

KONKURS NA NAJLEPSZE PRACE DYPLOMOWE WIMiR

XVIII Konkurs Na Najlepsze Prace Dyplomowe Wydziału Inżynierii Mechanicznej i Robotyki 2022/2023 – prace inżynierskie



Jan KOSTECKI
IM



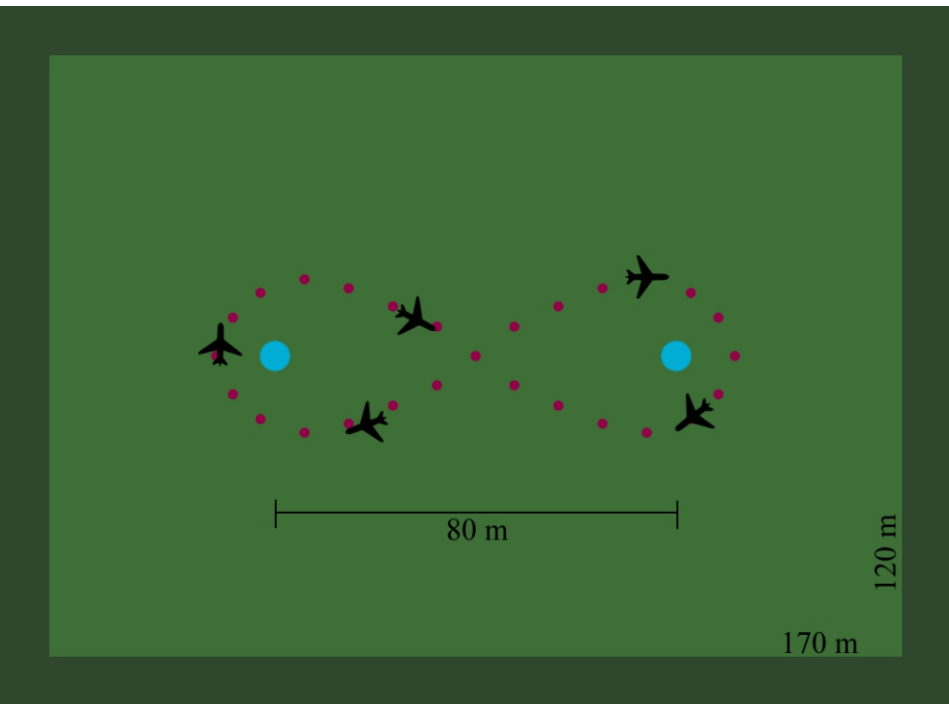
Neuronowy kontroler do sterowania bezzałogowym statkiem powietrznym Neural controller for an Unmanned Aerial Vehicle control

promotor: dr hab. inż. Ziemowit Dworakowski, prof. AGH – Katedra Robotyki i Mechatroniki

Streszczenie: W ostatnich latach bezzałogowe statki powietrze zyskują coraz większą popularność, w tym także ich wykorzystanie do misji autonomicznych. Projekt neuronowego kontrolera lotu zakładał wykonanie urządzenia, które w będzie w stanie sterować modelem samolotu o rozpiętości skrzydeł dwóch metrów przy pomocy algorytmów sztucznej inteligencji. Złożonym celem było pokonanie trasy w kształcie „leniwej ósemki” pomiędzy dwoma kolumnami oddalonymi od siebie o osiemdziesiąt metrów. W ramach przygotowań wykonano kompozytowy model samolotu o rozpiętości skrzydeł dwóch metrów, na których umieszczono ogniwa fotowoltaiczne będące dodatkowym źródłem zasilania. Przygotowany został także elektroniczny moduł kontrolera lotu oraz naziemna stacja bazowa połączona z aplikacją do wizualizacji i przetwarzania danych. Algorytm sterowania oparty jest o rekurencyjną sieć neuronową, która została wytrenowana na podstawie przelotów testowych. Kontroler z powodzeniem poradził sobie z wykonaniem fragmentów całej trasy, co potwierdza sukces założeń projektu. Planowanym rozwojem jest wykorzystanie sieci LSTM wykluczającej namnażanie się błędów sterowania w dłuższym ujęciu czasowym.

