

# LIDAR

Jakub Kvapil

Fakulta strojního inženýrství, Vysoké učení technické v Brně  
Ústav automatizace a informatiky  
Technická 2896/2, Brno 616 69, Česká republika  
191450@vutbr.cz

*Abstrakt: Tato semestrální práce pojednává o LIDARu. Je stručně popsán jeho historický vývoj, princip funkce a přístupy k měření, včetně popisu základních součástí LIDARu. Dále jsou uvedeny příklady aplikací.*

*Klíčová slova: LIDAR, LADAR, mobilní roboty, laser, autonomní vozidla*

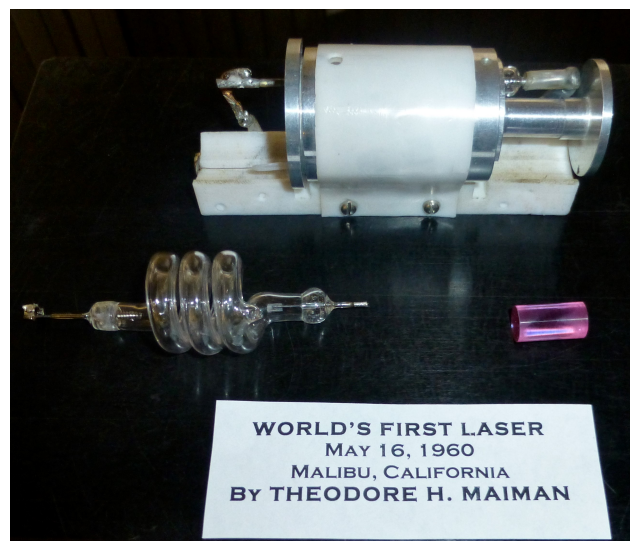
## 1 Úvod

LIDAR (též lidar, LiDAR, LADAR, z anglického Light Detection And Ranging) je aktivní metoda měření vzdálenosti pomocí laserového paprsku. Našel uplatnění v mnoha oborech lidské činnosti. Využívá se v meteorologii při měření atmosférických jevů, geografii při mapování terénu, v archeologii při tvorbě trojrozměrných skenů památek a v poslední řadě také v robotice při autonomním řízení robotů.

## 2 Stručná historie

Laser byl předpovězen již Albertem Einsteinem. V roce 1916 poprvé popsal jeho princip, avšak první funkční prototyp byl postaven až v roce 1960 Theodorem Haroldem Maimanem ve firmě Hughes Aircraft Company. Jeho laser využíval syntetického rubínového krystalu a pracoval na vlnové délce 694 nm. První zařízení pracující na principu LIDARu na sebe nenechalo dlouho čekat. Bylo vyvinuto opět v Hughes Aircraft Company v roce 1961.[1]

Technologie LIDARu byla a je neustále vylepšována a nalézá dalšího uplatnění. Například byl LIDAR v roce 1971 použit k mapování povrchu Měsíce během mise Apollo 15.[1]



Obrázek 1: První funkční laser na světě

### 3 Základní součásti a princip

Princip LIDARu je velmi jednoduchý na pochopení a je podobný SONARu a RADARu. SONAR využívá zvukové vlny, RADAR rádiové záření a LIDAR využívá koherentního, monochromatického paprsku fotonů, tedy laseru. Konkrétně využívá ultrafialové, viditelné a infračervené spektrum záření.[2]

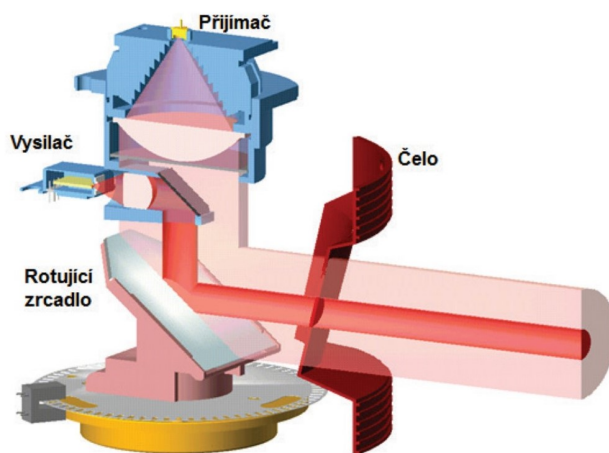
Nejdůležitějšími částmi konstrukce LIDARu jsou vysílač, optická soustava sestávající především z polopropustného hranolu a rotujícího zrcadla a přijímač (detektor). Neméně důležitou součástí jsou velmi přesné hodiny a snímač natočení zrcadla.

