Studenckie Koło Naukowe Zastosowania Metod Sztucznej Inteligencji

Wydział Mechaniczny Technologiczny

Politechnika Śląska

Opracowanie systemu wizji do zastosowania w międzyplanetarnym łaziku Phoenix III

Opiekun projektu
Dr hab. inż. Piotr Przystałka, prof. PŚ

Rok akademicki 2022/23

Projekt realizowany w ramach programu Inicjatywa Doskonałości - Uczelnia Badawcza

Opracowali:
Jakub Gurgul
Bartosz Bdzionek
Witold Krafczyk

Centrum Nowych Technologii
ul. Konarskiego 22b
44-100 Gliwice

https://sknaimeth.polsl.pl/

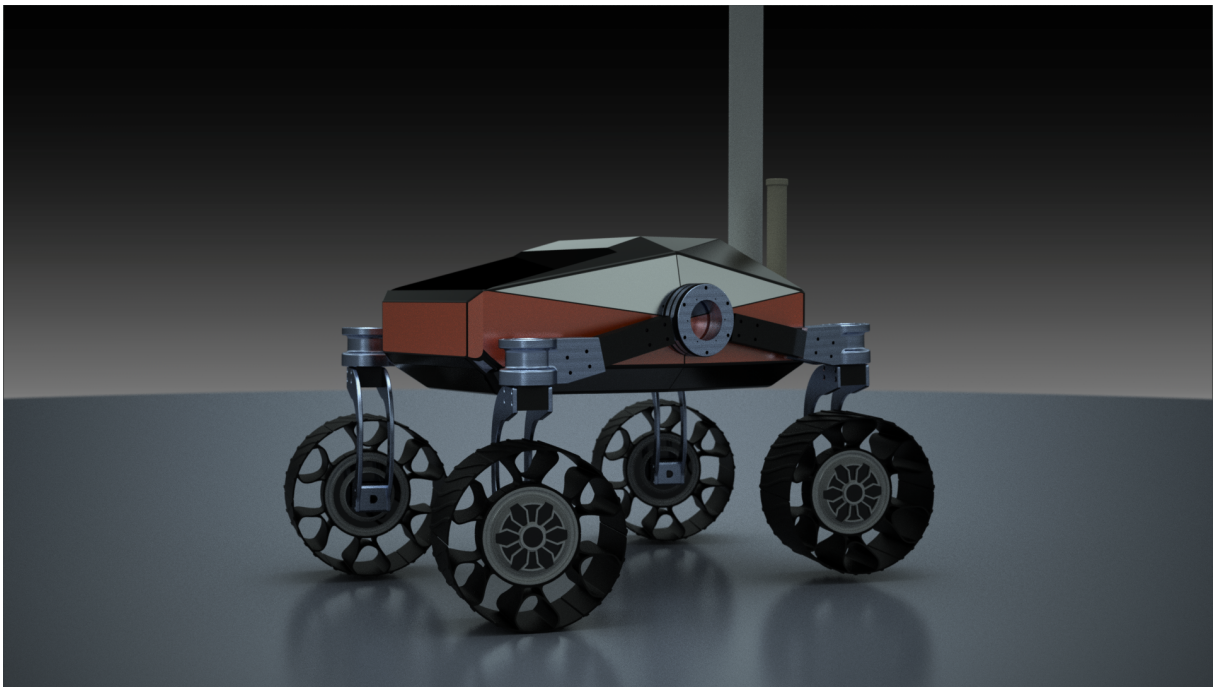
1. Wstęp

1.1. Cel i zakres projektu

Celem projektu jest zaprojektowanie oraz wykonanie systemu wizji do zastosowania w łaziku międzyplanetarnym Phoenix III (przedstawionym na rysunku 1), aktualnie projektowanym w zespole Silesian Phoenix [15], działającym w ramach SKN AI-METH [8]. W tym celu zakłada się opracowanie i przetestowanie kilku koncepcji rozwiązań, opartych na podczerwieni, zewnętrznym oświetleniu czy kamerach dookolnych. Na podstawie uzyskanych wyników testów, zostanie wybrane ostateczne rozwiązanie układu, które będzie mogło być zastosowane w ostatecznej wersji łazika.

