

УДК 681.3

Зибін С.В., к.т.н.; Лихицька І.В., студентка.

ПРИНЦИПИ І СПОСОБИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЖИВУЧОСТІ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ

Zybin S.V., Lykhytska I.V. Principles and methods of survivability providing for computer systems. Basic principles of survivability providing for computer systems that can be set on the basis of matrix possibility analysis of the system and transition algorithm from the boolean functions of the possibility states to probabilistic are studied. The methods of survivability providing for systems, as a rule, are realization of the one or simultaneously a few principles that is examined in the article. The providing methods of this property are known in the survivability theory of the systems realized on different hierarchical levels. There are elements' level, subsystem' level or systems' level. The marked principles are guidance to the action in the tasks for synthesis of the survivability systems. There are at the level of perfection tasks and they are a theoretical base for development of the methods of survivability providing for systems.

Keywords: computer system, reliability, matrix possibility, vitality principle, survivability, level of perfection tasks

Зибін С.В., Лихицька І.В. Принципи і способи забезпечення живучості комп'ютерних систем. Розглядаються основні принципи забезпечення живучості комп'ютерних систем, які можуть бути сформульовані на основі аналізу матриці спроможності системи і алгоритму переходу від логічних функцій станів спроможності до ймовірнісних. Конкретні способи забезпечення живучості систем, як правило, являються реалізацією одного або одночасно кількох принципів, які розглядаються у статті. Зазначені принципи є керівництвом до дії в задачах синтезу живучих систем на рівні завдань вдосконалення і теоретичною базою для розробки конкретних способів забезпечення живучих систем.

Ключові слова: комп'ютерна система, надійність, матриця спроможності, принцип живучості, рівень завдань вдосконалення

Зыбин С.В., Лихицкая И.В. Принципы и способы обеспечения живучести компьютерных систем. Рассматриваются основные принципы обеспечения живучести компьютерных систем, которые могут быть сформулированы на основе анализа матрицы возможностей системы и алгоритма перехода от логических функций состояний возможности к вероятностным. Конкретные способы обеспечения живучести систем, как правило, являются реализацией одного или одновременно нескольких принципов, которые рассматриваются в статье. Данные принципы являются руководством к действию в задачах синтеза живучих систем на уровне заданий совершенствования и теоретической базой для разработки конкретных способов обеспечения живучих систем.

Ключевые слова: компьютерная система, надёжность, матрица возможностей, принцип живучести, уровень заданий совершенствования

Забезпечення працездатності інформаційних систем, доступності й конфіденційності інформації в будь-яких умовах, у тому числі й у разі виникнення непередбачуваних ситуацій, потребує значної кількості ресурсів і витрат. З ростом масштабів інформаційних систем застосування до них лише класичних методів забезпечення безпеки, надійності й відмовостійкості стає недоцільним, крім того, цих методів не достатньо для вирішення перерахованих вище завдань. Необхідна розробка нових підходів, підтримка нових властивостей інформаційної системи, які дозволили б їй безупинно виконувати свої функції із заданими показниками якості.

Однією з таких властивостей є живучість. Живучість – це фундаментальна властивість складних систем. Біологічні, соціальні та інші системи від початку мають властивість живучості, що дозволяє їм зберігати цілісність, виконувати свої функції й розвиватися в несприятливому навколишньому середовищі. Методи й засоби забезпечення живучості успішно застосовуються під час створення складних технічних систем і досліджуються багатьма різними дисциплінами [1-5].

Тому на даний момент одним з основних і першочергових завдань розвитку інформаційних систем є розробка власне технології надання їм властивості живучості, а також розробка відповідних методів і засобів.

Аналіз моделей і методик оцінки показників живучості комп'ютерних систем переконує в тому, що існує деяка стійка система поглядів або принципів, управління якими завжди призводить до певного позитивного ефекту у справі забезпечення даної властивості. Ці принципи можуть бути сформульовані на основі аналізу матриці спроможності системи і алгоритму переходу від логічних функцій станів спроможності до ймовірнісних [6].

Принцип 1 – елементи системи повинні мати малу структурну значимість і високу стійкість.

