

VYUŽITÍ LASEROVÉHO SKENOVÁNÍ V PAMÁTKOVÉ PÉČI

USE OF LASER SCANNING IN HERITAGE BUILDINGS

Müller Jan

Ing. Jan Müller, Ph.D.
muller.j@fce.vutbr.cz

Institute of Building Structures
Faculty of Civil Engineering
Brno University of Technology
Veveří 331/95, 602 00 Brno, Czech Republic

The author is an assistant professor at FCE, focuses on building design, creation of 3D models, laser scanning and earthen buildings and everything related.

Klíčová slova: *Laserové skenování; mračno bodů; LIDAR; SLAM; digitální dvojče; výkresová dokumentace; pasport*

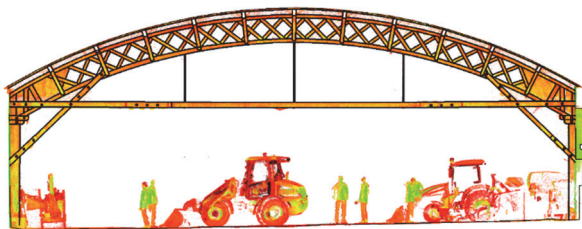
Abstrakt: *U památkových objektů (a nejen u nich) je často problémem neexistující či neaktuální výkresová dokumentace. V posledních letech se namísto tradičního zaměřování objektů s pomocí jednodimenzionálních pomůcek (ať už máme na mysli pásmo či laserový dálkoměr) pomalu prosazuje třídimenzionální zaměřování pomocí laserového skenování, při kterém je vytvořena virtuální prostorová kopie objektu za pomoci milionů bodů, tzv. mračna bodů. Toto mračno či mračna můžeme použít k tvorbě 2D i 3D dokumentace stávajícího stavu objektu s mnohem větší rychlostí, přesností i přehledností, než je tomu u klasických metod. V současné době jsou nejrozšířenější dvě metody laserového skenování s využitím tzv. LIDARu – statická metoda, využívající pevných stanovišť a dynamická metoda, využívající moderní technologie v podobě přesných IMU jednotek. Článek popisuje princip těchto dvou metod, jejich výhody a nevýhody a také způsob práce s takto vytvořenými mračny bodů. Většímu rozšíření takto vytvořených virtuálních reprezentací skutečných objektů bohužel brání vyšší pořizovací cena potřebných přístrojů, již dnes je však jejich cena násobně nižší než v nedávné minulosti a v dohledné budoucnosti by snad mohly být dostupné všem, kdo by je při své činnosti potřeboval. V článku jsou také příklady mračen bodů i ukázky výstupů, které díky nim vznikly.*

Recenze | Review

Ing. Zdeněk Krejza, Ph.D.
Ing. Josef Remeš, Ph.D.

Úvod

Při rekonstrukci objektů, ať už se jedná o památkově chráněné objekty či nikoliv, často vyvstává problém s neexistující či neaktuální projektovou dokumentací. Tento problém má jediné řešení, a to vytvoření nové dokumentace. Klasické řešení pomocí pásma a latě, v mírné modernizaci s pomocí laserového dálkoměru, je stále příliš zdoluhavé a v podstatě i nepřesné. Naštěstí máme dnes díky pokroku lidstva možnost zaměření stávajícího stavu výrazně urychlit, a to pomocí laserového skenování stavebního objektu jako celku a vytvoření tzv. mračna bodů (v angličtině point cloud). Toto mračno dokážeme ve specializovaných programech (mezi které patří i například mezi projektanty stále populární AutoCAD) zobrazit a dále s ním pracovat.



