

значно підвищити захищеність ліній зв'язку від засобів радіоелектронної боротьби. Складна форма сигналів унеможливує їх прогнозування та регенерацію завадовими комплексами ворога. Запропоновані рішення можуть бути впроваджені при модернізації чинних радіоліній керування тактичних БПЛА та розробці перспективних завадозахищених систем зв'язку.

1. Кутень Р.Б., Синявський О.Ю.. Методи і засоби забезпечення стабільності та захисту радіозв'язку в умовах складної електромагнітної обстановки. *Комп'ютерні системи та мережі*. – 2024. – №1(6). – С. 99-107.
2. Костяк М.Ю., Синявський О.Ю. Синтез сигналу управління каналу зв'язку БПЛА методом динамічного програмування. *Системи управління, навігації та зв'язку*. – 2026, Том 1, № 83, – С.198-201.
3. Синявський О.Ю. Метод розрахунку чутливості каналу зв'язку БПЛА як критерію синтезу сигналів управління. *Сучасний захист інформації*. Київ. – 2026. – № 1. – С.163-168.

Метод прогнозування стану взаємоблокування процесів у комп'ютерній системі

УДК 004.451

Сергій Мостовий

Хмельницький національний університет, serhii.mostovyi@khmnu.edu.ua

У сучасних комп'ютерних системах одночасно виконується велика кількість процесів, кожен із яких використовує певні ресурси операційного середовища. До таких ресурсів належать процесорний час, оперативна пам'ять, файлові об'єкти, пристрої введення-виведення, мережеві з'єднання та інші системні компоненти. За звичайних умов така взаємодія є керованою і не призводить до порушення роботи системи. Проблема виникає тоді, коли процес не лише утримує вже надані йому ресурси, а й очікує отримання іншого ресурсу, який у цей момент зайнятий іншим процесом. Якщо подібні залежності поширюються на кілька процесів і набувають циклічного характеру, система може перейти до стану взаємоблокування процесів. У такому разі окремі процеси втрачають можливість продовжувати виконання, а операційне середовище змушене працювати в умовах зниженої продуктивності або нестабільності. Тому важливим є не тільки виявлення вже сформованого взаємоблокування. Значно більшу практичну цінність має прогнозування наближення процесів до стану взаємоблокування ще до того, як він стане критичним. Це дозволяє своєчасно застосувати керуючу дію та запобігти подальшому розвитку ресурсного конфлікту.

Метою роботи є розроблення методу прогнозування стану взаємоблокування процесів у комп'ютерній системі, який дає змогу оперативно визначати процеси, ресурсна взаємодія яких може призвести до взаємоблокування, та формувати підстави для подальшого керування ресурсною взаємодією.

Запропонований метод є складовою загальної архітектури системи аналізу процесів. Він використовується після побудови сигнатур процесів і формування бази нечітких правил. Така послідовність є принциповою, оскільки прогнозування стану взаємоблокування виконується не на основі необроблених системних подій, а на основі вже структурованого опису ресурсного стану процесів.

Сигнатура процесу відображає його поточний ресурсний стан у формалізованому вигляді. Вона містить інформацію про ідентифікатор процесу, ресурси, які він утримує, а також ресурс, який він запитує. База нечітких правил, своєю чергою, описує типові ресурсні стани, визначені на етапі навчання. У режимі прогнозування ці правила використовуються як база знань для оцінювання поточних сигнатур і визначення ступеня наближення процесів до стану взаємоблокування. На відміну від етапу навчання, метод прогнозування не формує нову навчальну вибірку і не виконує повторної кластеризації. Це важливо для практичного застосування, оскільки повторне навчання під час кожної зміни стану процесу призвело б до надмірних обчислювальних витрат. Натомість метод використовує вже сформовану базу правил і застосовує її до поточних подій ресурсної взаємодії.

