

## Smlouva o dílo č. 23111/2023-HA

uzavřená podle § 2586 a násl. zákona č. 89/2012 Sb., občanský zákoník

Smluvní strany:

### ČESKÁ REPUBLIKA-MINISTERSTVO OBRANY

se sídlem Tychonova 1, 160 01 Praha 6,  
zastoupená rektorkou velitelkou Univerzity obrany  
brig. gen. prof. RNDr. Zuzanou Kročovou, Ph.D.,  
se sídlem kanceláří: Univerzita obrany, Kounicova 65, Brno,  
IČO: 60162694,  
DIČ: CZ60162694,  
Bankovní spojení: Česká národní banka, pobočka Brno-město,  
Číslo bankovního účtu: 404881/0710,  
Kontaktní osoba:  
plk. gšt. doc. Ing. Jan MAZAL, Ph.D., tel.: 702 000 654, e-mail: [jan.mazal@unob.cz](mailto:jan.mazal@unob.cz);  
Ing. Tomáš TÚRO, Ph.D., tel.: 973 443 741, e-mail: [tomas.turo@unob.cz](mailto:tomas.turo@unob.cz);  
Adresa pro doručování korespondence: Univerzita obrany, Kounicova 65, 662 10 Brno,  
Adresa pro doručování elektronických daňových dokladů: [elektronicke.faktury@unob.cz](mailto:elektronicke.faktury@unob.cz),  
jako **OBJEDNATEL** (dále jen „objednatel“) na straně jedné,

a

### ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE, fakulta elektrotechnická

se sídlem Jugoslávských partyzánů 1580/3, 160 00, Praha 6,  
Veřejná vysoká škola uvedená v příloze č. 1 zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách,  
zastoupená prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.,  
IČO: 68407700,  
DIČ: CZ68407700,  
Bankovní spojení: Komerční banka, a.s.  
Číslo bankovního účtu: 19-5504540257/0100,  
Kontaktní osoba:  
Kontaktní osoba: prof. Ing. Jan Faigl, Ph.D., e-mail: [faigl@fel.cvut.cz](mailto:faigl@fel.cvut.cz), tel: 224357400  
Adresa pro doručování korespondence: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta  
elektrotechnická, Karlovo náměstí 13, 121 35, Praha 2  
jako **ZHOTOVITEL** (dále jen „zhotovitel“) na straně druhé

podle § 2586 a násl. zák. č. 89/2012 Sb., občanský zákoník (dále jen „občanský zákoník“) uzavírají  
tuto smlouvu o dílo (dále jen „smlouva“):

### 1. Předmět a účel smlouvy

- 1.1. Zhotovitel se touto smlouvou zavazuje provést na svůj náklad a nebezpečí pro objednatele dílo definované touto smlouvou a objednatel se zavazuje dílo převzít a zaplatit cenu za dílo.

- 1.2. Dílem se pro účely této smlouvy rozumí ověření efektivity a spolehlivosti výpočtu „cost-mapy“ a plánu lokálního manévru (RRT, PRM, RET, MPC), které jsou blíže popsány v příloze č. 1 této smlouvy.
- 1.3. Účelem této smlouvy je zajištění vědy a výzkumu na Univerzitě obrany.

## **2. Cena za dílo**

- 2.1. Cena za dílo se sjednává pevnou částkou jako nejvýše přípustná, a to ve výši 487 603,30 korun českých (CZK) bez daně z přidané hodnoty (DPH) a ve výši 589 999,99 CZK s DPH (slovy: pětsetosmdesátdevět tisíc devět set devadesát devět 99/100 korun českých). V takto stanovené ceně za dílo jsou zahrnuty veškeré náklady zhotovitele související s plněním této smlouvy (např. náklady na dopravu do místa plnění, clo, náklady na autonomní řízený prostředek).
- 2.2. Cenu za dílo je možné zvýšit pouze z důvodu zvýšení DPH, a to na základě písemného dodatku ve smyslu čl. 9.2. této smlouvy.

## **3. Lhůty a místo plnění**

- 3.1. Zhotovitel se zavazuje předat objednateli řádně dokončené dílo nejpozději do 29. května 2023.
- 3.2. Místem plnění je Univerzita obrany, kasárna Černá Pole, třída Generála Píky 1, 662 10 Brno.

