

Dr inż. Przemysław Mazurek
Katedra Przetwarzania Sygnałów i Inżynierii Multimedialnej
Wydział Elektryczny
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

Szczecin, dnia 04.02.2014 r.

AUTOREFERAT

1. Imię i nazwisko: Przemysław Mazurek

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe/artystyczne – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej.

1998 – tytuł magistra inżyniera elektroniki i telekomunikacji – Wydział Elektryczny Politechniki Szczecińskiej

2002 – stopień naukowy doktora nauk technicznych w dyscyplinie elektrotechnika – Wydział Elektryczny Politechniki Szczecińskiej; rozprawa pt. „Wybrane algorytmy cyfrowego przetwarzania sygnałów dla monitorowania urządzeń w czasie rzeczywistym poprzez rozległe sieci IP”; promotor: dr hab. inż. Wieńczysław Dąca, prof. PS, Wydział Elektryczny, Politechnika Szczecińska; recenzenci: prof. dr hab. inż. Zbigniew Banaszak, Uniwersytet Zielonogórski oraz prof. dr hab. inż. Jan Purczyński, Wydział Elektryczny, Politechnika Szczecińska

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych/artystycznych

1998-1999 – asystent w Zakładzie Teorii Sygnałów (ZTS) Instytutu Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki na Wydziale Elektrycznym Politechniki Szczecińskiej

1999-2002 – asystent w Katedrze Przetwarzania Sygnałów i Inżynierii Multimedialnej (do 1.01.2000 ZTS) na Wydziale Elektrycznym Politechniki Szczecińskiej

od 2002 – adiunkt w Katedrze Przetwarzania Sygnałów i Inżynierii Multimedialnej Wydziału Elektrycznego Politechniki Szczecińskiej (obecnie Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie)

od 2005 – wykładowca na Wydziale Transportu Samochodowego Wyższej Szkoły Techniczno-Ekonomicznej w Szczecinie

4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. nr 65, poz. 595 ze zm.).

A) tytuł osiągnięcia naukowego

Metody estymacji trajektorii z wykorzystaniem algorytmów śledzenia przed detekcją

Maur

B) osiągnięcie naukowe – jednotematyczny cykl dwunastu publikacji naukowych

1. **Mazurek P.:** Code reordering using Local Random Extraction and Insertion (LREI) operator for GPGPU-based track-before-detect systems, "**Soft Computing**", Vol. 17 No. 6, pp. 1095-1106, **2013**
(indeksowane w bazie JCR – IF=1,124 za 2012 (baza JCR 2013)/aktualnie 25 pkt. MNiSW)
2. **Mazurek P.:** Optimization of bayesian Track-Before-Detect algorithms for GPGPUs implementations, "**Przegląd Elektrotechniczny**", R. 86 nr 7/2010, str. 187-189, **2010**
(indeksowane w bazie JCR – IF=0,242 za 2010 (baza JCR 2011)/13 pkt. MNiSW; aktualnie 10 pkt. MNiSW)
3. **Mazurek P.:** Preprocessing using maximal autocovariance for Spatio–Temporal Track–Before–Detect algorithm, "**Advances in Intelligent Systems and Computing**", Vol. 233 - Image Processing and Communications Challenges 5, Springer Verlag, pp. 45-54, **2014**
(seria indeksowana w Web of Science; aktualnie 10 pkt. MNiSW)
4. **Mazurek P.:** Estimation of position and radius of light probe images, "**Lecture Notes in Computer Science**", Vol. 7594 (Computer Vision and Graphics International Conference **ICCVG 2012**), Springer Verlag, pp. 515-524, **2012**
(indeksowane w Web of Science; 10 pkt. MNiSW; aktualnie 10 pkt. MNiSW)
5. **Mazurek P.:** Comparison of different measurement spaces for Spatio–Temporal Recurrent Track–Before–Detect Algorithm, "**Advances in Intelligent and Soft Computing**", Vol. 102 - Image Processing and Communications Challenges 3, Springer Verlag, pp. 157-164, **2011**
(indeksowane w Web of Science; 10 pkt. MNiSW; aktualnie 10 pkt. MNiSW)
6. **Mazurek P.:** Hierarchical Track–Before–Detect algorithm for tracking of amplitude modulated signals, "**Advances in Intelligent and Soft Computing**", Vol. 102 - Image Processing and Communications Challenges 3, Springer Verlag, pp. 511-518, **2011**
(indeksowane w Web of Science; 10 pkt. MNiSW; aktualnie 10 pkt. MNiSW)
7. **Mazurek P.:** Estimation of state-space spatial component for cuboid Track-Before-Detect motion capture systems, "**Lecture Notes in Computer Science**", Vol. 5337 (Computer Vision and Graphics International Conference **ICCVG 2008**), Springer Verlag, pp. 451-460, **2009**
(indeksowane w Web of Science; 13 pkt. MNiSW; aktualnie 10 pkt. MNiSW)
8. **Mazurek P.:** Estimation Track-Before-Detect motion capture systems state space spatial component, "**Lecture Notes in Computer Science**", Vol. 4673 (Computer Analysis of Images and Patterns – **CAIP'2007**), Springer Verlag, pp. 149-156, **2007**
(indeksowane w Web of Science; 13 pkt. MNiSW; aktualnie 10 pkt. MNiSW)
9. **Mazurek P.:** Track-Before-Detect filter banks for noise object tracking, "**International Journal of Electronics and Telecommunications**", Vol. 59, no 4, pp. 325-330, **2013**
(czasopismo indeksowane w bazie Scopus; lista „B” - 9 pkt. MNiSW)
10. **Mazurek P.:** GPGPU-based implementation of chi-square Spatio-Temporal Track-Before-Detect algorithm, "**Pomiary Automatyka Kontrola**" vol. 58 nr 7, str. 590-592, **2012**
(lista „B” - 7 pkt. MNiSW; aktualnie 10 pkt. MNiSW)
11. **Mazurek P.:** Track-Before-Detect algorithm for noise objects, "**Pomiary Automatyka Kontrola**" vol. 56 nr 10, str. 1183-1185, **2010**
(lista „B” – 9 pkt. MNiSW; aktualnie 7 pkt. MNiSW)
12. **Mazurek P.:** Suppression of impulse noise in Track-Before-Detect algorithms, "**Computer Applications in Electrical Engineering**" vol. 8, Poznań, str. 201-211, **2010**
(lista „B” – 4 pkt. MNiSW; aktualnie 4 pkt. MNiSW)

Maur

- C) omówienie celu naukowego wyżej wymienionych prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania

Wprowadzenie

Przedstawiony do oceny dorobek stanowi podsumowanie prowadzonych przeze mnie badań związanych z opracowaniem nowych metod śledzenia przed detekcją (ang. TBD – Track-Before-Detect) w przetwarzaniu sygnałów 1D i 2D w obszarze automatyki i robotyki. Algorytmami TBD zajmuję się od 2005 roku i od tego czasu opublikowałem około 50 oryginalnych publikacji, związanych z tą tematyką. Jest to zagadnienie o dużym znaczeniu naukowym i praktycznym, związane z detekcją i śledzeniem sygnałów obiektów ukrytych w szumie tła, czyli dla warunku $SNR < 1$ ¹ (ang. SNR – Signal to Noise Ratio). Algorytmy TBD mogą być stosowane w systemach śledzenia obiektów metodami m.in. wizyjnymi, radarowymi, akustycznymi.

Śledzenie obiektów w przypadku $SNR < 1$ jest istotne w zastosowaniach związanych z systemami bezpieczeństwa z uwagi na celowe zastosowanie środków zmniejszających wykrywalność obiektów (tzw. techniki 'stealth'). Bazują one głównie na technikach pasywnych: wykorzystaniu specjalnych materiałów pochłaniających fale, redukcji emisji fal przez obiekt, stosowaniu geometrii obiektu konstruowanego wyłącznie z wykorzystaniem płaskich powierzchni. Aktualnym zagadnieniem jest śledzenie niewielkich obiektów UAV (ang. Unmanned Aerial Vehicle).

Warunek $SNR < 1$ cechuje również obiekty pochodzenia naturalnego: o niewielkich rozmiarach kątowych, obiekty o niskiej emisji fal elektromagnetycznych lub o dużym współczynniku pochłaniania fal elektromagnetycznych. Zarówno obiekty mikrokosmosu, jak i makrokosmosu mogą być śledzone za pomocą systemów TBD. Przykładowo śledzenie śmieci kosmicznych na niskiej orbicie okołoziemskiej LEO (ang. Low Earth Orbit) stanowi jedno z wyzwań cywilizacyjnych z uwagi na bezpieczeństwo satelitów oraz potencjalnie możliwy syndrom Kesslera. Również istotne jest w śledzenie asteroid NEO (ang. Near-Earth Object) zagrażających ekosystemowi ziemskiemu. Śledzenie obiektów należących do świata mikrokosmosu jest również ważne w naukach biologicznych, gdzie występują limity związane z powiększeniem i zachodzi konieczność śledzenia subpikselowego, czy też oświetleniem obiektów, tak by nie wpływało ono na obiekty żywe podczas pomiaru.

Tradycyjne systemy śledzenia

Rozwiązanie tradycyjne bazuje na dwuetapowym przetwarzaniu: progowaniu sygnału ze stałą lub zmienną wartością progów, a następnie śledzeniu z wykorzystaniem jednego z filtrów: Benedict-Bordnera, Kalmana, EKF lub Bayesa². Z uwagi na zakłócenia, stosuje się dodatkowo algorytmy przydziału, decydujące która z obserwacji jest przydzielana jest do estymowanej trajektorii.

W obecności silnych zakłóceń: szumów oraz odbić, rośnie liczba fałszywych lub pominiętych obserwacji obiektu, co skutkuje pogorszeniem lub brakiem możliwości śledzenia ($SNR \approx 1$). Zmniejszenie wartości progów powoduje poprawę detekcji obiektu, ale jednocześnie zwiększa się liczba obserwacji fałszywych. Z tych powodów niezbędna jest zmiana metodologii śledzenia.

¹ Relacja SNR wyrażona jest tutaj zwykłym stosunkiem liczbowym

² Blackman S., Popoli R.: Design and Analysis of Modern Tracking Systems, Artech House, 1999

Śledzenie przed detekcją

Wykorzystanie innego podejścia – śledzenia przed detekcją, pozwala na detekcję i śledzenie obiektów nawet dla warunku $SNR \ll 1$, dzięki zamianie kolejności wykonywanych operacji. Najpierw realizuje się śledzenie dla wszystkich możliwych trajektorii, a następnie wykonuje się detekcję na podstawie akumulowanych, w najprostszym przypadku, wartości sygnału dla każdej z trajektorii.

