

Politechnika Warszawska

WYDZIAŁ ELEKTRONIKI
I TECHNIK INFORMACYJNYCH



przedmiot
Pracownia Problemowa Magisterska



Raport z Pracowni Problemowej Magisterskiej
Propagacja niepewności akwizycji danych w warstwowych systemach decyzyjnych

Mikołaj Roszczyk

Numer albumu 318482

prowadzący
dr inż. Daniel Paczesny
Instytut Telekomunikacji i Cyberbezpieczeństwa

WARSZAWA 30 maja 2025

Spis treści

1. Opis tematu pracy dyplomowej	3
1.1. Warstwowy system decyzyjny	3
1.2. Środowisko badawcze - Inteligentny Karmnik	4
1.3. Cel badawczy	5
2. Plan działań na semestr 25L	6
3. Analiza literatury	7
3.1. Systemy decyzyjne	7
3.2. Fuzja danych	8
3.3. Niepewność akwizycji danych	9
4. Opis podjętych działań	10
4.1. Przygotowanie komponentów do Inteligentnego Karmnika	10
4.2. Uruchomienie kamery kolorowej	11
4.3. Uruchomienie kamery na podczerwień	12
4.4. Projekt i budowa karmnika	13
Bibliografia	17

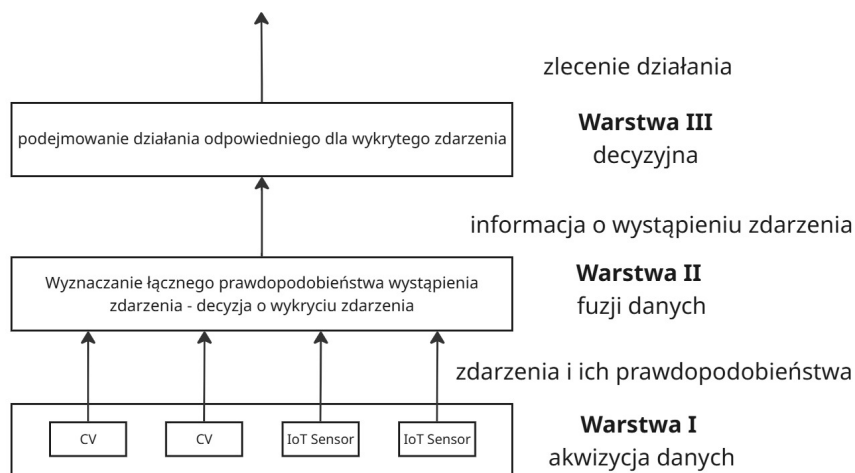
1. Opis tematu pracy dyplomowej

Praca dyplomowa pod tytułem *Propagacja niepewności akwizycji danych w warstwowych systemach decyzyjnych* ma na celu zbadanie metod fuzji danych ze zróżnicowanych źródeł z uwzględnieniem ich niepewności. Niepewność źródła w tym kontekście rozumiana jest jako prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia po jego wykryciu w danym detektorze. Prawdopodobieństwo jest wyznaczane na podstawie macierzy pomyłek oraz, w przypadku metod opartych o wizję komputerową, prawdopodobieństwa wykrycia zwracanego przez model.

1.1. Warstwowy system decyzyjny

Koncepcja systemów warstwowych (hierarchicznych) jest szeroko znana i doceniana w dziedzinie informatyki. Systemy warstwowe składają się z warstw, które są połączone ze sobą jedynie interfejsem komunikacyjnym, nie samą logiką programu. Każda warstwa realizuje określone dla siebie zadanie na danych, a przetworzone wyniki przekazuje do kolejnej warstwy. Zadania mogą być realizowane niezależnie, w różnych miejscach - wirtualnie i geograficznie. Każdą z warstw można rozwijać niezależnie, zważając jedynie na zachowanie zgodności na interfejsach komunikacyjnych i w kolejności obróbki [1].

Projektowany w tej pracy system będzie składał się z trzech warstw - warstwy akwizycji danych, warstwy fuzji danych oraz warstwy decyzyjnej. Schemat przedstawiono na rysunku 1.1.



Rysunek 1.1. Projekt warstw systemu decyzyjnego

Warstwa pierwsza będzie się składać z systemów wizji komputerowej (kamery, mikrofony) oraz czujników IoT, które będą pozyskiwać dane z otoczenia. Planowane czujniki: czujnik obecności, czujnik ruchu, fotodiody, tensometr. Modele wykorzystywane w wizji komputerowej najczęściej zwracają detekcję razem z jej prawdopodobieństwem, do

wyznaczenia prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzenia dla danego odczytu czujnika IoT zostanie wykorzystana macierz pomyłek. Do kolejnej warstwy będą przekazywane odczyty źródeł oraz ich prawdopodobieństwa.