## **4. Způsob provádění díla**

- 4.1. Zhotovitel provede dílo s potřebnou péčí v ujednaném čase a obstará vše, co je k provedení díla potřeba.
- 4.2. Zhotovitel je povinen vést zkušební a kontrolní záznamy k předmětu plnění dle této smlouvy tak, aby bylo možno prokázat shodu díla s požadavky stanovenými v této smlouvě.
- 4.3. Objednatel je oprávněn kontrolovat provádění díla ve smyslu § 2593 občanského zákoníku. Zhotovitel se zavazuje umožnit objednateli tuto kontrolu díla provádět. Za tímto účelem je zhotovitel povinen předložit objednateli veškerou dokumentaci související s prováděním díla, vyžádanou objednatelem, dále je zhotovitel povinen umožnit objednateli vstup do veškerých prostor, ve kterých je dílo prováděno nebo které s prováděním díla souvisejí.
- 4.4. Zhotovitel předá dílo, tj. výsledky ověření efektivity a spolehlivosti výpočtu „cost-mapy“ a plánu lokálního manévru (RRT, PRM, RET, MPC), a to ve formě výzkumných zpráv z měření a vyhodnocení, fotodokumentace a podkladových materiálů (zpráva o provozu techniky) dokládajících ujeté kilometry v jednotlivých požadovaných lokalitách dle schémat uvedených v přílohách č. 2 až 4 této smlouvy; dílo (uvedenou dokumentaci) zašle zhotovitel objednateli v elektronické podobě v českém jazyce v běžných textových a tabulkových formátech (doc, xls, pdf apod.) na emailovou adresu [jan.mazal@unob.cz](mailto:jan.mazal@unob.cz).
- 4.5. Dílo je provedeno, je-li zhotovitelem dokončeno a objednatelem převzato. Dílo je dokončeno, nevykazuje-li vady, jsou-li k němu všechny doklady a dokumenty nutné k užívání díla (např.

- zákonem stanovené revizní zprávy) a je-li zhotovitelem předvedena způsobilost díla sloužit svému účelu.
- 4.6. Dokončené dílo zhotovitel předá objednateli nejpozději v termínu, který je uveden v čl. 3.1. této smlouvy, v místě plnění, které je sjednáno v čl. 3.2. této smlouvy. Objednatel požaduje, aby zhotovitel odevzdal dokončené dílo objednateli jako celek, a to včetně:
- 4.6.1. dokladů a dokumentů prokazujících shodu díla s požadavky stanovenými v této smlouvě;
- 4.6.2. dokladů a dokumentů nutných k převzetí díla.
- 4.7. Smluvní strany se dohodly, že objednatel není povinen převzít částečné plnění díla nebo dílo, které není ve smyslu této smlouvy dokončené.
- 4.8. Předání dokončeného díla zhotovitelem objednateli bude provedeno po předchozím projednání a odsouhlasení termínu a konkrétní hodiny s kontaktní osobou objednatele.
- 4.9. Prohlídku plnění za objednatele provede kontaktní osoba objednatele, přičemž:
- 4.9.1. **není-li dílo** ve smyslu této smlouvy **dokončené**, je **objednatel** po provedené prohlídce **oprávněn odmítnout dílo převzít**. O nepřevzetí plnění bude objednatelem vyhotoven **zápis**, ve kterém objednatel uvede veškeré výhrady, pro které nebylo dílo převzato;
- 4.9.2. **není-li dílo** ve smyslu této smlouvy **dokončené a nevyužije-li objednatel svého práva odmítnout dílo převzít, objednatel dílo převezme s výhradami**. Zhotovitel bere na vědomí, že tak objednatel učiní pouze tehdy, je-li to pro objednatele výhodné. Do okamžiku vypořádání všech výhrad nebude dílo považováno za dokončené;
- 4.9.3. **v ostatních případech objednatel dílo převezme bez výhrad**.
- 4.10. O převzetí díla bude smluvními stranami sepsán protokol o předání a převzetí díla (dále jen „protokol“), který bude obsahovat zejména následující údaje:
- 4.10.1. číslo této smlouvy;
- 4.10.2. soupis provedených prací;
- 4.10.3. popis stavu díla (tj. zda je dílo dokončené či nikoliv) a zvolený postup jeho převzetí objednatelem, tj. zda je dílo objednatelem převzato dle čl. 4.9.2. této smlouvy (tj. s výhradami) nebo dle čl. 4.9.3. této smlouvy (tj. bez výhrad);
- 4.10.4. podrobný popis veškerých výhrad, je-li dílo převzato objednatelem dle čl. 4.9.2. této smlouvy;
- 4.10.5. datum převzetí díla objednatelem; a
- 4.10.6. podpisy kontaktních osob obou smluvních stran.
- 4.11. Protokol před předáním díla připraví zhotovitel tak, že v něm uvede údaje dle čl. 4.10.1. a čl. 4.10.2. této smlouvy.
- 4.12. Protokol je úplný pouze tehdy, obsahuje-li náležitosti stanovené touto smlouvou. Dílo se považuje za převzaté objednatelem okamžikem podpisu úplného protokolu kontaktní osobou objednatele.