Аналізуючи матрицю станів спроможності, можна помітити, що існують підмножини елементів, втрата працездатності яких призводить до втрати стану спроможності всієї системи. Такі підмножини називають "мінімальним перетином" структури. Найбільшу "небезпеку" представляють перетини, що складаються з малого числа елементів. Очевидно, що елементи "мінімальних перетинів" повинні бути дубльованими.

Пошук таких елементів структурно можливий за допомогою показника значущості.

Розрахувавши показники значущості для кожного елемента системи, легко ранжувати ці елементи за ознакою.

Захист або дублювання елементів, що розташовані першими в даному рядку, дасть більший ефект.

Принцип 2 – структура системи повинна забезпечувати, по можливості найбільше чи достатнє (в задачах оптимізації) число станів спроможності.

Очевидно, що чим більшим числом станів спроможності володіє система, тим вище ймовірність реалізації хоча б одного з них. Це легко показати аналітично, аналізуючи структуру показників живучості асоціативно-структурних і асоціативних систем

$$G(t_k \geq m_k) = \frac{1}{C_n^{m_0}} \sum_{l=1}^{L_T} \prod_{k=1}^K C_{n_k}^{t_{l,k}} ; \quad (1)$$

$$G = G Y(X_n) = 1 = \sum_{l=1}^{L_0} \prod_{f=1}^{F_l} q_f . \quad (2)$$

Збільшення числа варіантів побудови системи (L_T), що забезпечують її ефективне функціонування, а також числа кон'юнкцій (L_0) у функції станів спроможності ортогональній диз'юнктивній нормальній формі однозначно сприяє збільшенню показників живучості при інших рівних умовах.

Принцип 3 – стани спроможності системи повинні забезпечуватися якомога меншим числом елементів.

Скорочення числа елементів, які забезпечують стан спроможності, знижує уразливість системи. На прикладі (2) легко простежити таку динаміку: $G \rightarrow G_{max}$ при $F_l \rightarrow 1$.

Реалізація даного принципу призводить до побудови системи на основі модулів, кожний з яких здатний забезпечити стан спроможності всієї системи.

Принцип 4 – різні стани спроможності системи повинні забезпечуватися різними елементами.

Наслідком реалізації цього принципу є збільшення числа елементів, які складають "мінімальний перетин" структури системи. "Мінімальним перетином" елементів системи називають підмножину елементів системи, знищення яких призводить до втрати стану спроможності системи в цілому. Природно, чим більше елементів складають "мінімальний перетин", тим нижча ймовірність їх одночасного ураження, тим вище показник живучості системи.

У разі реалізації даного принципу на практиці слід мати на йду, що логічна функція станів спроможності та системи диз'юнктивної нормальної форми, в цьому випадку, є

ортогональною і може легко (заміною логічних змінних на показники стійкості відповідних елементів системи) перетворюватися в ймовірнісну функцію станів спроможності.

Природно, що список принципів положень, керівництво якими у справі забезпечення живучості систем завжди дає позитивний ефект. Пошук нових положень та уточнення вже відомих актуальна наукова задача [7]. Важливість таких досліджень підтверджується ще і тим, що зазначені принципи є керівництвом до дії в задачах синтезу живучих систем на рівні завдань вдосконалення і теоретичною базою для розробки конкретних способів забезпечення живучих систем.

Конкретні способи забезпечення живучості систем, як правило, являються реалізацією одного або одночасно кількох принципів, які було розглянуто раніше.

Відомі в теорії живучості систем [8] способи забезпечення даної властивості реалізуються на різних ієрархічних рівнях – елементному, підсистемному або системному.

Спосіб вибіркового захисту елементів системи реалізується без будь-яких структурних перетворень. Виділені на забезпечення живучості системи заходи витрачаються лише на захист елементів, причому так, що захисту піддаються не всі елементи системи, а тільки ті, які відповідають двом вимогам:

– в пріоритетному за значимістю рядку дані елементи повинні мати найменший порядковий номер;

– захист даних елементів може дати великий ефект, ніж дублювання.

Показник значущості i -го елемента обчислюється наступним чином [1]:

$$P_i = Z_i(1 - q_i) \quad (3)$$

де Z_i – показник відносної структурної значущості;

q_i – значення показника стійкості.