Вхідними даними методу є поточна множина сигнатур процесів, сигнатура процесу, для якого зафіксовано зміну стану, множина ресурсів комп'ютерної системи, база нечітких правил і ознака системної події. Така подія може бути пов'язана зі створенням процесу, зміною його параметрів, запитом на ресурс, ненаданням ресурсу, отриманням ресурсу або його звільненням.

Результатом роботи методу є оцінка поточного стану взаємоблокування процесів. Якщо процесів із небезпечною ресурсною залежністю не виявлено, система продовжує спостереження. Якщо ж один або кілька процесів мають достатній ступінь належності до небезпечних кластерних станів, формується множина кандидатів для керуючої дії. Для таких процесів додатково визначається ідентифікатор, за яким система може виконати подальше втручання.

Робота методу починається з перевірки бази знань. На цьому етапі встановлюється, чи наявна база нечітких правил і чи відповідає її структура параметрам, використаним під час навчання. Важливо, щоб порядок кластерів, спосіб кодування ресурсів і структура вхідних ознак залишалися узгодженими з етапом формування правил. Якщо ця умова не виконується, результат прогнозування стану взаємоблокування може бути некоректним.

Після цього система аналізує події, що надходять від операційного середовища. Не кожна подія потребує запуску прогнозного оцінювання. Наприклад, зміна окремого параметра процесу може лише уточнювати його поточний опис, але не створювати небезпечної ресурсної залежності. Натомість запит на ресурс, який не був задоволений, є підставою для подальшого аналізу. Коли така подія зафіксована, виконується оновлення сигнатури процесу. Поточні системні дані приводяться до формалізованої структури, придатної для подання на базу нечітких правил. Якщо процес щойно з'явився в системі, його сигнатура додається до загальної множини. Якщо він уже був зафіксований раніше, попередній запис замінюється актуальним. Це дозволяє підтримувати

поточну картину ресурсної взаємодії без повного переобчислення стану всієї системи.

Далі метод визначає, чи є процес кандидатом для прогнозного оцінювання стану взаємоблокування. Ключовою умовою є наявність незадоволеного запиту на ресурс. Якщо процес очікує ресурс, який уже зайнятий іншим процесом, його сигнатура перетворюється у ресурсний вектор тієї самої структури, що використовувалася під час навчання. Після цього вектор подається до бази нечітких правил.

У результаті нечіткого логічного висновку визначається ступінь належності поточного стану процесу до кожного з кластерних станів. Найбільший інтерес становлять стани, що відповідають граничному наближенню до взаємоблокування та власне взаємоблокуванню процесів. Такий підхід дає змогу не обмежуватися фіксацією вже критичної ситуації, а виявляти її передумови.

Граничний стан характеризує ситуацію, у якій взаємоблокування ще не є остаточно сформованим. Водночас процес уже має ознаки небезпечної ресурсної залежності. Стан взаємоблокування, навпаки, відображає критичну або майже критичну конфігурацію ресурсних зв'язків. Спільний аналіз цих станів підвищує чутливість методу до небезпечних змін. Після оцінювання формуються множини процесів, для яких значення належності до небезпечної області перевищує встановлений поріг. Вона не є копією всієї множини активних процесів. До неї входять лише ті процеси, щодо яких доцільно розглядати керуючий вплив.

Якщо така множина порожня, система продовжує моніторинг. Якщо ж вона містить один або кілька процесів, необхідно визначити, до якого саме процесу може бути застосована керуюча дія. При цьому не можна орієнтуватися лише на максимальний рівень ризику. Серед процесів із високою оцінкою небезпечності можуть бути системні процеси, втручання в які здатне порушити стабільність операційного середовища. Тому в методі враховується обмеження на несистемність процесу. Лише після такого відбору може застосовуватися додатковий критерій, наприклад найменший час перебування процесу в системі. Такий підхід дає змогу знизити втрати від втручання і не впливати на критичні компоненти операційної системи.