## 5. Platební podmínky

- 5.1. Nárok na úhradu ceny za dílo objednatelem zhotoviteli vzniká po převzetí díla objednatelem, bylo-li dílo převzato objednatelem bez výhrad, a okamžikem vypořádání všech výhrad, bylo-li dílo objednatelem převzato s výhradami. Úhrada ceny za dílo bude provedena na základě zhotovitelem vystaveného jednoho daňového dokladu (faktury), a to na bankovní účet uvedený na tomto daňovém dokladu (faktuře). Objednatel neposkytuje zálohy.
- 5.2. Daňový doklad (faktura) musí obsahovat zejména všechny náležitosti stanovené zák. č. 235/2004 Sb., o dani z přidané hodnoty, ve znění pozdějších předpisů, dále musí daňový doklad (faktura) obsahovat číslo smlouvy, podle které se uskutečňuje plnění, a **informaci o tom, že příjemcem plnění je Univerzita obrany, Kounicova 65, 662 10 Brno**. Zhotovitel je povinen v daňovém dokladu (faktuře) cenu za dílo rozepsat po jednotlivých položkách rozpočtu. Součástí daňového dokladu (faktury) je **originál protokolu** podepsaného za objednatele kontaktní osobou objednatele.
- 5.3. Daňový doklad (fakturu) doručí zhotovitel objednateli na doručovací adresu objednatele. Objednatel zaplatí cenu za dílo dle daňového dokladu (faktury) nejpozději do:
  - 5.3.1. **30 dnů** ode dne obdržení tohoto daňového dokladu (faktury), byl-li daňový doklad (faktura) objednateli doručen nejpozději do 1. 12. 2023.
  - 5.3.2. **60 dnů** ode dne obdržení tohoto daňového dokladu (faktury) v ostatních případech.
- 5.4. Za den splnění platební povinnosti se považuje den odepsání ceny za dílo dle daňového dokladu (faktury) z účtu objednatele ve prospěch zhotovitele.
- 5.5. Objednatel je oprávněn před uplynutím lhůty splatnosti vrátit daňový doklad (fakturu), který neobsahuje požadované náležitosti, není doložen požadovanými nebo úplnými doklady nebo obsahuje nesprávné cenové údaje. Stanoví-li zhotovitel v daňovém dokladu (faktuře) datum splatnosti v rozporu s touto smlouvou, není tato chyba důvodem pro vrácení daňového dokladu (faktury) a pro další plnění povinností smluvních stran se nebude k tomuto chybně uvedenému údaji přihlížet.
- 5.6. Ve vráceném daňovém dokladu (faktuře) musí objednatel vyznačit důvod vrácení daňového dokladu (faktury). Oprávněným vrácením daňového dokladu (faktury) přestává běžet původní lhůta splatnosti daňového dokladu (faktury) a běží nová lhůta stanovená dle čl. 5.3. této smlouvy ode dne prokazatelného doručení opraveného a všemi náležitostmi opatřeného daňového dokladu (faktury) objednateli.
- 5.7. Budou-li u zhotovitele, coby dodavatele zdanitelného plnění shledány důvody k naplnění institutu ručení za daň podle § 109 zákona č. 235/2004 Sb., o dani z přidané hodnoty, ve znění pozdějších předpisů, bude objednatel při úhradě ceny za dílo vždy postupovat zvláštním způsobem zajištění daně podle § 109a tohoto zákona. Smluvní strany berou na vědomí a souhlasí s tím, že takovém případě bude úhrada ceny za dílo zhotoviteli za předmět plnění podle této smlouvy snížena o daň z přidané hodnoty, která bude odvedena objednatelem na účet správce daně místně příslušného zhotoviteli. Zhotovitel tedy obdrží cenu za dílo ve výši částky odpovídající základu daně a nebude nárokovat úhradu částky ve výši daně z přidané hodnoty odvedené na účet jemu místně příslušnému správci daně.

