

dr hab. inż. Maciej Patan, prof. UZ
Instytut Sterowania i Systemów Informatycznych
Uniwersytet Zielonogórski

Zielona Góra, 18 września 2023

S E K R E T A R I A T
Rady Dyscypliny AEEITK

Wpłynęło dnia 21. 09. 2023
Zarejestrowano pod nr
Podpis *dm*

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Marka Szlachetki

Detekcja wolnej przestrzeni wokół samochodu w oparciu o siatkę zajętości

1 Podstawa prawna

Recenzja została przygotowana na wniosek Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne z dnia 6 lipca 2023 r., a jej przedmiotem jest dysertacja złożona w przewodzie doktorskim mgr. inż. Marka Szlachetki, prowadzonym w dyscyplinie automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych zgodnie z klasyfikacją określoną w Rozporządzeniu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 11 października 2022 roku w sprawie dziedzin nauki i dyscyplin naukowych oraz dyscyplin artystycznych (Dz. U. 2022 poz. 2202).

2 Obszar problemowy rozprawy

Obecnie jesteśmy świadkami niezwykle dynamicznego rozwoju technologii umożliwiających wieloaspektowe wspomaganie prowadzenia pojazdu w sytuacjach realnego ruchu drogowego. Jest to odpowiedź branży motoryzacyjnej na wyzwanie cywilizacyjne związane ze stale rosnącymi wymaganiami dotyczącymi bezpieczeństwa, rosnącej złożoności scenariuszy drogowych, wymaganiami jakościowymi manewrowania oraz oczywiście aspektami ekonomicznymi. Należy w tym miejscu zaznaczyć, że celem zaawansowanych systemów wspomagania kierowcy (*ang.* Advanced Driver Assistance Systems, ADAS) nie jest pełnia autonomii jazdy sama w sobie, choć jest to niezwykle atrakcyjna i futurystyczna wizja rozwoju branży, ale wsparcie kierowcy w bardziej bezpiecznym i efektywnym kontrolowaniu pojazdu. Osiąga się to poprzez zwiększanie zdolności do szybkiego i skutecznego reagowania na zagrożenia drogowe poprzez wczesne ostrzeganie i automatyzację podsystemów sterowania pojazdem. W tym sensie, każde, nawet niewielkie, cząstkowe

usprawnienie przekłada się bezpośrednio na bezpieczeństwo i komfort jazdy. Od strony czysto praktycznej, zastosowania przemysłowe systemów ADAS rozpoczęły się w latach 70-tych wraz z implementacją systemów zapobiegania blokowaniu kół. Aktualnie dostępne w samochodach systemy ADAS są nadal najwyżej poziomu 2 (czyli człowiek jest nadal elementem stale nadzorującym jazdę), i dopiero w tym roku koncern Mercedes-Benz uzyskał legalizację władz USA do stosowania systemu poziomu 3, a samo wdrożenie nie nastąpi nie wcześniej niż w drugiej połowie 2024 roku. Mimo to, poziom bezpieczeństwa i efektywności jazdy stale wzrasta. Świadczy to nie tylko o niezwykle trudnej naturze zagadnienia, ale także o wysokim stopniu złożoności nowoczesnych systemów ADAS wysokiego poziomu. Niestety, wraz ze stopniem skomplikowania rzeczywistych układów wspomagania, ich podatność na błędy, nieprawidłowe działanie czy nieprzewidziane tryby pracy również wzrasta. Z tego względu systematyczny rozwój stabilnych i efektywnych algorytmów potrzebnych do integracji systemów ADAS jest tak ważna.

