

Dálkové měření vzdálenosti pomocí laserového paprsku (LIDAR)

Jakub Skalka¹, Filip Landr², Jaroslav Kraft³

¹Gymnázium, České Budějovice, Jírovcova 8; skalkaj@jirovcovka.net

²Gymnázium, Praha 5, Nad Kavalírkou 100/1; fi.land@seznam.cz

³Gymnázium, Příbram, Legionářů 402; kraft.jarda@gmail.com

Garant: Ing. Kryštof Kadlec, KLFF FJFI

Abstrakt

Náš příspěvek se zaměřuje na aplikaci technologie dálkového měření vzdálenosti - LIDAR (Light Detection And Ranging). Tato technika je založena na stanovení doby šíření laserového paprsku odraženého od snímaného objektu. Věnuje se také základům generace laserového záření a měření výstupních parametrů Q-spínaného mikročipového laseru Nd:YAG/V:YAG.

1 Úvod

Laser funguje na základě tří kvantových jevů: absorpce, spontánní emise a stimulovaná emise. Tyto jevy se dějí v aktivním prostředí všechny najednou a podle populace energetických hladin některé z těchto jevů převažují. Laser těchto jevů využívá, aby invertoval populace hladin iontů, tím se excitoval a následně přes spontánní emisi přešel v emisi stimulovanou a fotony stimulované emise odrážel od zrcadel na koncích krystalu a umocňoval tak jejich počet (intenzitu záření) při každém průchodu resonátorem. A výstupním částečně propustným zrcadlem odletí nějaké procento fotonů a ty tvoří laserové záření.

Q-spínání je jev, kdy se na daný okamžik zvýší ztráty v resonátoru, poté se při dostatečném načerpání aktivního prostředí opět sníží. Tímto způsobem lze ionty vybudit na vyšší hladinu, než by bylo normálně možné a vytvořit velmi silný, krátký laserový impuls. Q-spínání je rozděleno na 2 typy, aktivní a pasivní. Aktivní spínání znamená, že mu musíme dodávat energii zvenčí (mechanicky ovládáme zrcadlo), při pasivním q-spínání je použit satureovatelný absorbér, ten mění svojí reflektivitu na základě absorbované intenzity záření, při dostatečné intenzitě absorbér propouští veškeré záření.

mikročipový laser je speciální případ laseru, kdy jsou na aktivním prostředí zrcadla již nanášena a je snaha zmenšit laser do co nejmenšího objemu. pro mikročipový pasivně Q-spínaný laser to znamená, že aktivní prostředí je spojeno s absorbérem a na konce vzniklého válečku jsou nanášena zrcadla.

LIDAR je metoda měření vzdálenosti pomocí odrazu laseru od překážky. Je využívána například v topografii na utváření map a také map oceánů, dále se využívá například při těžení, plánování a mnohém dalším.

Je tato metoda však dostatečně přesná? Ublíží nám záření z topografických letadel? Jaká je spolehlivost měření LIDAREm a na čem je závislá?

2 Popis našeho laseru

Při našem pokusu jsme použili mikročipový pasivně Q-spínaný laser Nd:YAG/V:YAG, který vyzařoval ve spektrální oblasti 1,3 μm , která je “eyesafe”, tedy bezpečná pro lidské oko v důsledku relativně vysoké absorpce ve vodě. Naš laser měl tvar válce s průměrem 5 mm a délka aktivního prostředí Nd:YAG byly 4 mm a délka saturovatelného absorbéru V:YAG byla 0,7 mm. počáteční transmise absorbéru byla 85 % a reflektivita výstupního zrcadla byla 90 % v již zmiňované spektrální oblasti. Koncentrace iontů Nd^{3+} v YAG matici bylo 1,1 % Nd/Y.

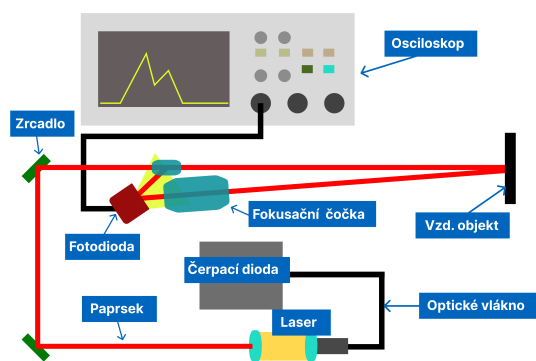
Naš pevnolátkový laser byl čerpán laserovou diodou na vlnové délce 808 nm, která už není oku bezpečná. Dioda byla použita v pulsním režimu s délkou impulsu 500 μs a opakovací frekvencí 50 Hz. Proud na diodě byl nastaven na 30 A a teplota byla 30 °C. Pro zefektivnění čerpání byla dioda navedena optickým vláknem do fokusační optiky, tvořenou kolimátorem a fokusační čočkou.