Podejście TBD pozwala na wykorzystanie pełnej informacji dostępnej w sygnale, poprzez przetwarzanie tzw. sygnałów surowych (ang. raw signals). Tradycyjne podejście (detekcja i śledzenie) wykorzystuje zamianę sygnału na binarny poprzez progowanie, więc sygnał obiektu na skutek zakłóceń może być poniżej progu i zostać pominięty. Dla podejścia TBD wartości są akumulowane (filtrowane), co redukuje szum i umożliwia detekcję z niższą wartością progu. Istnieje możliwość przetwarzania przez algorytm TBD sygnałów, które były wcześniej poddane operacji progowania, co jest stosowane w celu redukcji kosztu obliczeniowego przy wartości $SNR \approx 1$. Rozwiązanie takie stosowane jest w niektórych systemach wizyjnych i radarowych^{3,4}, jednak nie wykorzystuje ono w pełni potencjału algorytmów TBD. We współcześnie stosowanych rozwiązaniach TBD można wyróżnić następujące grupy algorytmów: DP TBD, HT TBD oraz PF TBD.

DP TBD – algorytmy bazujące na programowaniu dynamicznym

Pierwsza grupa algorytmów TBD bazuje na programowaniu dynamicznym (DP - ang. Dynamic Programming). Głównymi przykładami są algorytm Bauma-Welsha oraz algorytm Viterbiego, które bazują na teorii ukrytych łańcuchów Markowa (HMM - ang. Hidden Markov Models).

Wyznaczenie najbardziej prawdopodobnej trajektorii bazuje na sekwencji pomiarów (np. sekwencji kilkunastu obrazów), która jest przetwarzana w przód (ang. forward phase), a następnie wstecz (ang. backward phase) w oparciu o model tranzycji (macierz tranzycji). Wyznaczenie nowego wyniku wymaga każdorazowego przetwarzania sekwencji kilkunastu poprzednich pomiarów, ponieważ przetwarzanie rekursywne nie daje optymalnego rozwiązania. Zaletą algorytmów DP TBD jest stosunkowo szybka inicjalizacja nowych trajektorii. Algorytmy DP TBD są aktualnie bardzo aktywnym obszarem badawczym^{5,6,7}.

HT TBD – algorytmy bazujące na uogólnieniu transformaty Hougha

Druga grupa algorytmów TBD bazuje na wielowymiarowym dolnoprzepustowym przetwarzaniu sygnałów. Pochodzi ona od transformaty Hougha⁸, w szczególności należą do niej filtry prędkości (VF - ang. Velocity Filters), filtry dopasowane 3D (ang. 3D Matched Filters), algorytm Simplified Likelihood Ratio Tracker (SLRT)^{9,10,11} oraz najczęściej rozpatrywany przeze mnie algorytm

³ Uruski P., Sankowski M.: On estimation of performance of track-before-detect algorithm for 3D stacked-beam radar, International Conference on Microwaves, Radar and Wireless Communications, Vol. 1, pp. 97-100, 2004

⁴ Sankowski M., Uruski P., Blok E., Rutkowski T.: Radar detection of tactical ballistic missiles: problems and methods, Elektronika (LI), nr 2/2010, str. 77-64

⁵ Grossi E., Lops M., Venturino L.: A Novel Dynamic Programming Algorithm for Track-Before-Detect in Radar Systems, IEEE Trans. on Signal Processing, Vol. 61 No. 10, 2013

⁶ Guo M., Deng X.: An Improved Dynamic Programming Based Track-Before-Detect Approach for Dim Target Detection, LNEE Vol. 202, pp. 325-334, 2012

⁷ Yi W., Morelande M.R., Kong L., Yang J.: An Efficient Multi-Frame Track-Before-Detect Algorithm for Multi-Target Tracking, IEEE Journal on Selected Topics in Signal Processing, Vol.7 No.3, 2013

⁸ Chmielewski L.J.: Metody akumulacji danych w analizie obrazów cyfrowych, EXIT 2006

⁹ określane także jako Simplified Likelihood Ratio Recursion

¹⁰ Stone L.D., Corwin T.L., Barlow C.A.: Bayesian Multiple Target Tracking, Artech House, 1999

Mam

Spatio-Temporal TBD (ST TBD). Odmiana algorytmu SLRT została zaimplementowana w systemie NodeStar¹² (demonstratorze fuzji danych dedykowanym śledzeniu okrętów podwodnych).

Transformata Hougha (HT – ang. Hough Transform) w postaci takiej, jaka jest zwykle stosowana, służy do zamiany obrazu do dwuwymiarowej przestrzeni zastosowania transformaty Hougha. Wszystkie obserwacje współliniowe są sprowadzane poprzez akumulację do jednego punktu tej przestrzeni. Rozwiązanie takie bardzo ogranicza rzeczywiste możliwości transformaty Hougha, ponieważ proces akumulacji można rozpocząć i zakończyć w dowolnych miejscach przestrzeni wejściowej. Uogólnienie pozwala na niezależną detekcję wielu obiektów o współliniowych trajektoriach. Transformata Hougha może zostać zastosowana dla przestrzeni 3D, gdzie sygnałem wejściowym jest sekwencja obrazów a dodatkowy wymiar odpowiada czasowi (numerowi klatki obrazu). Taka technika¹³ wykorzystana jest w filtrach prędkości (VF)¹⁴ oraz filtrach dopasowanych 3D¹⁵. Rzeczywista implementacja HT TBD bazuje nie tyle na akumulacji, co na średniej ruchomej, poprzez którą realizuje się redukcję szumu sygnału dla każdej z trajektorii.

Algorytmy SLRT oraz ST TBD wspierają łączenie i rozdzielanie trajektorii, co zapewnia przewagę nad innymi prostymi algorytmami HT TBD. Własność ta pozwala na częściowe wykorzystanie akumulowanych wartości po manewrze obiektu. Bardziej elastyczne definiowanie trajektorii, gdzie kilka trajektorii może się łączyć lub rozdzielać, zapewnione jest w algorytmach SLRT oraz ST TBD. Pozwala to na częściowe wykorzystanie wartości w czasie przejścia między trajektoriami. Algorytmy SLRT oraz ST TBD wykorzystują głównie wariant rekursywny, jednak zależy to od sposobu zdefiniowania przestrzeni stanów. Rekursywne przetwarzanie pozwala na znaczną redukcję zapotrzebowania na pamięć do przechowywania przestrzeni stanów, co jest kluczowe w optymalizacji implementacji. Istotną zaletą SLRT oraz ST TBD jest możliwość swobodnego definiowania przestrzeni stanów, trajektorii oraz uwzględniania cech sensora pomiarowego.

PF TBD – algorytmy bazujące na filtrach cząsteczkowych

Trzecią grupą algorytmów TBD są algorytmy bazujące na filtrach cząsteczkowych (PF - ang. Particle Filters). Poprzednie dwie grupy algorytmów wykorzystują przestrzeń stanów o stałym rozmiarze, podczas gdy w PF TBD stosuje się próbkowanie nieregularne. Pozwala to na zmniejszenie ilości obliczeń, ponieważ większa liczba cząstek jest skoncentrowana przy szukanym obiekcie a nie na innych obszarach. Największym wyzwaniem PF TBD jest jednak uzyskanie szybkiej inicjalizacji, czyli koncentracji cząstek w obszarze obiektu. Zwiększenie liczby cząstek prowadzi do większego kosztu obliczeniowego. Śledzenie kilku obiektów wymaga, by cząstek było odpowiednio więcej. Nie wszystkie trajektorie są w danej chwili testowane z uwagi na ograniczenie liczby cząstek, co powoduje, że inicjalizacja nowej trajektorii jest utrudniona. Algorytmy PF TBD również są obecnie aktywnym obszarem badawczym, zwłaszcza z uwagi na konieczność redukcji wielu ograniczeń samej metody.

¹¹ Stone L.D.: Bayesian Approach to Multiple-Target Tracking, w Liggins M.E., Hall D.L., Llinas J.: Handbook of multisensor data fusion: theory and practice, CRC Press, 2008

¹² <http://www.metsci.com/Division/Advanced-Mathematics-Applications/NodeStar>

¹³ z lokalnymi trajektoriami między dwoma punktami w przestrzeni 3D (2D+czas)

¹⁴ Dragovic M.: Velocity Filtering for Target Detection and Track Initiation, DSTO-TR-1406, System Science Laboratory, Weapons Systems Division, 2003

¹⁵ Reed I.S., Gagliardi R.M., Shao H.M.: Application of Three-Dimensional Filtering to Moving Target Detection, IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems, 19:6, 1983

Mau

Wstępne przetwarzanie sygnałów wejściowych w systemach TBD

Algorytmy wstępnego przetwarzania sygnałów do wspomaganie pracy algorytmów TBD są często stosowane w celu redukcji wpływu zakłóceń. Najczęściej stosowane są algorytmy redukcji zakłóceń powstałych podczas estymacji tła. Przykładem może być obraz nieba zawierający chmury, na tle których porusza się obiekt. Estymacja tła polega na wyznaczeniu obrazu tła na podstawie serii obserwacji. Odjęcie obrazu estymowanego tła od bieżącej klatki obrazu pozwala na wyeksponowanie obrazu obiektu. Niestety, z uwagi na ruch chmur, estymacja tła na ich krawędziach obarczona jest sporym błędem. W celu wyeksponowania obiektu, przy jednoczesnej eliminacji krawędzi chmur, wykorzystywane są różne filtry, głównie morfologiczne^{16,17,18,19}.

Wybór obszaru badawczego

Istnieje kilka grup oraz szereg rozwinięć poszczególnych algorytmów TBD, mniej lub bardziej powiązanych z określonymi aplikacjami, dlatego całe zagadnienie jest niezwykle obszerne. Liczba badaczy, którzy publikują w tym zakresie jest dość niska, więc jest to otwarty i ciekawy obszar badawczy. Dostęp do wielu publikacji oraz rezultatów implementacji jest niemożliwy z uwagi na głównie militarny zakres zastosowań. Przykładowo w bazie Scopus hasło „track before detect” (title, keywords, abstract) obejmuje stosunkowo niewiele, bo mniej niż 400 publikacji, aczkolwiek można pod innymi hasłami znaleźć publikacje z tej tematyki.

Po doktoracie postanowiłem zająć się algorytmami TBD, ponieważ była to otwarta tematyka badawcza, stanowiąca wyzwanie naukowe związane z zajmowaniem się nowymi metodami, a nie pracami o charakterze odtworzeniowym czy inkrementacyjnymi w stosunku do innych badaczy. Systemy TBD pozwalają na detekcję obiektów, których człowiek nie jest w stanie wykryć, co stanowi dodatkową satysfakcję badawczą. Zakres moich zainteresowań nie jest ograniczony wyłącznie do algorytmów TBD, jednak w trakcie innych badań okazało się, że można w praktyce wykorzystać algorytmy TBD jako użyteczne narzędzie w wielu innych aplikacjach związanych z przetwarzaniem sygnałów.

