

Een vergelijking van objecttrackingmethodes in een dynamische projectionmapping context

Pex Jan-Mathijs

master IW Informatica

Introductie

Projector-camera (ProCam)-systemen vormen een essentiële technologie in de moderne interactieve omgevingen en worden breed ingezet in toepassingen zoals **dynamische projectionmapping**, **augmented reality**, interactieve installaties en geavanceerde mens-computerinteractie [1]. Deze systemen combineren de projectiecapaciteiten van een projector met de waarnemingsmogelijkheden van een camera om responsieve, context-bewuste visuele ervaringen te creëren. Figuur 1 toont een projection mapping systeem.

Voor deze toepassingen is **nauwkeurige en robuuste objecttracking** een cruciale component om **real-time aanpassing** aan beweging, gebruikersinteractie of veranderende omgevingen mogelijk te maken. De uitdaging ligt in het behouden van precisie onder variërende omstandigheden zoals **wisselende belichting**, **occlusie** en **snelle bewegingen**. Bestaande trackingmethoden bieden elk specifieke voor- en nadelen.

Deze masterproef onderzoekt en vergelijkt **drie trackingmethoden** voor real-time ProCam-opstellingen met als doel het identificeren van de **meest geschikte benadering** voor specifieke scenario's. Het resultaat van dit onderzoek biedt een **praktisch overzicht** dat helpt bij het selecteren van de juiste trackingmethode voor een specifieke toepassing.



Figuur 1. Een voorbeeld van een projectionmapping systeem.

Resultaten

Het volledige **ProCam-systeem** werd getrackt door een Qualisys-systeem de drie trackingmethodes te evalueren op basis van een *deze ground truth data*. Er werd gemeten op drie dimensies:

- Positiefout** (in mm): de euclidische afstand tussen het gemeten punt van de Qualisys en de trackingmethode zelf.
- Frames per second** het aantal poses dat de tracking per seconden kan berekenen.
- Latency** (in ms): gemiddelde verwerkingstijd.

Een vergelijking van de trackingmethodes is te vinden in Tabel 1. **Markergebaseerde tracking** levert de **beste resultaten** op alle vlakken. **SLAM-tracking** scoort **minder goed** op vlak van **frames per second** en **latency** ten opzichte van markergebaseerde tracking. De **positiefout** is **vergelijkbaar**.

Tabel 1. Meetresultaten per trackingmethode

Methode	Positiefout (mm)	Frames per second	Latency (ms)
ArUco-markers zonder projectie	30,13	28,53	33,90
ArUco-markers met projectie	18,79	29,07	33,56
SLAM zonder projectie	36,51	16,85	56,44
SLAM met projectie	26,48	18,24	52,13

Conclusie

Op basis van de uitgevoerde metingen kan worden geconcludeerd dat **Aruco-markertracking** de beste prestaties levert binnen het geteste ProCam-systeem. Deze methode combineert een hoge nauwkeurigheid en robuustheid met een relatief lage latentie, en onderscheidt zich bovendien door een eenvoudige en snelle opzet. **SLAM-tracking** presteert iets minder op het vlak van nauwkeurigheid, maar blijft een degelijk alternatief met consistente resultaten. **Dieptegebaseerde-tracking** levert daarentegen geen bevredigende resultaten, voornamelijk vanwege de lage **accuraatheid** en **hoge latency**. De methode was niet onvoldoende robuust om te evalueren. Dit wijst op mogelijke tekortkomingen in het huidige ontwerp, en suggereert een waardevol aanknopingspunt voor toekomstig onderzoek naar de verbetering van dergelijke trackingbenaderingen.



