

УДК 004.8

**Ярослав Корнага,
Альона Вітюк****ОЦІНКА ЯКОСТІ СТІЙКОГО ЗАХВАТУ, СПЛАНОВАНОГО
НА ОСНОВІ ТРИВИМІРНОЇ РЕКОНСТРУКЦІЇ ЦІЛЬОВОГО
ОБ'ЄКТУ ПО ЗОБРАЖЕННЯМ З МОНОКАМЕРИ****QUALITY EVALUATION OF THE STABLE GRASP PLANNED
ON THE BASIS OF THE 3D RECONSTRUCTION OF THE OBJECT
USING MONOCAMERA IMAGES**

У статті розглядається проблема оцінки якості побудови тривимірної моделі об'єкту на основі карти навколишнього середовища мобільного робота, що отримана алгоритмом одночасної локалізації та картографування, для здійснення стійкого захвату робочою кінцівкою робота. Якість отриманих моделей проаналізована на основі успішності захватів у спроектованій системі для обробки візуальних даних з моно камери мобільного робота та планування стійкого захвату цільового об'єкту.

Ключові слова: тривимірна реконструкція, захват об'єктів, одночасна локалізація і картографування

Табл.: 1. Бібл.: 14.

The article deals with the problem of estimating the quality of reconstruction of a 3d object model on the basis of a map of the environment of a mobile robot, obtained by the algorithm of simultaneous localization and mapping, in order to achieve a stable grasp of the robot end effector. The quality of the obtained models is analyzed on the basis of the success of the grasps in the developed system for the processing of visual data from the mobile robot mono camera and the planning of the stable grasp of the target object.

Keywords: 3dreconstruction, object grasping, simultaneous localization and mapping

Table.: 1. Bibl.: 14.

Актуальність теми дослідження. Навігація робота за допомогою візуальної інформації полягає у постійному оновленні свого розташування та карти середовища шляхом здійснення вимірів відстані до оточуючих об'єктів. У техногенних умовах процес тривимірної реконструкції на основі декількох зображень може бути використаний, щоб допомогти роботам визначати їх положення у просторі та побудувати тривимірну карту навколишнього середовища.

Алгоритм одночасної локалізації та картографування (Simultaneous Localization and Mapping -- SLAM) вирішує завдання оцінки позиції мобільного датчика та побудови карти навколишнього середовища в режимі реального часу. Монокулярний SLAM, що обробляє дані з однієї камери, став особливо актуальною темою досліджень останнього десятиліття.

Постановка проблеми. Протягом останніх років, дослідження візуальної одометрії досягли значних результатів по підвищенню точності алгоритму

одночасної локалізації та картографування, надійності та ефективності [1]. Здійснено спроби реалізації різних видів візуальної одометрії, наприклад, пряма та непряма (на ключових точках), щільна чи напівщільна оптимізація та розріджена оптимізація. Дослідженню підлягає застосування алгоритму одночасної локалізації і картографування як методу отримання тривимірної реконструкції об'єкту для захвату робочою кінцівкою мобільного робота.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В останні десятиліття проблема автоматичного захоплення невідомих об'єктів стала відігравати все більшу роль в машинному баченні. Більшість розглянутих алгоритмів використовують певний вид навчання для здійснення стійкого захоплення.

Оскільки захоплення передбачає контакт та сили пальців на поверхню об'єкта, то важливо мати достовірну інформацію як про руку, так і про поверхню цільового об'єкта. Необхідно враховувати обмеження руки робота та конфігурації об'єкта, а також обмеження поставленого завдання [2]. Незважаючи на наявність підходу зі здійснення захоплення лише по двовимірним зображенням [3, 4], більшість технік полягають у обробці тривимірних даних. З огляду на складність поставленої задачі, багато робіт були спрямовані на спрощення тривимірної форми, зокрема плоских представленнях [5] та компланарності, що комбінується з інформацією про колір [6]. Інші підходи передбачають наявність точної моделі об'єкта або такої, що складається з високорівневих примітивів. Прикладом є використання принципу синергії руки [7, 8, 9]. Також існує підхід із застосуванням машинного навчання, зокрема алгоритму Support Vector Machines (SVM) та використанням примітивів форм високого рівня [10]. Алгоритм з навчанням на основі якості двовимірних захоплень, що базується на нейронних мережах та генетичному алгоритму, представлений у роботі "Real-Time Visual Grasp Synthesis Using Genetic Algorithms and Neural Networks" [11].

Задача побудови реконструкції навколишнього середовища роботом є актуальною та активно досліджується. Оскільки камери глибини не є настільки поширеними, як кольорові камери, багато робіт пов'язані зі щільними та напівщільними методами одночасної локалізації та картографування (simultaneous localization and mapping - SLAM) по зображенням з однієї камери [12, 13, 14].

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Незважаючи на таку різноманітність досліджуваних підходів, все ще залишається питання щодо ефективності використання моделі навколишнього середовища для планування стійкого захвату об'єкту як деякої частини цього середовища.

