



Aktywne obrazowanie w monitoringu i diagnostyce technicznej

MAREK PISZCZEK

Wojskowa Akademia Techniczna, Instytut Optoelektroniki,
00-908 Warszawa, ul. gen. S. Kaliskiego 2, mpiszczek@wat.edu.pl

Streszczenie. Aktywne kamery oferują ponadstandardowe możliwości pozyskiwania informacji o obserwowanej scenie m.in. w zakresie definiowania przestrzeni i czasu obserwacji czy też obrazowania przy ograniczonej widoczności. Z kolei aktywna wizualizacja techniką rozszerzonej rzeczywistości ułatwia percepcję danych użytkownikowi. Proponowane rozwiązania oferują łącznie unikalne możliwości obserwacyjno-pomiarowe m.in. w obszarze monitoringu terenu i diagnostyki technicznej. Zastosowanie aktywnych metod akwizycji i wizualizacji danych istotnie wpływa na zwiększenie potencjału systemów informacyjnych.

Słowa kluczowe: aktywne obrazowanie, rozszerzona rzeczywistość, cyfrowe przetwarzanie obrazów
DOI: 10.5604/12345865.1116911

1. Wprowadzenie

Systemy wizyjne mają istotne znaczenie dla rozwoju społeczeństwa informacyjnego. Obraz jest bowiem takim „fenomenem”, dzięki któremu człowiek jest w stanie pozyskiwać w najkrótszym czasie najwięcej informacji. Ewolucyjne przystosowanie do percepcji informacji obrazowej wskazuje na to, że stanowi ona ponad 80% wszelkiej informacji pozyskiwanej dostępnymi zmysłami. Trudno polemizować z określeniem, że „obraz to więcej niż tysiąc słów”. A skoro tak jest w istocie, to trudno się dziwić, że dążymy do prezentacji wszelkich informacji właśnie w postaci wizualnej.

Obserwujemy obecnie dynamiczny rozwój nauki i techniki w zakresie systemów obrazowania. Jednak istnieją pewne obszary szczególnego zainteresowania — należą

do nich m.in. aktywne metody pozyskiwania i prezentacji informacji obrazowej, inaczej mówiąc, „aktywne” obrazowanie.

Aktywność obrazowania w obszarze pozyskiwania informacji wiąże się z zastosowaniem podświetlania obserwowanej sceny. Oczywiście podświetlanie może wiązać się z różnymi kwestiami, np. doświetlaniem sceny umożliwiającym rejestrację obrazu o odpowiedniej jakości, impulsowym podświetleniem w celu uchwycenia dynamiki lub cykliczności zjawiska czy też oświetleniem obiektu w celu rejestracji zjawisk fotoluminescencji. W artykule skupiamy się jednak na jeszcze innym zjawisku dotyczącym możliwości tzw. kadrowania przestrzenno-czasowego obserwowanej sceny. Dzięki takiej metodzie rejestracji obrazu można definiować nie tylko czas obserwacji, lecz także trójwymiarową przestrzeń obserwowanej sceny [1, 2].

Aktywność obrazowania w obszarze wizualizacji informacji dotyczy bezpośrednio zagadnień z zakresu interakcji człowiek–maszyna–środowisko.

Ogólnie owa interakcja może dotyczyć różnych aspektów, jednak artykuł koncentruje się na możliwościach techniki rozszerzonej rzeczywistości, w której kluczowym problemem jest wizualizacja danych zorientowanych przestrzennie, inaczej mówiąc informacji ściśle skorelowanej z tym, co jest w polu widzenia tzw. mobilnego (aktywnego) obserwatora [3, 4].

Omawiane zagadnienia prezentują główny nurt prac realizowanych w Laboratorium Badawczym Inżynierii Informacji Obrazowej Instytutu Optoelektroniki WAT.