## **6. Práva z vadného plnění**

Práva z vadného plnění se řídí § 2615 a násl. občanského zákoníku.

## **7. Smluvní pokuty**

- 7.1. Za nesplnění povinností z této smlouvy se sjednávají následující smluvní pokuty:
  - 7.1.1. je-li zhotovitel v prodlení s předáním dokončeného díla objednateli ve lhůtě sjednané v čl. 3.2. této smlouvy, je zhotovitel povinen zaplatit objednateli za každý započatý den prodlení smluvní pokutu ve výši 0,2 % z ceny díla vč. DPH, přičemž za poslední den prodlení se považuje den převzetí díla objednatelem, bylo-li dílo převzato objednatelem bez výhrad, anebo okamžik vypořádání všech výhrad, bylo-li dílo objednatelem převzato s výhradami;
  - 7.1.2. je-li zhotovitel v prodlení s odstraněním vad díla v objednatel stanovených termínech, je zhotovitel povinen zaplatit objednateli za každý započatý den prodlení smluvní pokutu ve výši 0,2 % z ceny díla vč. DPH.
  - 7.1.3. poruší-li zhotovitel povinnost uvedenou v čl. 9.6. této smlouvy, je zhotovitel povinen zaplatit objednateli smluvní pokutu ve výši 10 000,- Kč.
- 7.2. Objednatel uplatní nárok na smluvní pokutu a její výši u zhotovitele výzvou. Zhotovitel je povinen zaplatit uplatněnou smluvní pokutu objednateli do 15 dnů od doručení této výzvy.
- 7.3. Smluvní pokutu zaplatí zhotovitel bez ohledu na to, vznikla-li objednateli škoda. Náhrada škody je vymahatelná samostatně v plné výši vedle smluvní pokuty.

## **8. Odstoupení od smlouvy**

- 8.1. Smluvní strany se dohodly na tom, že tato smlouva zaniká, vedle ostatních případů stanovených občanským zákoníkem, také jednostranným odstoupením od smlouvy ze strany objednatele pro její podstatné porušení zhotovitelem.
- 8.2. Podstatným porušením povinností ze strany zhotovitele se rozumí:
  - 8.2.1. prodlení zhotovitele s předáním dokončeného díla objednateli ve lhůtě sjednané v čl. 3.2. této smlouvy po dobu delší než 10 dnů;
  - 8.2.2. opakované porušení povinností zhotovitele vyplývajících z této smlouvy, přičemž opakovaným porušením se rozumí nejméně třetí porušení jakékoliv povinnosti.

## **9. Zvláštní ujednání**

- 9.1. Všechny právní vztahy, které vzniknou při realizaci práv a povinností vyplývajících z této smlouvy, se řídí právním řádem České republiky.
- 9.2. Tuto smlouvu lze měnit pouze písemným, číslovaným, oboustranně potvrzeným ujednáním, výslovně nazvaným dodatek ke smlouvě, podepsaným statutárními orgány nebo zmocněnými zástupci obou smluvních stran. Jiné zápisy, protokoly apod. se za změnu této smlouvy

nepovažují. Změní-li se kterýkoliv údaj uvedený v záhlaví této smlouvy u smluvních stran, je smluvní strana, u níž ke změně došlo, povinná neprodleně písemně o této skutečnosti informovat druhou smluvní stranu. Účinnost změny u údajů, které se nezapisují do obchodního rejstříku (např. doručovací adresa, kontaktní osoba), nastává okamžikem doručení oznámení příslušné smluvní straně.