Główny cel zostanie zrealizowany poprzez wypełnienie celów cząstkowych:

- sformułowanie założeń projektowo-konstrukcyjno-funkcjonalnych, które będą musiały spełniać kamery wykorzystywane w poszczególnych modułach,
- opracowanie zbioru możliwych rozwiązań i na ich podstawie opracowanie docelowego systemu,
- ewaluacja wybranych rozwiązań i opracowanie końcowej wersji,
- transfer technologii do łazika Phoenix III.



Rys. 1: Wizualizacja platformy Phoenix III na listopad 2022

1.2. Oczekiwane rezultaty

W ramach projektu oczekuje się, że zostanie opracowany system wizyjny, który będzie można zastosować w aktualnie rozwijanej wersji łazika Phoenix III. System będzie się składać z zestawu kamer: podczerwonych, z zewnętrznym dodatkowym oświetleniem lub kamer dookolnych. Dodatkowym efektem projektu będzie zdobycie wiedzy oraz umiejętności praktycznych z zakresu realizacji projektów grupowych oraz bezpośrednio związanych z tematyka projektu tj. systemów wizyjnych. Zdobyta techniczna wiedza może zostać zaprezentowana w postaci publikacji naukowej lub wystąpienia na konferencji.

2. Założenia projektowe

Założenia sprzętowe

W projekcie zakłada się wykonanie systemu wizyjnego składającego się z co najmniej dwóch kamer. Jest to minimalna liczba kamer umożliwiająca operatorski nadzór, która została określona dla platformy Phoenix III. Jedna z kamer powinna umożliwiać widzenie bliskiego otoczenia platformy w 360°. Druga z kamer powinna umożliwiać dokładniejsze widzenie w dalszej perspektywie oraz umożliwiać niezależny od robota ruch. Ponadto wymaga się, aby kamery były zasilane z wykorzystaniem standardu POE (ang. *Power over Ethernet*) - IEEE 802.3af [12], co pozwoli na zmniejszenie liczby wymaganych przewodów.

Założenia komunikacyjne

W celu ograniczenia zakłóceń oraz zmniejszenia opóźnienia przesyłanego obrazu, kamery powinny być wyposażone w interfejs komunikacyjny typu przewodowego. Preferowanym typem komunikacyj jest interfejs Ethernet [2]. Wymaga się minimalnej prędkości transmisji danych na poziomie 70 Mb/s (ang. *Megabytes per second* - megabity na sekundę) przy bezpośrednim połączeniu z kamerą, oraz 50 Mb/s przy połączeniu wykorzystującym system komunikacji bezprzewodowej zamontowany na łaziku.

Założenia systemowe

Ze względu na aktualnie wykorzystywaną infrastrukturę systemową łazika, obraz z kamer powinien być osiągalny z wykorzystaniem protokołów TCP/IP (ang. *Transmission Control Protocol/Internet Protocol*) [5], HTTP(S) (ang. *Hypertext Transfer Protocol (Secure)*) [9, 3], FTP (ang. *File Transfer Protocol*) [6] oraz IEEE 802.1x [11].

Założenia dotyczące obrazu

Aby umożliwić komfortową oraz efektywną pracę operatora, rozdzielczość otrzymywanego z kamer obrazu powinna być co najmniej na poziomie Full HD (1920 x 1080 pikseli). Ilość minimalnie przekazywanych klatek na sekundę powinna wynosić 20. Matryca powinna posiadać rozdzielczość co najmniej 1.8 Mpx oraz być typu CMOS (ang. *complementary metal–oxide–semiconductor*) [4] lub CCD (ang. *charge-coupled device*) [1].

Założenia dotyczące montażu

Wszystkie elementy systemu wizyjnego powinny umożliwiać łatwy montaż w aktualnie rozwijanej iteracji łazika, bez konieczności wprowadzania dużych zmian konstrukcyjnych.

Wszystkie opisane powyżej wymagania zostały przedstawione w Tabeli 1.