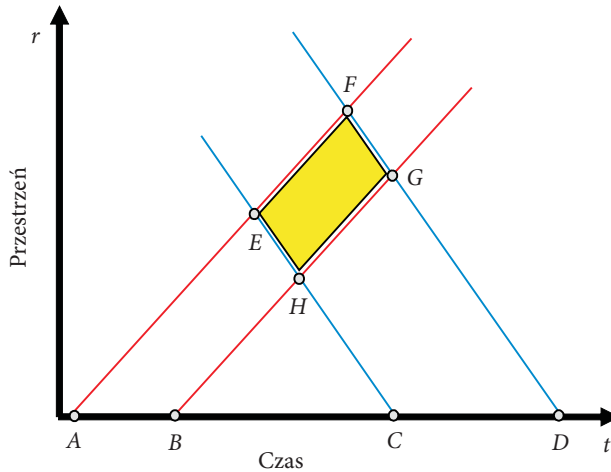
2. Pozyskiwanie danych obrazowych metodą kadrowania przestrzenno-czasowego

Urządzenia wykorzystujące aktywną akwizycję obrazu oferują znacznie więcej możliwości niż klasyczne (pasywne) kamery. Najlepszym przykładem tego jest tzw. metoda kadrowania przestrzenno-czasowego. Specyficzna własność tego rozwiązania polega m.in. na selektywnej obserwacji przestrzeni. Dlatego też w opracowaniach anglojęzycznych używa się określenia *Range Gated Imaging*. Poza przestrzenią istnieje również możliwość definiowania czasu obserwacji, a tak na prawdę definiowany jest kadr przestrzenno-czasowy (rys. 1).

Podstawowe założenia metody:

- wykorzystanie oświetlenia impulsowego (krótkoczasowego na poziomie nanosekundowym),
- zastosowanie detekcji (krótkoczasowej na poziomie nanosekundowym),
- półproste AF i BG opisują propagację promieniowania z oświetlacza w przestrzeni r w funkcji czasu t (punkty A i B oznaczają odpowiednio początek i koniec impulsu oświetlającego na wyjściu oświetlacza),

- półproste CE i DF opisują propagację w czasie t promieniowania odbitego od obiektów na odległości r w kierunku odbiornika (punkty C i D oznaczają odpowiednio początek i koniec detekcji na wejściu odbiornika).



Rys. 1. Graficzna metoda projektowania kadru przestrzenno-czasowego

Podstawowe parametry opisujące horyzont rejestrowanych zdarzeń w przestrzeni i czasie (obszar ograniczony łamaną zamkniętą $EFGH$):

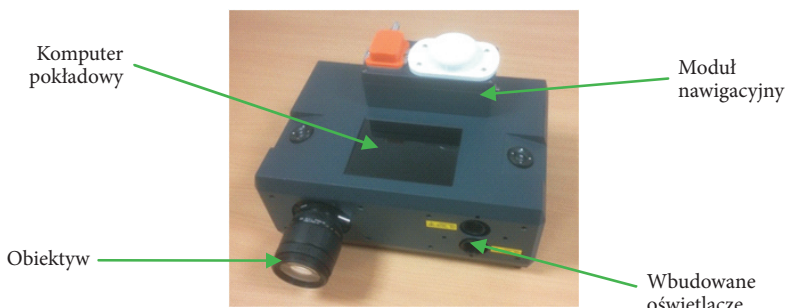
- czas trwania impulsu $T_N = B(t) - A(t)$,
- czas trwania detekcji $T_O = D(t) - C(t)$,
- opóźnienie między oświetleniem a detekcją $T_X = C(t) - A(t)$,
- początek w czasie rejestrowanych zdarzeń $T_{START} = E(t)$,
- przedział czasowy rejestrowanych zdarzeń $\Delta T = G(t) - E(t)$,
- minimalna odległość do obserwowanej sceny $R_{START} = H(t)$,
- głębokość obserwowanej sceny $\Delta R = F(r) - H(r)$.