Obrázek 1 – Ověření průhybu dřevěného vazníku, hala v Koryčanech (archiv autora [1])

Velkou výhodou tohoto řešení je, že stavbu navštívíme pouze jednou, kdy pořídíme mračno bodů, a konkrétní měření vzdáleností, tvorbu výkresové dokumentace a další úkoly provádíme už jen na počítači. Neměla by tak nastat situace, kdy dodatečně zjistíme, že jsme zapomněli změřit nějakou vzdálenost, nebo že jsme špatně přečetli číslo a najednou něco nevychází, jak by mělo. Také úroveň detailů výkresové dokumentace si řešíme dle vlastní potřeby a není problém později nakreslit detailněji a přesněji konkrétní místo, které bylo naskenováno. Další výhodou je, že jednotlivé prostory, místnosti i okolí domu jsou v prostoru umístěny přesně jako v realitě, takže je možno například zjistit rozdíl mezi úrovní podlah sousedních domů bez složitých geodetických měření.

Mezi nevýhody laserového skenování, kromě zatím poměrně vysoké pořizovací ceny samotného přístroje, patří zejména zkušenosti a znalosti potřebných programů pro vytvoření a přípravu mračen. Některé scannery jsou schopny zobrazovat náhled měřených objektů v průběhu skenování, existují ale scannery, které tuto schopnost nemají a případné chyby jsou odhaleny až na počítači po návratu z měření. Výhody skenování však výrazně převyšují nevýhody a chyby při tvorbě mračna jsou po krátkém zaškolení obsluhy a několika provedených skenováních většinou eliminovány. Nevýhodou může být také potřeba dostatečně výkonného počítače, ale 16 GB paměti a výkonnější grafická karta by měly být automaticky v každém počítači používaném pro projekční práce.

Metod, jak převést reálný 3D objekt na virtuální 3D model existuje několik. V současné době jsou nejrychlejší, nejpřesnější a tím pádem nejpopulárnější dvě metody laserového skenování, které využívají zařízení zvaného LIDAR (Light Detection And Ranging). První je založená na tom, že přístroj je umístěn na pevném stanovišti či stanovištích, ze kterých následně probíhá tvorba výsledného mračna bodů. Druhá metoda využívá pokročilejší technologii, kdy operátor se scannerem prochází objektem a mračno bodů je vytvářeno doslova za chůze.

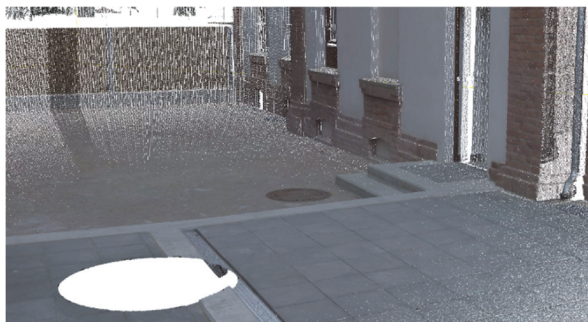
Metody skenování objektů

Statická metoda

Metoda využívající měření z pevných stanovišť spočívá v umístění laserového scanneru do místa, odkud má scanner „výhled“ na objekty, které chceme zaznamenat. Následně proběhne samotné měření (skenování), kdy přístroj vysílá postupně laserové paprsky během otáčení hlavy a zrcadla kolem vodorovné a svislé osy. U každého odraženého paprsku je zaznamenána jeho vzdálenost a úhel v horizontální a vertikální rovině od přístroje. U novějších přístrojů i intenzita odraženého paprsku, která poskytuje informaci o světlosti daného místa odrazu. Většina přístrojů dnes umožňuje zaznamenat i informaci o barvě jednotlivých bodů, která se ovšem

zjišťuje v samostatném kroku procesu, kdy přístroj vytvoří sférickou fotografii svého okolí a bodům jsou dodatečně přiřazeny barvy dle této fotografie.

Vytváření mračna bodů celého objektu probíhá tak, že se (ideálně před započítím měření) rozvrhnou polohy jednotlivých stanovišť, aby z nich přístroj viděl ideálně všechny plochy konstrukce, kterou chceme zaměřit. Přístroj umístíme na první stanoviště a spustíme proces skenování. Po vytvoření prvního lokálního mračna bodů je přístroj přesunut na další stanoviště a proces proběhne znovu. Stanoviště musí být voleno tak, aby se snímané konstrukce částečně překrývaly, jelikož tyto překryvy jsou použity následně při spojování mračen z jednotlivých stanovišť do celkového mračna všech bodů. Poloha jednotlivých stanovišť se volí také tak, aby žádné podstatné plochy a objekty nezůstaly nezachyceny, jelikož při každém skenování zaznamená přístroj jen ty body, které „vidí“ a dalšími skeny se snažíme eliminovat místa při předchozích průchodech zakrytá.