Warstwa druga jest najważniejszym elementem badawczym tej pracy dyplomowej. Będzie ona przejmować odczyty urządzeń w warstwie pierwszej i dokonywać ich fuzji. Korzystając z różnych metod, np. Teorii Bayesa, Teorii Dempstera-Schaffera, Logiki Rozmytej, będzie wyznaczane łączne prawdopodobieństwo wystąpienia danego zdarzenia. Do kolejnej warstwy będzie wysyłać informację o wystąpieniu danego zdarzenia jako pewnego w przypadku, gdy jego prawdopodobieństwo wystąpienia będzie wyższe niż ustalony próg.

Warstwa trzecia na wejściu będzie przyjmować informację o zdarzeniu i zlecać elementom wykonawczym wykonanie pewnego działania. Ta praca dyplomowa koncentruje się na akwizycji danych, a nie samym wykonywaniu działań. Wobec tego warstwa trzecia będzie rozwijania jedynie pod kątem badania wpływu zastosowanych metod w warstwie drugiej na wyznaczane decyzje.

1.2. Środowisko badawcze - Inteligentny Karmnik

System decyzyjny zostanie zaimplementowany w środowisku inteligentnego karmnika dla ptaków. Karmnik będzie wyposażony w szereg detektorów różnego rodzaju:

- Wizja komputerowa
 - Kamera RGB z modelem detekcji obiektów
 - Kamera podczerwona z modelem detekcji obiektów
 - Mikrofon z modelem analizy dźwięku
- Czujniki internetu rzeczy
 - Czujnik ruchu i obecności
 - Fotodioda
 - Tensometr
 - Czujniki temperatury

Na podstawie odczytów z wyżej wymienionych źródeł danych będzie przeprowadzana identyfikacja zwierząt korzystających z karmnika. Identyfikacja będzie przebiegać na dwóch płaszczyznach:

- Zbadanie, czy z karmnika nie korzystają zwierzęta nieuprawnione, np. wiewiórki, gryzonie
- Identyfikacja gatunków ptaków korzystających z karmnika (potencjalnie przygotowanie środowiska dla badań ornitologicznych)

Karmnik zostanie postawiony w Ośrodku Wypoczynkowym Politechniki Warszawskiej w Wildze.

1.3. Cel badawczy

Głównym celem badawczym pracy dyplomowej będzie analiza algorytmów i metod fuzji danych i łączenia prawdopodobieństw *a priori* w celu uzyskania końcowego prawdopodobieństwa *a posteriori* w drugiej warstwie systemu decyzyjnego. Zostanie zbadany wpływ wykorzystywanych metod na podejmowane decyzje.

Zostaną przeprowadzone testy metod znalezionych w literaturze, ich hybrydy oraz samodzielnie zaimplementowane rozwiązania.

Dodatkowymi celami pobocznymi będą:

- wytrenowanie modeli wizji komputerowej przeznaczonych do rozpoznawania gatunków ptaków na podstawie obrazu kamery RGB i IR,
- zbadanie, jakie źródła danych dają najlepszą informację na temat obecności ptaków w karmniku: częstotliwości korzystania z karmnika przez ptaki, obecności zwierząt nieproszonych (np. wiewiórek),
- przygotowanie systemu do informowania o konieczności uzupełnienia pokarmu,
- przygotowanie środowiska do przeprowadzania badań ornitologicznych w Ośrodku Wypoczynkowym PW w Wildze.

2. Plan działań na semestr 25L

Ustalony plan działań na semestr 25L składał się z następujących czynności:

1. Analiza źródeł literaturowych
2. Przygotowanie komponentów do Inteligentnego Karmnika
3. Uruchomienie kamery podczerwonej i kamery RGB w testowym programie
4. Projekt Inteligentnego Karmnika
5. Budowa Inteligentnego Karmnika
6. Przygotowanie wstępnych modeli detekcji ptaków na obrazach z kamery RGB i IR opartych na sieci YOLO

Plan prac (*roadmap*) jest udostępniony publicznie i regularnie aktualizowany [2].

Planu nie udało się wykonać w całości. Budowa Inteligentnego Karmnika jest w trakcie. Wybrano komponenty do karmnika, natomiast jedynie kamery (kolorowa i na podczerwień) zostały nabyte i przetestowane. Nie rozpoczęto przygotowywania wstępnych modeli detekcji ptaków na obrazach.

3. Analiza literatury

3.1. Systemy decyzyjne

Systemy wspomagania decyzji to interaktywne systemy komputerowe, które pomagają użytkownikom wykorzystać komunikację komputerową, dane, dokumenty, wiedzę i modele do rozwiązania problemów i podjęcia decyzji. Ich zadaniem nie jest zupełnie zastąpić decydenta, a jedynie wspomóc jego pracę poprzez dostarczenie propozycji, predykcji oraz informacji [3]. System musi zawierać reprezentację wiedzy o sytuacji decyzyjnej [4].