Tab. 1: Zestawienie kryteriów dla systemu wizyjnego

Parametr	Kryterium
Kąt widzenia	360° lub co najmniej 110°
Zasilanie	IEEE 802.3af
Typ komunikacji	Przewodowy
Prędkość transmisji	Co najmniej 50 Mb/s
Protokoły sieciowe	TCP/IP, HTTP(S), FTP oraz IEEE 802.1x
Rozdzielczość obrazu	Co najmniej Full HD (1920 x 1080 px)
Ilość klatek na sekundę	Co najmniej 20 kl/s
Rozdzielczość matrycy	Co najmniej 1.8 Mpx
Typ matrycy	CMOS lub CCD

3. Dobór elementów systemu

3.1. Kamery

Na podstawie wymagań opisanych w Rozdziale 2, wybrano cztery urządzenia mogące wejść w skład budowanego systemu wizyjnego.

3.1.1. Kamera IP DS-2CD2935FWD-IS 2

Jest to urządzenie stworzone przez firmę Hikvision, wyposażone w soczewkę typu rybie oko o rozdzielczości 3MP. Dzięki temu możliwa jest jednoczesna obserwacja większego obszaru. Dołączone do kamery oprogramowanie, umożliwia przełączanie się pomiędzy konkretnymi strefami wizji, a widokiem sferycznym. Umożliwia to operatorowi na nadzór większego obszaru a w razie potrzeby przełączenie na konkretną strefę i dokładniejsze zweryfikowanie jej statusu. Kamera została również wyposażona w oświetlacz IR (ang. Infrared, podczerwień), pozwoli on na efektywniejszą pracę w warunkach słabego oświetlenia lub całkowitej ciemności.

Rys. 2: Kamera IP DS-2CD2935FWD-IS

3.1.2. Kamera IP BCS-V-FI522IR1 3

Kamera IP firmy BCS VIEW jest wyposażona w soczewkę rybie oko 180° z przetwornikiem CMOS o rozmiarze 1/2.5" i rozdzielczości 5Mpx. Kamera wyposażona jest w oświetlacz IR z zasięgiem 8 metrów, oraz mechaniczny filtr podczerwieni który zwiększa możliwości kamery w słabym oświetleniu. Podobnie jak w przypadku rozwiązania od firmy Hikvision, tak i tutaj oprogramowanie kamery pozwala na obserwowanie całej strefy oraz odpowiednie przełączanie się pomiędzy nimi.

Rys. 3: Kamera IP BCS-V-FI522IR1

3.1.3. Kamera IP DS-2DE2C400MW-DE 4

Urządzenie Hikvision jest wyposażone w obiektyw stało ogniskowy 2.8mm oraz przetwornik o rozmiarze 1/3" i rozdzielczości 4MP. Dodatkowo konstrukcja kamery umożliwia ruch w dwóch osiach – pionowej oraz poziomej. Urządzenie zostało również wyposażone w oświetlacz IR, oraz LED (ang. Light-emitting diode, dioda elektroluminescencyjna) o zasięgu 30 metrów.

Rys. 4: Kamera IP DS-2DE2C400MW-DE

3.1.4. Kamera IP SD2A500-GN-A-PV 5

W urządzeniu firmy Dahua zastosowano przetworniki CMOS rozmiarze 1/2.8" i rozdzielczości 5 Mpx. Kamera pozwala na ruch w dwóch osiach oraz jest wyposażone w oświetlacz IR oraz LED.

Rys. 5: Kamera IP SD2A500-GN-A-PV

3.1.5. Dobrane elementy systemu wizyjnego

Ostatecznie zdecydowano się wybrać rozwiązanie numer 3.1.1 oraz 3.1.3. Pomimo, tego iż rozwiązanie numer 3.1.2 oraz 3.1.4, również spełniały opisane wymagania, zostało one odrzucone z powodu dodatkowego kryterium jakim była cena rozwiązania oraz to, że kamery 3.1.1 oraz 3.1.3, zostały wyprodukowane przez jednego producenta, co upraszcza proces komunikowania się z urządzeniami.

