

УДК 004.738:004.94

**О. М. Мартинюк**, кандидат технічних наук,  
доцент кафедри комп'ютерних  
інтелектуальних систем та мереж  
Одеського національного політехнічного  
університету

**Ахмеш Тамім**, аспірант Одеського  
національного політехнічного університету

**О. В. Дрозд**, доктор технічних наук,  
професор кафедри комп'ютерних  
інтелектуальних систем та мереж  
Одеського національного політехнічного  
університету

**Г. С. Степова**, кандидат технічних наук,  
ст. викладач кафедри комп'ютеризованих  
систем управління мереж Одеського  
національного політехнічного університету

### **КОНТРОЛЕПРИДАТНІСТЬ ІЄРАРХІЧНИХ ПЕРЕХОДІВ У ПОВЕДІНКОВОМУ КОНТРОЛІ**

*Засоби робочого контролю складних розподілених інформаційних систем (РІС), що часто володіють властивостями критичності застосування, мають забезпечувати їх повну перевірку в реальному часі. Контроль слід виконувати не тільки для статичних апаратної, програмної та інформаційної складових РІС, але й для динамічних інформаційно-керуючих потоків, що відповідають основним функціям і сценаріям роботи та встановлюють поведінку РІС. Розглянуто спадкування контролепридатності для переходів ієрархічних поведінкових моделей РІС, суттєвої у часовій декомпозиції робочого контролю. Спадкування ґрунтується на використанні в ієрархічних переходах відносин сумісності та квазіпорядку для умов, подій, дій, функцій, відповідних їм вхідних-вихідних сигналів у процесі організації фонового розпізнавання поведінки ієрархічних мереж Петрі.*

*Ключові слова: робочий поведінковий контроль; контролепридатність; ієрархічна модель; розпізнавання поведінки; ієрархічні мережі Петрі.*

*Средства рабочего контроля сложных распределенных информационных систем (РИС), часто обладающих свойствами критичности применения, должны обеспечивать их полную проверку в реальном времени. Контроль*

**© О. М. Мартинюк, Ахмеш Тамім, О. В. Дрозд, Г. С. Степова, 2018**

---

должен выполняться не только для статических аппаратной, программной и информационной составляющих РИС, но и для динамических информационно-управляющих потоков, соответствующих основным функциям и сценариям работы и составляющих поведение РИС. Рассмотрено наследование контролепригодности для переходов иерархических поведенческих моделей РИС, существенной при временной декомпозиции рабочего контроля. Наследование основано на использовании в иерархических переходах отношений совместимости и квазипорядка для условий, событий, действий, функций, соответствующих им вход-выходных сигналов при организации фонового распознавания поведения иерархических сетей Петри.

Ключевые слова: рабочий поведенческий контроль; контролепригодность; иерархическая модель; распознавание поведения; иерархические сети Петри.

*The means of on-line testing of complex distributed information systems (DIS), often possessing criticality properties, must ensure their complete verification in real time. The high structural-functional and combinatorial complexity of modern DIS translates most of the tasks of their construction and analysis into the NP-hard class. To a large extent, this refers to the design and analysis stages of the system-architectural, structural-functional, and especially behavioral levels. This state is even more aggravated by the dynamism, non-determinism, intelligence of situational component interactions of DIS. In designing DIS, the issues of ensuring the reliability of their functioning play a crucial role. Existing and promising models and methods for checking and diagnosing DIS, providing their solution, inherit these features, in addition, they can often exceed the complexity of the corresponding models and design methods. These circumstances necessitate the use of decomposition, network and hierarchical models, multi-level, incremental and parallel methods that reduce the dimensionality of the tasks of building and analyzing DIS, in particular, behavioral check and diagnosis. This reduction is particularly significant with operational behavioral on-line testing performed in real-time DIS operation. The article discusses certain aspects of decomposition hierarchical models of behavioral on-line testing - formal models of inheritance of testability in the hierarchical transitions of a multi-level behavioral check model of DIS based on hierarchical Petri nets. This model provides a definition of the mechanisms for interlevel inheritance of the identified check behavior, which is essential for the hierarchical temporal decomposition of on-line testing. Inheritance is based on the use in hierarchical transitions of compatibility and quasi-order relations for alphabets of positions, transitions, input-output alphabets and associated conditions, events, actions, functions of hierarchical Petri nets when organizing reference recognition of their behavior.*

Key words: on-line testing; checkability; hierarchical model; behavior recognition; Petri hierarchical networks.

