

ПОДХОД ЗА АНАЛИЗ И МОДЕЛИРАНЕ НА НАДЕЖДНОСТТА НА МРЕЖОВАТА СВЪРЗАНОСТ ОТ ГЛЕДНА ТОЧКА НА ЕФЕКТИВНОСТ И НЕГОВАТА ПРИЛОЖИМОСТ

Цветелина Симеонова

APPROACH FOR ANALYSIS AND MODELING OF RELIABILITY OF NETWORK CONNECTIVITY FROM THE PERSPECTIVE OF EFFICIENCY AND ITS APPLICABILITY

Tsvetelina Simeonova

Резюме: Методите за анализ и оценка на надеждността могат да се използват във всяка фаза на проектиране на системата или компонента, включително разработване, експлоатация и поддръжка. Моделите, базирани на дърво на отказите FT и надеждностна блокова диаграма RBD (качествени и количествени), обикновено се използват за предоставяне на оценки за надеждност и готовността както за ранните, така и за по-късните етапи на проектирането, където моделите на системата са по-усъвършенствани и имат по-подробни спецификации в сравнение с моделите на ранния етап на системата. От друга страна, моделите, базирани на верига на Марков, се използват главно в по-късната фаза на проектиране. Цел на работата е да се дефинират начини за използване на методи за моделиране на надеждността, с последваща цел за анализ с отчитане на ефективността. Разгледан е подход за моделиране на мрежовата свързаност "от край до край", при различни резервирания на линиите за връзка. Резултатите са илюстрирани чрез графични съотношения при различни влияещи параметри, за различни начини за резервиране. Направен е сравнителен анализ при използване на различни начини за резервиране. Разгледана е практическата приложимост на предложения подход и извършения анализ, вкл. за целите на обучението.

Ключови думи: надеждностна блокова диаграма, надеждност от край до край, телекомуникационна мрежа

Abstract: Reliability analysis and assessment methods can be used at any stage of system or component design, including development, operation, and maintenance. Fault Tree-based models and reliability block diagram RBD (qualitative and quantitative) are typically used to provide reliability and readiness assessments for both the early and later stages of design, where system models are more improved and have more detailed specifications compared to the models of the early stage of the system. On the other hand, models based on the Markov Chain are mainly used in the later design phase. The aim of the work is to define ways to use methods for modeling reliability, with a subsequent goal for analysis taking into account the effectiveness. An approach for modeling the end-to-end network connectivity with different reservations of the connection lines is considered. The results are illustrated by graphical ratios at different influencing parameters, for different reservation methods. A comparative analysis was made using different reservation methods. The practical applicability of the proposed approach and the performed analysis, incl. for training purposes.

Keywords: reliability block diagram, end-to-end reliability, telecommunication network

1. Аналитични методи за моделиране на надеждността на комуникационни мрежи [1, 2].

Основните стъпки за оценка на надеждността на телекомуникационните мрежи (ТКМ) са: (1) Разработване на концептуален поведенчески модел на дадената система; (2) Дефиниране и изчисляване на показатели (например за надеждност и готовност); (3) Избор на методи и техники за моделиране на надеждност; (4) Избор на методи и техники

**ПОДХОД ЗА АНАЛИЗ И МОДЕЛИРАНЕ НА НАДЕЖНОСТТА НА МРЕЖОВАТА СВЪРЗАНОСТ
ОТ ГЛЕДНА ТОЧКА НА ЕФЕКТИВНОСТ И НЕГОВАТА ПРИЛОЖИМОСТ**

ЦВЕТЕЛИНА СИМЕОНОВА

за анализ на надеждността (аналитични, симулационни или формални методи). Различните широко използвани методи са дадени в сравнителен план в табл. 1.

Таблица 1. Широко използвани методи за моделиране на надеждността на ТКМ.