Значення P_i , критичні до показників структурної значущості і стійкості i -го елемента системи. Причому міра цієї критичності однакова.

У завданнях синтезу живучих систем важливе значення має ряд елементів, ранжируваних по убутанню показника значущості:

$$P_j > P_{j+1}, j=1, 2, \dots, n \quad (4)$$

Очевидно, захист або дублювання елемента, що має найменший номер в ряді (4), стануть найбільш ефективними заходами забезпечення живучості системи, що реалізуються на рівні елементів. Проте цей висновок справедливий тільки у тому випадку, якщо завдання синтезу вирішується без яких-небудь обмежень на витрату ресурсів. Якщо такого роду обмеження існують, то визначальний елемент вибирається з рядка (4) з урахуванням можливих (допустимих) варіацій його параметрами в межах області визначення цільової функції.

Рішення про захист елементів може бути обумовлено в результаті порівняння показників чутливості і показника значущості до структурних перетворень (K_z) і захисту (K_q).

З урахуванням (3)

$$K_{z,i} = \frac{dP_i}{dq_i} = 1 - q_i,$$

$$K_{q,i} = \frac{dP_i}{dq_i} = -Z_i.$$

Очевидно, слід віддати перевагу захисту елемента, ніж його дублюванню, якщо $|K_{z,i}| \leq |K_{q,i}|$.

Наслідком реалізації даного способу є зниження величини показника значущості елементів, які підлягають додатковому захисту.

Застосування способу вибіркового захисту елементів доцільно в тому випадку, коли показники значущості елементів, які складають початок пріоритетного ряду, істотно перевищує показники наступних.

Якщо величини показників значущості мало відрізняються, тобто ряд (4) практично однорідний, то застосування способу вибіркового захисту недоцільно.

Спосіб дублювання передбачає реалізацію принципів 1 і 2 і заснований на розвитку збитковості елементів.

Вибір елементів, дублювання яких дає найбільший ефект, здійснюється за методикою, викладеною в ході розгляду способу вибіркового захисту. Відмінність полягає в тому, що до способу дублювання вдаються у випадку, коли нерівність $|K_{z,i}| \leq |K_{q,i}|$ набуває вигляду зворотної нерівності.

$$|K_{z,i}| \geq |K_{q,i}|.$$

Включення дублюючих елементів в структуру приводить:

– до зниження структурної значущості ($Z_i \rightarrow 0$), а значить і показника значущості $\Pi_i \rightarrow 0$ основного елемента;

– до збільшення числа станів здатності системи. Ясно, що обидва ці слідства сприяють збільшенню показника живучості системи.

Практична реалізація дублювання елементів в інтересах забезпечення живучості істотно відрізняється від аналогічних дій в інтересах забезпечення надійності системи. Відмінність полягає в тому, що в завданнях живучості дублюючий елемент має бути просторово віддалений від основного елемента або, якщо це неможливо, повинен мати інший захист від вражаючих чинників.

Захищеність і розміщення дублюючого елемента при рішенні проблем надійності ролі не грають, оскільки експлуатація основного і дублюючого елемента передбачається в однакових умовах.

При вирішенні проблем живучості важливо, щоб при впливі вражаючого чинника певної фізичної природи (ударна хвиля, радіація, тепловий потік і т. п.) хоч би один з елементів (основний або дублюючий елемент) зберіг працездатність.

Якщо за умовами основний і дублюючий елемент мають малу стійкість, то дублювання може не вирішити задачі. В цьому випадку можливий перехід від дублювання до багатократного резервування.

Природно, що реалізація способу дублювання зв'язана із значними і матеріальними витратами. Якщо розглянути випадок, коли обмежень на вказані витрати немає, то після багатократного застосування спосіб дублювання в границі вироджується в спосіб ешелонування, коли з дублюючих елементів призначення формуються другий, потім третій і т. д. ешелони.

Спосіб автоматизації елементів системи припускає реалізацію принципу 3, коли забезпечення заданого рівня живучості досягається шляхом включення в структуру елементів універсальних по функціональному призначенню елементів–модулів.

Наслідком автоматизації елементів є зменшення числа елементів в системі і зниження їх структурної значущості, а також скорочення числа елементів, що становлять найкоротший шлях ефективного функціонування вихідних елементів системи ($F_1 \rightarrow 1$).