Ocenę praktycznego zastosowania danego algorytmu uważam za niezwykle ważną, ponieważ pozwala ona na weryfikację założeń oraz wyznaczenie ograniczeń metody. Algorytmy opracowywane bez kontekstu implementacji sprzętowo-programowej okazują się często mało wydajne obliczeniowo, w momencie ich implementacji i mają jedynie znaczenie teoretyczne. Niezwykle istotnym zagadnieniem jest aproksymacja danego algorytmu z jednoczesnym uwzględnieniem specyfiki implementacji, co daje najlepsze rezultaty.

Uzyskanie rozwiązania możliwego do zastosowania w praktyce dla istniejących architektur sprzętowo-programowych pozytywnie wpływa na rozwój całej dyscypliny, ponieważ przyciąga uwagę i motywuje innych badaczy do zastosowania danej klasy algorytmów. Algorytm bez efektywnej implementacji może zostać wdrożony z dużym opóźnieniem, jak miało to miejsce

¹⁶ Srivastava H.B., Kumar V, Verma H.K., Sundaram S.S.: Image Pre-processing Algorithms for Detection of Small/Point Airborne Targets, Defence Science Journal, Vol. 59 no. 2, pp. 166-174, 2009

¹⁷ Lai J.S., Ford J.J., O'Shea P.J., Walker, R.A., Bosse M.: A Study of Morphological Pre-Processing Approaches for Track-Before-Detect Dim Target Detection. 2008 Australasian Conference on Robotics & Automation, 2008

¹⁸ Wainwright A., Ford J.J.: Fusion of morphological images for airborne target detection. International Conference on Information Fusion (FUSION), pp. 1180-1187, 2012

¹⁹ Wang Y., Cao J.: An Improved Track-Before-Detection Algorithm Based on Coherent Integration, IEEE CIE International Conference on Radar, Vol. 2, pp. 1716-1720, 2011

Maur

w przypadku filtru Kalmana, gdzie przez wiele lat dominującym rozwiązaniem w zakresie śledzenia były prostsze obliczeniowo filtry α - β oraz α - β - γ , mimo przewagi jakościowej filtru Kalmana. Podobna sytuacja zachodzi dla algorytmów TBD, ponieważ gigantyczny koszt obliczeniowy przesłania wielu badaczom możliwość wykorzystania tych algorytmów przy dostępnych obecnie architekturach sprzętowo-programowych. Zmiana podejścia w tym zakresie jest niezwykle ważna, ponieważ algorytmy TBD kojarzą się głównie z zastosowaniami militarnymi, a istnieje wiele zastosowań cywilnych gdzie mogłyby być one z pożytkiem wykorzystane.

Zakres moich prac w zakresie algorytmów ograniczyłem głównie do algorytmu ST TBD oraz częściowo do podobnego algorytmu SLRT. Jedną z przyczyn jest to, że efektywność danego algorytmu może być szacowana dwoma metodami. Pierwsza metoda polega na określeniu jakości jego pracy, przykładowo z wykorzystaniem oprogramowania Matlab, bez uwzględnienia specyfiki implementacji. Rozwiązanie to jest powolne z obliczeniowego punktu widzenia i nadaje się jedynie do wstępnych testów. Druga metoda polega na określeniu wydajności z uwzględnieniem implementacji, która może być realizowana na wiele sposobów. Metoda ta jest jednak bardzo kosztowna z uwagi na czas potrzebny na efektywną implementację i tym samym ocenę przydatności danego algorytmu śledzenia. Ominięcie ograniczeń drugiej metody poprzez częściową lub pełną automatyzację implementacji algorytmów TBD na drodze optymalizacji, dla określonej architektury sprzętowo-programowej, stanowi jeden z istotnych obszarów moich badań.

Koszt obliczeniowy i wyzwania w zakresie oceny jakości śledzenia

W algorytmie ST TBD śledzenie realizowane jest na podstawie sygnałów surowych dla każdej możliwej trajektorii, co zapewnia jednoczesne śledzenie wielu obiektów. Koszt obliczeniowy jest stały, uzależniony jedynie od liczby analizowanych trajektorii, a nie jest funkcją liczby śledzonych obiektów. Przykładowo dla przetwarzania obrazów liczba trajektorii wynosić może 100 milionów ($N \times N \times M$, gdzie $N \times N = 1000 \times 1000$ jest rozdzielczością obrazu, a $M = 100$ jest liczbą wektorów ruchu). Przetwarzanie w czasie rzeczywistym wymaga aktualizacji z określoną częstotliwością f odpowiadającą liczbie klatek obrazu na sekundę (fps). Liczba operacji na trajektoriach jest wtedy równa $f \times N \times N \times M$ na sekundę, co daje przykładowo 10 miliardów aktualizacji trajektorii na sekundę przy $f = 100$.

Podane wartości dla systemu z algorytmem ST TBD można skonfrontować z systemem detekcji i śledzenia, gdzie koszt obliczeniowy jest bardzo niski, ponieważ liczba analizowanych trajektorii jest funkcją liczby obiektów oraz liczby fałszywych detekcji. Rozwiązanie bazujące na detekcji i śledzeniu nie będzie jednak spełniać oczekiwań jakościowych przy warunku $SNR < 1$ z uwagi na bardzo dużą liczbę fałszywych detekcji i związanych z nimi estymowanych fałszywych trajektorii. Jedynym rozwiązaniem jakościowym jest wykorzystanie wybranego algorytmu TBD.

Problematyka pomiaru jakości śledzenia (błędu estymacji położenia, prędkości oraz czasu niezbędnego do pierwszej detekcji) dla algorytmów TBD jest ściśle związana z gigantycznym czasem obliczeń. W artykule²⁰ wykonano wstępne porównanie czterech algorytmów pod względem kilku kryteriów. Odpowiedź na to, który z algorytmów jest jakościowo najlepszy w określonej sytuacji jest niezwykle trudna, ponieważ wynik zależy od założonego testowego scenariusza śledzenia, a także doboru różnych parametrów, dlatego niewiele jest dostępnych prac z tego zakresu. Pomiar ilościowy związany z kosztem obliczeniowym dla danej implementacji, niezbędny w ocenie możliwości praktycznej realizacji systemu, dodatkowo wpływa na wzrost skali zadania.

²⁰ Davey S.J., Ruten M.G., Cheung B.: A Comparison of Detection Performance for Several Track-Before-Detect Algorithms, EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, 2008, Article ID 428036

Mark

Wyznaczenie wpływu, np. SNR na detekcję obiektu, dla różnych trajektorii śledzonego obiektu oraz parametrów algorytmu wymaga badań numerycznych przeprowadzanych np. metodą Monte Carlo. Testowanie metodą Monte Carlo jest czasochłonne, trwające często wiele dni, nawet dla zoptymalizowanego kodu dla środowiska Matlab. Zmniejszenie liczby przypadków prowadzi niestety do pogorszenia wyników oceny jakości algorytmu.

Czasem, dobierane są celowo takie parametry dla eksperymentów oceny jakości śledzenia, by przy niewielkim koszcie obliczeniowym badać algorytm TBD. Przykładowo w wielu publikacjach dotyczących PF TBD rozpatrywane są przypadki niewielkiego obszaru poszukiwań 20×20 pikseli przy założeniu, że jest średnio 6 maksimumów pochodzących od szumu Gaussowskiego, większych od poziomu sygnału obiektu. Pozwala to na uzyskanie poprawnej trajektorii i detekcji po kilku krokach rekursji, ale na podstawie obserwacji sekwencji obrazów przez człowieka jest to również możliwe, co nie jest jednakże przypadkiem reprezentatywnym dla zadań stawianych algorytmom TBD.

Wybór architektury sprzętowo-programowej

W zastosowaniach związanych z bezpieczeństwem (śledzeniem obiektów poruszających się w przestrzeni powietrznej, przestrzeni kosmicznej, na akwenach lub pod powierzchnią wody) koszt braku lub opóźnionej detekcji jest często bardzo duży i wyrażony nie tylko w kategoriach finansowych, ale i militarnych, politycznych, społecznych. Wiarygodność systemu śledzenia musi być wtedy bardzo duża, co oznacza, że niezbędne jest śledzenie wszystkich możliwych (w znanych granicach fizycznych) potencjalnych obiektów oraz że inicjalizacja trajektorii musi być jak najszybsza. Z tych powodów systemy takie powinny bazować na podejściach DP TBD oraz HT TBD, co wiąże się z niezwykle dużymi wymaganiami w zakresie mocy obliczeniowej w celu pełnej analizy trajektorii.

Obecnie dostępnych jest kilka technologii zapewniających bardzo dużą moc obliczeniową, do których należą: specjalizowane układy VLSI (ang. Very-Large-Scale Integration), ASIC (ang. Application-Specific Integrated Circuit), FPGA (ang. Field Programmable Gate Array), NoC (ang. Network on Chip), GPGPU (ang. General-Purpose Graphics Processing Unit), procesorów DSP (ang. Digital Signal Processor) oraz procesorów SIMD (ang. Single Instruction, Multiple Data).

Układy GPGPU są obecnie najbardziej atrakcyjne dla celów implementacji algorytmów TBD, ponieważ są powszechnie dostępne, stosunkowo tanie i wymagają jedynie programowej implementacji algorytmu. Dzięki temu możliwe jest zastosowanie algorytmów TBD w zastosowaniach cywilnych, przy niskich nakładach finansowych. W swoich pracach skoncentrowałem się na implementacjach algorytmów TBD na GPGPU z wykorzystaniem technologii NVidia CUDA, ale zaproponowane techniki optymalizacji są w dużej mierze użyteczne dla GPGPU innych producentów, a także innych architektur, w szczególności FPGA i NoC. Wykorzystanie GPGPU do realizacji algorytmów TBD jest rozpatrywane również przez innych badaczy, przykładowo dla algorytmu PF TBD²¹.

²¹ Tang X., Su J., Zhao F., Zhou J., Wei. P.: Particle filter track-before-detect implementation on GPU, EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 2013:38

Man

Główne osiągnięcia

Algorytmy TBD z podpróbkowaniem (decymacją) wyjścia

W publikacji [2] zaproponowałem bardzo ważne teoretycznie i praktycznie rozwiązanie, pozwalające na kilkukrotne zwiększenie szybkości przetwarzania w algorytmach SLRT oraz ST TBD kosztem większego opóźnienia w dostarczaniu wyników. Rozwiązanie to realizuje algorytm TBD z podpróbkowaniem wyjścia (ang. downsampled TBD) zmniejszając ilość danych wyjściowych.

