

Prototyp autonómnej navigácie pre UAV

Ing. Daniel Sedlák, Qintec a.s., Priemyselná 5/C, 917 01 Trnava

daniel.sedlak@qintec.sk

ABSTRAKT

Publikácia sa zaoberá prototypom autonómnej navigácie pre UAV v interiéri, pričom je rozdelená na dve časti. Prvá časť je venovaná 3D rekonštrukcií stereo obrazov, ktorá zahŕňa aj meranie hĺbky, čo je jedna z najdôležitejších funkcionalít pri autonómnej navigácii, technológii lokalizačného systému VLC, lokalizačnému ICP algoritmu a simultánnej lokalizácii SLAM. Druhá časť sa venuje výberom vhodných technológií pre prototyp kvadrokoptéry s následným testovaním a realizáciou.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

UAV, SLAM, LiDAR, stereoskopická kamera, autopilot, kvadrokoptéra, lokalizácia, mapovanie

1. ÚVOD

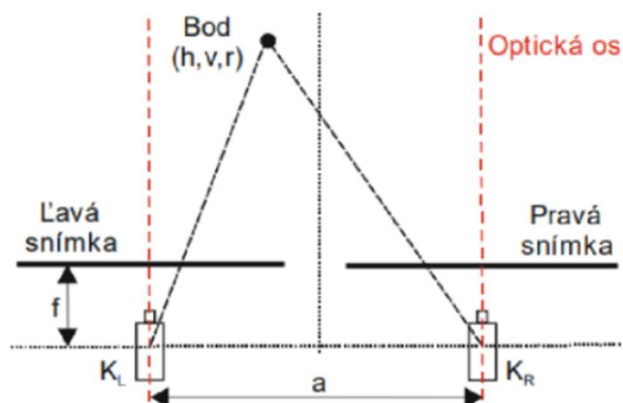
V dnešnej dobe sa čoraz viac stretávame s pojmom „unmanned air vehicle“ (UAV) - bezpilotné lietajúce stroje, akými sú napríklad drony. Tento príspevok sa zaoberá výskumom a vývojom prototypu mnohoúčelovej autonómnej navigácie kvadrokoptéry v interiéri. Prvou podmienkou bezpilotného riadenia je znalosť polohy dronu v priestore a prekážok v okolí. Na tento účel slúži množstvo algoritmov a senzorov či iných technológií, vďaka ktorým nemusí byť vyhodnotenie lokalizácie zložité. S určením presnej polohy UAV prostriedku v priestore je však spojená nepresnosť, ktorú je potrebné minimalizovať. Problematika lokalizácie je priamo spojená s navigáciou, t.j. aby mohol dron lietať autonómne, musí vedieť o dianí pred ním v trojrozmernom priestore, na čo mu slúži napríklad stereoskopická kamera.

2. 3D REKONŠTRUKCIA STEREO OBRAZOV

V dnešnej dobe sa na 3D rekonštrukciu obrazu využívajú rôzne techniky a metódy nachádzajúce uplatnenie v oblastiach ako je sledovanie lietadiel alebo odomknutie telefónu pomocou kamery. Vo všeobecnosti sú 3D objekty veľmi náročné na rekonštrukcie scén, ale majú významnú rolu pri skúmaní napríklad pamiatok alebo objavovaní neprebádaných jaskýň metódou skenovania a následnej rekonštrukcie. Ďalšie uplatnenie je napríklad v automobilovom priemysle, kde pomocou umelej inteligencie dochádza k zvýšeniu bezpečnosti cestnej premávky.

Metódu 3D rekonštrukcie môžeme uskutočniť dvoma spôsobmi, aktívne alebo pasívne. Pri aktívnych metódach ide o skenovanie objektov laserom a priebežné vyhodnocovanie získaných dát, pasívna metóda pracuje so zhromaždenými snímkami obrazov. Obe metódy majú svoje silné a slabé stránky a taktiež výhody a nevýhody. Aktívna metóda využíva laser a tým je cenovo menej dostupná, no rekonštrukcia je vďaka laseru rýchlejšia. Pasívne metódy sú cenovo dostupnejšie a na

spracovanie používajú rôzne algoritmy, ktoré našli široké uplatnenie pri rekonštrukcii a detekčných systémoch.



