

# Rozwój metod śledzenia markerów pasywnych dedykowanych dla lekkich jednostek latających z wykorzystaniem optycznych systemów przechwytywania ruchu

## Streszczenie

Rosnące zainteresowanie lekkimi jednostkami latającymi stawia przed badaczami kolejne, nieznane dotychczas wyzwania i otwiera nowe kierunki badań. Wraz z postępującym procesem miniaturyzacji dronów, pojawiło się pytanie, w jaki sposób skutecznie zbierać dane o pozycjonowaniu tego typu jednostek w warunkach laboratoryjnych, aby pomiar przy użyciu systemu referencyjnego był dokładny i pozwolił na rzetelną analizę zachowań tych jednostek, a dalej na ich rozwój. W dobie robotów jeżdżących, kroczących, dużych jednostek latających, czy manipulatorów, narzut masy zastosowanych znaczników, niezbędnych dla systemu przechwytywania ruchu, był praktycznie niedostrzegalny. Sytuacja zmieniła się, gdy na rynku pojawiły się konstrukcje o masie kilkudziesięciu gramów, których nośność ograniczona była do zaledwie kilkunastu gramów. Te kilka dodatkowych gramów w postaci znaczników, ich asymetryczny układ oraz ich kształt zmieniający bryłę i aerodynamikę obiektu, mogą wpływać na jego zachowanie.

Tematyka niniejszej rozprawy dotyczy optycznych systemów przechwytywania ruchu i ich dostosowania do kontroli lotu lekkich jednostek latających. Istotą pracy jest poznanie czynników warunkujących widoczność markerów pasywnych w systemach działających w paśmie podczerwonym światła oraz zaproponowanie rozwiązań, które mogą wspomóc badaczy, zarówno w ujęciu technik materiałowych jak i doboru ustawień kamer. Praca w sposób kompleksowy przedstawia problematykę systemów przechwytywania ruchu, tak aby czytelnik bez szczegółowej analizy zaproponowanych rozwiązań, mógł skorzystać z uzyskanych wyników w swoich pracach badawczych. Rozprawa zawiera charakterystykę najpopularniejszych typów systemów przechwytywania ruchu dostępnych na rynku oraz szczegółowo omawia zagadnienia związane z optycznymi systemami przechwytywania ruchu. Przybliża elementy składowe systemu, takie jak kamera, stacja robocza oraz markery, a także prezentuje uproszczony model jego działania. W kontekście lepszego zrozumienia budowy markerów pasywnych, praca obejmuje zagadnienia związane z materiałami retrorefleksyjnymi, które to materiały stanowią podstawę do budowy znaczników. Wprowadza także czytelnika do obszaru badawczego, w którym porusza się autor, poprzez przegląd aktualnego stanu wiedzy oraz klasyfikację kierunków rozwoju optycznych systemów przechwytywania ruchu. Uwypuklone zostały te, wymagające dodatkowej eksploracji.

Praca badawcza obejmowała zarówno uzupełnianie braków w literaturze, jak i rozszerzanie aktualnego stanu wiedzy. Zaproponowane zostały wskaźniki jakości, które to pozwalają na ocenę widoczności obiektu i markerów tworzących obiekt oraz prosty mechanizm wykrywania fałszywych znaczników. Przeanalizowano wpływ czynników środowiskowych na proces śledzenia oraz przeprowadzono prace mające na celu określenie wpływu temperatury kamer na widoczność markerów oraz dokładność ich pozycjonowania. Zbadano zależność widoczności znaczników od ustawień czasu ekspozycji oraz progu detekcji, dla różnych częstotliwości rejestracji obrazu. W opar-

ciu o zebrane wyniki, zaproponowano algorytmy pozwalające na automatyzację tego procesu. Rozszerzono również aktualny stan wiedzy w zakresie materiałów retrorefleksyjnych w ujęciu ich użycia w systemach optycznego przechwytywania ruchu. Przetestowano dziesiątki materiałów, sprawdzając generowaną przez nie poświatę, ich widoczność kątową oraz możliwość ich wykorzystania do budowy znaczników płaskich i sferycznych. Każdy aspekt badań został zweryfikowany empirycznie w oparciu o dostępne systemy przechwytywania ruchu (łącznie trzy zestawy), trzy lekkie jednostki latające oraz jeden manipulator. Wśród jednostek latających pojawiła się także jedna jednostka inspirowana naturą (skrzydlata) o odmiennej charakterystyce lotu, co pozwoliło wykazać, że i w przypadku tego typu konstrukcji masa znaczników ma znaczący wpływ na lot.

