

Wizualizacja obiektów w przestrzeni 3D za pomocą kostki LED i kamer głębokościowych

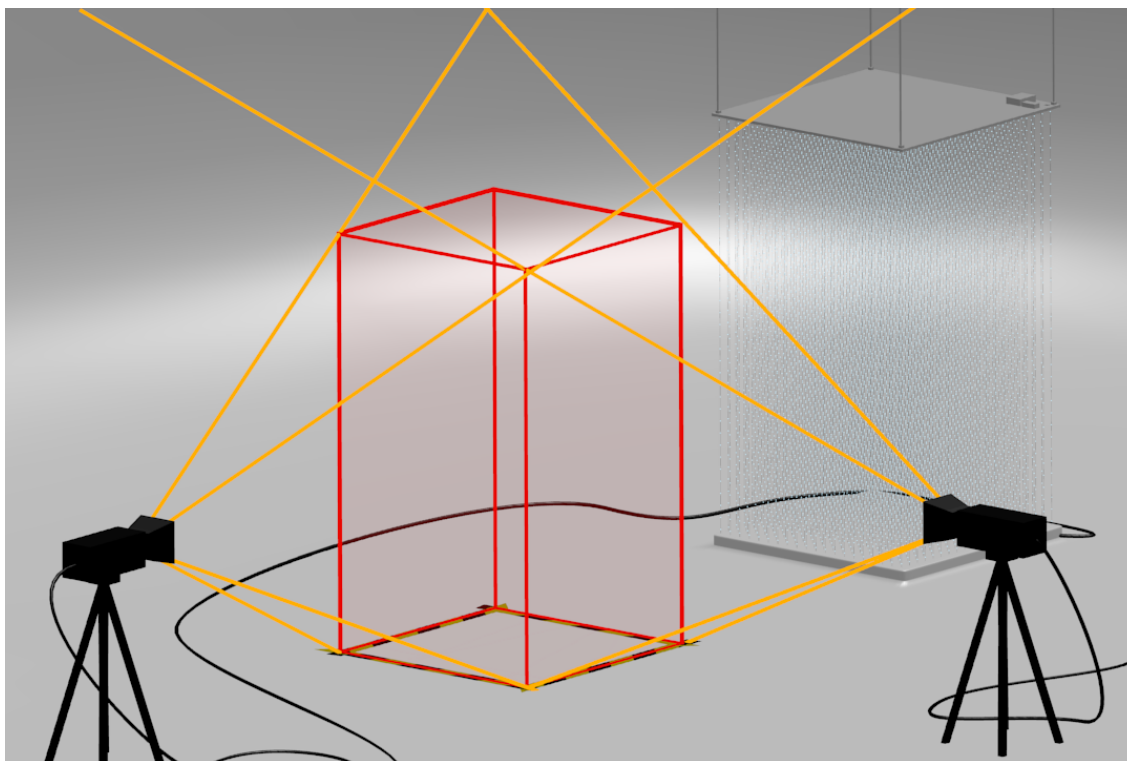
Piotr Zaraś i Jakub Czyszczonek

1 Wstęp

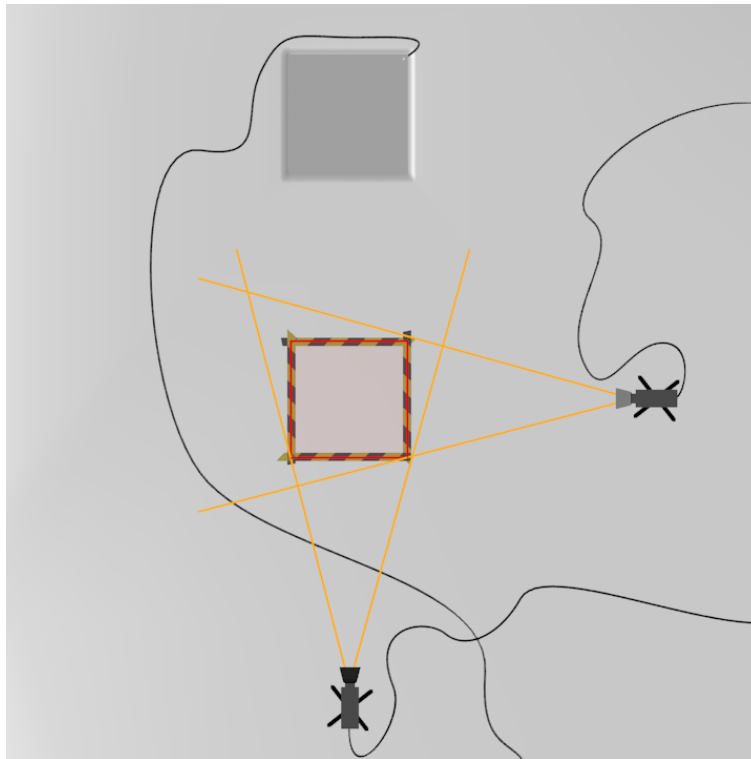
1.1 Opis projektu

Podstawową funkcją projektu jest wizualizacja 3D obiektów znajdujących się w przestrzeni obejmowanej przez dwie kamery głębokościowe, które przesyłają dane o odległości do kostki LED. Następnie zapalane są ledy pokrywające się z wykrytym obiektem tworząc złudzenie poruszającego się odzwierciedlenia skanowanej rzeczy.

1.2 Poglądowa wizualizacja projektu



Widok izometryczny



Widok z góry

2 Funkcjonalność Systemu

2.1 Spis funkcjonalności

Spis głównych funkcjonalności systemu:

- Wizualizacja przechodniów w czasie rzeczywistym
- Wyświetlanie multimedialnych animacji
- Wyświetlanie tekstu
- Wizualizacja przechodniów z wygaszaczem
- Ustawianie trybu wyświetlania

2.2 Wizualizacja przechodniów w czasie rzeczywistym

2.2.1 Opis funkcjonalności

System posiada dwie kamery głębościowe ustawione z przodu i boku które rejestrują odległość osób przechodzących przed nimi. Następnie za pomocą kabla lub modułu Wi-fi dane z kamery są przesyłane do Arduino gdzie otrzymane dane są przetwarzane, a następnie odpowiednie LEDy są zaświecane na makiecie ledowej.