Rozprawa jest poświęcona realizacji jednego z fundamentalnych zadań algorytmicznych w ramach subsumpcyjnej architektury systemu kierowania pojazdem, mianowicie estymacji przestrzeni wolnej od przeszkód, która jest ważnym elementem warstwy percepcji pojazdu autonomicznego separującej systemy sprzętowe z sensoryką od wyższej warstwy algorytmów planowania ruchu i podejmowania decyzji. Doktorant postawił sobie cel naukowy w postaci opracowania podejścia do estymacji i śledzenia granicy wolnej przestrzeni będącego istotnym rozwinięciem techniki parametrycznych map wolnej przestrzeni (*ang.* Parametric Free Space, PFS). Punktem wyjścia Autora jest zastosowanie siatek zajętości jako danych wejściowych, co umożliwia wirtualizację rozwiązania od sprzętowej realizacji sensoryki i jest jednym z powszechnie stosowanych w praktyce rozwiązań. Następnie dokonuje aproksymacji granic obszaru w klasie krzywych sklejańnych typu B-spline. Taka parametryzacja pozwala na znaczne zredukowanie danych wyjściowych, czasu obliczeń oraz zasobów pamięciowych. Przeanalizowano i przetestowano różne usprawnienia związane z filtracją punktów pomiarowych, ich asocjacją ze splajnami oraz adaptacyjnym modyfikowaniem listy punktów kontrolnych krzywej.

Tak zarysowaną problematykę rozprawy uważam za istotną i aktualną. Różnorodność docelowych aplikacji i skala złożoności systemów autonomicznego i wspomaganego kierowania pojazdami stanowią ogromne intelektualne wyzwanie inżynierskie. Każda nowa metoda oraz usprawnienie istniejących prowadzące do skrócenia czasu odpowiedzi systemu przy jednocześnie zwiększonej dokładności działania jest warta przebadania, ponieważ umożliwia zbudowanie systemu o wysokiej efektywności i poziomie bezpieczeństwa, co w przypadku wspomaganego kierowcy jest zagadnieniem o ogromnym znaczeniu. Wybór tematu opiniowanej rozprawy należy zatem ocenić pozytywnie.

Problem naukowy rozważany w rozprawie doktorskiej jest ściśle związany z zagadnieniami automatyki i robotyki w ramach dyscypliny naukowej **automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne**.

3 Układ rozprawy

Rozprawa doktorska została napisana w języku angielskim oraz zawiera streszczenie w języku polskim. Praca ma 157 stron i składa się na nią 6 rozdziałów głównych, wykaz literatury oraz 1 dodatek. W załączonej bibliografii znajduje się 127 cytowanych pozycji reprezentujących aktualny stan wiedzy w zakresie tematyki rozprawy.

W rozdziale pierwszym stanowiącym jednocześnie wstęp, Autor bardzo krótko przedstawia problem monitorowania przestrzeni wokół pojazdu na tle systemów wspomagania kierowcy oraz podaje podstawowe cele wraz z postawieniem głównej tezy pracy. Następnie przedstawia zwięzłą listę osiągniętych rezultatów stanowiących wkład do aktualnego stanu wiedzy. Wstęp zawiera także opis struktury pracy.

Rozdział 2 to zwięzłe wprowadzenie do tematyki zaawansowanych systemów wspomagania kierowcy wraz ze zdefiniowaniem architektury oraz głównych komponentów tego typu systemów. Autor przedstawia również cząstkowy przegląd istniejących rozwiązań z odniesieniami do literatury dający pewien ogólny przegląd aktualnego stanu wiedzy.

Rozdział 3 zawiera przegląd istniejących metod modelowania stacjonarnego środowiska otaczającego pojazd wskazując na ich wady oraz zalety. Przedstawiono wyniki porównania różnych modeli w aspekcie typu realizowanego scenariusza sytuacji drogowej, zasobów obliczeniowych oraz cech niezbędnych do integracji w ramach pełnego systemu wspomagania kierowcy. Na koniec przedstawiono ogólny schemat przetwarzania i przepływu danych dla wybranych metod.

Rozdział 4 został poświęcony szczegółowemu opisowi algorytmu proponowanego przez Doktoranta. Opisano interfejs wejściowo-wyjściowy oraz zdefiniowano podstawy działania projektowanego systemu wraz z założeniami. Autor przedstawił detale przetwarzania mapy zajętości oraz estymacji krzywej reprezentującej otoczenie pojazdu ze szczególnym uwzględnieniem wszystkich proponowanych usprawnień do metody PFS.

Rozdział 5 zawiera wyniki eksperymentów weryfikujących zaproponowane rozwiązania: (i) wprowadzenie i zdefiniowanie kryteriów ewaluacji jakościowo-ilościowej, (ii) przygotowanie danych do scenariuszy symulacyjnych, (iii) przeprowadzenie badań porównawczych z algorytmem referencyjnym na danych symulacyjnych i jednym scenariuszu rzeczywistym oraz (iv) dodatkowa analiza wpływu różnych czynników mających wpływ na jakość aproksymacji.