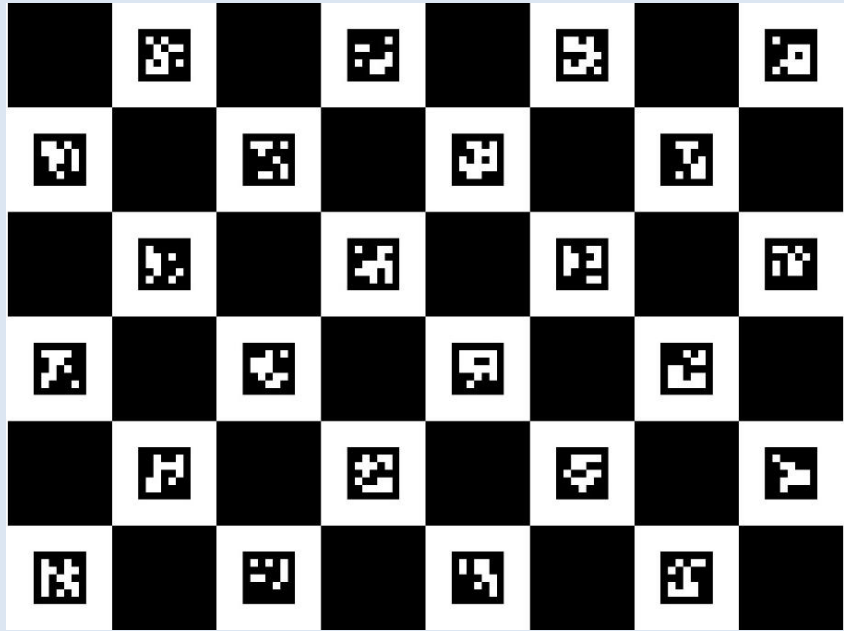
Figuur 5. Real-time projectionmapping op een maquette

Methodologie

Kalibratie

De kalibratie van de camera gebeurt op basis van de bekende methode van Zhang [2], waarbij een geprinte **checkerboard**, getoond in Figuur 2, in meerdere poses wordt waargenomen. De **interne camerakarakteristieken**—waaronder **brandpuntsafstand**, **optisch middelpunt** en **lensvervalsing**—worden met deze data geschat. Deze parameters zijn essentieel om **2D-beeldcoördinaten** correct te kunnen omzetten naar ruimtelijke **3D-informatie**.

De projector wordt gemodelleerd als een omgekeerde camera, een benadering die reeds eerder succesvol werd toegepast in literatuur [3], [4]. Door **gestructureerde patronen** te **projecteren** op een **kalibratiebord** (zie Figuur 3) en deze waar te nemen via de reeds gekalibreerde camera, kunnen **homografieën** worden afgeleid tussen het **projectievlak** en de **wereldcoördinaten**. Op basis hiervan wordt de **intrinsieke matrix van de projector** en zijn **positie** en **oriëntatie** ten opzichte van de camera, de **extrinsieke matrix**, bepaald.



Figuur 2. Voorbeeld van een ChArUco board-patroon.



Figuur 3. Een kalibratiebord gebruikt voor projector-camerakalibratie.