2.3 Wyświetlanie multimedialnych animacji

2.3.1 Opis funkcjonalności

System posiada możliwość wcześniej wyświetlania animacji multimedialnych wcześniej zapisanych na wymiennej karcie MicroSD.

2.3.2 Format danych

Prezentacje zapisane są w postaci śladu czasowego macierzy stanów kostki LEDowej, które mogą być wygenerowane za pomocą oprogramowania dołączonego do produktu.

2.3.3 Obsługa błędnych lub niepoprawnych plików

W przypadku gdy plik okaże się błędny lub niepoprawny. Arduino podejmuje decyzję o zmianie stanu na predefiniowaną animację. W tym celu zmienia stan modułu na 4.

2.4 Wyświetlanie tekstu

2.4.1 Opis funkcjonalności

Istnieje możliwość wyświetlania przewijającego się tekstu na kostce LEDowej. Tekst zapisany powinien być zapisany na wymiennej karcie MicroSD.

2.4.2 Format danych

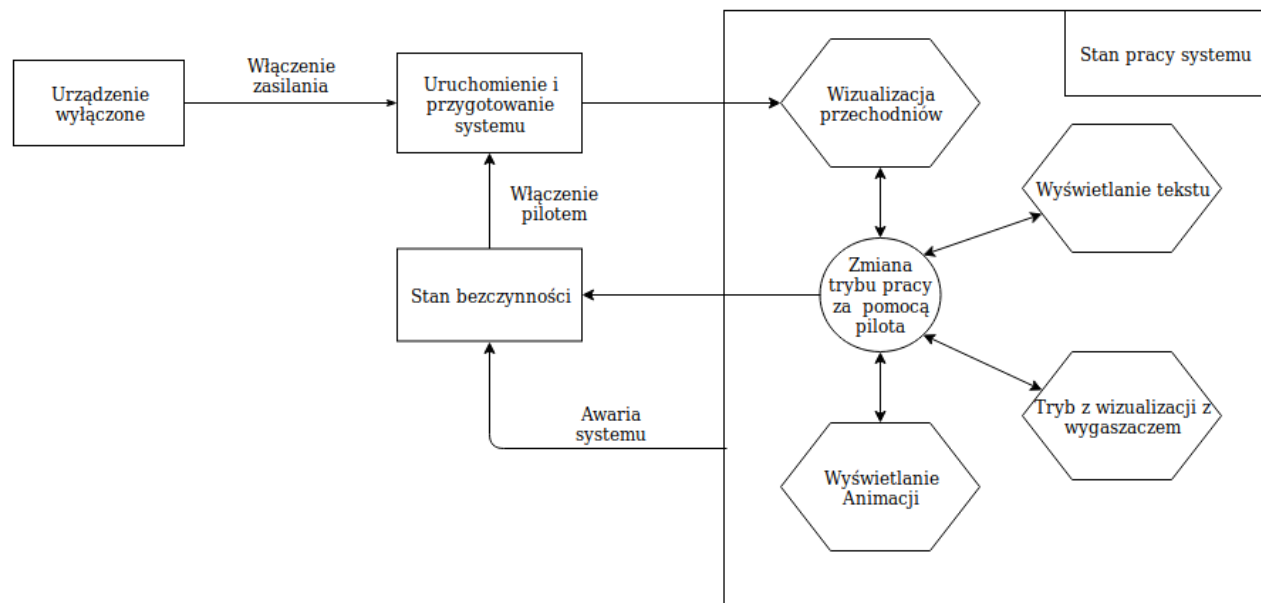
Tekst powinien być zapisany na karcie pamięci w pliku o rozszerzeniu txt, akceptowalnym kodowaniem jest ISO/IEC 8859-2 (ISO Latin-2), znaki, które nie są w danym kodowaniu, mogą być niepoprawnie wyświetlone.

2.4.3 Obsługa błędnych lub niepoprawnych plików

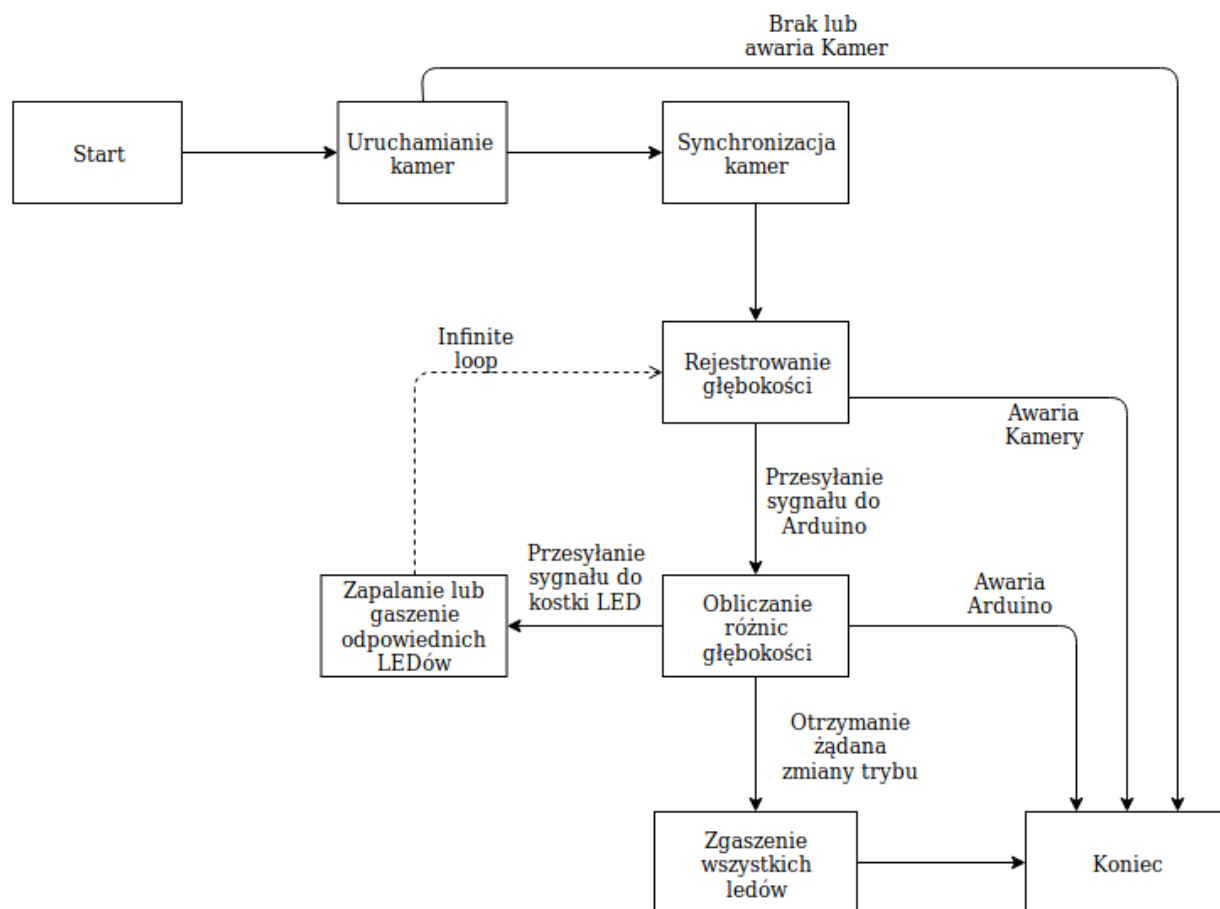
Obsługa błędów taka sama jak w przypadku animacji.

