

<https://doi.org/10.31891/2219-9365-2025-81-10>

УДК 681.324

БАРАБАШ Олег

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

bar64@ukr.net

КОПІЙКА Олег

Науково-дослідний інститут прикладних систем управління НАН України

okopyuka@gmail.com

МАКАРЧУК Андрій

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

makarchukandriy1999@gmail.com

ДИНАМІКА ЗМІНИ ЙМОВІРНОСТІ ЗВ'ЯЗНОСТІ РОЗПОДІЛЕНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ В ЧАСІ З УРАХУВАННЯМ ВИПАДКОВОГО ВПЛИВУ НА ЕЛЕМЕНТИ

Проектування та подальші впровадження та експлуатація інформаційних систем є невід'ємним елементом вирішення багатьох прикладних задач сьогодення. Особливо цікавим та актуальним в ряді ситуацій є випадок, коли умовами передбачається, що розроблена інформаційна система буде працювати в автономному режимі тобто, другими словами, без втручання людей або їх втручання можна вважати несуттєвим. На фоні цієї обставини стає особливо важливим дослідження функціональної стійкості інформаційної системи. На даний момент розроблено чимало методів чисельно оцінити функціональну стійкість системи. Ці методи часто називають показниками функціональної стійкості. До них можна віднести, для прикладу, ймовірність зв'язності, степінь реберної та вершинної зв'язності та багато інших. Однак, головним їх недоліком є можливість оцінити функціональну стійкість лише в певні моменти експлуатації, тим часом коли на етапі проектування може бути критично необхідним їх представлення як функції від часу. Така необхідність нерідко виникає, наприклад, при необхідності вивчення динаміки деградації спроектованої інформаційної системи. На даний момент є математично обґрунтовані спроби представити деякі показники функціональної стійкості як функції від часу, однак, ці спроби, не передбачають можливості врахування можливих випадкових впливів на елементи розглядуваної інформаційної системи або на інформаційну систему загалом. В даній роботі робиться спроба узагальнення результатів представлення ймовірності зв'язності як функції від часу на випадок, коли завантаженість кожного з елементів є не строго детермінованою величиною, змінною з часом, а випадковим процесом з нормальним розподілом в кожний момент часу. Розглянуто випадок, коли відомо, що середнє та середньоквадратичне відхилення завантаженості елементів інформаційної системи є періодичними функціями з наперед відомим періодом, а також відоме їх значення в певні моменти часу на протязі періоду.

Ключові слова: показники функціональної стійкості, інформаційні системи, програмне забезпечення, випадкові процеси, інтерполяція, ряди Фур'є.

BARABASH Oleg

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

КОПІЙКА OLEG

Institute of applied control systems of the National Academy of Sciences of Ukraine (IACS NAS od Ukraine)

МАКАРЧУК Andriy

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

DYNAMICS OF CONNECTIVITY PROBABILITY OF DISTRIBUTED INFORMATION SYSTEM CHANGE OVER TIME CONSIDERING RANDOM INFLUENCE ON ELEMENTS

The design, subsequent implementation, and operation of information systems are integral elements in solving many applied problems today. Particularly relevant and interesting in several situations in the case where conditions dictate that the developed information system will operate autonomously—that is, without human intervention or with only negligible human involvement. Against this backdrop, studying the functional reliability of an information system becomes especially important.

Numerous methods have been developed to quantitatively assess a system's functional reliability. These methods are often referred to as functional reliability indicators and include, for example, connectivity probability, edge and vertex connectivity degree, and many others. However, their primary drawback is that they only allow an assessment of functional reliability at specific moments of operation. Meanwhile, during the design phase, it may be critically necessary to represent them as functions of time. Such a necessity often arises, for example, when studying the degradation dynamics of a designed information system.

Currently, there are mathematically grounded attempts to represent some functional reliability indicators as time-dependent functions. However, these attempts generally do not account for possible random influences on individual elements of the information system or on the system as a whole. This paper attempts to generalize the representation of connectivity probability as a time function to the case where the load on each element is not a strictly deterministic variable changing over time but rather a random process with a normal distribution at each moment in time. The study considers a scenario where it is known that the mean and standard deviation of element loads in the information system are periodic functions with a predetermined period, and their values are known at specific moments throughout the period.

