

УДК 355.233.1.005

С.В. Смеляков, К.С. Смеляков, С.В. Дуденко, В.В. Калачова, А.О. Смірнов

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

МЕТОДИКА СТОХАСТИЧНОГО ТЕСТУВАННЯ СКЛАДНИХ ПРОГРАМНИХ КОМПЛЕКСІВ НАБОРАМИ ДЕТЕРМІНОВАНИХ ТЕСТІВ ВЕЛИКОЇ ПОТУЖНОСТІ

Автоматизація процесу бойової підготовки особового складу, органів управління, військових частин та підрозділів Повітряних Сил Збройних Сил України дозволить підвищити оперативність управління системою підготовки військ (сил) Збройних Сил України за рахунок скорочення часу на зворотній зв'язок між підсистемами аналізу та планування навчання, що в свою чергу дозволяє економити ресурси забезпечення підготовки військ (сил) Збройних Сил України. В ХУПС розроблено спеціалізоване інформаційно-освітнє середовище "Діалог" для дистанційного навчання в системі бойової підготовки, як складову частину перспективної автоматизованої системи підготовки військ (сил) Збройних Сил України. Система характеризується великою потужністю детермінованих тестів, однак застосування всієї множини тестів потребує великих часових витрат та не дозволяє контролювати стан системи в реальному часі. Проведення ж стохастичного тестування з великою потужністю детермінованих тестів дозволить досягнути потрібної якості програмного продукту з визначеною вірогідністю.

Ключові слова: система бойової підготовки, програмний комплекс, стохастичне тестування, детермінований тест.

Вступ

Постановка проблеми. Інтенсивність розвитку новітніх технологій в сучасному озброєнні та військовій техніці вимагає постійного удосконалення професійних знань, умінь та навичок військовослужбовців, що стає важким завданням в умовах постійного скорочення та реформування. Так сучасний етап реформування Збройних Сил (ЗС) України передбачає скорочення чисельності української армії до 2017 року приблизно у 2,5 рази, причому "Реформування структури ЗС України має на меті посилити компонент бойових частин з одночасним зменшенням структур забезпечення та оптимізацією системи управління", – зазначив начальник Генерального штабу-головнокомандувач ЗС України генерал-полковник В. Замана [1, 2].

Система бойової підготовки є невід'ємною складовою частиною процесу підготовки військ (сил) до виконання завдань за призначенням, яка забезпечує зворотній зв'язок між процесами аналізу результатів навчання та планування заходів навчання на наступний період. Процес бойової підготовки є циклічним та затратним процесом, що вимагає великої кількості різноманітних розрахунків, тому впровадження інформаційних систем дистанційного навчання апріорно характеризується економічною ефективністю [3].

Складність процесу навчання призводить до складності програмного комплексу, що його реалізує, та в свою чергу вимагає розробки великої кількості діагностичних тестів контролю стану програ-

мною комплексу. Використання детермінованих тестів великої потужності в реальному часі є задачею, яку необхідно вирішити.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Перспективи розвитку структури та чисельності ЗС України описані в [1, 2], підхід до оцінювання рівня бойової виучки докладно надано в [3]. Задачі, що потребують автоматизації при реалізації дистанційного навчання, та порядок їх вирішення приводяться в [4].

Аналіз засобів розробки макету програмного комплексу докладно подано у [5 – 7]. Теоретичні основи та особливості процесу тестування програмного забезпечення наведено у [8, 9]. Застосування методів статистичного аналізу описано у [10, 11].

Формулювання мети дослідження. Метою цієї роботи є розробка методики стохастичного тестування складних програмних комплексів наборами детермінованих тестів великої потужності, яка дозволить з заданою вірогідністю визначати поточний стан програмного комплексу в реальному часі.

Виклад основного матеріалу досліджень

Інформаційно-освітнє середовище "Діалог" [4], є складним програмним комплексом (ПК), який призначено для дистанційного навчання в системі бойової підготовки. В якості засобів розробки середовища були обрані: середовище програмування Visual Studio з мовою програмування C#, середовище моделювання даних Embarcadero ERStudio 6.1.

Сучасні підходи до створення програмних продуктів надають перевагу створенню модульного програмного забезпечення. Такий вибір зумовлений зручністю розробки та проектування майбутнього програмного забезпечення. Іншою перевагою такого підходу є можливість застосовувати окремі модулі в інших програмних продуктах або самостійно у разі такої необхідності. Якість програмного продукту характеризується набором властивостей, що визначають, наскільки продукт задовольняє вимогам зацікавлених сторін, таких як замовник, користувач, розробники і тестувальники продукту [8]. Кожен з учасників може мати різне уявлення про продукт і про те, наскільки він добрий чи поганий, тобто про те, наскільки висока якість продукту. Таким чином, постановка задачі забезпечення якості продукту виливається в завдання визначення зацікавлених осіб, їх критеріїв якості і потім знаходження оптимального рішення, що задовольняє цим критеріям.