3 Diagram stanów urządzenia

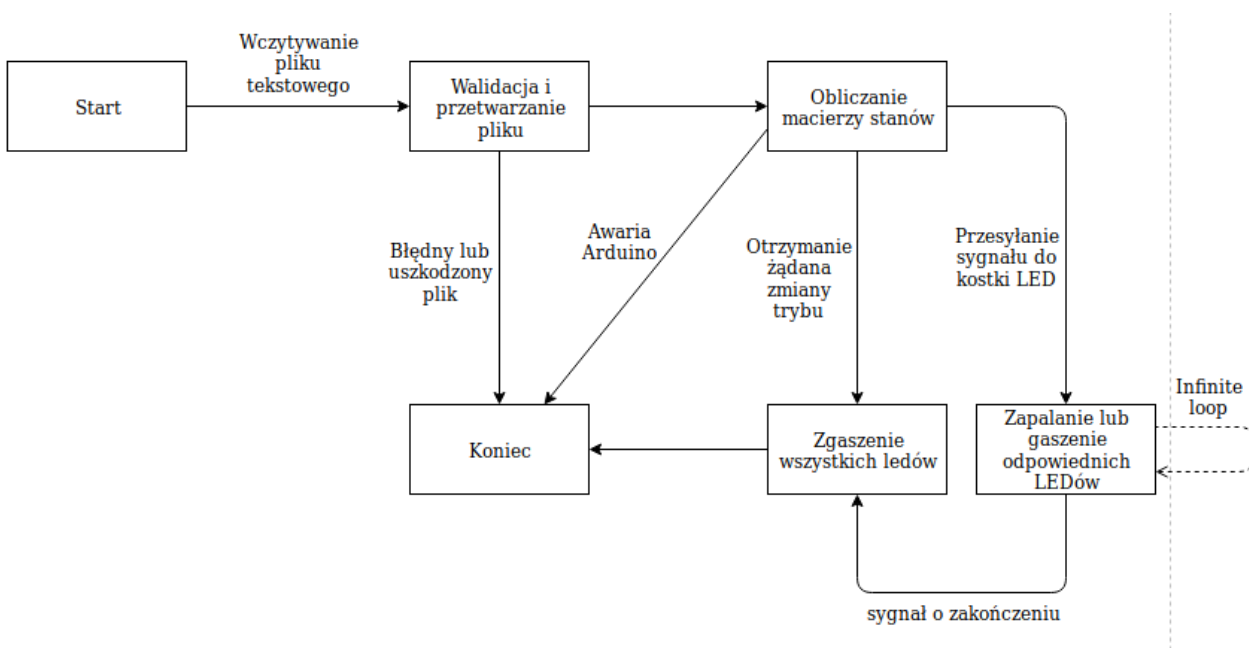
3.1 Główny diagram



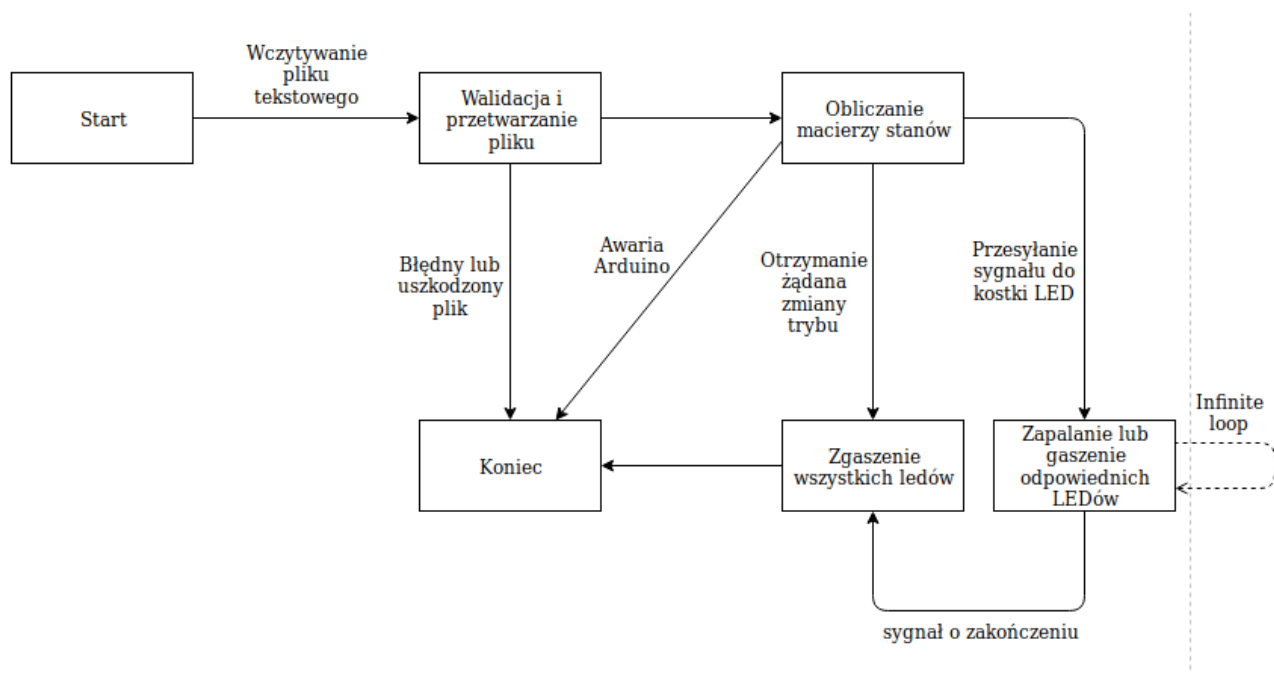
3.2 Tryb wizualizacji przechodniów



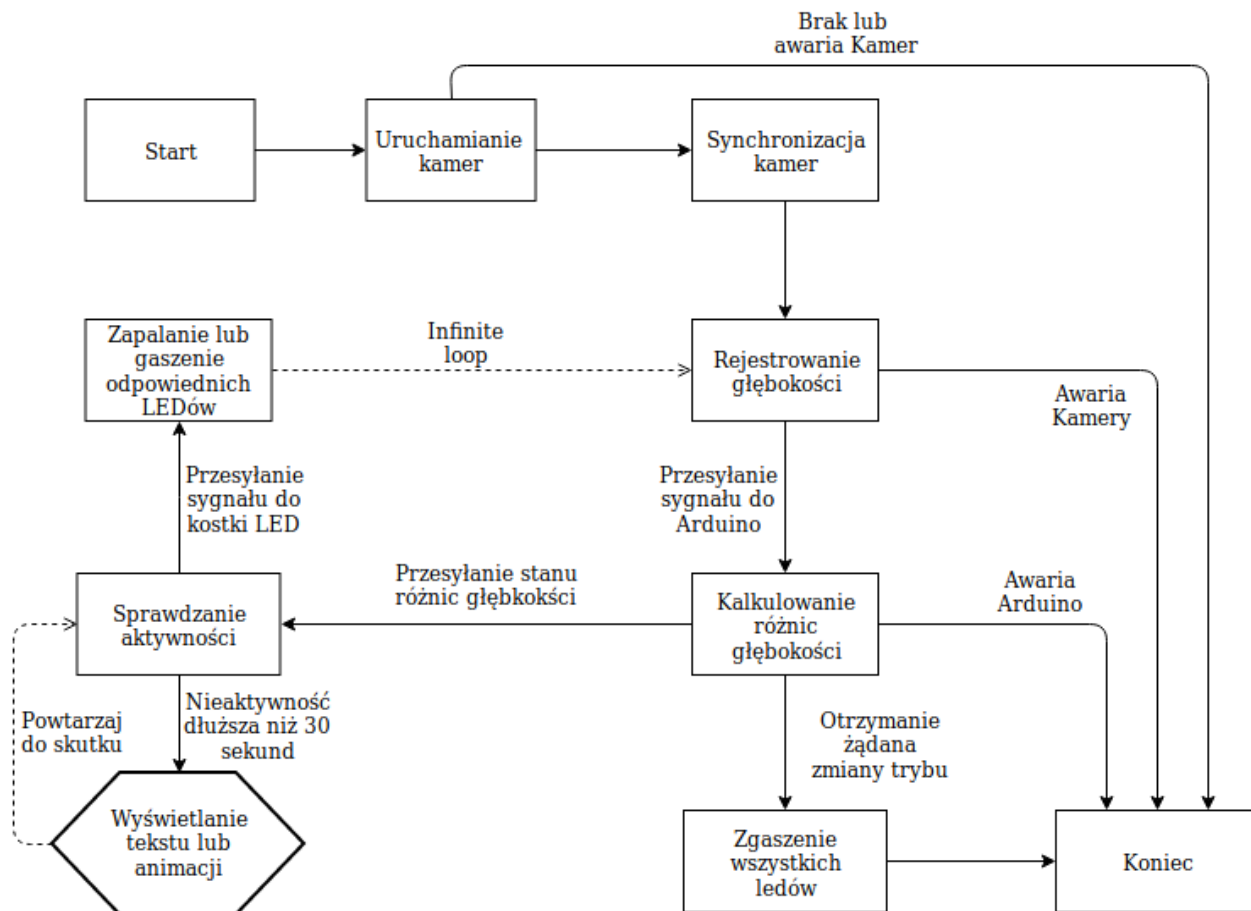
3.3 Tryb wyświetlania tekstu



3.4 Tryb wyświetlania animacji



3.5 Tryb wizualizacji z wygaszaczem

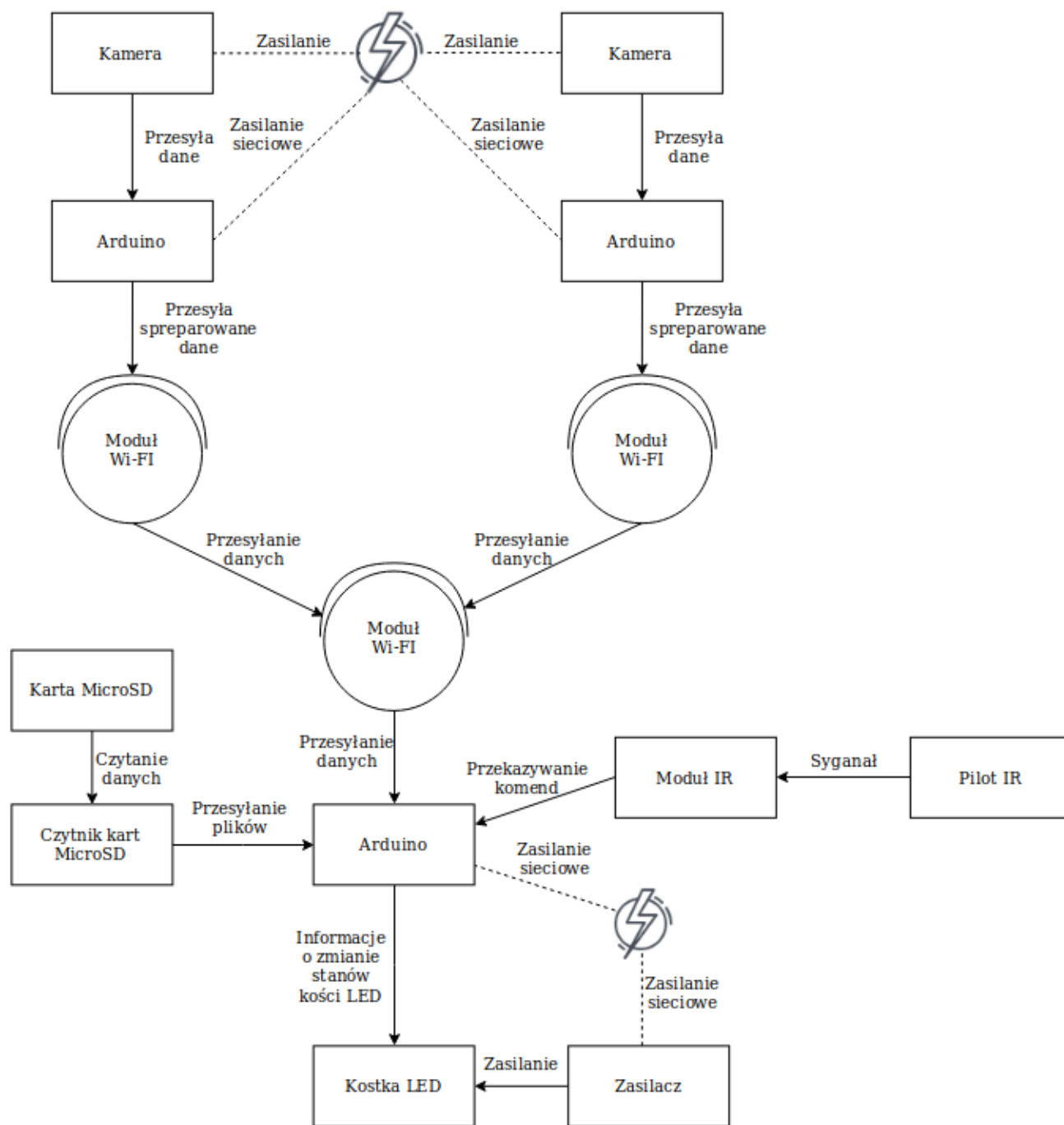


4 Komponenty systemu

4.1 Spis modułów

System składa się z następujących modułów:

1. Dwa moduły kamery
2. Moduł kostki LED
3. Zewnętrzny pilot na podczerwień



4.2 Moduł kamery

4.2.1 Spis komponentów w module

- Mikro-kontroler Arduino MEGA 2560 wraz z modulem Wi-Fi
