

STUDII PRELIMINARE PRIVIND UTILIZAREA UNUI SISTEM LIDAR PENTRU DETECTAREA OBSTACOLELOR

PRELIMINARY STUDIES REGARDING THE UTILIZATION OF A LIDAR SYSTEM FOR OBSTACLE DETECTION

ENACHE Andrei-George, BOSOC Vlad-George

Facultatea: Inginerie Industrială și Robotică, Specializarea: Informatica Aplicată în Inginerie Industrială,
Anul de studii: III, e-mail: enache.andrei.george@gmail.com

Conducător științific: Prof. Dr. Ing. **Tom SAVU**

ABSTRACT: In today's industries and day to day activities, different actions usually performed by humans are in the past, these activities being performed by robots on different intelligence levels, ranging from robotic arms to entire production lines that do not need any human interaction to make a finished product. All of this is possible thanks to algorithms and softwares that can manipulate data, and more important, different types of sensors that can measure and accumulate the desired data at high precision. An example of such a sensor is the LIDAR, a sensor that can measure the distance to the things around it using different light sources and receivers. A very common use of this type of sensors is found in the development of AGVs, autonomous vehicles used in factories and deposits that can maximize productivity and shorten the time for different processes. In this paper, we will cover some important aspects of LIDAR and its use in technologic fields.

KEY WORDS: LIDAR, AGV, automation, sensors

1. Introducere

LIDAR-ul este un dispozitiv utilizat pentru măsurarea elementelor înconjurătoare, folosind lumină infraroșie cu lungimea de undă variind între 600 nm și 1500 nm. În principal există 3 metode principale de emisie a luminii și citire a informației: scanare cu undă laser și citire cu fotodiodă receptoare, flash luminos și citire cu panouri de arseniură de galiu sau rețea de fază și citire cu ajutorul unui chip.

Datorită costului mai scăzut decât în cazul celorlalte metode, cei mai mulți producători aleg să utilizeze tehnologia LIDAR cu raze laser.

Cea mai utilizată metodă de măsurare a distanței cu acești senzori este reprezentată de "timpul de zbor" ("Time Of Flight"), aceasta constând în măsurarea timpului necesar razei de lumină să se întoarcă la senzor și ținând cont de viteza luminii. În funcție de modul de citire a informațiilor și afișarea acestora, sistemele LIDAR pot fi 1D (un punct), 2D (linii de diferite forme formate din puncte, vezi figura 1.) sau 3D (mai multe straturi de linii formate din puncte, vezi figura 2). Prin mișcarea unghiulară a unui lidar unidimensional putem obține imaginea bidimensională a mediului înconjurător, iar prin adăugarea unui unghi de mișcare perpendicular pe planul bidimensional putem obține imaginea 3D a obiectelor din jur.

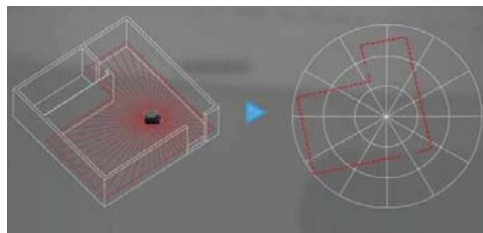


Fig. 1. Model de citire a unui LIDAR 2D la 360°



Fig. 2. Model de citire a unui LIDAR 3D la 360°

Cei mai importanți parametri ce definesc calitatea unui sistem LIDAR sunt [1][2]:

-Frecvența de eșantionare - se măsoară în Hz, reprezintă numărul valorilor ce pot fi acumulate într-o secunda;

-Frecvența de scanare - se măsoară în Hz, reprezintă numărul de scanări în unitatea de timp;

-Unghiul de scanare (FOV) - reprezintă unghiul la care senzorul poate scana mediul înconjurător;

-Densitatea punctelor - numărul de puncte dintr-o anumită suprafață (această caracteristică definește de obicei performanța cea mai importantă a senzorului);

-Aria de acoperire (suprafața reală ce este scanată, în funcție de rata de repetare, altitudine, unghi și distanță);

-Suprapunerea - în cazul platformelor aeriene, reprezintă mărimea suprafeței redundante ce este acoperită de mai multe ori în timpul unor zboruri repetate apropiate;

-Altitudinea de zbor (în cazul stațiilor aeriene).

