

АНОТАЦІЯ

Павлова Ольга Олександрівна. Агентно-орієнтована інформаційна технологія оцінювання початкових етапів життєвого циклу програмного забезпечення на основі онтологічного підходу. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 – Комп'ютерні науки. – Хмельницький національний університет, Хмельницький, 2020.

У дисертаційній роботі розв'язана актуальна науково-прикладна задача автоматизації оцінювання початкових етапів життєвого циклу програмного забезпечення шляхом розроблення агентно-орієнтованої інформаційної технології (АОІТ) на основі онтологічного підходу, яка забезпечує: автоматизацію трудомісткого, рутинного та схильного до помилок завдання розбору специфікацій вимог та майже миттєве його виконання; підказку, де потрібна повторна робота над специфікацією вимог (користувач може переглядати відсутні атрибути та бачити області специфікації, яким потрібна додаткова увага, а також які вимоги потребують переробки); забезпечення навчання для нових розробників специфікацій, системних інженерів та менеджерів проектів (використання цієї АОІТ допомагає їм побачити помилки, які вони можуть допускати, та допомагає їм розпізнати ці помилки в роботі інших); допомогу в розробці вимог високої якості; допомогу у виправленні та усуненні помилок у вимогах там, де вони виникають – на ранніх етапах життєвого циклу програмного забезпечення – до того, як вони стануть дорожчими для виправлення; надання інструменту для вибору більш якісних специфікацій програмних вимог; безкоштовний доступ через Інтернет в будь-який час без будь-якої реєстрації.

Об'єктом дослідження є процеси оцінювання початкових етапів життєвого циклу програмного забезпечення (ПЗ).

Предметом дослідження є моделі, методи та засоби агентно-орієнтованої інформаційної технології оцінювання початкових етапів життєвого циклу програмного забезпечення.

У роботі виконано аналіз відомих підходів, методів, інформаційних технологій, інструментів для аналізу вимог до програмного забезпечення та оцінки достатності інформації у специфікації вимог та інтелектуальних агентів на основі онтологічного підходу, показав, що вони не розв'язують проблему оцінювання ранніх етапів життєвого циклу ПЗ. Крім цього, всі вони належать до різних методологічних підходів і не інтегруються між собою, тобто наразі відсутні інтелектуальні інформаційно-аналітичні технології для оцінювання ранніх етапів життєвого циклу ПЗ, що є однією з причин проблем у галузі інженерії ПЗ. Актуальність проблеми аналізу достатності інформації щодо якості у специфікаціях вимог до ПЗ, а також відсутність моделей, методів та засобів оцінювання достатності інформації щодо якості у специфікаціях вимог до ПЗ обумовлює необхідність розроблення інтелектуальних інформаційно-аналітичних технологій для підвищення якості програмного забезпечення шляхом оцінювання достатності інформації на ранніх етапах життєвого циклу.

У дисертаційній роботі запропоновані базові (універсальні) онтологічні моделі нефункційних характеристик-складових якості ПЗ, а також онтологічні моделі нефункційних характеристик-складових якості конкретного ПЗ, які ґрунтуються на врахуванні вимог стандартів ISO 25010:2011 та ISO 25023:2016 і забезпечують підґрунтя для вибору достатнього обсягу інформації для оцінювання нефункційних характеристик ПЗ. Також розроблено модель діяльності інтелектуального агента на основі онтологічного підходу для оцінювання специфікацій вимог до ПЗ, яка ґрунтується на порівняльному аналізі онтологій та є теоретичним підґрунтям для розроблення методів діяльності інтелектуального агента на основі онтологічного підходу.

