

Надеждност и оптимизиране на сложни системи

Петър П. Казаков

Abstract: *during the design phase of a product it could be assess the reliability of the system. Problem of how to meet the system requirements for reliability occurs when assessing the reliability itself does not meet its purpose. This question concerns the reliability of each level of the constituent components of a system. This report examines a general model for assessing the minimum reliability requirement and for numerous elements within the system.*

Key words: *reliability, distribution, optimization, system, design, distribution function, component*

ВЪВЕДЕНИЕ

Под надеждност трябва да се разбира свойството на обекта да запазва в установени граници значението на всички параметри, характеризиращи способността му да изпълнява изискващите се от него функции в зададените режими и условия на експлоатация, техническо обслужване, съхраняване и транспортиране.

Надеждността е проблем, чието разпределение и оптимизиране се разглежда от много автори. Въпреки, че по-голямата част от вниманието по този въпрос е обърнато на оптимизиране на разпределението на проблема, темата на доклада разглежда един по-различен подход към него.

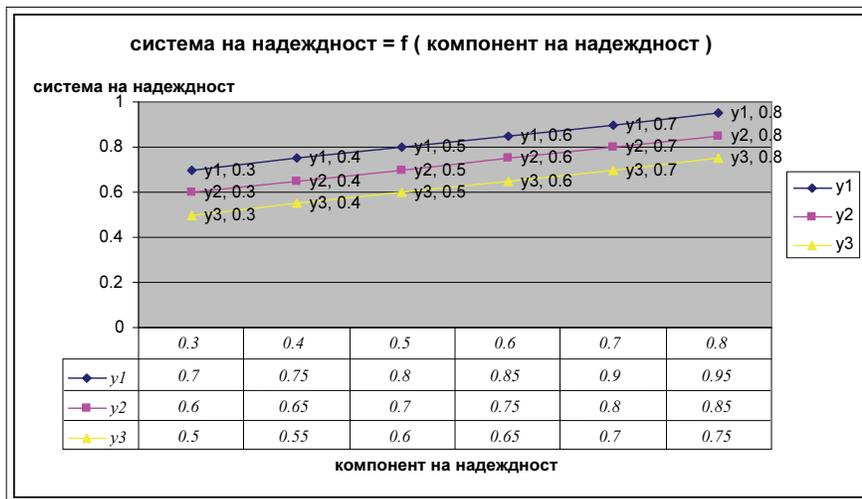
Вместо да се концентрира върху разпределението на надеждността, минималното изискване на системата ще бъде оценено, като целта е надеждността да се определи с минимален разход на факторите за установяване на компонентите на разпределението. Моделът разделя надеждността на компонентите на една система в съответствие с разходите за повишаване на надеждността. Най-скъпите компоненти (разгледани заедно с разходите представляващи обем от работата, теглото или всеки друг параметър необходим за подобряване на компонентите) ще доведат до най-ниски разходи за увеличаване на надеждността. Има няколко метода за решаването на този тип разпределение на проблема и ние можем да ги употребим за получаване на добри резултати. Повечето от тях са ограничени в обикновени системи, включващи експоненциални функции.

ИЗЛОЖЕНИЕ

С разглеждания метод за повишаване на надеждността може обекта да се разпредели на компоненти за всеки тип система (сложна или не) и да се предпази от смесване от неправилно разпределение на компонентите ѝ. Въпреки, че имаме нелинейно програмиран, формулирането на проблема е предложено в миналото от няколко автори [1, 5 и 8]. Всеки един от тях очаква неговия метод да бъде с широка приложимост и да бъде използван от инженерите занимаващи се с надеждността. Два основни фактора са допринесли за тази ситуация.