Przestrzeń stanów będąca rezultatem śledzenia, jest wielowymiarowa i zależna od sposobu opisu trajektorii. Bezpośrednim opisem jest reprezentacja przestrzeni stanów jako zbioru dwuwymiarowych podprzestrzeni, zachowujących kartezjańskie współrzędne pikseli obrazu²². Zbiór ten określony jest przewidywanymi wektorami ruchu obiektu. Możliwa jest dodatkowo reprezentacja w trybie super-rozdzielczości, gdzie podprzestrzenie mają rozmiar większy od rozdzielczości obrazów wejściowych²³.

Zaproponowanym rozwiązaniem jest podział obrazów wejściowych oraz przestrzeni stanów na mniejsze bloki 2D (kafelki) i niezależne przetwarzanie w obrębie każdego kafelka dla zarejestrowanej sekwencji obrazów, gdzie D określa długość sekwencji. Wyniki tymczasowe dla przestrzeni stanów są przechowywane w szybkiej pamięci wewnętrznej GPGPU, a jedynie końcowy wynik - wyjściowa przestrzeń stanów jest zapisywana w pojemnej, ale powolnej pamięci globalnej. W efekcie zachowuje się pełne przetwarzanie sygnałów wejściowych i wykonuje się decymację czasową o wartości D dla wyjściowej przestrzeni stanów, przy jednoczesnej redukcji wpływu głównego ograniczenia, jakim jest powolny dostęp do pamięci globalnej GPGPU.

Decymacja może być wykonywana na przestrzeni stanów, ponieważ przestrzeń ta opisuje przebiegi wolnozmiennie. Jednoczesne uwzględnienie opisu przestrzeni stanów jako zbioru podprzestrzeni oraz tranzykcji macierzy Markowa jako wektorów ruchu dla wybranej architektury sprzętowo-programowej, pozwala na realizację algorytmu TBD w czasie rzeczywistym.

Zaproponowane rozwiązanie było następnie dokładniej badane w szeregu publikacji, gdzie analizowano wpływ alternatywnych konstrukcji kodu, rodzajów dostępu do pamięci^{24,25}, rozmiaru bloku wątków²⁶ na szybkość przetwarzania. Badania te pokazały, że możliwe jest dalsze przyspieszenie od kilku procent do kilku razy w zależności od zastosowanych technik optymalizacji kodu. Kod generowany przez kompilator CUDA nie jest optymalny, co jest typowe dla współczesnych narzędzi tego typu. Modyfikacje wprowadzane przez programistę są czasochłonne, dlatego wykorzystałem metody automatycznej syntezy kodu algorytmu ST TBD (autorskie oprogramowanie).

²² Mazurek P.: Direct visualization methods for Track-Before-Detect algorithms, Poznań University of Technology Academic Journals - Electrical Engineering, nr 59, str. 25-34, 2009

²³ Mazurek P.: Algorytmy śledzenia przed detekcją (rozdział monografii), str. 59-95: w Purczyński J., Mazurek P., Okarma K.: Wybrane zagadnienia analizy obrazów i śledzenia ruchu w Inteligentnych Systemach Transportowych. WSTE w Szczecinie, 2012

²⁴ Mazurek P.: Implementation of spatio-temporal Track-Before-Detect algorithm using GPU, Pomiary Automatyka Kontrola, vol. 55 nr 8, 2009

²⁵ Mazurek P.: Optimization of Track-Before-Detect Systems with Decimation for GPGPU, Pomiary Automatyka Kontrola, vol. 56 nr 12, str. 1523-1525, 2010

²⁶ Mazurek P.: Optimization of Track-Before-Detect systems for GPGPU, Pomiary Automatyka Kontrola, vol. 56 nr 7, str. 665-667, 2010

Mall

Optymalizacja kolejności operacji związanych z macierzą Markowa

Macierz Markowa służy do definiowania modelu ruchu śledzonego obiektu. Im lepsze jest dopasowanie do znanej charakterystyki obiektu, tym lepsza jest jakość śledzenia. Macierz ta w algorytmie ST TBD jest macierzą rzadką, dlatego też predykcja (motion update), która związana jest z mnożeniem jej przez macierz przestrzeni stanów, wymaga odpowiedniego podejścia obliczeniowego. Predykcja ta ma stały koszt obliczeniowy, który jest niezależny od kolejności obliczeń, ale tylko w przypadku teoretycznym. Predykcja jest też głównym kosztem obliczeniowym algorytmu i, w zależności od założonej architektury sprzętowo-programowej, koszt ten jest funkcją kolejności operacji na macierzy Markowa.

W pracy [1] zaproponowałem automatyczne poszukiwanie kolejności operacji na przestrzeni stanów i macierzy Markowa z wykorzystaniem autorskiego kompilatora ewolucyjnego. Zaproponowana strategia ewolucyjna, wykorzystująca nowy operator LREI (Local Random Extraction and Insertion), pozwoliła na skrócenie czasu przetwarzania średnio o aż 8% względem wariantu posortowanego dla GPGPU. W testach wykorzystano podejście Monte Carlo dla losowych wariantów macierzy Markowa. Ważną cechą tego podejścia jest to, że pozwala ona na optymalizację obliczeń dla różnych macierzy Markowa, zarówno zdefiniowanych w oparciu o model teoretyczny, jak i model empiryczny ruchu bazujący na obserwacjach obiektu. Co więcej, metoda jest niezależna od sposobu definicji przestrzeni stanów, która niekoniecznie musi być odwzorowaniem przestrzeni wejściowej. Gdy dostępna jest wiedza aprioryczna, w zakresie możliwych zmian trajektorii obiektu, możliwe jest wcześniejsze zdefiniowanie zbioru zredukowanych macierzy Markowa i przełączania między nimi w celu redukcji ilości obliczeń i poprawy jakości pracy. Niezbędna jest wtedy niezależna kompilacja ewolucyjna dla każdej z przełączanych macierzy Markowa.

Wykorzystanie kompilacji adaptacyjnej, przykładowo ewolucyjnej, w celu poprawy wydajności obliczeniowej określonych algorytmów lub całych systemów jest aktywnym obszarem badawczym²⁷ o bardzo dużym znaczeniu praktycznym, ponieważ zwiększenie wydajności systemu nie wymaga dodatkowych kosztów.

Optymalizacja wielosensorowych systemów TBD poprzez ograniczenie obszaru poszukiwań

Ograniczenie obszaru poszukiwań pozwala na zmniejszenie liczby operacji na przestrzeni stanów. Technika ta jest stosowana przykładowo w systemie Nodestar²⁸, w którym obszar poszukiwań jest dynamicznie zmieniany, a rozwiązanie to zaproponowano do śledzenia pojedynczego obiektu. Ograniczenie obszaru poszukiwań jest podstawą rozwiązań PF TBD, ponieważ liczba cząstek jest limitowana i dąży się do tego by znaczna ich część koncentrowała się wokół obiektu. Zawężenie obszaru poszukiwań może bazować na dodatkowej informacji apriorycznej na temat obiektu lub predykcji w oparciu o poprzednie pomiary. W przypadku, gdy wiele obiektów tworzy formację, wiedza na temat możliwego kształtu formacji pozwala określić obszar poszukiwań.

W ramach prac związanych z grantem MNiSW N514 004 32/0434 wyznaczyłem analitycznie górną granicę mocy obliczeniowej dla algorytmu TBD dla dwóch najbardziej typowych konfiguracji rozmieszczenia kamer. Zaproponowane techniki analitycznego wyznaczania kosztu obliczeniowego

²⁷ Joseph P.J., Jacob M.T., Srikant Y.N., Vaswani K.: Statistical and machine learning techniques in compiler design, in Srikant Y.N., Shankar P.: The compiler design handbook, optimization and machine code generation, CRC 2008

²⁸ Stone L.D., Corwin T.L., Barlow C.A.: Bayesian Multiple Target Tracking, Artech House, 1999

Mam

mogą być zastosowane także dla innych konfiguracji lub w innych zastosowaniach. W publikacjach [7,8] był rozpatrywany model człowieka w postaci walca w przestrzeni 3D. Uproszczoną postać wyników można rozpatrywać dla obszaru kołowego 2D (rzut pionowy). W publikacji [8] podałem wyprowadzenie analitycznego wyniku dla kołowego rozmieszczenia kamer wokół monitorowanego obszaru, natomiast w publikacji [7] wyznaczyłem wynik analityczny dla rozmieszczenia kamer na prostokącie. Uzyskane wyniki można zastosować w praktyce, dla systemu z rozproszoną siecią kamer, w których zarejestrowany obraz przesyłany jest do scentralizowanego systemu przetwarzania. W obu pracach skoncentrowałem się na komponencie przestrzennym, który daje największy zysk obliczeniowy w śledzeniu formacji obiektów. Dla kołowego rozmieszczenia kamer, przykładowo uzyskać można zmniejszenie ilości obliczeń do około 5% przy optymalizacji obliczeń dla każdej z kamer oraz do około 1% przy optymalizacji całego systemu [8]. Dla rozmieszczenia kamer w konfiguracji prostokątnej, przykładowo uzyskać można zmniejszenie ilości obliczeń do około 3,8% przy optymalizacji obliczeń dla każdej z kamer oraz do około 3,2% przy optymalizacji całego systemu [7]. Uzyskane wyniki są o tyle interesujące, że można je stosować do estymacji kosztu obliczeniowego w innego rodzaju algorytmach przetwarzania obrazów, niebędących algorytmami TBD. Obecnie rozwijane są systemy śledzenia ruchu z wykorzystaniem znaczników, jak również bezznacznikowe²⁹. W publikacjach^{30,31} zaproponowano wykorzystanie algorytmu PF TBD do śledzenia ruchu zawodników koszykówki.

Śledzenie obiektów szumowych

Specjalnym przypadkiem jest śledzenie obiektu, którego sygnał stanowi szum. Sygnał obiektu szumowego łącząc się z szumem tła (addytywnie lub w inny sposób) powoduje, że dane pomiarowe są wyłącznie szumem.

Śledzenie obiektów obserwowanych jako szum jest znane w literaturze. W publikacji³² rozpatrywane jest śledzenie za pomocą pasywnego systemu pomiarowego obiektu emitującego szum ($SNR \gg 1$). Możliwe jest także celowe wysyłanie szumu z nadajnika i detekcja odbitego szumu od obiektu, co jest rozpatrywane w technice radarowej³³.

W szeregu publikacji zaproponowałem i badałem metody polegające na wykorzystaniu algorytmu ST TBD do detekcji i śledzenia obiektów szumowych. Zaproponowane metody pozwalają na śledzenie obiektów ukrytych w szumie tła ($SNR < 1$) o rozmiarze kilku lub kilkunastu pikseli (ang. extended target) obserwowanych jako szum. Bezpośrednie wykorzystanie algorytmu ST TBD nie jest możliwe, ponieważ eksponuje on sygnały o niezerowej wartości średniej. Rozwiązaniem jest przekształcenie sygnału wejściowego przed przetworzeniem go przez algorytm TBD, w celu lokalnej estymacji parametrycznej lub nieparametrycznej rozkładu prawdopodobieństwa. Operacja tego typu nie pozwala na detekcję obiektu na podstawie pojedynczej obserwacji dla warunku $SNR < 1$, ale jest to jednak możliwe poprzez zastosowanie algorytmu ST TBD dla serii obserwacji.