3.2. Elementy infrastruktury sieciowej

Ze względu na dobrany protokół komunikacyjny, konieczny był zakup dodatkowych elementów komunikacji sieciowej. Elementami tworzącymi infrastrukturę sieciową są przewody typu patchcord kategorii 6 oraz przełącznik sieciowy.

Dobrano przełącznik sieciowy MikroTik CRS318-16P-2S, zaprezentowany na rysunku 6. Umożliwia on połączenie do szesnastu urządzeń w standardzie Gigabit Ethernet oraz dwóch urządzeń w standardzie SFP+. Dodatkowo wszystkie podłączone urządzenia można zasilić w standardzie POE.

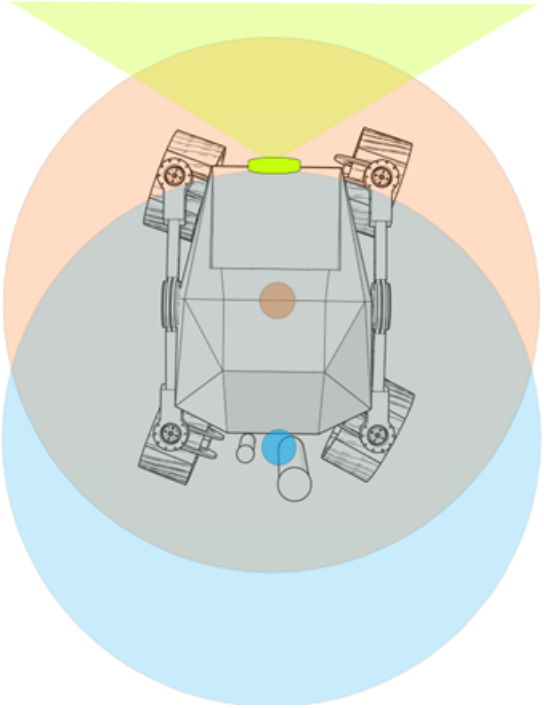
Rys. 6: Przełącznik sieciowy MikroTik CRS318-16P-2S

4. Koncepcja fizyczna układu

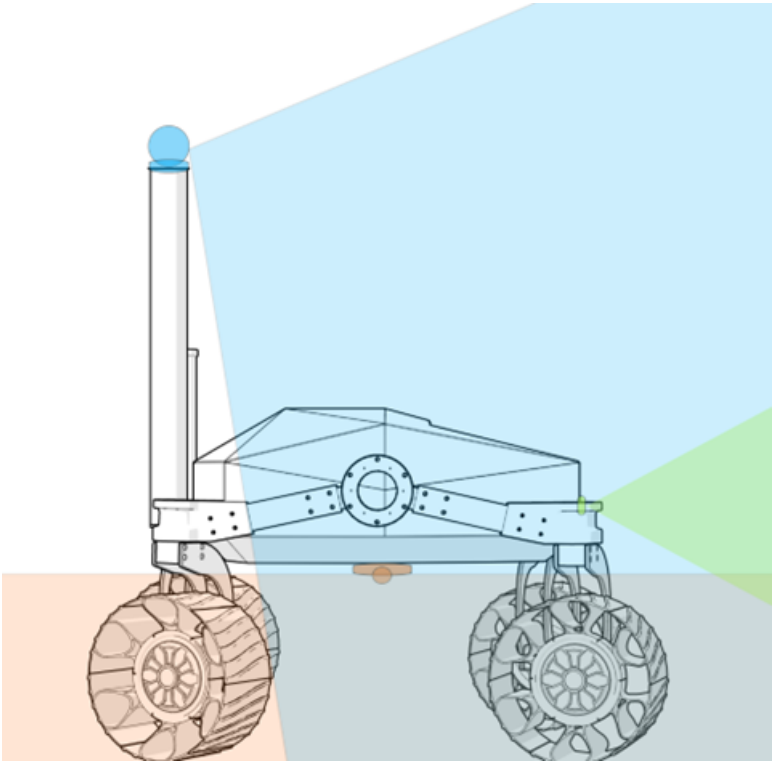
W celu uzyskania jak optymalnego zakresu pola widzenia, tj. takiego które pokrywa jak największy obszar w bliskim otoczeniu łazika, jak również umożliwia widzenie w dalszym horyzoncie, zdecydowano się na zweryfikowanie kilku koncepcji umiejscowienia kamer wybranych w Rozdziale 3 na platformie.