Cel i zakres pracy

Podstawowym założeniem projektu było przygotowanie kontrolera lotu, który za pomocą sieci neuronowej będzie w autonomiczny sposób sterować modelem samolotu. Docelowo miał on wykonać trasę „leniwej ósemki” pomiędzy dwoma kolumnami oddalonymi od siebie o 80 metrów. Algorytm sterowania miał zostać wytrenowany na podstawie danych z odpowiedniej ilości manualnych przelotów treningowych. Zadaniem sztucznej inteligencji było skorelowanie zachowania pilota w locie manualnym z sytuacją, w której znajduje się samolot. Następnie, w trybie autonomicznym, algorytm ma oszacować najbardziej prawdopodobne zachowanie pilota w danej chwili czasowej oraz bezpośrednio wykorzystywać je do sterowania samolotem.



Schemat misji samolotu w wyznaczonym obszarze.

Budowa modelu samolotu

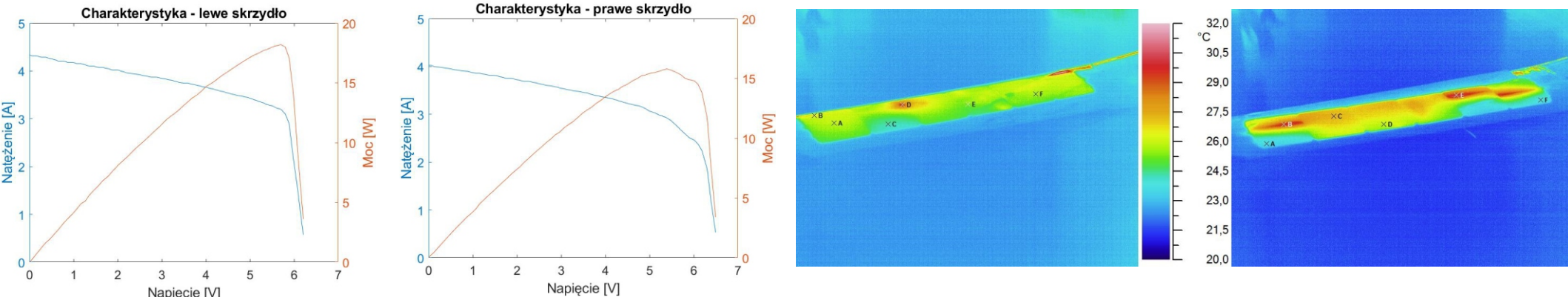


Przygotowany w ramach pracy samolot „Dodo”

Charakterystyka pracy nad rozwojem systemu kontroli lotu autonomicznego wymaga dostosowania go do konkretnego modelu samolotu. Konieczne więc było zaprojektowanie i przygotowanie modelu samolotu spełniającego odpowiednie założenia wytrzymałościowe i aerodynamiczne. Jego projekt został wykonany w programie XFRL5. Jako profil lotniczy skrzydła wybrany został FX 60-100, natomiast stateczniki poziomy i pionowy posiadają profil NACA 0008. Samolot został wykonany z materiałów kompozytowych. Wycięte na ploterze termicznym bryty skrzydeł i statecznika zostały pokryte tkaniną szklaną i wzmocnione włóknem węglowym. Całość poddana została procesowi laminowania przy pomocy żywicy epoksydowej. Kadłub wykonany został z listewek sosnowych oraz balsy. Po złożeniu samolotu jego rozpiętość skrzydeł jest równa 204 cm, długość 130 cm, a waga razem z akumulatorem wynosi około 1500 gramów. Do transportu możliwe jest odkręcenie skrzydeł i późniejsze ich ponowne przykręcenie - cała operacja trwa zaledwie kilka minut.