Същност на метода	Стъпки на анализ	Специфика при анализа
Надеждностна блокова диаграма RBD (Reliability Block Diagram)		
RBD са графични структури, състоящи се от блокове и съединителни линии. Блоковете обикновено представляват системните компоненти и връзката на тези компоненти се описва от съединителните линии. Входът се дава в единия край на RBD, а изходът се наблюдава в другия край. Системата е функционална, ако съществува поне един път с функционално изправни компоненти от вход към изход, в противен случай тя не работи.	Аналитичният процес на анализ на надеждността, базиран на RBD: (1) Логическо разделяне на системата на компоненти, като това разделяне може да се основава на функционално поведение или на реални връзки на компонентите в системата; (2) Изграждане на RBD; (3) Уточняване на вида на разпределение на отказите за всеки отделен компонент; (4) Надеждността на всеки компонент се използва, за да се определи надеждността или готовността на цялостната система.	Полученият графичен модел може да бъде използван за оценка на цялостната надеждност на системата, като се използва индивидуалната надеждност на компонентите. RBD моделите са широко използвани, тъй като представят сложни системи в опростена графична форма, за анализ на надеждността на ТКМ, вкл. безжични сензорни мрежи, ad-hoc мрежи, клетъчни мрежи, различни компютърни мрежи, облачни изчисления и енергийни мрежови комуникационни мрежи.
Дърво на отказите FT (Fault Tree)		
FT е графичен метод за моделиране, като при построяването му се задава нежеланото изходно събитие и се търсят причините, които могат да го породят. Тези причини за отказ в системата са представени под формата на логическа дървовидна йерархична структура, в която събитията се моделират посредством символи, а логическите елементи (логически символ за връзка) отразяват отношението между тях. Логическите елементи (ЛЕ) на дървото на отказите се използват за свързване на две или повече от причините, причиняващи един, резултативен отказ на изхода на логическия елемент по предписан начин.	При анализ чрез дърво на отказите всеки ЛЕ има свързан израз за вероятността за отказ, даващ еднозначно връзката между входни събития и изходно събитие. Последователността на анализа чрез FT включва следните стъпки: (1) Първата стъпка при процеса на анализ е изграждането на FT на дадената система. (2) Това е последвано от определяне на вероятността за отказ на базовите събития (и присвояване на разпределения), както и (3) идентифициране и оценка чрез т. нар. минимални сечения MCS (Minimal Cut Set). (4) Последната стъпка е оценка на вероятността за отказ на цялата система.	Освен RBD, FT е друга широко използвана техника за анализ на надеждността, която се използва основно за моделиране на зависимостта между отказите на компонентите на ТКМ и ефекта от това, отнесен към цялостния отказ на ТКМ. За да функционира правилно ТКМ, е от съществено значение нейните критични компоненти, т.е. компонентите, чийто отказ води до сериозно влошаване на работата на цялата ТКМ, да функционират правилно. Моделите на FT ни позволяват да наблюдаваме ефектите на отказа на тези мрежови компоненти върху общата надеждност на комуникационната система.
Марковска верига MC (Markov Chain)		
MC е стохастичен процес, който се състои от набор от	Основните стъпки, в процеса на анализ, са: (1) дефиниране	MC предлагат основана на състояния техника на

<p>състояния и дъги, които се използват за насочване на прехода от едно състояние в друго. Началното състояние s_i и вероятността p_{ij} представляват началното състояние и вероятността за преход съответно от състояние s_i към състояние s_j. Процесът започва от първоначално състояние, а преходите от текущото състояние в следващо състояние се осъществяват въз основа на вероятностите за преход, които зависят само от текущото състояние.</p>	<p>на събитията на отказ; (2) идентифициране на критични системни компоненти на разглежданата система; (3) определяне на основните елементи на Марковския модел относно критичните компоненти на системата; (4) приписване на вероятностите за отказ на тези основни елементи; (5) тъй като състоянията в модела на Марков са много на брой и следващата стъпка включва намаляване на пространството на състоянията. След моделирането, анализът започва с (6) дефиниране на вероятността за пребиваване на обекта в първоначалното състояние и след това стартиране на модела, за да се оцени (7) общата надеждност/готовност.</p>	<p>математическо моделиране, която е широко използвана за намиране на динамичното и вероятно поведение на ТКМ. Анализът започва с изграждането на модел, основан на състоянието на дадена ТКМ, марковски модел, който след това се анализира - или аналитично, или използвайки симулационни методи. Анализ на надеждността с помощта на МС е от най-често използваните подходи и се използва в различни домейни на ТКМ, вкл. свързани мрежи, ad-hoc мрежи, WSN (Wireless Sensor Networks), високоскоростни влакови мрежи и мрежови системи за съхранение. МС е широко използвана техника за моделиране на надеждността.</p>
---	---	---

Изводи. Критериите за избор на метод за моделиране за определена система зависят главно от вида на системата и проблемната област. Например, методът RBD се използва основно за анализ на успешната работа на системата, докато методът FT моделира връзката при отказ на системата поради отказ на отделен компонент. От друга страна, методът с верига на Марков дава широки възможности за анализ на разнообразни проблеми, но е ограничен при по-големи и сложни системи поради експоненциалното нарастване на броя на състоянията.

