оценка на получените резултати. На база топологичен синтез е избран най-добрият модел със съответно параметрично състояние за преминаване от съществуваща топология „звезда“ към разпределена трисвързана мрежа между отделните възлови точки с цел постигане на непрекъсваемост на информационните потоци.

Данните и измерванията в дисертацията са направени на реално съществуващата комуникационна мрежа, която се използва в практиката на фирма Информационно обслужване АД.

Приноси на дисертационния труд

Основните резултати имат научно приложен и приложен характер.

1. Анализирани са моделите за формализиране на информационни и комуникационни потоци в мрежи чрез графи и влиянието на топологията на мрежата. Оценени са техните особености, предимства и недостатъци. Разгледани са проблемите за намиране на най-кратък път от един възел към всички останали възли в мрежи, за които цената на дъгата може да варира.
2. Определени са чрез измервания и са анализирани пропускателната способност и времезакъсненията в мрежата при предаване на информационни потоци. Оценявано е пропадането на връзка между двойка възли като характеристика на отказоустойчивостта на съществуваща комуникационна мрежа със свързаност тип „звезда“.
3. Синтезиран е алгоритъм за определяне на теоритичните времезакъснения между възлите на добавените алтернативни комуникационни канали. Измерените и теоритично изчислени времезакъснения са използвани при дефинирането на задача за оптимален синтез на топология на мрежата.
4. Дефинирана е и е решавана оптимизационна задача за определяне на структура на комуникационната мрежа с 27 възела като двусвързана и трисвързана. Анализирани са получаваните решения. Направен е количествен анализ на получените резултати с цел постигане на непрекъсваемост на информационните потоци.

Бъдещи насоки за работа

На основание получения резултат от определената оптимална комуникационна мрежа, бъдещата работа ще продължи в няколко насоки:

- Следене състоянието и надеждността на мрежата за възникване на критични точки.
- Повишаване качеството на обслужване с оглед недопускане пропадания на връзката между възлите.
- Повишаване на продуктивността на мрежата с цел намаляване времезакъсненията.
- Повишаване на пропускателната способност на комуникационните канали.
- Анализиране на необходимостта от добавяне или промяна на определените алтернативни пътища на мрежата.
- Подобряване точността на алгоритъма за определяне на времезакъсненията при въвеждане на взаимнозаменяеми комуникационни връзки.

Публикации, свързани с дисертацията

1. Krasimir Trichkov, Elisaveta Trichkova, Elena Ivanova. Application Aspects of Web Services. E-learning Conference'07, Istanbul, Turkey, 27-28 August, 2007, ISBN: 978-975-6437-75-9, p. 167-171.
2. Krasimir Trichkov, Elisaveta Trichkova, Elena Ivanova. Integrated Information System Based on Web Services. International Conference on Computer Systems and Technologies - CompSysTech'2007, Rousse, Bulgaria, 14-15 June, 2007, ISBN: 978-954-9641-50-9, III.A.16-1 – III.A.16.5.
3. Trichkov Kr. Distributed Searching in Global Network. Preprints of the International IFAC Workshop DECOM-TT 2004, Automatic Systems for Building the Infrastructure in Developing Countries, Regional and Global Aspects, October 3-5, 2004, Bansko, Bulgaria, p.235-238, ISBN 954-9641-41-4
4. Trichkov Kr. Standardization Approach for Information Retrieval in WAN. Proceedings of the International Conference of Computer Systems and Technologies (e-learning), CompSysTech, 2004, Rousse, Bulgaria, 17-18 June, p.III.B.6-1-III.B.6-6
5. Trichkova E., K.Trichkov, Network management systems and security management in web services. Международна научна конференция "Информатика в научното познание 2008", 26-28 юни 2008 г., Варна, България, ISSN 1313-4345, p.194-204.
6. Trichkov K., Elisaveta Trichkova, Modeling and Execution on Web Services in the Web Information Systems, National Scientific Conference "Mathematics, Informatics and Computer Sciences"- St. Cyril and St. Methodius University of Veliko Tarnovo, Veliko Tarnovo, Bulgaria, 12-13 May, 2006, 184-189.
7. Елена Иванова, Тодор Стоилов, Красимир Тричков, Елисавета Тричкова. Защита на Web услуги в глобални мрежи. Конференция Автоматика и Информатика'07, 3-6 Октомври 2007, ISSN 1313-1850, стр. VI-35 – VI-38.
8. Елена Иванова, Тодор Стоилов, Красимир Тричков, Елисавета Тричкова, Съвременни информационни решения на Web услуги в глобални мрежи в интерес на сигурността. Научна поддръжка на трансформацията на сектора за сигурност, Академично издателство „проф. Марин Дринов” - БАН, 2006, София, ст. 172-183. ISBN-10: 954-322-175-8, ISBN-13: 978-954-322-175-2, ISBN-10: 954-91827-2-X, ISBN-13: 978-954-91827-2-9.