9.3. Kontaktní osoba objednatele je za objednatele oprávněna činit pouze tato právní jednání:

9.3.1. dohodnout se zhotovitelem den a čas předání díla - čl. 4.8. této smlouvy;

9.3.2. odmítnout dílo převzít dle čl. 4.9.1. této smlouvy, převzít dílo bez výhrad dle čl. 4.9.3. této smlouvy a převzít dílo s výhradami dle čl. 4.9.2. této smlouvy, a to včetně vyhotovení a podpisu zápisu o odmítnutí převzít dílo a podpisu protokolu.

Kontaktní osoba objednatele není oprávněna rozhodnout nebo se zhotovitelem dohodnout způsob vypořádání nároků z vadného plnění. Právní jednání učiněná kontaktní osobou objednatele nad takto vymezený rámec nezavazují objednatele.

9.4. Neplatnost některého z ustanovení této smlouvy nemá vliv na platnost ostatních ustanovení.

9.5. Smluvní strany jsou oprávněny postoupit jakoukoliv pohledávku a ujednat převzetí dluhu vyplývající z této smlouvy pouze s předchozím písemným souhlasem druhé smluvní strany.

9.6. Zhotovitel se zavazuje při plnění této smlouvy zajistit důstojné pracovní podmínky a odpovídající úroveň bezpečnosti a ochrany zdraví při práci pro všechny osoby, které se budou z jeho strany podílet na plnění podle této smlouvy.

9.7. Zhotovitel bere na vědomí, že místem plnění jsou objekty důležité pro obranu státu ve smyslu § 29 zák. č. 222/1999 Sb., o zajišťování obrany České republiky, ve znění pozdějších předpisů. Zhotovitel se zavazuje dodržovat veškerá interní nařízení upravující vstup do těchto objektů, která byla v této souvislosti vydána statutárním orgánem, do jehož působnosti tyto objekty důležité pro obranu státu náleží.

9.8. Smluvní strany berou na vědomí, že na tuto smlouvu se vztahuje povinnost uveřejnění v registru smluv. Smluvní strany se dohodly, že objednatel zašle tuto smlouvu správci registru smluv k uveřejnění prostřednictvím registru smluv ve lhůtě uvedené v § 5 odst. 2 větě první zákona č. 340/2015 Sb., o zvláštních podmínkách účinnosti některých smluv, uveřejňování těchto smluv a o registru smluv.

9.9. Nedílnou součástí této smlouvy jsou následující přílohy:

9.9.1. Příloha č. 1 - Požadavky na předmět díla;

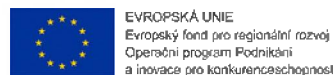
9.9.2. Příloha č. 2 - Lokalizace dálkoměrných měření;

9.9.3. Příloha č. 3 - Geometrický model prostředí;

9.9.4. Příloha č. 4 - Plánování bezkolizního průjezdu.

9.10. V případě, že nastane rozpor mezi touto smlouvou a její přílohou, má přednost ujednání obsažené ve smlouvě. V případě, že nastane rozpor mezi přílohami navzájem, má přednost ujednání obsažené v příloze s nižším číslem.

**EG20\_321/0025219 - AUTONOMNÍ  
POZEMNÍ VOZIDLO PRO NOUZOVÉ  
ZÁSOBOVÁNÍ A LOGISTIKU (2022-2023,  
MPO/EG)**



- 9.11. Tato smlouva nabývá platnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami a účinnosti dnem uveřejnění v registru smluv.
- 9.12. Tato smlouva má **14 očíslovaných** stran (včetně čtyř příloh), je vyhotovena v elektronické podobě.
- 9.13. Smluvní strany prohlašují, že tuto smlouvu přečetly, že byla uzavřena po vzájemném projednání podle jejich pravé a svobodné vůle, určitě, vážně a srozumitelně, a na důkaz svého souhlasu s jejím obsahem pod ní připojují své elektronické podpisy.

V Brně, dne

Za objednatele  
brig. gen. prof. RNDr. Zuzana Kročová, Ph.D.  
rektorka Univerzity obrany  
v zastoupení  
plk. gšt. doc. Dr. habil. Ing. Pavel Foltin, Ph.D.

doc. Dr. habil. Ing. Pavel Foltin, Ph.D.  
Digitálně podepsal  
doc. Dr. habil. Ing.  
Pavel Foltin, Ph.D.  
Datum: 2023.05.24  
14:59:12 +02'00'

V Praze, dne

Za zhotovitele  
prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.  
děkan



prof. Petr Páta, Ph.D.  
2023.05.24 13:03:35  
+02'00'  
2023.001.20174

### **Požadavky na ověření efektivity a spolehlivosti výpočtu „cost-mapy“ a plánu lokálního manévru (RRT, PRM, RET, MPC)**

K výpočtu „cost-mapy“ budou využity vybrané algoritmy založené na geometrické analýze dálkoměrných měření s cílem identifikace vhodného řešení pro off-road automatickou navigaci.