Като илюстрация на направения преглед на най-използваните методи за моделиране на надеждността на мрежовата свързаност от гледна точка на ефективност, ще разгледаме приложимостта на метода RBD като подход за оценка на мрежовата свързаност за различни топологии на ТКМ.

2. Подход за моделиране на надеждността и оценка на ефективността на мрежовата свързаност [3]

Под надеждност на ТКМ ще разбираме надеждност на цялостната комуникация между начална и крайна точка от мрежата (възли) с изграден един или повече канали за връзка между тях. Ефективността при този подход пряко ще зависи от резултатите за надеждността. ТКМ, независимо от използваните конкретни технологии, се състои от комуникационни възли и линии за връзка между тях. Представлява интерес, въз основа на метода RBD, да се направи подходящ анализ и оценка на влиянието на резервните линии за връзка (при различни мрежови топологии) върху надеждността и ефективността на функциониране на мрежата, като се използва метода на пълно обхождане за всяка от структурите. Класическият подход за определяне на надеждността на ТКМ, въз основа на математически модел на състоянията на нейните компоненти, изисква: - да се зададе

набор от състояния, в които могат да се намират елементите на изследваната система; - да се направи избор на показател/и, с които ще се оценява състоянието на изследваната ТКМ; - да се използва метод за изследване чрез който да се осъществява разчет на зависимостта на надеждностните характеристики на ТКМ чрез характеристиките на нейните компоненти; - да се определи степента на влияние на състоянията на компонентите (в структурата на съответната ТКМ) върху цялостното надеждностно състояние на ТКМ. Обслужването на трафика между крайните точки (предаващия и приемащия) се осъществява чрез преминаване през последователно свързани устройства. Всяко от тези устройства има определени характеристики, както технически така и свързани с надеждността.

При математическото моделиране и прогнозиране на характеристиките на дадена изследвана ТКМ, тя се представя като съвкупност от телекомуникационни устройства, съединени помежду си последователно и/или паралелно, а доколкото коефициентът на готовност (K_g) се явява вероятностна величина, то за определянето на K_g на ТКМ следва да се използва математическия апарат на теорията на вероятностите. Математическият модел на състоянията на компонентите (възли и преносна линия за връзка) на ТКМ включва две състояния - изправно и неизправно. Тъй като описваните системи (структури на ТКМ) са възстановими, при прехода към надеждности функции логическите променливи се заместват с коефициенти на готовност (неготовност) [2].

За да се увеличи надеждността на ТКМ, между възлите на връзката се добавя резервна връзка, с цел да обезпечи функционирането на ТКМ в случай на отказ както на линиите за връзка, така и на съответните междинни възли, които са свързани чрез тези линии. Използването на резервиране на линиите за връзка, по принцип води до по-сложна топология на ТКМ, в която вече по различен начин се отразява влиянието на възлите и линиите за връзка върху надеждностните характеристики на ТКМ като цяло. Към това следва да се добави и усложняване поради влиянието на времевите характеристики на използваните протоколи.

Всички разглеждани в примера топологии са представени формално като съставени от еднотипни възли и еднотипни линии за връзка. Стойностите на K_g на всички възли (K_{gv}) и на K_g на всички линии за връзка (K_{gl}) се приемат за константа и равни един на друг. По принцип K_g е граничната стойност (при $t \rightarrow \infty$) на вероятностната величина функция на готовност $\Gamma(t)$; за практическо използване се приема, че K_g на всеки от компонентите на КМ е крайна величина и оказва влияние върху общия K_g на ТКМ. В Табл. 2 са показани разглежданите топологии и аналитичните изрази които ги описват.

Табл. 2. Разглеждани топологии и съответстващите им аналитични изрази.

Топология 1 - линейна	
	$K_{g_{1-3}}^1 = K_{g_1} \times K_{g_{1-2}} \times K_{g_2} \times K_{g_{2-3}} \times K_{g_3}$ $K_{g_{1-3}}^1 = K_{g_3}^2 \times K_{g_1}^2$
Топология 2 - линейна, с резервирана линия за връзка	
	$K_{g_{1-3}}^{1+pp} = K_{g_1} \times \{1 - (1 - K_{g_{1-3}}) \times (1 - K_{g_{1-2}} \times K_{g_2} \times K_{g_{2-3}})\} \times K_{g_3}$ $K_{g_{1-3}}^{1+pp} = K_{g_3}^2 \times \{1 - (1 - K_{g_1}) \times (1 - K_{g_1}^2 \times K_{g_2})\}$
Топология 3 - линейна, с резервирани линии за връзка и допълнителна резервираща линия от край до край (нерезервирана)	
	$K_{g_{1-3}}^{2+pp} = K_{g_1} \times \{1 - [(1 - (1 - K_{g_{1-2/1}}) \times (1 - K_{g_{1-2/2}})) \times K_{g_2} \times (1 - (1 - K_{g_{1-3}}) \times K_{g_3})]\}$ $K_{g_{1-3}}^{2k+pp} = K_{g_3}^2 \times \{1 - [1 - K_{g_1}] \times [1 - K_{g_3} \times (1 - (1 - K_{g_1})^2)]\}$