Systemy wspomagania decyzji dzieli się na grupy w zależności od typów podejmowanych decyzji [4]:

- strategiczne - decyzje o długim horyzoncie czasowym, np. określenie kierunku rozwoju działalności
- taktyczne - decyzje średnioterminowe, transformacje decyzji ogólnych w bardziej szczegółowe wytyczne dla działań operacyjnych
- operacyjne - codzienne szczegółowe decyzje związane z bieżącym funkcjonowaniem systemu

Systemy można podzielić także ze względu na model sytuacji decyzyjnej [4]:

- model analityczny - np. modele statyczne liniowe i nieliniowe, dynamiczne, stochastyczne
- model logiczny
- system zintegrowany - zawierający elementy wyżej wymienionych modeli oraz narzędzia typu arkusze kalkulacyjne lub bazy danych

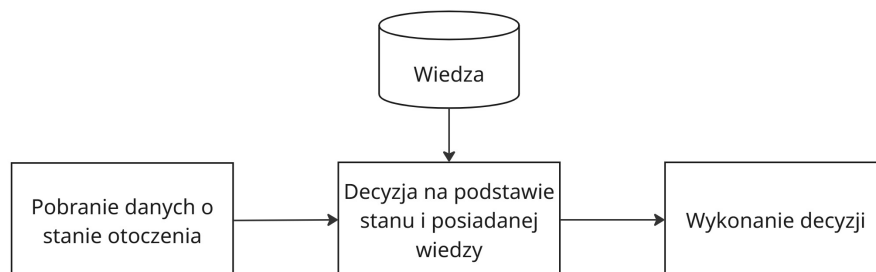
Literatura podaje cztery główne podejścia do systemów wspomagania decyzji [5]:

- definiowanie systemów decyzyjnych przez strukturę zadania,
- potrzebę specyficznych strategii projektowych (np. podejście „middle-out”),
- koncentrację na wsparciu procesów poznawczych decydentów,
- postrzeganie systemów decyzyjnych jako strategii implementacyjnej mającej na celu uczynienie komputerów użytecznymi dla menedżerów.

Z czasem coraz większą rolę przyjmują *autonomiczne systemy decyzyjne*. Są to systemy sterowania, która są zdolne samodzielnie podejmować decyzje na podstawie posiadanej wiedzy oraz danych pochodzących z otoczenia. Projektowanie sterownika takiego systemu polega na dopasowaniu działań urządzenia do jego stanu i stanu jego otoczenia [6].

Proces decyzyjny odbywający się bez udziału ludzkiego decydenta musi być odporny na błędy i niezawodny, by zminimalizować ryzyko poważnych konsekwencji. Kluczowym ograniczeniem takich systemów pozostaje proces akwizycji danych, ponieważ jakość decyzji jest bezpośrednio zależna od jakości danych wejściowych – błędne lub niewiarygodne dane prowadzą do błędnych wniosków [7] [8]. Dlatego proces akwizycji danych i określania ich wiarygodności, czym zajmuje się ta praca, jest istotny dla dziedziny.

Uproszczony schemat procesu decyzyjnego w systemie autonomicznym przedstawiono na rysunku 3.1.



Rysunek 3.1. Uproszczony schemat procesu decyzyjnego w systemie autonomicznym

3.2. Fuzja danych

Fuzja danych to proces integracji wielu źródeł danych w celu uzyskania informacji bardziej spójnych, dokładnych i użytecznych niż te, które mogłoby dostarczyć pojedyncze źródło danych. Jest to wielopoziomowy proces obejmujący automatyczne wykrywanie, kojarzenie, korelację, estymację oraz łączenie informacji w celu pełnej oceny sytuacji [9].

Fuzja danych korzysta z różnych technik [9]. Do klasycznych technik należą:

- inferencja Bayesa,
- inferencja Dempstera-Shafera,
- logika rozmyta,
- rozpoznawanie wzorców z wykorzystaniem algorytmów przetwarzania sygnałów i sztucznych sieci neuronowych
- śledzenie wielosensorowe i wieloobiektowe oparte na aparacie teoretycznym

Nowoczesne techniki są oparte na metodach heurystycznych oraz *ad hoc* [9].

Koncept łączenia informacji z różnych źródeł jest oczywisty w środowisku naturalnym - zwierzęta pozyskują informacje o otoczeniu korzystając z pięciu zmysłów. Współczesne komputerowe dążą do odtwarzania w sprzęcie i oprogramowaniu tych naturalnych zdolności fuzji danych [10].

Główne zastosowania fuzji danych są w systemach autonomicznych, monitorowaniu procesów przemysłowych, robotyce, medycynie. Dzięki rozbudowanym zastosowaniom militarnym (namierzanie celu, analiza pola bitwy, inteligentna broń, identyfikacja przeciwnika), duże nakłady na rozwój dziedziny inwestuje Departament Obrony USA. Pozwoliło to rozwinąć się dziedzinie, która teraz posiada ustandaryzowaną terminologię, zasady projektowania i własne metody matematyczne [10].