Vysílač vysílá laserový paprsek. Ten pak dále putuje přes polopropustný hranol až k rotujícímu zrcadlu, které ho nasměruje na měřený objekt. Paprsek se odrazí od objektu a putuje zpátky, stejnou cestou, k zrcadlu, které ho opět nasměruje k polopropustnému hranolu. Přes hranol projde k přijímači. Rotující zrcadlo zajišťuje změnu směru laserového paprsku a tedy snímání okolí pod různými úhly. Lasery se používají buď v pulzním režimu, nebo v kontinuálním režimu s fázovou modulací.[3]

Běžně používaná vlnová délka laseru je 600 až 1000 nm. Protože tyto vlnové délky jsou nebezpečné pro oči, je nutné omezení výkonu laseru. Proto se využívají zdroje třídy 1, tedy bezpečné pro oko. Používají se diodové lasery.[4, 5]

Je-li potřeba vyšších výkonů, využívá se vlnové délky 1550 nm, která je bezpečnější pro oči. Používají se lasery rubínové nebo Nd:YAG.[4]

Detektorem bývá světlocitlivá dioda, která je spektrálně synchronizovaná na stejnou vlnovou délku s vysílaným laserovým paprskem. Základním požadavkem na detektor je jeho velká citlivost, protože energie světla klesá s druhou mocninou vzdálenosti, kterou urazí.[4]



Obrázek 2: Princip LIDARu

### 4 Přístupy k měření

Známe-li směr, jakým laserový paprsek vysíláme a vzdálenost od objektu měření, můžeme dopočítat polohu objektu, od kterého se paprsek odrazil. Jak se zrcadlo otáčí, nejčastěji v horizontální rovině, mění směr měřícího laserového paprsku. Tímto dojde k dvojrozměrnému měření v jedné rovině.

Trojrozměrný obraz lze získat otáčením dvourozměrného skeneru podle osy, která není kolmá k rovině, která je dvourozměrným skenerem měřena.[3]

Výsledkem měření je mračno bodů, které lze dále zpracovat v trojrozměrný model.

Existují dva základní různé přístupy k měření vzdálenosti mezi LIDAREm a měřeným objektem:

Prvním přístupem je měření doby mezi vysláním pulzu a jeho detekováním po odražení od objektu.[3]

Aby byla zajištěna přesnost měření, je potřeba, aby náběhová hrana laserového pulzu byla velmi krátká, tedy 1 ns a méně.[6]

Vzdálenost od překážky  $D$  lze jednoduše vypočítat na základě znalosti rychlosti světla. Platí tedy, že:

$$D = \frac{1}{2}tc \quad (1)$$

kde:

$D$  je vzdálenost od překážky

$t$  je doba mezi vysláním a přijetím laserového pulzu

$c$  je rychlost světla

Druhým přístupem je měření fázového rozdílu odeslaného a přijatého signálu. Vzdálenost LIDARu od překážky pak můžeme vypočítat pomocí následujícího vztahu:

$$D = \frac{1}{2} \frac{\lambda}{2\pi} \Theta \quad (2)$$

kde:

$D$  je vzdálenost od překážky

$\lambda$  je vlnová délka signálu

$\Theta$  je fázový posun mezi vyslaným a přijatým signálem

Konstanta  $\frac{1}{2}$  se vyskytuje v obou vztazích, protože světlo muselo urazit vzdálenost  $D$  dvakrát - při cestě k objektu a také zpět k přijímači.

## 5 Chyby měření

Měření LIDARem je, stejně jako každé jiné měření, zatíženo chybou. Už z jeho principu je jasné, že mohou vznikat, mimo jiné, chyby při samotném měření vzdálenosti – takovou chybu označujeme jako chybu hodin. Jiné chyby vznikají při měření natočení laserového paprsku – takovou chybu můžeme označit jako chybu skeneru.[4]

### 5.1 Chyba hodin

Jedná se o faktor, který způsobuje největší chyby v měření. Protože vzdálenost je měřena nepřímo přes dobu letu laserového pulzu a tato doba je velmi krátká, má jakákoliv nepřesnost měření času velmi velký vliv na měření vzdálenosti. V současnosti se používají hodiny s přesností 0,05 ns až 0,2 ns.

