**Navigační algoritmus založený pouze na datech z LiDARu pro autonomního zemědělského robota**

**LiDAR - only based navigation algorithm for an autonomous agricultural robot**

Malavazi, F. B. P., Guyonneau, R., Fasquel, J-B., Lagrange, S., Mercier, F. 2018. LiDAR - only based navigation algorithm for an autonomous agricultural robot. Computers and Electronics in Agriculture, 154, 71-79.

**Klíčová slova:** zemědělský robot, navigace na pozemcích, LiDAR, měření, detekce řádků a meziřádků, PEARL, RANSAC

Cílem práce prezentované v tomto příspěvku je vývoj robustní a odolné platformy pro autonomní navigaci robota v plodinách pomocí dat z LiDARu. K práci robota nebyly dodávány dodatečné další informace o plodinách (jako je velikost a šířka řádků) či z jiných senzorů. Vyvinutý přístup byl založen na line extraction z 2D bodových cloudů při použití metody založené na přístupu PEARL. V této práci jsou představeny dodatečná filtry a vylepšení algoritmu PEARL v kontextu zjišťování plodin. Ke zlepšení detekce plodin byla navržena tato opatření: modelový eliminační krok, nové modelové hledání a geometrické omezení. Přístup byl testován na simulátoru a porovnán s klasickými přístupy PEARL a RANSAC. Zdá se, že přidání těchto modifikací přispělo ke zlepšení detekce plodin, a tím i navigace robota. Tyto výsledky jsou prezentovány a diskutovány v této práci. Je zřejmé, že i když tato práce představuje simulované výsledky (pro usnadnění porovnání s dalšími algoritmy), tento přístup byl úspěšně otestován s využitím skutečného Oz robota na odplevelení, vyvinutého francouzskou společností Naio Technologies.

Právní předpisy pro používání chemických přípravků v zemědělství se stále zpřísňují. Příkladem je Francie, kde program Ecophyto 2018 cílí na drastické snížení používání chemických prostředků (Ecophyto, 2018). V důsledku toho je potřeba, aby některé zemědělské postupy, které byly usnadněny (přesto nejsou snadné) používáním chemikálií (například k odstraňování plevele) potřebují alternativní řešení k udržení efektivity výroby. Odezvou na tuto potřebu je autonomní odplevelovací Oz robot, který vyvinula francouzská společnost Naio Technologies. Robot je vybaven senzorem LiDAR, který je používán k detekci plodin, a tím umožňuje, aby se robot samostatně pohyboval na poli, aniž by poničil zeleninu. Pro efektivní samostatnou navigaci robot (tak, jak je poskytnutý společností) potřebuje nějaké vstupní informace o délce, šířce a počtu řádků plodin na poli. Tím pádem je navigace přímo závislá na přesnosti těchto informací. Cílem této práce bylo poskytnout nový autonomní algoritmus, který nevyžaduje žádné vstupní informace.

Zatímco se očekává autonomní navigace robota, první výsledky byly získány pomocí systému založeného na foto-kamerovém zařízení (Gerrish and Surbrook, Reid and Searcy, 1987). Jak je uvedeno v práci Hiremath et al. (2014), data z fotozaparátu jsou citlivé na světelné podmínky a atmosférických vlivech, což může ovlivnit robustnost výsledného řešení. Dalším možným přístupem je zvážit navigaci založenou na GPS3 (Bell, 2000; Pérez-Ruiz et al., 2012). Dokud ale nebude provedeno zlepšení přesnosti, například u RTK4-GPS, klasické senzory nejsou dostatečně přesné pro navigační účely. Navíc RTK-GPS mohou být drahé a nejsou přizpůsobeny pro systém velikost/cena Oz robota.

Přístup založený na senzoru LiDAR se jeví jako cenově dostupná alternativa, je méně citlivý na venkovní světlo, proto je zvažován pro několik komerčních robotů (Oz robot, ale také například nový francouzský robot PUMAgri5). Jak bylo zmíněno výše, kromě dat ze senzorů potřebují současní roboti vstupní informace o plodinách (velikost, délka…) a jsou závislé na přesnosti těchto informací. To znamená, že tato práce se zaměřuje na zpracování dat zLiDARu k navržení robustní autonomní navigační metody, která tyto vstupní informace nepotřebuje.

K samostatnému pohybu na poli je potřeba, aby robot detekoval řádky s plodinami. Toto může být problémem modelování: ze sady dat (měření LiDAR) musíme najít řadu přímých linií (řádky), které co nejlépe odpovídají datům v jednotlivých klastrech. V práci Hiremath et al. (2014) je představen zajímavý autonomní navigační algoritmus založený na datech z LiDARu. Hlavní nevýhodou tohoto přístupu je fakt, že vyžaduje „testovací fázi“ ke kalibraci algoritmu. Toto může být přizpůsobeno požadavku předchozí znalosti, čemuž se chtěli autoři tohoto zkoumanému řešení vyhnout pro účely robustnosti.