Постановка завдання. Для цілісної оцінки роботи модуля тривимірної реконструкції на основі алгоритму одночасної локалізації та картографування як джерела моделі цільового об'єкту, постає задача аналізу ефективності тривимірної реконструкції з точки зору успішності здійснення захватів моделей цільових об'єктів.

Викладення основного матеріалу.

Механізм обміну даними реалізовано на основі системи ROS. Структура, створена під час дослідження, полягає в контролі емульованого захватного пристрою руки Ясо від одного "Master" комп'ютера. Це зроблено шляхом

створення невеликої підмережі видавців ROS, що зв'язує емулятор руки разом з основною системою. Крім того, система пов'язана з монокамерою, яка закріплена на робочій кінцівці робота.

Поки емулятор обробляє дії руки за допомогою бібліотеки MoveIt!, основний комп'ютер може просто відправляти повідомлення і приймати інформацію про стан через обмін у відповідних темах.

Використання ROS значно спрощує інтеграцію між усіма компонентами, оскільки їх нормальне середовище роботи є неоднорідним. Дійсно, емуляція руки системою MoveIt! контролюється окремим пакетом `moveit_setup_assistant`, тоді як обробка зображень з камери та побудова тривимірної моделі середовища запрограмовані за допомогою окремих бібліотек C++ (OpenCV та PCL відповідно). Таким чином, ROS дозволяє автоматизувати зв'язок між різними програмами, що працюють одночасно на одній машині та на інших машинах однієї і тієї ж під мережа.

Для оцінки розробленої системи було обрано 4 моделі цільових об'єктів, що отримані з реконструкції сцени у формі хмари точок. Зокрема, було обрано один об'єкт, який є занадто великим для здійснення захвату обраною кінцівкою. Алгоритм має розпізнати, що об'єкт не підходить та максимальний кут розкриття руки є надто малим.

Як бачимо, система побудови тривимірної моделі об'єкта та планування захвату для невідомих об'єктів демонструє хороші результати (табл. 1). Всі тести було проведено на персональному комп'ютері з процесором 3.2GHz на два ядра та середнім часом роботи близько 485.48 сек., планування оптимального захвату потребувало близько 385.67 сек. Для тестової хмари точок значення наведені у таблиці.

Таблиця 1

Тривалість обчислень

Обчислювальний етап	Час, сек.
Фільтрація хмари точок	14
Генерація мешу	57
Сегментація	3
Планування захвату	380
Загалом	454

Кожен з обраних об'єктів було протестовано на чотирьох хмарах точок, як показано в табл. В жодному випадку робот не зміг здійснити захват об'єкта номер 2 через невідповідність його розмірів, які є занадто великими для даного захватного пристрою. Таким чином, незадовільний захват був успішно протестований. Для того, щоб захват вважався успішним, рука робота повинна взяти об'єкт, стиснути його та тримати без впускання.

В середньому, робот піднімав невідомий об'єкт у 65% випадків, включно з тестовим об'єктом номер 2, який не є задовільним. Якщо не враховувати 2 об'єкт, рівень успішності становить 87%. Для об'єкту у вигляді коробки-паралелепіпеда алгоритм відпрацював ідеально з рівнем успіху 100%. Хоча, об'єкти такі як чашка та іграшковий автомобіль є більш складними, адже містять кривизну та неоднорідність поверхонь, результати їх захвату є досить успішними з невеликим рівнем помилкових захватів.

Таблиця 2

Успішність спланованих захватів тестових об'єктів

Номер	Об'єкт	Рівень успішності захвату
1	Коробка	100%
2	Кулька	0%
3	Чашка	85%
4	Іграшковий автомобіль	75%
Загалом		65% (87%)

Висновки. У статті проаналізовано ефективність роботи системи тривимірної реконструкції на основі алгоритму одночасної локалізації та картографування як джерела моделі цільового об'єкту з точки зору успішності здійснення захватів моделей цільових об'єктів, що отримані даною системою.

Для цього розроблено систему побудови тривимірної реконструкції середовища на основі даних системи комп'ютерного зору робота для планування стійкого захвату цільового об'єкта. Розробка здійснена на основі таких принципів взаємодії компонентів: засобами системи відбувається обмін даними між підсистемами обробки вхідних зображень з камери, побудови тривимірної реконструкції середовища, отримання тривимірної моделі об'єкту та планування стійкого захвату робочою кінцівкою.

Здійснено загальну оцінку рівня успішності запланованих захватів на наборі тестових об'єктів. При цьому загальний рівень успішності виконання захвату є досить високим – 87%, що свідчить про високу ефективність розглянутої системи.