Топология 4 - кръгова с допълнителна вертикална резервираща линия (нерезервирана)	
	$K_{r_{1-3}}^{K+BERP} = K_{r_1} \times \{1 - (1 - K_{r_{1-2}} \times K_{r_2} \times K_{r_{2-3}}) \times (1 - K_{r_{1-4}} \times K_{r_4} \times K_{r_{3-4}}) \times (1 - K_{r_{1-2}} \times K_{r_2} \times K_{r_{2-4}} \times K_{r_4} \times K_{r_{3-4}}) \times (1 - K_{r_{1-4}} \times K_{r_4} \times K_{r_{3-4}})\}$ $K_{r_{1-3}}^{K+BERP} = K_{r_3}^2 \times [1 - (1 - K_{r_1}^2 \times K_{r_3})^2 \times (1 - K_{r_1}^2 \times K_{r_3}^2)^2]$
Топология 5 - кръгова с допълнителна хоризонтална резервираща линия (нерезервирана)	
	$K_{r_{1-3}}^{K+XOP} = K_{r_1} \times \{1 - (1 - K_{r_{1-2}} \times K_{r_2} \times K_{r_{2-3}}) \times (1 - K_{r_{1-4}} \times K_{r_4} \times K_{r_{4-3}}) \times (1 - K_{r_{1-2}} \times K_{r_2} \times K_{r_{2-4}} \times K_{r_4} \times K_{r_{3-4}}) \times (1 - K_{r_{1-4}} \times K_{r_4} \times K_{r_{3-4}})\}$ $K_{r_{1-3}}^{K+XOP} = K_{r_3}^2 \times [1 - (1 - K_{r_1}^2 \times K_{r_3})^2 \times (1 - K_{r_1})]$
Топология 6 - линейна, с резервирани линии за връзка	
	$K_{r_{1-3}}^{2K} = K_{r_1} \times [1 - (1 - K_{r_{1-2}/1}) \times (1 - K_{r_{1-2}/2})] \times K_{r_2} \times [1 - (1 - K_{r_{2-3}/1}) \times (1 - K_{r_{2-3}/2})]$ $K_{r_{1-3}}^{2K} = K_{r_3}^3 \times [1 - (1 - K_{r_1})^2]^2$
Топология 7 - кръгова	
	$K_{r_{1-3}}^K = K_{r_1} \times [1 - (1 - K_{r_{1-2}} \times K_{r_2} \times K_{r_{2-3}}) \times (1 - K_{r_{1-4}} \times K_{r_4} \times K_{r_{4-3}}) \times (1 - K_{r_{1-2}} \times K_{r_2} \times K_{r_{2-4}} \times K_{r_4} \times K_{r_{3-4}}) \times (1 - K_{r_{1-4}} \times K_{r_4} \times K_{r_{3-4}})]$ $K_{r_{1-3}}^K = K_{r_3}^2 \times [1 - (1 - K_{r_1}^2 \times K_{r_3})^2]$

В конкретния случай ще определим влиянието на коефициента на готовност Кг на възел (Кгв) и на коефициента на готовност Кг на линия (Кгл) върху коефициента на готовност на мрежата Кг от край до край (табл. 3 и табл. 4). Получените илюстративни зависимости са дадени на фиг. 1 и фиг. 2.

Въз основа на табл. 1, параметрите на компонентите на търсените зависимости при резервиране на линии (както и за случай без резервиране), приемаме да са следните:

Зависимост	Кгв	Кгл
Влияние на Кгв	0,999;0,9999; 0,99999	0,9999
Влияние на Кгл	0,9999	0,999;0,9999; 0,99999

По принцип данните за състоянията и параметрите на елементите се получават на база на наблюдение и данни от литературата. Тези данни в частта на изследването, за целите на обучението, се анализират, като зависимост на състоянието на съответната КМ от състоянията на нейните елементи при различни топологични схеми, размери и състав на елементите.