3.3. Niepewność akwizycji danych

Każdy eksperyment, każdy pomiar i każda składowa pomiaru dają wyniki obarczone błędem pomiarowym. Niejednokrotnie taki błąd może wpływać na interpretację wyniku. W celu wyznaczenia możliwego wpływu błędu na wynik stosuje się teorię błędów oraz modelowanie pomiaru [11].

Pomiar wielkości lub parametru wraz z błędem pomiarowym można modelować za pomocą modelu zdeterminowanego oraz modelu probabilistycznego. Model zdeterminowany zakłada posiadanie modelu błędu systemu pomiarowego zadanego *a priori* lub uprzednio zidentyfikowanego. W modelu probabilistycznym błąd systemu pomiarowego jest estymowany za pomocą zmiennej losowej. Jest możliwe wyznaczenie rozkładu prawdopodobieństwa wystąpienia danego rzeczywistego wyniku względem zmierzonej wartości [11].

Modele detekcji obiektów, takie jak *YOLO* autorstwa *Ultralytics* [12], przeważnie na wyjściu zwracają listę detekcji zawierającą:

- Lokalizację obszaru detekcji (ang. *bounding box*) na obrazie
- Etykietę klasy wykrytego obiektu
- Prawdopodobieństwo określające pewność detekcji

Podsumowując, zarówno dla pomiarów wielkości fizycznych, jak i dla modeli wizji komputerowych, pomiary są obarczone niepewnością. Niepewność tę można wyrazić w postaci rozkładu prawdopodobieństwa, który opisuje, z jakim prawdopodobieństwem dana wartość (czy to fizyczna, czy wynik detekcji) znajduje się w określonym przedziale. Dysponując dodatkowymi informacjami, takimi jak macierz pomyłek modelu pomiarowego lub systemu sztucznej inteligencji, możliwe jest również wyznaczenie prawdopodobieństwa *a posteriori* wystąpienia danego zdarzenia pod warunkiem zaobserwowanej wartości pomiaru lub detekcji.

4. Opis podjętych działań

Przygotowano repozytorium na portalu GitHub, w którym przechowywane są materiały związane z realizacją pracy [13].

4.1. Przygotowanie komponentów do Inteligentnego Karmnika

W pierwszej kolejności zajęto się komponentami związanymi z wizją komputerową, w szczególności rozpoznawaniem obiektów na obrazie. Wybrano i zakupiono przemysłową kamerę kolorową oraz czujnik na podczerwień.

- Przemysłowa kamera kolorowa **ELP USB 4K CAM 01H-CSV** z obiektywem o zmiennej ogniskowej 2.8-12mm [14] (rys. 4.1) - Kamera ta jest wyposażona sensor 1/2.8" Sony IMX415 Sensor, umożliwia pozyskiwanie obrazu w rozdzielczości 4K (3840x2160) w częstotliwości do 60 klatek na sekundę. Szczególnie istotna jest odporność na warunki zewnętrzne. Kamera pracuje poprawnie w temperaturach o zakresie od -10°C do 70°C (może być przechowywana w zakresie od -20°C do 80°C). Kamera zasilana jest stałym napięciem 5V. Została dostosowana i przetestowana pod współpracę z systemami operacyjnymi Windows, Linux, Mac i Android.
- Kamera na podczerwień **InfiRay P2 Pro** [15] (rys. 4.2) - Kamera dostarcza obraz o rozdzielczości 256x192 o częstotliwości 25 klatek na sekundę. Rozpoznaje temperatury w zakresie od -20°C do 550°C z błędem pomiarowym bezwzględnym $\pm 2^{\circ}\text{C}$ i względnym $\pm 2\%$ (należy przyjmować większy z nich). Kamera umożliwia pomiary punktowe, liniowe oraz obszarowe. Urządzenie pracuje w zakresie temperaturowym od -10°C do 55°C , przechowywać można ją w zakresie od -40°C do 85°C . Pobór mocy kamery wynosi 350mW. Łączy się ze smartphone poprzez dedykowaną aplikację *P2 Pro* [16].



Rysunek 4.1. Przemysłowa kamera kolorowa



Rysunek 4.2. Kamera na podczerwień

Do sieci czujnikowej IoT rozważane są czujniki firmy Aqara [17]. Urządzenia Aqara

przesyłają dane wykorzystując protokół Zigbee. Do ich zalet należy długi czas pracy na baterii oraz kompatybilność z integracjami systemowymi, takimi jak *Zigbee2MQTT* [18].