Obr. 1. Všeobecné umiestnenie dvojice kamier [1]

Obr. 1. - Známenenie umiestnenia dvoch stereo kamier. Ak je známe horizontálne posunutie, vzdialenosť stredov kamier a ohnisková vzdialenosť, je možné vypočítať hĺbku akéhokoľvek bodu. Táto metóda je teda vhodná pre UAV a existuje rôzna škála stereoskopických kamier zameraných na vývoj robotov.

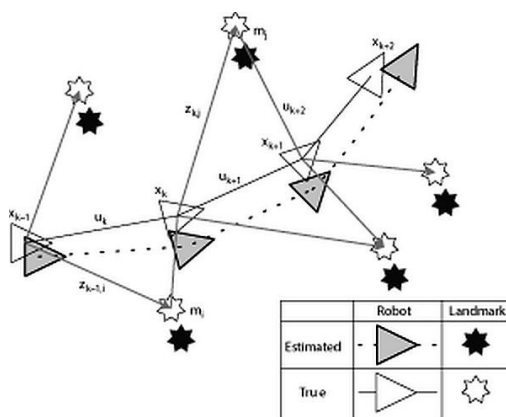
3. TECHNOLÓGIA VLC A ICP ALGORITMUS

VLC „visible light communication“ alebo komunikácia viditeľným svetlom je technológia lokalizačného systému, ktorú možno použiť na miestach citlivých na rádiové frekvencie. Ukázalo sa, že VLC poskytuje vyššiu presnosť v porovnaní so systémami Wi-Fi. Vďaka zlúčeniu diód vyžarujúcich svetlo (LED) sa VLC široko používa pri lokalizácii. LED má mnoho výhod, vrátane dlhej životnosti, odolnosti voči vlhkosti, nízkej spotreby energie a nízkych prevádzkových nákladov. LED môže tiež modulovať signály svetelných vln pri vysokej rýchlosti [2]. Lokalizáciu pomocou VLC je možné vykonať pomocou systémov na báze fotodiód, ktoré zachytávajú intenzitu svetla a systémov založených na obrazových senzorech, ktoré dokážu zachytiť svetelné impulzy [3]. LED aj senzory by však mali byť v zornom poli pre presnú lokalizáciu. Detekcia svetla a lokalizácia vzdialenosti (LiDAR) poskytuje informácie o obrysoch okolitých prekážok a tým môžu tieto systémy poskytnúť presnú lokalizáciu [4].

ICP algoritmus je metóda porovnávania skenov, ktorá pristupuje k SLAM „Simultaneous localization and mapping“ problému bez použitia príznaku, každý bod sensorického merania môžeme považovať za samostatný príznak a potom sa tento rozdiel vytráca. Základom týchto metód je nájdenie optimálnej transformácie medzi niekoľkými nasledujúcimi sensorickými meraniami, prípadne je hľadaná transformácia napríklad medzi mriežkou obsadenosti a novým sensorickým meraním. Optimálna transformácia je potom hľadaná vybranou optimalizačnou metódou, väčšinou optimalizačným algoritmom najmenších štvorcov [5]. Výhoda týchto metód je zrejmá a jej použitie je vhodné v komplikovaných prostrediach vzhľadom na množstvo prekážok, ktoré môžu blokovat signál pre predošlú metódu. Tvorba primitívnej bodovej mapy je relatívne jednoduchá, na druhej strane sú tieto metódy citlivé na počiatkové podmienky.