Keywords: functional reliability indicators, information systems, software, random processes, interpolation, Fourier series.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ У ЗАГАЛЬНОМУ ВИГЛЯДІ ТА ЇЇ ЗВ'ЯЗОК ІЗ ВАЖЛИВИМИ НАУКОВИМИ ЧИ ПРАКТИЧНИМИ ЗАВДАННЯМИ

Використання інформаційних систем, зокрема, в автономному режимі є досить актуальною задачею. В даному випадку досить важливим етапом проектування необхідної інформаційної системи є дослідження динаміки її деградації з часом.

Вирішити дану проблему можна шляхом представлення того чи іншого показника функціональної стійкості [1, 2] як функції від часу та використання цієї функції в імітаційному моделюванні. Однак, головною проблемою є те, що таке представлення розроблене лише для ймовірності зв'язності [2], але воно не передбачає можливості врахування випадкових впливів на елементи інформаційної системи. В даній же роботі робиться узагальнення цього результату на випадок, коли завантаженість кожного елемента є випадковим процесом з нормальним розподілом в кожен момент часу, причому, за умови, що середнє та середньоквадратичне відхилення як функції часу є періодичними з відомим періодом T .

АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЙ

Розгляд, дослідження та подальше застосування різних показників функціональної стійкості інформаційних систем є досить актуальною проблемою, якою науковці займаються не один рік. Так, наприклад, уже в таких роботах як [1, 2] розглядається цілий ряд вже розроблених показників та наводяться приклади їх можливого застосування. Як виявилось з часом, необхідність у застосуванні розроблених показників функціональної стійкості інформаційних і не тільки систем. Так, наприклад, робота [1, 3] демонструють можливе застосування цих показників в авіації. В ряді робіт, як от [4], показане застосування показників функціональної стійкості в електроніці. Однак, попри широкі можливості використання показників функціональної стійкості, є сенс і в їх більш фундаментальному дослідженні.

Деякі показники функціональної стійкості досліджені не лише з точки зору можливого застосування, а й зі сторони більш фундаментального рівня, і особливий інтерес в цьому плані викликає так звана ймовірність зв'язності тобто ймовірність передачі інформації між вибраною парою машин. Одним із найбільш цікавих фундаментальних питань, що стосуються ймовірності зв'язності, є можливість оцінювання цієї ймовірності. Як показано в [2, 5, 6], зазвичай для цього використовуються різні підходи, основані на теорії графів. Як показують експерименти, такі підходи для оцінки ймовірності зв'язності часто дають досить хороші оцінки. Також не менш цікавим питанням є можливість розгляду ймовірності зв'язності як функції часу, яке частково вирішено в [7]. Однак, підхід, представлений в даній роботі, не враховує можливих негативних впливів на елементи інформаційної системи, що може призвести до некоректних прогнозів при моделюванні та симуляціях. В даній роботі робиться спроба узагальнити опис ймовірності зв'язності як функції часу, описаний в [7], яке в комбінації з методами наближення періодичних функцій [8-11] частково усунути указану проблему.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Розглянемо високонавантажену інформаційну систему з n машин. Вважатимемо, що згідно з законом великих чисел завантаженість i -тої машини v_i в довільний момент часу t має нормальний розподіл, причому, відомо, що середня завантаженість становить $a_{v_i} = a_{v_i}(t)$ відсотків, а середньоквадратичне відхилення становить $\sigma_{v_i} = \sigma_{v_i}(t)$ відсотків.

Розглянемо дві функції

$$\varphi_+(v_i, t) = a_{v_i}(t) + 3\sigma_{v_i}(t), \quad (1)$$

$$\varphi_-(v_i, t) = a_{v_i}(t) - 3\sigma_{v_i}(t). \quad (2)$$

А також їх первісні

$$\tilde{\varphi}_+(v_i, t) = \int \varphi_+(v_i, t) dt = \int (a_{v_i}(t) + 3\sigma_{v_i}(t)) dt, \quad (3)$$

$$\tilde{\varphi}_-(v_i, t) = \int \varphi_-(v_i, t) dt = \int (a_{v_i}(t) - 3\sigma_{v_i}(t)) dt, \quad (4)$$

