

3D-reconstructies van plaats delict

*AI- ondersteunend robotsysteem voor onderzoek en
reconstructie van plaats delict*

Dimitar Rangelov, Sierd Waanders, Kars Waanders



Inhoud

1. Onderzoeksvragen.....	6
1.1. Welke belangrijke elementen en overwegingen zijn nodig voor een nauwkeurige 3D-reconstructie en hoe verschillen verschillende versies van Neural Radiance Fields (NeRF)-algoritmen in hun vermogen en efficiëntie om 3D-reconstructie van een plaats delict mogelijk te maken? 6	
1.2. Wat zijn de essentiële factoren waarmee rekening moet worden gehouden bij het kiezen van een camera voor de 3D-reconstructie van een plaats delict?.....	6
1.3. Welke specifieke bewegingen zijn nodig voor een gedetailleerde 3D-reconstructie van een plaats delict?.....	7
1.4. Welk NeRF-algoritme (Neural Radiance Fields) levert de meest nauwkeurige 3D-reconstructieresultaten?	8
1.5. Met welke beperkingen wordt NeRF (Neural Radiance Fields) geconfronteerd wanneer het wordt toegepast op de reconstructie van plaatsen delict?	9
2. Wat zijn de essentiële factoren waarmee rekening moet worden gehouden bij het kiezen van een camera voor de 3D-reconstructie van een plaats delict?	10
2.1. Type sensor	10
2.1.1. Voordelen van Full-Frame sensoren	11
2.1.2. Voordelen van cropped (APS-C) sensoren	11
2.2. Cameratypes	12
2.2.1. Actiecamera's (GoPro HERO, Insta360 X3)	12
2.2.2. Spiegellose camera's (Sony A7-serie).....	12
2.2.3. Compacte vlogcamera's (Sony ZV-1F).....	13
2.2.4. Andere digitale camera's	13
2.2.5. Smartphones.....	13
2.3. Instellingen om af te stemmen op een camera.....	13
2.4. Samenvatting camera	14
2.4.1. Camerasensor	14
2.4.2. Cameratypes	15
2.4.3. Camera-instellingen.....	15
2.5. Conclusie	15
3. Welke specifieke bewegingen zijn nodig voor een uitgebreide 3D-reconstructie van een plaats delict?	17
4. Welk NeRF-algoritme (Neural Radiance Fields) levert de meest nauwkeurige 3D-reconstructieresultaten?	20

5.	Met welke beperkingen wordt NeRF (Neural Radiance Fields) geconfronteerd wanneer het wordt toegepast op de reconstructie van plaatsen delict?.....	24
5.1.	Gevoeligheid voor lichtomstandigheden	24
5.2.	Behandeling van transparante en reflecterende oppervlakken.....	24
5.3.	Complexiteit en oclusies.....	25
5.4.	Computationele vereisten en tijdsbeperkingen.....	25
5.5.	Afhankelijkheid van hoogwaardige gegevensverzameling.....	26
5.6.	Dynamische scènes en beweging.....	26
6.	Discussie	26
6.1.	Integratie van NeRF in forensische onderzoek.....	27
6.2.	Balans tussen detail en efficiëntie.....	27
6.3.	Toekomst van scènereconstructie.....	27
6.4.	Ethische en juridische overwegingen.....	27
7.	Conclusie	28
8.	Aanbevelingen	29
	Bibliography.....	30

Lijst met figuren

Figuur 1: Vergelijking van full frame vs. Cropped sensoren.....	10
Figuur 2: Bewolkte 3D reconstructie	17
Figuur 3: Overlappende afbeeldingen	17
Figuur 4: Pannen en kantelen	18
Figuur 5: Moties voor het vastleggen van de plaats delict	19
Figuur 6: Transitinale bewegingen.....	19
Figuur 7: Een loop closure	20
Figuur 8: Vastleggen pad vergaderzaal	20
Figuur 9: Vergelijkingshoek.....	21
Figuur 10: Kwalitatieve vergelijking van 3D-reconstructie algoritmes.....	22

Lijst van tabellen

Tabel 1: Criteria voor de vergelijking van NeRF-algoritmen.....	21
Tabel 2: Kwalitatieve vergelijking van 3D-reconstructie algoritmen.....	23

1. Onderzoeksvragen

- 1.1. Welke belangrijke elementen en overwegingen zijn nodig voor een nauwkeurige 3D-reconstructie en hoe verschillen verschillende versies van Neural Radiance Fields (NeRF)-algoritmen in hun vermogen en efficiëntie om 3D-reconstructie van een plaats delict mogelijk te maken?