Тестування є одним з найбільш сталих способів забезпечення якості розробки програмного забезпечення і входить в набір ефективних засобів сучасної системи забезпечення якості програмного продукту.

Ідеальний критерій тестування повинен бути:

– достатнім, тобто показувати, коли деяка кінцева множина тестів є достатньою для тестування даної програми;

– повним, тобто в разі помилки повинен існувати тест з множини тестів, що задовольняють критерію, який розкриває помилку.

– надійним, тобто будь-які дві множини тестів, що задовольняють йому, одночасно повинні розкривати або не розкривати помилки програми.

– критерій повинен легко перевірятися у обчислювальному сенсі на тестах.

Для нетривіальних класів програм в загальному випадку не існує повного і надійного критерію, що залежить від програм або специфікацій.

Тому при розробці середовища "Діалог" для цілей тестування використовувалася послідовність окремих критеріїв, основні з них:

– структурні критерії, які використовують інформацію про структуру програми (критерії так званого «білого ящика»);

– функціональні критерії формулюються в описі вимог до програмного виробу (критерії так званого «чорного ящика»);

– критерії стохастичного тестування формулюються в термінах перевірки наявності заданих властивостей у програми, що тестується, засобами перевірки деякої статистичної гіпотези.

Для проведення стохастичного тестування складних програмних комплексів, коли набір детермінованих тестів (X, Y) має величезну потужність, пропонується використовувати розроблену авторами методику:

1) розробити програми – імітатори випадкових послідовностей вхідних сигналів $\{x\}$;

2) обчислити незалежним способом значення $\{y\}$ для відповідних вхідних сигналів $\{x\}$ і отримується тестовий набір (X, Y) ;

3) протестувати додаток на тестовому наборі (X, Y) , використовуючи два способи контролю результатів:

– детермінований контроль – перевірка відповідності обчислених значень $y_b \in \{y\}$ значенням y , що були отримані в результаті прогону тесту на наборі $\{x\}$ – випадкової послідовності вхідних сигналів, яка генерована імітатором;

– стохастичний контроль – перевірка відповідності безлічі значень y_b , отриманих в результаті прогону тестів на наборі вхідних значень $\{x\}$, заздалегідь відомому розподілу результатів $F(Y)$.

В останньому випадку множина Y невідома (її обчислення неможливе), але відомий закон розподілу даної множини.

За результатами тестування аналогічних програмних продуктів [8] з високою довірливою імовірністю в якості базового можна використовувати нормальний закон розподілу [11]. Критерії стохастичного тестування розділяють на статистичні критерії закінчення тестування та критерії оцінки швидкості виявлення помилок. Статистичні критерії закінчення тестування є стохастичними критеріями прийняття рішень про збіг гіпотез про розподіл випадкових величин. Основні з них – це критерій хі-квадрат X^2 і критерій Стюдента St . Безперервна випадкова величина має гамма-розподіл з параметрами α і β ($\alpha, \beta > 0$), якщо описується виразом [10]:

$$f(x/\alpha, \beta) = \begin{cases} \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\beta x}, & \text{якщо } x \geq 0, \\ 0 & \text{якщо } x < 0, \end{cases} \quad (1)$$

де $\Gamma(\alpha)$ – гамма-функція:

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty u^{\alpha-1} e^{-u} du, \quad \alpha > 0. \quad (2)$$

Основна властивість гамма-функції при $\alpha > 1$:

$$\Gamma(\alpha) = (\alpha - 1)\Gamma(\alpha - 1). \quad (3)$$

Так як $\Gamma(1) = 1$, то $\Gamma(n) = (n - 1)!$ для всіх натуральних n . При цьому якщо n – натуральне число, тоді гамма-розподіл з параметрами $\alpha = n/2$, $\beta = 1/2$, утворює розподіл хі-квадрат X^2 з n ступенями свободи. Щільність ймовірності такого гамма-розподілу має вигляд:

$$f(x) = x^{\frac{n-2}{2}} e^{-\frac{x}{2}} / \left(2^{\frac{n}{2}} \Gamma\left(\frac{n}{2}\right) \right). \quad (4)$$

Такий вид розподілу має назву χ^2 з n ступенями свободи (рис. 1).

