POLITECHNIKA RZESZOWSKA
im. IGNACEGO ŁUKASIEWICZA

KATEDRA INFORMATYKI I AUTOMATYKI POLITECHNIKI RZESZOWSKIEJ

Wprowadzenie do technologii XR

WiRR · Wykład 01 · Automatyka i Robotyka · 3 ECTS · 2026/2027 · v1.2.5

dr inż. Mateusz Pomianek

Katedra Informatyki i Automatyki, Politechnika Rzeszowska

16.10.2026

VR: syntetyczne środowisko zastępuje widok świata

Wirtualna rzeczywistość (VR) prezentuje użytkownikowi otaczające go środowisko wytworzone lub odtworzone cyfrowo.

Przykład: w symulatorze operator obserwuje wirtualne stanowisko zamiast rzeczywistego pomieszczenia.

VR jako trening procedur

- Przećwicz sekwencję decyzji bez uruchamiania fizycznej maszyny.
- Zdefiniuj zdarzenia treningowe, błędy i kryterium ukończenia.
- Oddziel dynamikę urządzenia od umownej animacji.

AR według klasycznej definicji

Rzeczywistość rozszerzona łączy trzy cechy:

1. Łączy rzeczywiste i wirtualne elementy.
2. Działa interaktywnie w czasie rzeczywistym.
3. Rejestruje elementy cyfrowe przestrzennie w 3D.

Konsekwencja: nieruchoma etykieta HUD na obrazie kamery nie jest automatycznie poprawnie zarejestrowaną nakładką AR.

Rejestracja AR a nakładka ekranowa



Test rejestracji: porusz urządzeniem i sprawdź, czy etykieta pozostaje przy tym samym obiekcie.

VR, AR, MR i XR



Interpretacja naukowa: w klasycznej taksonomii Milgrama obszar MR obejmuje AR i augmented virtuality. **XR** jest terminem nadrzędnym, a nie kolejną pozycją na osi.

Kontinuum rzeczywistości i wirtualności

- Świat rzeczywisty i całkowicie cyfrowy są skrajnymi punktami kontinuum.
- Klasyczne MR obejmuje sposoby łączenia obrazu fizycznego i wirtualnego.
- XR jest nazwą zbiorczą, a nie potwierdzeniem cech konkretnego urządzenia.

Symulacja, animacja i wizualizacja

Te pojęcia opisują różne funkcje systemu.

- **Modelowanie/symulacja:** odwzorowanie mechanizmu i zmiany stanu.
- **Animacja:** przedstawienie zmiany w czasie.
- **Wizualizacja:** udostępnienie informacji w formie percepcyjnej.

Sama atrakcyjna grafika 3D nie dowodzi poprawności modelu symulacyjnego.

Wierność symulacji a transfer umiejętności

- Wierność wizualna opisuje podobieństwo wyglądu.
- Wierność funkcjonalna dotyczy zgodności reakcji systemu na działania.
- Wierność zadaniowa wymaga sprawdzenia realnej procedury.