На първо място, модела изисква от системата за анализ на надеждността да се състави уравнение, което да я третира като суровина. Въпреки, че това не представлява голяма сложност този проблем, който представя простите системи, може да предизвика доста трудности и да изиска много време (превърщайки го в сложна система). От друга страна модела изисква също така да се знаят разходите, като функция от общия брой на компонентите на надеждността под формата на ресурс, а това не винаги е на разположение на анализаторите. Този проблем се разглежда от инженерите по надеждност, чрез въвеждане на общи математически формули за необходимите функции на разходите. Тези математически модели зависят от определени параметри, които трябва да бъдат предоставени от анализаторите по надеждност. Преброяването на тези параметри в много от

случаите не е лесна задача. Въпреки това, тъй като някои от тези параметри са константи, те нямат отношение към надеждността. Чрез тези недостатъци трябва да се опитаме да формулираме проблема на разпределението като нелинейно програмиране. Значителен напредък по прилагането на този модел е постигнато чрез предлагане на масовия пазар на софтуер за поддържане и анализ на системата, която се занимава с повишаване на надеждността (СПАСПН). СПАСПН осигурява на системата уравнения (прости или сложни) аналитична надеждност. Тези уравнения могат да бъдат отнесени директно като принос към оптимизацията на алгоритъма, обезпечавач СПАСПН. На второ място, проблемът за разходите (които ще вложим, за да повишим надеждността) представени като функция, се извършва чрез съчетание на обща зависимост от всички направени разходи. Разпределението на надеждността като проблем за решаване е от голямо практическо значение. Инженерите по надеждността трябва да вземат решения за това, дали да се подобри определена компонента (или компоненти), за да се постигне минимално изискване по отношение на надеждността на системата. Например : необходимо да се създаде система състояща се от три компонента, свързани в система надеждност, която трябва да има минимално изискващо се ниво на надеждност. Това изискване към системата може да се покаже като серия от надеждностите на N -броя компонента (за пример да приемем 3 компонента) и надеждността на всеки един от компонентите да е 0,5, 0,6 и 0,7 съответно. Така надеждността на системата ще бъде 0,21. Да допуснем, че един от компонентите на надеждността на системата е 0,5. Ако това е външния вид (напр.- дизайн) на продукта явно е, че стойност от 0,5 не е достатъчен. Оттук възниква и въпроса – как може да бъде повишена надеждността на компонента (дизайна). Повишаването на надеждността не е самоцел за постигне на нивото ѝ само с една съставка. Възниква и въпроса-възможно това повишаване да стане само с подобряването на един компонент и би ли могло да се получи по-добра надеждност с участието на два компонента? Ако може, то тогава следва да се запитае - кои са тези два компонента? И какъв ще е резултатът, ако се подобрият и трите компонента?



Фиг. 1 – пресечна точка на системата на надеждност с компонентата

Фиг. 1 илюстрира един типичен пример за вземане на решение в този случай. Въвеждането на обща математическа формулировка на разходите за повишаване на надеждността (РПН) като функция, има експоненциална форма. Тази функция играе негативна роля за увеличаване на надеждността на компонентите. Общата система на разходите (за да бъдат сведени до минимум, което е целта на функцията) се приема, като се сумират разходите на всеки един компонент.

В настоящата статия въпроса за надеждността и нейната оптимизация чрез разпределение на ниво компоненти е представен в обща светлина.

Проблемът е представлява нелинейно програмиране в едно общо уравнение:

$$c_i(R_i, f_i, R_{i \min}, R_{i \max}) = e^{\left[(1-f_i) \cdot \frac{R_i - R_{i \min}}{R_{i \max} - R_i} \right]} \quad (1)$$

Във формула (1) елементите на системата включват:

$C_i(R_i)$ – разходи за компонент (подсистема);

R_i – надеждност на компонент (подсистема);

n – брой на компонентите в рамките на разглежданата система в оптимизация;

$R_{i \min}$ – минимална надеждност на компонент (подсистема);

$R_{i \max}$ – максимална надеждност на компонент (подсистема).

f_i – възможност за повишаване на надеждността на даден компонент (подсистема);

R_G – цел на системата на надеждност.

Във връзка с горното правим някои от следните допускания :

1. приемаме за даденост функцията на надеждността на системата и РПН;
2. всички системи се състоят от S -независими компонента (подсистеми);
3. системата и нейните компоненти (подсистеми) могат да се свържат с две организации (фирми, заводи за производство на даден продукт), т.е. те имат стратегическа, а не оперативна стойност;
4. общата цена на системата е обобщение на отделния компонент (или разходи по системата).