Proponowane czujniki do sieci IoT:

- Czujnik temperatury i wilgotności *Aqara T1*
- Czujnik obecności *Aqara FP2* - raportuje także informacje o poziomie jasności (zastępuje fotodiode)

Dodatkowo, testowo, zostanie wykorzystana mata tensometryczna - rozłożona na podłodze karmnika. Do obsługi czujników pracujących na Zigbee będzie natomiast potrzebny dongle lub gateway - zostanie użyty dongle Conbee II, który został już przetestowany w projekcie Wilga MiLL [19].

Jednostkami sterującymi w karmniku będą dwa komputery:

- do wizji komputerowej: **Asus Nuc 14 Pro** z procesorem **Intel Core Ultra** (*Meteor Lake*). Komputer do wizji komputerowej potrzebuje dużych zasobów obliczeniowych. Procesor Intel Core Ultra posiada odrębną jednostkę obliczeniową NPU (*Neural Processing Unit*) [20], która jest zaprojektowana do szybkiego i energooszczędnego mnożenia macierzy, czyli inferencji sieci neuronowych.
- do obsługi sieci IoT: **Raspberry Pi 5** z procesorem **Arm Cortex A76**. Jest to niewielki komputer, który w zupełności wystarczy do przekazywania danych z interfejsów (dongle Zigbee, GPIO) na broker MQTT. Dodatkowo, jest wyposażony w piny GPIO analogowe i cyfrowe, co umożliwi obsługę maty tensometrycznej.

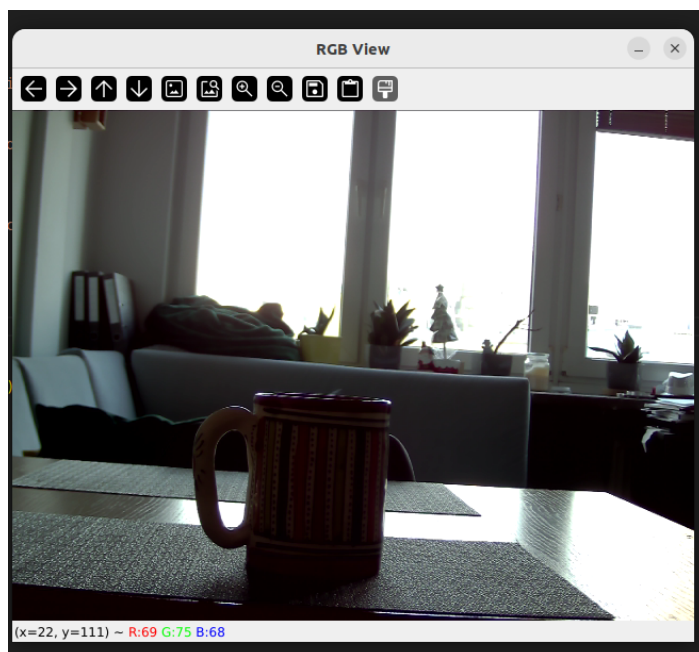
Zostaną wykorzystane systemy operacyjne z rodziny systemów GNU/Linux: Ubuntu w przypadku Asusa Nuc oraz Raspberry Pi Os (oparty na Debian) w przypadku Raspberry Pi.

4.2. Uruchomienie kamery kolorowej

Przygotowano i uruchomiono testowy program na zakupionej kamerze *ELP USB 4K CAM 01H-CSV* z obiektywem o zmiennej ogniskowej 2.8-12mm [14]. Testowy program został przygotowany w języku Python i wykorzystuje bibliotekę OpenCV do pobierania i wyświetlania klatki. Skrypt został uruchomiony i przetestowany na komputerze z systemem operacyjnym Linux Ubuntu.

Kamera posiada manualną regulację przybliżenia, ostrości (*focus*) oraz otwarcia prześłony. Oznacza to, że w końcowym produkcie będzie należało nadać optymalne ustawienia przy konfiguracji, które później będą musiały pozostać niezmiennie. Może to stanowić problem przy zmiennej pogodzie (zmiany jasności) i przemieszczaniu się zwierząt po karmniku (wychodzenie poza obszar ostrości).

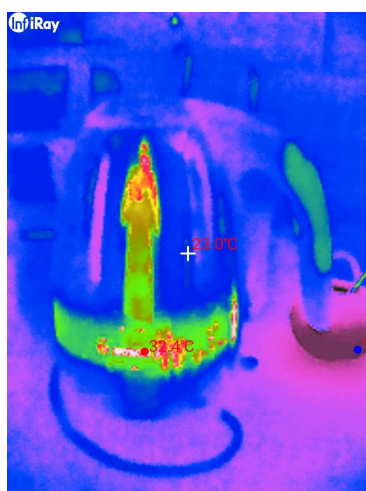
Skrypty oraz instrukcję uruchomienia umieszczono w publicznym repozytorium [21]. Uzyskany widok z kamery przedstawiono na rysunku 4.3.