В роботі вперше розроблено метод діяльності інтелектуального агента на основі онтологічного підходу для оцінювання початкових етапів життєвого циклу програмного забезпечення, який працює на основі розробленої моделі та здійснює

оцінювання достатності інформації у специфікації вимог для визначення всіх нефункційних характеристик-складових якості ПЗ, забезпечує висновок про достатність або недостатність інформації у специфікації, надає числові оцінки рівня достатності інформації для визначення кожної нефункційної характеристики ПЗ та для визначення всіх нефункційних характеристик-складових якості ПЗ разом, формує список атрибутів, якими варто доповнити специфікацію вимог для підвищення рівня достатності її інформації, тобто в комплексі дозволяє частково усунути людину з процесів опрацювання інформації та здобуття знань.

Реалізовано інтелектуальні агенти на основі онтологічного підходу для оцінювання ранніх етапів життєвого циклу ПЗ, які здійснюють оцінювання достатності інформації у специфікації вимог для визначення всіх нефункційних характеристик-складових якості ПЗ, а також для розрахунку метрик якості та складності ПЗ. Реалізовані інтелектуальні агенти забезпечують висновок про достатність або недостатність інформації у специфікації. Крім цього, вони надають числові оцінки рівня достатності інформації для визначення кожної нефункційної характеристики ПЗ та/або метрики та для визначення всіх нефункційних характеристик-складових якості ПЗ та/або метрик разом. Агентами також формується список атрибутів та показників, якими варто доповнити специфікацію вимог для підвищення рівня достатності її інформації, та візуалізація прогалін у знаннях про всі нефункційні характеристики-складові якості ПЗ та метрики якості і складності ПЗ. Отже, реалізовані інтелектуальні агенти забезпечують автоматизацію аналізу специфікацій вимог до ПЗ на предмет достатності їх інформації. Таким чином, представлені агенти дозволяють частково усунути людину з процесів опрацювання інформації та здобуття знань.

У дисертації удосконалено метод діяльності інтелектуального агента для автоматизованого семантичного аналізу (парсингу) специфікацій вимог до програмного забезпечення, який, на відміну від відомих, ґрунтується на врахуванні вимог стандарту ISO 25010 і на обраній номенклатурі метрик виконує парсинг специфікації, визначає кількість та відсоток відсутніх атрибутів,

відображає, яких атрибутів не вистачає для тієї чи іншої підхарактеристики нефункційної характеристики, а також формує реальну онтологію для нефункційних характеристик, яка може бути використана інтелектуальним агентом на основі онтологічного підходу для оцінювання початкових етапів життєвого циклу програмного забезпечення

Розроблено інтелектуальні агенти для семантичного парсингу природомовних специфікацій, які виконують парсинг специфікації, визначають кількість та відсоток відсутніх атрибутів та/або показників, відображають, яких атрибутів та/або показників не вистачає для тієї чи іншої підхарактеристики нефункційної характеристики та/або метрики, а також формують реальну онтологію для нефункційних характеристик та/або метрик, яка може бути використана інтелектуальним агентом на основі онтологічного підходу для оцінювання ранніх етапів життєвого циклу ПЗ шляхом оцінювання достатності інформації для визначення нефункційних характеристик та метрик.

У дисертаційній роботі набула подальшого розвитку агентно-орієнтована інформаційна технологія оцінювання початкових етапів життєвого циклу програмного забезпечення на основі онтологічного підходу в частині автоматизації оцінювання початкових етапів життєвого циклу програмного забезпечення, яка, на відміну від відомих, виконує оцінювання та забезпечує підвищення рівня достатності інформації вимог для визначення кожної нефункційної характеристики окремо та всіх нефункційних характеристик разом. Дана АОІТ оцінює та забезпечує приріст рівня достатності інформації у специфікації вимог для визначення нефункційних характеристик програмного забезпечення – приріст рівня достатності становить від 4,71% до 27,79% (наприклад, з 58,23% до 86,02% для специфікації вимог №1 до програмного агента для підвищення безпеки програмного забезпечення комп'ютерних систем, від 81,26% до 85,97% для специфікації №2, з 60,85% до 73,7% для специфікації №3). Перевагами розробленої АОІТ є: автоматизація трудомісткого, рутинного та схильного до помилок завдання розбору специфікацій вимог та майже миттєве його виконання; підказка, де потрібна повторна робота над специфікацією вимог (користувач може переглядати