Таким чином, використовуючи правило трьох сигм та результати роботи [7], можна стверджувати, що ймовірність справності i -тої машини v_i в довільний момент часу $p_{v_i} = p_{v_i}(t)$ залежно від завантаженості можна оцінити зверху та знизу за допомогою подвійної нерівності

$$\begin{aligned} \min \left(\min \left(1, \bar{p}_{v_i} e^{K_{v_i}(\tilde{\varphi}_+(v_i,0) - \tilde{\varphi}_+(v_i,t))} \right), \min \left(1, \bar{p}_{v_i} e^{K_{v_i}(\tilde{\varphi}_-(v_i,0) - \tilde{\varphi}_-(v_i,t))} \right) \right) &\leq \\ &\leq p_{v_i}(t) \leq \\ &\leq \max \left(\min \left(1, \bar{p}_{v_i} e^{K_{v_i}(\tilde{\varphi}_+(v_i,0) - \tilde{\varphi}_+(v_i,t))} \right), \min \left(1, \bar{p}_{v_i} e^{K_{v_i}(\tilde{\varphi}_-(v_i,0) - \tilde{\varphi}_-(v_i,t))} \right) \right), \end{aligned} \quad (5)$$

де K_{v_i} – коефіцієнт зношення i -тої машини v_i з часом і \bar{p}_{v_i} – це ймовірність справності даної машини на початку експлуатації. Аналогічним чином можна оцінити зверху та знизу справність j -тої лінії зв'язку l_j .

$$\begin{aligned} & \min \left(\min \left(1, \bar{p}_{l_j} e^{K_{l_j}(\tilde{\varphi}_+(l_j,0) - \tilde{\varphi}_+(v_i,t))} \right), \min \left(1, \bar{p}_{l_j} e^{K_{l_j}(\tilde{\varphi}_-(l_j,0) - \tilde{\varphi}_-(l_j,t))} \right) \right) \leq \\ & \leq p_{l_j}(t) \leq \\ & \leq \max \left(\min \left(1, \bar{p}_{l_j} e^{K_{l_j}(\tilde{\varphi}_+(l_j,0) - \tilde{\varphi}_+(l_j,t))} \right), \min \left(1, \bar{p}_{l_j} e^{K_{l_j}(\tilde{\varphi}_-(l_j,0) - \tilde{\varphi}_-(l_j,t))} \right) \right), \end{aligned} \quad (6)$$

де, за аналогією, K_{l_j} – коефіцієнт зношення j -тої лінії зв'язку l_j з часом і \bar{p}_{l_j} – це ймовірність справності даної машини на початку експлуатації, а функції $\varphi_+(l_j, t)$, $\varphi_-(l_j, t)$, $\tilde{\varphi}_+(l_j, t)$ та $\tilde{\varphi}_-(l_j, t)$ визначаються аналогічно до $\varphi_+(v_i, t)$, $\varphi_-(v_i, t)$, $\tilde{\varphi}_+(v_i, t)$ та $\tilde{\varphi}_-(v_i, t)$, тільки вже для j -тої лінії зв'язку l_j .

Як було зазначено вище, особливий інтерес становить випадок, коли величини $a_{v_i}(t)$, $\sigma_{v_i}(t)$, $a_{l_j}(t)$ та $\sigma_{l_j}(t)$ є T -періодичними функціями від часу. Однак, як відомо, на практиці ми зазвичай можемо лише оцінити їх значення в певні моменти часу

$$0 = t_0 < t_1 < \dots < t_n = T.$$

В даному випадку є сенс побудувати наближення величин $a_{v_i}(t)$, $\sigma_{v_i}(t)$, $a_{l_j}(t)$ та $\sigma_{l_j}(t)$ за допомогою інтерполяційних аналогів різних гармонійних та полігармонійних операторів, породжених підсумовуванням рядів Фур'є [8-12], наприклад, інтерполяційними аналогами частинних сум Фур'є