²⁹ Kwolek B., Krzeszowski T., Gagalowicz A., Wojciechowski K., Josinski H.: Real-time multi-view human motion tracking using particle swarm optimization with resampling, LNCS 7378, pp. 92-101, 2012

³⁰ Taj M., Cavallaro A.: Multi-camera track-before-detect, ACM/IEEE International Conference on Distributed Smart Cameras, pp. 1-6, 2009

³¹ Taj M., Cavallaro A.: Distributed and Decentralized Multicamera Tracking, IEEE Signal Processing Magazine, Vol. 28 no. 3, pp. 46-58, 2011

³² Gloza I., Buszman K., Józwiak R.: Tracking Underwater Noise Sources with the Use of a Passive Method, Acta Physica Polonica A, Vol. 123 no. 6, pp. 1090-1093, 2013

³³ Malanowski M., Kulpa, K.: Detection of Moving Targets With Continuous-Wave Noise Radar: Theory and Measurements, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 50 no.9, pp. 3502-3509, 2012

Malu

W publikacji [11] zaproponowałem wykorzystanie techniki okna przesuwającego do wyznaczania lokalnej wariancji lub odchylenia standardowego i przetwarzania takiego sygnału przez algorytm ST TBD. Rozwiązanie takie charakteryzuje się bardzo niskim kosztem obliczeniowym i pozwala wykorzystać estymator parametryczny do detekcji i śledzenia.

W publikacji [10] analizowałem inne moje rozwiązanie³⁴ dla śledzenia obiektów, polegające na wykorzystaniu techniki okna przesuwającego do wyznaczania lokalnego rozkładu empirycznego, który jest porównywany z globalnym rozkładem empirycznym sygnału za pomocą miary chi-kwadrat. Rozwiązanie bazujące na analizie nieparametrycznej jest bardziej elastyczne w stosunku do analizy parametrycznej, ponieważ sygnały obiektu i tła mogą mieć takie same wartości wybranego parametru, przykładowo wariancji. Niewielkie różnice między rozkładami w opisie nieparametrycznym są eksponowane przez algorytm TBD, pomimo niewielkiej próby lokalnej z każdego pomiaru. Rozwiązanie to zostało zaimplementowane na GPGPU.

W publikacji [3] zaproponowałem wykorzystanie maksymalnej autokowariancji w celu detekcji obiektów szumowych oraz sygnałów o cechach okresowych. Rozwiązanie to bazuje na oknie przesuwającym, dla którego wyznaczana jest najpierw lokalna autokowariancja, a następnie wyznaczana jest wartość maksymalna autokowariancji z pominięciem przesunięcia zerowego.

W publikacji [9] analizowałem zagadnienie fuzji danych dla obiektów szumowych. Obiekt szumowy zwykle ma nieznaną wielkość, co powoduje konieczność wykorzystania zespołu (banku) algorytmów TBD (np. ST TBD) w celu najlepszego dopasowania się do różnych możliwych rozmiarów obiektu. W tym celu wykorzystano zespół algorytmów ST TBD z różnymi rozmiarami okna dla sygnału poddanemu wstępnemu przetworzeniu za pomocą lokalnego odchylenia standardowego. Rozwiązanie takie jednak wymaga realizacji fuzji danych, z uwagi na wiele wyjść zespołu algorytmów. Zaproponowano regułę fuzji danych z wykorzystaniem ważenia wyjściowej przestrzeni stanów. Dzięki temu poprawiona jest detekcja obiektów o większym rozmiarze i przy większym o 10-20% szumie tła.

Prace w zakresie śledzenia obiektów szumowych z wykorzystaniem algorytmów TBD są nadal prowadzone. Przykładowo alternatywą do miary chi-kwadrat jest wykorzystanie iloczynu skalarnego do porównania kształtu rozkładów empirycznych³⁵.

Hierarchiczne algorytmy TBD

Hierarchiczne algorytmy TBD są bardzo przydatne w praktycznych zastosowaniach, ponieważ zapewniają redukcję kosztu obliczeniowego oraz poprawę jakości detekcji. Przykładowo w artykule³⁶ zaproponowano hierarchiczny system TBD, który w pierwszym etapie przetwarzania bazuje na HT TBD, a w drugim etapie realizowany jest algorytm Viterbiego (DP TBD). Podobne podejście zaproponowano w jednej z najnowszych publikacji³⁷ z tego zakresu, co świadczy o tym, iż jest to obecnie jeden z głównych trendów badawczych w zakresie systemów TBD.

³⁴ Mazurek P.: Chi-square statistic for noise objects tracking in Track-Before-Detect systems, Poznań University of Technology Academic Journals - Electrical Engineering, nr 71, str. 177-184, 2012

³⁵ Mazurek P.: Application of dot product for Track-Before-Detect tracking of noise objects, Poznań University of Technology Academic Journals - Electrical Engineering, nr 76 str. 101-107, 2013

³⁶ Huang H., Zhang X., Guo S.: An Improved Track-Before-Detection Algorithm Based on modified Hough transform and Viterbi algorithm for early detection of dim target, IET International Radar Conference, pp. 1-5, 2009

³⁷ Grossi E., Lops M., Venturino L.: A Novel Dynamic Programming Algorithm for Track-Before-Detect in Radar Systems, IEEE Trans. on Signal Processing, Vol. 61 No. 10, 2013

Algorytm ST TBD może być stosowany do śledzenia przebiegów okresowych o zerowej wartości średniej. W artykule [6] rozpatrywałem możliwość wykorzystania podejścia hierarchicznego do śledzenia sygnału AM (np. sinusoidalnego) o wolnozmienną częstotliwość. Podstawowy algorytm ST TBD nie jest w stanie wykryć tego typu sygnału, ponieważ wartość średnia sygnału tego typu jest zerowa. Zaproponowane rozwiązanie bazuje na dwóch algorytmach TBD, przy czym pierwszy realizuje VF TBD, a drugi ST TBD. Sygnał między nimi jest dodatkowo prostowany, jak w demodulacji obwiedni.

Przestrzenie pomiarowe dla ST TBD

W publikacji [5] badałem wpływ wyboru przestrzeni pomiarowej na śledzenie obiektu o rozmiarze większym niż piksel. Testy przeprowadzone z użyciem podejścia Monte Carlo obejmowały cztery rodzaje przestrzeni pomiarowych z dodatkową opcją śledzenia drugim algorytmem zawężającym zakres poszukiwań. Konwersja sygnału wejściowego do innej przestrzeni pomiarowej była realizowana za pomocą metody okna przesuwne. Pomimo, że uśrednianie wydawało się najlepszym rozwiązaniem, to okazało się, że najlepsze rezultaty uzyskano stosując iloczyn skalarny. Wybór odpowiedniej przestrzeni pozwala na wykrycie obiektu o mniejszym SNR. W ramach tego podejścia można zdefiniować profile sygnału dla poszukiwanego obiektu, dzięki czemu wykorzystanie wiedzy apriorycznej pozwala na dodatkowo lepsze eksponowanie sygnału obiektu dla algorytmu TBD. Profile te mogą być związane nie tylko z samym obiektem, ale i bezpośrednim otoczeniem obiektu.

Detekcja kształtów w obrazie dla sygnału zmodulowanego amplitudowo

Algorytm ST TBD umożliwia detekcję różnych kształtów dla pojedynczej klatki obrazu poprzez śledzenie, co oznacza, że można opisać tym algorytmem transformatę Hougha. W tym celu definiuje się macierz Markowa określającą trajektorie akumulacji, a obrazem wejściowym jest ten sam obraz w kolejnych iteracjach.

Szczególnym przypadkiem zadania śledzenia jest detekcja trajektorii ze zmodulowanymi amplitudowo wartościami pikseli obrazu. Obszarem jego zastosowań jest detekcja kształtów, a tym samym obiektów w obrazie, które cechują się tego typu zmodulowaną sekwencją, oraz detekcja i śledzenie obiektu, którego pojedynczy pomiar był realizowany przez dłuższy odcinek czasu, przykładowo poprzez długą ekspozycję. Tego typu sytuacja ma miejsce podczas obserwacji, np. sztucznych satelitów wykonujących obroty. Sygnał związany z trajektorią nie jest linią o takich samych wartościach pikseli, a zmodulowanym amplitudowo sygnałem o charakterystyce zależnej od parametrów obrotu, kierunku oświetlenia oraz kształtu.

Dla sekwencji o współczynniku wypełnienia 50% i nieznaną częstotliwość przestrzennej zmian, można zastosować dwa algorytmy śledzenia, pracujące równolegle i próbujące obraz z pewnym przesunięciem względem siebie wzdłuż trajektorii [4]. Tego typu podejście zaproponowałem do detekcji czarno-białych pasów rozmieszczonych na pierścieniu.

Rozwiązanie takie zaproponowałem w celu śledzenia położenia próbnika światła (ang. light probe)³⁸. Próbnikiem jest lustrzana sfera lub półsfera, której zarejestrowany obraz przez kamerę umożliwia estymację wektorową oświetlenia w danym punkcie przestrzeni. Pozwala to w dalszym kroku na oświetlenie obiektu wirtualnego 3D takim samym światłem, jakim

³⁸ Debevec P.: Rendering Synthetic Objects into Real Scenes: Bridging Traditional and Image-based Graphics with Global Illumination and High Dynamic Range Photography, SIGGRAPH 98, pp. 189-198, 1998

oświetlona jest sfera (ang. Image Based Lighting), co zastosowanie ma m.in. w produkcji filmowej. Próbnik może być przemieszczany w przestrzeni, zgodnie z wymaganiami sceny, tak by uzyskać zmienne w czasie i przestrzeni oświetlenie obiektu lub wirtualnego aktora 3D (ang. Video Based Lighting). Zaproponowane rozwiązanie z pasami czarno-białymi na kołnierzu, pozwala na oddzielenie obszaru tła i sfery oraz charakteryzuje się dużą odpornością na zmiany oświetlenia w stosunku do rozwiązania z kołnierzem o jednolitym kolorze³⁹. Rozwiązanie to zostało zaimplementowane dla GPGPU oraz CPU.

