

3D MAPPING OF OUTDOOR ENVIRONMENT

Radim Janalík

Bachelor Degree Programme (3), FIT BUT

E-mail: xjanal01@stud.fit.vutbr.cz

Supervised by: David Herman

E-mail: iherman@fit.vutbr.cz

Abstract: This paper presents a method for building 3D map using accurate laser rangefinders mounted on a mobile robot. The map is built incrementally in real-time. New scans are added to existing point cloud and resampled to reach smooth surface. Then a triangle representation is established from new points. Finally, the mesh of triangles is decimated to save required memory.

Keywords: LIDAR, 3D map, RMLS, Delaunay Triangulation, Vertex Decimation

1 ÚVOD

Laserové dálkoměry patří k aktivním sensorům, které se často používají v mobilní robotice pro snímání okolního prostředí. Současné metody tvorby 3D modelů prostředí ze sensorických měření z laserových dálkoměrů nejdříve nasbírají všechna data a až poté je zpracují. Cílem této práce je navrhnout metodu tvorby 3D modelu, která by pracovala v reálném čase a měla nízké paměťové nároky pro uchování interní reprezentace.

2 TVORBA INTERNÍHO MODELU

Tvorba interního modelu je rozdělena do několika kroků. Měření z laserového dálkoměru sestávající z pole vzdáleností je nejprve transformováno na body v prostoru v souřadném systému senzoru, přičemž invalidní měření jsou zamítnuty. Tyto body jsou následně transformovány dle aktuální pozice robotu do souřadného systému budované interní reprezentace a agregovány.

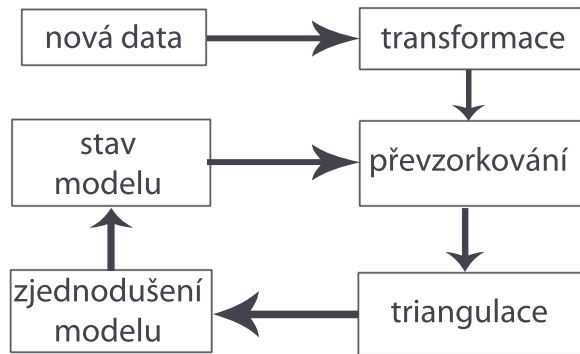
Protože plošná hustota takto získaných bodů není skrze celý interní model konstantní a odvíjí se od pozice robotu při snímání daného místa, dojde k jejich lokálnímu převzorkování. Tím se zajistí rovnoměrné rozdělení bodů a shodné vstupní podmínky pro následné budování trojúhelníkové reprezentace. Aby se snížila paměťová náročnost, je trojúhelníková reprezentace dále decimována. Toto je opakováno pro každé měření, přičemž přepočítávány jsou pouze ty části modelu, do nichž nové měření zasahuje (viz obrázek č. 1).

2.1 TRANSFORMACE BODŮ DO MAPY

Data jsou z dálkoměru získána jako pole vzdáleností $d_i, i \in [0..100]$. Vzdálenost s indexem i je zaměřena pod úhlem $\theta_i = \text{deg2rad}(50 - i)$. Vzdálenosti můžeme transformovat do kartézského souřadného systému robota podle rovnice 1. K tomu potřebujeme znát výšku umístění dálkoměru h_L a úhel Θ_L , který svírá s rovinou [1].

$$p_i = \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_i \cos(\Theta_L) \cos(\theta_i) \\ d_i \sin(\theta_i) \\ h_L - d_i \sin(\Theta_L) \cos(\theta_i) \end{bmatrix} \quad (1)$$

Následně jsou souřadnice převedeny do souřadného systému mapy. Podle pozice a natočení robota v prostoru je určena transformační matice pro posunutí a otočení.



Obrázek 1: Postup zpracování.

2.2 PŘEVZORKOVÁNÍ

Pro převzorkování bodů byla zvolena metoda Moving Least Squares [2]. Necht' je dána množina bodů $\{L_i\}_{i=1}^I$, hledáme aproximaci L těchto bodů. Při hledání aproximace vycházíme z množiny polynomů P a množiny vah $\{\Theta(L_i, L)\}$. Aproximace je dána jako $L(p^*)$, kde $p^* \in P$ a chybová funkce (2) je minimální.