- Kamera Głębokościowa Intel RealSense 420
- Zasilacz TRACER Be Cool 420W Silent
- Kable do zasilania/przesyłania danych
- Statyw na kamerę

4.2.2 Rola i wykorzystanie w systemie

Kamera rejestruje odległość przedmiotów znajdujących się przed nią jako depth mapę, dzięki dwóm takim kamerom możliwe jest stworzenie uproszczonego modelu 3D obiektu który obserwujemy. Następnie dane zebrane przez kamerę przesyłane są bezpośrednio do arduino, które przygotowuje je do dalszego przesyłu. Pojedyncze klatki są przesyłane z częstotliwością 16 klatek na sekundę.

4.2.3 Relacje z innymi modułami

Moduł ten komunikuje się z modulem kostki poprzez moduł Wi-Fi. Wysyłane są pakiety danych w postaci macierzy stanów. Aby zmniejszyć ilość przesyłanych danych w module wylicza tylko różnice między obecnym, a poprzednim pakietem i wysyła różnice w postaci dwu wymiarowej macierzy stanów. Zazwyczaj jest to macierz rzadka co umożliwia bardziej efektywne składowanie danych.

4.2.4 Relacje z użytkownikiem

Obiekty poruszające się przed kamerą są rejestrowane i zapisywane w postaci mapy odległości. Rejestracja i przetwarzanie obrazu odbywa się tylko gdy użytkownicy znajdują się w odległości od 2.0 m do 1.14 m.

4.2.5 Przypadki brzegowe

Odległość obiektu od kamery jest ściśle sprecyzowana, możemy wyróżnić dwa przypadki brzegowe:

