



Záverečná karta projektu

Názov projektu

Evidenčné číslo projektu

APVV-18-0368

Ekonomický model telekomunikačnej siete ako súčasť Internetu vecí

Zodpovedný riešiteľ **Ing. Jana Zausinová, PhD.**

Príjemca **Technická univerzita v Košiciach - Ekonomická fakulta**

Názov pracoviska, na ktorom bol projekt riešený

Ekonomická fakulta, Technická univerzita v Košiciach

Názov a štát zahraničného pracoviska, ktoré spolupracovalo pri riešení

-

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

- [1] MAKSYMUK, Taras, Juraj GAZDA, Marcel VOLOSIN, Gabriel BUGAR, Denis HORVATH, Mykhailo KLYMASH a Mischa DOHLER, 2020. Blockchain-empowered framework for decentralized network management in 6G. IEEE Communications Magazine. 2020, roč. 58, č. 9, s. 86–92.
- [2] MALEGA, P., V. RUDY, R. KANÁSZ a V. GAZDA, 2020. Decentralized optimization of the flexible production lines. Advances in Production Engineering & Management. 2020, roč. 15, č. 3, s. 267–276.
- [3] MALEGA, Peter, Vladimír GAZDA a Vladimír RUDY, 2022. Optimization of production system in plant simulation. Simulation. 2022, roč. 98, č. 4, s. 295–306.
- [4] ZORIČAK, Martin, Denis HORVÁTH, Vladimír GAZDA a Oto HUDEC, 2021. Spatial evolution of industries modelled by cellular automata. Journal of Business Research [online]. 2021, roč. 129, s. 580–588. ISSN 0148-2963. Dostupné na: doi:10.1016/j.jbusres.2019.12.043
- [5] KOL'VEKOVÁ, Gabriela, Manuela RAISOVÁ, Martin ZORIČAK a Vladimír GAZDA, 2021. Endogenous Shared Punishment Model in Threshold Public Goods Games. Computational Economics [online]. 2021, roč. 58, č. 1, s. 57–81. ISSN 1572-9974. Dostupné na: doi:10.1007/s10614-020-10017-1

Uplatnenie výsledkov projektu

Výsledky projektu tvoria agentové modely, ktoré umožňujú skúmať tri oblasti v rámci Industry 4.0. V rámci prvej oblasti sme vytvorili agentový model zameraný na oblasť telekomunikácií, ktorý umožňuje operátorom simulovať heterogénne správanie sa trhových

účastníkov a definovať adaptabilnú cenovú politiku, ktorá odzrkadľuje súčasné trhové podmienky. Druhá oblasť je venovaná optimalizácii výrobných procesov zavedením decentralizovaného riadenia, ktoré je postavené na prvkoch IoT. Výsledky tohto výskumu sú aplikovateľné pre výrobné spoločnosti v rámci procesu prechodu na inteligentné výrobné linky. Tretia oblasť pozostáva zo skúmania vývoja topológie siete, ktorá môže slúžiť operátorom pri plánovaní a rozvoji sieťovej infraštruktúry v závislosti od predpokladaného vývoja dopytu po ich službách. Analýzou rôznych učiacich mechanizmov v jednotlivých agentových modeloch V rámci vytvorených agentových modelov sme využili rôznorodé učiace mechanizmy, ktorých vzájomné porovnanie prispieva k prehľadu ich využiteľnosti v závislosti od aplikácie. Z akademického hľadiska výstupy projektu prispievajú k rozvoju oblasti ekonómie zložitosti s využitím agentového modelovania.