Ostatni rozdział stanowi podsumowanie pracy doktorskiej i przedstawia wnioski stanowiące przesłankę do potwierdzenia głównej tezy rozprawy. Doktorant wskazuje również możliwe kierunki przyszłych prac badawczych.

Układ rozprawy pod kątem podziału na rozdziały i ich spójności wydaje się być poprawny. Jednakże, w mojej opinii rozdział 1 powinien mocniej akcentować motywację podjęcia tematu. Ponadto w pracy doktorskiej powinno się zaprezentować lepszy przegląd istniejących zastosowań algorytmów generowania przestrzeni wolnej od przeszkód stosowanych w szerszym kontekście zastosowań mobilnej robotyki serwisowej. Dałoby to lepszy ogólny przegląd potencjału, uniwersalności i znaczenia proponowanego podejścia. Co prawda pewien przegląd rozwiązań został przedsta-

wiony w rozdziale 2, ale tylko w odniesieniu do systemów ADAS, przy czym brakuje w nim także wyraźnego zaakcentowania miejsca i roli opracowywanego algorytmu w całościowym systemie wspomagania kierowcy.

Na podstawie tak nakreślonej problematyki pracy i zawartości rozdziałów można stwierdzić, że rozprawa doktorska wystarczająco prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Autora w dyscyplinie przewodu.

4 Oryginalne osiągnięcia

Na podstawie lektury całości rozprawy, główny cel jaki postawił sobie Doktorant można określić jako opracowanie algorytmicznego podejścia do parametrycznej estymacji i śledzenia wolnej przestrzeni dookoła pojazdu umożliwiającego: (1) zwiększenie poziomu abstrakcji modelu opisującego bezkolizyjne otoczenie obiektu, co prowadzi między innymi do zredukowania ilości danych wyjściowych warstwy percepcji systemu, oraz (2) polepszenie jakości procesu aproksymacji otoczenia względem rozwiązania referencyjnego. Zaproponowane podejścia zostały przetestowane na różnorodnym zestawie symulacyjnych scenariuszy drogowych oraz jednym rzeczywistym.

Za najważniejsze z oryginalnych wyników rozprawy doktorskiej, stanowiących wkład do dyscypliny **automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne** uważam:

1. Badania porównawcze modeli statycznych otoczenia pod kątem ich własności funkcjonalnych oraz adekwatności zastosowania do typu scenariusza drogowego,
2. Opracowanie efektywnego podejścia do śledzenia wolnej przestrzeni bazującego na metodzie PFS z istotnymi ulepszeniami, w tym:
 - algorytm redukcji redundancji w zbiorze punktów pomiarowych przy utrzymaniu poziomu jakości aproksymacji,
 - metodyka określania statusu punktu kontrolnego na podstawie asocjacji funkcji bazowych z punktami pomiarowymi,
 - analiza lokalnego kształtu B-splajnów z zastosowaniem zestawu wprowadzonych wskaźników kształtu i poziomu błędu aproksymacji,
 - metodyki adaptacyjnego dodawania i usuwania punktów kontrolnych na podstawie wspomnianych wyżej wskaźników,
3. Badania porównawcze opracowanego podejścia z algorytmem referencyjnym na wielu scenariuszach testowych,
4. Analiza jakościowo-ilościowa z zastosowaniem zaproponowanych kryteriów jakości aproksymacji oraz detekcji błędnych punktów krzywej.

Bez wątpienia rozprawa zawiera zarówno warstwę teoretyczną (rozwińnięcie istniejących algorytmów i ich analiza) oraz warstwę ilustracyjną (badania porównawcze i weryfikacja eksperymentalna). Oceniając merytorycznie całą rozprawę stwierdzam, że zawiera poprawnie sformułowany i istotny problem naukowy oraz prezentuje podejście do jego rozwiązania uzyskane przez mgr. inż. Marka Szlachetkę samodzielnie i z zastosowaniem dostępnych metod i narzędzi.