Prowadzone prace przez innych badaczy w zakresie próbników oświetlenia i estymacji ich położenia dotyczyły wykorzystania detekcji krawędzi sfery na podstawie obrazu⁴⁰, jednak wynik zależny jest od tła i odbitego obrazu. W publikacji⁴¹ porównano złożoność śledzenia różnego rodzaju obiektów w obrazie wideo, a śledzenie obiektów lustrzanych zostało określone jako bardzo trudne zadanie. Innym podejściem do automatyzacji jest wykorzystanie sztywnego połączenia sfery z kamerą za pomocą żerdzi, co gwarantuje dokładne wyznaczenie obszaru, jednak nie jest możliwe niezależne przemieszczanie kamery i sfery względem siebie⁴². Rejestracja zmiennego w czasie oświetlenia w danym położeniu 3D jest możliwa poprzez śledzenie znaczników znajdujących się na żerdzi za pomocą dodatkowych kamer⁴³. W publikacji⁴⁴ zaproponowałem śledzenie położenia sfery z wykorzystaniem filtru g-h do wyznaczania obszaru poszukiwań sfery w obrazie, w celu redukcji czasu estymacji. Znane są także rozwiązania polegające na realizacji kuli lub wielościanu foremnego zawierającego kamery na powierzchni (przykładowo: Point Gray Research - Ladybug). Stosowane są także dwie przeciwstawne kamery ultraszerokokątne (przykładowo: Ricoh - Theta). Rejestracja obrazu inną kamerą wymaga jednak kalibracji obrazu względem kamery filmowej. Większość badaczy koncentruje się w zakresie VBL zwłaszcza na zagadnieniach rejestracji obrazów HDR⁴⁵, a aspekt ekstrakcji obrazu sfery jest tematem otwartym.

Zaproponowane rozwiązanie dla detekcji sekwencji zmodulowanej amplitudowo o znanej częstotliwości, może mieć także zastosowanie w analizie obrazów uzyskanych przez długotrwałą ekspozycję. Realizując okresowe przesłanianie obiektywu uzyskuje się zamiast linii sekwencją odcinków, pozwalając na wyznaczenie parametrów trajektorii, co stosowane jest w śledzeniu satelitów oraz asteroid. Sekwencja taka zapewnia znaczną separację między tą trajektorią a innymi możliwymi trajektoriami dla losowego tła.

³⁹ Mazurek P.: Estimation of position of the light probe device for photorealistic computer animation purposes, *Elektronika - konstrukcje, technologie, zastosowania*, R. LII nr 1, str. 42-44, 2011

⁴⁰ Kanbara M., Ukita N., Kidode M, Yokoya N.: 3D Scene Reconstruction from Reflection Images in a Spherical Mirror, *International Conference on Pattern Recognition, ICPR 2006*, Vol. 4, pp, 874-879, 2006

⁴¹ Chu D.M., Smeulders A.W.M.: Thirteen Hard Cases in Visual Tracking, *Seventh IEEE International Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance AVSS 2010*, pp. 103-110, 2010

⁴² Unger J., Kronander J., Larsson P., Gustavson S., Ynnerman A.: Temporally and Spatially Varying Image Based Lighting using HDR-Video, *EUSIPCO'13*, 2013

⁴³ Unger J., Gustavson S., Ynnerman A.: Spatially Varying Image Based Lighting by Light Probe Sequences Capture, Processing and Rendering, *The Visual Computer International Journal of Computer Graphics*, No. 371, 2007

⁴⁴ Mazurek P.: Light estimation using light probe devices, *Przegląd Elektrotechniczny*, R.89 nr 3b/2013, str. 312-314, 2013

⁴⁵ Myszkowski K., Mantiuk R., Krawczyk G.: *High Dynamic Range Video*, Morgan and Claypool Publishers, 2008

Mant

Paradoks SNR w systemach TBD

W trakcie badań systemów TBD wykryłem i zbadałem ciekawe zjawisko [12], związane z wpływem wartości chwilowych na jakość śledzenia. Śledzenie obiektu o bardzo niskim SNR jest trudniejsze od śledzenia obiektu, który ma wysoki SNR, co jest oczywiste. Jeśli wartości chwilowe związane z obiektem byłyby czasem nawet bardzo duże (większe niż poziom szumu tła), to filtracja w algorytmie TBD z uwagi na pracę z danymi surowymi poprawia odpowiedź algorytmu ST TBD (uzyskany będzie większy SNR), co jest także oczywiste. Jednak w przypadku, gdy duża wartość chwilowa wystąpi krótko przed lub podczas zmiany trajektorii z uwagi na manewr obiektu, nastąpi pogorszenie jakości śledzenia. Duża wartość związana z poprzednią trajektorią będzie z czasem zanikać i im większa jest ta wartość chwilowa, czyli większy SNR, tym dłużej odpowiedź systemu śledzenia będzie nieprawidłowa. W celu redukcji tego efektu niezbędna jest redukcja wpływu dużych chwilowych wartości sygnału, czyli by poprawić śledzenie należy celowo obniżyć SNR. Z tego powodu efekt ten nazwałem paradoksem SNR. Duże wartości chwilowe mogą pochodzić od śledzonego obiektu lub być szumem (zakłóceniem) impulsowym. Rozwiązaniem może być wprowadzenie saturacji wartości, ograniczającej wartości mierzonego sygnału niezależnie od jego pochodzenia, co poprawia jakość śledzenia⁴⁶.

Praktyczny przypadek, związany z tego typu sytuacją, ma miejsce podczas śledzenia, np. samolotu w technologii 'stealth', gdzie podczas manewru (zmiany trajektorii) zmiana może spowodować chwilowe zwiększenie wartości sygnału radarowego, odbitego od płaskiej powierzchni samolotu.

Efektom prowadzonych przeze mnie badań są publikacje naukowe związane z algorytmami TBD oraz ich interdyscyplinarnymi zastosowaniami (około 50). Publikacje te były wsparte dwoma grantami badawczymi. W pierwszym grantie jednoosobowym byłem kierownikiem i głównym wykonawcą, w drugim grantie zespołowym byłem głównym wykonawcą.

Zasadniczym celem naukowym większości prac stanowiących jednotematyczny cykl przedstawiony do oceny było opracowanie nowych metod śledzenia trajektorii z wykorzystaniem algorytmów śledzenia przed detekcją. Pomimo, że idea TBD była znana już w ubiegłym wieku, to same algorytmy TBD były stosowane w bardzo ograniczonym zakresie, co nadal wynika z ogromnego zapotrzebowania na moc obliczeniową. W swoich pracach przedstawiłem, że możliwe jest zmniejszenie tego zapotrzebowania na różne sposoby, zwłaszcza dla systemów dedykowanych śledzeniu w czasie rzeczywistym. Pokazałem, że możliwe jest śledzenie obiektów, które są reprezentowane sygnałami takimi jak szumy, zmodulowanymi amplitudowo oraz znanymi apriorycznymi profilami. Zaproponowane powyższe rozwiązania pozwalają na rozszerzenie zakresu zastosowań algorytmów TBD

⁴⁶ Mazurek P.: Analysis of noise suppression techniques for Track-Before-Detect algorithms using spatial noise estimators, "Computer Applications in Electrical Engineering" vol. 9, Poznań, str. 223-233, 2011

Maz

Do najważniejszych osiągniętych wyników przedstawionych w publikacjach zaliczonych do jednotematycznego cyklu zaliczam:

- Zaproponowanie i weryfikację nowego rozwiązania [2], jakim jest algorytm TBD z podpróbkiowaniem (decymacją) wyjścia, pozwalający na kilkukrotną redukcję ilości obliczeń, przykładowo dla GPGPU. Optymalizacja dostępu do przestrzeni stanów stanowi kluczowy element tego rozwiązania. Zaproponowane rozwiązanie może być stosowane w systemach śledzenia w czasie rzeczywistym, przy uwzględnieniu wprowadzanego opóźnienia przez algorytm. W przypadku przetwarzania sygnałów uprzednio zarejestrowanych jest niezwykle efektywnym obliczeniowo algorytmem ze swobodnym skalowaniem na większą liczbę jednostek przetwarzania.
- Zaproponowanie i weryfikację nowego rozwiązania [1], polegającego na optymalizacji operacji na przestrzeni stanów z wykorzystaniem kompilacji ewolucyjnej, dla której zaproponowałem i zbadałem operator LREI. Badania przeprowadzono dla GPGPU z wykorzystaniem metody Monte Carlo, co pozwoliło oszacować, że podejście to daje średnio 8% zwiększenie szybkości wykonywania kodu, względem posortowanej kolejności operacji. Optymalizacja operacji związana jest z rzadką macierzą Markowa.
- Zaproponowanie wykorzystania algorytmów TBD do detekcji i śledzenia obiektów będących szumem ukrytym w szumie tła. Rozwiązanie takie zdecydowanie poprawia możliwości detekcji i śledzenia obiektów względem przetwarzania wyłącznie bieżącego pomiaru, dając nowe narzędzie do analizy sygnałów o możliwie szerokim spektrum zastosowań. Opracowane rozwiązania bazują na wstępnym przetwarzaniu sygnałów z wykorzystaniem parametrycznej lub nieparametrycznej estymacji szumu. Estymacja parametrów szumu jest realizowana lokalnie i globalnie. Dla estymacji parametrycznej zaproponowano i badano wykorzystanie odchylenia standardowego lub wariancji [11], wykorzystanie maksymalnej autokowariancji [3], a dla estymacji nieparametrycznej porównanie rozkładów empirycznych miarą chi-kwadrat [10].
- Zaproponowanie wykorzystania zespołu (banku) filtrów TBD do poprawy detekcji i śledzenia obiektów szumowych o nieznanym rozmiarze, poprzez wprowadzenie przetwarzania wstępnego za pomocą lokalnego odchylenia standardowego i zastosowanie wag dla wyjściowych przestrzeni stanów [9]. Rozwiązanie to pozwala w szczególności na lepszą lokalizację przestrzenną obiektów o większym rozmiarze, redukując wpływ przestrzennie małych a silnych fluktuacji sygnału (przy większym o 10-20% odchyleniu standardowym szumu tła).
- Wyznaczenie analityczne kosztu obliczeniowego dla systemu z kamerami w konfiguracji rozmieszczonymi regularnie na prostokącie [7] oraz okręgu [8] śledzącego formację obiektów. Wyniki nie tylko są dedykowane algorytmom TBD, ale też i innym algorytmom. Ograniczenie obszaru śledzenia pozwala na znaczną redukcję ilości obliczeń w przypadku systemu rozproszonego (przykładowo [7,8] rzędu kilkudziesięciu razy).