De hoofdonderzoeksvraag is onderverdeeld in vier deelvragen. Elke vraag beschrijft een stap in het proces van het maken van een 3D-reconstructie van een plaats delict. Het beantwoorden van elke vraag is essentieel voor het genereren van een gedetailleerde 3D-reconstructie van een plaats delict.

- 1.2. Wat zijn de essentiële factoren waarmee rekening moet worden gehouden bij het kiezen van een camera voor de 3D-reconstructie van een plaats delict?

Het proces van het maken van een 3D-reconstructie van een plaats delict is ingewikkeld en begint met de zorgvuldige selectie van een geschikte camera die is afgestemd op de specifieke behoeften van de omgeving en de doelstellingen. De keuze van de camera is cruciaal omdat verschillende soorten camera's, zoals 360-graden camera's, camera's met een cropped sensor en camera's met een full frame sensor, verschillende mogelijkheden en beperkingen bieden.

Elk type camera is uitgerust met verschillende lensopties die verschillende hoeken en perspectieven bieden, die cruciaal zijn voor het vastleggen van de uitgebreide ruimtelijke details die nodig zijn voor nauwkeurige 3D-modellering. Zo worden full-frame camera's geprefereerd vanwege hun superieure prestaties bij weinig licht en een groter dynamisch bereik, waarmee zelfs in moeilijke lichtomstandigheden gedetailleerde beelden kunnen worden vastgelegd. Cropped sensor camera's zijn daarentegen compacter en kosten effectiever, waardoor ze geschikt zijn voor situaties waarin mobiliteit en budget beperkingen zijn.

Bovendien is de keuze van de juiste lens net zo belangrijk. Lenzen met verschillende focal lenght en diafragma's kunnen de scherptediepte en de hoeveelheid licht die de camera binnenkomt beïnvloeden, wat de helderheid en details van de vastgelegde beelden beïnvloedt. Groothoeklenzen worden meestal gebruikt om uitgestrekte scènes met meer context vast te leggen, terwijl telelenzen beter geschikt zijn om te focussen op specifieke details of objecten in de verte op de plaats delict.

Camera-instellingen spelen ook een cruciale rol in de kwaliteit van de beelden die worden vastgelegd voor 3D-reconstructies. Belangrijke instellingen zijn onder andere de belichting, waarbij de ISO, sluitertijd en diafragma moeten worden aangepast om de lichtopname en de scherpte van de afbeelding in balans te brengen zonder ruis te introduceren. Daarnaast bepaalt de resolutie-instelling het detailniveau van de afbeelding, essentieel voor het vastleggen van minuscule details die cruciaal zijn voor forensische analyse.

De keuze van de camera en de configuratie ervan moet worden afgestemd op de specifieke vereisten van de plaats delict en het gewenste resultaat van de reconstructie. Dit zorgvuldige selectieproces zorgt ervoor dat de cameraopstelling de nuances van de plaats delict optimaal vastlegt, waardoor een nauwkeurigere en meer gedetailleerde 3D-reconstructie mogelijk wordt. Er kan geëxperimenteerd worden met verschillende combinaties van cameratypes, lenzen en instellingen om de meest geschikte opstelling te vinden voor het gegeven scenario, wat uiteindelijk leidt tot een succesvolle digitale representatie van de fysieke ruimte.

Deze uitgebreide aanpak verbetert niet alleen de nauwkeurigheid van het 3D-model, maar zorgt er ook voor dat al het relevante fysieke bewijs wordt gedocumenteerd op een manier die bruikbaar is voor forensische analyse en presentaties in de rechtszaal.