відсутні атрибути та бачити області специфікації, яким потрібна додаткова увага, а також які вимоги потребують переробки); забезпечення навчання для нових розробників специфікацій, системних інженерів та менеджерів проєктів (використання цієї АОІТ допомагає їм побачити помилки, які вони можуть допускати, та допомагає їм розпізнати ці помилки в роботі інших); допомога у розробці вимог високої якості; допомога у виправленні та усуненні помилок у вимогах там, де вони виникають – на ранніх етапах життєвого циклу програмного забезпечення – до того, як вони стануть дорожчими для виправлення; надання інструменту для вибору більш якісних специфікацій програмних вимог; безкоштовний доступ через Інтернет в будь-який час без будь-якої реєстрації. Економічним ефектом від використання розробленої АОІТ є можливість економії бюджету програмних проєктів на обробку та виправлення (протягом життєвого циклу) дефектів та помилок, які утворюються на ранніх етапах життєвого циклу – завдяки демонстрації слабких сторін специфікацій вимог до ПЗ, які потрібно доопрацювати або переробити в той момент, коли вони виникають.

Практичне значення отриманих результатів полягає у розробленні агентно-орієнтованої інформаційної технології оцінювання початкових етапів життєвого циклу програмного забезпечення на основі онтологічного підходу, яка: автоматизує трудомістку та схильну до помилок задачу розбору специфікації вимог; вказує на необхідність доопрацювання специфікації із зазначенням вимог, які потребують доопрацювання; забезпечує швидке навчання нових системних інженерів та керівників проєктів (використання розробленої інформаційної технології під час створення або аналізу вимог допомагає їм швидко бачити помилки, яких вони можуть припуститись, і допомагає розпізнавати ці помилки в роботі інших); допомагає виправити та усунути помилки та неточності у вимогах на ранніх етапах життєвого циклу, є інструментом для вибору більш якісної специфікації, доступна онлайн в будь-який час без реєстрації.

Результати дисертаційної роботи впроваджено у: ТОВ «ІТТ» (акт впровадження від 10.03.2020 р.), ТОВ «Деймос» (акт впровадження від 20.02.2020 р.), ГО «ІТ Кластер м. Хмельницького» (акт впровадження від 03.06.2020 р.), при

виконанні держбюджетного проєкту кафедри комп'ютерної інженерії та системного програмування “Агентно-орієнтована система підвищення безпеки та якості програмного забезпечення комп'ютерних систем” (ДР №0119U100662); у навчальному процесі Хмельницького національного університету (акт впровадження від 13.05.2020 р.) та ПВНЗ «Міжнародного науково-технічного університету імені академіка Юрія Бугая» (акт впровадження від 08.10.2020 р.).

Ключові слова: агентно-орієнтована інформаційна технологія, інтелектуальний агент на основі онтологічного підходу, нефункційні характеристики-складові якості програмного забезпечення, онтологія, програмне забезпечення.

Список публікацій здобувача за темою дисертації

Основні наукові публікації у періодичних виданнях, що індексуються в наукометричних базах SCOPUS, Web of Science:

1. Hovorushchenko T., Pavlova O., Vodnar M. Development of an Intelligent Agent for Analysis of Nonfunctional Characteristics in Specifications of Software Requirements. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol. 1. No. 2 (97). Pp. 6-17. (*Scopus, Q2*)

2. Hovorushchenko T., Boyarchuk A., Pavlova O. Ontology-Based Intelligent Agent for Semantic Parsing the Software Requirements Specifications. *International Journal on Information Technologies and Security*. 2019. No. 2. Vol. 11. Pp.59-70. (*WoS, Bulgaria*)