---

**Постановка проблеми.** Перспективні розподілені інформаційні системи (далі – РІС) [1], зокрема системи Internet of Things та GRID-системи [2], характеризуються ускладненням, розширенням застосування, критичністю застосування [3]. Такі властивості, набуваючи постійності, визначають динамічні системи, в яких оперативно формуються розподілені структури взаємодіючих процесів обробки, комунікацій, зберігання з підвищеними ризиками доступу, невизначеності, функціональної інвалідації, помилок, хибних дій [3; 4].

Актуальність статті викликана необхідністю вдосконалення ієрархічних, компонентно-часових композицій для відомих моделей поведінкового робочого контролю РІС [5; 6; 7], що подаються, зокрема, ієрархічними мережами Петрі (МП). Пропонований підхід ґрунтується на декомпозиційних, асинхронно-подієвих властивостях у спадкуванні контрольної поведінки [8; 9] ієрархічних мереж Петрі [10].

Розмірність, динамічність, недетермінізм, інтелектуальність і комбінаторність ситуативних компонентних взаємодій сучасних РІС ускладнює моделі та методи контролю й діагнозу, а також часто обмежує їх застосування системами середньої складності.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Як правило, ризики доступу, помилок, хибних дій знімаються, по-перше, комплексом заходів безпеки і систем захисту інформації РІС [3; 4], до яких можна зарахувати засоби авторизації/аутентифікації, цифрового підпису, шифрування, прав доступу/довіри і багаторівневого екранування, предметно-логічної віртуалізації, по-друге, їх формальним контролем і діагнозом [4–8].

Для аналізу РІС застосовуються методи евристичного, детермінованого, імовірнісного, нечіткого, інтелектуального контролю, діагнозу і тестування їх структурних, функціональних та інформаційних властивостей і механізмів [5–11], що характеризуються прийнятними значеннями вірогідності й витрат.

Водночас компонентна й системна автономність, мобільність, інтелектуалізація [1, 2], кооперація все більше набувають властивостей складних РІС і надають їм ознаки мультиагентних систем. Отже, для РІС необхідним є аналіз (часто NP-складний), проектування, супровід із застосуванням багатьох технологій, – й усе це в умовах зростання оперативності розробки й перевірки, зокрема поведінкового робочого контролю.

У процесі підвищення ефективності виконання контрольних діагностичних завдань розвиваються апаратні засоби [5–7; 12; 13], методи декомпозиції й розпаралелювання, складні формальні моделі аналізованих властивостей і механізмів [8; 9; 14; 15]. Подальше вдосконалення оперативного робочого контролю на основі динамічних, мережних та ієрархічних,

---

подійно-часових, поведінкових моделей і методів може підвищити оперативність аналізу, перевірки та відновлення працездатності складних РІС.

**Мета статті** – розвиток контролепридатності ієрархічних переходів у багаторівневій поведінковій контрольній моделі РІС на основі ієрархічних мереж Петрі за рахунок визначення моделей і механізмів міжрівневого упадкування ідентифікованої контрольної поведінки.

**Виклад основного матеріалу.** У багаторівневому поведінковому робочому контролі РІС за вхідну модель компонента *SI* прийнято розширену МП [12]:

$$S(f) = (P, T, X, Y, In, Pb, Ep, Et, F, S, M_0, L, K), \quad (1)$$

де  $P, T$  – множини позицій і переходів;

$X, Y$  – множини відповідно вхідних і вихідних сигналів для умов, подій (як структур умов), дій (як структур функцій) і функцій, що виникають та розміщені у позиціях і переходах;

$In \subset N$  – множина цілочислових часових інтервалів переходів;

$Pb \subset [0; 1] \subset D$  – множина коефіцієнтів імовірності в діапазоні  $[0; 1]$ ;

$Ep \subset N$  – множина цілочислових енерговитрат формування умов, подій і виконання функцій для позицій з  $P$ ;

$Et \subset N$  – множина цілочислових енерговитрат виконання дій і функцій для переходів з  $T$ ;

$F: (P \times X \times In \times Pb \times Ep) \cup (T \times Y \times In \times Pb \times Et \rightarrow P)$  – розширене умовне відношення інцидентності позицій-переходів;

$S: (P \rightarrow X \times In \times Pb \times Ep) \cup (T \rightarrow Y \times In \times Pb \times Et)$  – розширена відповідність значень змінних для умов, подій, дій, функцій, часових інтервалів, коефіцієнтів імовірності в позиціях і переходах;

$M_0: P \rightarrow N$  – початкова розмітка, ( $M: P \rightarrow N$  – функція поточної розмітки);

$L: (T \times Y \times In \times Pb \times Et \rightarrow \{0, 1\})$  – предикат спрацьовування переходів;

$K: (((P \times X \times In \times Pb \times Ep) \rightarrow (P \times X \times In \times Pb \times Ep)) \cup ((T \times Y \times In \times Pb \times Et) \rightarrow (T \times Y \times In \times Pb \times Et)))$  – функція модифікації значень змінних для умов, подій, дій, функцій, часових інтервалів, коефіцієнтів імовірності для позицій і переходів.