Dodatkowo, należy wspomnieć o dorobku publikacyjnym Doktoranta obejmującym tylko 2 publikacje, w tym 1 artykuł w czasopiśmie *Journal of Computational Science* (IF=3.3, 100 pkt. wg wykazu ministerialnego w dyscyplinie przewodu) i 1 pracę w materiałach konferencji *Signal Processing: algorithms, architectures, arrangements, and applications*, SPA 2020. Obie publikacje są indeksowane w uznanej bazie Web of Science i są ściśle związane z pracą doktorską, dzięki czemu można ocenić wkład doktoranta jako istotny. Jest to co prawda skromny dorobek, ale należy w ocenie uwzględnić wdrożeniowy charakter doktoratu.

5 Uwagi krytyczne

Pomimo sporej liczby wyników zawartych w recenzowanej rozprawie, jej nietrywialna problematyka prowadzi do podniesienia ważnych kwestii natury ogólnej zarówno o charakterze teoretycznym jak i praktycznym:

1. Brakuje jasno nakreślonej motywacji wyboru algorytmu PFS w oryginalnej wersji jako jedynego algorytmu referencyjnego. W całej rozprawie zawarte ku temu przesłanki ujęto lapidarnie i są dość rozmyte na przestrzeni wielu rozdziałów pracy, a przez to nie do końca przekonujące. W podrozdziale 3.5 nie sprecyzowano klarownie decydujących kryteriów wyboru. A przecież w świetle wykonanych badań porównawczych w podrozdziale 3.3 wydawałoby się, że ocenę zużycia zasobów obliczeniowych i zdolność algorytmu do wirtualizacji w architekturze warstwowej systemu ADAS należałoby wykonać wieloaspektowo na podstawie licznych kryteriów. Zatem wydaje się, że wybór pojedynczego algorytmu referencyjnego wpływa na prawidłową ocenę skuteczności zaproponowanego przez Autora rozwiązania, ponieważ skupiamy się na analizie ograniczonego zestawu korzystnych właściwości, które mogłyby wnieść do porównania inne alternatywne podejścia.
2. W oryginalnej wersji metody PFS zaproponowanej przez M. Schreiera, V. Willerta and J. Adamy'ego w 2013 r. algorytm pozwalał oprócz wytyczenia krzywej ograniczającej wolną przestrzeń na jednoczesne uzyskanie prymitywów geometrycznych przeszkód w jej obrębie wraz z ich wstępną klasyfikacją, niejako przy okazji. Jest oczywiste, że ta dodatkowa informacja wyjściowa zwiększa znacząco funkcjonalność i uniwersalność algorytmu. Ten aspekt metody nie został zupełnie uwzględniony w przedstawionej rozprawie, a bez wątpienia byłoby to bardzo interesujące rozszerzenie proponowanego podejścia. Czy wpłynęłoby to istotnie na wskaźniki efektywności czasowo-pamięciowej algorytmu?