Публікації у періодичних виданнях, що індексуються в наукометричних базах SCOPUS, Web of Science:

3. Hovorushchenko T., Pavlova O., Fedula M. Improving the input information for medical software requirements specifications using ontology-based intelligent agent. *CEUR-WS*. 2018. Vol. 2255. Pp.113-125. (*Scopus, WoS*)

4. Hovorushchenko T., Pavlova O. Method of Activity of Ontology-Based Intelligent Agent for Evaluating the Initial Stages of the Software Lifecycle. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2019. Vol. 836. Pp. 169-178. (*Scopus*)

5. Hovorushchenko T., Pavlova O. Intelligent System for Determining the Sufficiency of Metric Information in the Software Requirements Specifications. *CEUR-WS*. 2019. Vol. 2353. Pp.253-266. (*Scopus*)
6. Hovorushchenko T., Boyarchuk A., Pavlova O., Bobrovnikova K. Agent-Oriented Information Technology for Assessing the Initial Stages of the Software Life Cycle. *CEUR-WS*. 2019. Vol. 2393. Pp.617-632. (*Scopus*)
7. Hovorushchenko T., Pavlova O., Boyarchuk A. Modelling of non-functional characteristics of the software for selection of accurate scope of information for their evaluation. *CEUR-WS*. 2019. Vol. 2533. Pp. 206-216. (*Scopus, WoS*)
8. Hovorushchenko T., Pavlova O., Medzaty D. Ontology-Based Intelligent Agent for Determination of Sufficiency of Metric Information in the Software Requirements. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2020. Vol. 1020. Pp. 447-460. (*Scopus*)
9. Boyarchuk A., Pavlova O., Bodnar M., Lopatto I. Approach to the Analysis of Software Requirements Specification on Its Structure Correctness. *CEUR-WS*. 2020. Vol. 2623. Pp. 85-95. (*Scopus*)

Статті у фахових наукових виданнях України:

10. Говорущенко Т.О., Іванов О.В., Павлова О.О. Метод оцінювання достатності інформації для визначення якості програмного забезпечення на основі зваженої онтології. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія «Технічні науки»*. Хмельницький: ХНУ. 2016. №5. С.146-156.
11. Говорущенко Т. О., Павлова О. О. Сучасні проблеми оцінювання початкових етапів життєвого циклу програмного забезпечення. *Електротехнічні та комп'ютерні системи*. 2018. №27 (103). С. 165-175.
12. Говорущенко Т. О., Поморова О. В., Павлова О. О. Моделювання діяльності інтелектуального агента на основі онтологічного підходу для оцінювання специфікацій вимог до програмного забезпечення. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія «Технічні науки»*. 2018. № 4. С. 128-137.

13. Павлова О. О., Говорущенко Т. О., Іванов О. В. Діяльність інтелектуального агента для оцінювання інформації у специфікаціях вимог до програмного забезпечення. *Штучний інтелект*. 2018. №2. С. 66-75.

14. Говорущенко Т. О., Павлова О.О., Боднар М. А. Сучасні проблеми семантичного аналізу специфікацій вимог до програмного забезпечення. *Вчені записки Таврійського національного університету ім. В. І. Вернадського. Серія «Технічні науки»*. 2019. Том 30 (69). №1. Частина 1. С. 38-43.

15. Говорущенко Т.О., Павлова О.О., Тоненька М.М. Структура агентно-орієнтованої інформаційної технології оцінювання початкових етапів життєвого циклу програмного забезпечення на основі онтологічного підходу. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія «Технічні науки»*. 2020. №1. С. 77-81.

16. Павлова О.О., Боднар М.А., Гнатчук Є.Г. Метод діяльності та реалізація інтелектуального агента на основі онтологічного підходу для парсингу природомовних специфікацій вимог до програмного забезпечення. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія «Технічні науки»*. 2020. №2. С.171-175.