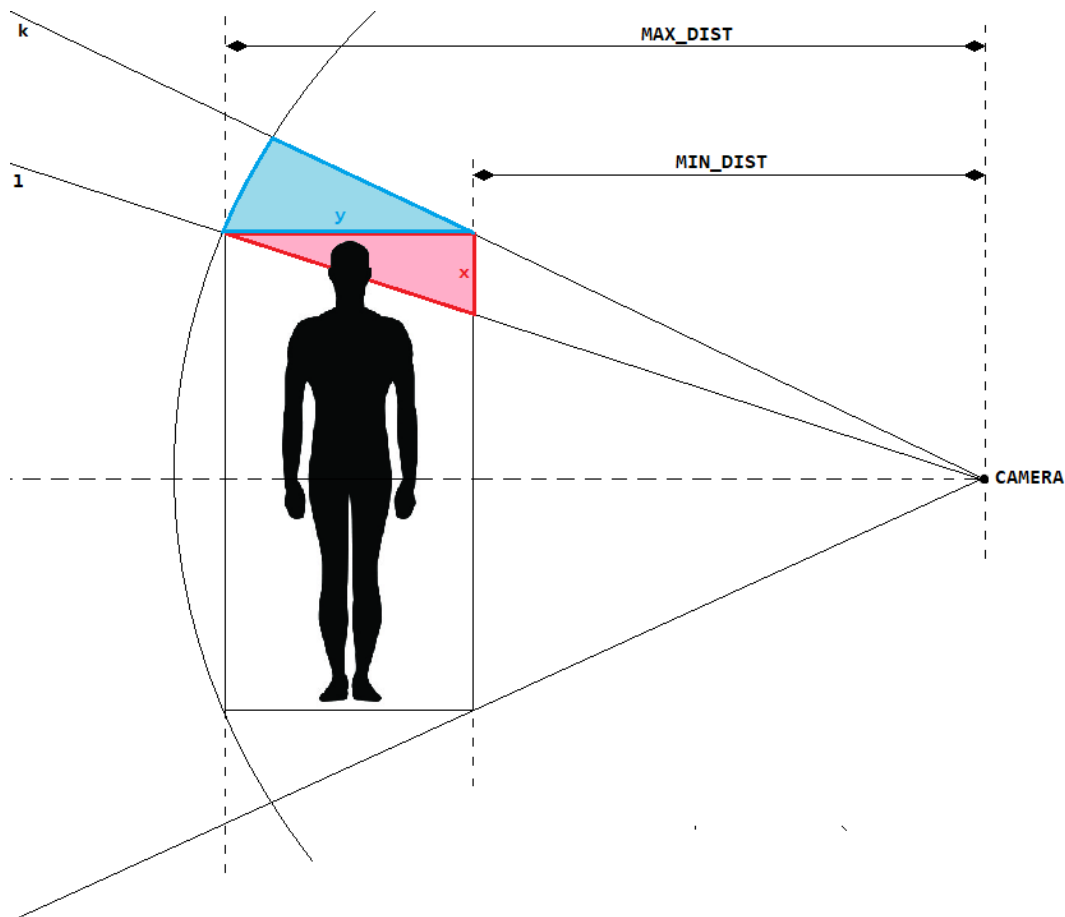
- Użytkownik lub obiekt w odległości poniżej 5cm, w takim przypadku wysyłamy poprzednią klatkę i nie odświeżamy obrazu.

- Użytkownik lub obiekt w odległości powyżej 5m, uznajemy, że użytkownik lub człowiek nie istnieje, ponieważ znajduje się za linią "wzroku" kamer.

4.2.6 Rozwiązanie problemów technologicznych

Wysokie nasłonecznienie miejsca lub otwarte przestrzenie mogą uniemożliwiać pracę kamer głębokościowych, tak więc zalecane jest dobranie kamer stworzonych dla jasnych miejsc jak np proponowana Intel RealSense 420.

Kolejnym problemem jest przeskalowanie obrazu z kamer na kostki LED



Nasz problem polega na tym by przedmioty znajdujące się w obszarze zaznaczonym na niebiesko nie były widoczne pomimo, iż spełniają wymagania odnośnie odległości. Dzieje się tak dla tego, że zapisany MAX_DIST nie jest prawdziwym maksymalnym dystansem. Kamera w rzeczywistości jest traktowana jako punkt a nie gigantyczna matryca jej maksymalny dystans jest wyznaczony przez sferę o centrum w jej położeniu. Musimy więc doprecyzować co chcemy widzieć. O ile zakrzywienie na powierzchni naszej kostki, w której rejestrujemy obraz nie jest problematyczne to jej krawędzie już są. Dla tego przy odległościach odczytywanych z obszarów granicznych (tutaj np. bok x czerwonego trójkąta) musimy dodatkowo sprawdzić czy odległość podanego punktu nie

jest większa niż długość odcinka leżącego na prostej łączącej kamerę z tym punktem, zaczynającego się w miejscu kamery a kończącego na boku y . Jeśli tak jest to nie bierzemy go pod uwagę. Robimy tak dla wszystkich krawędzi.

4.3 Moduł kostki LED

4.3.1 Spis komponentów w module

- Mikro-kontroler Arduino MEGA 2560 wraz z modulem Wi-Fi, czujnikiem IR i czytnikiem kart MicroSD
- Zasilacz TRACER Be Cool 420W Silent
- Kable do zasilania/przesyłania danych
- Diody LED WS2812b w ilości 14 000

4.3.2 Rola i wykorzystanie w systemie

Jest to główny moduł całego systemu. Odpowiada za rzutowanie podanych informacji na kostkę LED. W jaki sposób to robi zależy od typu informacji oraz stanu, w którym się znajduje.

1. Wizualizacja przechodniów - arduino odbiera informacje o zmianach w odległości z dwóch modułów kamer za pomocą modułu Wi-Fi. Następnie przetwarza je na trójwymiarowy obiekt i wyświetla na kostce LED.
2. Wyświetlanie tekstu - przy użyciu czytnika kart MicroSD, arduino ładuje tekst z pliku i przygotowuje go do wizualizacji. Następnie wyświetla w postaci ruchomego (leżącego z prawej na lewą stronę) tekstu 3D w kostce LED.
3. Wyświetlanie animacji - przy użyciu czytnika kart MicroSD, arduino wczytuje specjalnie przygotowane pliki reprezentujące poszczególne zmiany stanu diód w kostce LED a następnie wyświetla je w formie animacji.
4. Wizualizacja z wygaszaniem - w przypadku gdy znajdujemy się w stanie 1. oraz po dłuższej nieaktywności ze strony kamer. Arduino podejmuje decyzję o zmianie stanu na predefiniowaną animację lub tekst. W tym celu zmienia stan modułu na 3.

4.3.3 Relacje z innymi komponentami

Moduł ten odbiera informacje z modułów kamer przez moduł Wi-Fi. Odbiera pakiety TCP z danymi w postaci macierzy stanów. Istotne jest by był to właśnie protokół TCP gdyż zależy nam na

poprawnym przesłaniu każdej klatki odebranej z kamer. Aby zmniejszyć ilość odbieranych danych otrzymuje tylko różnice między obecnym, a poprzednim pakietem. Zazwyczaj jest to macierz rzadka co umożliwia bardziej efektywne składanie danych. Stany w tym module są zmieniane przy użyciu pilota IR.

4.3.4 Relacje z użytkownikiem

Ten moduł wchodzi w interakcje z użytkownikiem w jednym przypadku jest nim wymiana karty MicroSD w celu zmiany/aktualizacji wyświetlanego tekstu lub animacji. Pozostałe interakcje odbywają się za pośrednictwem innych modułów.