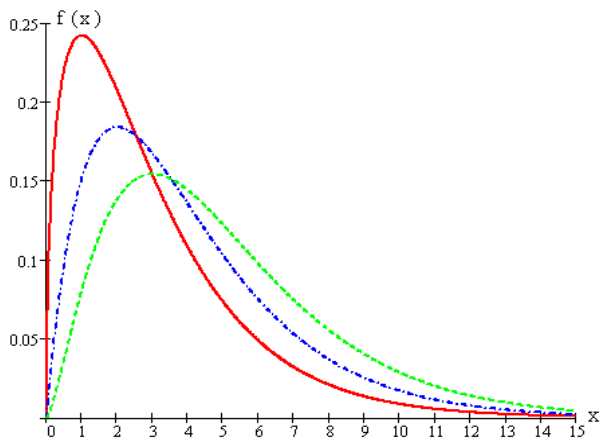


Рис. 1. Щільності χ^2 розподілу, де $n = 3, 4, 5$

Цьому розподілу підпорядковується випадкова величина, що дорівнює сумі квадратів випадкових величин, кожна з яких підпорядковується нормальному закону розподілу з характеристиками $m_x = 0$, $\sigma_x = 1$ (справедливість використання нормального закону розподілу для тестування програмного забезпечення середовища "Діалог" доведено теоретично і експериментально). На основі використання цього розподілу вводиться критерій χ^2 , наступним чином.

Вся область існування випадкової величини X розбивається на k інтервалів і в якості міри неузгодженості гіпотетичного і емпіричного розподілів розглядається величина наступного виду:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(m_i - n \cdot p_i)^2}{n \cdot p_i}, \quad (5)$$

де k – число інтервалів; m_i – частота потрапляння вибірових значень в інтервал i ; p_i – ймовірність попадання в інтервал i , розрахована з використанням виразу, що описує закон розподілу випадкової величини за випробуваною гіпотезою; n – обсяг вибірки.

Міра неузгодженості χ^2 являє собою суму квадратів асимптотичних нормальних випадкових величин, пов'язаних лінійною залежністю.

При цьому в теоремі Пірсона доведено, що якщо справедлива проста випробувана гіпотеза (якщо розглянутий закон розподілу відомий з точністю до параметрів), то при $n \rightarrow \infty$ випадкова величина підпорядковується розподілу χ^2 з $f = k - 1$ ступенями свободи.

При цьому процедура перевірки статистичної гіпотези про закон розподілу зводиться до наступного.

З використанням результатів вибіркового обстеження по (5) розраховується статистика χ^2_B .

Для заданого рівня значущості α та кількості ступенів свободи $f = k - 1$ (по таблиці, або з викори-

станням математичного пакету, наприклад, пакета Mathcad, як в даній роботі) визначається критична точка χ^2_K , яка визначає нижню межу критичної області. Якщо

$$\chi^2_B > \chi^2_K, \quad (6)$$

тоді статистика критерію потрапила в критичну область, випробувана гіпотеза відкидається. Якщо ж

$$\chi^2_B < \chi^2_K, \quad (7)$$

тоді випробувана гіпотеза приймається; при цьому вважається, що результати вибіркового обстеження не суперечать висунутому припущенню.

Однак повністю визначений гіпотетичний розподіл на практиці зустрічається вкрай рідко.

Набагато частіше зустрічається ситуація, коли клас гіпотетичного розподілу обґрунтований досить переконливо (в роботі для великих n використовується клас нормальних законів розподілу), а параметри цього розподілу невідомі (математичне сподівання і дисперсія) – складна гіпотеза.

Для визначення вірогідності потрапляння в інтервал, що використовуються в (3), замість істинних значень параметрів доводиться підставляти їх оцінки. В цьому випадку ймовірності p_i самі стають випадковими величинами і закон розподілу статистики χ^2 буде відмінним від того, який сформульований в теоремі Пірсона. Виникає необхідність знаходження граничного розподілу величини

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(m_i - n \cdot \tilde{p}_i)^2}{n \cdot \tilde{p}_i}, \quad (8)$$

де \tilde{p}_i – ймовірність попадання в інтервал i , обчислена по гіпотетичному розподілу з використанням оцінок параметрів.

Ця задача була вирішена Фішером, який довів, що величина χ^2 , яка визначається за (8), при $n \rightarrow \infty$ має розподіл χ^2 з $f = k - 1 - r$ ступенями свободи, якщо r оцінок параметрів, визначені за методом максимальної правдоподібності.