Moduł instalacji fotowoltaicznej

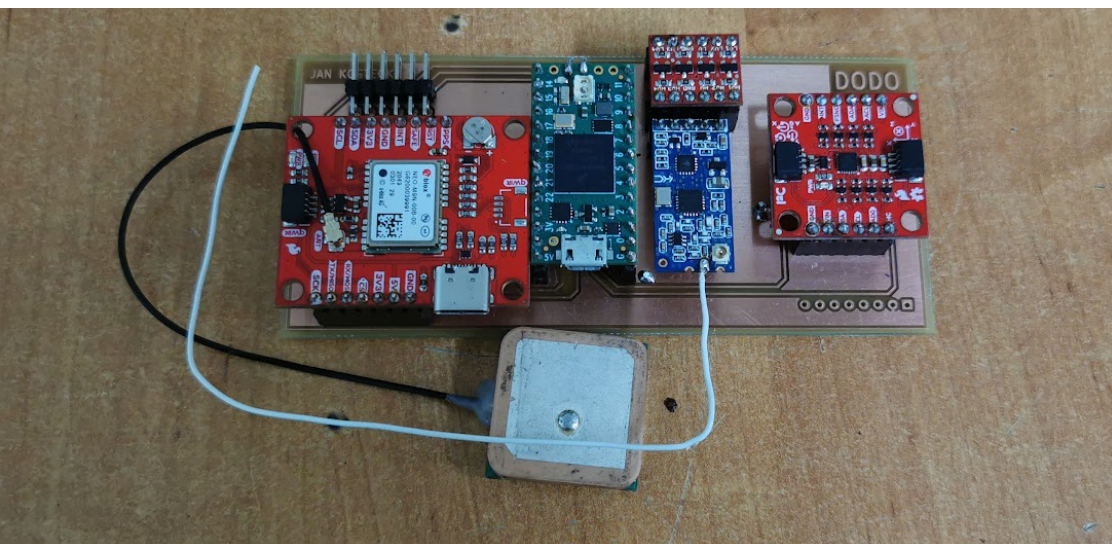
Prace nad kontrolerem opartym o sieć neuronową wymagają zebrania ogromnej ilości danych oraz obserwacji zachowania samolotu podczas lotu, co przekłada się na konieczność utrzymania go w powietrzu tak długo, jak to możliwe. Na skrzydłach samolotu umieszczona więc została instalacja fotowoltaiczna, która wspomaga zasilanie z baterii, a nawet pozwala ją częściowo naładować. Instalacja składa się z dwunastu ogniw SunPower gen. 3 (wymiary 125 mm na 125 mm), każde o znamionowej mocy 3,6 W, działające przy napięciu maksymalnym 0,6 V. Zostały one wybrane ze względu na wysoką sprawność sięgającą nawet 23%. Wszystkie ogniwa umieszczone na skrzydłach połączone są szeregowo, co daje panel o mocy znamionowej 43,2 W. Z uwagi na wznios skrzydeł wynoszący 5° oraz na ciągłą zmianę nachylenia względem słońca, rzeczywista średnia uzyskana moc w powietrzu jest niższa niż podczas statycznego badania. Na podstawie przeprowadzonych eksperymentów wartość tę oszacować można na około 30 W, co stanowi ponad połowę zapotrzebowania energetycznego samolotu i przekłada się na znaczne wydłużenie czasu trwania lotu.



Charakterystyki prądowo-napięciowe oraz efekt badania uszkodzeń instalacji przy pomocy kamery termowizyjnej.