У границі автономізація елементів вироджує систему структурного типу в асоціативно–структурну або навіть асоціативну систему, що складається з однорідних за призначенням і повністю автономних елементів.

Спосіб укрупнення або розділення елементів системи доцільно застосовувати у тому випадку, коли в структурі системи є елементи, що відмічені двома особливостями:

– елементи мають високу значущість;

– є можливість ділення елементів на частини з подальшим їх розосередженням без істотної зміни властивостей призначення системи.

Відмінність цього способу від способу дублювання полягає в тому, що збільшення числа елементів тут відбувається не за рахунок включення в структуру системи нових

(дублюючих) елементів, а в результаті ділення основних. Крім того, реалізація способу укрупнення, як правило, не пов'язано зі значними матеріальними витратами і збільшенням масогабаритних характеристик системи.

Укрупнення значимих елементів супроводжується збільшенням числа станів здатності системи (L) і, за інших рівних умов, знижує шанс знищення елементів.

Спосіб укрупнення найбільш доступний для реалізації на практиці. До системи, орієнтованої на цей спосіб забезпечення живучості, пред'являється вимога мобільності.

Спосіб ешелонування припускає розвиток надмірності на рівні усієї системи або найважливіших її підсистем. Цей спосіб ґрунтується на комбінуванні вимог принципів забезпечення живучості. Реалізація цього способу пов'язане зі значними економічними і масогабаритними витратами. На практиці найбільш реалістичне ешелонування систем на рівні їх підсистем (ешелонування запасів матеріальних засобів, каналів зв'язку і управління, виробничих потужностей, засобів оборони і т. д.) Порівняльний аналіз ефективності розглянутих способів забезпечення живучості систем (без урахування економічних чинників), виконаний з використанням аналітичних моделей, показує перевагу способу ешелонування.

Література

1. Гуляев В.А. Организация живучих вычислительных систем / В.А. Гуляев, А.Г. Додонов. – Київ: Наукова думка, 1982. – 140 с.
2. Гурин Л.С., Дымарский Я.С. Меркулов А.Д. Задачи и методы оптимального распределения ресурсов. – Москва: Сов. Радио, 1968. – 463 с.
3. Додонов А.Г. Проблемы и тенденции создания живучих вычислительных систем / А.Г. Додонов, М.Г. Кузнецова. – Київ: Наукова думка, 1982. – 253 с.
4. Методы оптимизации сложных систем / Под ред. Я.З. Цыпкина. – Москва: Наука, 1987. – 167 с.
5. Нечипоренко В.И. Структурный анализ и методы построения надёжных систем / В.И. Нечипоренко. – Москва: Сов. радио, 1968. – 256 с.
6. Стекольников Ю.И. Живучесть систем / Ю.И. Стекольников. – Санкт-Петербург: Политехника, 2002. – 156 с.
7. Рябинин И.А. Логико-вероятностные методы исследования надёжности структурно-сложных систем / И.А. Рябинин, Г.Н. Черкасов. – Москва: Радио и связь, 1981. – 264 с.
8. Додонов О.Г. Живучість складних систем: аналіз та моделювання: навч. посіб.: у 2 ч. / О. Г. Додонов, М. Г. Кузнецова, О. С. Горбачик. – Київ: НТУУ "КПІ", 2009. - 262 с.

Автори статті

Зибін Сергій Вікторович – кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютерних систем та мереж, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна. Тел.: +38 063 932 03 32. E-mail: duikt@ua.fm.

Лихицька Ірина Віталіївна – студентка, кафедра комп'ютерних систем та мереж, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна. Тел.: +38 044 249 45 88.

Authors of the article

Zybin Serhiy Viktorovich – candidate of sciences (technical), associate professor of Department of Computer Systems and Networks, State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine. Tel.: +38 063 932 03 32. E-mail: duikt@ua.fm.

Lykhytska Iryna Vitaliyivna – student, Department of Computer Systems and Networks, State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine. Tel.: +38 044 249 45 88.

Дата надходження в редакцію: 18.01.2016 р.

Рецензент: д.т.н., проф. К.С. Козелкова