

Profesor Jerzy Z. Sasiadek

Warszawa, 15 maja 2022

Centrum Badan Kosmicznych

Polska Akademi Nauk (CBK PAN)

Ul. Bartycka 18A

00-716 Warszawa

Recenzja pracy doktorskiej mg.inz. Michala Drwiegi “Lokalizacja i mapowanie w systemie robotow mobilnych”

1. Problem badawczy i jego znaczenie

Nawigacja i lokalizacja robotow mobilnych i zwiazane z tym tworzenie map jest waznym i ciekawym problemem nad rozwiazaniem ktorego pracuje wiele osrodkow naukowych na swiecie. Istota problemu jest wlasciwa lokalizacja autonomicznego robota lub pojazdu w nieznanym wczesniej srodowisku. Ten problem moze zostac rozszerzony na grupe wspolpracujacych robotow. Jednym z podstawowych metod lokalizacji i nawigacji jest tworzenie map przy pomocy czujnikow stanowiacych wyposazenie robotow mobilnych. Mapy mozna tworzyc przez wymiane danych pomiarowych z czujnikow wspolpracujacych robotow lub przez integracje map wygenerowanych przez kazdy z robotow osobno. Mapy te sa nastepnie integrowane w jedna wspolna mape. W pracy przedstawiono druga ze wspomnianych metod. Fuzja map wygenerowanych przez grupe robotow jest trudnym problemem. Rozwiazanie tego problemu wymaga zastosowanie zlozonych algorytmow umozliwiajacych pelna konsolidacje wielu map w jedna, zwykle bardziej dokladna mape.

2. Analiza zrodel

Badania nad nawigacja i lokalizacja autonomicznych robotow mobilnych prowadzone sa od wielu lat. W bibliografii pracy znajduje sie ponad 250 pozycji, ktore odzwierciedlaja wiekszosc, ale nie wszystkie, problemy zwiazane z nawigacja robotow mobilnych. Problem nawigacji robotow zostal juz poruszony w 1985 roku [170] (H. Moravec, A. Elfes) a nieco pozniej miedzy innymi w [241], [226] i [114]. Jedna z najbardziej przydatnych metod okazala sie metoda SLAM

(Simultaneous Localization and Mapping). Opis tej metody został umieszczony w rozdziale 5. W rozdziale 4 zrobiono przegląd metod opartych na Filtrach Bayesa i Filtrach Kalmana. Jest to bardzo szeroka tematyka zawierająca opis wielu metod stosowanych w nawigacji robotów.

3. Poprawność rozwiązania

Definicja problemu i możliwe metody rozwiązań opisano w rozdziale 8. Jak wspomniano już wcześniej sposób istnieją dwie główne metody tworzenia map do nawigacji grupy robotów: 1. Informacje z każdego robota są integrowane i następnie tworzona jest mapa, 2. Każdy robot generuje swoją mapę i następnie mapy te są integrowane w jedną wspólną i dokładniejszą mapę. Obydwie te metody są wynikiem wieloletnich doświadczeń i użycie jednych z nich do nawigacji wydaje się być uzasadnione.

W pracy została wybrana metoda 2 gdzie integruje się całe mapy raczej niż pomiary i dane z poszczególnych robotów. Metoda integracji map jest stosowana od wielu lat [78], [117], [122] i posiada wiele pozytywnych cech, które ułatwiają nawigację grupą robotów, ale posiada też wiele cech uważanych za negatywne w porównaniu z bezpośrednią integracją danych pomiarowych. Jedną z wad jest niewątpliwie brak bezpośredniej informacji o zakłóceniach i szumie. Informacje te zwykle są uwzględniane i przetwarzane w pierwszym etapie tworzenia map przez poszczególne roboty. W przypadku szumu kolorowego i zakłóceń, które nie posiadają rozkładu Gaussowskiego może to powodować znaczne obniżenie dokładności ostatecznej (całosciowej mapy). Dokładną ocenę obydwu metod można przeprowadzić przez porównanie ich w konkretnym zastosowaniu. W pracy nie przeprowadzono porównania tych metod ale w Rozdziale 8 (podrozdział 8.5) omówiono dokładnie sposoby integracji map.

