



Záverečná karta projektu

Názov projektu

Evidenčné číslo projektu

APVV-18-0027

Vývoj nových metód pre analýzu spoľahlivosti zložitých systémov

Zodpovedný riešiteľ **prof. Ing. Elena Zaitseva, PhD.**

Príjemca **Žilinská univerzita v Žiline - Fakulta riadenia a informatiky**

Názov pracoviska, na ktorom bol projekt riešený

Žilinská univerzita v Žiline - Fakulta riadenia a informatiky

Názov a štát zahraničného pracoviska, ktoré spolupracovalo pri riešení

1. Institute of Information and Computational Technologies, National Research Technical University after K.I.Satbaev - KazNRTU, Almaty, Kazakhstan.
2. Department of Mathematical Sciences, Durham University, Durham, UK.
3. State Institution "Scientific Centre for Aerospace Research of the Earth of the Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine" - CASRE, Kyiv, Ukraine.

Udelené patenty/podané patentové prihlášky, vynálezy alebo úžitkové vzory, ktoré sú výsledkami projektu

.

Najvýznamnejšie publikácie (knihy, články, prednášky, správy a pod.) zhrňujúce výsledky projektu – uveďte aj publikácie prijaté do tlače

ADC. Zaitseva E., Levashenko V., Lukyanchuk I., Rabcan J., Kvassay M., Rusnak P., Application of generalized Reed–Muller expression for development of non-binary circuits, Electronics, vol. 9 (1), 2020, 12. (Q2).

ADC. Zaitseva E., Levashenko V., Rabcan J., Krsak E., Application of the Structure Function in the Evaluation of the Human Factor in Healthcare, Symmetry, ISSN 2073-8994, vol. 12 (1), 2020, 93 (IF 2.7, Q2).

ADC. Rabcan J., Levashenko V., Zaitseva E., Kvassay M. Review of Methods for EEG Signal Classification and Development of New Fuzzy Classification-based Approach, IEEE Access, vol. 8, 2020, pp.189720-189734 (Q2).

ADC. Zaitseva E., Levashenko V., Sedlacek P., Kvassay M., and Rabcan J., Logical differential calculus for calculation of Birnbaum importance of non-coherent system, Reliability Engineering and System Safety, 2021, 215, 107829. (IF: 6.188, Q1);

ADC. Sedlacek P., Zaitseva E., Levashenko V., and Kvassay M., Critical state of non-coherent multi-state system, Reliability Engineering and System Safety, 2021, 215, 107824. (IF: 6.188, Q1);

ADC. Mukhamediev R., Symagulov A., Kuchin Y., Zaitseva E., Bekbotayeva A., Yakunin K., Assanov I., Levashenko V., et al. Review of Some Applications of Unmanned Aerial Vehicles Technology in the Resource-Rich Country. Applied Sciences, ISSN: 2076-3417,

2021, vol. 11, 10171. (IF:2.679, Q2).

ADC. Zaitseva E., Stankevich S., Kozlova A., Piestova I., Levashenko V., Rusnak P., Assessment of the risk of disturbance impact on pristine and managed forests based on Earth observation data using the example of Slovak Eastern Carpathians, IEEE Access, ISSN 2169-3536, vol.9, 2021, pp.162847-162856. (IF: 3.367, Q2).

ADC. Zaitseva E., Levashenko V., Rabcan J., A new method for analysis of MultiState systems based on Multi-valued decision diagram under epistemic uncertainty, Reliability Engineering and System Safety, vol. 229, January 2023, no.108868. (IF: 7.3, Q1)

ADC. Rusnak P., Zaitseva E., Coolen F., Kvassay M. and Levashenko V., Logic Differential Calculus for Reliability Analysis Based on Survival Signature, IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing, 2023, 20(2), pp. 1529–1540. (IF: 6.188, Q1).

ADC. Mukhamediev R., Yakunin K., Aubakirov M., Assanov I., Kuchin Y., Sumagulov A., Levashenko V., Zaitseva E., Sokolov, D., Amirgaliyev, Y., Coverage path planning optimization of heterogeneous UAVs group for precision agriculture, IEEE Access, vol. 11, 2023, pp.5789-5803, (IF: 9.2, Q2)

ADC. Zaitseva E., Hovorushchenko T., Pavlova O., Voichur Y., Identifying the Mutual Correlations and Evaluating the Weights of Factors and Consequences of Mobile Application Insecurity, Systems, vol.11, 2023, 242 (IF: 3.3, Q2)

ADC. Zaitseva E., Rabcan J., Levashenko V., Kvassay M., Importance analysis of decision making factors based on fuzzy decision trees, Applied Soft Computing, vol. 134, 2023, 109988, (IF: 14.3, Q1).