Man

- Zaproponowanie i weryfikację rozwiązania hierarchicznego dla algorytmu TBD, umożliwiającego np. śledzenie przebiegów okresowych o wartości średniej równej zero [6]. Rozwiązanie to pokazuje, że łącząc dwa algorytmy TBD (ST TBD oraz VF TBD) można przetwarzać sygnały okresowe o zerowej wartości średniej, przy zachowaniu własności algorytmów TBD i możliwości opisu zmian sygnału za pomocą modelu Markowa.
- Zaproponowanie algorytmu TBD śledzącego sekwencję binarną na obrazie [4]. Algorytm ten pozwala na detekcję zmodulowanych amplitudowo sygnałów, przy znanej częstotliwości. Rozwiązanie to jest szczególnie interesujące w zastosowaniach estymacji położenia, prędkości i kierunku ruchu na obrazach uzyskanych poprzez długą ekspozycję z okresowym przesłaniem obiektu.
- Propozycję i analizę przekształceń przestrzeni pomiarowej dla obiektów zajmujących kilkanaście pikseli w celu poprawy detekcji [5]. Badania te pokazały, że jedną z dróg poprawy detekcji i śledzenia jest dobór odpowiedniej przestrzeni pomiarowej, opisującej cechy obiektu, ale także i jego najbliższego otoczenia. Dzięki temu możliwe jest lepsze wykorzystanie dostępnej wiedzy apriorycznej na temat sygnału obiektu. W przypadku ograniczonej wiedzy konieczne jest zastosowanie zespołu filtrów TBD, przykładowo takich jak zaproponowane w [9]. Zespół filtrów TBD mimo pewnych cech redundantnego przetwarzania sygnałów pozwala na osiągnięcie najlepszego dopasowania w ramach swojego zbioru, co jest istotne w zastosowaniach wymagających dużej wiarygodności przetwarzania. Wybór odpowiedniej przestrzeni pomiarowej [5] może poprawić detekcję i śledzenie (np. dopuszczalne jest o 50% większe odchylenie standardowe szumu tła, względem przestrzeni pomiarowej wykorzystującej lokalną wartość średnią).
- Zdefiniowanie i analizę efektu paradoksu SNR [12], w tym zaproponowanie rozwiązań wpływu tego efektu na śledzenie w oparciu o saturację wartości wejściowych. Uwzględnienie paradoksu SNR jest niezwykle istotne przy ocenie jakości pracy algorytmów TBD oraz w zastosowaniach praktycznych, ponieważ algorytmy TBD operują na sygnałach surowych. Paradoks SNR jest nie tylko istotny w powiązaniu do wartości śledzonego obiektu, ale i do impulsowych zakłóceń tła oraz zakłóceń powstających w procesie estymacji i usuwania tła. Wiedza na temat paradoksu SNR ma znaczenie przy doborze i analizie algorytmów wstępnego przetwarzania sygnałów dla algorytmów TBD.

Uzyskiwane wyniki badań naukowych były przeze mnie prezentowane na istotnych konferencjach krajowych oraz międzynarodowych z zakresu analizy obrazu, m.in. *Computer Analysis of Images and Patterns (CAIP)*, *International Conference on Computer Vision and Graphics (ICCVG)*, *Image Processing and Communications (IPC)*.

Osiągnięte wyniki stwarzają możliwości dalszego rozwoju w obszarze algorytmów analizy sygnałów jedno- i więcej wymiarowych, służących do detekcji i śledzenia obiektów przy warunku $SNR < 1$. Nierozwiązanymi dotąd w sposób jednoznaczny zagadnieniami, stanowiącymi dodatkowe cele prowadzonych przeze mnie badań, są metody optymalizacji przestrzeni stanów oraz macierzy Markowa w celu innego opisu przestrzeni wejściowej w algorytmach TBD, nieodwzorowującego koordynat obrazów wejściowych.

Mał

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

Badania w zakresie zastosowań EOG

Jednym z moich dodatkowych obszarów zainteresowań naukowych są techniki wspomagające produkcję cyfrowych efektów specjalnych i animacji komputerowej 3D na potrzeby produkcji filmowej. Redukcja czasu potrzebnego na uzyskanie zamierzonego efektu jest bardzo istotnym zakresem badawczym, mającym swój wymiar praktyczny.

Wraz z dr inż. Robertem Krupińskim od kilku lat rozwijamy algorytmy służące do śledzenia ruchu gałki ocznej oraz mrugania powiekami na potrzeby animacji komputerowej 3D. Do tego celu wykorzystujemy opracowany, własny system wielokanałowej akwizycji biosygnatów. Pomysł wykorzystania sygnału EOG pochodzi od zespołu⁴⁷ pracującego na potrzeby filmu „Beowulf”⁴⁸, gdzie w praktyce zastosowano tego typu rozwiązanie. Opracowaliśmy szereg algorytmów do estymacji ruchu gałek ocznych oraz mrugania powiekami, których separacja jest stosunkowo trudna dla minimalnej liczby (trzech) elektrod. Zbadaliśmy rozwiązanie z wykorzystaniem filtrów medianowych^{49,50}, które nie spełniło naszych oczekiwań. Zaproponowałem rozwiązanie⁵¹ polegające na wykorzystaniu modelu obu sygnałów i wykorzystaniu techniki *Reversible-Jump Markov Chain Monte Carlo*. Rozwiązanie to modyfikowaliśmy w celu uzyskania algorytmu działającego w czasie zbliżonym do rzeczywistego^{52,53,54,55}.

Badaliśmy także wykorzystanie analizy falkowej oraz zespołu (banku) filtrów do analizy w czasie rzeczywistym (analizę zespołem filtrów zaproponował dr inż. Robert Krupiński). Analiza falkowa (CWT) lub zespół filtrów realizuje transformację sygnału 1D do postaci widma 2D z dziedziną czasu oraz dziedziną częstotliwości, której odpowiada skala falki lub numer filtru zespołu filtrów⁵⁶. Detekcja i lokalizacja specyficznych zmian w sygnale (impulsów, skoków),

⁴⁷ Sony Pictures Entertainment, Sony Corporation, Sagar M., Remington S.: System and method for tracking facial muscle and eye motion for computer graphics animation, Patent US., International Publication Number WO/2006/039497 A2 (13.04.2006) (2006).

⁴⁸ Warner Brothers: E.O.G. Beowulf DVD 2'nd disc, Warner Brothers, 2008

⁴⁹ Krupiński R., Mazurek P.: Median filters optimization for electrooculography and blinking signal separation using synthetic model, 14-th IEEE/IFAC International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics MMAR`2009, Międzyzdroje, 2009 (IFAC Proceedings Volumes 14 Part 1, pp. 326-331)

⁵⁰ Krupiński R., Mazurek P.: Estimation of eye blinking using biopotentials measurements for computer animation applications, Lecture Notes in Computer Science, vol. 5337 (Computer Vision and Graphics International Conference ICCVG 2008), Springer Verlag, pp. 302-310, 2009

⁵¹ Krupiński R., Mazurek P.: Optimization-based technique for separation and detection of saccadic movements and eye-blinking in electrooculography biosignals, Advances in Experimental Medicine and Biology, Vol. 696 - Software Tools and Algorithms for Biological Systems, Springer Verlag, pp. 537-546, 2011

⁵² Krupiński R., Mazurek P.: Electrooculography signal estimation by using evolution-based technique for computer animation applications, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 6374 (ICCVG 2010 Part I), Springer Verlag, pp. 139-146, 2010

⁵³ Krupiński R., Mazurek P.: Sensitivity analysis of eye blinking detection using evolutionary approach, International Conference on Signals and Electronic Systems ICSES`10 Gliwice, pp. 81-84, 2010

⁵⁴ Krupiński R., Mazurek P.: Convergence Improving in Evolution-Based Technique for Estimation and Separation of Electrooculography and Blinking Signals, Advances in Intelligent and Soft Computing, Vol. 69 - Information Technologies in Biomedicine, Springer Verlag, pp. 293-302, 2010

⁵⁵ Krupiński R., Mazurek P.: Towards to real-time system with optimization based approach for EOG and blinking signals separation for human computer interaction, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 6179 (ICCHP`2010), Springer Verlag, pp. 154-161, 2010

⁵⁶ Krupiński R., Mazurek P.: Estimation of electrooculography and blinking signals based on filter banks, Lecture Notes in Computer Science, vol. 7594 (ICCVG'2012), Springer Verlag, pp. 156-163, 2012

Man

zwanych osobliwościami, możliwa jest za pomocą śledzenia maksimów modułu⁵⁷ począwszy od najmniejszej częstotliwości do największej. Kształt trajektorii w widmie jest zależny od rodzaju osobliwości i do jej śledzenia wykorzystuje się zwykle lokalną detekcję gradientową.

Autorskie rozwiązanie⁵⁸ polega na zastosowaniu algorytmu ST TBD do śledzenia maksimów i minimów w widmie w obszarze stożka osobliwości bez uprzedniej detekcji gradientowej, gdzie kolejne iteracje są wykonywane w dziedzinie częstotliwości. Trajektorie wyznaczone za pomocą ST TBD są dłuższe oraz mniej wrażliwe na zakłócenia.

Rozwiązanie to zostało wykorzystane w systemie detekcji saccad, czyli gwałtownych ruchów gałki ocznej oraz impulsów mrugnięcia powiekami, działającym w czasie rzeczywistym dla sygnału elektrookulograficznego (EOG).

Alternatywne systemy do śledzenia ruchu gałki ocznej na potrzeby animacji komputerowej wykorzystują systemy wideookulograficzne (VOG⁵⁹) instalowane na jednym lub dwóch około półmetrowych wysięgnikach instalowanych do kasku aktora. Rozwiązanie takie ogranicza niestety rejestrację w przypadku bezpośredniej interakcji aktora z innym aktorem lub interakcji ręki i twarzy aktora. Rozwiązanie bazujące na EOG nie ma tej wady, aczkolwiek występują problemy z długoterminową rejestracją oraz wpływem otoczenia na wyniki, np. zmianami oświetlenia. Są to otwarte zagadnienia badawcze. Systemy śledzenia ruchu gałki ocznej są obecnie rozwijane w szczególności do zdalnego monitorowania medycznego pacjentów⁶⁰.