Uvažované algoritmy vychází z lokalizovaných dálkoměrných měření dle přílohy č. 2 této smlouvy, která jsou použita ke stavbě lokálního modelu prostředí dle přílohy č. 3 této smlouvy, který by spolu s kombinací přibližného plánu ke vzdálenému cíli a plánováním lokálních manévru umožňuje bezkolizní průjezd do cílové oblasti v souladu s přílohou č. 4 této smlouvy.

Ověření bude provedeno na vlastním robotickém autonomně řízeném prostředku (hmotnostní kategorie 300 – 3000 kg) s operátorem schopným jízdy ve středně těžkém terénu.

Měření proběhne v prostorách zhotovitele.

Požadované povrchy a ujeté vzdálenosti jsou:

- 75 km na nezpevněných plochách
- 40 km v otevřeném terénu
- 35 km v lesním porostu



### Lokalizace dálkoměrných měření

Na základě literatury publikované v oblasti výzkumu lokalizačních systémů a mapování, mohou být dálkoměrná měření ze senzorů lokalizována metodou SLAM. Senzorem uvažovaným pro lokalizaci dálkoměrných měření jsou laserové dálkoměry umístěné na vozidle. Další ze senzorů, které jsou uvažované pro lokalizaci, jsou kamery, satelitní navigační systém, případně inerciální jednotka, či kolová odometrie. Základem moderních lokalizačních metod, které fúzíjí měření z různých senzorů, je metoda [1]. Metoda [1] je založena na kombinaci dvou algoritmů.

První z algoritmů slouží k rychlému odhadu změny pozice laserového dálkoměru, jedná se o tzv. laserovou odometrii. Ta funguje následujícím způsobem. Vstupem algoritmu pro výpočet laserové odometrie jsou scany, které dálkoměr měří při pohybu prostředím. Z každého scanu jsou vybrány významné body, které náležejí ostrým hranám a povrchům. Tyto vybrané body jsou následně filtrovány, tak aby hustota vybraných bodů nepřekračovala stanovenou mez, a aby se mezi body nenacházely body náležící rovinám, jež jsou přibližně rovnoběžné s paprsky vycházejícími z laserového dálkoměru. Významné body z po sobě jdoucích scanů jsou nejprve zpárovány. Pak je změna pozice laserového dálkoměru vypočtena jako transformace, která minimalizuje vzdálenosti mezi spárovanými významnými body odpovídajících scanů z laserového dálkoměru. Výsledná transformace je následně použita k projekci scanu tak, že je kompenzována chyba vzniklá pohybem dálkoměru během měření.

Druhý z algoritmů je tzv. laserové mapování, běží typicky na nižší frekvenci, než laserová odometrie. Při laserovém mapování je nový scan, projektovaný algoritmem laserové odometrie vložen do celkové mapy prostředí, ve které jsou uloženy významné body, přičemž hustota výsledné mapy je limitována aby nedocházelo k přílišnému nárůstu výpočetního času při přidávání nových dat. Kvalita lokalizace určena kombinací laserové odometrie a mapování je porovnána s dalšími přístupy v benchmarku [2], na základě toho porovnání usuzujeme, že metoda může tvořit základ lokalizačního systému pro autonomní vozidla osazená laserovým dálkoměrem.

#### Seznam literatury

- [1] Zhang, J., & Singh, S. (2014, July). LOAM: Lidar odometry and mapping in real-time. In *Robotics: Science and Systems* (Vol. 2, No. 9, pp. 1-9).
- [2] A. Geiger, P. Lenz, and R. Urtasun, "Are We Ready for Autonomous Driving? The KITTI Vision Benchmark Suite", *IEEE International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 3354-3361, 2012.
- [3] Krusi, P., Furgale, P., Bosse, M., and Siegwart, R. (2017). Driving on point clouds: Motion planning, trajectory optimization, and terrain assessment in generic nonplanar environments. *Journal of Field Robotics*, 34(5):940–984.
- [4] Thrun, S. (2002). Probabilistic robotics. *Communications of the ACM*, 45(3), 52-57.
- [5] Stelzer, A., Hirschmüller, H., & Görner, M. (2012). Stereo-vision-based navigation of a six-legged walking robot in unknown rough terrain. *The International Journal of Robotics Research*, 31(4), 381-402.