У зв'язку з цим, якщо в гіпотетичний розподіл замість параметрів підставити їх оцінки, то характер розподілу не змінюється, а тільки зменшується на r число ступенів свободи.

При тестуванні інформаційно-освітнього середовища "Діалог" використовується нормальний розподіл з параметрами m_x, D_x ($r = 2$). Застосування методу максимальної правдоподібності для нормального закону розподілу дає наступні точкові оцінки математичного сподівання і дисперсії:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (9)$$

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}. \quad (10)$$

Інтервальні оцінки цих параметрів мають вигляд:

$$\bar{x} - t_{\beta} \frac{S_x}{\sqrt{n}} < m_x < \bar{x} + t_{\beta} \frac{S_x}{\sqrt{n}}, \quad (11)$$

$$S_x^2 - t_{\beta} \sigma_{S_x^2} < D_x < S_x^2 + t_{\beta} \sigma_{S_x^2}, \quad (12)$$

де $\sigma_{S_x^2}$ – це середнє квадратичне відхилення оцінки дисперсії [9, 10], а параметр t_{β} оцінюється за розподілом Стюдента з довірчою ймовірністю β .

Припустимо, що випадкова величина X підпорядковується нормальному розподілу. Тоді величина:

$$T = \sqrt{n} \cdot (\bar{x} - m_x) / \sqrt{S_x^2}, \quad (13)$$

підпорядковується розподілу Стюдента (t -розподілу), щільність ймовірності якого має вигляд:

$$f(t) = S_{n-1}(t) = \frac{\Gamma\left(\frac{n}{2}\right)}{\sqrt{(n-1)\pi} \Gamma\left(\frac{n-1}{2}\right)} \left(1 + \frac{t^2}{n-1}\right)^{-\frac{n}{2}}, \quad (14)$$

де Γ – гамма-функція Ейлера

$$\Gamma(x) = \int_0^{\infty} u^{x-1} e^{-u} du. \quad (15)$$

Деякі криві розподілу Стюдента показані на рис. 2.

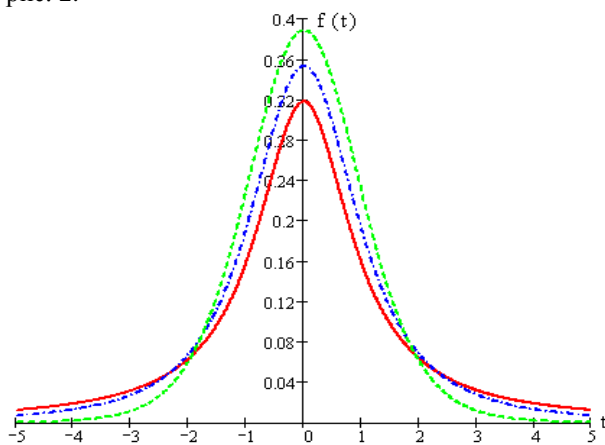


Рис. 2. Щільності розподілу Стюдента, де $n = 1, 2, 10$

Таким чином, методика стохастичного тестування складних програмних комплексів наборами детермінованих тестів великої потужності, складається з наступних етапів:

1) структурна ідентифікація закону розподілу (в нашому випадку, проведення даного етапу визначає, що з довірливою ймовірністю $\beta=0,95$ повинен використовуватися нормальний закон розподілу);

2) параметрична ідентифікація параметрів математичного сподівання – m та середнього квадратичного відхилення – σ закону розподілу (в нашому випадку, в результаті проведення другого етапу параметри m та σ нормального закону розподілу ідентифікуються з використанням методу максимальної правдоподібності згідно з (9), (10));

3) застосування критерію X^2 для перевірки гіпотези про адекватність розподілу, згідно з (5) – (8);

4) отримання інтервальних оцінок параметрів розподілу математичного сподівання – m та середнього квадратичного відхилення – σ , згідно з (11) – (15).

Висновки

Запропонована методика стохастичного тестування складних програмних комплексів наборами детермінованих тестів великої потужності дозволяє ефективно вирішувати задачу контролю діагностичного стану програмного забезпечення. Пропонується тестувати програму обмеженими, випадково сформованими, із загальної множини, наборами тестів з визначеним часовим інтервалом. Умовою прийняття рішення про працездатність програмного комплексу є успішне проходження усіх тестів на кожному наборі.