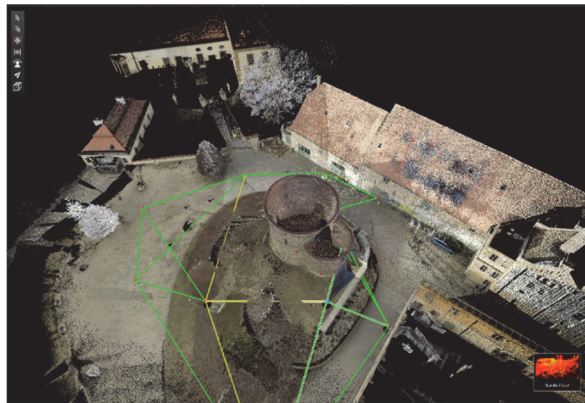


Obrázek 2 – Viditelný pokles počtu bodů a zákrty u statické metody (a. a. [1])

Výhodou této metody je zejména geometrická přesnost (pro blízké okolí je přesnost v řádu nižších milimetrů) a relativně velký dosah (u některých přístrojů je udávám i přes 100 metrů). Přesnost a vzdálenost objektu jsou svázány, čím je objekt blíže, tím je vyšší přesnost. Také hustota mračna bodů pochopitelně klesá se zvětšující se vzdáleností vzhledem ke konstantní úhlové rychlosti skenování. Mračna vzniklá tímto způsobem pak mají

charakteristický „paprsčitý“ tvar s dírou uprostřed (scanner nedokáže zachytit nejbližší okolí svého aktuálního stanoviště).

Mezi nevýhody pak patří zejména větší časová náročnost a nutnost najít dostatek pevných a ideálně plochých stanovišť, což v některých typech prostor (typicky krovech nad klenbami) není snadné. Při skenování je důležitá také jistá zkušenost operátora, aby při co nejmenším počtu stanovišť bylo zaznamenáno vše potřebné, ale zároveň byly dostatečné překryvy mračen a tyto se podařilo spojit do jednoho celku.



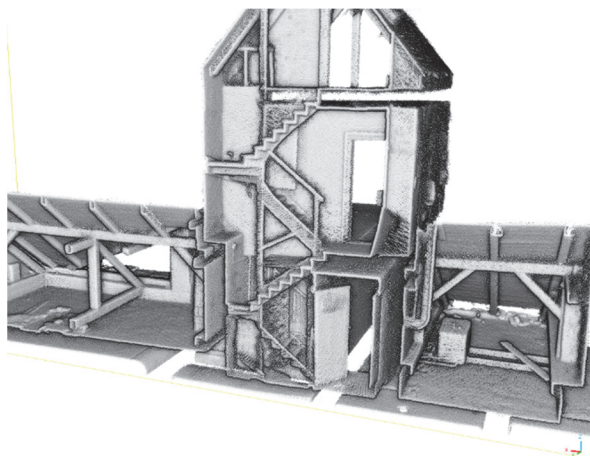
Obrázek 3 – Polohy jednotlivých pozic scanneru a jejich propojení (a. a. [1])

Dynamická metoda

Tato metoda je v anglické literatuře nazývána SLAM (Simultaneous Localization And Mapping) a z obou metod je mladší a v současné době se výrazně rychleji vyvíjí než klasická statická metoda. Vznik a rozvoj této metody je dán rozvojem výpočetního výkonu počítačů a jejich miniaturizací, protože poměrně velký výpočetní výkon je třeba již v samotné fázi skenování. Také tato metoda využívá generátoru laserových pulzů, tzv. LIDARu, který se stejně jako v předchozím případě otáčí, a to ideálně ve dvou osách. Protože se však LIDAR během měření pohybuje v prostoru, je součástí přístroje i velmi přesná IMU jednotka (Inertial Measurement Unit), což je zařízení (většinou kombinace akcelerometrů a gyroskopů), které