4. SIMULTÁNNÁ LOKALIZÁCIA A MAPOVANIE (SLAM)

SLAM je skratka pre Simultánnu lokalizáciu a mapovanie. V mapovaní je problém integrovať informácie, ktoré zhromažďujú senzory robota do danej reprezentácie. To môže byť opísané otázkou: „Ako vyzerá svet?“. Centrálné aspekty v mapovaní sú reprezentácia prostredia a interpretácia dát sensorov. Na rozdiel od mapovania, v lokalizácii je problémom odhad pozície robota vo vzťahu k mape. Inými slovami, robot má odpoveď na otázku: „Kde to som?“. Zvyčajne sa rozlišuje medzi pozíciou sledovania, keď je začiatková pozícia známa a globálnou lokalizáciou, v ktorej nebola daná žiadna prioritná vedomosť o štartovacej pozícii. Simultánná lokalizácia a mapovanie je preto definované ako problém vybudovania mapy, v ktorej v rovnakom čase prebieha lokalizácia robota bez použitia tejto mapy. V praxi nemožno tieto dva problémy riešiť nezávisle od seba. Predtým, ako robot môže odpovedať na otázku „Ako prostredie vyzerá?“, z výsledkov pozorovania je potrebné vedieť, z ktorého prostredia získané pozorovania pochádzajú. Zároveň je ťažké bez mapy odhadnúť aktuálnu polohu robota. Preto je SLAM často prirovnávaný k problému: „Čo bolo skôr? Sliepka alebo vajce?“ Dobrá mapa je potrebná pre lokalizáciu, zatiaľ čo presný odhad pozície je potrebný na vytvorenie mapy.



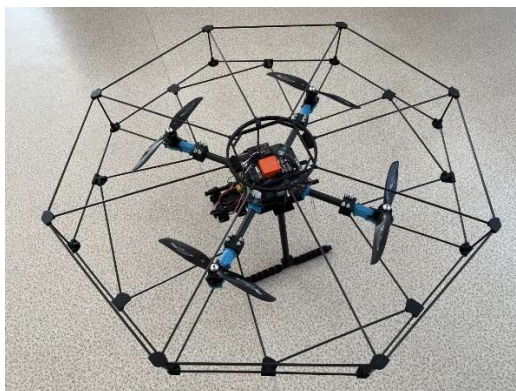
Obr. 2. Základný SLAM problém ^[6]

Obr. 2. - V časovom okamihu k , sú nasledujúce veličiny definované ako:

- x_k - stavový vektor, ktorý popisuje umiestnenie a orientáciu robota.
- u_k - kontrolný vektor, ktorý aplikuje v čase $k-1$ riadiť vozidlo na stav x_k v čase k .
- m_i - vektor, ktorý popisuje umiestnenie i -teho orientačného bodu, ktorého pravé umiestnenie predpokladá, že je nemenné.
- z_k - pozorovanie prevzaté z miesta vozidla i -teho orientačného bodu v čase k . Keď existuje viac pozorovaní orientačných bodov v jednom okamihu alebo keď konkrétny orientačný bod nie je relevantný k diskusii, pozorovanie bude zapísané iba ako z_k .

3. NÁVRH A REALIZÁCIA PROTOTYPOVÉHO RIEŠENIA

Pri realizácii prototypu sme použili stavebnicu dronu kvadroptéry HOLYBRO X500 V2 obsahujúcu všetky potrebné komponenty ako konštrukcia, motory, vrtule, atď. Riadenie letu zabezpečuje autopilot Cube Orange s redundantným IMU systémom.