W IOE-WAT zostało opracowane eksperymentalne urządzenie działające wg powyższej metody, które nazwano Urządzeniem Fotografii Laserowej — UFL (rys. 2).

Kamera posiada możliwość współpracy z różnymi obiektywami w standardzie Nikon. Średnica zastosowanego elementu czułego wynosi 18 mm, a oferowana rozdzielczość to 1360×1024 przy głębi 14-bitowej. Kamera może współpracować z wbudowanymi oświetlaczami półprzewodnikowymi (850 nm — 50 ns, 905 nm — 7 ns) lub z zewnętrznym oświetlaczem większej mocy (np. DPSS Laser 532 nm — 2 ns).

Najbardziej charakterystyczne parametry tego urządzenia to:

- minimalna głębokość obserwacji $\Delta R_{\min} = 75$ cm,
- minimalny krok kadrowania przestrzeni $R_{\text{krok}} = 15$ cm.



Rys. 2. Eksperymentalne Urządzenie Fotografii Laserowej

Możliwy do uzyskania zasięg obserwacji > 1 km przy — sprzyjających warunkach atmosferycznych i wąskim kącie obserwacji.

3. Prezentacja informacji obrazowej metodą rozszerzonej rzeczywistości

Aktywna prezentacja informacji wizualnej wiąże się z użyciem metod rozszerzonej rzeczywistości. Technika ta staje się ostatnimi czasy coraz bardziej popularna, a liczne przykłady aplikacyjne tego rozwiązania znajdujemy na urządzeniach mobilnych. Czym jest w istocie metoda rozszerzonej rzeczywistości? W najprostszy sposób można to przedstawić graficznie (rys. 3).



Rys. 3. Wizualizacja informacji z udziałem treści świata rzeczywistego i wirtualnego

Jeśli na jednym z końców reprezentacji wirtualność–rzeczywistość umieścimy świat realny, a na przeciwległym świat wirtualny, to wszystko pomiędzy możemy określić mianem świata mieszanego. Świat rzeczywisty jest tym, co jesteśmy w stanie bezpośrednio postrzegać zmysłowo, z kolei świat wirtualny jest tworem syntezowanym komputerowo. Świat mieszany zawiera zarówno elementy realne, jak i wirtualne. Od stopnia przenikania się tych światów zależy, czy mamy do czynienia z rozszerzoną wirtualnością (przewaga

danych syntezowanych komputerowo), czy też z rozszerzoną rzeczywistością (świat realny tylko w pewnym stopniu uzupełniony danymi komputerowymi).

We wstępie artykułu zwrócono uwagę na zagadnienie „aktywnej wizualizacji”, czyli takiej, w której obserwator (tzw. mobilny użytkownik systemu wizyjnego) swoim zachowaniem decyduje o tym, jakie dane „widzi” lub inaczej, jakie informacje dostarcza mu system techniczny. Co kryje się pod pojęciem „zachowania”? Otóż nie mamy tutaj na myśli manualnej (ręcznej) obsługi sprzętu, a raczej bardziej naturalne elementy zachowania związane z położeniem i orientacją obserwatora w przestrzeni. Ewolucyjnie wykształcona ciekawość przejawia się w określonym zachowaniu. Przykładowo aby poznać zmysłowo obiekt, obserwujemy go z różnych stron, przemieszczamy się wokół niego, pochylamy, zwracamy wzrok w tę czy inną stronę. Tego typu elementy naszego zachowania można przełożyć na matematyczny opis, w którym istotnymi elementami są m.in. lokalizacja (x, y, z) i orientacja (α, β, γ) w przestrzeni zarówno obserwatora, jak i obiektów będących przedmiotem obserwacji. I tutaj dochodzimy do sedna problemu. Za pomocą posiadanych zmysłów potrafimy doskonale charakteryzować obiekty w sferze organoleptycznej — niejednokrotnie znacznie lepiej niż potrafią to zrobić dostępne urządzenia techniczne. Jednak nie jesteśmy w stanie przekroczyć naszych barier zmysłowych. Jesteśmy stosunkowo ograniczeni w zakresie możliwości pozycjonowania w przestrzeni zarówno własnej lokalizacji i orientacji, jak i innych obiektów. I choć z pomocą przychodzą nam różne rozwiązania techniczne, m.in. takie jak systemy nawigacyjne (satelitarne — GPS, zaliczeniowe — INS), to i tak nie jesteśmy w stanie bezpośrednio korzystać z tych danych i wymagane jest użycie „elementów pośredniczących”, np. podkładu mapowego. Czy jesteśmy zatem skazani tylko na tego typu „półśrodki”? Oczywiście nie. Sposobem na osiągnięcie znacznie większych możliwości w zakresie prezentacji informacji zorientowanej przestrzennie jest właśnie użycie technik rozszerzonej rzeczywistości.