У зв'язку з цим за базовий елемент багаторівневої ієрархії прийнято дворівневу ієрархічну розширену МП *IS*. Дворівнева ієрархія МП – це шістька виду:

$$IS = (S(f), \cup_{i \in I} S(f)_i^p, \cup_{j \in J} S(f)_j^t, S_{gis}), \quad (2)$$

де  $S(f)$  – старша МП з верхнього рівня ієрархії;

$S(f)^p = \cup_{i \in I} S(f)_i^p$  – множина підмереж Петрі (ПМП) нижнього рівня ієрархії, що заміщають (із синхронізацією, трансляцією) макропозиції з  $P' = \cup_{i \in I} p_i'$ , де  $P' \subseteq P$  для МП  $S(f)$  верхнього рівня через підстановку з ієрархічних відображень  $\chi^{\rightarrow p}, \chi^{p \rightarrow}$ ;

$S(f)^t = \cup_{j \in J} S(f)_j^t$  – множина ПМП нижнього рівня ієрархії, що заміщають макропереходи з  $T' = \cup_{j \in J} t_j'$  (де  $T' \subseteq T$ ) для МП  $S(f)$  верхнього рівня через підстановку з ієрархічних відображень  $\nu^{\rightarrow t}, \nu^{t \rightarrow}$ ;

$Sg_{IS} = \{ \chi^{\rightarrow p}, \chi^{p \rightarrow}, \nu^{\rightarrow t}, \nu^{t \rightarrow} \}$  – сигнатура самих ієрархічних відображень.

Сигнатура  $Sg_{IS}$  описується наступною п'ятіркою:

–  $\chi^{\rightarrow p}$  – часткове відображення заміщення входів у макропозиції з  $P'$ ,

що розщеплюються, для МП  $S(f)$  верхнього рівня на входи в нові початкові позиції із множини  $\cup_{i \in I} p_{S(f)i}$  для ПМП  $S(f)^p = \cup_{i \in I} S(f)_i^p$  нижнього рівня;

–  $\chi^{p \rightarrow}$  – часткове відображення заміщення виходів у макропозиції з  $P'$ ,

що розщеплюються, для МП  $S(f)$  верхнього рівня на виходи з нових кінцевих позицій із множини  $\cup_{i \in I} p_{S(f)i}$  для ПМП  $S(f)^p = \cup_{i \in I} S(f)_i^p$  нижнього рівня;

–  $\nu^{\rightarrow t}$  – часткове відображення заміщення входів у макропереходи з  $T'$ ,

що розщеплюються, для МП  $S(f)$  верхнього рівня на входи в нові початкові переходи з множини  $\cup_{j \in J} t_{S(f)j}$  для ПМП  $S(f)^t = \cup_{j \in J} S(f)_j^t$  нижнього рівня;

–  $\nu^{t \rightarrow}$  – часткове відображення заміщення виходів з макропереходів із

$T'$ , що розщеплюються, для МП  $S(f)$  верхнього рівня на виходи з нових кінцевих переходів з множини  $\cup_{j \in J} t_{S(f)j}$  для ПМП  $S(f)^t = \cup_{j \in J} S(f)_j^t$  нижнього рівня.

Дворівнева ієрархія  $IS$  об'єднує множини простих ієрархічних переходів двох основних типів між двома безпосередньо суміжними рівнями моделі. Результатом застосування такої наскрізної часової декомпозиції є деталізована молодша МП  $S(f)^+ = S(f) \setminus ((\cup_{i \in I} p_i) \cup (\cup_{j \in J} t_j)) \cup (\cup_{i \in I} S(f)_i^p) \cup (\cup_{j \in J} S(f)_j^t)$ , що отримується зі старшої МП  $S(f)$  в результаті виконання заміщень, отриманих із підстановок і відображень  $Sg_{IS} = \{ \chi^{\rightarrow p}, \chi^{p \rightarrow}, \nu^{\rightarrow t}, \nu^{t \rightarrow} \}$ , усіх позицій  $P'$  і переходів  $T'$  старшої МП  $S(f)$  відповідними ПМП із множин  $\cup_{i \in I} S(f)_i^p, \cup_{j \in J} S(f)_j^t$ , що й деталізують оці позиції і переходи.