Obr. 3. Kvadroptéra HOLYBRO X500 V2

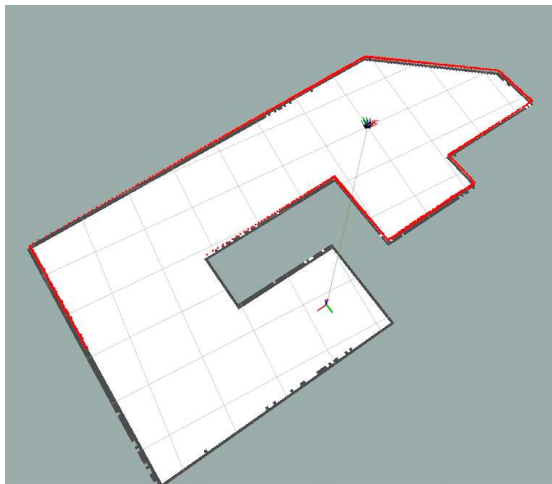
Po zostavení dronu a nakonfigurovaní autopilota bolo realizovaných niekoľko skúšobných letov pomocou RC ovládača. Realizovali sme simultánnu lokalizáciu a mapovanie SLAM v metaoperačnom systéme ROS, čo si vyžaduje vysoký výpočtový výkon a technológie na meranie vzdialenosti. Kvadroptéra je osadená vývojovou doskou NVIDIA Jetson Nano Developer Kit, s modulom poskytujúci vysoký výkon a prispôbený pre vývoj AI.



Obr. 5. Jetson Nano Developer Kit

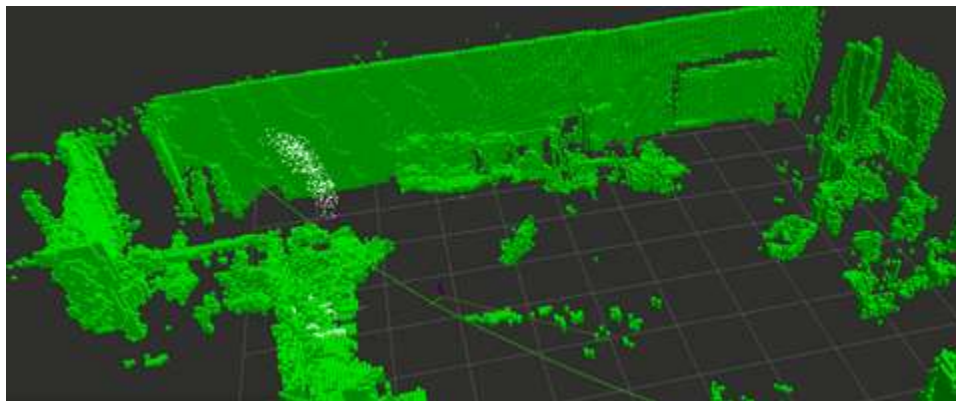
Nevyhnutou súčasťou SLAM je zhromažďovanie dát zo senzorov merajúcich vzdialenosť v okolí dronu, aby bolo možné vytvorenie mapy a lokalizácie v nej. Nakoľko sa dron pohybuje v trojrozmernom priestore, je vybavený stereoskopickou kamerou ZED 2 pre 3D skenovanie priestoru pred dronom a pre súvislé skenovanie celého okolia pomocou LiDAR-u RPLIDAR A3.

LiDAR je zapojený k vývojovej doske, na ktorej beží operačný systém LINUX a robotický operačný systém ROS. Systém ROS zabezpečuje simultánnu lokalizáciu a mapovanie za pomoci LiDAR-u. Vývojová doska pomocou sériového rozhrania komunikuje s autopilotom a zasiela mu aktuálne dáta o polohe.



Obr. 6. Príklad mapy zo skenovania LiDAR-om [7]

SLAM spracováva dáta z LiDAR-u a zobrazuje mapu s lokalizáciou v reálnom čase. Aktuálne prebieha testovanie lokalizácie zariadenia v priestore prostredníctvom RPLIDAR A3 a zároveň merania hĺbky ZED 2 kamerou kontrolovaným riadením pomocou RC ovládača.