### 5.2 Chyba skeneru

Tato chyba vzniká při nepřesném snímání natočení zrcadla (v případě trojrozměrného LIDARu existuje více os otáčení). Natočení zrcadla je ovládáno a měřeno pomocí galvanometru. Vyšší přesnosti (0,001°) dosáhneme kódovaným měřidlem připevněným k zrcadlu.[4]

## 6 Aplikace LIDARu

Aplikací LIDARu je nespočet, jsou využívány napříč obory. Zde uvádím pouze některé zajímavé aplikace, které mají souvislost s robotikou.

### 6.1 Mobilní roboty

Mobilní autonomní roboty (AMR) jsou roboty, které se sami navigují v prostoru za pomoci různých senzorů, včetně LIDARu a za pomoci pokročilých algoritmů SLAM (Simultaneous localization and mapping, průběžná lokalizace a mapování). Jsou často využívány v rámci vnitrozávodní logistiky, přičemž není nutné závod nějak speciálně upravovat.[7]

Speciálním typem mobilního autonomního robota je například robotický vysavač.



Obrázek 3: Robotický vysavač

## 6.2 Autonomní vozidla

Technologie LIDAR nachází využití v autonomním řízení vozidel. A to přímo jako senzor na vozidle, nejčastěji střeše automobilu, který spolu s dalšími senzory vyhodnocuje okolní prostředí v reálném čase. A přestože mnoho předních firem vyvíjejících autonomní vozidla (Waymo, GM Cruise, Argo AI) senzory na principu LIDARu používá, Tesla jej nevyužívá.[8, 9] Spoléhá se především pouze na kamery, což s sebou přináší nevýhody v podobě oslepení kamer prudkým světlem a horší použitelností za špatných světelných podmínek, které LIDAR nelimitují.

Jiné využití je možné při trojrozměrném mapování předem známých pravidelných tras linek hromadné dopravy a využitím těchto dopředu nasnímaných map při autonomním řízení minibusu, jako například v rámci projektu GATEway.[10, 11]



Obrázek 4: Autonomní vozidlo GATEway

## 6.3 Rozšířená realita

Technologie LIDARu se v poslední době stále více rozšiřuje a nachází uplatnění i ve spotřební elektronice pro širokou masu lidí. Příkladem může být iPad Pro a iPhone 12 Pro od americké firmy Apple. Tyto přístroje využívají LIDARový senzor v kombinaci s fotoaparátem. Protože disponují dostatečným výpočetním výkonem, umožňují velmi efektivně pracovat s rozšířenou realitou (AR). S pomocí AR lze navrhovat, vizualizovat a prezentovat produkty, hrát hry, případně se učit.[12]

## 6.4 Zajištění bezpečnosti provozu

Bezpečnost práce je prioritou číslo jedna. LIDARy lze velmi efektivně využít pro detekci osob a předmětů v reálném čase v nebezpečném prostoru a tak chránit zdraví a majetek. Popřípadě mohou být senzory na pohyblivých zařízeních, jako jsou vysokozdvizné vozíky.[13]

## 6.5 Senzory robotů

LIDARy lze použít jako různé, úzce specializované senzory, jako jsou snímače hladiny kapaliny, senzory přiblížení, či snímače tvaru produktů.[13]

## 7 Závěr

Tato semestrální práce se zabývala LIDAREm. Byla nastíněna stručná historie laseru a LIDARu. Byl popsán princip a konstrukce LIDARu včetně různých přístupů měření vzdálenosti mezi LIDAREm a objektem. Dále byly popsány chyby měření. Poté byly popsány některé aplikace, které mají blízký vztah k robotice, včetně mobilních robotů, autonomních vozidel, rozšířené reality a zajištění bezpečnosti provozu.