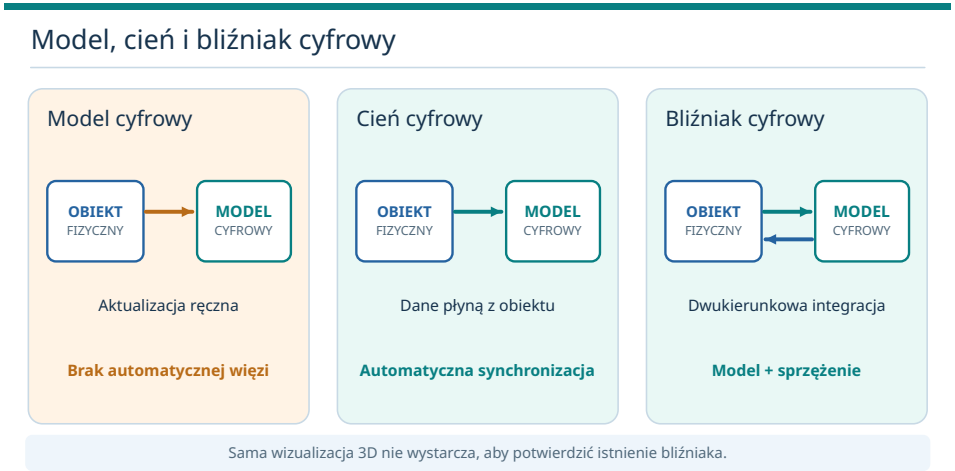
Model, cień i bliźniak cyfrowy

Kluczową różnicą jest relacja danych ze światem fizycznym.

Pojęcie	Relacja danych
Model cyfrowy	Aktualizacje nie muszą być automatyczne
Cień cyfrowy	Automatyczny przepływ danych z obiektu fizycznego
Bliźniak cyfrowy	Powiązanie modelu i obiektu z dwukierunkowym przepływem danych

Definicje należy odnosić do rzeczywistych możliwości integracji, nie nazwy marketingowej.

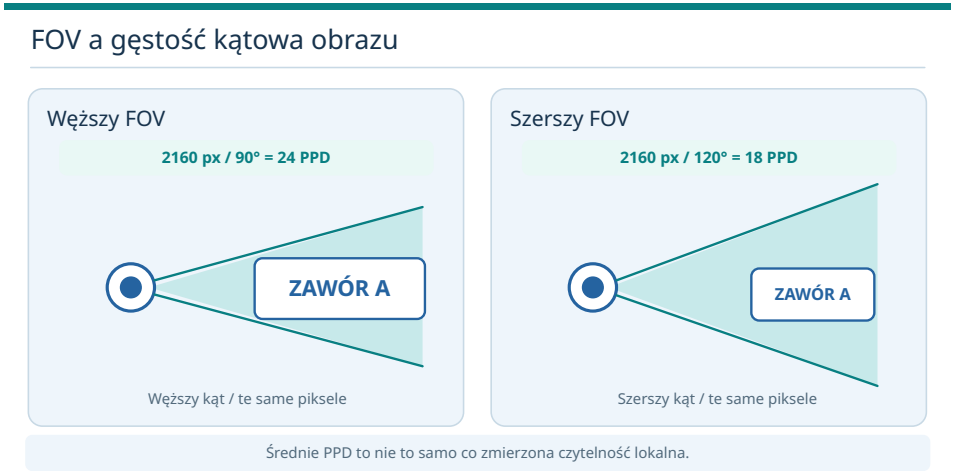
Kierunki przepływu danych w modelu i bliźniaku



Uwaga: powiązanie dwukierunkowe nie dowodzi automatycznie bezpiecznego sterowania.

Percepcja w XR

Pole widzenia a czytelność informacji



Wniosek: odczytywalność etykiet zależy również od optyki, kontrastu i pozycji oka.

Głębia pochodzi z wielu wskazówek

Monokularne

- Perspektywa
- Okluzja
- Paralaksa ruchu
- Cienie

Binokularne

- Stereopsja
- Wergencja

System XR musi zapewniać spójność tych wskazówek podczas ruchu.

Konflikt wergencji i akomodacji

W naturalnym widzeniu kierunek osi oczu i nastawienie ostrości są powiązane.

W typowym HMD stereoskopia może sugerować inną odległość niż płaszczyzna optycznego ogniskowania obrazu.

Skutek: potencjalny dyskomfort i zmęczenie wzroku.

Odrębne mechanizmy dyskomfortu

- Konflikt wergencji i akomodacji dotyczy widzenia stereoskopowego.
- Konflikt wzrokowo-przedsionkowy wiąże się z niespójnymi sygnałami ruchu.
- Czas ekspozycji i sposób lokomocji wymagają osobnej oceny.

