



Záverečná karta projektu

Názov projektu

Evidenčné číslo projektu **SK-CN-RD-18-0015**

Kľúčové technológie integrácie multi-GNSS, LiDAR a šikmej fotogrammetrie do 3D vysokokvalitnej rekonštrukcie inteligentného mesta

Zodpovedný riešiteľ **doc. Mgr. Michal Gallay, PhD.**

Príjemca **Univerzita Pavla Jozefa Šafárika v Košiciach - Prírodovedecká fakulta**

Názov pracoviska, na ktorom bol projekt riešený

Univerzita Pavla Jozefa Šafárika v Košiciach
Prírodovedecká fakulta
Ústav geografie
Jesenná 5
04001 Košice

Názov a štát zahraničného pracoviska, ktoré spolupracovalo pri riešení

China University of Mining and Technology
School of Environmental Science and Spatial Informatics
1st Daxue Road
Xuzhou, Jiangsu Province
221116
China

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

V rámci tohto projektu nevznikli výstupy tohto typu na strane slovenského partnera.

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

1. HOFIERKA, J., GALLAY, M., ONAČILLOVÁ, K., HOFIERKA, J. Jr. (2020a). Physically-based land surface temperature modeling in urban areas using a 3-D city model and multispectral satellite data. *Urban Climate*, 31, 100566. (CC, Q1, IF=5,8)
2. HOFIERKA, J., BOGLARSKÝ, J., KOLEČANSKÝ, Š., ENDEROVA, A. (2020b). Modeling Diurnal Changes in Land Surface Temperature in Urban Areas under Cloudy Conditions. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.*, 9, 534. (CC, Q1, IF=2,9)12
3. KAŇUK J., ŠUPINSKÝ J., ŠAŠAK J., HOFIERKA J., WANG Y., ZHANG Q., SEDLÁK V., ONAČILLOVÁ K., GALLAY M. (2019). Semi-automatic LiDAR point cloud denoising using a connected-component labelling method. *Geographia Cassoviensis*, 2019, 13(2). (Scopus, Q3)
4. ORIŇAKOVÁ, R., VILČEKOVÁ, S., ORSÁGOVÁ KRÁLOVÁ, Z., PODROJKOVÁ, N., SISÁKOVÁ, K., KULLA, M., NOVOTNÝ, L., ONAČILLOVÁ, K., ALMÁŠI, M., GALLAY, M. 2020: Základná emisná bilancia mesta Košice: Prehľad emisií oxidu uhličitého zaradených

- do emisnej inventúry. Univerzita Pavla Jozefa Šafárika v Košiciach : Košice. 119 s. (Kapitola: Emisie CO₂ z dopravy, Kapitola: Zeleň v meste)
5. SEDLÁK, V., (2019). Globálne navigačné satelitné systémy pre geoinformatiku. Košice: Univerzita Pavla Jozefa Šafárika v Košiciach. 170 s. ISBN 978-80-8152-770-8.
6. ŠUPINSKÝ, J., GALLAY, M., HOFIERKA, J., BOGLARSKÝ, J.(2021). Krajina na dotyk: nové formy vizualizácie a interakcie s geopriestorovými dátami. Kartografické listy. (Scopus, Q3, v tlači).
7. YU, Z., ZHANG, Q., ZHANG, Y., ZHNEG, N., SEDLÁK, V. (2021). Singular value decomposition-based iterative robust cubature Kalman filtering and its application for integrated global positioning system/strapdown inertial navigation system navigation IET Radar, Sonar and Navigation, (CC, Q2, IF=1,9) DOI: 10.1049/rsn2.12160

Uplatnenie výsledkov projektu

V rámci projektu vznikli viaceré cenné vedecké výstupy s priamym uplatnením v praxi. Vydané publikácie dokumentujú originálne a inovatívne vedecké postupy pre integráciu geopriestorových dát, ktoré reprezentujú trojrozmernú geometrickú štruktúru mesta a boli získané viacerými metódami zberu (ALS, TLS, GNSS, šikmá fotogrametria). Umožňujú tvoriť virtuálne 3D modely mesta s vysokým priestorovým rozlíšením s presnosťou mapovania rádovo v centimetroch až milimetroch. Využitelnosť takýchto modelov sme preukázali vo viacerých publikáciách alej v rámci popularizačných podujatí ako je Slovakia Tech Expo-Forum, Noc výskumníkov, odborných konferenciách, či dňoch otvorených dverí univerzity. Vytvorené geografických databázy reprezentujúce časti mesta Košice je možné zužitkovať v ďalšom výskume pri modelovaní prírodných javov v rámci konceptu SmartCity ako je teplota povrchu a vzduchu, modelovanie efektu zelene v mitigácii prehrievania, bleskové povodne, príkon slnečného žiarenia a fotovoltický potenciál. Presné a detailné digitálne 3D modely mesta možno využiť pre prípravu projektovej dokumentácie historických budov (ako príklad sme riešili budovu Štátneho divadla Košice a Dómu sv. Alžbety). Ďalej sme preukázali uplatnenie geodatabáz pre 3D tlač modelov mesta, ktoré možno využiť v rámci dotykového GIS kombinujúceho fyzický 3D model mesta a geografické analýzy vykonávané na modeli a premietané naň v reálnom čase.