Формулиране на модела

Нека да разгледаме дадена система, състояща се от S компонента. За тази система се изисква да притежава голяма надеждност. Целта е да се разпредели надеждността на всички или на някои от компонентите на системата, за да се получи висока надеждност с най – малко разходи. Този проблем е формулиран като нелинейна функция, видно от следната формула :

$$P_{\min} \rightarrow C = \sum_{i=1}^n c_i(R_i); \quad R_s \geq R_G, \text{ откъдето } R_{i \min} \leq R_i \leq R_{i \max}, \quad (2)$$

при $i = 1, 2, 3, \dots, n$

Тази формулировка има за цел да постигне минимална обща стойност на системата за разходите, предмет на R_G и е с по-ниска граница на системата на надеждност. Първата стъпка ще бъде да се получи в системата аналитична функция на надеждността (по отношение на компонент–надеждност). Съществуват няколко метода за получаване на уравнение за надеждността [3].

В източника [3] са разгледани подробно новите налични BlockSimTM сортуерни поддръжки, които могат да бъдат използвани за функционално решаване и анализиране на системата за надеждност.

Следващата стъпка е да се получи връзка за разходите на всеки компонент, като функция от неговата надеждност. Обикновено тази връзка е емпирична. Тя може да се получи по един от следните начини – въз основа на минал опит и/или данни за подобни компоненти. В много случаи обаче, второто е трудно да се набави като информация (поради естеството на предназначение на всеки продукт, освен ако не е от едно и също експлоатационно място). За да се преодолее този проблем, се изследва общото поведение на разходите, като функция на компонента за определено време.

Проучването на разходите като функция на надеждността формулира следните изводи:

1. цената (РПН) е функция на редица подобрения и се явява разлика между компонента на първоначалната надеждност и постигането съответно на максимална надеждност;

2. цената нараства от зададената първоначално надеждност и става максимална до достигането на максималната надеждност;

Преди започване на даден проект параметърът „ възможност за увеличаване на надеждността ” е константа, която ни дава представа за трудностите при увеличаване на надеждността на един компонент в сравнение с останалата част от компонентите на системата.

В зависимост от сложността на проектиране, технологични ограничения и т.н., някои компоненти могат трудно да се подобрят в сравнение с другите такива в системата. Ясно е, че колкото по-трудно се постига подобряването на надеждността на компонентите (подсистемата), толкова по-голям е разхода за това (РПН). Проучването на ефекта на осъществяемостта на разходите ни дава представа, че при намаляване на този ефект, съответно и функцията по-бързо отива към безкрайност.

Експоненциалното поведение на цитираната по-горе функция видно от фиг.2 съдържа три параметъра – f_i , $R_{i \min}$, и $R_{i \max}$. Първия параметър f_i представлява възможност за увеличаване на компонента „надеждност”. Той ще приема стойности от 0 до 1. Втория параметър $R_{i \min}$, е началната стойност на i -ия компонент, получена в началото на отказа на този компонент за определено време. Третия параметър $R_{i \max}$ представлява максималната достигната надеждност на същия този i – ти компонент. Напр.– да приемем , че даден компонент (фиг. 2) има първоначална надеждност 70%, при разходи 0.2 единици , а максимална надеждност достига до 99 %, при което вече разходите са 8.03 единици.

Предложената функция на разходите по формула (2), трябва да отговаря на следните изисквания:

- цената е една монотонно увеличаваща се функция на надеждността;
- разходите за постигане на висока надеждност да са много високи;
- разходите за постигане на ниска надеждност съответно да са ниски;
- производната на разходите по отношение на надеждността е монотонно увеличаваща се функция на надеждността.

Показанието на (2) е безразмерна величина. По същество това обаче е един „тегловен „коэффициент, който ни дава представа за проблемите, които се срещат при увеличаване на компонента надеждност, тръгвайки от началната му стойност.