Kluczem do sukcesu jest możliwość określania wzajemnych relacji przestrzennych między obserwatorem a obiektem. Przyjmując, że interesujące obserwatora



Rys. 4. Synteza informacji obrazowej w polu widzenia obserwatora

obiekty są stacjonarne, informacje o nich mogą być przechowywane w bazach danych i przekazywane obserwatorowi. W przypadku pozycjonowania obserwatora można wykorzystać dane czujnikowe zintegrowane z urządzeniem do wizualizacji (np. moduły 6-DoF — HMD, tablet, smartfon), dane pochodzące z analizy fotokodów oraz eye-tracking [5].

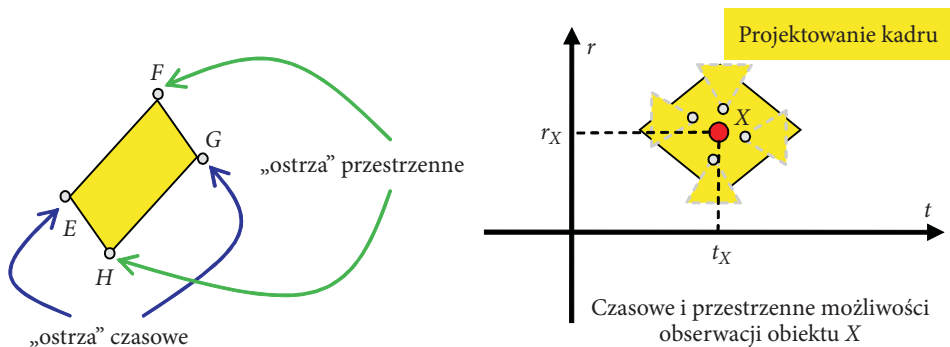
W zależności od stosowanego rozwiązania, wymagane może być „złożenie” danych pochodzących z różnych układów współrzędnych związanych z obserwatorem jak i obiektem (rys. 4).

4. Możliwości aplikacyjne aktywnego obrazowania

Omówione w poprzednich rozdziałach „aktywne” metody pozyskiwania i prezentacji informacji obrazowej charakteryzują się dużymi możliwościami zastosowań. Ze względu na swoją specyfikę, metody te stosuje się zazwyczaj rozłącznie (w ujęciu aplikacyjnym), choć oczywiście można ich użyć łącznie, uzyskując tym samym zwiększenie potencjału informacyjnego.

Elementem wspólnym aktywnej akwizycji i wizualizacji są tzw. metadane obrazowe. W pozyskiwaniu obrazu wynikają one bezpośrednio z procesu projektowania kadru, a uzupełnienie ich o elementy orientacji zewnętrznej i wewnętrznej układu akwizycji umożliwia wykonywanie zaawansowanych analiz i interpretacji przestrzennych. W prezentacji informacji metadane są niezbędne do określenia, gdzie i jakie dane mają zostać zwizualizowane. Istotne metadane można podzielić na pięć głównych kategorii: czasowe, przestrzenne, radiometryczne, spektralne i tekstowo-graficzne.