ADC. Mukhamediev R., Amirgaliyev Y., Kuchin Y., Aubakirov M., Terekhov A., Merembayev T., Yelis M., Zaitseva E., Levashenko V., Popova Y., Symagulov A., Tabynbayeva L., Operational Mapping of Salinization Areas in Agricultural Fields Using Machine Learning Models Based on Low-Altitude Multispectral Images, Drones, vol.7, 2023, 357 (IF:4.8, Q2)

ADC. Zaitseva E., Levashenko V., Rabcan J., Kvassay M., A new fuzzy based classification method in smart/precision medicine, Bioengineering, 10(7), 2023, 838 (IF 4.6, Q2)

ADC. Zaitseva E., Levashenko V., A New Methodology for Multi-State System based on Multiple-Valued Logic, Reliability Engineering & System Safety, 2023 (Submitted)

AAB. Hovorushchenko T., Pavlova O., Boyarchuk A., Kvassay M., Hnatchuk Y., Medzaty D., Intelligent Information-Analytical Technologies for Improving the Software Quality by Assessing the Sufficiency of Information at Initial Stages of the Life Cycle, EDIS Publ., Žilina, Slovakia, 2020, ISBN 978-80-554-1729-5.

Uplatnenie výsledkov projektu

Zameraním projektu bol vývoj nových metód analýzy spoľahlivosti zložitých systémov založených na matematickej reprezentácii skúmaného systému v tvare štruktúrnej funkcie. Tieto metódy boli rozpracované na základe matematických prístupov viachodnotovej logiky. Nové navrhované metódy a algoritmy sa použili pre analýzu spoľahlivosti a hodnotenie rizika: (a) zdravotníckych systémov; (b) softvéru; (c) systémov založených na dronoch/UAV (flotily); (d) ekologických systémov na základe diaľkového prieskumu Zeme. Základy každého zamerania boli publikované v prácach riešiteľov projektu.

Predbežné uplatňovanie navrhnutého prístupu k hodnoteniu rizík v zdravotníctve sa uskutočnilo pri hodnotení stratégie liečby COVID-19 v nemocnici Guy's and Saint Thomas' NHS Foundation Trust, Oddelenie ORL a chirurgie hlavy a krku (Londýn, Spojené kráľovstvo), čo bolo prezentované v publikáciách riešiteľov projektu.

Hodnotenie spoľahlivosti softvéru bolo realizované v spolupráci s odborníkmi z firmy Siemens Healthineers (Žilina, Slovensko). Ako prvý krok v tomto smere bola vykonaná záverečná práca na tému "Príprava webovej aplikácie pre testovacie dostupné prostriedky na hodnotenie rizika"

Analýza spoľahlivosti dronovej flotily bola použitá pri vývoji systému plánovania preletov poľnohospodárskych polí v Kazachstane spolu s odborníkmi z Národnej výskumnej technickej univerzity K.I.Satbajevovi (Almaty, Kazachstan). Okrem toho boli tieto výsledky prezentované v niekoľkých spoločných článkoch.

Plánujeme ďalší vývoj a použitie dosiahnutých výsledkov pri hodnotení rizík degradácie pôdy. Vývoj bude prebiehať v spolupráci s odborníkmi (po prvé Národnej akadémie vied Ukrajiny, CASRE) v rámci projektu EWALD, ktorý získal finančné prostriedky z Rámcového programu Európskej únie pre výskum a inovácie Horizon Europe – the Framework Programme for Research and Innovation (2021-2027), Grant Agreement No. ID 101086250

Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu v slovenskom jazyku (max. 20 riadkov)