$$\begin{aligned} a_{v_i}(t) &= \frac{1}{2n} \sum_{k=0}^n a_{v_i}(t_k) + \\ &+ \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \left(\left(\sum_{i=0}^n a_{v_i}(t_i) \cos k t_i \right) \cos k t + \left(\sum_{i=0}^n a_{v_i}(t_i) \sin k t_i \right) \sin k t \right), \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{v_i}(t) &= \frac{1}{2n} \sum_{k=0}^n \sigma_{v_i}(t_k) + \\ &+ \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \left(\left(\sum_{i=0}^n \sigma_{v_i}(t_i) \cos k t_i \right) \cos k t + \left(\sum_{i=0}^n \sigma_{v_i}(t_i) \sin k t_i \right) \sin k t \right), \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} a_{l_j}(t) &= \frac{1}{2n} \sum_{k=0}^n a_{l_j}(t_k) + \\ &+ \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \left(\left(\sum_{i=0}^n a_{l_j}(t_i) \cos k t_i \right) \cos k t + \left(\sum_{i=0}^n a_{l_j}(t_i) \sin k t_i \right) \sin k t \right), \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{l_j}(t) &= \frac{1}{2n} \sum_{k=0}^n \sigma_{l_j}(t_k) + \\ &+ \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \left(\left(\sum_{i=0}^n \sigma_{l_j}(t_i) \cos k t_i \right) \cos k t + \left(\sum_{i=0}^n \sigma_{l_j}(t_i) \sin k t_i \right) \sin k t \right). \end{aligned} \quad (10)$$

Підставивши (7)-(10) в означення $\varphi_+(v_i, t)$, $\varphi_-(v_i, t)$, $\tilde{\varphi}_+(v_i, t)$, $\tilde{\varphi}_-(v_i, t)$, $\varphi_+(l_j, t)$, $\varphi_-(l_j, t)$, $\tilde{\varphi}_+(l_j, t)$ та $\tilde{\varphi}_-(l_j, t)$, отримаємо наступне

$$\begin{aligned} \varphi_-(v_i, t) &= a_{v_i}(t) - 3\sigma_{v_i}(t) = \frac{1}{2(n+1)} \sum_{k=0}^n \left(a_{v_i}(t_k) - 3\sigma_{v_i}(t_k) \right) + \\ &+ \frac{1}{(n+1)} \sum_{k=1}^n \left(\sum_{i=0}^n \left(a_{v_i}(t_k) - 3\sigma_{v_i}(t_k) \right) \cos \frac{2\pi k t_i}{T} \right) \cos \frac{2\pi k t}{T} + \\ &+ \frac{1}{(n+1)} \sum_{k=1}^n \left(\sum_{i=0}^n \left(a_{v_i}(t_k) - 3\sigma_{v_i}(t_k) \right) \sin \frac{2\pi k t_i}{T} \right) \sin \frac{2\pi k t}{T}, \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \varphi_+(v_i, t) &= a_{v_i}(t) + 3\sigma_{v_i}(t) = \frac{1}{2(n+1)} \sum_{k=0}^n \left(a_{v_i}(t_k) + 3\sigma_{v_i}(t_k) \right) + \\ &+ \frac{1}{(n+1)} \sum_{k=1}^n \left(\sum_{i=0}^n \left(a_{v_i}(t_k) + 3\sigma_{v_i}(t_k) \right) \cos \frac{2\pi k t_i}{T} \right) \cos \frac{2\pi k t}{T} + \\ &+ \frac{1}{(n+1)} \sum_{k=1}^n \left(\sum_{i=0}^n \left(a_{v_i}(t_k) + 3\sigma_{v_i}(t_k) \right) \sin \frac{2\pi k t_i}{T} \right) \sin \frac{2\pi k t}{T}, \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \varphi_-(l_j, t) &= a_{l_j}(t) - 3\sigma_{l_j}(t) = \frac{1}{2(n+1)} \sum_{k=0}^n \left(a_{l_j}(t_k) - 3\sigma_{l_j}(t_k) \right) + \\ &+ \frac{1}{(n+1)} \sum_{k=1}^n \left(\sum_{i=0}^n \left(a_{l_j}(t_k) - 3\sigma_{l_j}(t_k) \right) \cos \frac{2\pi k t_i}{T} \right) \cos \frac{2\pi k t}{T} + \\ &+ \frac{1}{(n+1)} \sum_{k=1}^n \left(\sum_{i=0}^n \left(a_{l_j}(t_k) + 3\sigma_{l_j}(t_k) \right) \sin \frac{2\pi k t_i}{T} \right) \sin \frac{2\pi k t}{T}, \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \varphi_+(l_j, t) &= a_{l_j}(t) + 3\sigma_{l_j}(t) = \frac{1}{2(n+1)} \sum_{k=0}^n \left(a_{l_j}(t_k) + 3\sigma_{l_j}(t_k) \right) + \\ &+ \frac{1}{(n+1)} \sum_{k=1}^n \left(\sum_{i=0}^n \left(a_{l_j}(t_k) + 3\sigma_{l_j}(t_k) \right) \cos \frac{2\pi k t_i}{T} \right) \cos \frac{2\pi k t}{T} + \\ &+ \frac{1}{(n+1)} \sum_{k=1}^n \left(\sum_{i=0}^n \left(a_{l_j}(t_k) + 3\sigma_{l_j}(t_k) \right) \sin \frac{2\pi k t_i}{T} \right) \sin \frac{2\pi k t}{T}. \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \tilde{\varphi}_-(v_i, t) &= \int \varphi_-(v_i, t) dt = \frac{1}{2(n+1)} \left(\sum_{k=0}^n \left(a_{v_i}(t_k) - 3\sigma_{v_i}(t_k) \right) \right) t + \\ &\frac{T}{2\pi(n+1)} \sum_{k=1}^n \frac{1}{k} \left(\sum_{i=0}^n \left(a_{v_i}(t_k) - 3\sigma_{v_i}(t_k) \right) \cos \frac{2\pi k t_i}{T} \right) \sin \frac{2\pi k t}{T} - \\ &-\frac{T}{2\pi(n+1)} \sum_{k=1}^n \frac{1}{k} \left(\sum_{i=0}^n \left(a_{v_i}(t_k) - 3\sigma_{v_i}(t_k) \right) \sin \frac{2\pi k t_i}{T} \right) \cos \frac{2\pi k t}{T} + C, \end{aligned} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} \tilde{\varphi}_+(v_i, t) &= \int \varphi_+(v_i, t) dt = \frac{1}{2(n+1)} \left(\sum_{k=0}^n \left(a_{v_i}(t_k) + 3\sigma_{v_i}(t_k) \right) \right) t + \\ &+ \frac{T}{2\pi(n+1)} \sum_{k=1}^n \frac{1}{k} \left(\sum_{i=0}^n \left(a_{v_i}(t_k) + 3\sigma_{v_i}(t_k) \right) \cos \frac{2\pi k t_i}{T} \right) \sin \frac{2\pi k t}{T} - \\ &-\frac{T}{2\pi(n+1)} \sum_{k=1}^n \frac{1}{k} \left(\sum_{i=0}^n \left(a_{v_i}(t_k) + 3\sigma_{v_i}(t_k) \right) \sin \frac{2\pi k t_i}{T} \right) \cos \frac{2\pi k t}{T} + C, \end{aligned} \quad (16)$$