sleduje pohyb přístroje v prostoru včetně jeho náklonu ve všech osách. Kombinací těchto dvou zařízení je pak počítač schopen zjistit polohy všech měřených bodů v prostoru, přestože je samotný LIDAR v pohybu. Stejně jako v předchozím případě, i toto mračno je možno dodatečně kolorovat, využívá se k tomu sférické video, které je natáčeno během měření, kdy jsou dodatečně spárovány jednotlivé body mračna s odpovídajícími pixely ve videu. Tato metoda je podstatně náročnější na výpočetní výkon samotného scanneru i následně počítače, který mračno připravuje pro další úkoly (tomuto kroku se někdy též říká registrace mračna).

Samotné měření probíhá tak, že si nejprve připravíme zaměřované prostory. Vyplatí se otevřít všechny dveře, zkontrolovat například rozhrnutí závěsů a odstranění překážek na trati a celkově si promyslet trasu přes zaměřované místnosti. Následně se zvolí startovací místo, většinou se musí jednat o malou vodorovnou plochu pro kalibraci přístroje. Měření pak na této ploše nejen začne ale také skončí (vytvoří se tzv. uzavřená smyčka). Při samotném měření pak operátor scanneru volným krokem prochází jednotlivé prostory.



Obrázek 4 – Ukázka řezu mračnem vytvořeným metodou SLAM, Arnoldova vila (a. a. [1])

Hlavní výhodou této metody je rychlost samotného skenování. Například na zaměření dvoupokojového bytu by bylo klasickou (statickou) metodou potřeba minimálně šesti stanovišť, což představuje přibližně 15–30 minut času dle hustoty generovaného mračna, v případě SLAM skeneru stačí místnostmi projít rychlostí pomalejší chůze, což představuje asi 2–3 minuty času. Hustota mračna neboli počet bodů daného objektu, je dána pouze rychlostí průchodu daným místem a může být tím pádem lépe optimalizována (méně bodů je třeba například na jednoduché chodbě, více bodů pak v členité místnosti, v okolí historických oken a podobně). Existuje navíc spousta prostor, kde pevné stanoviště ani nejde zřídit, ať už se jedná o dříve zmíněný krov nad zateplenými klenbami, nebo například o archiv s úzkými uličkami, kde by bylo třeba značného množství stanovišť. Dalším místem, kde má tato metoda optimální využití, jsou například zříceniny hradů, kde je poměrně velká členitost, a přitom minimum vodorovných a svislých ploch, které statická metoda používá pro spojování jednotlivých lokálních mračen.

Nevýhodou je v současné době (kromě vyšší pořizovací ceny přístroje) také menší přesnost než u statické metody. Při většině měření se přesnost pohybuje kolem 2 až 3 cm pro vzdálenosti zhruba do pěti metrů. Bezpečný dosah skenování se pohybuje většinou kolem 20 až 50 metrů, což na běžné stavební objekty stačí, ale je to opět méně než u statické metody. Přesnost se bohužel příliš nemění se vzdáleností od objektu, tato metoda tedy není většinou vhodná pro zaznamenání detailů konstrukcí. Tento typ skenování je také náchylnější na chyby během měření a je potřeba více zkušeností pro vytvoření přesného mračna. Z hlediska použité technologie je tato metoda také obtížně použitelná v dlouhých úzkých prostorech bez dostatečně členitých povrchů, např. v dlouhých chodbách. V takových místech hrozí, že výsledné mračno bude „ohnuté“ a tudíž nepoužitelné. Bohužel mnoho současných SLAMových scannerů neumožňuje kontrolu mračna během či hned po skenování a případné chyby v měření znamenají další cestu na zaměřované místo. V případě obtížných nebo

vzdálených zaměřování se proto doporučuje provést měření vícekrát a při každém měření zvolit například jinou cestu.