3. W podrozdziale 3.3 ujęto bardzo interesujący i ważny wątek badań porównawczych modeli stacjonarnych otoczenia, który jest kluczowy z punktu widzenia wyboru adekwatnej reprezentacji danych do interfejsu wejściowego proponowanego algorytmu. Autor zresztą deklaruje takie porównanie jako jedno z oryginalnych osiągnięć rozprawy. Dlatego zdecydowanie brakuje w tym miejscu szerszego omówienia kryteriów klasyfikacji modeli w ramach odpowiednich kategorii reprezentujących niezbędne funkcjonalności oraz przydatność do scenariuszy drogowych. Nie podano szczegółów metodyki badań empirycznych stojących za wynikami zebranymi w Tabelach 3.1 oraz 3.2. Stąd, czytelnik może odnieść wrażenie, że przyporządkowanie to wykonano w jakiś arbitralny sposób. Biorąc pod uwagę, że takie porównania modeli stacjonarnych były już wcześniej przedstawiane w literaturze, co nowego oferuje w tym zakresie praca doktorska, czy może tylko potwierdza wcześniejsze wyniki?
4. W algorytmie estymacji B-splajnu do realizacji predykcji stanu (wzory 4.4.8-4.4.10) oraz w fazie innowacji pomiaru (wzory 4.4.28-4.4.30) zastosowano filtr informacyjny, pozwalający na posługiwanie się wektorem stanu o mniejszej wymiarowości. Na pewno 10-lat temu miało to duże znaczenie z punktu widzenia zasobów obliczeniowych. Czy na dzień dzisiejszy przynosi to nadal tak istotne korzyści, w porównaniu do filtra Kalmana? Ze względu na prototypowanie w środowisku MATLAB, byłby on prostszy do realizacji, gdyż jest dostępna jego efektywnie zaimplementowana wersja.
5. W większości systemów sensorowych do określania kierunku i odległości, stosowanych do generowania map zajętości (takich jak radary, lidary, sonary, etc.) pomiary są jednak skorelowane, tzn. najbliższe odległościowo pomiary są od siebie zależne. Dodatkowo niepewność pomiarowa rośnie z odległością. W praktycznej sytuacji zatem można się spodziewać, że macierz kowariancji R_k dana wzorem 4.4.33 nie będzie diagonalna, ale raczej wstęgowa, i ze względu na ruch 'pojazdu ego' powinna być raczej adaptowana w czasie. Czy zatem założenie (wzór 4.4.33) nie jest zbyt konserwatywne?
6. Zestaw parametrów w podrozdziale 4.4.6, tj. $\{\Psi_{\text{addition}}, \Psi_{\text{removal}}, \Phi_{\text{addition}}, \sigma_{\text{removal}}, \kappa_{\text{uncertainty}}, \tau_{\text{status}}, d_{\text{close}}\}$ ma decydujący wpływ na działanie proponowanych przez Doktora usprawnień. Niezbędne są wskazania projektowe (nawet o charakterze heurystycznym), w jaki sposób dobierać ich wartości, żeby nie zdestabilizować algorytmu i uzyskać oczekiwaną efektywność jego działania.
7. W podrozdziale 5.2.2.1 sprecyzowano dwa sposoby określania punktu p_i (w opisie do wzoru 5.2.4 mylnie określony jako punkt referencyjny) jako punktu na splajnie najbliższego punktowi referencyjnemu (tzw. *closest spline point*) oraz najbliższego do stycznej do krzywej referencyjnej w punkcie referencyjnym (tzw. *perpendicular spline point*). W przypadku niskiego stopnia funkcji bazowych splajnu te dwa sposoby naliczania będą mocno skorelowane i stosowanie obu przy liczeniu odległości niewiele wnosi, co widać na wykresach

pudełkowych 5.10, 5.13, 5.20, 5.26, 5.33, gdzie warianty (a) i (b) różnią się nieznacznie, a charakter asymetrii rozkładu jest niemal identyczny. Co ciekawe, na wykresach pudełkowych dla wszystkich scenariuszy mediana błędu aproksymacji dla wariantu *closest point* (a) jest nieco wyższa niż dla *perpendicular point* (b). Jak wyjaśnić ten fenomen?