Moduł kontrolera lotu

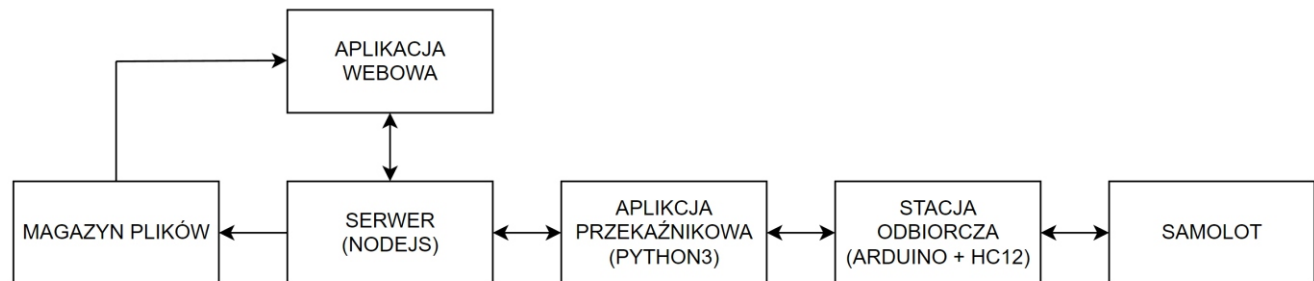
Jednym z kluczowych założeń kontrolera lotu jest jego nieprzerwane, niezatrzymane i nieopóźnione działanie podczas lotu. Utrata kontroli nad samolotem oznacza niemal pewne uderzenie w ziemię w ciągu zaledwie kilku sekund. Przygotowany został więc moduł, którego sercem jest mikrokontroler Teensy 4.0, spełniający postawione wymagania. Znajdują się na nim także moduły: radiowy, GPS oraz IMU, a także konwerter poziomów logicznych oraz gniazdo do odbiornika RC. Płytkę PCB przygotowana została w taki sposób, aby jej wykorzystanie było jak najwygodniejsze – ręczne wpinanie kabli do serw, ESC oraz rurki Pitota zostało zastąpione jednym gniazdem, które przy okazji pełni rolę mocowania. Dzięki temu proces umieszczenia i wyjęcia kontrolera z samolotu trwa dosłownie sekundę i nie naraża elementów na uszkodzenie. Aby umożliwić jak najkrótszy czas przygotowania samolotu do lotu, jego trasa określana jest przy pomocy pozycji dwóch kolumn, wokół których automatycznie ustalone są waypoints. Obliczenia pozycji punktów na mapie prowadzone są po stronie aplikacji webowej, a następnie wysyłane na samolot. Dla ułatwienia obliczeń i wizualizacji, po skalibrowaniu terenu, samolot korzysta z lokalnego układu współrzędnych, do którego transformowane są koordynaty GPS. W skład elektroniki pokładowej wchodzi także cztery serwomechanizmy sterujące powierzchniami sterowymi (lotki, stery kierunki i wysokości), bezszczotkowy silnik, regulator prędkości (ESC) oraz pakiet baterii Li-Po 3S 2600 mAh.



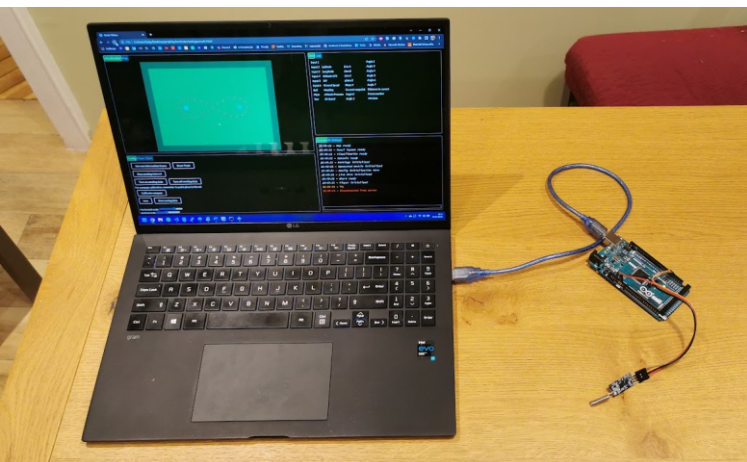
Moduł kontrolera lotu oraz moduł umieszczony w kadłubie, tuż przed wsunięciem w gniazdo sygnałowo-mocujące.