În funcție de platforma pe care acestea sunt plasate, LIDAR-ele se împart în următoarele categorii:

1) Spațiale - folosite pentru a măsura viteza vântului, pentru a crea topografia și rugozitatea pământului, dar și alte proprietăți geografice. În general, acestea folosesc spectrul infraroșu îndepărtat cu lungimi de undă medii sau mari, între 1.5–15 μm ;

2) Aeriene:

a) Topografice - utilizate pentru a crea modele digitale de altitudine, înălțime a terenului sau coridoare de transport [4]. Acestea operează cu laser infraroșu cu lungimi de undă între 1000-1500 μm [2];

b) Batimetrice - utilizate pentru a crea modele digitale de adâncime a apei. Operează cu lungimi de undă vizibile, verzi, de aproximativ 532 nm, pentru o mai bună penetrare a apei [3]

3) Terestre (folosesc lumină infraroșie cu lungimi de undă de 500-600 nm [4]):

a) Mobile - utilizate pentru modelarea 3D a diferitelor străzi, poduri etc., dar și pentru detectarea de obstacole în cadrul vehiculelor inteligente;

b) Statice - utilizate pentru supravegherea și monitorizarea zonelor fixe.

De obicei, pe lângă senzorul de colectare care conține un transmițător laser și un receptor, sistemul LIDAR mai are încorporat și un sistem de poziționare globală (GPS) și o unitate de măsurare inerțial (IMU) pentru calculul rotirii, pasului și a direcției platformei în cazul structurilor aeriene sau un instrument de măsurare a distanței (DMI), în cazul platformelor terestre. Aceste instrumente suplimentare sunt necesare pentru o acuratețe mai bună a imaginilor, astfel încât putem corela imaginile prelevate cu suprafețele zonelor din lumea reală. În plus, prezența unui GPS și a sistemelor de măsurare a poziției ajută la calcularea traiectoriei vehiculului și oferă feedback în timp real algoritmilor de generare automată a traiectoriei.

Cea mai comună formă de stocare a norului de puncte obținut cu ajutorul unui LIDAR este stocarea în fișiere de format LAS. Acestea permit o citire rapidă a datelor pentru diverse aplicații.

Fiecare punct stocat în fișierele LAS are următoarele informații: coordonatele spațiale x,y,z, intensitatea fasciculului la întoarcere, numărul de ordine al întoarcerii dintr-un puls, numărul întoarcerilor dintr-un puls, direcția de scanare, clasificare, timpul GPS, sursa punctului, etc. Pentru a reconstitui o imagine cât mai clară a mediului înconjurător, în cazul în care avem nevoie de o hartă 3D, punctele stocate sunt clasificate după diferite criterii (puncte neclasificate, pământ, copaci, clădiri, străzi, etc.), urmând ca un filtru de interpolare să fie aplicat pentru a netezi imaginea finală.

Printre aplicațiile cele mai semnificative ale acestui sistem se numără detectarea tipurilor de vegetație, măsurători atmosferice sau de teren, dar și detectarea obstacolelor pentru sisteme de transport în vehiculele autonome [5].

În cadrul acestei lucrări se vor evidenția principalele metode de detectare și evitare a obstacolelor de către vehiculele industriale, dar și cei mai utilizați algoritmi de generare a traiectoriei din momentul actual.

2. Stadiul actual

Cel mai mare beneficiu al automatizărilor și a metodelor din ce în ce mai avansate de prelucrare a datelor, pe lângă creșterea exponențială a randamentului proceselor de lucru, este reprezentat de nivelul foarte scăzut al erorilor umane. În plus, în cazul daunelor provocate de diferite aparate, datele anterioare accidentelor pot fi citite pentru a oferi o perspectivă clară asupra cauzelor, putând fi făcute modificări cu scopul eliminării viitoarelor probleme asemănătoare.

O foarte mare importanță pentru dezvoltarea industriei tehnologice și a producției este reprezentată de creația Vehiculelor Automate Ghidate (AGV), roboți mobili ce pot transporta diverse bunuri în diferite locații, fără interacțiuni umane. Astfel se pot elimina timpii morti cauzăți de epuizarea umană, iar utilizând diferite software-uri de management al flotelor de roboți ne putem asigura ca aceștia nu își vor intersecta traiectoriile în timpul sarcinilor de lucru.