$$\begin{aligned} \tilde{\varphi}_-(l_j, t) &= \int \varphi_-(l_j, t) dt = \frac{1}{2(n+1)} \left(\sum_{k=0}^n \left(a_{l_j}(t_k) - 3\sigma_{l_j}(t_k) \right) \right) t + \\ &+ \frac{T}{2\pi(n+1)} \sum_{k=1}^n \frac{1}{k} \left(\sum_{i=0}^n \left(a_{l_j}(t_k) - 3\sigma_{l_j}(t_k) \right) \cos \frac{2\pi k t_i}{T} \right) \sin \frac{2\pi k t}{T} - \\ &+ \frac{T}{2\pi(n+1)} \sum_{k=1}^n \frac{1}{k} \left(\sum_{i=0}^n \left(a_{l_j}(t_k) - 3\sigma_{l_j}(t_k) \right) \sin \frac{2\pi k t_i}{T} \right) \cos \frac{2\pi k t}{T} + C, \end{aligned} \quad (17)$$

$$\begin{aligned} \tilde{\varphi}_+(l_j, t) &= \int \varphi_+(l_j, t) dt = \frac{1}{2(n+1)} \left(\sum_{k=0}^n \left(a_{l_j}(t_k) + 3\sigma_{l_j}(t_k) \right) \right) t + \\ &+ \frac{T}{2\pi(n+1)} \sum_{k=1}^n \frac{1}{k} \left(\sum_{i=0}^n \left(a_{l_j}(t_k) + 3\sigma_{l_j}(t_k) \right) \cos \frac{2\pi k t_i}{T} \right) \sin \frac{2\pi k t}{T} - \\ &+ \frac{T}{2\pi(n+1)} \sum_{k=1}^n \frac{1}{k} \left(\sum_{i=0}^n \left(a_{l_j}(t_k) + 3\sigma_{l_j}(t_k) \right) \sin \frac{2\pi k t_i}{T} \right) \cos \frac{2\pi k t}{T} + C. \end{aligned} \quad (18)$$

Підставивши (15)-(18) в оцінки (5)-(6) та застосувавши означення ймовірності зв'язності, можна оцінювати межі ймовірності зв'язності $P_{ij} = P_{ij}(t)$ для всіх $i, j = 1, 2, \dots, n, i \neq j$ в довільний момент часу t .