Zpracování mračna bodů

Mračno bodů, ať už je vytvořeno jakýmkoli způsobem, následně přeneseme do počítače, provedeme tzv. registraci (v případě statické metody spojení jednotlivých dílčích mračen v jeden celek, v případě dynamické metody skutečný výpočet mračna bodů ze syrových dat scanneru) a následně export do formátu, který využívá námi zvolený CAD nebo BIM systém. V současné době už dokáže s mračny bodů pracovat výrazná většina projekčních a modelovacích programů, z těch nejznámějších například AutoCAD, Revit, Allplan, Archicad, SketchUp a Rhinoceros3D. Některé z nich disponují i pokročilými nástroji na detekci ploch a otvorů, odmazání nechtěných prvků ze skenu a dalších, bohužel jejich použití je zatím spíše diskutabilní a výsledky je potřeba vždy zkontrolovat.



Obrázek 5 – pohled na objekt Muzejky vytvořený z mračna bodů (a. a. [1])

Nejčastějším postupem při práci s mračnem je jeho umístění v prostoru tak, aby nám vyhovovala orientace hlavních stěn k osám X a Y a následně mračno virtuálně nakrájíme na pruhy (v angličtině se používá termín slices), které použijeme pro vytvoření čar či jiných objektů v podstatě jako podkres. Tyto pruhy mohou být vodorovné i svislé, mohou mít různé tloušťky a jejich polohu můžeme operativně měnit v závislosti na tom, jakou část konstrukce

aktuálně kreslíme. Někdy je také (namísto zdlouhavého obkreslování hran z mračna) účelnější a rychlejší pouze vytisknout samotné mračno. K tomuto účelu mají některé programy metody, jak dané mračno „vystínovat“ a zvýšit tak jeho vypovídací schopnost. V zásadě je pouze na projektantovi, zda výstupem bude 2D výkresová dokumentace či 3D model, stejně tak jako volba úrovně detailů a zjednodušení tvaru výstupu (pro potřeby studie je např. dostatečná přesnost stěny plus minus tři centimetry, zatímco pro výrobu vestavěného nábytku budeme potřebovat přesnost v milimetrech).

Závěr

Po zkušenostech z předchozích tří let, kdy jsem oběma zmíněnými metodami naskenoval desítky stavebních objektů, mohu prohlásit, že návrat zpět k zaměřování historickými metodami, by pro mne nebyl snadný. Pokrok v této oblasti je obrovský a cesta od pásma a polního náčrtu k mračnu bodů a fotografiím ve vysokém rozlišení je výrazným usnadněním práce.

V oblasti památkové péče se v poslední době používá také termín „digitální dvojče“. Jde v podstatě o vytvoření co nejuvěrnější digitální kopie stávajícího památkově chráněného objektu, ať už pro potřeby jeho dalšího studia, pro potřeby případných rekonstrukcí či prostého zachování jeho podoby pro budoucí generace. A právě mračno bodů se jeví být (vedle fotogrammetrie, která poskytuje podobnou přesnost) ideálním řešením pro daný úkol, zejména s ohledem na zvyšující se výpočetní výkon a kapacitu úložišť současných počítačů.

Rychlé vytváření 3D modelů budov, dříve výsada sci-fi filmů z budoucnosti, se tak zdá reálnější než dříve. Vždyť už dnes existují mobilní telefony, které tuto schopnost (byť v omezené míře) mají. Věřím, že při současném vývoji výpočetní techniky se v dohledné době dočkáme dostupných zařízení pro vytváření prostorových modelů okolního světa, které projektantům i památkářům usnadní život a poskytnou rychle přesné podklady pro jejich práci.

Použité zdroje:

- [1] Archiv autora.
- [2] Inertial measurement unit. *Wikipedia*. [online]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Inertial_measurement_unit
- [3] Lidar. *Wikipedia*. [online]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Lidar>
- [4] How SLAM affects the accuracy of your scan (and how to improve it). *Build better reality | NavVis* [online]. Copyright © 2019 MyFonts Inc [cit. 31.01.2023]. Dostupné z: <https://www.navvis.com/blog/how-slam-affects-the-accuracy-of-your-scan-and-how-to-improve-it>