Список літератури

1. Біла книга 2010. ЗС України. – К.: Видання МОУ, 2011. – 78 с.
2. “Наша армія знаходиться на переломному рубежі реформування”. Інтерв’ю Міністра оборони України Дмитрия Саламатина газеті “Красная звезда” (№ 156 от 28 августа 2012 года).
3. Підхід до оцінювання бойової виучки органів управління ЗС України / І.В. Рубан, Є.Б. Смірнов, С.В. Дуденко, А.М. Носік, С.С. Ткачук // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2012. – Вип. 5(103). – С. 165-172.
4. Розробка спеціалізованого інформаційно-освітнього середовища для дистанційного навчання з бойової підготовки частин та підрозділів Повітряних Сил Збройних Сил України Шифр “Діалог”: Звіт про НДР (Заключний); № держреєстрації 0101 У 000601 / ХУ ПС ім. І. Кожедуба. – Х., 2008. – 200 с.
5. Пелланд П. Переход к Microsoft Visual Studio 2010 / П. Пелланд, П. Паре, К. Хайнс. – М.: Вільямс, 2011. – 256 с.
6. Мак-Дональд М. Silverlight 3 с примерами на C# для профессионалов / М. Мак-Дональд. – М.: Вільямс, 2010. – 656 с.
7. Хотек М. Microsoft SQL Server 2008. Реализация и обслуживание / М. Хотек. – М.: Русская Редакция, 2011. – 576 с.
8. Котляров В.П. Основы тестирования программного обеспечения / В.П. Котляров, Т.В. Коликова. – М.: БИНОМ, 2006. – 285 с.
9. Бажин И.И. Исследование систем управления: Компакт-учебник / И.И. Бажин. – Х.: Консум, 2004. – 336 с.
10. Лямец В.И. Методы статистического анализа / В.И. Лямец. – Х.: ХВВКИУРВ, 1988. – 227 с.
11. Айвазян С.А. Прикладная статистика: Основы моделирования и первичная обработка данных / С.А. Айвазян, И.С. Енюков, Л.Д. Мешалкин. – М.: Финансы и статистика, 1983. – 472 с.

Надійшла до редакції 8.12.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф. І.В. Рубан, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

**МЕТОДИКА СТОХАСТИЧЕСКОГО ТЕСТИРОВАНИЯ
СЛОЖНЫХ ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ НАБОРАМИ
ДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ ТЕСТОВ БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ**

С.В. Смеляков, К.С. Смеляков, С.В. Дуденко, В.В. Калачева, А.А. Смирнов

Автоматизация процесса боевой подготовки личного состава, органов управления, военных частей и подразделений Воздушных Сил Вооруженных Сил Украины позволит повысить оперативность управления системой подготовки войск (сил) Вооруженных Сил Украины за счет сокращения времени на обратную связь между подсистемами анализа и планирования обучения, которая в свою очередь позволяет экономить ресурсы обеспечения подготовки войск (сил) Вооруженных Сил Украины. В ХУВС разработана специализированная информационно образовательная среда "Диалог" для дистанционного обучения в системе боевой подготовки, как составная часть перспективной автоматизированной системы подготовки войск (сил) Вооруженных Сил Украины. Система характеризуется большой мощностью детерминированных тестов, однако применение всего множества тестов требует больших временных затрат и не позволяет контролировать состояние системы в реальном времени. Проведение же стохастического тестирования с большой мощностью детерминированных тестов позволит достичь нужного качества программного продукта с определенной достоверностью.

Ключевые слова: система боевой подготовки, программный комплекс, стохастическое тестирование, детерминированный тест.

**METHOD OF STOCHASTIC TESTING
OF DIFFICULT PROGRAMMATIC COMPLEXES BY SETS
OF THE DETERMINED TESTS OF HIGH-POWERED**

S.V. Smelyakov, K.S. Smelyakov, S.V. Dudenko, V.V. Kalacheva, A.O. Smirnov

Automation of process of the combat training of personnel, management organs, soldiery parts and subdivisions of Air-crafts of Military Powers of Ukraine will allow to promote the operationability of management the system of preparation of troops (forces) of Military Powers of Ukraine due to reduction of time on a feed-back between the subsystems of analysis and planning of teaching, which in same queue allows to save the resources of providing of preparation of troops (forces) of Military Powers of Ukraine. In KHUVS the specialized is developed informatively educational environment "Dialog" for the controlled from distance teaching in the system of the combat training, as component part of the perspective automated system of preparation of troops (forces) of Military Powers of Ukraine. The system is characterized large power of the determined tests, however much application of all of great number of tests requires heavy temporal tolls and does not allow to control the state of the system in real time. The leadthrough of the stochastic testing high-power the determined tests will allow to attain necessary quality of software product with certain authenticity.

Keywords: system of the combat training, programmatic complex, stochastic testing, determined test.