Моделлю довільної МП або ПМП з  $S(f)$ , або  $\cup_{i \in I} S(f)_i^p$  і  $\cup_{j \in J} S(f)_j^t$  в ієрархії  $IS$  прийнята МП, достатня в задачах поведінкового контролю функціональних дефектів. Асинхронно-подієва МП  $S(f)$  організовує свою внутрішню синхронізацію відповідно до відносин сумісності  $\xi$  та квазіпорядку  $\psi$  для алфавітів умов, подій, дій, функцій, а також їх вхід-вихідних сигналів.

Відносини сумісності  $\xi$  і квазіпорядку  $\psi$  також успадковуються у синхронізації відносин сумісності та квазіпорядку для ієрархії  $IS$  і молодшої МП  $S(f)^+$ , зводячи їх до єдиних відносин сумісності  $\xi^+ = \xi \cup (\cup_{i \in I} \xi_i) \cup (\cup_{j \in J} \xi_j)$  і квазіпорядку  $\psi^+ = \psi \cup (\cup_{i \in I} \psi_i) \cup (\cup_{j \in J} \psi_j)$  для об'єднаних алфавітів умов, подій,

дій, функцій, а також їх вхід-вихідних сигналів, пов'язаних із ними за часовими інтервалами для  $S(f)^+$ .

Таким чином, дворівнева ієрархія  $IS$  накладає на  $S(f)$ ,  $\cup_{i \in I} S(f)_i^c$ ,  $\cup_{j \in J} S(f)_j^t$ , які входять до її складу, умову синхронізації алфавітів. Дискретний асинхронно-подієвий час для  $\psi$  поширюється на  $IS$  і  $S(f)^+$  під час успадкування часових умов  $\psi$  старшої МП  $S(f)$  у часових умовах  $\cup_{i \in I} \psi_i$ ,  $\cup_{j \in J} \psi_j$  для ПМП з  $(\cup_{i \in I} S(f)_i^c) \cup (\cup_{j \in J} S(f)_j^t)$ . Єдиний асинхронно-подієвий час  $IS$  передбачає, що інтервали будь-якої ПМП з  $(\cup_{i \in I} S(f)_i^c) \cup (\cup_{j \in J} S(f)_j^t)$  квазівпорядковані за  $\psi^+$  і сумісні за  $\xi^+$  як з інтервалами старшої МП  $S(f)$ , так і з інтервалами будь-якої іншої ПМП з  $(\cup_{i \in I} S(f)_i^c) \cup (\cup_{j \in J} S(f)_j^t)$ .

Без втрати спільності для поведінкового робочого контролю в рамках відносин квазівпорядку  $\psi$  і сумісності  $\xi$  властивості поведінки для ієрархій  $IS$  обмежені синхронізацією для умов, подій, дій, функцій, їх вхід-вихідних сигналів у відображеннях з  $Sg_{IS}$  для ієрархічних переходів з  $IS$ . Тобто для ієрархічного переходу ієрархії  $IS$  для МП з  $S(f)^+$ , згідно з відносинами  $\psi$  і  $\xi$  старшої МП  $S(f)$  і відносинами  $\xi^+$  та  $\psi^+$  молодшої МП  $S(f)^+$ , виконуються такі умови:

– миттєве виникнення умови, події, дії, функції, їх вхід-вихідного сигналу для старшої МП  $S(f)$  у певний відповідний до відносин  $\xi^+$  і  $\psi^+$  момент асинхронно-подієвого часу успадковується у миттєвих виникненнях відповідних структур умов, подій, дій, функцій, їх вхід-вихідних сигналів для  $S(f)^+$ ;

– єдиність виникнення умови, події, дії, функції, їх вхід-вихідного сигналу для старшої МП  $S(f)$  у певний, відповідний до відносин  $\xi^+$  і  $\psi^+$ , момент асинхронно-подієвого часу успадковується в єдиності виникнення відповідних структур умов, подій, дій, функцій, їх вхід-вихідних сигналів для  $S(f)^+$ ;