1.3. Welke specifieke bewegingen zijn nodig voor een gedetailleerde 3D-reconstructie van een plaats delict?

Voor een gedetailleerde 3D-reconstructie van een plaats delict is het van het grootste belang dat specifieke bewegingen en paden door de plaats delict zorgvuldig worden gepland. Het primaire doel is om de omgeving nauwkeurig en gedetailleerd vast te leggen zonder vervormingen of "wolken" te introduceren die vitaal bewijs zouden kunnen verbergen. Het proces begint met het uitstippelen van een efficiënte route die ervoor zorgt dat elk deel van de scène voldoende wordt bestreken. De volgende bewegingen worden doorgaans aanbevolen:

1. **Lineaire paden (Trucking):** De camera in rechte lijnen parallel aan de scène bewegen. Dit is cruciaal om een constante afstand te bewaren tot de voorwerpen die worden vastgelegd, wat helpt bij een consistente scherpstelling en het minimaliseren van perspectivische vervorming.
2. **Verticale beweging (Pedestaling):** De hoogte van de camera aanpassen terwijl deze waterpas blijft. Dit helpt bij het vastleggen van verschillende verticale lagen van de scène, wat vooral handig is in rommelige gebieden of omgevingen met meerdere verdiepingen.
3. **Cirkelvormige paden (bogen):** In een gebogen pad rond objecten of bewijsmateriaal lopen om ze vanuit meerdere hoeken vast te leggen. Dit is essentieel voor objecten die centraal gelegen zijn of die veel details rondom hebben.
4. **Hoogteveranderingen (Booming):** Omhoog en omlaag bewegen, handmatig of met apparatuur zoals een jib of drone. Hierdoor kunnen bovenaanzichten worden vastgelegd of kan van onderaf omhoog worden gekeken, wat een uitgebreider perspectief biedt van verticale structuren of hoge objecten.

Elk van deze bewegingen moet vloeiend en consistent worden uitgevoerd, waarbij abrupte of schokkerige bewegingen die de continuïteit van de gegevens kunnen verstoren, moeten worden vermeden. Daarnaast is het van vitaal belang om overmatig pannen of kantelen te vermijden, omdat dit kan leiden tot een ont koppeling tussen opeenvolgende frames, waardoor de kwaliteit van de mesh in het uiteindelijke model afneemt.

Voor nauwkeurige 3D mapping is het ook essentieel om ervoor te zorgen dat elk deel van de scène overlapt met eerder opgenomen delen. Dankzij deze overlapping kan de 3D-reconstructiesoftware de scène nauwkeurig samenvoegen uit meerdere afbeeldingen of videoframes, waardoor de details worden verbeterd en fouten in het model worden verminderd. Het opnemen van bekende referentiepunten of markeringen in de scène kan verder helpen bij het uitlijnen en kalibreren van de beelden tijdens de verwerking.

Tot slot, het integreren van loop closures (lus beëindigingen)—het voltooiën van een volledige 360-graden rondgang om de scène of terugkeren naar het beginpunt— ervoor dat alle gegevens correct worden uitgelijnd en minimaliseert positionele fouten die zich kunnen ophopen tijdens het vastleggingsproces. Deze techniek is cruciaal voor het behoud van de integriteit van de ruimtelijke relaties binnen de gegevensset, wat leidt tot een nauwkeurigere en meer gedetailleerde reconstructie.

1.4. Welk NeRF-algoritme (Neural Radiance Fields) levert de meest nauwkeurige 3D-reconstructieresultaten?

Zodra de plaats delict nauwkeurig is gedocumenteerd met de juiste fotografische technieken, verschuift de aandacht naar het bepalen van het meest effectieve algoritme voor het construeren van een nauwkeurig 3D-model van deze beelden. Onder de beschikbare opties zijn Neural Radiance Fields (NeRF) algoritmen vooral opmerkelijk vanwege hun vermogen om 3D reconstructies van hoge kwaliteit te produceren.

Het selectieproces voor het optimale NeRF-algoritme omvat een uitgebreide evaluatie waarbij verschillende kandidaten worden vergeleken op verschillende kritieke criteria. De belangrijkste zijn de nauwkeurigheid van het algoritme bij het weergeven van 3D-details, de efficiëntie bij het verwerken van gegevens en het vermogen om complexe scènes natuurgetrouw te reconstrueren.