- [6] Klamt, T., Rodriguez, D., Schwarz, M., Lenz, C., Pavlichenko, D., Droschel, D., & Behnke, S. (2018, October). Supervised autonomous locomotion and manipulation for disaster response with a centaur-like robot. In 2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), (pp. 1-8). IEEE.
- [7] Fankhauser, P., Bloesch, M., Gehring, C., Hutter, M., & Siegwart, R. (2014). Robot-centric elevation mapping with uncertainty estimates. In Mobile Service Robotics (pp. 433-440).
- [8] Dang, T., Tranzatto, M., Khattak, S., Mascari, F., Alexis, K., & Hutter, M. (2020). Graph-based subterranean exploration path planning using aerial and legged robots. *Journal of Field Robotics*, 37(8), 1363-1388.

### Geometrický model prostředí

Dva základní typy přístupů jsou uvažovány pro postupnou stavbu geometrického modelu prostředí. Prvním přístupem je agregace lokalizovaných dálkoměrných měření, tedy model prostředí vzniká přímo metodou laserového mapování. Autoři článku [3] ukazují, jak lze reprezentaci prostředí pomocí mračna bodů rovnou využít pro plánování bezkolizního průjezdu vozidlem skrz zmapované prostředí. Druhým přístupem je fúze lokalizovaných měření do modelu, jež využívá explicitně diskretizované prostředí. Příkladem takového přístupu je mřížka obsazenosti. Ta využívá k popisu prostředí pravděpodobnostní model, určující pravděpodobnost, že v daném místě se nachází překážka. Dalším příkladem modelu prostředí, který využívá diskretizaci prostoru 2D mřížkou je výšková mapa (elevation map). Výšková mapa prostředí popisuje tvar terénu pomocí odhadu výšky terénu v každé buňce 2D mřížky. Stavba výškové mapy z nového scanu dálkoměrných měření probíhá ve dvou krocích. Nejprve jsou v rámci scanu identifikovány body, které odpovídají nejvyšším místům povrchu pro každou buňku mapy. Ve druhém kroku se výšky uložené v buňkách mřížky zaktualizují na základě nových měření pomocí metody Kalman filter [4].

Výškový model prostředí navrhovaný autory v článku [5] umožňuje identifikovat průjezdnost prostředí na základě geometrických primitiv, kterými jsou například sklon nebo hrubost terénu. Výškový model prostředí může popisovat buď celé prostředí, kde se robot pohyboval od začátku mise [6], nebo může popisovat pouze geometrii terénu v blízkosti robotu, což navrhuji autoři v článku [7].

#### Seznam literatury

- [1] Zhang, J., & Singh, S. (2014, July). LOAM: Lidar odometry and mapping in real-time. In *Robotics: Science and Systems* (Vol. 2, No. 9, pp. 1-9).
- [2] A. Geiger, P. Lenz, and R. Urtasun, "Are We Ready for Autonomous Driving? The KITTI Vision Benchmark Suite", *IEEE International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 3354-3361, 2012.
- [3] Krusi, P., Furgale, P., Bosse, M., and Siegwart, R. (2017). Driving on point clouds: Motion planning, trajectory optimization, and terrain assessment in generic nonplanar environments. *Journal of Field Robotics*, 34(5):940–984.
- [4] Thrun, S. (2002). Probabilistic robotics. *Communications of the ACM*, 45(3), 52-57.
- [5] Stelzer, A., Hirschmüller, H., & Görner, M. (2012). Stereo-vision-based navigation of a six-legged walking robot in unknown rough terrain. *The International Journal of Robotics Research*, 31(4), 381-402.
- [6] Klamt, T., Rodriguez, D., Schwarz, M., Lenz, C., Pavlichenko, D., Droeschel, D., & Behnke, S. (2018, October). Supervised autonomous locomotion and manipulation for disaster response with a centaur-like robot. In *2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, (pp. 1-8). IEEE.
- [7] Fankhauser, P., Bloesch, M., Gehring, C., Hutter, M., & Siegwart, R. (2014). Robot-centric elevation mapping with uncertainty estimates. In *Mobile Service Robotics* (pp. 433-440).