3 Měření výstupních parametrů laseru

Pro charakterizaci laseru jsme měřili střední výkon, délku a časový průběh impulsu, profil svazku, vyzařované spektrum, energii a špičkový výkon generovaných laserových impulsů. Střední výkon jsme měřili pomocí powermetru THORLABS PM100USB a sondou THORLABS PM16-401. Délku a časový průběh laserového impulsu jsme měřili pomocí osciloskopu TEKTRONIX TDS 3052B a InGaAs fotodiodou (FGA10). Profil svazku jsme měřili křemíkovou CCD kamerou WinCamD. Vyzařované spektrum jsme naměřili InGaAs mřížkovým spektrometrem od Stellarnetu (DWARF-STAR). energii a špičkový výkon jsme vypočítali podle vzorečků $\frac{P_{str}}{f}$ a $\frac{E}{T}$.

4 Postup měření

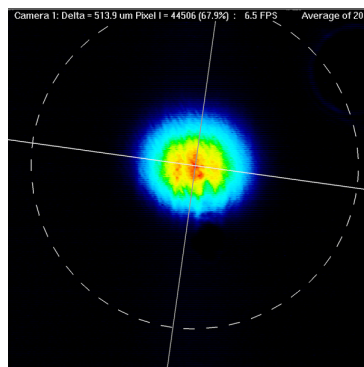
Měření vzdálenosti metodou LIDAR probíhalo tak, že jsme umístili překážku pro laser v dané vzdálenosti a nechali jsme šířit laserový impuls dle schématu na obrázku 1. Následně jsme pomocí osciloskopu detekovali časový průběh laserového impulsu který na fotodiodu dopadl přímo z děliče svazků a druhý impuls, který se odrazil od překážky. Poté jsme pomocí osciloskopu našli časový rozdíl mezi impulzy, což nám dalo potřebnou informaci pro výpočet vzdálenosti mezi rozdělovačem a zábranou. Vzdálenost jsme vypočítali pomocí tohoto vzorečku $\frac{c \cdot t}{2}$, díky kterému jsme dostali relativně přesné hodnoty s odchylkou měření do 60 cm, protože jeden puls laseru měl délku 60 cm. Kdybychom pulzy dělali kratší, tak budeme mít vyšší přesnost, ale pro naše podmínky a zadání tato přesnost stačila.



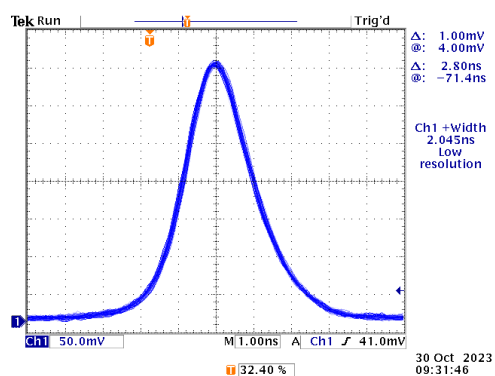
Obrázek 1: Diagram měřící aparatury.

5 Výsledek měření

Po změření nám vyšly následující výsledky: Profil svazku laseru je vidět na obrázku 2. Časový průběh laserového impulsu je vidět na obrázku 3. Energie impulsu nám vyšla 50 uJ a špičkový výkon 25 kW. Výsledky měření vzdálenosti metodou LIDAR jsou zaznamenány v tabulce níže.



Obrázek 2: Profil svazku laseru.



Obrázek 3: Časový průběh laserového impulsu.

měření	d [cm]	t [ns]
zed'	548	9.2
1 metr	100	6.6
3 metry	300	25.9

6 Shrnutí a závěr

Dle našich měření lze vyvodit, že LIDAR je přesnější při použití kratších impulzů a tím pádem to je metoda, kde lze hodně zkoumat, ale je potřeba kvalitních laserových materiálů a lepších přístrojů, abychom dosáhly co nejkratších impulsů. Dále je potřeba dále vyvíjet metody detekce fotonů, jelikož impulzy s nízkou energií nemusí být snadno detekovat. Komerčně i armádně využívané lasery pro topografii metodou LIDAR jsou většinou pro oko bezpečné, kvůli jejich vysoké absorpci ve vodě, tudíž neprojdou až na sítnici a nepoškodí ji, avšak určitý typ laserů pro podvodní topografii je velmi pro oko zničující. Spolehlivost LIDARu je velmi závislá na počasí, jelikož se používají lasery absorbovatelné ve vodě, tak při vysoké vlhkosti se může paprsek absorbovat v atmosféře a znemožnit měření. Naopak při intenzivním záření ze slunce je možné, že toto záření “přesvíti” používaný laser a výsledná data jsou také k ničemu. Je to metoda, která je už v praxi docela hojně používaná, ale stále je možné ji zlepšovat.

Poděkování

Chtěli bychom velice poděkovat Ing. Kryštofovi Kadleci za jeho pomoc a podporu při vytváření tohoto příspěvku. Náš dík patří také FJFI za umožnění výzkumu v rámci projektu a KLFF za poskytnutí prostoru.

Odkazy

1. KADLEC, K.; ŠULC, J.; JELÍNKOVÁ, H.; NEJEZCHLEB, K. Output parameters optimization of Q-switched Nd:YAG/V:YAG microchip laser generating at $1.34\ \mu\text{m}$. In: *Solid State Lasers XXXIII: Technology and Devices*. SPIE, 2024, sv. 12864, s. 106–114.
2. WIKIPEDIE. *Lidar* — *Wikipedie: Otevřená encyklopedie*. 2023. Dostupné také z: <https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Lidar&oldid=22992637>. [Online; navštíveno 18. 06. 2024].