Wymiana karty MicroSD możliwa jest tylko w trybie bezczynności lub gdy system odłączony jest od zasilania, ponieważ w innych stanach system może być w trakcie odczytu danych z karty, a w takim wypadku wymiana może uszkodzić kartę MicroSD jak również dane znajdujące się na niej.

4.3.5 Przypadki brzegowe

Wyświetlany tekst ze względów na wygodę ma maksymalną długość 100 znaków. Dla dłuższego tekstu arduino wyświetli pojedynczy komunikat “Maximum text length is 100” a następnie przejdzie do stanu wizualizacji z wygaszaniem i użyciem domyślnej animacji.

Wyświetlana animacja może mieć maksymalny rozmiar 165 KB ze względu na rezerwacje pamięci na sam program. W przypadku próby wyświetlenia animacji o większym rozmiarze arduino wyświetli pojedynczy komunikat “Maximum animation size is 165 KB” następnie przejdzie do stanu 4. z wygaszaniem i użyciem domyślnej animacji.

4.4 Moduł pilot na podczerwień

4.4.1 Spis komponentów w module

Moduł składa się tylko z pilota na podczerwień i odbiornika umieszczonego w module kostki LED.

4.4.2 Relacje z innymi komponentami

Pilot służy do zmiany stanów systemu. Za jego pomocą wysyła się również sygnał startu oraz wyłączenia wizualizacji. Sygnały te są odbierane przez moduł kostki LED (odbiornik podczerwieni).

4.4.3 Relacje z użytkownikiem

Gdy jesteśmy w stanie 2. lub 3. istnieje możliwość zmiany plików wyświetlanych na kostce LED pomocą przycisków na pilocie. Użytkownik może również w dowolnym momencie zmienić tryb wyświetlania (stan systemu) lub wyłączyć cały system.

4.4.4 Interfejs Użytkownika

Pilot składa się z następujących przycisków:

- Klawisz żasilania"
- Klawiatura numeryczna
- Klawisz potwierdzania
- Klawisz powrotu
- Klawisze "góra"i "dół"

Klawisz żasilania"używany jest do przejścia systemu w stan bezczynności lub na wyjście z stanu bezczynności.

Klawiatura numeryczna służy do wyboru trybu wyświetlania odpowiednie klawisze oznaczają dany tryb:

1. Wizualizacja przechodniów w czasie rzeczywistym
2. Wyświetlanie multimedialnych animacji
3. Wyświetlanie tekstu
4. Wizualizacja przechodniów z wygaszaczem

Użycie innego klawisza klawiatury numerycznej jest ignorowana. Potwierdzenie wybrania trybu należy zatwierdzić klawisze potwierdzania.

Klawisz potwierdzania służy do potwierdzenia wyboru trybu wyświetlania oraz potwierdzenia wyboru animacji lub tekstu w trybach wyświetlania multimedialnych animacji, wyświetlania tekstu oraz wizualizacji przechodniów z wygaszaczem.

Klawisz powrotu wysyła sygnał przerwania obecnego trybu i przechodzi w oczekiwanie na wybranie nowego trybu wyświetlania lub w przejście w stan bezczynności.

Klawisze "góra" i "dół" używane są w trybach wyświetlania multimedialnych animacji, wyświetlania tekstu oraz wizualizacji przechodniów z wygaszaczem. Służą do wybrania odpowiednich animacji lub tekstów które mają być wyświetlane lub do wyboru wygaszacza. Do przejścia w pracę danego trybu należy zatwierdzić wybór klawiszem potwierdzenia.

4.5 Problematyczne kwestie

4.5.1 Awaria komponentów

W przypadku awarii jednego z komponentów system przechodzi w stan bezczynności i oczekuje na naprawę. Jedynym możliwym działaniem możliwym do podjęcia przez użytkownika gdy system znajduje się w tym stanie jest restart/wyłączenie całości.

4.5.2 Problemy na drodze Wi-Fi

System wykorzystuje komunikację drogą bezprzewodową z użyciem sieci Wi-Fi. Z tego względu zalecane jest używanie prywatnej oraz zabezpieczonej sieci Wi-Fi. Dzięki temu znacznie ogranicza się możliwości manipulacji lub włamania do systemu przez osoby trzecie. W przypadku złamania zabezpieczeń należy przy użyciu pilota na podczerwień wyłączyć system i zmienić zabezpieczenia sieci (np. zmiana hasła na silniejsze).

W przypadku problemów w komunikacji między modułami kamer a modulem kostki LED należy zrestartować system by moduły zsynchronizowały się ze sobą ponownie.

4.5.3 Problemy na drodze IR

Należy ograniczyć używanie systemu w mocno nasłonecznionych miejscach, może to powodować nieprawidłowe działanie pilota na podczerwień co często wiąże się z niemożliwością bezpiecznego wyłączenia systemu. W takim przypadku należy ostrożnie odłączyć system od zasilania.