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

Cieľom projektu bolo vytvoriť viacero agentových modelov IoT komunikačnej siete, ktoré by umožnili analyzovať jej ekonomické charakteristiky z hľadiska ekonómie zložitosti, obchodovanie s frekvenčným spektrom ako vzácnym médiom na prenos dát, skúmať vplyv heterogenity participujúcich entít a evolúciu dynamicky sa meniacej topológie inteligentných antén v rámci telekomunikačnej siete. Časť navrhnutých simulačných modelov bola využitá na vyzdvihnutie výhod simulačného prístupu decentralizovaného riadenia výroby oproti tradičným prístupom, ktoré nedokážu zachytiť komplexný charakter výrobného procesu s implementovanými IoT prvkami. IoT komunikačná sieť tvorená interagujúcimi entitami s vlastnými rozhodovacími mechanizmami prinesie výrazné zlepšenia vo výrobných procesoch, no nevyhnutnosťou jej fungovania je zber a vyhodnocovanie dát v reálnom čase. Prudký nárast zapojených zariadení zdôrazňuje otázku zdieľania vzácného no obmedzeného frekvenčného spektra. Prevažnú väčšinu vytvorených výstupov z tohto projektu sme preto venovali problematike efektívneho obchodovania s frekvenčným spektrom, kde sme pristúpili k implementácii technológie blockchainu na uľahčenie finančných platieb medzi zúčastnenými stranami dôveryhodným a spravodlivým spôsobom. Vytvorili sme scenáre s rozličnými štruktúrami trhu, či cenovými mechanizmami na určovanie optimálnych cien poskytovaných služieb koncovým užívateľom. Fungovanie telekomunikačnej siete je výrazne ovplyvnené aj dopytovou stranou trhu tvorenou vysoko heterogénnymi koncovými užívateľmi. Viaceré publikácie sme venovali práve skúmaniu vplyvu heterogenity v podobe rozličných preferencií koncových užívateľov, rozdielnosti vo vnímaní daňového zaťaženia, diverzifikáciu v lokálnej koncentrácii v rámci siete a pod. V snahe lepšie reagovať na špecifiká lokálneho dopytu koncových užívateľov dochádza k vzniku lokálnych operátorov. Zmena topológie siete na tzv. heterogénnu sieť reprezentovanú koexistenciou primárnych makro-operátorov spolu s lokálnymi mikro-operátormi, nás primäla k analýze evolúcie siete, meniacej sa na základe ekonomickej ziskovosti zúčastnených operátorov. Vytvorené ekonomické aplikácie IoT komunikačnej siete plne korešpondujú so scenármi navrhnutými v záväznej osnove tohto projektu.

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

The goal of the project was to create multiple agent-based models of the IoT communication network, which would allow analyzing its economic characteristics from the point of view of Complexity economics, trading the frequency spectrum as a rare medium for data transmission, investigating the impact of the heterogeneity of participating entities and the evolution of the dynamically changing topology of smart antennas within the telecommunications networks. Part of the designed simulation models was used to highlight the advantages of the simulation approach of decentralized production management compared to traditional approaches that cannot capture the complex nature of the production process with implemented IoT infrastructure. An IoT communication network formed by interacting entities with their own decision-making mechanisms will bring significant improvements in production processes, but the necessity of its functioning is the collection and evaluation of data in real time. The surge in connected devices highlights the issue of sharing the scarce but limited frequency spectrum. Therefore, the vast majority of publications from this project was devoted to the issue of efficient spectrum trading, where we proceeded to implement blockchain technology to facilitate financial payments between

stakeholders in a trustworthy and fair manner. We have created scenarios with different market structures or price mechanisms for determining the optimal prices of services provided to end users. The functioning of the telecommunications network is also significantly influenced by the demand side of the market, which is made up of highly heterogeneous end users. Several publications investigate the impact of heterogeneity in the form of different preferences of end users, differences in the perception of the tax burden, diversification in local concentrations within the network, etc. In an effort to respond better to the specifics of local end-user demand, local operators are emerging. Changing the network topology to the so-called heterogeneous network represented by the coexistence of primary macro-operators together with local micro-operators, prompted us to analyze the evolution of the network, changing based on the economic profitability of the participating operators. The created economic applications of the IoT communication network fully correspond to the scenarios proposed in the obligatory scheme of this project.