[8] Dang, T., Tranzatto, M., Khattak, S., Mascari, F., Alexis, K., & Hutter, M. (2020). Graph-based subterranean exploration path planning using aerial and legged robots. *Journal of Field Robotics*, 37(8), 1363-1388.

### Plánování bezkolizního průjezdu

Přístupy reprezentující dva nejrelevantnější směry vzhledem k uvažovanému scénáři jsou uvedeny v článcích [3] a [8]. V prvním uvedeném přístupu v [3] je využit globální model prostředí, reprezentovaný mračnem bodů k naplánování celkové cesty pro navigaci autonomního systému. Naproti tomu, v přístupu [8], autoři navrhují využit kombinaci dvou modelů prostředí. První z modelů je přesný lokální model s vysokým rozlišením, který robotu umožňuje vyhýbání překážkám, které se nachází v blízkosti robotu. Takovým lokálním model může být například model využívající výškovou mapu nebo mřížku obsazenosti.

Druhý z modelů (globální) je méně detailní, a jeho hlavním účelem je umožnit plánování pohybu vozidla i mimo lokální model prostředí. Globální model prostředí pak může být reprezentován například grafem, jehož vrcholy se nachází na místech prostředí, které byly dříve identifikovány jako průjezdné na základě lokálního modelu prostředí. Hrany grafu pak spojují takové vrcholy, mezi kterými existuje průjezdná cesta, kratší než předem zvolená vzdálenost (parametr modelu).

Kombinace lokálního a globálního modelu prostředí pak funguje následujícím způsobem. Při průjezdu vozidla prostředím je postupně aktualizován lokální model prostředí. Na základě topologie průjezdných oblastí je stavěn globální model prostředí. Ten je využit v případě, že vozidlo má být navigováno do vzdálených oblastí, v takovém případě je cesta naplánovaná na základě globálním modelu použita pro určení směru, kterým se má robot pohybovat. Samotný pohyb robotu je pak určen na základě lokálního modelu, tak aby byl bezkolizní.

Výsledkem obou uvedených způsobů plánování je bezkolizní cesta prostředím, která může být v rámci navigace použita jako reference pro prediktivní řízení.

#### Seznam literatury

- [1] Zhang, J., & Singh, S. (2014, July). LOAM: Lidar odometry and mapping in real-time. In *Robotics: Science and Systems* (Vol. 2, No. 9, pp. 1-9).
- [2] A. Geiger, P. Lenz, and R. Urtasun, "Are We Ready for Autonomous Driving? The KITTI Vision Benchmark Suite", *IEEE International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 3354-3361, 2012.
- [3] Krusi, P., Furgale, P., Bosse, M., and Siegwart, R. (2017). Driving on point clouds: Motion planning, trajectory optimization, and terrain assessment in generic nonplanar environments. *Journal of Field Robotics*, 34(5):940–984.
- [4] Thrun, S. (2002). Probabilistic robotics. *Communications of the ACM*, 45(3), 52-57.
- [5] Stelzer, A., Hirschmüller, H., & Görner, M. (2012). Stereo-vision-based navigation of a six-legged walking robot in unknown rough terrain. *The International Journal of Robotics Research*, 31(4), 381-402.
- [6] Klamt, T., Rodriguez, D., Schwarz, M., Lenz, C., Pavlichenko, D., Droschel, D., & Behnke, S. (2018, October). Supervised autonomous locomotion and manipulation for disaster response with a

centaur-like robot. In 2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), (pp. 1-8). IEEE.

[7] Fankhauser, P., Bloesch, M., Gehring, C., Hutter, M., & Siegwart, R. (2014). Robot-centric elevation mapping with uncertainty estimates. In *Mobile Service Robotics* (pp. 433-440).

[8] Dang, T., Tranzatto, M., Khattak, S., Mascari, F., Alexis, K., & Hutter, M. (2020). Graph-based subterranean exploration path planning using aerial and legged robots. *Journal of Field Robotics*, 37(8), 1363-1388.