Приклад застосування

Розглянемо інформаційну систему з чотирьох машин, сполучених між собою п'ятьма лініями зв'язку (рис. 1).

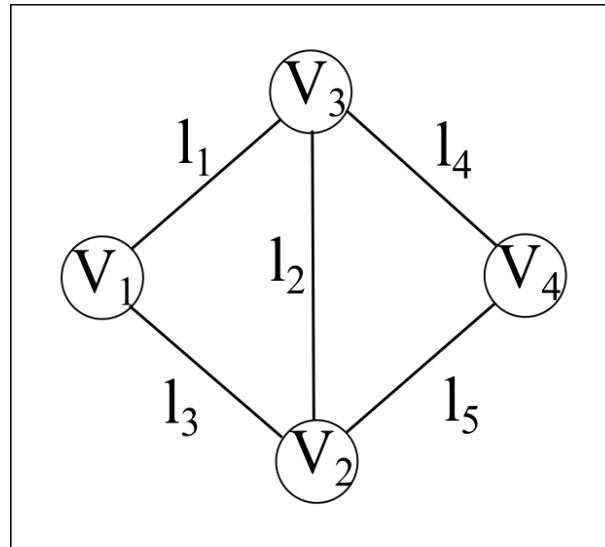


Рис. 1. Топологія розглядуваної інформаційної системи

Вважатимемо, що

$$\forall i = 1,2,3,4; j = 1,2,3,4,5: K_{v_i} = K_{l_j} = 0.01,$$

Тобто всі елементи системи є високостійкими, а на початку експлуатації ймовірність їх справності дорівнювала 99 %, тобто

$$\forall i = 1,2,3,4; j = 1,2,3,4,5: \bar{p}_{v_i} = \bar{p}_{l_j} = 0.5.$$

Нехай завантаженість кожного з елементів системи є випадковим процесом із періодичними середнім та середньоквадратичним відхиленням з періодом $T = 10$ годин. Нехай при спостереженні за аналогічною системою було отримано результати, представлені в наступній таблиці.

Таблиця 1.

Результати спостережень за аналогічною системою

Величина завантаженості, %	Значення величини в момент часу (годин)				
	$t_0 = 0$	$t_1 = 2, 5$	$t_2 = 5$	$t_3 = 7, 5$	$t_4 = 10$
$a_{v_1}(t)$	0,5	0,75	0,55	0,65	0,5
$\sigma_{v_1}(t)$	0	0,025	0,05	0,04	0
$a_{v_2}(t)$	0,5	0,75	0,55	0,65	0,5
$\sigma_{v_2}(t)$	0	0,025	0,05	0,04	0
$a_{v_3}(t)$	0,5	0,75	0,55	0,65	0,5
$\sigma_{v_3}(t)$	0	0,025	0,05	0,04	0
$a_{v_4}(t)$	0,5	0,75	0,55	0,65	0,5
$\sigma_{v_4}(t)$	0	0,025	0,05	0,04	0
$a_{l_1}(t)$	0,5	0,65	0,25	0,65	0,5
$\sigma_{l_1}(t)$	0	0,1	0,01	0,1	0,1
$a_{l_2}(t)$	0,5	0,65	0,25	0,65	0,5
$\sigma_{l_2}(t)$	0	0,1	0,01	0,1	0,1
$a_{l_3}(t)$	0,5	0,65	0,25	0,65	0,5
$\sigma_{l_3}(t)$	0	0,1	0,01	0,1	0,1
$a_{l_4}(t)$	0,5	0,65	0,25	0,65	0,5
$\sigma_{l_4}(t)$	0	0,1	0,01	0,1	0,1
$a_{l_5}(t)$	0,5	0,65	0,25	0,65	0,5
$\sigma_{l_5}(t)$	0	0,1	0,01	0,1	0,1

Розглянемо оцінку ймовірності зв'язності R_{13} в перші 10000 годин експлуатації розглядуваної інформаційної системи на основі наявних даних. Для цього побудуємо графік цієї оцінки (рис. 2), побудувавши її за допомогою вище описаного алгоритму.