$$\sum_{i=1}^I (L_i(p) - L_i(f))^2 \Theta(L_i, L) \quad (2)$$

2.3 TVORBA TROJÚHELNÍKŮ

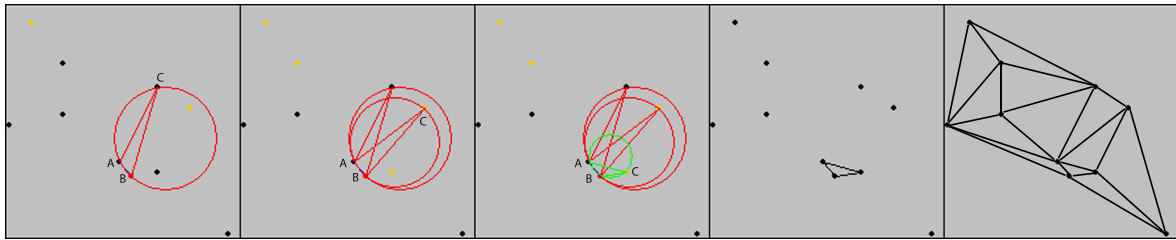
Nyní potřebujeme body propojit tak aby tvořily trojúhelníky. K tomu použijeme algoritmus Delaunay Triangulation [3]. Tato metoda spočívá v nalezení takových trojúhelníků, že když každému trojúhelníku opišeme kružnici se středem S , tak žádný bod není ke středu S blíže než vrcholy daného trojúhelníku.

Poté co do interního modelu vložíme body z několika měření, vytvoříme první trojúhelník. Nalezneme nejbližší dva body A, B . Určíme množinu bodů $M = \{P_i, |P_i A| < d_{max} \vee |P_i B| < d_{max}\}$, vybereme bod $C_1 \in M, C_1 \neq A \wedge C_1 \neq B$ a vypočítáme střed S_1 . K bodu S_1 nalezneme nejbližší bod X a porovnáme vzdálenosti $|S_1 X|$ a $|S_1 A|$. Pokud $|S_1 X| < |S_1 A|$, označíme bod X jako C_2 a nalezneme nový střed S_2 . Postup opakujeme dokud nenalezneme bod C_n , pro který platí $|S_n X| \geq |S_n A|$.

Postup nalezení dalších trojúhelníků se mírně liší. Body A, B nevolíme jako dva nejbližší body, ale použijeme dva body z některého z již vytvořených trojúhelníků. Volíme takovou dvojici bodů, která je jen v jednom trojúhelníku. Vyloučíme tím z prohledávání možnosti, kde nový trojúhelník vytvořit nelze. Druhou odlišností je nutnost kontrolovat, jestli je nově nalezený trojúhelník ABC_n již uložen v modelu. V takovém případě je potřeba hledání opakovat s jiným počátečním bodem C_1 . Je také možné, že nový trojúhelník pro body A, B nebude nalezen. Postup je znázorněn na obrázku č. 2.

2.4 ZJEDNODUŠENÍ MODELU

V modelu se vyskytuje hodně rovných ploch, především cesty. Tyto plochy je zbytečné pokrývat velkým počtem trojúhelníků.



Obrázek 2: Algoritmus Delaunay Triangulation.

Pro zjednodušení modelu je použit algoritmus Vertex Decimation [4]. Nejprve se pro zkoumaný bod určí průměrná rovina (souřadnice bodu v rovině - rovnice 3, normálový vektor - rovnice 4; A_i je plocha trojúhelníku, n_i normálový vektor a c_i střed trojúhelníku). Pokud je vzdálenost bodu od roviny menší než daná hodnota, pak se bod odstraní a vzniklá díra se zaplní trojúhelníky.

$$B = \frac{\sum A_i \times n_i}{\sum A_i} \quad (3)$$

$$n = \frac{\sum A_i \times c_i}{\sum A_i} \quad (4)$$

3 ZÁVĚR

V článku je představen způsob tvorby 3D map s použitím laserového dálkoměru umístěného na mobilním robotovi. Důraz je kladen na efektivitu, aby bylo možné mapu tvořit v reálném čase a postupně aktualizovat. Vstupní body jsou nejprve transformovány do souřadného systému mapy a převzorkovány metodou Moving Least Squares, tím dojde k vyhlazení povrchu. Poté jsou body metodou Delaunay Triangulation propojeny do trojúhelníků. Nakonec je model algoritmem Vertex Decimation zjednodušen, aby se omezila velikost modelu a zvýšila rychlost dalšího zpracování.

PODĚKOVÁNÍ

Tento příspěvek vznikl za podpory výzkumného záměru MSM002163052.

REFERENCE

- [1] HERMAN, D. *Lokální navigace autonomního mobilního robota*, diplomová práce, Brno, FIT VUT v Brně, 2010.
- [2] LEVIN, David. *The approximation power of moving least-squares*. Mathematics of Computation. Providence: American Mathematical Society, 1998, roč. 67, č. 224, s. 1517-1531. ISSN 0025-5718. Dostupné z: <<http://www.ams.org/journals/mcom/1998-67-224/S0025-5718-98-00974-0/S0025-5718-98-00974-0.pdf>>
- [3] BERG, Mark de. *Computational geometry: algorithms and applications*. 3rd ed. Berlin: Springer, c2008, 386 s. ISBN 978-3-642-09681-5.
- [4] SHENE, Ching-Kuang. *Mesh Simplification*. Michigan Technological University. 2010. Dostupné z: <<http://www.cs.mtu.edu/~shene/COURSES/cs3621/SLIDES/Simplification.pdf>>