Metody fuzji danych ilościowych i jakościowych wykorzystujące optymalizację grafu ograniczeń w problemie jednoczesnej samolokalizacji i budowy mapy środowiska

Michał Nowicki

Problem lokalizacji poza budynkami jest zazwyczaj rozwiązywany za pomocą odbiorników sygnału GPS, które są dostępne w nowoczesnych urządzeniach mobilnych oraz są podstawą nawigacji używanych w samochodach. Sygnał GPS pochodzący z satelit okrążających Ziemię nie jest jednak dostępny wewnątrz budynków bez dodatkowych nadajników. Dlatego konieczne jest poszukiwanie nowych metod umożliwiających lokalizację w przypadku braku sygnału GPS. Przedstawiona rozprawa doktorska skupia się na problemie lokalizacji dla robotów mobilnych oraz ludzi wyposażonych w nowoczesne urządzenia mobilne. Zaproponowany system lokalizacji oparty jest na fuzji wielosensorycznej za pomocą grafu ograniczeń, w którym łączone są pomiary metryczne nazywane informacją ilościową oraz przesłanki lokalizacji nazywane informacją jakościową.

System lokalizacji wykorzystuje różne źródła informacji. Dla sensora RGB-D zamontowanego na robocie zaproponowano system odometrii wizyjnej (ang. *Visual Odometry*), który estymuje przekształcenie pomiędzy kolejnymi klatkami w sekwencji. W rozprawie system odometrii wizyjnej rozwinięty jest także do systemu SLAM (ang. *Simultaneous Localization and Mapping*) opartego na pozach sensora (ang. *pose-based SLAM*) oraz stanowi podstawę systemu SLAM wykorzystującego cechy (ang. *feature-based SLAM*). Działanie przedstawionych systemów zweryfikowane jest na danych syntetycznych, danych zebranych w warunkach rzeczywistej użytkowania oraz w finalnym eksperymencie na robocie kroczącym. Osobisty system lokalizacji wykorzystuje natomiast sensory dostępne w urządzeniu mobilnym, które umożliwiają powstanie systemów pozwalających na wykrywanie zmiany piętra, wykrycie orientacji urządzenia, zliczanie kroków, wykorzystanie sygnałów WiFi do lokalizacji oraz wykorzystanie znaczników w środowisku. Rozprawa zawiera dokładne przedstawienie wymienionych systemów oraz propozycję fuzji informacji z tych systemów w grafie ograniczeń.

Wykorzystanie informacji ilościowej umożliwia powstanie dokładnych systemów lokalizacji dla robotów i osób, ale nie wykorzystuje w pełni dostępnych informacji. Dlatego w rozprawie przedstawione są metody ekstrakcji oraz wykorzystanie informacji jakościowej w celu zwiększenia precyzji oraz niezawodności systemu. Informacja jakościowa rozumiana jako przesłanki lokalizacyjne może pochodzić z wykrywania ruchu na schodach lub w windach, wykorzystania planów budynku, wizyjnego rozpoznawania miejsc oraz bezpośrednio od użytkownika. W rozprawie przedstawione są także metody łączenia informacji jakościowej i ilościowej we wspólnej optymalizacji grafu ograniczeń, które umożliwiają wykrywanie błędnych lub niedokładnych pomiarów.

Wynikiem badań jest kompletny system lokalizacji w budynkach, który wykorzystuje graf ograniczeń do fuzji danych ilościowych i jakościowych. Wynikowy system jest precyzyjny, niezawodny i umożliwia odrzucenie niepoprawnych i niedokładnych pomiarów.

Michał Nowicki

Methods for the fusion of quantitative and qualitative information using factor graph optimization for the simultaneous localization and mapping problem

Michał Nowicki

Outdoor localization is usually solved with the help of Global Positioning System (GPS) adapters that are available in all modern mobile devices and are commonly used in cars for navigation purposes. But the GPS signal comes from satellites and is not available indoors. Therefore, new methods for indoor localization are sought. The dissertation focuses on the indoor localization problem for mobile robots and people equipped with mobile devices such as smartphones and tablets. The proposed solution is based on multi-sensor fusion performed using a graph-based optimization technique that utilizes metric measurements called quantitative information and localization cues that introduce qualitative information in the localization procedure.

The localization system utilizes different sources of information. In the case of an RGB-D sensor mounted on a robot, the Visual Odometry system is proposed that estimates frame-to-frame motion. This system is expanded to form a more complex pose-based SLAM system, and it serves as a building block for feature-based SLAM systems. The performance of metric robotic localization is verified in synthetic and real-life scenarios, with the final experiment performed on a walking robot. Personal localization is performed on the basis of the sensors available in the mobile device. The available sensors allow to detect a floor change, detect user orientation, count steps, utilize WiFi signals and available landmark information. The dissertation presents these systems and proposes a way of fusing the information using graph-based optimization.

The available metric measurements allow to form a precise indoor localization system for robots and people but do not fully utilize the available information. Therefore, the dissertation proposes to extract and utilize qualitative information to increase robustness and precision in a joined localization framework. The localization remarks come from detecting motion using stairs or elevators, utilizing map layout, visual place recognition and also utilizing user input. The dissertation proposes methods to combine qualitative information with metric constraints in a joined graph-based optimization framework and allows to detect wrong and incorrect measurements.

The contribution of the dissertation is a complete indoor localization system that utilizes graph-based optimization to fuse metric measurements with localization cues. Such a system is accurate, robust, and provides localization even when some localization subsystems yield wrong or inaccurate measurements.

Michał Nowicki