8. W podrozdziale 5.2.3 wprowadza się wskaźniki częstości charakteryzujące prawidłową klasyfikację punktów splajnu jako punktów rzeczywistego brzegu wolnej przestrzeni, mianowicie TPR, PPV, F1 (wzory 5.2.7-5.2.9). Są to popularne statystyki mające wymiar prawdopodobieństwa i stosowane powszechnie w badaniu jakości klasyfikacji oraz uczeniu maszynowym. Natomiast zdefiniowany w pracy sposób wyznaczania tzw. błędu detekcji jako przekroczeniu odpowiedniego progu odległościowego ma pewne konsekwencje. Mianowicie wymienione wskaźniki stają się zmiennymi losowymi charakteryzowanymi przez pewne rozkłady prawdopodobieństwa, których hiperparametrem staje się wspomniany próg detekcji. Innymi słowy teoretycznie poprzez odpowiedni dobór tego progu można mocno 'podrasować' wartości tych metryk. Nie oznacza to oczywiście, że wyniki są mało użyteczne, ale należałoby je uzupełnić o oszacowanie ich poziomu ufności dla arbitralnie wybranego progu odległościowego.
9. Podrozdział 5.3. pozostawia czytelnika z ogromnym niedosytem. Które konkretnie parametry algorytmu były strojone, czy może wszystkie? Jakie konkretne wartości zostały zadane jako inicjacyjne, a jakie ostatecznie uzyskano po optymalizacji i czy w każdym adaptowanym scenariuszu należało proces powtarzać? Są to kluczowe informacje projektowe ułatwiające zreprodukcowanie wyników i ich lepszą weryfikację. Użycie algorytmu genetycznego ma się raczej nijak do specyfiki problemu i nie zapewnia efektywnego dostrajania parametrów w czasie rzeczywistym oraz w przypadku konieczności dynamicznej zmiany scenariusza drogowego.
10. Eksperymenty na rzeczywistym obiekcie opisane w podrozdziale 5.4.3 są zbyt skromnie udokumentowane, a nie ma co ukrywać, że takie scenariusze wdrożeniowe są w kontekście rozprawy najbardziej interesujące i potwierdzają potencjał w zastosowaniach. Brakuje tutaj szczegółów infrastruktury pomiarowej (np. jaki typ urządzeń radarowych, z jakimi niepewnościami kątowymi i odległościowymi, zasięgiem, etc. został wykorzystany) oraz wizji lokalnej środowiska (np. rozmieszczenia przeszkód na parkingu, trajektorii pojazdu, etc.), co bardzo utrudnia ocenę jakości wyników.
11. Implementacja podejścia w MATLAB-ie wydaje się naturalna, gdyż oferuje duże wsparcie dla różnych fragmentów algorytmu, takich jak siatki zajętości w (Navigation Toolbox) oraz ich morfologicznej i statystycznej obróbki (Computer Vision Toolbox). Pewne elementy dla scenariuszy drogowych (np. śledzenie granic pasa ruchu itp.) są dostępne także Automatic Driving Toolbox. Jednak ze względu na czasy ewaluacji odbiegające od rzeczywistego, może być traktowana tylko w kategoriach prototypu. Biorąc pod uwagę, możliwości śro-

dowiska MATLAB, kompilacja kodu i osadzenie symulacji w trybie software-in-the-loop czy nawet w hardware-in-the-loop byłoby naturalnym kierunkiem dalszych badań nad algorytmem. Czy takie rozwinięcie było rozważane w trakcie realizacji pracy z partnerem przemysłowym?

12. Biorąc pod uwagę wdrożeniowy charakter pracy w całej rozprawie brakuje szczegółów specyfikacji wymagań dla docelowej implementacji praktycznej, nawet jeżeli w analizie wymagań wystarczyło wykonać prototyp. Jest to o tyle ważne, że taka implementacja musi charakteryzować się czasem rzeczywistym działania systemu, ze ściśle nakreślonym reżimem opóźnień dla poszczególnych komponentów. Być może partner przemysłowy (firma Aptiv Services Polska) nie narzucił żadnych ograniczeń sprzętowych oraz programowych, choć wydaje się to mało prawdopodobne, ewentualnie okazały się nieistotne w trakcie realizacji, co tym bardziej wypadałoby szerzej skomentować.

Pod względem redakcyjnym praca napisana jest starannie i na dobrym poziomie, a użyta terminologia odpowiada powszechnie stosowanej. W pracy występują nieliczne drobne błędy językowe, które nie mają wpływu na całokształt oceny pracy.

Przedstawione uwagi/komentarze mają charakter konstruktywnej krytyki będącej przyczynkiem do szerszej dyskusji i nie podważają samej istoty pracy, którą oceniam jako napisaną na wystarczającym poziomie merytorycznym.

6 Podsumowanie

Biorąc pod uwagę oryginalne osiągnięcia naukowo-badawcze stwierdzam, że:

1. Recenzowana rozprawa doktorska Pana mgr. inż. Marka Szlachetki pt. *Detekcja wolnej przestrzeni wokół samochodu w oparciu o siatkę zajętości* (ang. *Freespace detection and examination based on surround occupancy grid*) spełnia wymagania ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z późniejszymi zmianami (Dz.U. nr 2023, poz. 742).
2. Wnoszę o przyjęcie rozprawy doktorskiej autorstwa mgr. inż. Marka Szlachetki oraz dopuszczenie jej do publicznej obrony przed Radą Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie.

Maciej Patan
dr hab. inż. Maciej Patan, prof. UZ