– виникнення умови, події, дії, функції, їх вхід-вихідні сигнали для старшої МП  $S(f)$  у певний, відповідний до відносин  $\xi^+$  і  $\psi^+$ , момент асинхронно-подієвого часу  $\varpi$  з можливістю його збереження до деякого відповідного до відносин  $\xi^+$  і  $\psi^+$  моменту  $\varpi + \zeta$ , де  $\zeta = 0, 1, 2, \dots$  – номери наступних відповідних структур умов, подій, дій, функцій, їх вхід-вихідних сигналів, пов'язаних із початковою подією виникнення при  $\zeta = 0$ , успадковується у виникненнях відповідних структур умов, подій, дій, функцій, їх вхід-вихідних сигналів для  $S(f)^+$  із загальними початковими моментами часу  $\varpi^+ = \varpi \cup (\cup_{i \in I} \varpi_i) \cup (\cup_{j \in J} \varpi_j)$  та можливістю їх збереження до деяких загальних (сумарних) для всіх множин граничних моментів:

$$\varpi^+ + \zeta^+ = (\varpi + \zeta) \cup (\varpi' + \zeta') \cup (\cup_{i \in I} \varpi_i + \zeta_i) \cup (\cup_{j \in J} \varpi_j + \zeta_j),$$

де  $\varpi'$ ,  $\varpi' + \zeta'$  – заміщені інтервали;  $(\cup_{i \in I} \varpi_i)$ ,  $(\cup_{j \in J} \varpi_j)$ ,  $(\cup_{i \in I} \varpi_i + \zeta_i)$ ,  $(\cup_{j \in J} \varpi_j + \zeta_j)$  – нові інтервали, якими заміщують старі інтервали  $\varpi'$ ,  $\varpi' + \zeta'$  відповідно  $S(f)^+$ ;

– виникнення умов, подій, дій, функцій, їх вхід-вихідних сигналів, що не зберігаються (на один момент асинхронно-подієвого часу), і умов, подій, дій, функцій, їх вхід-вихідних сигналів, що зберігаються (на більш ніж один момент асинхронно-подієвого часу).

Згідно з цим для робочого контролю ієрархія  $IS$  накладає на ПСП з множин  $\cup_{i \in I} S(f)_i^c, \cup_{j \in J} S(f)_j^t$ , що входять до неї, умови успадкування контрольної поведінки в ієрархічних переходах із  $IS$  у разі заміщення обраних макропозицій і макропереходів системної МП  $S(f)$  відповідними ПМП із множин  $\cup_{i \in I} S(f)_i^c, \cup_{j \in J} S(f)_j^t$  відповідно до відображень  $Sg_{is}$ .

Так, організація ієрархії контрольних примітивів і, як наслідок, виконаного під час їх покриття поведінкового робочого контролю можлива за умови збереження сигнатурою  $Sg_{is}$  контрольованих властивостей та ідентифікаторів позицій у  $S(f)^+$ . Ця умова обмежує множини  $\cup_{i \in I} S(f)_i^c, \cup_{j \in J} S(f)_j^t$  молодших ПМП із множин  $\cup_{i \in I} S(f)_i^c, \cup_{j \in J} S(f)_j^t$  допустимими для збереження контрольованих властивостей та ідентифікаторів. У цьому випадку множина ієрархічних переходів формує четвірку сумісних ієрархій, похідних від початкової ієрархії  $IS = (S(f), \cup_{i \in I} S(f)_i^c, \cup_{j \in J} S(f)_j^t, Sg_{is})$ , – еталонних властивостей  $iPr$ , ідентифікаторів позицій  $iCi$ , контрольних примітивів  $iCp$ , фрагментів зафіксованої реальної поведінки  $iW^{\wedge}$ :

$$\begin{aligned} iPr &= (Pr, \cup_{i \in I} Pr_i^c, \cup_{j \in J} Pr_j^t, Sg_{iP}), \\ iCi &= (Ci, \cup_{i \in I} Ci_i^c, \cup_{j \in J} Ci_j^t, Sg_{iId}), \\ iCp &= (Cp, \cup_{i \in I} Cp_i^c, \cup_{j \in J} Cp_j^t, Sg_{iEx}), \\ iW^{\wedge} &= (W^{\wedge}, \cup_{i \in I} W_i^{\wedge c}, \cup_{j \in J} W_j^{\wedge t}, Sg_{iW}) \end{aligned} \quad (3)$$

для обумовленої дворівневої контрольної ієрархії

$$iCS = (cS, \cup_{i \in I} cS_i^c, \cup_{j \in J} cS_j^t, Sg_{cS}). \quad (4)$$

Таким чином, для ієрархії  $IS$  формується ієрархічна модель багаторівневого поведінкового робочого контролю  $iCS$ . У робочому контролі аналіз ієрархічних відображень із  $Sg_{is}$  старшої МП  $S(f)$  і будь-якої компонентної ПМП з  $S(f)^+$  ієрархії  $IS$  виконується для відносин квазіпорядку  $\psi^+$  і сумісності  $\xi^+$ , що представляють старший і молодший рівні синхронізації поведінки ієрархічного переходу для  $S(f)^+$  у загальній асинхронно-подієвій ієрархії  $IS$ .