На фиг.2 се вижда промяната на разходите като функция на надеждността:



Фиг. 2 – изменение на разходите като функция на повишаване на надеждността

От тази характеристика (фиг.2) могат да се направят следните изводи :

1. цената на разходите нараства с повишаване на надеждността, като тръгва от минимална надеждност и се доближава до максималната надеждност;
2. цената на разходите е функция на редица подобрения, която е разлика между компонента на първоначалната надеждност и съответните максимални стойности на достигнатата надеждност;
3. експонентата компонент на надеждност на фиг. 2 достига безкрайност като за максимална надеждност. Това означава например, че е по-лесно да се повиши надеждността на един компонент от 70% на 75%, което ще доведе до повишаване на надеждността от 95% до 96%.

Предпроектно анализиране на компонента свързан с надеждността

Параметърът „възможност,“ е константа, която представлява преодоляване на възникващите проблеми при увеличаване на надеждността на един компонент (или подсистема) в сравнение с останалата част от компонентите в системата. В зависимост от сложността на проектиране, технологичното оборудване, технологичните ограничения и т.н., надеждността на някой от компонентите може да бъде подобрена много трудно, в сравнение с другите компоненти на системата. Ясно е, че колкото е по-трудно е да се подобри надеждността на компонента (системата), толкова и разхода за това е по-голям, нараства РПН. При анализиране на ефекта на осъществяемост на разходите като такива се вижда, че по-ниската стойност на осъществяемостта води до по-бързо нарастване на функцията на разходите и тя достига безкрайно големи стойности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящата статия проблема на системата засягаща надеждността и оптимизацията ѝ чрез разпределение на ниво компоненти са изложени принципно и кратко. Използването на функцията за намиране на тези разходи, като метод е лесен за използване, тъй като тя не е сложна и в формата ѝ съществуват

параметри, които лесно могат да бъдат измерени количествено. В нелинейното програмиране, част от модела може да се използва и за други функции на разходите. При едни по-нататъшни и по-задълбочени изследвания трябва се обърне внимание за получаването на такива функции на база на действителните данни за разходите. Като предимство на модела може да се каже, че той позволява да се прилага за всяка една система с по-висока сложност (или усложненост). Метода е в сила както за малки, така и за широкомащабни системи. Представената методология е един много добър инструмент за подпомагане на инженерите по надеждност при вземане на решения. След това те могат да вземат решения и да планират начини за постигане на целевия минимум изискващ надеждност за всеки един от компонентите на системата .

ЛИТЕРАТУРА

1. Aggarwal, K. K., and J. S. Gupta, "On minimizing the cost of reliable systems," *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. R-24, No. 3, pp. 205 (1975).
2. D. L. Fugate, "A Reliability Allocation Method for Combination Serial-Parallel Systems," *Proceedings of the Annual Reliability & Maintainability Symposium*, 1992, pp. 432-435.
3. Kececioğlu, Dimitri, *Reliability Engineering Handbook, Volume 2*, PTR Prentice Hall, 1991.
4. Leemis, L. M., *Reliability, Probabilistic Models and Statistical Methods*, Prentice-Hall, 1995.
5. Misra K. B., and Sharma, Usha, "Multicriteria optimization for combined reliability and redundancy allocations in systems employing mixed redundancies," *Microelectronics and Reliability*, Vol. 31, No 2, pp. 323-335, 1991.
6. Rice, F. Wanda, Cassady, C. Richard, and Wise, R. Tracy, "Simplifying the solution of redundancy allocation problems," *Proceedings of the Annual Reliability & Maintainability Symposium*, 1999, pp. 190-194.
7. ReliaSoft's BlockSim 1.0, www.ReliaSoft.com/BlockSim.
8. Tillman, Frank A., Hwang, Ching Lai, and Kuo, Way, *Optimization of Systems Reliability*, Marcel Dekker, Inc., 1980.
9. Бусленко Н.П. Математическое моделирование производственных процессов .М."Наука " ,1964 .
10. Гненденко б. В. , Беляев Ю. К. , Соловьев А.Д. Математические методы в теории надежности. М. " Наука " 1965 .

За контакти :

гл. ас. инж. Петър П. Казаков – Тракийски университет – Стара Загора – Технически колеж – Ямбол , тел.0878 – 579738 , e-mail : peter_yb@abv.bg

Докладът е рецензиран.