Elk kandidaat-algoritme wordt onderworpen aan strenge tests onder gecontroleerde omstandigheden om de prestaties te beoordelen. Deze tests omvatten gedetailleerde simulaties om te meten hoe goed elk algoritme de nuances van de plaats delict kan reproduceren op basis van de vastgelegde beelden. Factoren zoals de scherpste van gereconstrueerde randen, de nauwkeurigheid van kleurreproductie en de helderheid van textuurdetails worden nauwkeurig geanalyseerd.

Verder worden de algoritmen geëvalueerd op hun rekenefficiëntie - belangrijk voor praktische toepassingen waar verwerkingssnelheid cruciaal is. Het vermogen om om te gaan met wisselende lichtomstandigheden en om transparante of reflecterende oppervlakken te reconstrueren wordt ook getest, aangezien dit veelvoorkomende uitdagingen zijn bij de analyse van plaats delicten.

Uiteindelijk wordt het algoritme gekozen dat consistent de meest nauwkeurige en gedetailleerde reconstructies levert met acceptabele verwerkingstijden. Deze keuze is van vitaal belang om ervoor te zorgen dat het geproduceerde 3D model kan dienen als een betrouwbare basis voor forensische analyse en presentaties in de rechtszaal, waardoor het helpt bij de nauwkeurige interpretatie van plaats delicten.

1.5. Met welke beperkingen wordt NeRF (Neural Radiance Fields) geconfronteerd wanneer het wordt toegepast op de reconstructie van plaatsen delict?

Bij het gebruik van NeRF voor de analyse van de plaats delict zijn er verschillende inherente beperkingen die de nauwkeurigheid en effectiviteit van 3D-reconstructies op de proef stellen. Ten eerste zijn de prestaties van NeRF sterk afhankelijk van de lichtomstandigheden tijdens het vastleggen van de gegevens. Inconsistente of slechte verlichting kan het vermogen van het algoritme om scènes nauwkeurig te reconstrueren ernstig beïnvloeden, wat leidt tot vervormingen of onvolledige modellen. Dit is vooral problematisch op plaatsen delict die alleen 's nachts toegankelijk zijn of in slecht verlichte binnenomgevingen.

Daarnaast vormen de transparantie en reflectiviteit van objecten aanzienlijke uitdagingen. NeRF heeft moeite met materialen zoals glas of glanzende oppervlakken die complexe lichtinteracties vertonen zoals breking of reflectie, wat vaak resulteert in artefacten of ghosting-effecten in de uiteindelijke reconstructie. Deze beperking is cruciaal op plaatsen delict waar transparant of reflecterend bewijs, zoals glasscherven of metalen voorwerpen, nauwkeurig moet worden gedocumenteerd.

De complexiteit van scènes maakt de NeRF-toepassing nog ingewikkelder. Zeer onoverzichtelijke of ingewikkelde scènes kunnen het algoritme overweldigen, waardoor het niet alle geometrische details en textuurnuances van de omgeving kan vastleggen. Dit is met name het geval in dichtbevolkte stedelijke misdaadscènes of locaties met veel overlappende objecten en oppervlakken, waar de diepte en schaal van details enorm zijn.

Ondanks deze uitdagingen is NeRF veelbelovend gebleken in het reconstrueren van goed verlichte, minder complexe scènes met niet-reflecterende materialen. In de toekomst zijn verbeteringen in de algoritmische verwerking van variabele lichtomstandigheden, transparante materialen en complexe omgevingen nodig om de bruikbaarheid van NeRF in de forensische wetenschap en het onderzoek van de plaats delict te vergroten. Dit omvat de ontwikkeling van robuustere technieken voor de voorbewerking van gegevens, geavanceerde modellering van licht-materiaal interacties en de integratie van AI-gestuurde aanpassingen om beter om te gaan met de uiteenlopende omstandigheden op plaatsen delict.

2. Wat zijn de essentiële factoren waarmee rekening moet worden gehouden bij het kiezen van een camera voor de 3D-reconstructie van een plaats delict?