5 Przetwarzanie danych

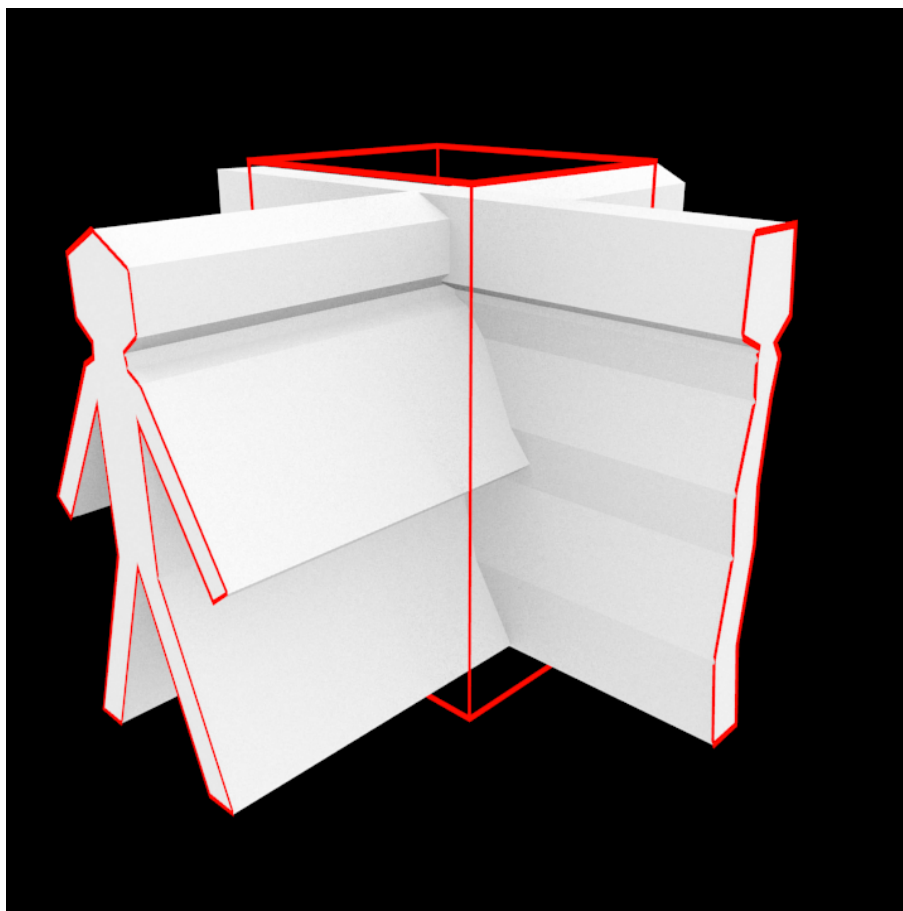
W pamięci arduino chcemy mieć reprezentację kostki LED jako tablice trójwymiarową bitów, gdzie 1 oznacza zapalony led a 0 oznacza zgaszony.

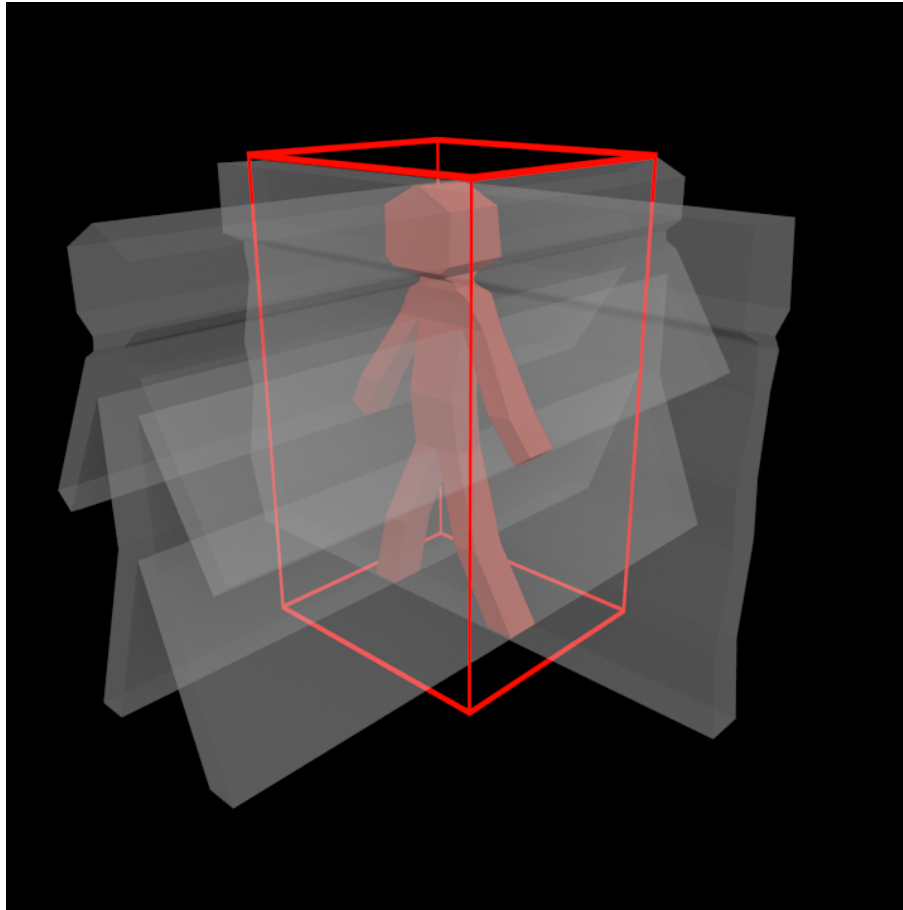
5.1 Zamiana obrazu z kamer na model 3D $f : \mathbb{R}^2 \times \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}^3$

Od każdej z kamer otrzymujemy macierz 2D z wartościami będącymi odległościami od kamery w punkcie, w którym był dany piksel (tak na prawdę grupa pikseli gdyż uśredniamy obraz tak by każda komórka macierzy odpowiadała jednemu ledowi na potrzeby łatwego przetwarzania

i wysyłania danych). Aby przetworzyć to na obiekt 3D w tablicy aktualnego stanu kostki LED musimy:

1. Stworzyć macierz 3D odpowiadającą wymiarami naszej kostce
2. Rzutować obraz z przedniej kamery na front kostki
3. Rzutować obraz z bocznej kamery na bok kostki
4. Wziąć część wspólną obydwu rzutowań





5.2 Zamiana pozycji w macierzy 3D na adres (numer) diody LED

$$f : \mathbf{R}^3 \rightarrow \mathbf{R}$$

Macierz 3D stanów kostki jest przechowywana w postaci struktury w której dostęp do każdej diody mamy poprzez podanie trójki $[x,y,z]$ w której x - oznacza indeks wertykalny, y - horyzontalny, z - głębokości. Przy czym indeksowanie jest od ledu znajdującego się w lewym górnym rogu na frontalnej ścianie oznaczonego indeksem $[0,0,0]$, aby przełożyć to na adresy diod led w kostce należy użyć funkcji mapującej

$$[x, y, z] \rightarrow (W * S) * z + W * x + y$$

gdzie W to ilość diód led w kolumnie, a S to liczba diód w rzędzie