Po przeprowadzeniu szeregu prób środowiskowych, najbardziej zadowalające efekty uzyskano przy rozmieszczeniu kamer w sposób przedstawiony na rysunku 7 oraz 8. Kamera dookolna 3.1.1 (oznaczona kolorem pomarańczowym) została umieszczona pod spodem konstrukcji, dzięki czemu możliwe jest jednoczesne obserwowanie bliskiego otoczenia łazika oraz nadzorowanie pracy poszczególnych kół. Otrzymywany z niej obraz został zaprezentowany na rysunku 9. Druga kamera 3.1.3 została zamontowana na dodatkowym maszcie obok anten radiowych, na rysunkach oznaczona jest kolorem niebieskim. Takie umiejscowienie nie wpłynęło negatywnie na siłę sygnały anten, a ze względu na niezależne od platformy poruszanie się kamery, pozwoliło operatorom na uzyskanie lepszego ogólnego widoku całej konstrukcji i środowiska. Obszar widoczny przez tą kamerę został zaprezentowany na rysunku 10.

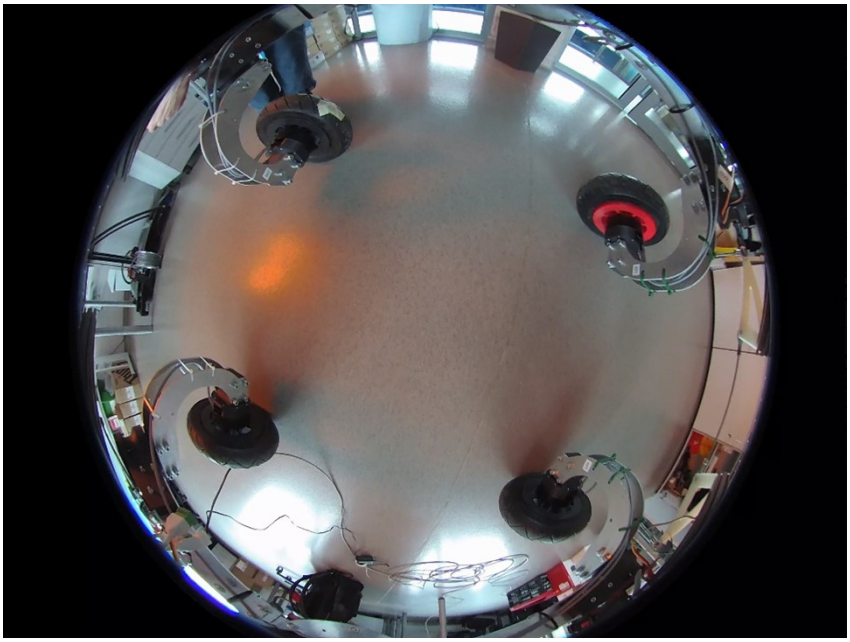
Dodatkowo na rysunkach 7 oraz 8, zostało przedstawione umiejscowienie oraz pole widzenia kamery stereoskopowej ZED 2 [14], która również stanowi część systemu wizji planowanego dla łazika Phoenix III. Zadaniem tej kamery jest mierzenie odległości do obiektów oraz dostarczanie nowych informacji dotyczących środowiska pracy pozyskiwanych z wbudowanych w kamerę sztucznych sieci neuronowych.



