

Záverečná karta projektu

Názov projektu **Ekonomický model elektronických trhov s frekvenčným spektrom** Evidenčné číslo projektu **APVV-15-0358**

Zodpovedný riešiteľ **prof. Ing. Vladimír Gazda, PhD.**
Príjemca **Technická univerzita v Košiciach**

Názov pracoviska, na ktorom bol projekt riešený

Katedra financií, 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.] Gazda, Juraj, et.al. "Dynamické zdieľanie frekvenčného spektra v 5G sieťach", Elfa, Košice, ISBN

[2.] Gazda, J., Kováč, V., Tóth, P., Drotár, P., & Gazda, V. (2017). Tax optimization in an agent-based model of real-time spectrum secondary market. Telecommunication Systems, 64(3), 543-558.

[3.] Horvath, D., Gazda, J., & Brutovsky, B. (2017). A new bio-inspired, population-level approach to the socioeconomic evolution of dynamic spectrum access services. International Journal of Modern Physics C, 28(05), 1750062.

[4.] Gazda, J., Tóth, P., Zausinová, J., Vološin, M., Gazda, V. (2018). On the Interdependence of the Financial Market and Open Access Spectrum Market in the 5G Network. Symmetry, 10(1), 12.

[5.] Zoričák, M., Gnip, P., Drotár, P., a Gazda, V. (2019). „Bankruptcy prediction for small- and medium-sized companies using severely imbalanced datasets.“ Economic Modelling. 10.1016/j.econmod.2019.04.003.

[6.] Zausinová, J., Zoričák, M., Vološin, M. a Gazda, V. (2019) „Aspects of complexity in citizen–bureaucrat corruption: an agent-based simulation model.“ Journal of Economic Interaction and Coordination. 10.1007/s11403-019-00240-x

[7.] Šapak, E., Vološin, M., Gazda, J., Gazda, V. (2017). The economy model of the multi-homing based dynamic spectrum access networks. In Advanced Information and Communication Technologies (AICT), 2017 2nd International Conference. Lviv: Lviv Polytechnic National University, 2017, s. 174-178.

[8.] Vološin, M., Zausinová, J. (2017). The Agent-Based Model of The Dynamic Spectrum

Access Networks with Network Switching Mechanism. In International Conference on Computing Technology and Information Management (ICCTIM 2017). Thessaloniki: Metropolitan College, 2017, s. 106-110.

[9.] Zausinová, J., Tóth, P., Vološin, M., Zoričák, M. (2017). Effects of budget on investor's behaviour in the secondary spectrum market. In Joint CTTE and CMI conference 2017. Kodaň: Aalborg University, 2017, s. 1-2.

[10.] Gazda, J., Vološin, M., Bugár, G., Gazda, V. (2017). Frequency spectrum as the investment: an agent-based approach for modeling operator's strategies. In Joint CTTE and CMI conference 2017. Kodaň: Aalborg University, 2017, s. 1-2.

[11.] Zausinová, J., Gazda, J., & Maksymyuk, T. (2018). Real-time spectrum secondary markets: Agent-based model of investment activities of heterogeneous operators. In Radioelektronika (RADIOELEKTRONIKA), 2018 28th International Conference. Praha, 2018, s.1 - 6, IEEE

Uplatnenie výsledkov projektu

Vznikajúca infraštruktúra mobilných sietí piatej generácie predstavuje výrazný posun v možnostiach danej technológie, a preto je iba do určitej miery možné vychádzať pri nastavovaní cien, ako aj trhových pravidiel regulátormi z doterajších skúseností. Výsledky projektu vo forme simulácií a samotných simulačných modelov môžu byť využité operátormi aj regulátormi telekomunikačného odvetvia pri definovaní cenových úrovní, stratégií a rôznych scenárov. Tieto výsledky predstavujú základný rámec, ktorý je možné rozšíriť o nové trhové scenáre v budúcnosti. Výsledky projektu prispievajú aj k rozvoju v oblasti ekonómie zložitosti, ktorá sa v posledných rokoch dostáva do popredia. Všestrannosť použitých metód a prístupov dokazujú viaceré publikačné výstupy vo významných zahraničných karentovaných časopisoch.