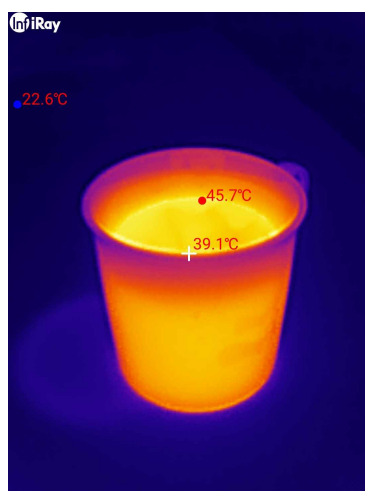
Rysunek 4.3. Widok z kamery kolorowej

4.3. Uruchomienie kamery na podczerwień

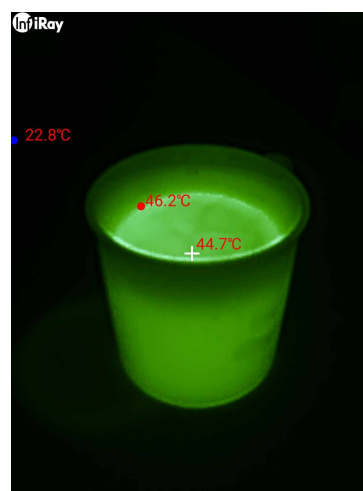
Przetestowano zakupioną kamerę *InfiRay P2 Pro* [15] w pierwszej kolejności w nominalny sposób - poprzez aplikację na smartphonie. Podłączono kamerę do smartphonie, zainstalowano aplikację *P2 Pro* [16] udostępnianą przez producenta. Aplikacja daje dostęp do obrazu z kamery oraz odczytów temperatury. Umożliwiona jest zmiana palety barw zgodnie z preferencją użytkownika. Na rysunku 4.4 znajduje się obraz termiczny rozgrzewającego się czajnika w paletcie *Medical*, na rysunkach 4.5 i 4.6 znajduje się kubek z wystygniętą herbatą w paletach, kolejno, *Iron Red* i *Low Light*.



Rysunek 4.4. Czajnik w paletcie *Medical*



Rysunek 4.5. Kubek w paletcie *Iron Red*



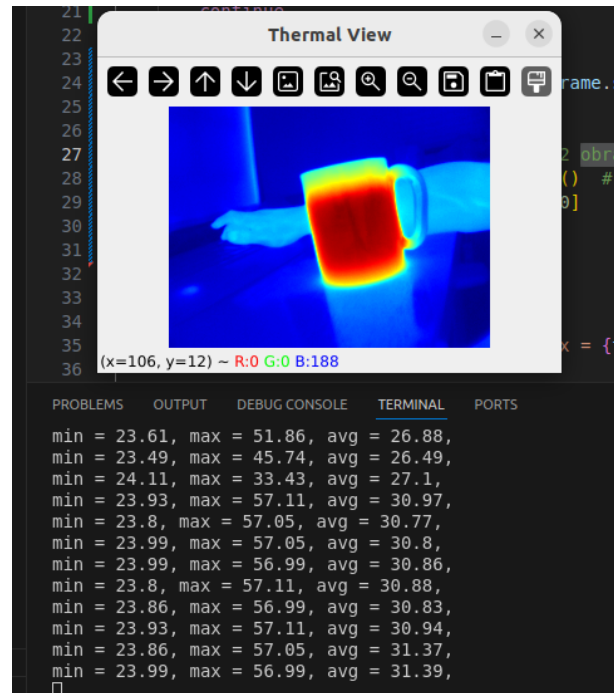
Rysunek 4.6. Kubek w paletcie *Low Light*

Niezależnie od dedykowanej aplikacji, kamerę można też podłączyć do komputera jako źródło obrazu (webcam). Sygnał z kamery przedstawia podwójny obraz rejestrowany przez nią - jedną w palecie *low light* (zielony obraz), drugi czarno-biały (rys. 4.7).

Przygotowano testowy program w języku Python, wykorzystujący bibliotekę OpenCV, który przejmuje sygnał z kamery, wycina jeden z obrazów i odczytuje z niego temperatury. Następnie nakładane są na obraz palety kolorów do łatwej interpretacji przez człowieka różnicy temperatur. Skrypt został przygotowany i uruchomiony na komputerze z systemem operacyjnym Linux Ubuntu. Efekt pracy skryptu - przetworzony obraz z kamery wraz z pomiarami temperatury (wypisywane: minimalny, średni, maksymalny) przedstawiono na rysunku 4.8.



Rysunek 4.7. Nieprzetworzony widok z kamery podczerwonej



Rysunek 4.8. Przetworzony widok z kamery podczerwonej wraz z pomiarami

Skrypty oraz instrukcję uruchomienia umieszczono w publicznym repozytorium [22].