Dôležitým krokom pre analýzu spoľahlivosti je tvorba matematického popisu systému. Zameraním projektu bol vývoj nových metód analýzy spoľahlivosti zložitých systémov založených na matematickej reprezentácii skúmaného systému v tvare štruktúrnej funkcie. Tieto metódy boli rozpracované na základe matematických prístupov viachodnotovej logiky: logického diferenciálneho počtu a viachodnotových rozhodovacích diagramov (Multi-Valued Decision Diagram, MDD). Okrem toho využitie získaných metód pre aplikované problémy viedlo k výskumu a vývoju nových prístupov pre analýzu spoľahlivosti na základe neúplne definovaných a neurčitých dát. Navrhnutá metóda na tvorbu matematického popisu systému dovoľuje vyviať matematický model ako pre úplne definované, tak aj pre neurčité dáta. Tato metóda umožňuje reprezentáciu systému ako viacstavového systému, čo znamená, že existuje možnosť uvažovať o niekoľkých (nielen dvoch stavoch systému). Definícia základného matematického popisu systému dovolila vyvíjať aj metódy pre výpočet indexov a ukazovateľov spoľahlivosti. Boli navrhnuté metódy a algoritmy výpočtu ukazovateľov dôležitosti (Importance Measure, IM). Využitie matematických metód viachodnotovej logiky pre analýzu MSS reprezentovaných vo forme štruktúrnej funkcie umožňuje použiť jednoduché a efektívne algoritmy analýzy spoľahlivosti MSS. Logický diferenciálny počet (Logical Differential Calculus) predstavuje efektívny nástroj analýzy závislosti zmeny hodnôt funkcie od zmeny hodnôt jej parametrov. Toto je hlavná úloha pri skúmaní zmeny spoľahlivosti pomocou IM. Dôležitou úlohou je úloha zvýšenia efektivity algoritmov výpočtu IM. Jeden zo smerov pri riešení takejto úlohy je riešenie problému spracovania systémov s veľkým počtom prvkov, keďže veľkosť štruktúrnej funkcie exponenciálne závisí od počtu prvkov. Jednou z metód, najčastejšie používaných v teórii spoľahlivosti pre spravovanie veľkých a štruktúrne zložitých systémov, sú viachodnotové rozhodovacie diagramy (MDD). Originálnosť postupu, navrhovaného riešiteľmi, spočíva nielen vo využití MDD pre analýzu MSS ale aj vo využití logického diferenciálneho počtu. Nové navrhované metódy a algoritmy sa použili pre analýzu spoľahlivosti a hodnotenie rizika: (a) zdravotníckych systémov; (b) softvéru; (c) systémov založených na dronoch/UAV (flotily); (d) ekologických systémov na základe diaľkového prieskumu Zeme. Všetky ciele projektu boli splnené.

Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu v anglickom jazyku (max. 20 riadkov)

An important step for reliability analysis is the creation of a mathematical description of the system. The project goal was the development of new methods for the reliability analysis of complex systems based on the mathematical representation of the investigated system in the form of a structure function. These methods were developed based on the mathematical approaches of Multiple-Valued Logic: Logical Differential Calculus and Multi-Valued Decision Diagrams (MDD). Need to note that the application of the proposed methods for reliability analysis of the different complex systems has led to the research and development of new methods for reliability analysis based on incompletely specified and uncertain data. The proposed methods for the development of the mathematical representation of the system allow the development of a mathematical model both for completely specified and for uncertain data. This method allows the system to be represented as a Multi-State System (MSS), which means that there is a possibility to consider several (not only two) states of the system. The proposed mathematical representation of the system also allowed the development of methods for calculating reliability indices and measures. Methods and algorithms for calculating Importance Measure (IM) were proposed. The use of mathematical methods of Multiple-Valued Logic for the analysis of MSS represented in the form of a structural function makes it possible to use simple and effective algorithms for the reliability analysis of MSS. Logical Differential Calculus is an effective tool for analyzing the dependence of the change in the values of a function on the change in the values of its parameters. This is the main task in investigating reliability change using IM. An important problem is the task of increasing the efficiency of IM calculation. One of the directions in solving such a problem is

evaluating the systems with a large number of components since the size of the structure function exponentially depends on the number of components. One of the methods most often used in the reliability analysis of large and structurally complex systems is MDD. The originality of the proposed methods lies not only in the use of MDD for MSS analysis but also in the use of logical differential calculus.

The proposed new methods and algorithms were used for reliability analysis and risk assessment of (a) healthcare systems; (b) software; (c) drone/UAV-based systems (fleets); (d) ecological systems based on remote sensing of the Earth. All project objectives were implemented.