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

Implementácia telekomunikačnej siete piatej generácie prináša mnohé ekonomické otázky v rámci trhu s frekvenčným spektrom, ktoré doposiaľ neboli plne zodpovedané. Cieľom projektu bolo vytvoriť agentové modely trhu s frekvenčným spektrom, ktoré by umožnili skúmať dynamiku cien, množstva uzavretých kontraktov a vývoj topológie siete kognitívneho rádia. Za účelom dosiahnutia vytýčených cieľov sme navrhli viaceré scenáre, ktoré nám umožnili skúmať rozličné situácie na trhu. Majoritná časť publikácií sa zaoberá práve otázkou cien kontraktov medzi operátormi ako aj cenovými stratégiami pri poskytovaní služieb s ohľadom na ich ziskovosť. V rámci jednej z výskumných otázok sme sa zamerali na možnosti dynamickej alokácie spektra medzi viacerými typmi operátorov, či už licencovaných, virtuálnych alebo medzi operátorov heterogénnych sietí. Skúmali sme rôzne formy organizácie trhu, kde existoval jediný operátor v podobe monopolu až po monopolistickú konkurenciu veľkého množstva malých operátorov. Medzi analyzované formy prerozdelenia spektra sme zaradili možnosť bilaterálneho vyjednávania medzi operátormi, trh v podobe kontinuálnej dvojitej aukcie, či inovatívny prístup založený na neobmedzenom prístupe operátorov k spektru avšak zdaneniu jeho nevyužitých častí. Dynamický prístup k spektru založený na trhovom mechanizme preukázal schopnosť zvýšiť efektívnosť využívania spektra a zároveň poskytnúť operátorom dostatočné ekonomické motívy na zúčastňovanie sa dynamického zdieľania spektra. Viaceré publikované príspevky vytvorené v rámci projektu sa zaoberajú možnosťami vstupu regulátora na trh a regulovať tak príchod nových entít a správanie už existujúcich účastníkov trhu. Z pohľadu dlhodobej analýzy dochádza k expanzii alebo redukcii trhového podielu jednotlivých operátorov a sieťovej infraštruktúry, ako aj prechodu na tzv. heterogénne siete so zapájaním operátorov malých buniek, čím sa výrazne mení topológia celkovej siete. V rámci projektu boli skúmané dopady implementovania malých buniek na základné ekonomické aspekty trhu a na celkové využitie frekvenčného spektra, či optimalizácia umiestnenia jednotlivých bázových staníc operátorov. Vytvorené ekonomické aplikácie kognitívneho rádia plne zodpovedajú scenárom uvedeným v pracovných balíkoch tohto projektu.

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

The implementation of the fifth-generation telecommunication network rises many economical questions regarding frequency spectrum market, which were not fully addressed in research so far. The aim of the project was to propose agent-based models of frequency spectrum market, which would allow us to study the dynamics of prices and quantity of contracts, but also the development of topology of a cognitive radio network. In order to achieve defined aims, we proposed multiple scenarios, which allowed us to study various market conditions. Majority of publications is focused on prices of contracts between operators and on price strategies for offered services in order to stay profitable. One of the research questions assesses the possibility of dynamic allocation of frequency spectrum among different types of operators, i.e. licensed, virtual or operators of heterogeneous networks. We analyzed different forms of market organization from a single operator in a monopoly position to the monopolistic competition with a large number of small operators. We also analyzed many possible forms of spectrum redistribution as bilateral negotiation between operators, a market in form of continuous double auction, or innovative approach based on unlimited access of the operators to the frequency spectrum, where unused spectrum would be taxed. Various project publications analyzed the impact of the regulator on the market, which would regulate the entrance of new entities to the market and behavior of the existing market participants. From a long-run perspective, individual operators experience an increase or decrease of their market share and network infrastructure and possible network transformation to heterogeneous with introducing small cells, which would significantly influence a topology of the network. In the project were analyzed impacts of small cell deployment on economic aspects of the market, on overall frequency spectrum usage and on optimal localization of individual operators base stations. Created economic applications of cognitive radio network fully correspond to the planned work packages in the project.