Aceste vehicule automate pot lua diverse forme și dimensiuni (stivuitoare (Fig. 3.), aparate de tractare (Fig. 4.), platforme mobile de lucru (Fig. 5), cărucioare), dar indiferent de structura lor acestea au nevoie de Sisteme Automate de Ghidare (AGS) care să le conducă și să informeze sistemul de management al flotei despre poziția lor [8].



Fig.3. Stivuiitor Smart Laser forklift
AGV transfer robot X14-L01 Series



Fig.4. Tractor de remorcare
Kivnon K20



Fig. 5. Platforma mobila
MiR100

Cele mai comune sisteme de navigație AGV sun următoarele [8]:

- a) Navigație Laser (Laser Navigation Vehicle, LGV)- Acesta este unul dintre cele mai populare sisteme de navigație pentru stivuitoare automate. Fiecare vehicul este echipat cu un dispozitiv de navigare poziționat pe partea superioară a acestuia care se rotește la 360°, trimițând semnale laser. Aceste raze laser ating mai multe ținte reflectorizante poziționate pe coloane sau pereți, iar odată ce minim 3 astfel de semnale se întorc la dispozitivul de navigație, acesta poate calcula poziția vehiculului (Fig. 5).
- b) Bandă Magnetică- Ruta de navigație este făcută cu bandă magnetică plasată pe podea, iar un senzor magnetic situat în AGV detectează câmpul magnetic și urmărește traiectoria dorită.
- c) Puncte magnetice- Vehiculele navighează urmărind cilindri magnetici situați în podea (Fig. 6).
- d) Navigație Naturală sau Navigație liberă- AGV-ul navighează liber, identificând elementele din jur și făcând o hartă a mediului înconjurător. Acești roboți se mai numesc și Roboți Autonomi Mobili (AMR) ce pot recunoaște apoi anumite zone din jur pentru a se putea autolocaliza pe hartă. Se bazează pe tehnica de Localizare și Cartografiere Simultană (SLAM).
- e) Navigație cu fire- Mod de navigație învechit ce necesită un cablu de curent încorporat în podea.

f) Navigație optică- AGV-ul urmărește o bandă colorată sau vopsită de pe podea.

g) Vision Navigation- Un tip de navigație naturală ce folosește prelucrare de imagini și camere video.



Fig.5. Transmițător și receptor laser

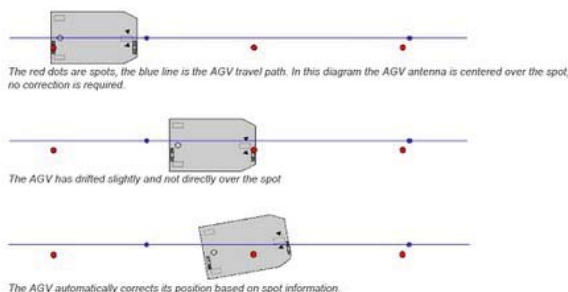


Fig. 6. Reprezentarea punctelor magnetice

În momentul actual, din punct de vedere tehnologic, cele mai performante vehicule automate folosesc sistemul de navigație naturală, acești roboți luând denumirea de Roboți Mobili Autonomi (AMR). Aceștia se bazează pe tehnologia LIDAR pentru a se putea orienta în spațiu. În comparație cu AGV-urile clasice, ei pot nu doar să detecteze apariția unui obstacol și oprirea la nevoie, dar pot calcula traiectoria necesară ocolirii acestuia astfel încât să se obțină cea mai mică distanță până la destinație. Alte avantaje ale AMR sunt costul redus al acestora și flexibilitatea.

3. Mod de funcționare

Vehiculele primesc comanda de a se deplasa într-o anumită poziție a hărții pentru a îndeplini o sarcină. La fiecare scanare a senzorului LIDAR, vehiculul primește date cu ajutorul cărora poate vedea elementele fizice din jur, putând reacționa la acestea. De asemenea, robotul potrivește măsurătorile primite de pe teren cu o hartă teoretică încărcată anterior pentru a-și putea estima poziția reală în mediu. Aceste informații asupra poziției nu sunt suficiente, așa că avem nevoie de date odometrice (acelerație, poziția roților, giroscop) și inerțiale (calculate cu ajutorul altor senzori) pentru a putea stabili performanțele reale și a satisface nevoile reale.