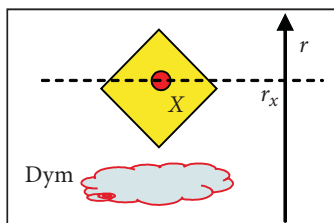
Z punktu widzenia pozyskiwania obrazu najistotniejsze są metadane czasowe i przestrzenne. Dzięki nim można zdefiniować horyzont rejestrowanych zdarzeń (rys. 5). Parametry energetyczne i spektralne wykorzystywane są podczas obserwacji w sytuacjach ograniczonej widoczności.



Rys. 5. Projekt kadru przestrzenno-czasowego do obserwacji obiektu

Przykładowe rozwiązania:

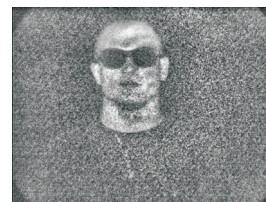
- a) Monitoring akcji ratowniczych oraz przebiegu imprez masowych
— obserwacja przez dym



Projekt kadru

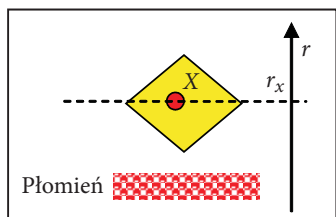


Klasyczny obraz



Aktywne obrazowanie

- obserwacja przez płomień



Projekt kadru

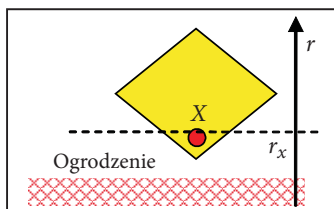
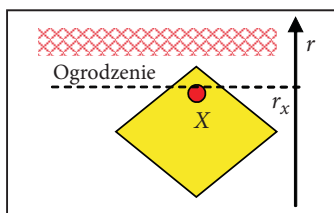


Klasyczny obraz



Aktywne obrazowanie

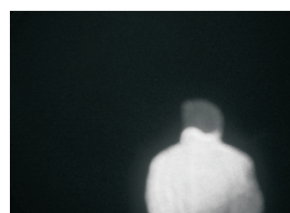
- b) Monitoring rozległego terenu, np. lotnisko, pas przygraniczny
— obserwacja strefy przed i za ogrodzeniem



Projekty kadrów

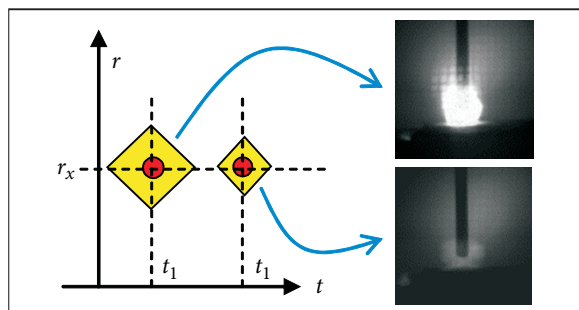


Klasyczny obraz

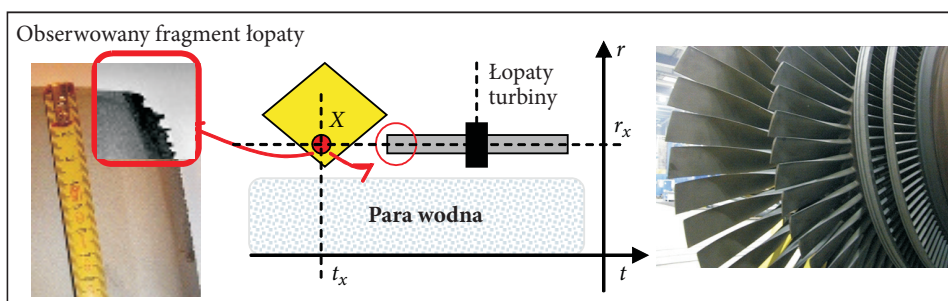


Aktywne obrazowanie

- c) Diagnostyka techniczna obiektów i procesów
 — analiza zjawisk ablacji w procesie mikroobróbki laserowej