4. Wkład autora

W pracy zajęto się przypadkiem nawigacji, gdzie początkowe pozycje robotów są nieznane i trajektorie robotów nie przecinają się. Originalnym wkładem autora jest zaadaptowanie metody integracji tzw. map osemkowych (octomap), opracowania szczegółów algorytmu integracji i przeprowadzenie własnych eksperymentów.

Autor wykorzystał ogólnodostępne bazy danych zawarte [97] do weryfikacji opracowanego algorytmu nawigacji a także przeprowadził własne badania eksperymentalne na kampusie Politechniki Wrocławskiej z użyciem robotów Turtlebot. W podrozdziale 8.9 autor przedstawił wyniki własnych badań eksperymentalnych a także wyniki z użyciem dostępnych baz danych w innych ośrodkach naukowych. Omówione zostały różne aspekty długości obliczeń algorytmów integracji map.

5. Sposob przedstawienia wynikow

Większość wyników eksperymentalnych i symulacji pokazano w rozdziałach 4-9. W rozdziale 10 zaprezentowano techniczną stronę eksperymentów. W rozdziale 4 pokazano wyniki symulacji komputerowych (rys 4-15-4.23) i omówiono błędy lokalizacji porównując metody Monte Carlo (AMCL), Bezsładowy Filtr Kalmana (UKF) metodę filtracji Madgwicka (MF) oraz prostą odometrię. Pokazano błędy orientacji, położenia i prędkości, a także średnie błędy położenia i odchylenia.

W rozdziale 5 (rys. 5.13-5.16) przedstawiono wyniki eksperymentalne z wykorzystaniem kilku wybranych wariantów metody SLAM (Simultaneous Localization and Mapping). Podobnie jak w rozdziale 4 pokazano błędy orientacji, położenia, prędkości i błędy statystyczne. Na rys 5.17-5.20 przedstawiono wyniki eksperymentów przeprowadzonych na Politechnice Wrocławskiej w oparciu o algorytmy SLAM.

W rozdziale 8 pokazano wyniki badań eksperymentalnych z użyciem oktomap (8.24-8.26). Użyto także ogólnie dostępne bazy danych i pokazano symulacje i wykorzystanie tych baz.

Porównano także różne kryteria oceny dopasowania map. Pokazano błędy i i średnie i statystyczne wartości. Na rys. 8.36 porównano czas integracji map w funkcji rozmiaru (liczby węzłów) dla danych z wielu robotów.

W rozdziale 9 przedstawiono rezultaty integracji map z dostępnych baz danych a także z własnych eksperymentów.

W rozdziale 10 omówiono techniczne i inżynierskie aspekty tworzenia map przy pomocy grupy robotów.

6. Przydatność rozprawy dla nauk inżyniersko-technicznych

W ostatnich 10 latach nastąpił szybki rozwój badań nad robotami i pojazdami autonomicznymi. Pojazdy autonomiczne i systemy stały się popularną metodą rozwiązywania wielu złożonych problemów na świecie. Możliwe zastosowania w codziennym życiu są praktycznie nieograniczone. Nic więc dziwnego, że metody i technologie, które pozwalają na poprawienie jakości życia i wielokrotnienie ludzkich możliwości stały się szybko nieodzowną częścią współczesnej rzeczywistości. Autonomia robotów wymaga nowoczesnych technologii i algorytmów do nawigacji i sterowania. Właśnie w tej ostatniej dziedzinie wpisuje się niniejsza

praca doktorska. Proponowana metoda tworzenia i generowania map do nawigacji robotow moze przyczynic sie do dalszego rozwoju mobilnych systemow autonomicznych.