4.4. Projekt i budowa karmnika

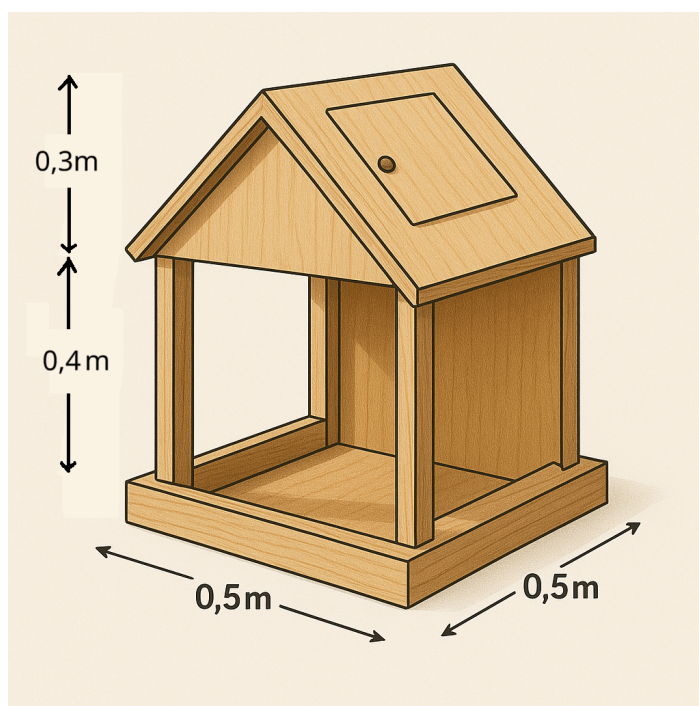
Zaprojektowano konstrukcję karmnika, w którym zostaną umieszczone systemy pomiarowe. Karmnik musi być odpowiednio duży, żeby obiekty w środku znajdowały się w kadrach kamer oraz, żeby wpadała do niego wystarczająca ilość światła do przeprowadzania detekcji. Podzielono karmnik na część *główną* i część *techniczną*.

Część *główna* karmnika to część, do której mają dostęp zwierzęta, w której znajduje się jedzenie oraz, gdzie są umieszczone czujniki. Ma ona kształt prostopadłościanu o podstawie 0.5x0.5 metra i wysokości 0.4 metra. Trzy ściany są otwarte, jedna zabudowana. Zabudowanie jednej ze ścian służy ograniczeniu wejścia do karmnika od strony, gdzie

będą umieszczone czujniki oraz wzmocnieniu mechanicznym całej konstrukcji. Zostaną umieszczone także ranty (listwy) zabezpieczające przy obu podstawach. Dolna ma za zadanie zatrzymywać karmę w karmniku, górna zabezpiecza czujniki.

Część *techniczna* karmnika znajduje się w dwuspadowym dachu bezpośrednio nad częścią *główną*. Zostaną tam umieszczone komputery oraz niezbędna aparatura telekomunikacyjna, elektroniczna i elektryczna do przeprowadzania pomiarów. Przyjmuje ona kształt graniastosłupa trójkątnego, postawionego na ścianie o wymiarach 0.5x0.5 metra. Podstawy są trójkątami równoramiennymi o podstawie 0.5 metra, wysokości 0.3 metra.

Poglądowy rysunek karmnika, wygenerowany przy wsparciu narzędzia *ChatGPT* firmy *OpenAI* [23] przedstawiono na rysunku 4.9.



Rysunek 4.9. Poglądowy rysunek karmnika

Karmnik zostanie wykonany ze sklejki drewnianej z elementami drewnianymi. Pozwoli to na zachowanie względnie niewielkiej masy karmnika przy jednocześnie dużej wytrzymałości na warunki zewnętrzne i plastyczności przy umieszczaniu aparatury pomiarowej.

Karmnik zostanie postawiony na słupie wykonanym z pnia drzewa, wkopanym w ziemię w Ośrodku Wypoczynkowym PW w Wildze. Przy rozmieszczaniu karmnika należy kierować się zasadą 5-7-9 [24] [25], która zapewnia bezpieczeństwo ptakom oraz skuteczność dokarmiania. Zgodnie z tą zasadą:

- karmnik powinien być umieszczony na wysokości 5 stóp (ok. 1,5 metra) nad ziemią,
- należy zachować odległość co najmniej 7 stóp (ok. 2,1 metra) od najbliższych drzew, ścian budynków lub innych struktur,

- nad karmnikiem nie powinno znajdować się żadne przeszkody w promieniu 9 stóp (ok. 2,75 metra) w pionie — np. gałęzie, daszki, przewody czy inne zawieszone elementy.

Wykonanie fizycznego prototypu karmnika jest planowane na połowę czerwca 2025. Zostanie wykonany we współpracy ze stolarzem Henrykiem Roszczykiem.