Așadar, AGV-ul folosește nu doar datele teoretice și cele măsurate din exterior, având nevoie și de informațiile propriilor caracteristici pentru o poziționare cât mai exactă.

Pentru utilizare industrială nu este nevoie neapărată de o scanare 3D a mediului exterior, astfel încât se pot folosi sisteme LIDAR 2D cu vizibilitate de până la 360°

4. Algoritmi de generare a traiectoriei

Pentru a utiliza la potențial maxim vehiculele autonome, este nevoie ca acestea să poată determina distanța cea mai scurtă între puncte atunci când au de îndeplinit diferite sarcini pentru a putea calcula ruta cea mai scurtă. Exemple de astfel de algoritmi folosiți în planificarea traiectoriei roboților sunt următorii:

-Algoritmi D*- reprezintă o metodă de căutare incrementală, folosind datele acumulate în trecut pentru a putea calcula mai rapid și mai precis datele curente. Acest algoritm citește nodurile din apropiere, iar dacă acestea sunt libere, calculează cea mai scurtă distanță până la următorul nod care este cel mai apropiat de destinație. În cazul în care robotul observă un

obstacol în cale, acesta citește din nou nodurile din jur pentru a putea recalcula cea mai scurtă traiectorie. În medii mari și complicate, acesta planifică rute mai scurte decât algoritmi A*[9].

-Algoritmi A*- reprezintă o metodă de căutare a unui grafic pentru generarea traiectoriei. Acest algoritm este mai încet decât D* deoarece stochează toate nodurile generate în memorie. Acesta funcționează pe baza calculului costului celui mai scăzut (distanța minimă) până la locația finală. În medii mai mici și mai simple, acest algoritm funcționează mai bine decât algoritmul D*.

-Algoritmul RRT (Rapidly-exploring RandomTree) (Fig. 7.) - acesta este un algoritm complex creat pentru a genera traiectorii, utilizând ramuri ce se construiesc la întâmplare, alegând apoi ramura cu cel mai mic cost pentru a ajunge la destinația dorită. O problemă a acestui algoritm este tendința de a căuta în zonele neexplorate largi ale hărții, încetinind procesul.

-Algoritmul RRT* (Fig. 8.) - acesta este o versiune îmbunătățită a algoritmului RRT. Acesta înregistrează distanța vectorului de la punctul precedent (costul vectorului). Dacă se găsește un nod cu cost mai scăzut decât cel mai apropiat nod, acesta din urmă este înlocuit de primul [11].

-Harta probabilistică- este un algoritm de planificare a mișcărilor, luând valori la întâmplare din spațiu, verifică dacă acestea sunt spații libere sau nu, apoi folosește un planificator local pentru a conecta aceste valori. După ce aceste drumuri sunt create, putem adăuga valorile poziției inițiale și finale pentru a le conecta la celelalte puncte (Fig.9). Cu cât mărim numărul de noduri existente, probabilitatea de a nu găsi o traiectorie (în cazul în care aceasta există) se apropie de 0 [13].

-Rețele neuronale- În unele situații s-a încercat implementarea unor rețele neuronale pentru calculul drumului cel mai scurt și evitarea obstacolelor. Un astfel de exemplu ar fi Regresia cu Logica Fuzzy utilizând Rețele Neuronale [12].

- Algoritmul lui Dijkstra- reprezintă un algoritm utilizat pentru a găsi cea mai scurtă cale între 2 noduri ale unui grafic [14]. Acest algoritm folosește calculul costului vectorilor pentru a stabili valoarea optimă a drumului ales (Fig.10.).

Majoritatea acestor filtre folosesc diagramele lui Voronoi, o metodă prin care fiecărui nod de pe hartă i se atribuie un poligon, fiecare punct din acest poligon fiind mai apropiat de nodul său decât de celelalte noduri.