**ПОДХОД ЗА АНАЛИЗ И МОДЕЛИРАНЕ НА НАДЕЖНОСТТА НА МРЕЖОВАТА СВЪРЗАНОСТ
ОТ ГЛЕДНА ТОЧКА НА ЕФЕКТИВНОСТ И НЕГОВАТА ПРИЛОЖИМОСТ**

ЦВЕТЕЛИНА СИМЕОНОВА

Таблица 3. Зависимост на Кг при различни топологии, от Кгв на възела

Кгв	0,999	0,9999	0,99999
Кг 1	0,99680360837	0,99950009997	0,99977001627
Кг 2	0,99800088026	0,99979998001	0,9999799792
Кг 3	0,99800090019	0,999800	0,9999799991
Кг 4	0,998000999924110536	0,9998000099997751799	0,999980000099995489175
Кг 5	0,9980009985633814845	0,99980000991003599400	0,999980000095590592170
Кг 6	0,99700297904	0,99970001	0,9999699803
Кг 7	0,99799956338	0,99979992003	0,99997995601

Таблица 4. Зависимост на Кг при различни топологии, от Кгл на линията

Кгл	0,999	0,9999	0,99999
Кг 1	0,99770162963	0,9995000997	0,99968003607
Кг 2	0,99979791161	0,99979998001	0,99980000881
Кг 3	0,99979990803	0,9998	0,999800009
Кг 4	0,999800009955078374703	0,999800009999775179	0,999800009999992801
Кг 5	0,999800005595919088562	0,9998000099100359940	0,9998000099998560338
Кг 6	0,99969803058	0,99970001	0,99970002979
Кг 7	0,99979560592	0,99979992003	0,99979999561



Фиг. 1. Зависимост на Кг при различни топологии от Кг на възела



Фиг. 2. Зависимост на Кг при различни топологии от Кг на линията

3. Заключение

При зададените стойности на Кгв и Кгл са получени зависимости за Кг при различни топологии на мрежата от край до край. Зависимостта за Кг при топология 1 (Кг1) е за сравнение, тъй като е без резервиране. При увеличаване на Кгв и Кгл, Кг расте при всички топологии, но по различен начин. Забелязва се, минимална разлика в надеждността между Кг4 и Кг5, като тези топологии осигуряват най-висока надеждност. При сложни топологии на реалните ТКМ с множество услуги, предложеният подход би могъл да се разшири (чрез разлагане или наслагване на подмрежи) с използването на вероятностни методи за сравнително определяне и оценка на надеждността (ефективността).

ЛИТЕРАТУРНИ ИЗТОЧНИЦИ (REFERENCES):

- [1] AHMED, Waqar, Osman HASAN, Usman PERVEZ, and Junaid QADIR. *Reliability Modeling and Analysis of Communication Networks* [online]. Semantic scholar. [viewed 02 June 2021]. Available from: <https://pdfs.semanticscholar.org/d90e/dec63702a9924876ff76d1cb29007856e236.pdf>
- [2] ХРИСТОВ, Христо и Венцислав ТРИФОНОВ. *Надеждност и сигурност на комуникациите: Учебник за техническите университети*. София: Нови знания, 2005. ISBN 954-931-543-6. ; Hristov H., V. Trifonov, Nadezhdnost i sigurnost na komunikatsiite. Novi znania, Sofia, 2005
- [3] РИНГЕНБЛЮМ, Павел Генрикович. *Совершенствование метода учета влияния угроз информационной безопасности на эффективность функционирования корпоративной телекоммуникационной сети* [диссертация]. [онлайн]. Новосибирск, 2016 [прегледан 02 юни 2021]. Достъпен на:

https://www.dissforall.com/_catalog/t8/_science/38/761824.html; Ringenblyum P.G. Sovershenstvovanie metoda ucheta vliyania ugroz informatsionnoy bezopasnosti na effektivnosty funktsionirovaniya korporativnoy telekommunikatsionnoy seti. Dissertatsia. Novosibirsk, 2016 g.
https://www.dissforall.com/_catalog/t8/_science/38/761824.html

Информация за автора:

ас. д-р инж. Цветелина Симеонова, ВТУ "Т. Каблешков", кат. СОТС, ул. Гео Милев 158, България,
ts.b.simeonova@abv.bg

Contacts:

Asist. Prof. Tsvetelina Simeonova, PhD, Todor Kableshkov High School of Transport, 158 Geo Milev St., Bulgaria,
ts.b.simeonova@abv.bg

Дата на постъпване на ръкописа (Date of receipt of the manuscript): 12.09.2020

Дата на приемане за публикуване (Date of adoption for publication): 27.09.2020