Перелік посилань

1. Engel, Jakob & Schoeps, Thomas & Cremers, Daniel. (2014). LSD-SLAM: large-scale direct monocular SLAM. Eur. Conf. Comput. Vis.. 8690. 1-16. 10.1007/978-3-319-10605-2_54.
2. Sancho-Bru JL, Mora MC, Leon BE, Perez-Gonzalez A, Iserte JL, Morales A., "Grasp modeling with a biomechanical model of the hand", Comput Methods Biomech Biomed Eng 17(4):297-310, 2014
3. Han, Yuexing, Bing Wang, Hideki Koike and Masanori Idesawa. "Object Recognition with a Limited Database Using Shape Space Theory." Image Processing: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications, 2013, pp.181-200
4. Michael Laskey, Jeffrey Mahler, Zoe McCarthy, Florian T. Pokorny, Sachin Patil, "Multi-Armed Bandit Models for 2D Grasp Planning with Uncertainty.", IEEE Conference on Automation Science and Engineering, 2015.
5. Ala R.K., Dong H.K., Shin S.Y., "A 3D-grasp synthesis algorithm to grasp unknown objects based on graspable boundary and convex segments", Inf. Sci. 295, 2015, pp.91-106.
6. Popovic M., Kraft D., Bodenhagen L., Baeski E., Pugeault N., Kragic D., Asfour T., Kruger N., "A strategy for grasping unknown object based on co-planarity and colour information", Robot. Auton. Syst. 58(5), 2010, pp.551-565.
7. M. Bonilla, D. Resasco, M. Gabiccini, and A. Bicchi, "Grasp Planning with Soft Hands using Bounding Box Object Decomposition", IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), Hamburg, Germany, pp. 498-503 (2015).

8. M. Bonilla, E. Farnioli, L. Pallottino, A. Bicchi, “Sample-Based Motion Planning for Robot Manipulators with Closed Kinematic Chains”, IEEE ICRA, Seattle, Washington, USA (2015).
9. Tamim Asfour, Júlia Borrás, Christian Mandery, Peter Kaiser, Eren Erdal Aksoy, and Markus Grotz, “On the dualities between grasping and whole-body locomanipulation tasks“, International Symposium on Robotics Research (ISRR) (2016).
10. R. Pelossof, A. Miller, P. Allen, and T. Jebara, “An SVM Learning Approach to Robotic Grasping,” in IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2004, pp. 3512–3518.
11. Huang, Bidan, Sahar El-Khoury, Miao Li, Joanna J. Bryson, and Aude Billard, “Learning a real time grasping strategy” In IEEE international conference on robotics and automation (ICRA), Karlsruhe, 2013, pp.593-600.
12. R. A. Newcombe, S. Lovegrove, and A. J. Davison. Dtm: Dense tracking and mapping in real-time. In IEEE ICCV, pages 2320– 2327, 2011
13. J. Engel, T. Schps, and D. Cremers. LSD-SLAM: LargeScale Direct Monocular SLAM. In European Conference on Computer Vision (ECCV), 2014.
14. R. Mur-Artal, J. M. M. Montiel, and J. D. Tards. Orb-slam: A versatile and accurate monocular slam system. IEEE Trans. Robotics, 31(5):1147–1163, 2015

ДОВІДКА ПРО АВТОРІВ.

Корнага Ярослав Ігорович - кандидат технічних наук, доцент кафедри технічної кібернетики Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Kornaga Yaroslav - associate Professor of the Department of Technical Cybernetics, PhD of the National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute».

E-mail: slovyan_k@ukr.net

Вітюк Альона Євгеніївна - студентка кафедри Технічної Кібернетики Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Vitiuk Alona - student of the Department of Technical Cybernetics of the National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute».

E-mail: alyonavityuk@gmail.com

**Yaroslav Kornaga,
Alona Vitiuk**

QUALITY EVALUATION OF THE STABLE GRASP PLANNED ON THE BASIS OF THE 3D RECONSTRUCTION OF THE OBJECT USING MONOCAMERA IMAGES

Relevance of research topic. Navigation of the robot using visual information means continually update its location and environment maps by making measurements of distance to surrounding objects. In anthropogenic conditions, the process of 3d reconstruction based on multiple images can be used to help robots determine their position in space and build a three-dimensional environmental map.

The research objective. Research of the application of the simultaneous localization and mapping algorithm as a method for obtaining a 3d reconstruction of the object for a mobile robot grasping.

Actual scientific researches and issues analysis. In recent decades, the problem of automatic grasping of unknown objects began to play an increasingly important role in the machine vision. Most of the considered algorithms use predefined object model for grasping.

Uninvestigated parts of general matters defining. Despite such a variety of research approaches, there is still a question about the effectiveness of using an environmental model to plan a stable grasp of an object as part of this environment.

Target setting. In order to evaluate the effectiveness of the 3d reconstruction module on the basis of the simultaneous localization and mapping algorithm as the source of the model of the target object, the task of analyzing the effectiveness of the 3d reconstruction in terms of the success of the seizure of the target object models is presented.

The statement of basic materials. The system of constructing a 3d reconstruction of the environment based on the data of the system of computer vision work is developed for planning of the sustainable seizure of the target object. The overall assessment of the level of success of the planned grasps in the set of test objects is carried out.

Conclusions. The overall assessment of the level of success of the planned seizures on a set of test objects was performed. At the same time, the overall level of success of the capture is quite high - 87%, which indicates the high efficiency of the considered system.

Key words: 3d reconstruction, object grasping, simultaneous localization and mapping.