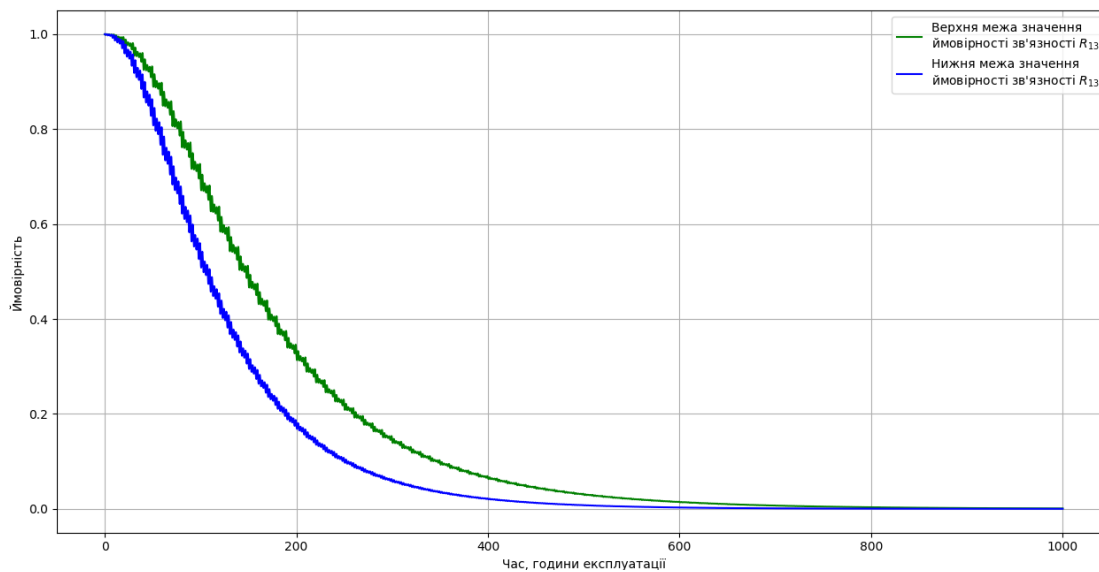


Рис. 2. Верхня та нижня оцінки ймовірності зв'язності R_{13} в перші 10000 годин експлуатації розглядуваної інформаційної системи

Як видно на рис. 2, ймовірність зв'язності R_{13} швидше за все, буде задовільною лише в перші 100 годин експлуатації розглядуваної інформаційної системи. Другими словами, як показує рис. 2, описаний вище спосіб побудови оцінок ймовірності зв'язності може допомагати аналізувати рівень функціональної стійкості інформаційних систем.

ВИСНОВКИ З ДАНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ РОЗВІДОК У ДАНОМУ НАПРЯМІ

В даній роботі описано спосіб оцінки ймовірності зв'язності як функції від часу за умови випадкового характеру завантаженості кожного з елементів та додаткових припущень щодо типу періодичності середнього та середньоквадратичного відхилення цієї завантаженості. Продемонстровано застосовність інтерполяційних аналогів частинних сум Фур'є в даному випадку, що розкриває великий потенціал щодо подальшого вдосконалення представленого методу оцінки.

Як показує описаний експеримент, оцінка ймовірності зв'язності, отримана за допомогою описаного в роботі підходу дозволяє досить правдоподібно оцінити як саму ймовірність зв'язності, так і її зміну в часі у випадку деградації досліджуваної інформаційної системи та періодичності деяких характеристик завантаженості її елементів.

Література

1. Машков В.А. Контроль та діагностування та контроль бортових цифрових обчислювальних пристроїв. Київ : КВВАІУ, 1991. 84 с.
2. Барабаш О.В. Побудова функціонально стійких розподілених інформаційних систем. Київ, НАОУ, 2004. 226 с.
3. Барабаш О.В., Кіреєнко В.В. Поняття та визначення властивості функціональної стійкості системи розвідки повітряного противника. Збірник наукових праць ВІКНУ. 2013. Т. 44. С. 12–17.
4. Глухов С., Сакович Л., Рижов Є., Бабій О., Гальоса А. Перспективні напрями підвищення надійності радіоелектронної техніки на основі фізичного діагностування з використанням інформаційних технологій. Військово-технічний збірник, 2022. № 26. С. 42–48.
5. Барабаш О.В., Мусяченко А.П., Макаруч А.В. Порівняльний аналіз методів визначення показників функціональної стійкості інформаційних систем на прикладі повного перебору та методу Литвака-Ушакова. Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. 2023. № 4. С. 57–63.
6. Барабаш О., Макаруч А., Саланда І. Дослідження ймовірнісного показника функціональної стійкості розподілених інформаційних систем. Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. 2024. № 1. С. 45–50.
7. Барабаш О., Свинчук О., Макаруч А. Спосіб представлення ймовірнісного показника функціональної стійкості інформаційної системи як функції від часу. Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки, 2024. Т. 341, № 5. С. 123–127.