Przedstawione w pracy wyniki jednoznacznie wskazują na możliwość dostosowania optycznych systemów przechwytywania ruchu pod kątem śledzenia lekkich jednostek latających, bez specjalistycznej wiedzy, przy niewielkim nakładzie czasu oraz niewielkim lub zerowym koszcie. Wykazano, że możliwe jest użycie markerów płaskich jako lekkiej alternatywy dla znaczników sferycznych, znacznie cięższych i wystających poza obrys jednostki latającej. W większości testowanych scenariuszy nie mają one negatywnego wpływu na widoczność jednostki, a ich dobra widoczność kątowa nie pogarsza dokładności pozycjonowania obiektu. Stwarza to nowe możliwości w ujęciu efektywnego pozycjonowania także jednostek o większej nośności, których aerodynamika może zostać zaburzona przez elementy wystające poza bryłę robota. Takimi jednostkami są na przykład lekkie sterowce.

**Słowa kluczowe:** *optyczne systemy przechwytywania ruchu, lekkie jednostki latające, markery pasywne, materiały retrorefleksyjne, dobór ustawień kamer*

## Abstract

*Growing popularity of lightweight flying units is a challenge for researchers. This field gives an opportunity to explore new areas of research. With improving miniaturization process of the drones, the question has arisen – how to effectively gather the data related to this type of units in indoor environment, in a way that the measurements of the referencing system will be accurate and will allow to reliably analyze the behavior of the units. In the era of wheeled robots, walking robots, large flying robots or manipulators, the overhead of motion capture systems in the case of the marker mass was insignificant. The situation has changed with the arrival of small constructions on the market with masses in tens of grams. In their case, the additional several grams related to the markers, their asymmetrical placement and their shape, could have an impact on the behavior of the units. What is more, the shape could also affect the units aerodynamic.*

*The topic of the dissertation is related to the optical motion capture systems and their adjustability in the case of lightweight flying units. The important part of the work is to find and identify the factors that affect the visibility of the passive markers in the systems working in the infrared light spectrum. The work proposes a solution that can support the researcher both in material techniques and adjusting camera settings. The work is a comprehensive compendium of knowledge, that allows the research context, area and results to be understood by ordinary readers. The document contains characteristics of the most common types of motion capture systems and discusses in detail how the optical system exactly works. The essential elements of the system such as camera, workstation and markers are described. For a better understanding of how the passive markers are built, the topic related to the retro reflective materials is addressed. The reader is also introduced to the current state of the art. The description of the state is based on a summary of some important articles and by introducing a classification of research directions in optical motion capture systems. The most important directions are highlighted.*

*The research work fills the gaps in the literature and extends the current state of the art. The author has proposed quality indexes. The indexes allow to evaluate the visibility of the object and the markers used to construct the object, as well as simple false marker detection mechanism. The environmental factors that could affect the tracking quality have been analyzed. The effect of the camera temperature on the visibility of the markers and their positioning accuracy has been studied. The research includes an analysis of the dependency of marker visibility in the case of camera exposure time and threshold for different frame rates. On the basis of results obtained, the algorithms that allow automatic adjustment of the settings have been proposed. The current the state of the art has also been extended by the research in the field of retro reflective materials in the case of their usability in the optical motion capture system. The tests included tens of materials and were related to the*

*overflow produced by the materials and their angular visibility. They also include possibility of making flat and spherical markers. Each aspect of the research was empirically verified on three different sets of motion capture systems, three flying units and a one manipulator. Among the units, one of them was a bioinspired flying unit (winged) with different flight capabilities, which allowed to identify the impact of passive marker's mass on the construction such as that.*

*The results presented in the dissertation confirm that it is possible to adjust the optical motion capture systems in the case of lightweight flying units. The process not require specialist knowledge and can be done in a short time at little or no cost. It has been shown that it is possible to use flat markers as a lightweight alternative to spherical markers, which are much heavier and can protrude beyond the outline of the units. In most testing scenarios, they have no negative effect on object visibility. Furthermore, their good angular visibility does not negatively affect positioning accuracy. This allows them to be used on larger flying units where the aerodynamic may be disturbed by spherical markers. These units are lightweight aerostats.*

**Keywords:** *optical motion capture systems, lightweight flying units, passive markers, retroreflective materials, camera adjustment*

**Title:** *Development of passive marker tracking methods dedicated to lightweight flying units in optical motion capture systems*