5 minut przerwy

Pytania do samodzielnego powtórzenia

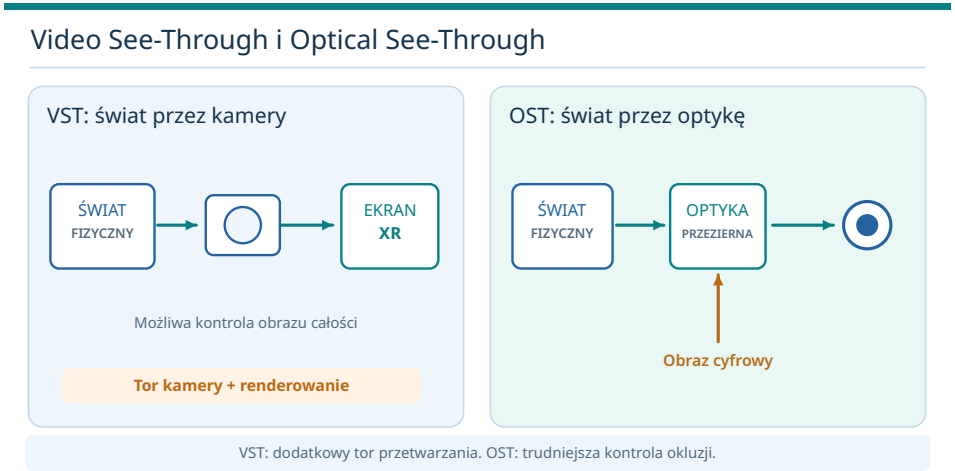
1. Jak odróżnić VR od przestrzennie zarejestrowanej AR?
2. Jakie warunki wskazuje klasyczna definicja AR?
3. Czym różnią się model, cień i bliźniak cyfrowy?
4. Jak typ wyświetlacza i śledzenia wpływa na zastosowanie XR?

Architektura i urządzenia

Samodzielne gogle i system połączony z PC

- Urządzenie samodzielne przetwarza obraz lokalnie, w ograniczonym budżecie zasobów.
- Połączenie z komputerem dodaje zależności transmisji i synchronizacji.
- Dobór zależy od mobilności, czujników, wydajności i zadania.

Video See-Through i Optical See-Through



Wniosek: różnią się drogą obrazu, opóźnieniem toru widoku i możliwościami okluzji.

Okluzja i zgodność głębi nakładek

- Okluzja określa, który obiekt powinien zasłaniać drugi.
- VST może przetwarzać obraz sceny fizycznej przed wyświetleniem.
- W OST kontrola zasłaniania zależy od możliwości optyki.

3DoF i 6DoF

3DoF | ROTACJA

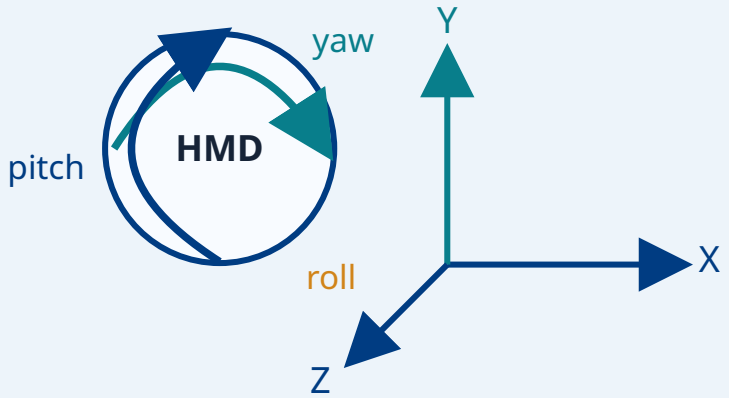


(ψ, θ, ϕ)