Научноизследователски проекти

Изследванията в дисертационния труд са част от получените резултати на следните научноизследователски проекти:

1. Международен проект по 6-та Рамкова програма на Европейската комисия, Информационно общество. Project EC FP6, program IST No. 027178 “Virtual Internet Service Provider VISP”
2. Договор за отпускане на финансова подкрепа за проект за мобилност по секторна програма „Леонардо да Винчи”. Програма „Учене през целия живот”. 2008-1-BG1-LEO03-00374. Тема „Обмяна на опит за иновационни приложения на решения за електронно обучение”.
3. Международен проект по програма „Обучение през целия живот” - ERASMUS. Договор с Европейската комисия: 142399-LLP-1-2008-1-BG-ERASMUS-ENW на тема: „ETN Teaching, Research, Innovation in Computing Education”.
4. The thematic Network Teaching, Research and Innovation in Computing Education - TRICE is established in accordance with the ERASMUS Programme of the EUROPEAN COMMISSION.
5. Европейски Социален Фонд 2007-2013 Г. Програма "Развитие На Човешките Ресурси" . Подкрепа на творческото развитие на докторанти, пост-докторанти и млади учени в областта на компютърните науки, BG 051PO001-3.3.04/13.

6. Проект 4ИФ-02-87/7.3.2008 „Интегриране на GPS функционалности в информационна система за оптимизиране на междуведомствени управленски дейности с приложение за координиране на специализирани служби” към Изпълнителна агенция за насърчаване на малките и средни предприятия - Министерство на промишлеността.

Библиография

1. Стоилов Т. Експериментална WAN и LAN мрежа за моделиране и оптимизация на трафик. Сборник доклади, Национална конференция с международно участие "Компютърни системи и технологии КомпСисТех'2000", 22-23 юни 2000, София. стр. IV-4.1-IV-4.5.
2. Deo N., Pang C.Y., "Shortest Path Algorithms: Taxonomy and Annotation," Networks 14 pp., 275-323 (1984).
3. Carlos J., M.Papageorgiou, C.Schaffner. Integrated Optimal routing and congestion control in packet-switched network. IFAC Symposium Large Scale Systems: Theory and Applications, Aug.23-25, 1992, Beijing China, Vol.1, p.59-64.
4. Стоилов Т. Оптимизация на достъпа до общ комуникационен канал. Национална конференция по Автоматика и информатика'98. Сборник доклади. *Симпозиум "Проблеми на информационните технологии"*, Том 1, София, 20-23 октомври 1998, стр. 9-12.
5. Наков О., Р. Трифонов, Г. Попов, П. Вачков, С. Манолов, Р. Йошинов. Мрежова и информационна сигурност. София, Изд. "Авангард Прима" – 2013, 367 стр. ISBN 978-619-160-183-7.
6. Castro J., N.Nabona. Nonlinear multicommodity network flows through primal partitioning and comparison with alternative methods. IFIP Conference on Systems Modeling and Optimization, Compiegne, France 5-9 July 1993,p.875-887.
7. Kirov G., Soft computing models for network routing, International Conference "Automatics and Informatics'2002", Sofia, Bulgaria, November 5-7.
8. Chen Z., T. Berger. Performance analysis of random routing algorithm for n-D connected networks. , TENCON'93 , Beijing, China, october 19-21 1993,p.233-236.
9. Huitema Chr. Routing in the Internet. Prentice Hall, New Jersey, 1995, 319 p.
10. Pitsillides A., J.F.Lambert, R.E.Warfield. A hierarchical control approach for broadband ISDN Communication networks. 13 IFAC Congress 1993, Sidney, Australia, vol.7, p.223-226.
11. Woo, S. H.,Yang S.B., An improved network clustering method for I/O-efficient query processing. In ACM-GIS, pages 62–68, 2000.
12. Shekhar S., Liu D.R., CCAM: A connectivity-clustered access method for networks and network computations. IEEE Trans. Knowl. Data Eng., 9(1):102–119, 1997.
13. Jiang B., I/O-efficiency of shortest path algorithms: An analysis. In ICDE, pages 12–19, 1992.
14. Tipper D., M. Sundareshan. Numerical Methods for Modeling Computer Networks under Nonstationary Conditions. IEEE Journal on selected area in communications, vol.8, N9, 1990, p.1682-1695.
15. Jing N., Huang Y.W., Rundensteiner E. A., Hierarchical optimization of optimal path finding for transportation applications. In CIKM, pages 261–268, 1996.
16. Kimura T. Approximations for the waiting time in the GI/G/S queue. Journal of the O.R.Society of Japan, 34, 1992, 2(June), p.173-186.
17. G. Spasov, "Future Internet Technology", Journal Automatics & Informatics, Year XLIII, № 3/2009, pp. 11-15, ISSN 0861-7562.
18. Стоилов Т. Проблеми при експериментирането в компютърни WAN и LAN мрежи. Международна Конференция "Автоматика и информатика '2000", 24-26 октомври 2000, Сборник доклади, т.1, Симпозиум Компютърни и комуникационни системи в