- analiza stopnia degradacji łopat turbin podczas pracy (wstępny etap prac)



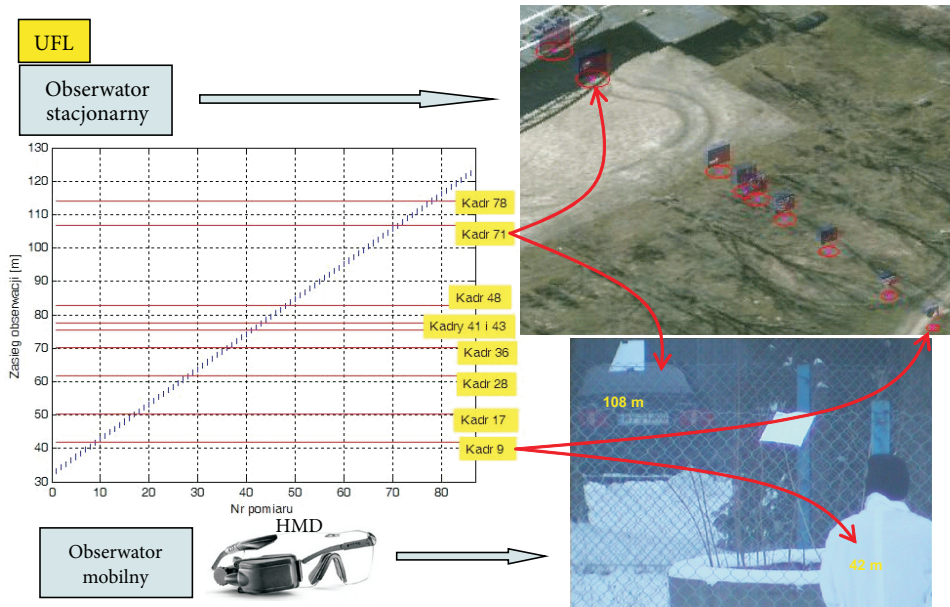
Z punktu widzenia wizualizacji informacji najistotniejsze są metadane przestrzenne. To dzięki nim można wyznaczyć wzajemne relacje przestrzenne między obiektem i obserwatorem, a w efekcie określić, gdzie w polu widzenia obserwatora przedstawić skorelowaną z tym miejscem informację.

Przykładowe rozwiązania:

- a) Wizualizacja informacji pomiarowych z aktywnej akwizycji obrazu
 Metoda kadrowania przestrzenno-czasowego poza możliwościami obserwacyjnymi oferuje również szereg funkcji pomiarowych, do których m.in. możemy zaliczyć: estymację odległości do obiektu i jego geometrii, pozycjonowanie obiektów w trójwymiarowej przestrzeni.

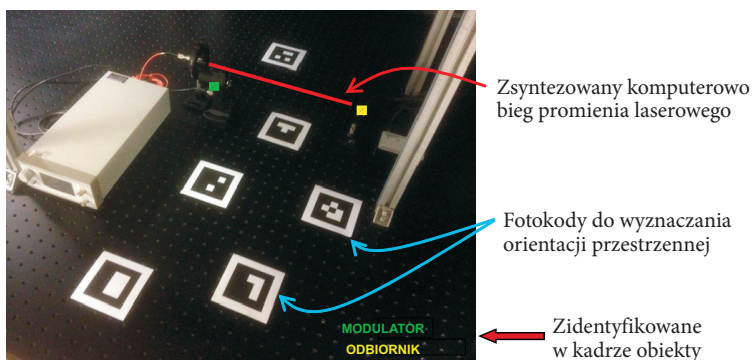
Przykłady dostarczanych informacji dla obserwatora stacjonarnego i mobilnego przedstawiono na rysunku 6. Obserwator stacjonarny związany jest z miejscem akwizycji danych (dane przestrzenne pochodzą z modułu nawigacyjnego UFL — rys. 2).