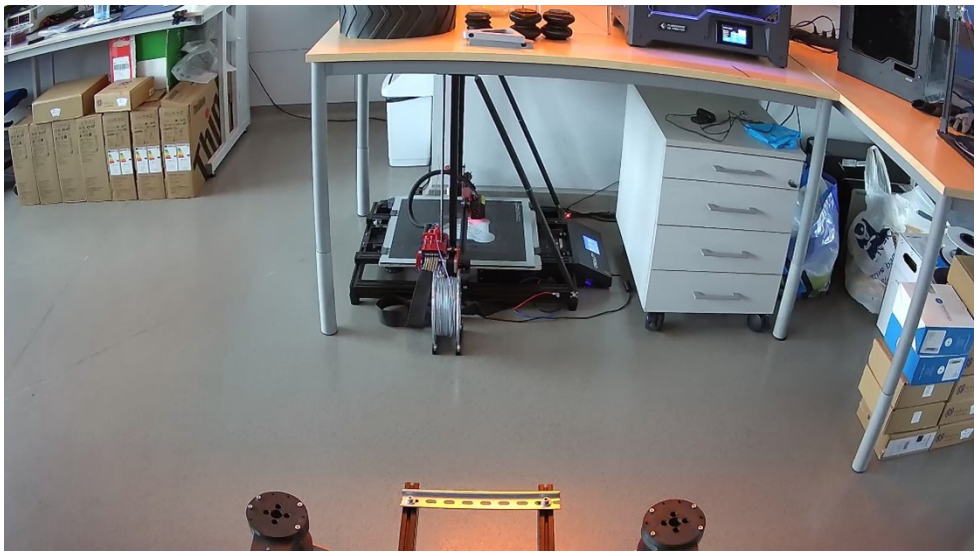
Rys. 7: Rzut horyzontalny przedstawiający plan umieszczenia kamer na łaziku



Rys. 8: Rzut izometryczny przedstawiający plan umieszczenia kamer na łaziku



Rys. 9: Obraz otrzymywany z kamery dookolnej



Rys. 10: Obraz otrzymywany z kamery zamontowanej w okolicach masztów nadawczych

5. Weryfikacja zbudowanego systemu

W celu weryfikacji zbudowanego układu opracowano program w języku Python [13] w wersji 3.10 [7] do pomiaru prędkości transmisji, ilości klatek na sekundę oraz opóźnienia transmisji. Podane w tabeli 2 oraz 3 wyniki są uśrednieniem 100 pomiarów w/w parametrów zmierzonych dla kamer przy wykorzystaniu transmisji przewodowej oraz bezprzewodowej z wykorzystaniem zamontowanych na platformie anten pracujących w standardzie IEEE 802.11 [10] na częstotliwości 2.4 GHz oraz 5.0 GHz. W obydwu przypadkach dla każdego z typów transmisji danych otrzymywaliśmy obraz w rozdzielczości Full HD (1920 x 1080 px)

5.1. Wyniki dla kamery 3.1.1

Tab. 2: Wyniki pomiarów dla kamery DS-2CD2935FWD-IS

Parametr	**P. przewodowe**	**P. bezprzewodowe**
Średnia prędkość transmisji	89 Mb/s	62 Mb/s
Średnia ilość klatek na sekundę	25 kl/s	21 kl/s
Średnia opóźnienie	25 ms	41 ms

5.2. Wyniki dla kamery 3.1.3

Tab. 3: Wyniki pomiarów dla kamery DS-2DE2C400MW-DE

Parametr	**P. przewodowe**	**P. bezprzewodowe**
Średnia prędkość transmisji	91 Mb/s	61 Mb/s
Średnia ilość klatek na sekundę	28 kl/s	23 kl/s
Średnia opóźnienie	26 ms	42 ms

6. Podsumowanie

Na podstawie wyników testów przedstawionych w Rozdziale 5, stwierdzono, że opracowany system wizyjny spełnia opisane w Tabeli 1 kryteria. W efekcie możliwy będzie transfer technologii do docelowej wersji łazika Phoenix III. Otrzymane wyniki nie tylko spełniają podstawione dla systemu minimalne wymagania ale również pozwalają na komfortowe i efektywne sterowanie operatorskie platformą.

Największą trudnością podczas opracowywania zbioru możliwych koncepcji, był dobór kamer spełniających założenia dotyczące obrazu przy jednoczesnym zasilaniu z wykorzystaniem standardu PoE. Przełożyło się na zwiększenie ceny kamer oraz wymogu zastosowania odpowiedniego przełącznika sieciowego.