p = const

orientacja, bez przemieszczenia

6DoF | ROTACJA + TRANSLACJA



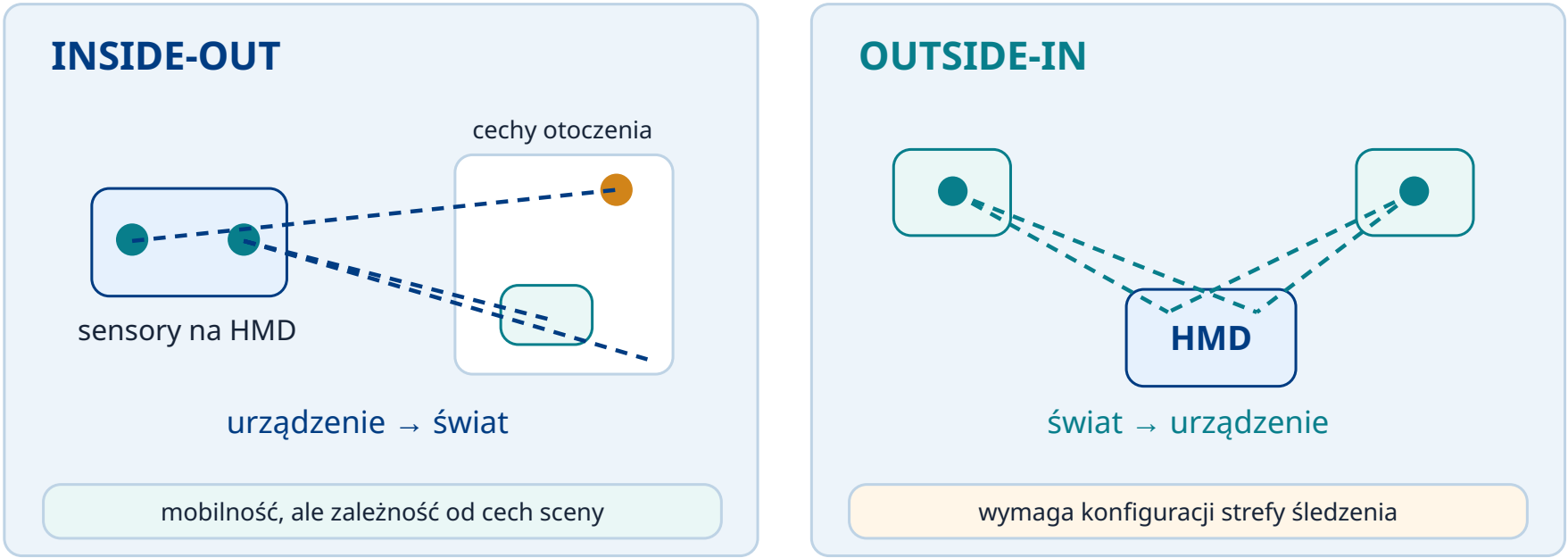
orientacja + pozycja (x, y, z)

Uwaga: sama liczba stopni swobody nie określa dokładności, częstotliwości ani opóźnienia śledzenia.

Orientacja, pozycja i niepewność śledzenia

- 3DoF opisuje orientację; 6DoF obejmuje także translację.
- Liczba stopni swobody nie określa dokładności i opóźnienia.
- Błąd pozy raportuj z jednostkami i ramą odniesienia.

