Pomiar Glass-To-Glass Latency

Wprowadzenie

Opóźnienie obrazu w systemach robotycznych i wizyjnych to całkowity czas, jaki upływa od fizycznego zdarzenia w świecie rzeczywistym do momentu podjęcia akcji zwrotnej. W układzie z człowiekiem jako operatorem ważne jest by opóźnienie dostarczenia obrazu było poniżej progu percepcji. Przyjmuje się, że wartość graniczna to około 150ms.

Metoda pomiaru **Glass-to-Glass (G2G) Latency** z wykorzystaniem pulsującej diody LED i pary fotodiod to jedna z najbardziej niezawodnych i precyzyjnych metod laboratoryjnych. Jej największą zaletą jest **niezależność sprzętowa** – pomiar odbywa się całkowicie poza badanym systemem komputerowym, dzięki czemu eliminujemy błędy wynikające z narzutu zegara systemowego czy asynchroniczności oprogramowania.

Spis treści

WPROWADZENIE 1
ANATOMIA OPÓŹNIENIA OBRAZU (END-TO-END LATENCY PIPELINE) **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
Systemy w pełni automatyczne (Machine Vision & Robotyka) **Error! Bookmark not defined.**
Systemy z człowiekiem-operatorem (Human-in-the-Loop) **Error! Bookmark not defined.**
Porównanie rygorów czasowych i progów tolerancji **Error! Bookmark not defined.**
LATENCY W SYSTEMACH Z OPERATOREM **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
Glass-to-Glass Latency (Opóźnienie Techniczne) **Error! Bookmark not defined.**
Opóźnienie kamery (Akwizycja i odczyt): 1,5 ms – 35 ms **Error! Bookmark not defined.**
Interfejs i Transport: 1 ms – 120 ms+ **Error! Bookmark not defined.**
Komputer (Host / Przetwarzanie i System): 2 ms – 40 ms **Error! Bookmark not defined.**
Monitor i Wyświetlanie: 1 ms – 50 ms **Error! Bookmark not defined.**
Human Response Time (Opóźnienie Biologiczne) **Error! Bookmark not defined.**
Percepcja Wzrokowa (Visual Processing): ~20 ms – 40 ms **Error! Bookmark not defined.**
Przetwarzanie Kognitywne i Decyzja: ~50 ms – 150 ms+ **Error! Bookmark not defined.**
Transmisja Motoryczna (Motor Efferent Pathway): ~10 ms – 20 ms **Error! Bookmark not defined.**
Fizyczna Aktywacja Mięśnia (Muscle Activation & Mechanical Lag): ~30 ms – 70 ms **Error! Bookmark not defined.**

© A1Pixel sp z o.o. ul. Krasińskiego 15/3, 87-100Toruń, Polska, www.a1pixel.pl ,

Opis metody pomiaru Glass-to-Glass Latency

Metoda pomiaru Glass-to-Glass (G2G) Latency z wykorzystaniem zewnętrznego, pulsującego źródła LED oraz dedykowanego układu kontrolnego opartego na parze niezależnych fotodiód stanowi standard laboratoryjny w metrologii systemów wizyjnych. Największą zaletą tej metody jest jej pełna niezależność sprzętowa – pomiar odbywa się całkowicie poza badaną jednostką komputerową (tzw. pomiar nieinwazyjny Black-Box). Dzięki temu wyeliminowane zostają błędy wynikające z asynchroniczności systemowych zegarów programowych oraz narzutu wielozadaniowych systemów operacyjnych.