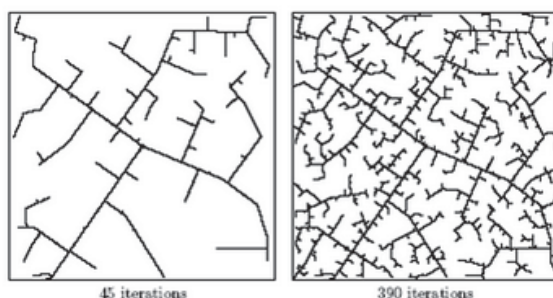


Fig.7. Afișarea algoritmului RRT

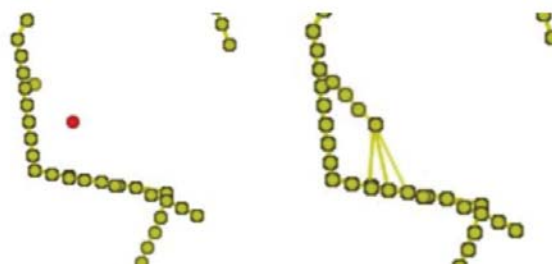


Fig. 8. Afișarea algoritmului RRT*

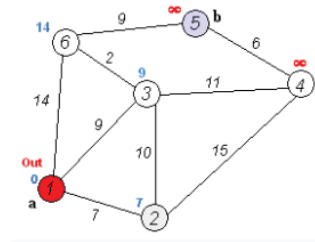
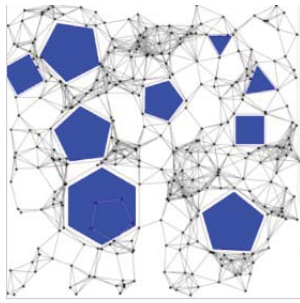


Fig.9. Representarea hărții probabilistice Fig.10. Representarea algoritmului lui Dijkstra

În funcție de aplicațiile dorite, de spațiul necesar operațiilor și de variabilele existente în mediul înconjurător, putem folosi diferiți algoritmi de evitare a obstacolelor. Astfel, diverși producători pot folosi metode diferite de calcul a traiectoriei, neexistând încă un algoritm omologat ca fiind optim pentru o gamă largă de activități.

6. Concluzii și îmbunătățiri

După analiza tuturor acestor caracteristici ale sistemului LIDAR și a utilizărilor acestuia, următorul pas în dezvoltare îl reprezintă achiziționarea unui senzor rotativ 2D la 360° pentru a putea acumula datele reale din mediul înconjurător și a putea testa algoritmi prezenți. Acesta va fi montat pe o mașinuță pentru a putea crea baza unui vehicul autonom.

7. Bibliografie

- [1] James Young (2011), "Lidar for dummies", Wiley Publishing, Inc., Hoboken, ISBN978-0-470-94225-3
- [2]. <https://felix.rohrba.ch/en/2015/four-essential-lidar-parameters/>
- [3]. Andreas Fix, Giampiero Naletto, Ian Hutchinson, Nikos Karafolas, Wolfgang Riede, Arnaud Heliere, Bob Menzies & Haris Riris(2019), "Space Lidar and Space Optics", CEAS Space Journal, 359-362
- [4]. <https://en.wikipedia.org/wiki/Lidar>
- [5]. https://www.ngs.noaa.gov/corbin/class_description/Nayegandhi_green_lidar.pdf
- [6]. Pinliang Dong and Qi Chen(2018), "LIDAR Remote Sensing and Applications", Taylor & Francis Group, Boca Raton, ISBN 978-1-4822-4301-7
- [7] <https://www.mobile-industrial-robots.com/en/insights/get-started-with-amrs/agv-vs-amr-whats-the-difference/>
- [8] <https://www.agvnetwork.com/types-of-navigation-systems-automated-guided-vehicles>
- [9] Dae Hwan Kim(2018), "A Guide to Selecting Path Planning Algorithm for Automated Guided Vehicle(AGV)", International Conference on Advanced Engineering Theory and Applications
- [10] https://en.wikipedia.org/wiki/D*
- [11] <https://medium.com/@theclassytim/robotic-path-planning-rrt-and-rrt-212319121378>
- [12] Hamed Fazlollahab, Mohammad Saidi-Mehrabad(2015), "Autonomous Guided Vehicles", ISBN 978-3-319-14747-5
- [13] https://en.wikipedia.org/wiki/Probabilistic_roadmap
- [14] https://en.wikipedia.org/wiki/Dijkstra%27s_algorithm