Trackingmethodes

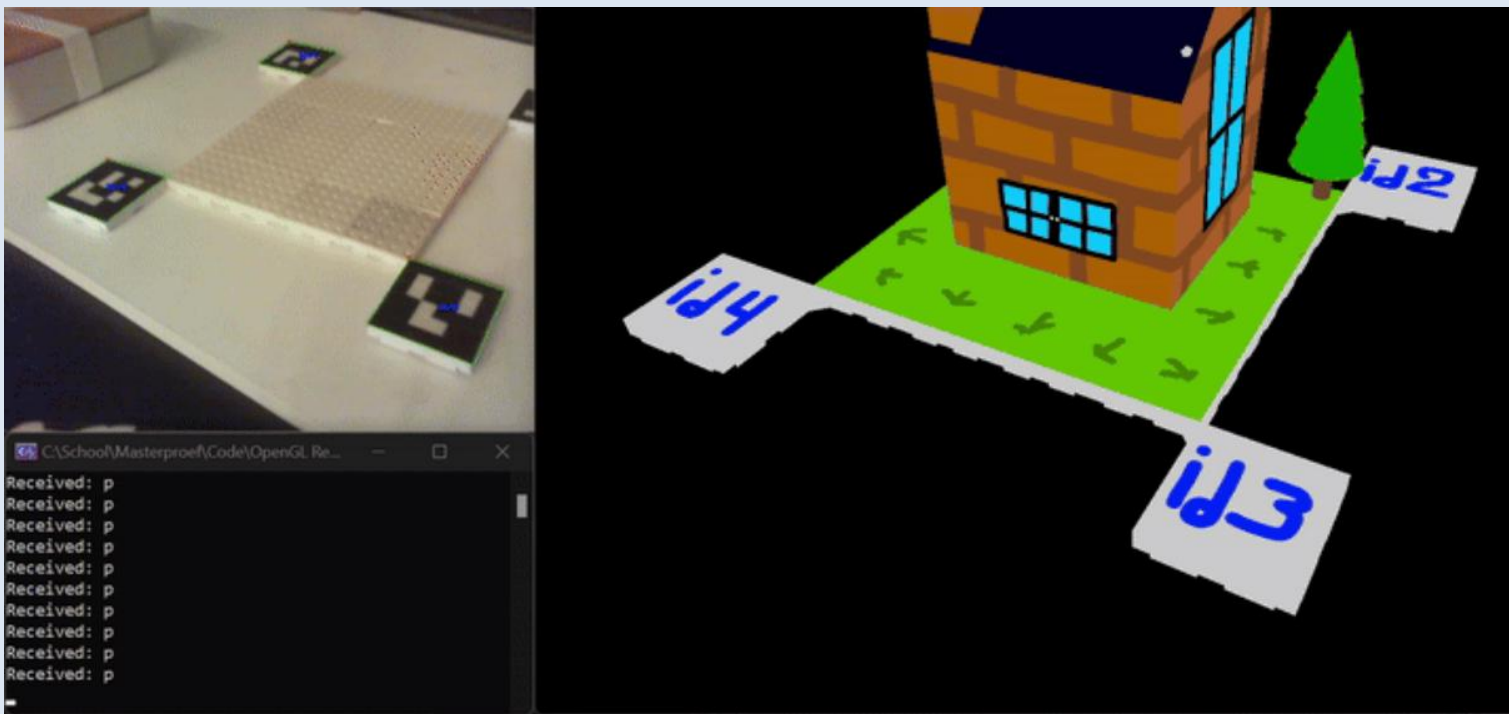
Om de relatieve beweging tussen het object en het ProCam-systeem in dynamische omgevingen te kunnen opvolgen, werden er drie verschillende **trackingbenaderingen** geïmplementeren.

Markergebaseerde tracking

Een eerste methode gebruikt **ArUco-markers** als visuele referentie. Deze markers worden in het gezichtsveld van de camera geplaatst en maken het mogelijk om de **pose** van het object snel en accuraat te bepalen. Dit wordt gebruikt als **basisvergelijking**. Figuur 4 toont **real-time tracking** van een object met ArUco-markers.

Dieptegebaseerde tracking

Een alternatieve aanpak gebruikt een **dieptesensor** voor het genereren van **dense 3D-kaarten**. Elke 3D-kaart wordt gematched met de **puntenwolk** van het object. Het resultaat van deze match is de **pose** van het object. Ook maakt **diepte-informatie absolute schaalbepaling** mogelijk, wat van belang is voor een correcte reconstructie.



Figuur 4. Tracking van object met ArUco-markers.

SLAM-gebaseerde tracking

Enkel het tracken van het ProCam-systeem zelf is ook mogelijk. Het ProCam-systeem zal zijn eigen pose in de omgeving bepalen waarbij het object onderdeel is van de omgeving. Hiervoor wordt **StellaVSLAM**, een **Visual SLAM-systeem** dat simultaan cameraposes en omgevingskaarten opbouwt, gebruikt.

Bij SLAM-technieken kan er zich een specifiek probleem voordoen. De projector en camera delen een gemeenschappelijk zicht op de omgeving. Hierdoor kunnen **trackingfeatures** die gebruikt worden door SLAM verstoord worden en kan de kwaliteit van de tracking verminderen [1].

Door klassieke **kalibratiemethoden** te combineren met robuuste **trackingtechnologieën**, biedt deze aanpak een **schaalbare** en **modulaire oplossing** voor dynamische ProCam-systemen.