Naziemna stacja bazowa

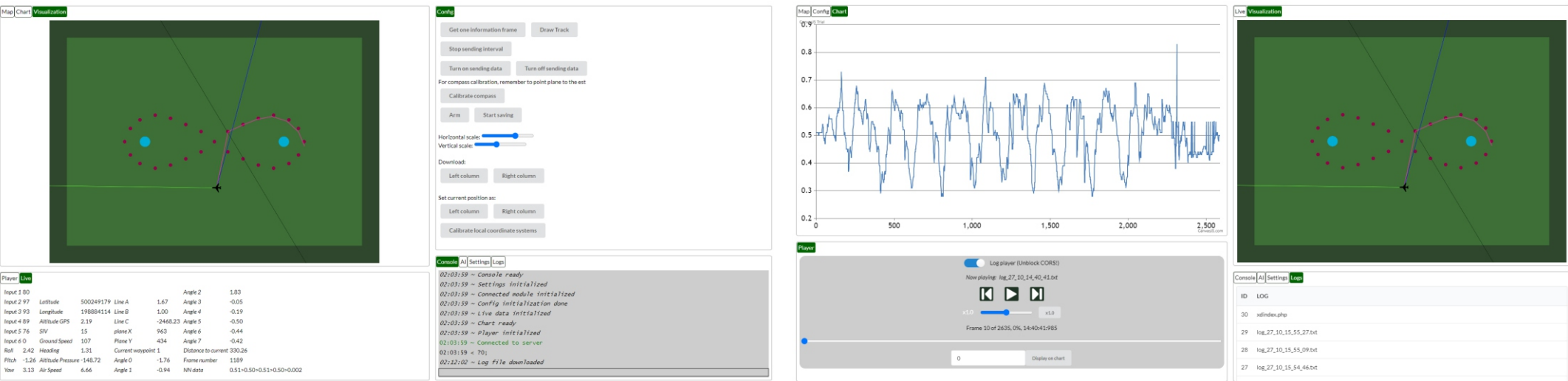
Podczas testów samolotu bardzo szybko okazało się, że do efektywnej pracy nad modulem kontrolera konieczne będzie przygotowanie środowiska, które pozwoli na podgląd i wizualizację danych oraz konfigurację parametrów systemu. Wszystkie dane wysyłane przez moduł radiowy z pokładu samolotu są odbierane przez układ HC-12 znajdujący się w naziemnej stacji odbiorczej, w skład której wchodzi także mikrokontroler Arduino Mega. Sygnał następnie przekazywany jest przez aplikację przekąźnikową na serwer, skąd wysyłany jest do oprogramowania wizualizującego. Komunikacja między poszczególnymi elementami środowiska wymagała opracowania dedykowanego protokołu komunikacyjnego tak, aby każda wiadomość trafiła w odpowiednie miejsce i została prawidłowo odczytana.



Schemat przekazywania danych w środowisku oraz stacja bazowa z podłączonym odbiornikiem.



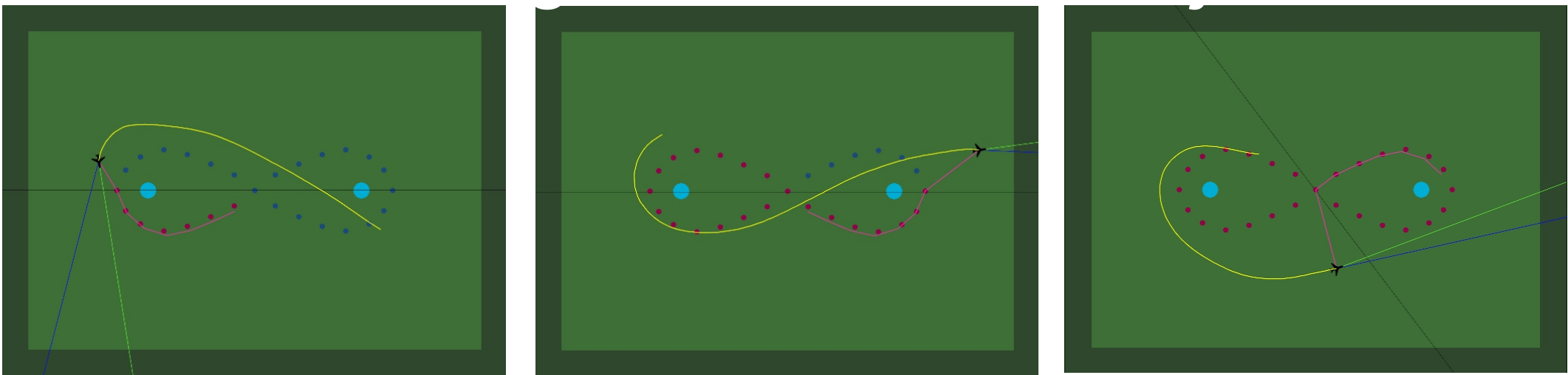
Oprogramowanie wizualizacyjne zostało stworzone od zera w formie strony internetowej przy pomocy technologii webowych. Posiada dynamiczny układ ekranu pozwalający na dowolne ułożenie poszczególnych okien. Całość umożliwia, w zależności od potrzeby, wyświetlanie na ekranie zupełnie innych zestawów informacji: podczas kalibracji przed startem wygodniejszy będzie podgląd na mapę, sieć połączeń środowiska, ekran konfiguracji i konsolę, w trakcie lotu niezbędny jest ekran podglądu danych i wizualizacja, a podczas analizy zebranych danych panel odtwarzania czy lista plików.