Розглянемо приклад роботи методу. Нехай у комп'ютерній системі виконуються процес бази даних, процес вебсервера та процес резервного копіювання. Процес бази даних утримує кілька ресурсів і надсилає запит на ресурс, який уже зайнятий вебсервером. Менеджер ресурсів не може задовольнити цей запит. Система фіксує подію, оновлює сигнатуру процесу бази даних і подає її на прогнозне оцінювання стану взаємоблокування. Після перетворення сигнатури у ресурсний вектор він передається до бази нечітких правил. У результаті визначаються ступені належності поточного стану процесу до кластерних станів. Якщо найбільші значення отримано для граничного або взаємозаблокованого стану, а сумарна оцінка перевищує встановлений поріг, процес включається до множини ризикових. Далі система перевіряє, чи не є він системним, і за потреби застосовує керуючу дію. Після цього оновлюються сигнатури процесів і стан доступності ресурсів. Цей приклад показує, що метод

не очікує остаточного формування взаємоблокування процесів. Він реагує на появу небезпечної ресурсної залежності ще на етапі очікування зайнятого ресурсу. Саме це створює можливість для попереджувального втручання.

Отже, запропонований метод прогнозування стану взаємоблокування процесів у комп'ютерній системі забезпечує своєчасне визначення процесів, ресурсна взаємодія яких може призвести до взаємоблокування. Він поєднує формалізований опис процесів у вигляді сигнатур, базу нечітких правил, пороговий механізм відбору небезпечних станів і процедуру вибору процесу для керуючої дії. Це дозволяє перейти від пасивного спостереження за ресурсними подіями до активного попередження взаємоблокування процесів.

Удосконалення механізмів синхронізації на основі довіри у багаторівневій архітектурі мереж 6G

УДК 004.056.53

Максим Толкачов¹, Наталія Дженюк², Гліб Хівренко³

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
¹maksymtolkachov@gmail.com, ²natalidzh16@gmail.com, Харківський
національний університет радіоелектроніки, ³hlib.khivrenko@nure.ua*

У сучасних мережах покоління 6G відбувається інтеграція розподіленого штучного інтелекту, програмно-керованих мереж та віртуалізації мережевих функцій, семантичних комунікацій і механізмів оркестраційної взаємодії в єдине когнітивне середовище взаємодії [1], [2]. У таких архітектурах критичну роль відіграють механізми синхронізації контексту, через які здійснюється передавання параметрів довіри, оркестраційних команд, рішень штучного інтелекту та оновлень семантичного стану між рівнями мережі. Компрометація цих механізмів може призвести до каскадної дестабілізації всієї архітектури 6G через поширення фальшивих оркестраційних команд, семантичного спотворення та шкідливих оновлень моделей штучного інтелекту [4].

У роботі запропоновано самоорганізовану модель синхронізації довіри як удосконалення механізмів довірчої синхронізації для багаторівневої архітектури мереж 6G. Основна ідея моделі полягає у використанні самоорганізованих карт Кохонена для формування самоорганізованого простору довіри між рівнем штучного інтелекту, програмно-керованими контролерами мережі, ядром довіри та рівнем оркестрації [3]. На відміну від класичних механізмів довірчої синхронізації, де коефіцієнт довіри формується переважно на основі статистичних або репутаційних параметрів, запропонований підхід враховує поведінкові, часові, семантичні та когнітивні характеристики контекстних повідомлень.

Кожне контекстне повідомлення описується багатовимірним вектором ознак:

$$X_j = (T_{node}, F_{sync}, H_{sem}, D_{net}, A_{conf}, \Delta\tau, B_{stab}, P_{valid}, R_{dev}), \quad (1)$$

де T_{node} – коефіцієнт довіри до вузла, F_{sync} – частота оновлень синхронізації, H_{sem} – семантична ентропія повідомлення, D_{net} – відхилення поточного стану