17. Павлова О.О., Лопатто І.Ю., Говорущенко Т.О. Метод діяльності та структура інтелектуального агента на основі онтологічного підходу для оцінювання початкових етапів життєвого циклу програмного забезпечення. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія «Технічні науки»*. 2020. №3. С. 61-64.

Статті в матеріалах конференцій, що індексуються в наукометричних базах SCOPUS, Web of Science:

18. Novorushchenko T., Pavlova O. Evaluating the Software Requirements Specifications Using Ontology-Based Intelligent Agent. *Proceedings of 2018 IEEE International Scientific and Technical Conference “Computer Science and Information Technologies”* (Lviv, Ukraine, September 11-14, 2018). Vol.1. Pp.215-218. (Scopus, WoS)

19. Pavlova O., Hovorushchenko T., Boyarchuk A. Method of activity of intelligent agent for semantic analysis of software requirements. *Proceedings of the 2019 IEEE 10-th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications* (Mez, France, September 18-21, 2019). Vol.2. Pp. 902-906. (*Scopus, WoS*)

20. Hovorushchenko T., Lopatto I., Pavlova O. Concept of Intelligent Agent for Verification of Considering the Subject Area Information. *Proceedings of 2020 IEEE 11th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies* (Kyiv, Ukraine, May 14-16, 2020). Pp. 465-469. (*Scopus*)

Публікації у матеріалах конференцій (тези доповідей):

21. Говорущенко Т.О., Павлова О.О. Аналіз сучасного стану інформаційних технологій для галузі інженерії програмного забезпечення. *Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Сучасні тенденції розвитку додрукарських систем»* (Львів, Україна, 19 квітня 2018 р.). С. 32-33.

22. Говорущенко Т. О., Павлова О. О., Медзатий Д. М. Інтелектуальний агент на основі онтологічного підходу для визначення достатності метричної інформації у вимогах до програмного забезпечення. *Матеріали Міжнародної наукової конференції "Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту"* (Херсон, Україна, травень 2019 р.). С. 38-40.

23. Павлова О.О. Інтелектуальна система для визначення достатності метричної інформації у вимогах до програмного забезпечення. *Збірник наукових праць молодих науковців і студентів "Інтелектуальний потенціал-2019"* (Хмельницький, Україна, листопад 2019 р.). С. 59-62.

Свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір

24. А. с. 80645 Україна. Метод діяльності інтелектуального агента на основі онтологічного підходу для оцінювання початкових етапів життєвого циклу програмного забезпечення / Т. О. Говорущенко, О. О. Павлова. 2018.

25. А. с. 89841 Україна. Інтелектуальна система для визначення достатності метричної інформації у специфікаціях вимог до програмного забезпечення / Т. О. Говорущенко, О. О. Павлова. 2019.

26. А. с. 89840 Україна. Метод діяльності інтелектуального агента на основі онтологічного підходу для семантичного парсингу природомовних специфікацій вимог до програмного забезпечення / Т. О. Говорущенко, О. О. Павлова. 2019.

27. А. с. 97014 Україна. Інтелектуальна інформаційно-аналітична технологія для підвищення якості програмного забезпечення шляхом оцінювання достатності інформації на ранніх етапах життєвого циклу / Т. О. Говорущенко, О. О. Павлова. 2020.

28. А. с. 97015 Україна. Комп'ютерна програма «Веб-орієнтована інформаційно-аналітична система оцінювання достатності інформації у специфікаціях вимог до програмного забезпечення» / О. О. Павлова, Т. О. Говорущенко. 2020.

ANNOTATION

Pavlova Olga. Agent-oriented information technology for assessing the initial stages of the software life cycle based on the ontological approach. – Manuscript copyright. Thesis on competition of scientific degree of Doctor of Philosophy by specialty 122 – Computer Science. – Khmelnytskyi National University, Khmelnytskyi, 2020.