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

Hlavné výsledky projektu vznikli v rámci 4 stanovených cieľov so zameraním na výskum a vývoj nových metód v:

1. zbere a spracovaní 3D geopriestorových údajov pozemným a leteckým laserovým skenovaním (LiDAR-om), šikmou fotogrametriou a globálnymi navigačnými družicovými systémami (GNSS) s vysokou efektivitou a presnosťou mapovania mestskej krajiny;
2. tvorbu virtuálnych 3D modelov mesta z viaczdrojových dát a integráciu formou geodatabázy do prostredia geografických informačných systémov (GIS) v rámci konceptu Smart City;
3. určovaní polohy objektov pomocou multifrekvenčného a multimódového GNSS v podmienkach zníženej kvality družicového GNSS signálu v meste;
4. modelovaní prírodných javov v mestskej krajine postupom vhodným pre implementáciu v rámci konceptu SmartCity za účelom zlepšenia kvality života obyvateľov mesta.

Cieľ 1 a 2 boli dosiahnuté vyvinutím nových metód redukcie dátového šumu vo viaczdrojových 3D lidarových dátach a vzájomnej integráciou rôznych druhov 3D dát do GIS. Takto vytvorená 3D geodatabáza s vysokým priestorovým rozlíšením je ďalším výsledkom výskumu, ktorí spoločne zdieľame s čínskym partnerom. Nová vysokoškolská učebnica zhrňa aktuálne poznatky o globálnych navigačných satelitných systémoch (GNSS).

V rámci cieľa 3 sme vyvinuli nový prístup k spracovaniu údajov zaznamenaných inerciálnym navigačným systémom (INS) a (GNSS) prostredníctvom robustného Kalmanovho filtrovania. Metódu umožňuje spresniť rekonštrukcie trajektórie pohybujúcej sa platformy, napr. autonómnych alebo pilotovaných vzdušných či pozemných vozidiel, používaných v diaľkovom prieskume LiDAR-om alebo fotogrametriou.

Cieľ 4 sme naplnili vyvinutím nových metód a aplikáciou 3D geodatabázy pre modelovanie príkonu slnečnej energie a modelovaniu teploty povrchu v mestách vo vysokom rozlíšení. Podieľali sme sa aj na výpočte emisií oxidu uhličitého a sekvestrácie uhlíka pre mesto

Košice.

Projekt dosiahol výsledky priamo využiteľné pre inteligentné riadenie ktoréhokoľvek mesta na Slovensku, v Číne alebo inde vo svete najmä pre zmiernenie prehrievania, bleskových záplav, modelovanie hluku z dopravy či identifikáciu vhodných fasád budov pre inteligentné fotovoltaické inštalácie, zlepšenie dostupnosti signálu mobilného internetu či pre inteligentnú navigáciu v meste, s využitím moderných metód pozemného prieskumu a diaľkového prieskumu Zeme.

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

The main achievements of the project comprise original contributions in the following 4 areas focusing on research and development of new methods in:

1. 3D spatial data acquisition with terrestrial and airborne LiDAR/oblique photogrammetry and GNSS with high efficiency and precision, in urban landscape and integration of the data
2. Generating virtual 3D city models from the multi-source data and integration of the models in GIS (Geographical Information Systems) within the Smart City concept.
3. Precise positioning by multi-frequency and multi-mode GNSS under the condition of the limited satellite signal in the urban sheltered area.
4. Modeling various phenomena of the urban landscape with 3D data to assess the life quality of citizens and contribute to the SmartCity concept.

Aim 1 and Aim 2 were achieved by developing new methods of noise reduction in multisource 3D data and integration of the various kinds of 3D data in a GIS. A 3D geodatabase is another result of the research integrating the various kinds of multisource high-resolution 3D data of urban landscapes. Furthermore, the new university textbook contributes to up-to-date teaching of global navigation satellite systems (GNSS).

The results addressing Aim 3 concern the new approach for fusion of data recorded by an inertial navigation system (INS) and (GNSS) by adopting the robust cubature Kalman filtering. The method can be applied for improving the accuracy of reconstructing the trajectory of a moving platform for autonomous piloted aerial and ground vehicles used for remote sensing with LiDAR or photogrammetry.

Addressing the Aim 4, the developed methods and 3D geodatabase were applied in the design of innovative approaches for modeling solar energy income and land surface temperature in high resolution. We also participated in the calculation of carbon dioxide emissions and carbon sequestration in Košice for the City Council.

The project achieved results that can be directly incorporated in the smart management of any city in Slovakia, China for elsewhere for mitigating overheating, flash flooding, traffic noise modeling or identifying suitable building facades for smart photovoltaic installations or improvement of wireless internet or smart navigation, taking advantage of the modern methods of ground surveying and remote sensing.