## Literatura

- [1] BLAKEMORE, Erin, 2019. Lasers are driving a revolution in archaeology. National geographic [online]. [cit. 2021-5-28]. Dostupné z: <https://www.nationalgeographic.com/culture/article/lasers-lidar-driving-revolution-archaeology>
- [2] JANKOVIČOVÁ, Ivana, 2015. Laser scan. Příprava mapových podkladů pro mapování pro OB [online]. Brno [cit. 2021-5-28]. Dostupné z: <http://podklady.jankovic.cz/laser.html>
- [3] MIHOLA, Milan, Zdeněk KONEČNÝ, Ladislav KÁRNÍK, Jan LIPINA, Jakub MŽIK, Petr NOVÁK a Vladimír MOSTÝN, 2013. ROBOTIKA - TEORIE: Senzory pro robotiku I. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava.
- [4] DOLANSKÝ, Tomáš, 2004. Lidary a letecké laserové skenování. Ústí nad Labem: Univerzita J.E. Purkyně v Ústí nad Labem. Acta Universitatis Purkynianae. ISBN 80-704-4575-0.
- [5] MIKE, Anderson, 2017. Using a lidar for robot navigation in a room [online]. The PTR Group [cit. 2021-5-28]. Dostupné z: [http://events17.linuxfoundation.org/sites/events/files/slides/Using\\_Lidar\\_for\\_Navigation\\_Anderson.pdf](http://events17.linuxfoundation.org/sites/events/files/slides/Using_Lidar_for_Navigation_Anderson.pdf)
- [6] OTRUBA, Vítězslav. LIDAR (light detection and ranging) [online]. [cit. 2021-5-28]. Dostupné z: [https://is.muni.cz/el/1431/podzim2013/C7080/um/um/8\\_LIDAR\\_bqt1i.pdf](https://is.muni.cz/el/1431/podzim2013/C7080/um/um/8_LIDAR_bqt1i.pdf)
- [7] Plně autonomní mobilní roboty. Omron [online]. [cit. 2021-5-28]. Dostupné z: <https://industrial.omron.cz/cs/products/60-90>
- [8] ŠURKALA, Milan, 2021. Tesla zkouší LiDAR, ačkoli ho Musk považuje za hloupý. Svět hardware [online]. [cit. 2021-5-28]. Dostupné z: <https://www.svethardware.cz/tesla-zkousi-lidar-ackoli-ho-musk-povazuje-za-hloupy/55102>
- [9] YOSHIDA, Junko, 2020. Waymo's Lidar Plan: How's It Working out? EE Times [online]. [cit. 2021-5-28]. Dostupné z: <https://www.eetimes.com/waymos-lidar-plan-hows-it-working-out/>
- [10] Projekt GATEway: Lidar mapuje ulice pro automatický minibus. Proelektrotechniky.cz [online]. 2016 [cit. 2021-5-28]. Dostupné z: <http://www.proelektrotechniky.cz/smart-city/29.php>
- [11] ZELENKA, Jan. Další krok k autonomnímu řízení. Volvo povede LiDAR. 21. století [online]. [cit. 2021-5-28]. Dostupné z: <https://21stoleti.cz/2020/05/06/dalsi-krok-k-autonomnimu-rizeni-volvo-povede-lidar>
- [12] Rozšířená realita. Apple [online]. [cit. 2021-5-28]. Dostupné z: <https://www.apple.com/cz/augmented-reality/>
- [13] Lidar. RobotDOBOT [online]. [cit. 2021-5-28]. Dostupné z: <https://robotdobot.cz/lidar>

## Zdroje obrázků

Obrázek 1: převzato z MIHOLA, Milan, Zdeněk KONEČNÝ, Ladislav KÁRNÍK, Jan LIPINA, Jakub MŽIK, Petr NOVÁK a Vladimír MOSTÝN, 2013. ROBOTIKA - TEORIE: Senzory pro robotiku I. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava.

Obrázek 2: převzato z MAIMAN, Theodore a Kathleen MAIMAN, 2004. World's first laser out of case [online]. In: . [cit. 2021-5-28]. Dostupné z: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:World>

Obrázek 3: převzato z GATEway Project, 2018. In: TRL [online]. [cit. 2021-5-28]. Dostupné z: <https://trl.co.uk/projects/gateway-project/>

Obrázek 4: převzato z Kowon. Robot Hút Bi [online]. In: . [cit. 2021-5-28]. Dostupné z: <https://unsplash.com/photos/R3KYh1a3xfU>