Obr. 7. Príklad 3D mapy z meraní kamerou ZED 2 [8]

Po dosiahnutí požadovaných výsledkov presnosti lokalizácie budú nasadené algoritmy autonómneho riadenia. Úlohou riadiacich algoritmov bude zabezpečovať vytvorenie trasy pre dron po zadaní cieľových súradníc a prepočítavanie nových trás na základe kolíznych situácií v reálnom čase. Toto umožní dosiahnutie cieľových súradníc najkratšou trasou a aktívne vyhýbanie sa všetkým statickým a dynamickým prekážkam. Riadenie bude založené na generovaní stromovej

štruktúry v priestore pred dronom a v jeho okolí. Jedným z takýchto algoritmov je RRT „rapidly exploring random tree“.

ZÁVER

V prvej časti publikácie bola predstavená 3D rekonštrukcia stereo obrazov, ktorej úlohou je v tomto projekte meranie hĺbky v priestore pred dronom. Pre autonómnu navigáciu je rovnako dôležité poznať celkové okolie a preto sa v príspevku zaoberáme technológiou lokalizačného systému VLC a ICP algoritmov využívaných v simultánnej lokalizácii a mapovaní. V druhej, vývojovej časti, bolo zrealizované zostavenie kvadrokoptéry HOLYBRO X500 V2, návrh hardvéru a spustenie simultánnej lokalizácie a mapovania pomocou RPLIDAR A3 v prostredí operačného systému ROS. Následne prebehlo testovanie stereoskopickkej kamery ZED 2, ktorej výstupom boli namerané hĺbky v priestore pred dronom nevyhnutné pre autonómnu navigáciu. Pre zvýšenie bezpečnosti sme navrhli vlastnú bezpečnostnú klieťku vyrobenú z karbónových tyčí pospájaných na mieru namodelovanými a vytlačenými spojками v laboratóriu prostredníctvom 3D tlačiarne.

POĎAKOVANIE

Tento článok vznikol vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt „Inteligentné operačné a spracovateľské systémy pre UAV“, kód projektu v systéme ITMS2014+: 313011V422, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.



EURÓPSKA ÚNIA
Európsky fond regionálneho rozvoja
OP Integrovaná infraštruktúra 2014 – 2020



MINISTERSTVO
DOPRAVY
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

LITERATÚRA

- [1] O. Kováč, J. Mihálik, Tvarovanie 3R modelu ľudskej hlavy pomocou stereoskopického vnímania, 2016., Technical University of Košice, elektrevue ISSN 1213-1539 URL: https://www.researchgate.net/publication/297551489_Tvarovanie_3R_modelu_ludskej_hlavy_pomocou_steroskopickeho_snimania_Shapping_of_3D_model_of_human_head_with_stereoscopic_scanning
- [2] Luo, J., Fan, L., & Li, H. (2017). Indoor positioning systems based on visible light communication: State of the art. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 19(4), 2871–2893.
- [3] Huynh, P., & Yoo, M. (2016). VLC-based positioning system for an indoor environment using an image sensor and an accelerometer sensor. *Sensors*, 16(6), 783.
- [4] Xiao, Y. Ou, Y., & Feng, W. (2017) Localization of indoor robot based on particle filter with EKF proposal distribution. In 2017 IEEE international conference on cybernetics and intelligent systems (CIS) and IEEE conference on robotics, automation and mechatronics (RAM), 2017, pp. 568–571.

[5] Mazi R., Lokalizace pro autonomní systémy. Disertační práce, České vysoké učení technické, Praha, 2007.

[6] H. Durant-Whyte, T. Bailey. 2006. Simultaneous Localisation and Mapping (SLAM): Part 1 The Essential Algorithms. IEEE Robotics and Automation Magazine. ISSN 1070-9932, 2006. vol.13, no2., p.99-110.

[7] Kiran Palla, Creating Map using Laser Scanner and Gmapping, 2018, URL: <https://kiranpalla.com/autonomous-navigation-ros-differential-drive-robot-simulation/creating-map-using-laser-scanner-and-gmapping/>

[8] Chad Sweet , SLAM: The L is for Localization – the M is for Mapping, 2022, URL: <https://www.modalai.com/blogs/blog/slam-the-l-is-for-localization-the-m-is-for-mapping>