Układ pomiarowy

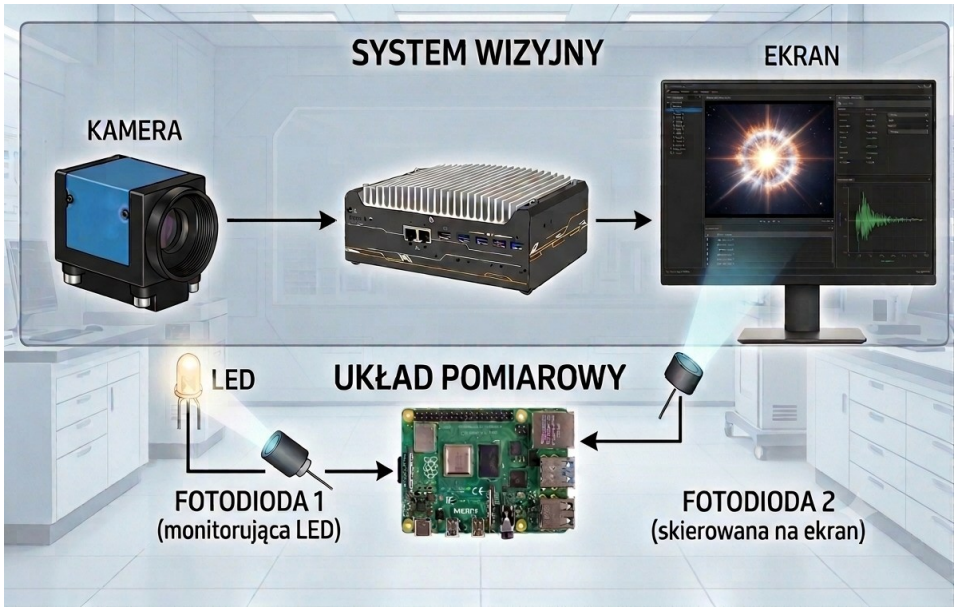
Komponenty stanowiska badawczego

Stanowisko pomiarowe składa się z dwóch fizycznie odseparowanych obwodów:

• **Obwód Badany (System Wizyjny):** Kamera maszynowa z obiektywem (zalecany sensor Global Shutter), przemysłowy komputer fanless (np. Advantech z serii ARK/UNO) odpowiadający za akwizycję i przetwarzanie ramek, oraz ekran/monitor wyświetlający podgląd z kamery w czasie rzeczywistym.

• **Obwód Kontrolny (Układ Miernika):** Szybki mikrokontroler (np. STM32 lub układ FPGA) wyposażony w precyzyjny oscylator sprzętowy, dioda LED generująca impulsy świetlne w polu widzenia (FOV) kamery, fotodioda referencyjna D1 oraz fotodioda odbiorcza D2.

Układ pomiarowy



4. Przebieg procedury pomiarowej

Badanie charakterystyki opóźnienia realizowane jest w trzech krokach:

- **1. rejestracja T0 (START):** Mikrokontroler wysyła impuls prądowy otwierający tranzystor zasilający diodę LED. Dioda emituje światło. Fotodioda D1 umieszczona blisko diody LED rejestruje światło I uruchamia licznik sprzętowy, który rejestruje punkt **T0** i rozpoczyna odliczanie z rozdzielczością mikrosekundową.

- **2 Przetwarzanie przez badany system wizyjny (interfejs-processing-generacja obrazu-wyświetlenie obrazu) :** Błysk światła przechodzi przez tor optyczny kamery, zostaje zdigitalizowany w przetworniku ADC matrycy, a następnie jako pakiet danych przechodzi przez kontroler interfejsu (USB 3.0 / GigE). Komputer przemysłowy pobiera dane przez mechanizm DMA, przekazuje je do bufora ramki aplikacji, która nakłada ewentualne OSD i przesyła klatkę przez kartę graficzną do monitora. Sterownik monitora odświeża matrycę LCD/OLED.

- **3. Rejestracja punktu T1 (STOP):** W momencie fizycznego zapalenia pikseli i emisji fotonów, fotodioda D2 (przymocowana bezpośrednio do powierzchni ekranu w punkcie projekcji) generuje impuls napięciowy. Sygnał ten zatrzymuje licznik czasu w punkcie **T1**.

Bezwzględne opóźnienie **Glass-to-Glass (L_{G2G})** całego systemu obliczane jest wprost z różnicy wskazań licznika mikroprocesora:

$$\text{Latency } L_{G2G} = T1 - T0$$