Синхронізація відносин  $\psi^+$  і  $\xi^+$  в ієрархічних переходах ієрархії  $IS$  для  $S(f)^+$  визначає різні класи старшого й молодшого рівнів синхронізації для множин вхідних  $X \cup (\cup_{i \in I} X_i^c) \cup (\cup_{j \in J} X_j^t)$ , вихідних  $Y \in (\cup_{i \in I} Y_i^c) \cup (\cup_{j \in J} Y_j^t)$  алфавітів і алфавітів позицій  $P \cup (\cup_{i \in I} P_i^c) \cup (\cup_{j \in J} P_j^t)$  та переходів  $T \cup (\cup_{i \in I} T_i^c) \cup (\cup_{j \in J} T_j^t)$ , а через них і умов, подій, дій та функцій для  $S(f)^+$ . Отже, ці класи передбачають класифікацію алфавітів у їх конкретній інцидентності всім МП і ПМП із  $S(f)^+$ .

---

У довільному ієрархічному переході ієрархії  $IS$  для старшої МП  $S(f)$  і молодших ПМП з  $(\cup_{i \in I} S(f)_i^p) \cup (\cup_{j \in J} S(f)_j^t)$  для будь-якої з двох ПМП, що деталізують позицію з  $P'$  або перехід з  $T'$  для  $S(f)$  (наприклад, ПМП  $S(f)_i^c$  для позиції з МП  $S(f)$ ), для вхідного алфавіту можливі три випадки: а)  $X \cap X_i^p = \emptyset$ , б)  $X \cap X_i^p \neq \emptyset$  при  $P \cap P_i^p = \emptyset$  і  $T \cap T_i^p = \emptyset$ , в)  $X \cap X_i^p \neq \emptyset$  при  $P \cap P_i^p \neq \emptyset$  або  $T \cap T_i^p \neq \emptyset$ . Решта випадків зводиться до їх комбінацій, тому без втрати спільності досить розглянути їх для вхідного, вихідного алфавітів, алфавітів позицій і переходів. Для цього прикладу алфавіти МП  $S(f)$  і ПМП  $S(f)_i^p$  відповідно мають такі можливості.

Перша можливість. Нехай  $X \cap X_i^p = \emptyset$ . У цьому випадку МП  $S(f)$  і ПМП  $S(f)_i^p$  отримуються в результаті деталізації. Еквівалентна по відношенню до  $IS$  молодша МП  $S(f)^+$  не знижує детермінованість відносин суміжності позицій і переходів (у межах її попереднього ієрархічним переходу існування). Як наслідок попередній контрольний аналіз старшої МП не руйнується. Надалі на молодшому рівні для повного  $S(f)^+$  контрольний аналіз зводиться до аналізу організації, не потребуючи будь-яких спеціальних дій. Відносини вихідних алфавітів  $Y$  і  $Y_i^p$  на виконаний раніше контрольний аналіз не впливають.

Друга можливість. Нехай  $X \cap X_i^p \neq \emptyset$ . При  $P \cap P_i^p = \emptyset$  і  $T \cap T_i^p = \emptyset$  МП  $S(f)$  і ПМП  $S(f)_i^p$  також отримуються в результаті деталізації. Еквівалентна по відношенню до  $IS$  повна молодша МП  $S(f)^+$  не знижує детермінованість відносин суміжності позицій і переходів. Попередній контрольний аналіз не руйнується, але еквівалентна молодша МП  $S(f)^+$  може потребувати аналізу мінімальності або дії за низхідного проектування, що її забезпечують, за участю вихідних алфавітів  $Y$  і  $Y_i^p$  та відносин квазіпорядку  $\psi^+$  сумісності  $\xi^+$ .