Wizualizacja dotyczy prezentacji kolejnych kadrów z serii pomiarowej na podkładzie mapowym. W przypadku „mobilnym” prezentowana informacja w postaci odległości między obserwatorem a obiektem sprowadzona jest do egocentrycznego układu odniesienia obserwatora (moduł HMD jest wyposażony w sekcję nawigacyjną).



Rys. 6. Wizualizacja informacji z UFL

b) Wizualizacja informacji (diagnostycznej) z użyciem fotokodów



Rys. 7. Wizualizacja informacji na stanowisku laboratoryjnym

W bazie danych przechowywana jest informacja o położeniu obiektów w układzie współrzędnych stołu laboratoryjnego. Fotokody, które też mają określone współrzędne w tym samym układzie, umożliwiają zorientowanie obserwatora w tej przestrzeni (rys. 7).

5. Podsumowanie

Zaprezentowane przykłady zastosowań aplikacyjnych pokazują szerokie spektrum możliwego użycia opisanych w artykule metod zarówno w obszarze technik obserwacyjnych, jak i pomiarowych. Choć są to stosunkowo nowatorskie rozwiązania i wymagają dopracowania szeregu kwestii sprzętowych i algorytmicznych, to jednak już na tym etapie wyraźnie widać, że aktywne metody akwizycji i wizualizacji wskazują na duży potencjał informacyjny tego typu rozwiązań.

Artykuł opracowany na podstawie referatu wygłoszonego na „X Szkole–Konferencji Metrologia Wspomagana Komputerowo — MWK’2014”, Waplewo, 27-30 maja 2014 r.

Artykuł wpłynął do redakcji 1.07.2014 r. Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano 14.07.2014 r.

LITERATURA

- [1] McDONALD T.E. et al., *Range-gated imaging experiments using gated intensifiers*, Proc. SPIE, vol. 3642, 142, 1999.
- [2] PISZCZEK M., *Laser Photography — Examples of Processing of Image Information*, Acta Physica Polonica A, vol. 124, no. 3, 2013, 546.
- [3] PARDEL P., *Przegląd najważniejszych zagadnień z rozszerzonej rzeczywistości*, Studia Informatica, vol. 30, 2009, 35-64.
- [4] PISZCZEK M., ZARZYCKI M., SZUSTAKOWSKI M., *Elements of Augmented Reality for Vision Systems*, Acta Physica Polonica, A, vol. 122, 2012, 950-953.
- [5] MURAWSKI K., *Method for determining the position of the pupil for eyetracking applications*, Proc. XV International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics (MMAR), Międzyzdroje, 2010, 356.

M. PISZCZEK

Active imaging for monitoring and technical diagnostics

Abstract. The article presents the results of currently running work in the field of active imaging. The term “active” refers to both the image acquisition methods, so-called methods of the spatio-temporal framing and active visualization method applying augmented reality. Also results of application of the HMD and 6DoF modules as well as the experimental laser photography device are given. The device works by methods of spatio-temporal framing and it has been developed at the IOE WAT. In terms of image acquisition — active imaging involves the use of illumination of the observed scene. In the field of information visualization — active imaging directly concerns the issues of interaction

human-machine environment. The results show the possibility of using the described techniques, among others, rescue (fire brigade), security of mass events (police) or the protection of critical infrastructure as well as broadly understood diagnostic problems. Examples presented in the article show a wide range of possible uses of the methods both in observational techniques and measurement. They are relatively innovative solutions and require elaboration of series of hardware and algorithmic issues. However, already at this stage it is clear that active acquisition and visualization methods indicate a high potential for this type of information solutions.

Keywords: active imaging, augmented reality, digital image processing