Bibliografia

- [1] D. Clark, "Hierarchical Control System", *Robotics Report*, nr. 167, 1989.
- [2] M. Roszczyk. "Decision System Feeder - Roadmap". (2025), adr.: <https://github.com/Roszczyk/DecisionSystemFeeder/blob/main/Docs/roadmap.md> (term. wiz. 27.05.2025).
- [3] D. J. Power, *Decision Support Systems: Concepts and Resources for Managers*. Westport, CT, US i London, UK: Quorum Books, mar. 2002, ISBN: 156720497X.
- [4] J. Granat. "Systemy wspomaganie decyzji i projektowanie: Notatki do wykładu - wersja wstępna". (2009), adr.: <https://www.ia.pw.edu.pl/~janusz/wdec/notatki.pdf> (term. wiz. 29.05.2025).
- [5] P. G. Keen, *Decision Support Systems: A research perspective*. Cambridge, MA, US: Massachusetts Institute of Technology, 1980.
- [6] P. Wawrzyński, *Uczące się systemy decyzyjne*. Warszawa, PL: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2021, ISBN: 978-83-8156-271-3.
- [7] M. Quinion. "Garbage in, garbage out". (1996), adr.: <https://www.worldwidewords.org/qa/qa-gar1.htm> (term. wiz. 29.05.2025).
- [8] A. Demming, "Machine learning collaborations accelerate materials discovery", *Physics World*, 2019. adr.: <https://physicsworld.com/a/machine-learning-collaborations-accelerate-materials-discovery/> (term. wiz. 29.05.2025).
- [9] L. A. Klein, *Sensor and Data Fusion: A Tool for Information Assessment and Decision Making*. Bellingham, WA, US: SPIE - The International Society for Optical Engineering, 2004, ISBN: 0-8194-5435-4.
- [10] J. Hu, L. Chen i J. Zhou, "Multifunction Simulator for Radar Test", *Applied Mechanics and Materials*, t. 278-280, s. 893–896, sty. 2013. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.278-280.893.
- [11] J. M. Jaworski, R. Z. Morawski i J. S. Olędzki, *Wstęp do metrologii i techniki eksperymentu*. Warszawa, PL: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 1992, ISBN: 83-204-1463-6.
- [12] Ultralytics. "Ultralytics YOLO Docs". (2024), adr.: <https://docs.ultralytics.com/> (term. wiz. 29.05.2025).
- [13] M. Roszczyk. "Decision System Feeder Repository". (2025), adr.: <https://github.com/Roszczyk/DecisionSystemFeeder> (term. wiz. 27.05.2025).
- [14] ELP. "4K USB3.0 HDMI CAMERA WITH CS 2.8-12MM LENS". (), adr.: <https://www.elpcctv.com/4k-usb30-hdmi-camera-with-cs-2812mm-lens-p-420.html> (term. wiz. 28.05.2025).
- [15] IRay Technology. "World's Smallest Thermal Camera - P2 Pro". (), adr.: <https://static.eleshop.nl/mage/media/downloads/p2-pro-thermal-camera-for-smartphone.pdf> (term. wiz. 28.05.2025).
- [16] Raysen Microsystem Technology. "P2 Pro - Google Play". (2024), adr.: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.infisense.p2plus> (term. wiz. 28.05.2025).

- [17] Aqara. "Aqara Smart Sensors". (), adr.: <https://www.aqara.com/eu/product/sensor/> (term. wiz. 29.05.2025).
- [18] K. Kanter. "Zigbee2MQTT". (latest: 2025), adr.: <https://www.zigbee2mqtt.io/> (term. wiz. 29.05.2025).
- [19] Politechnika Warszawska, "MicroLivingLab", Dostęp zdalny (21.11.2024): <https://mill.pw.edu.pl/>, 2024.
- [20] Intel. "Intel® Neural Processing Unit (Intel® NPU)". (2025), adr.: <https://edc.intel.com/content/www/us/en/design/products/platforms/details/arrow-lake-s/core-ultra-200s-series-processors-datasheet-volume-1-of-2/intel-neural-processing-unit-intel-npu/> (term. wiz. 29.05.2025).
- [21] M. Roszczyk. "CV - RGB Camera (Decision System Feeder)". (2025), adr.: https://github.com/Roszczyk/DecisionSystemFeeder/tree/main/CV_RGBCamera (term. wiz. 28.05.2025).
- [22] M. Roszczyk. "CV - Infrared Camera (Decision System Feeder)". (2025), adr.: https://github.com/Roszczyk/DecisionSystemFeeder/tree/main/CV_InfraredCamera (term. wiz. 28.05.2025).
- [23] Open AI. "Chat GPT". (), adr.: <https://chatgpt.com/> (term. wiz. 29.05.2025).
- [24] Audubon. "11 Tips for Feeding Backyard Birds". (2011), adr.: <https://www.audubon.org/magazine/11-tips-feeding-backyard-birds/> (term. wiz. 29.05.2025).
- [25] S. Wood. "How To Keep Squirrels Off Bird Feeders?" (2022), adr.: <https://blog.mybirdbuddy.com/post/squirrels> (term. wiz. 29.05.2025).