Badania w zakresie analizy obrazów cytologii ginekologicznej

Innym zakresem badawczym, realizowanym wspólnie z Dorotą Oszutowską-Mazurek (aktualnie doktorantką prof. dr hab. inż. Jana Purczyńskiego na Wydziale Elektrycznym ZUT) oraz częściowo z dr n. med. Kingą Sycz (kierownikiem Zakładu Patomorfologii Samodzielnego Publicznego Wojewódzkiego Szpitala Zespólnego w Szczecinie im. Marii Skłodowskiej Curie) oraz mgr Grażyną Waker-Wójciuk (młodszy asystentem w Zakładzie Patomorfologii Samodzielnego Publicznego Wojewódzkiego Szpitala Zespólnego w Szczecinie im. Marii Skłodowskiej Curie) są badania w zakresie analizy cyfrowych obrazów mikroskopowych cytologii ginekologicznej wybarwianej metodą Papanicolaou. Materiał ten jest uważany za jeden najtrudniejszych do analizy z uwagi na olbrzymią złożoność morfologiczną obrazu. W serii publikacji^{61,62,63,64,65,66} rozpatrujemy różne metody analizy fraktalnej w celu dalszej klasyfikacji

⁵⁷ Mallat S.: A wavelet tour of signal processing, Academic Press, 2008

⁵⁸ Krupiński R., Mazurek P.: Real-Time Low-Latency Estimation of the Blinking and EOG Signals, Real-Time Systems, Architecture, Scheduling, and Application, pp. 313-334, InTech, 2012

⁵⁹ Rydlak K., Smółka B.: A novel approach to the eye movement analysis using a high speed camera, Int. Conf. On Advances in Computational Tools for Engineering Applications, pp. 145-150, 2012

⁶⁰ Augustyniak P., Smoleń M., Broniec A., Chodak J.: Data integration in multimodal home care surveillance and communication system, Advances in intelligent and Soft Computing, Vol. 69, pp. 391-402, 2010

⁶¹ Oszutowska-Mazurek D., Mazurek P., Sycz K., Waker-Wójciuk G.: Adaptive Windowed Threshold for Box Counting Algorithm in Cytoscreening Applications, Advances in Intelligent Systems and Computing, Vol. 233 - Image Processing and Communications Challenges 5, Springer Verlag, pp. 3-12, 2014

⁶² Oszutowska-Mazurek D., Mazurek P., Sycz K., Waker-Wójciuk G.: Variogram Based Estimator of Fractal Dimension for the Analysis of Cell Nuclei from the Papanicolaou Smears, "Advances in Intelligent Systems and Computing", Vol. 184 - Image Processing and Communications Challenges 4, Springer Verlag, pp. 47-54, 2013

⁶³ Oszutowska-Mazurek D., Mazurek P., Sycz K., Waker-Wójciuk G.: Estimation of Fractal Dimension According to Optical Density of Cell Nuclei in Papanicolaou Smears, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 7339 (ITIB'2012), Springer Verlag, pp. 456-463, 2012

Mau

na grupę atypową (stany przedrakowe oraz rak) i prawidłową na podstawie fragmentu tekstury i szacunkowego pola jądra.

Moim istotnym osiągnięciem⁶⁷ jest pokazanie relacji między metodą SIM (ang. Slit Island Method) estymacji wymiaru fraktalnego a dwuwymiarowym modelem Isinga. Obrazy jąder komórkowych można traktować jako określone realizacje procesu przemagnesowania ferromagnetyka, dla którego zachodzi przejście fazowe II stopnia. Analiza kształtu krzywej przemagnesowania pozwala na klasyfikację obrazów jąder. Jestem także współautorem zgłoszenia patentowego w zakresie analizy obrazu cytologii ginekologicznej⁶⁸.

Badania w zakresie analizy fraktalnej jąder komórkowych w celu ich dalszej klasyfikacji prowadzone są przez wiele zespołów badawczych, stosujących różne metody akwizycji⁶⁹. Ważnym i bardzo aktywnym obszarem badawczym jest analiza obrazów cytologicznych np. biopsji cienkoigłowej piersi^{70,71}. Bardzo aktywnymi obszarami badań są analiza tekstur obiektów w obrazach medycznych, segmentacja oraz przetwarzanie biosygnatów^{72,73,74}.

Badania w zakresie zastosowań algorytmów TBD oraz technik super-rozdzielczości w Inteligentnych Systemach Transportowych (ITS)

Wraz z dr hab. inż. Krzysztofem Okarmą badaliśmy różne aspekty zastosowania technik super-rozdzielczości w algorytmach przetwarzania obrazów dla Inteligentnych Systemów Transportowych (ITS). W szczególności dotyczyły one poprawy jakości obrazu tablic rejestracyjnych oraz śledzenia pojazdów z wykorzystaniem algorytmu ST TBD. Zastosowanie znanego lub estymowanego ruchu jednej lub większej liczby kamer pozwala na poprawę jakości obrazu i śledzenia, co jest istotne w pogorszonych warunkach atmosferycznych oraz w większej odległości od kamery. Cykl ponad 20 publikacji z tego zakresu został podsumowany w monografii⁷⁵.

⁶⁴ Mazurek P., Oszutowska-Mazurek D.: Analiza wpływu segmentacji jąder komórkowych w rozmazach Papanicolaou na pomiar wymiaru fraktalnego, *Pomiary Automatyka Kontrola*, Vol. 58 No. 6, pp. 498-501, 2012

⁶⁵ Mazurek P., Waker-Wójciuk G., Oszutowska D.: Fractal analysis limitations in digital analysis of Papanicolaou cytological images, *Pomiary Automatyka Kontrola*, Vol. 58 No. 1, pp. 52-54, 2012

⁶⁶ Oszutowska D., Mazurek P.: Fractal-based generator for microscopic cell and cell nucleus contour synthesis, *Metody Informatyki Stosowanej*, nr 2/2011 (tom 27), str. 105-112, 2011

⁶⁷ Mazurek P., Oszutowska-Mazurek D.: From Slit-Island Method to Ising Model - Analysis of Irregular Grayscale Objects, *International Journal of Applied Mathematics and Computer Science* (przyjęty w 2013 r. do druku w Vol.24, No.1, 2014)

⁶⁸ Mazurek P., Oszutowska D.: Urządzenie do zwiększania kontrastu optycznego między jądrem komórkowym a cytoplazmą i sposób zwiększania kontrastu optycznego między jądrem komórkowym a cytoplazmą, Zgłoszenie patentowe P.397107 z dnia 24.11.2011

⁶⁹ Metze K.: Fractal dimension of chromatin: potential molecular diagnostic applications for cancer prognosis, *Expert Review of Molecular Diagnostics*, Vol. 13 No. 7, pp. 719-735, 2013

⁷⁰ Kowal M., Filipczuk P., Obuchowicz A., Korbicz J., Monczak R.: Computer-aided diagnosis of breast cancer based on fine needle biopsy microscopic images, *Computers in Biology and Medicine*, Vol. 43 No. 10, pp. 1563-1572

⁷¹ Jeleń Ł., Ferens T., Krzyżak A.: Classification of breast cancer malignancy using cytological image of fine needle aspiration biopsies, *International Journal of Applied Mathematics and Computer Science*, Vol. 18 No. 1, pp. 75-83, 2008

⁷² Tadeusiewicz R., Augustyniak P.: *Podstawy inżynierii biomedycznej*, (tom 1 i 2), Wydawnictwo AGH 2009

⁷³ Śmietański J., Tadeusiewicz R., Łuczyńska E.: Texture Analysis in Perfusion Image of Prostate Cancer - A Case Study, *International Journal of Applied Mathematics and Computer Science*, Vol. 20 No.1, pp. 149-156, 2010

⁷⁴ Zieliński K., Strzelecki M.: *Komputerowa analiza obrazu biomedycznego. Wstęp do morfometrii i patologii ilościowej*, PWN 2002

⁷⁵ Purczyński J., Mazurek P., Okarma K.: *Wybrane zagadnienia analizy obrazów i śledzenia ruchu w Inteligentnych Systemach Transportowych. WSTE w Szczecinie*, 2012

Man

Wykorzystanie algorytmów TBD w zastosowaniach związanych z nadzorem ruchu drogowego jest obszarem zainteresowania różnych zespołów badawczych. Przykładowo w artykule⁷⁶ przedstawiono wykorzystanie systemu TBD (Likelihood of Features Tracking) do śledzenia z powietrza pojazdów w mieście. W rozwiązaniu tym zastosowano wstępne przetwarzanie obrazów z wykorzystaniem lokalnych histogramów, korelacji oraz SVM.

Badania w zakresie technik studia wirtualnego

Bardzo aktywnym obszarem badawczym na świecie jest wspomaganie produkcji filmowej, telewizyjnej i reklamowej. Jednym z zakresów moich zainteresowań są techniki wspomaganie estymacji ruchu kamery w studiu wirtualnym. Typową techniką jest wykorzystanie znaczników, które są widoczne dla kamery i śledzone w celu estymacji ruchu kamery (ang. matchmoving). W publikacji⁷⁷ zaproponowałem rozwiązanie z aktywnymi znacznikami tworzącymi sieć sensorową, które automatycznie wyłączają się w bezpośrednim sąsiedztwie aktora za pośrednictwem wirującego i zmodulowanego pola podczerwieni. Upraszcza to proces kluczowania chromatycznego, przy jednoczesnym zachowaniu bardzo wysokiego kontrastu między znacznikiem a tłem.

Moje publikacje w czasopiśmie oraz w rozdziałach w monografiach o szerokim obiegu zostały zauważone przez innych autorów, o czym świadczy rosnąca w kolejnych latach liczba ich niezależnych cytowań. Za swoje osiągnięcia naukowe byłem kilkakrotnie nagradzany przez Rektora ZUT.

Poza działalnością naukową prowadzę również działalność dydaktyczną, czego efektem jest promotorstwo kilkudziesięciu prac dyplomowych magisterskich i inżynierskich. Moja aktywność organizacyjna wyraża się m.in. zaangażowaniem w tworzenie oferty dydaktycznej oraz bazy naukowo-dydaktycznej Wydziału Elektrycznego (realizacji projektu inwestycyjnego dofinansowanego przez Unię Europejską, udział w tworzeniu nowego kierunku studiów, uruchamianiu i realizacji studiów podyplomowych).

Współpracuję od wielu lat z przedsiębiorstwami, realizując zadania z zakresu techniki mikroprocesorowej, systemów pomiarowych, układów regulacji oraz urządzeń i systemów teleinformatycznych. Efektem tej współpracy są wdrożenia, jak i opracowania prototypów urządzeń. Zadania te realizowałem indywidualnie, jak i zespołowo, również pracując w dużych zespołach międzynarodowych (w szczególności Siemens ICN AN).

⁷⁶ Pelapur R., Candemir S., Bunyak F., Poostchi M., Seetharaman G., Palaniappan K.: Persistent Target Tracking Using Likelihood Fusion in Wide-Area and Full Motion Video Sequences, International Conference on Information Fusion (FUSION), pp. 2420-2427, 2012

⁷⁷ Mazurek P.: Selectively active markers for solving of the partial occlusion problem in matchmoving and chromakeying workflow, Infrared Physics and Technology, Vol. 60, pp. 260-265, 2013

Mam

Łącznie po obronie pracy doktorskiej opublikowałem **124** prac (w tym **92** prac z listy czasopism punktowanych MNiSW, z czego **25** w wydawnictwach indeksowanych w bazie Web of Science, w tym **5** w czasopismach z bazy JCR posiadających współczynnik Impact Factor).

Indeks Hirscha, wyznaczony dla **25** aktualnie indeksowanych przez **Web of Science** prac cytowanych łącznie **32** razy wynosi **3**.

Sumaryczny Impact Factor wyznaczony dla moich prac według roku publikowania wynosi aktualnie **5,565**.

Przemysław Mańka

Mańka