Přístup uvažovaný v tomto příspěvku byl založen na detekci přímých linií plodin ve 2D bodovém cloudu (měření pomocí LiDARu). Dva významné přístupy pro detekci přímích linií jsou popsány v RANSAC-BASED LINE FITTING (Fischler a Bottles, 1981) a HOUGH TRANSFORM (Barawid et al., 2007; VC, 1962). Z práce Jacobs et al. (2013) je zřejmé, že přístupy založené na RANSAC jsou obecně efektivnější a účinnější, než HOUGH TRANSFORM k detekci linií ve 2D bodovém cloudu.

Nedávno navržený algoritmus PEARL (Isack a Boykov, 2012) se jeví jako účinnější než RANSAC. Nicméně tento algoritmus představuje i určité omezení. V tomto příspěvku je navrhnut propracovaný algoritmus PEARL, který překonává omezení původního algoritmu PEARL pomocí eliminace extrémních hodnot, modelového kroku eliminace, nového modelu vyhledávání a geometrického omezení. Navíc je navržen navigační algoritmus založený na tomto vylepšeném algoritmu PEARL.

Příspěvek je rozvržen následovně: v části 2 jsou podrobně popsány metody zvažované v tomto příspěvku, počínaje původním přístupem PEARL, poté následuje prezentace vylepšeného algoritmu PEARL, a nakonec je představen na něm založený navigační algoritmus. Část 3 se zaměřuje na experimenty provedené pomocí simulátoru Oz robota, včetně srovnání s jinými navigačními algoritmy. Část 4 diskutuje o této práci a výsledcích a část 5 uzavírá tento příspěvek a představuje perspektivy.

Zde prezentované výsledky ukazují, že přístup založený na modifikovaném přístupu PEARL může poskytnout efektivní metodu k detekci plodin použitím dat z LiDARu. Tyto výsledky byly získány pomocí použití simulátoru za účelem snadného získání ověření práce pro účely hodnocení a srovnání. Protože tato práce je určena pro použití se skutečnými zemědělskými roboty, lze výsledky diskutovat pro skutečné použití. Předběžné experimenty byly provedeny s použitím skutečného robota Oz a výsledky byly velmi slibné8 (subjektivní hodnocení navigace robota). Zdá se, že nový přístup umožňuje robotu pohybovat se mezi plodinami, dokonce i když růstový vývoj jednotlivých plodin nebyl rovnoměrný a v okolí robata se pohybovali lidé. Čtenář by si měl povšimnout, že výsledky byly získány bez jakékoli změny algoritmu nastavené v  laboratoři (konstanty byly heuristicky definované uvnitř laboratoře pomocí plastových kuželů namísto rostlin). Tento fakt ilustruje, jak robustní může být tento přístup. Další kroky se budou zaměřovat na kvantitativní hodnocení s využitím těchto reálných dat.

Navržený přístup má některá omezení, která se většinou týkají senzoru a robota. Protože LiDAR je dvojrozměrný senzor, ukázalo se, že jeho výška je kritickým parametrem:

* pokud je LiDAR příliš nízký vzhledem k plevelům, které rostou mezi plodinami, senzor může být „zaslepen“ plevelem a v tomto případě tento přístup nelze použít k detekci plodin,
* pokud je senzor naopak umístěn příliš vysoko vzhledem k plodinám, senzory je nedetekují, a tak je zřejmé, že ani v tomto případě nelze tento přístup použít.

Abychom překonali tato omezení, plánujeme v budoucnu použít trojrozměrný senzor.

Dalším omezením v použití zařízení LiDAR je fakt, že je téměř nemožné podle údajů senzoru identifikovat typ překážky, která je před robotem: jinými slovy plevel před robotem vypadá pro senzor jako kámen a naopak. To vede k tomu, že vyvstává otázka bezpečnosti, když se robot pohybuje. V budoucnu autoři plánují použití foto-kamerových snímačů umístěných před robotem k překonání tohoto problému. A nakonec otočení se (například za účelem změny řádku) je poměrně obtížné pouze s jedním senzorem LiDAR umístěným před robotem. Když je robot na konci řady, ve skutečnosti nemá žádné informace o tom, co je za ním. Musí tedy použít odometrická data, aby přejel na další řádek. Kvůli kluzké zemi, dírám, blátu atd. není přístup spolehlivý a často dojde k mylné volbě řádku, ve kterém má pokračovat. K překonání tohoto problému plánujeme použití symetrická dat.

Tento příspěvek představuje nový přístup k definování řádků rostlin a meziřádků z bodových cloudů s použitím autonomní navigace v zemědělském robotu. Jsou zde představeny simulované výsledky k porovnání tohoto přístupu s existujícími metodami (RANSAC, PEARL). Přístup byl také vyzkoušen se skutečným Oz robotem na poli. Experimentální výsledky z měření byly slibné a metoda se jeví jako robustní, i v případě, že plodiny nejsou homogenní. Některá omezení zůstávají a je ještě hodně práce, aby bylo možné použít tento přístup na většinu současných zemědělských konfigurací (hlavně co se týče senzoru a robota).

**Zpracoval**: Ing. Radek Pražan, Ph.D., Výzkumný ústav zemědělské techniky, v.v.i., Praha Ruzyně, [prazan@vuzt.cz](mailto:prazan@vuzt.cz)