Oprogramowanie do wizualizacji danych i zarządzania samolotem w różnych konfiguracjach.

Trening sieci neuronowej

Przygotowanie wszystkich powyższych elementów okazało się niezbędne do przejścia do procesu uczenia maszynowego. Zadaniem sztucznej inteligencji było zaobserwowanie stanu samolotu w powietrzu w locie manualnym oraz skorelowanie tych informacji z reakcją i zachowaniem pilota, okazywanego przez odpowiednie wychyły drążków aparatury, a następnie odtworzenie takiego sterowania podczas lotu autonomicznego. Aby określić stan samolotu, należy wziąć pod uwagę: wychylenie samolotu w osi *roll* oraz w osi *pitch*, wartości tych kątów z poprzedniej chwili czasowej (różnica tych wartości może służyć do stabilizacji), prędkość względem ziemi, wysokość względną (od wysokości startu), prędkość względem powietrza, planowaną trajektorię lotu, a także rekurencyjną odpowiedź sieci z poprzedniej chwili czasowej. Podczas lotów treningowych udało się zgromadzić 20000 punktów danych, co odpowiada ponad 16 minutom samego lotu po trasie „ósemki”. Do sterowania wybrano sieć neuronową o 21 wejściach, 10 neuronach ukrytych oraz 5 wyjściach. Na podstawie aktualnego stanu samolotu, wynik jej działania jest obliczany z częstotliwością 20 Hz, a następnie odpowiednio skalowany i przekazywany bezpośrednio na wyjście serwomechanizmów i silnika przy pomocy sygnału PWM. Z wykorzystaniem wytrenowanej sieci neuronowej wykonano kilka prób lotu autonomicznego, z czego kilkakrotnie udało się wykonać część „ósemki”.



Trajektoria lotu samolotu podczas wykonywania manewrów w trybie autonomicznym.

Podsumowanie i wnioski

- W ramach pracy nad projektem wykonane zostały prace umożliwiające stworzenie założonego kontrolera:
1. Zaprojektowano i zbudowano kompozytowy samolot „Dodo”, o rozpiętości skrzydeł dwóch metrów i wadze około 1.5 kg, który został przygotowany do pełnej kompatybilności z opracowywanym kontrolerem lotu.
 2. Zaprojektowana i wykonana w ramach pracy instalacja fotowoltaiczna umieszczona na skrzydłach samolotu jest w stanie wygenerować około 30 W mocy podczas lotu, co stanowi ponad połowę zapotrzebowania energetycznego i przekłada się na znaczne wydłużenie czasu lotu.
 3. Przygotowany został elektroniczny moduł kontrolera lotu umieszczany w kadłubie w specjalnym gnieździe mocującym. Na płytce PCB znajdują się jedynie niezbędne i przetestowane komponenty.
 4. Wykonano oprogramowanie kontrolera lotu, które pozwala na sterowanie samolotem w trybie manualnym i zbieranie danych treningowych, a także na uruchomienie trybu autonomicznego i sterowanie poprzez sieć neuronową.
 5. Opracowano protokół wymiany informacji, dzięki któremu komunikacja między poszczególnymi elementami środowiska jest szybka i niezawodna.
 6. Dane zbierane przez samolot można oglądać w czasie rzeczywistym dzięki wykonanej stacji odbiorczej oraz stworzonej aplikacji webowej. Pozwala ona również na ich zapis i odtwarzanie, a także na pełną konfigurację kontrolera.
 7. Na podstawie danych z 20000 chwil czasowych została wytrenowana rekurencyjna sieć neuronowa do sterowania samolotem, która kilkakrotnie poradziła sobie z wykonaniem fragmentów manewru.

Reasumując, projekt zakończył się sukcesem. Jego podstawowe założenia zostały spełnione - przygotowano kontroler lotu oraz platformę testową do jego badań. Algorytm sterowania działa poprawnie i pozwala na wykonanie części manewrów, możliwy jest również dalszy rozwój zarówno jego, jak i innych aspektów środowiska.