Inside-out i outside-in

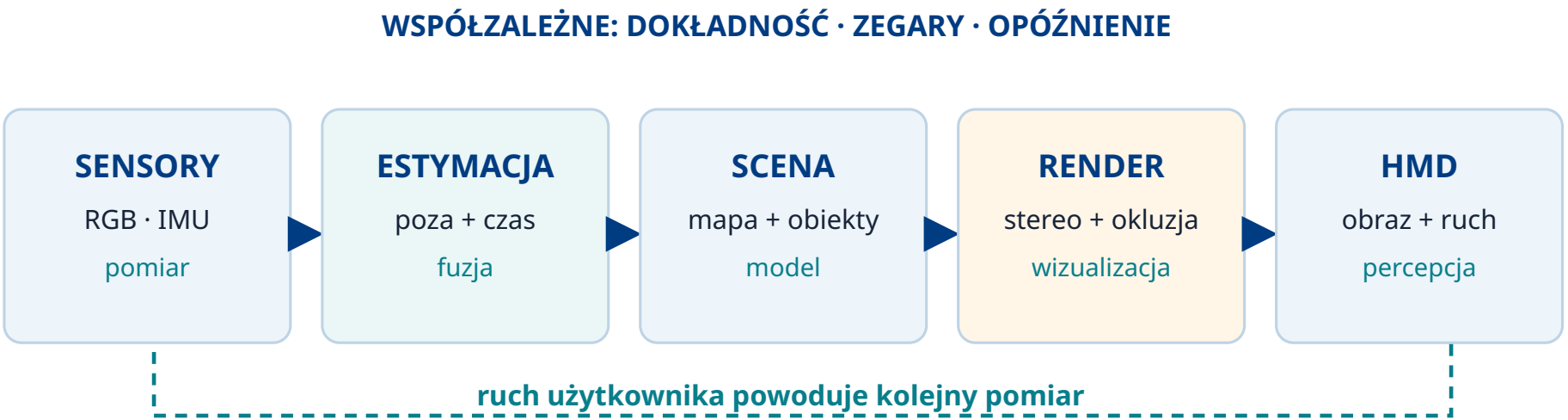


W obu architekturach błędy mogą wynikać z zasłonięć, kalibracji, jakości obserwacji i opóźnień.

Utrata śledzenia i relokalizacja

- Zasłonięcie cech lub znaczników może obniżać wiarygodność pozy.
- Relokalizacja zmienia oszacowanie położenia względem mapy.
- Przy utracie śledzenia wstrzymaj nakładki zależne od wiarygodnej pozy.

Potok informacji XR



Niepewność estymacji i błędy czasu mogą naruszyć rejestrację obrazu.

Istotne: każdy etap wpływa na jakość rejestracji, a układ zamyka sprzężenie zwrotne przez ruch użytkownika.

Świeżość danych nakładki XR

- Rozdziel czas pomiaru od czasu wyświetlenia etykiety.
- Aktualność stanu robota i aktualność pozy użytkownika to dwa warunki.
- Przy starej próbce pokaż niepewność zamiast pozornej precyzji.

XR w automatyce i robotyce

- Szkolenia i symulacje procedur.
- Instrukcje powiązane z fizycznym stanowiskiem.
- Wizualizacja stanu robota oraz danych czujników.
- Analiza scen i ocena ergonomii interakcji.

Dobór sprzętu rozpoczyna się od czynności operatora, nie katalogu urządzeń.

Rezultat: informacja przypisana do obiektu

Przedmiot fizyczny → jego pozycja → informacja cyfrowa → obraz użytkownika

Poprawna nakładka powinna wskazywać właściwy element, pozostawać czytelna i być zgodna z realizowaną czynnością.

Podsumowanie

- VR, AR i MR różnią się relacją obrazu cyfrowego do świata rzeczywistego.
- AR wymaga rzeczywistej rejestracji przestrzennej.
- Model, cień i bliźniak cyfrowy różnią się integracją danych.
- Ograniczenia percepcji i opóźnienie wpływają na komfort.
- Parametry i architektura urządzenia muszą odpowiadać zadaniu.

Przykład końcowy: stanowisko utrzymania ruchu

Zadanie: technik diagnozuje fizyczny zespół napędowy.

- **VR:** bezpieczne przećwiczenie procedury przed pracą przy maszynie.
- **AR:** instrukcja przypisana do elementu urządzenia po sprawdzeniu rejestracji.
- **Model, cień, bliźniak:** odróżnij statyczną reprezentację od danych aktualizowanych i dwukierunkowej synchronizacji.

Wybór technologii uzasadniamy zadaniem i ograniczeniami, nie obecnością gogli.

Bibliografia

- LaValle, *Virtual Reality*, podręcznik autora.
- Azuma (1997), *A Survey of Augmented Reality*, publikacja autora.
- Milgram i Kishino (1994), *A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays*, IEICE E77-D, 1321–1329.
- Kritzinger i in. (2018), *Digital Twin in manufacturing*, doi:10.1016/j.ifacol.2018.08.474.