Третя можливість. Нехай  $X \cap X_i^p \neq \emptyset$ . При  $P \cap P_i^p \neq \emptyset$  або  $T \cap T_i^p \neq \emptyset$  МП  $S(f)$  і ПМП  $S(f)_i^p$  також отримуються в результаті деталізації. Еквівалентна щодо  $IS$  повна молодша МП  $S(f)^+$  може знизити детермінованість відносин суміжності позицій і переходів. Попередній контрольний аналіз старшої МП  $S(f)$  може зруйнуватися, тому для молодшої МП  $S(f)^+$  слід дотримуватися контрольного перепроєктування і повторного аналізу мінімальності у його складі або дій за низхідного проектування, які її забезпечують, за участю вихідних алфавітів  $Y$  і  $Y_i^p$  та відносин квазіпорядку  $\psi^+$  і сумісності  $\xi^+$ .

У реальному проектуванні наявні всі три можливості. Контролепридатною для наскрізного проектування можна вважати першу можливість. Умовно контролепридатною з мінімальним рівнем перевірок і відсутністю контрольного перепроєктування – другу можливість. Умовно не контролепридатною є третя можливість, де може губитися деякий попередній контрольний аналіз старшого рівня і в цьому разі потрібно виконувати контрольне перепроєктування.

**Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі.** У статті розглянуто властивості спадкування контроле-



---

придатності для переходів ієрархічної моделі поведінкового робочого контролю розподілених інформаційних систем, що ґрунтується на ієрархічних мережах Петрі. Спадкування істотне у разі часової декомпозиції робочого контролю, воно ґрунтується на перевірці виконання в ієрархічних переходах відносин сумісності та квазіпорядку для умов, подій, дій, функцій, відповідних їм вхід-вихідних сигналів у ієрархічних мережах Петрі під час організації фонового розпізнавання еталонної поведінки. Застосування ієрархічної моделі дає можливість не лише визначити умови побудови наскрізного методу контролю, що застосовується на системному і компонентному рівні, але й у цілому знизити розмірність виконання поведінкового робочого контролю.

**Список використаних джерел:**

1. *Coulouris G., Dollimore J., Kindberg T., Blair G.* Distributed Systems: Concepts and Design, 5th ed. Boston: Addison-Wesley, 2011. 1067 p.
2. *Hahanov V., Litvinova E., Chumachenko S.* Cyber Physical Computing for IoT-driven Services. Springer, 2017. 279 p.
3. *Kharchenko V., Gorbenko A., Sklyar V., Phillips C.* Green Computing and Communications in Critical Application Domains: Challenges and Solutions // IX International Conference of Digital Technologies. Zhilina, Slovak Republic, 2013. P. 191–197.
4. *Romankevich V. A.* Self-testing of multiprocessor systems with regular diagnostic connections // Automation and Remote Control. 2017. Vol. 78, Issue 2. P. 289–299.
5. *Drozd O., Antoshchuk S., Rucinski A., Martinuk A.* Parity prediction method for on-line testing A Barrel-shifter // Proc. IEEE East-West Design & Test Symposium. Lviv, Ukraine, 2008. P. 208–213. DOI: 10.1109/EWDTS.2008.5580162.
6. *Drozd O., Antoshchuk S., Martinuk A., Drozd J.* Increase in reliability of on-line testing methods using natural time redundancy // Proc. IEEE East-West Design & Test Symposium. Moscow, Russia, 2010. P. 223–229.
7. *Hahanov V., Litvinova E., Obrizan V., Gharibi W.* Embedded method of SoC diagnosis // Elektronika in Elektrotechn. 2008. № 8. P. 3–8.
8. *Kudryavtsev V. B., Grunskii I. S., Kozlovskii V. A.* Analysis and synthesis of abstract automata // Journal of Mathematical Sciences. 2010. Vol. 169. Issue 4. P. 481–532.
9. *Gomes L., Fernandes J. M.* Behavioral Modeling for Embedded Systems and Technologies: Applications for Design and Implementation. 2010. 494 p. DOI: 10.4018/978-1-60566-750-8.
10. *Zaitsev D. A.* Toward the Minimal Universal Petri Net // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems. 2013. P. 1–12.

---

11. *Martynyuk O., Sugak A., Martynyuk D., Drozd O.* Evolutionary Network Model of Testing of the Distributed Information Systems // Proc. 9th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications. Bucharest, Romania, 2017. P. 888–893. DOI: 10.1109/IDAACS.2017.8095215.

12. *Мартынюк А. Н., Тамим А., Мартынюк Д. А., Дрозд А. В.* Поведенческий рабочий контроль сетевых компьютерных систем // Электротехнические и компьютерные системы. 2018. № 28 (104). С. 201–207. DOI: <http://dx.doi.org/10.15276/eltecs.28.104.2018.24>.