Kolejną trudnością był dobór takich kamer aby możliwy był ich dogodny montaż na platformie, nie wymagający dużych ingerencji w aktualną konstrukcję platformy. Wymagało to konsultacji z osobami odpowiedzialnymi za projekt mechaniczny budowanej platformy. Ostatecznie jednak udało się znaleźć takie kamery i sposoby montażu, które zadowoliły zespół.

Ostatnią trudnością było stworzenie programu do sprawdzania parametrów transmisji obrazu, gdyż wymagało to zapoznania się z protokołami transmisji sieciowych oraz z odpowiednim przystosowaniem oprogramowania kamer. Również tą trudność udało się rozwiązać, poprzez co zespół stworzył uniwersalne oprogramowanie to testowania kamer, które może zostać użyte w przyszłości podczas modyfikowania systemu.

System został zbudowany w taki sposób, że w przyszłości zgodnie z potrzebami można go rozwinąć, głównie za sprawą doboru odpowiednio większego przełącznika sieciowego, wyposażonego w dużą liczbę portów POE. W przyszłości rozważane jest przez zespół rozbudowanie systemu o dodatkowe kamery pozwalające na ciągłe obserwowanie widoku z przodu oraz boków budowanego łazika.

Wyniki zrealizowanego projektu, zostaną opublikowane w 156 Zeszycie Naukowym Katedry Podstaw Konstrukcji Maszyn Politechniki Śląskiej, zatytułowanym "Przegląd osiągnięć Studenckich Kół Naukowych działających przy KPKM" jako rozdział monograficzny. Zaproponowany rozdział przeszedł pozytywnie oceną recenzencką i został zakwalifikowany do opublikowania.

Literatura

[1] Eric R. Fossum, Donald B. Hondongwa. A review of the pinned photodiode for ccd and cmos image sensors. *IEEE Journal of the Electron Devices Society*, 2(3):33–43, 2014.

[2] Grupa standardów - IEEE 802.3. `https://www.ieee802.org/3/`. [Data uzyskania dostępu: 21.06.2023].

[3] Http over tls. `https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc2818`. [Data uzyskania dostępu: 21.06.2023].

[4] Rodrigo Martins, Arokia Nathan, Raquel Barros, Luís Pereira, Pedro Barquinha, Nuno Correia, Ricardo Costa, Arman Ahnood, Isabel Ferreira, Elvira Fortunato. Complementary metal oxide semiconductor technology with and on paper. *Advanced Materials*, 23(39):4491–4496, 2011.

[5] Lydia Parziale, Wei Liu, Carolyn Matthews, Nicolas Rosselot, Chuck Davis, Jason Forrester, David T Britt, i in. Tcp/ip tutorial and technical overview. 2006.

[6] Jon Postel, Joyce Reynolds. File transfer protocol. Raport instytutowy, 1985.

[7] Python 3.10. `https://docs.python.org/3.10/index.html`. [Data uzyskania dostępu: 21.06.2023].

[8] Studenckie koło naukowe zastosowania metod sztucznej inteligencji ai-meth. `https://sknaimeth.polsl.pl/`. [Data uzyskania dostępu: 21.06.2023].

[9] Standard HTTP. `https://www.w3.org/Protocols/`. [Data uzyskania dostępu: 21.06.2023].

[10] Standard IEEE 802.11. `https://www.ieee802.org/11/`. [Data uzyskania dostępu: 21.06.2023].

[11] Standard IEEE 802.1x. `https://www.ieee802.org/1/pages/802.1x.html`. [Data uzyskania dostępu: 21.06.2023].

[12] Standard IEEE 802.3af. `https://www.ieee802.org/3/af/`. [Data uzyskania dostępu: 21.06.2023].

[13] G. van Rossum. Python tutorial. (CS-R9526), May 1995.

[14] Kamera steroskopowa zed 2. `https://www.stereolabs.com/zed-2/`. [Data uzyskania dostępu: 21.06.2023].

[15] Zespół silesian phoenix. https://sknaimeth.polsl.pl/silesian-phoenix/. [Data uzyskania dostępu: 21.06.2023].