- приложения с повишена отговорност. Симпозиум Информационни технологии. София, стр.5-7.
19. Наков О., Р. Трифонов, Г. Попов, П. Вачков, С. Манолов, Р. Йошинов. Мрежова и информационна сигурност. София, Изд. "Авангард Прима" – 2013, 367 стр. ISBN 978-619-160-183-7.
 20. Ling S.T., Furuno K., Tezuka Y., Optimal Path in Networks with Time-Varying Traverse Time and Expenses Branches, Technological Reports of Osaka University, Japan (1972).
 21. Dochev, D., Yoshinov, R. Pavlov. (2000) An Open Distributed Computer Environment for Educational Telematics, in Proceedings of the EDEN Fourth Open Classroom Conference, Barcelona, Spain, November 19-21, pp.247-252.
 23. E.W. Dijkstra, A note on two papers in connection with graphs, Numeriske Mathematics 1 (1959) 269–271.
 24. R.W. Floyd, Algorithm 97: Shortest paths, Communications of the ACM 5 (1962) 345.
 78. Even S., Graph Algorithms, Computer Science Press, New York (1979).
 82. Громницкий В.С. Методы оптимизации, Курс лекций, Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского», Экономический факультет, Кафедра экономической информатики, УДК 65.012.122 (075.8) ББК Увбя73 Г 87
 105. N. Kakanakov, E. Kostadinova, G. Spasov, "Using SNMP for Remote Measurement and Automation", Proc. Conf. Electronics ET'07, 20-22 Sept 2007, Book 2, pp. 85-90, ISBN: 1313-1842.
 117. Л. Р. Форд, Д. Р. Фалкерсон, Поток с сетях, Издательство „Мир“, Москва, 1966.
 118. Л. С. Лэсдон, Оптимизация больших систем, Издательство „Наука“, Москва, 1975.
 119. Стоилов Т. Неитеративна координация в йерархични системи. Академично издателство на БАН, "Проф.М.Дринов", София, 1998, стр.272
 120. Д. Младенов, К. Стоилова, Т.Стоилов. Теория и практика на йерархичните системи. Издателство на Българската академия на науките, София, 1989.
 121. Stoilova K., T. Stoilov, R. Yoshinov. Predictive Coordination in Two Level Hierarchical Systems. WSEAS Transaction of Mathematics. Issue 3, Volume 3, July 2004. p.631-636.

Abstracts of Dissertations

Number 2, 2014

INSTITUTE OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES
BULGARIAN ACADEMY OF SCIENCES

БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ

ИНСТИТУТ ПО ИНФОРМАЦИОННИ И КОМУНИКАЦИОННИ ТЕХНОЛОГИИ

Брой 2, 2014

Автореферати на дисертации