13. *Skobtsov Yu. A., Skobtsov V. Yu.* Evolutionary test generation methods for digital devices // Design of Digital Systems and Devices / [eds.: M.Adamski et al.]. Berlin: Springer-Verlag, 2011. P. 331–361 (Lecture Notes in Electrical Engineering. Vol. 79).

14. *Drozd O., Drozd M., Martynyuk O., Kuznietsov M.* Improving of a Circuit Checkability and Trustworthiness of Data Processing Results in LUT-based FPGA Components of Safety-Related Systems // CEUR Workshop Proceedings. 2017. Vol. 1844. P. 654–661.

15. *Sugak H., Martynyuk O., Drozd A.* Models of the Mutation and Immunity in Test Behavioral Evolution // Proc. 8th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, Warsaw, Poland, 2015. P. 790–795.

#### References:

1. Coulouris G., Dollimore J., Kindberg T. and Blair G. (2011), Distributed Systems: Concepts and Design, 5th ed. Boston : Addison-Wesley, 1067 p.

2. Hahanov V., Litvinova E. and Chumachenko S. (2017), Cyber Physical Computing for IoT-driven Services. Springer, 279 p.

3. Kharchenko V., Gorbenko A., Sklyar V. and Phillips C. (2013), “Green Computing and Communications in Critical Application Domains: Challenges and Solutions” // IX International Conference of Digital Technologies, Zhilina, Slovak Republic, pp. 191–197.

4. Romankevich V. A. (2017), “Self-testing of multiprocessor systems with regular diagnostic connections” // Automation and Remote Control, vol. 78, issue 2, pp. 289–299.

5. Drozd O., Antoshchuk S., Rucinski A. and Martinuk A. (2008), Parity prediction method for on-line testing A Barrel-shifter // Proc. IEEE East-West Design & Test Symposium, Lviv, Ukraine, pp. 208–213. DOI: 10.1109/EWDTS.2008.5580162.

- 
6. Drozd O., Antoshchuk S., Martinuk A. and Drozd J. (2010), Increase in reliability of on-line testing methods using natural time redundancy // Proc. IEEE East-West Design & Test Symposium. Moscow, Russia, pp. 223–229.
  7. Hahanov V., Litvinova E., Obrizan V. and Gharibi W. (2008), “Embedded method of SoC diagnosis” // Elektronika in Elektrotechn, vol. 8, pp. 3–8.
  8. Kudryavtsev V. B., Grunskii I. S. and Kozlovskii V. A. (2010), “Analysis and synthesis of abstract automata” // Journal of Mathematical Sciences, vol. 169, issue 4, pp. 481–532.
  9. Gomes L. and Fernandes J. M. (2010), Behavioral Modeling for Embedded Systems and Technologies: Applications for Design and Implementation, 494 p. DOI: 10.4018/978-1-60566-750-8.
  10. Zaitsev D. A. (2013), Toward the Minimal Universal Petri Net // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems, pp. 1–12.
  11. Martynyuk O., Sugak A., Martynyuk D. and Drozd O. (2017), “Evolutionary Network Model of Testing of the Distributed Information Systems” // Proc. 9th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, Bucharest, Romania, pp. 888–893. DOI: 10.1109/IDAACS.2017.8095215.
  12. Martynyuk A. N., Tamim A., Martynyuk D. A. and Drozd A. V. (2018), “*Povedencheskiy rabochiy kontrol' setevykh komp'yuternykh sistem*” [“Behavioral Working Control of Network Computer Systems”] // Journal *Elektrotekhnicheskkiye i komp'yuternyye sistemy* [Electrotechnical and Computer Systems], vol. 28 (104), pp. 201–207. DOI: <http://dx.doi.org/10.15276/eltecs.28.104.2018.24> [Russia].
  13. Skobtsov Yu. A. and Skobtsov V. Yu. (2011), Evolutionary test generation methods for digital devices // Design of Digital Systems and Devices / [eds.: M.Adamski et al.], Berlin: Springer-Verlag, pp. 331–361 (Lecture Notes in Electrical Engineering, vol. 79).
  14. Drozd O., Drozd M., Martynyuk O. and Kuznietsov M. (2017), “Improving of a Circuit Checkability and Trustworthiness of Data Processing Results in LUT-based FPGA Components of Safety-Related Systems” // CEUR Workshop Proceedings, vol. 1844, pp. 654–661.
  15. Sugak H., Martynyuk O. and Drozd A. (2015), “Models of the Mutation and Immunity in Test Behavioral Evolution” // Proc. 8th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, Warsaw, Poland, pp. 790–795.