7. Uwagi i komentarze

Po zapoznaniu sie z rozprawa doktorska Pana mgr. inz. Michala Drwiegi pod tytulem „Lokalizacja i mapowanie w systemie robotow mobilnych” nasuwaja sie nastepujace uwagi

1. Praca doktorska zawiera bardzo dobry przeglad metod stosowanych w nawigacji robotow i pojazdow autonomicznych.
2. Orginalny wklad naukowy nie zostal w pracy nalezycie przedstawiony. Cel pracy jest przedstawiony jako „*Mozna zwiekszyc efektywnosc metod rozwiadzajacych problem SLAM w systemach wielorobotowych przez wymiane informacji miedzy robotami*”. Powyzsze stwierdzenie jest oczywiste i nie zawiera elementu nowosci wymaganego w pracach doktorskich.
3. W czesci dotyczacej metody SLAM nie porownano ani nie przedyskutowano metod FastSLAM i HybridSLAM. Taki przeglad mogl wplynac na wybor zastosowanej metody. Niektore z tych metod omowiono w w pracy Monjazez, A, Sasiadek, J.Z., Necsulescu, D., “HybridSLAM; A Robust Algorithm for Simultaneous Localization and Mapping”, *Proceedings of the 11-th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics (ICINCO)*, Colmar, France, 15-18 July, 2015
4. Praca zoorganizowana jest troche w niekonwencjonalny sposob, tzn. wyniki z eksperymentow i symulacji sa pokazane w wielu rozdzialach co utrudnia analize.
5. Glownym osiagnieciem pracy wydaje sie zmodyfikowanie i opracowanie metody integracji map wielowymiarowych.
6. W pracy nie przedstawiono przekonywujacych argumentow dlaczego integracja map jest metoda lepsza niz integracja danych z urzadzen pomiarowych grupy robotow. Wspomniano jedynie, ze druga metoda potrzebuje wieksze przepustowosci zlacz komunikacyjnych. Szkoda, ze nie przeprowadzono eksperymentu z porownaniem tych dwoch metod.
7. Szkoda, ze nie przeprowadzono wiekszej ilosci eksperymentow i nie skorzystano z duzej bazy danych zwiazanych z pojazdami autonomicznymi, dostepnej w Karlsruhe Institute of Technology (KIT). Na przyklad ciekawym problemem jest analiza wplywu zaklocen na dzialanie poszczegolnych czujnikow i w rezultacie ocena dokladnosci tworzonych map.
8. Celowym jest wskazanie na jakich dokladnie czujnikach opieralo sie mapowanie pokazane w pracy. Jakie dane i z jakie dokladnie czujniki zostaly zintegrowane w celu tworzenia map przez poszczegolne roboty. Coprawda rodzaje czujnikow zostaly omowione ale nie pokazano szczegolow fuzji pomiarow.

9. Pomocnym wydaje się być dodanie do pracy ostatniego rozdziału pod tytułem Wnioski. Część wniosków została umieszczona w Podsumowaniu ale osobny rozdział z wnioskami zapewniłby klarowność pracy.
10. Niektóre pozycje w spisie publikacji są nieprawidłowo przedstawione i nie pokazują pełnej informacji.
11. Praca powinna zawierać spis skrótów literowych używanych w pracy. Autor używa dużej ilości różnego rodzaju skróconych nazw i odpowiedni spis znacznie pomoże w rozumieniu pracy.
12. Programy i kody używane w pracy powinny się znaleźć w Aneksie.

Wyszczególnione w recenzji uwagi krytyczne, w części merytorycznej dyskusyjne, w niczym nie ujmują i nie podważają ogólnej pozytywnej oceny recenzowanej rozprawy doktorskiej.

8. Wniosek końcowy

- 1) Doktorant wykazał się dużą wiedzą i dobrym merytorycznym przygotowaniem do pracy naukowo-badawczej oraz odpowiednimi umiejętnościami analitycznymi i eksperymentalnymi.
- 2) Przedstawione w rozprawie wyniki badań mają dużą wartość poznawczą i praktyczną, i mogą być przydatne zarówno w naukach technicznych jak i nowych projektach i konstrukcjach bioprotez.
- 3) Rozprawa charakteryzuje się dobrym poziomem merytorycznym.

Uważam, że rozprawa doktorska magistra inżyniera Michała Drwiegi pod tytułem „Lokalizacja i mapowanie w systemie robotów mobilnych” spełnia kryteria i wymagania wymagania stawiane pracom doktorskim w obowiązującej Ustawie o stopniach naukowych i wnoszę o jej przyjęcie i dopuszczenie jej do publicznej obrony.


Jerzy Sasiadek