8. Войтович В.А. Асимптотичні оцінки наближень інтерполяційними аналогами сум Валле Пуссена на класах нескінченно диференційованих функцій. Теорія наближення функцій та суміжні питання. Зб. праць Ін-ту математики НАН України. 2011. Т. 8, № 1. С. 22–45.
9. Калашников М.Д. Про деякі методи наближення неперервних функцій тригонометричними поліномами. Доповіді Акад. наук Української РСР. 1956. № 2. С. 113–117.
10. Сердюк А.С. Наближення аналітичних функцій інтерполяційними тригонометричними поліномами в метриці L . Крайові задачі для диференціальних рівнянь: Зб. наук. пр. Київ: Ін-т математики НАН України, 1998. Т. 3. С. 240–250.
11. Makarchuk A., Kal'chuk I., Kharkevych Y., Kharkevych G. Application of Trigonometric Interpolation Polynomials to Signal Processing. 2022 IEEE 4th International Conference on Advanced Trends in Information Theory. ATIT 2022: Proceedings. 2022. P. 156–159.

References

1. Mashkov V.A. Control and Diagnostics of Onboard Digital Computing Devices. Kyiv: KVVAIU, 1991. 84 p.
2. Barabash O.V. Development of Functionally Stable Distributed Information Systems. Kyiv, 2004. 226 p.
3. Barabash O., Kiriienko V.V. Concept and Definition of Functional Stability Property of Enemy Air Reconnaissance System. Collection of Scientific Papers of VIKNU. 2013. Vol. 44. P. 12–17.
4. Glukhov S., Sakovych L., Ryzhov Ye., Babii O., Haliosa A. Prospective Directions for Increasing the Reliability of Radio-Electronic Equipment Based on Physical Diagnostics Using Information Technologies. Military-Technical Collection. 2022. No. 26. P. 42–48.
5. Barabash O.V., Musienko A.P., Makarchuk A.V. Comparative Analysis of Methods for Determining Functional Stability Indicators of Information Systems Using Exhaustive Search and the Litvak-Ushakov Method. Measuring and Computing Devices in Technological Processes. 2023. No. 4. P. 57–63.
6. Barabash O., Makarchuk A., Salanda I. Study of the Probabilistic Indicator of Functional Stability of Distributed Information Systems. Measuring and Computing Devices in Technological Processes. 2024. No. 1. P. 45–50.
7. Barabash O., Svychnuk O., Makarchuk A. A Method for Representing the Probabilistic Indicator of the Functional Stability of an Information System as a Function of Time. Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences. 2024. Vol. 341, No. 5. P. 123–127.
8. Voitovych V.A. Asymptotic Estimates of Approximations by Interpolation Analogs of Valsee Poussin Sums for Classes of Infinitely Differentiable Functions. Theory of Approximation of Functions and Related Issues. Collection of Papers of the Institute of Mathematics of NAS of Ukraine. 2011. Vol. 8, No. 1. P. 22–45.
9. Kalashnikov M.D. On Some Methods of Approximating Continuous Functions by Trigonometric Polynomials. Reports of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR. 1956. No. 2. P. 113–117.
10. Serdyuk A.S. Approximation of Analytic Functions by Interpolation Trigonometric Polynomials in the L -Metric. Boundary Problems for Differential Equations: Collection of Scientific Papers. Kyiv: Institute of Mathematics of NAS of Ukraine, 1998. Vol. 3. P. 240–250.
11. Makarchuk A., Kal'chuk I., Kharkevych Y., Kharkevych G. Application of Trigonometric Interpolation Polynomials to Signal Processing. 2022 IEEE 4th International Conference on Advanced Trends in Information Theory. ATIT 2022: Proceedings. 2022. P. 156–159.