The dissertation solves the current scientific and applied problem of automating the assessment of the initial stages of the software life cycle by developing agent-oriented information technology based on an ontological approach, which provides: automation of time-consuming, routine and error-prone task analysis requirements and its almost instantaneous implementation; a hint where the requirements specification needs rework (the user can view the missing attributes and see the areas of the specification that need extra attention, as well as which requirements need to be reworked); providing training for new specification developers, systems engineers, and project managers (using this AOIT helps them to see the mistakes they may make and helps them to recognize these mistakes in the work of others); assistance in developing high quality requirements; assistance in correcting requirements errors where they occur – in the early stages of the software life cycle - before they become more expensive to

correct; providing a tool for selecting better specifications of software requirements; free internet access at any time without any registration.

The object of research is the process of evaluating the initial stages of the software life cycle.

The subject of the research are models, methods and means of agent-oriented information technology for assessing the initial stages of the software life cycle.

The dissertation offers basic (universal) ontological models of non-functional characteristics-components of software quality, as well as ontological models of non-functional characteristics-components of quality of specific software, which are based on the requirements of ISO 25010: 2011 and ISO 25023: 2016 and provide a basis for the sufficient amount of information to assess the non-functional characteristics of the software. A model of intelligent agent activity based on ontological approach for evaluation of software requirements specifications has been developed, which is based on comparative analysis of ontologies and is a theoretical basis for developing methods of intellectual agent activity based on ontological approach.

First time developed a method of intelligent agent based on an ontological approach to assess the initial stages of the software life cycle, which works on the basis of the developed model and evaluates the adequacy of information in the specification requirements to determine all non-functional characteristics of software. Provides a conclusion about the sufficiency or insufficiency of information in the specification, provides numerical estimates of the level of sufficiency of information to determine each non-functional characteristic of the software and to determine all non-functional characteristics-components of the software together, forms a list of attributes to supplement the specification of requirements to eliminate a person from the processes of information processing and acquisition of knowledge.

Further elaborated: method of activity of the intellectual agent for the automated semantic analysis (parsing) of specifications of requirements to the software which carries out parsing of the specification, defines quantity and percent of the missing attributes, displays which attributes are missing for this or that subcharacteristic of the nonfunctional characteristic, forms a real ontology for non-functional characteristics

that can be used by an intelligent agent based on an ontological approach to assess the initial stages of the software life cycle.

First time developed: an agent-oriented information technology for assessing the initial stages of the software life cycle based on an ontological approach, which evaluates and improves the adequacy of information requirements to determine each non-functional characteristic separately and all non-functional characteristics together. This AOIT evaluates and provides an increase in the level of adequacy of information in the requirements specification to determine the non-functional characteristics of the software - the increase in the level of adequacy is from 4.71% to 27.79% (for example, from 58.23% to 86.02% for the requirements specification № 1 to the software agent for improving the security of computer systems software, from 81.26% to 85.97% for the specification №2, from 60.85% to 73.7% for the specification №3). The advantages of the developed AOIT are: automation of time-consuming, routine and error-prone task of analysis of requirements specifications and its almost instantaneous execution; hint where a rework on the requirements specification is needed (the user can view the missing attributes and see the areas of the specification that need extra attention, as well as which requirements need to be reworked); providing training for new specification developers, systems engineers, and project managers (using this AOIT helps them see the mistakes they may make and helps them recognize these mistakes in the work of others); assistance in developing high quality requirements; assistance in correcting and correcting requirements errors where they occur - in the early stages of the software life cycle - before they become more expensive to correct; providing a tool for selecting better specifications of software requirements; free internet access at any time without any registration. The economic effect of using the developed AOIT is the ability to save budget software projects for processing and correction (during the life cycle) of defects and errors that occur in the early stages of the life cycle - by demonstrating the weaknesses of software requirements that need to be finalized or revised at that time when they occur.

Key words: agent-oriented information technology, intelligent agent based on ontological approach, non-functional characteristics-components of software quality, ontology, software.