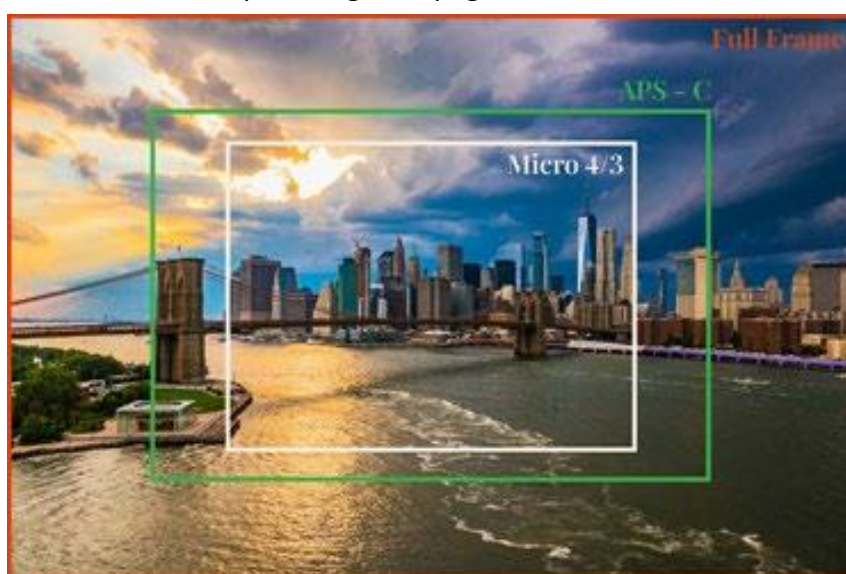
Een camera heeft veel verschillende instellingen en parameters die kunnen worden aangepast om verschillende kwaliteit video's te krijgen. De belangrijkste instellingen en functies van de camera's vind je hieronder. Voordat de verschillende instellingen van de camera's worden genoemd: wat voor soort camera's en sensoren zijn er om een plaats delict vast te leggen? Wat geeft het beste resultaat?

2.1. Type sensor

Een van de belangrijkste eigenschappen van een camera is het sensortype. Camerasensoren kunnen worden onderverdeeld in twee hoofdgroepen: cropped en Full Frame Sensor. Het belangrijkste verschil tussen deze twee ligt in hun formaat, waarbij full-frame sensoren een groter oppervlak hebben dan cropped (APS-C) sensoren. Een full-frame sensor wordt zo genoemd omdat hij dezelfde afmetingen heeft als een 35mm filmframe.

Cropped of APS-C sensoren zijn daarentegen kleiner en ongeveer 1,6x kleiner dan full-frame sensoren, dit komt vooral voor in Canon camera's. Een ander mogelijk sensortype is Micro4/3, dat nog kleiner is en een cropfactor van 2x heeft in vergelijking met de 1,6x cropfactor van APS-C sensoren.

Door het verschil in grootte zullen lenzen met dezelfde focal lenght een kleiner beeldveld vastleggen op een APS-C camera dan op een full-frame camera. Dit fenomeen wordt vaak "cropfactor" of " focal length multiplier" genoemd. Als je bijvoorbeeld een 50mm lens hebt bevestigd op een camera met een cropped sensor, zal de effectieve focal lenght ongeveer 80mm zijn (1,6x cropfactor). Figuur 1 illustreert dit verschil in beeldhoek, waarbij full-frame sensoren aanzienlijk meer informatie vastleggen dan hun cropped tegenhangers. De beeldhoek is niet het enige verschil tussen een cropped en een full frame sensor. De voor- en nadelen van elke sensor staan op de volgende pagina.



Figuur 1: Vergelijking van full frame vs. Cropped sensoren

2.1.1. Voordelen van Full-Frame sensoren:

Betere prestaties bij weinig licht: Grotere sensoren presteren doorgaans beter bij weinig licht omdat ze grotere pixels hebben die meer licht kunnen opvangen. Dit resulteert in minder ruis en een betere beeldkwaliteit.

Ondiepe scherptediepte: De grotere sensor maakt een kleinere scherptediepte mogelijk, wat handig kan zijn bij het creëren van een wazig achtergrondeffect of het isoleren van het onderwerp van de omgeving.

Beter dynamisch bereik: Full-frame sensoren hebben meestal een groter dynamisch bereik dan bijgesneden sensoren. Dit betekent dat ze meer details kunnen vastleggen in zowel heldere als donkere delen van een beeld.

Nadelen van Full-Frame sensoren:

Kosten: Full-frame camera's zijn over het algemeen duurder dan hun cropped tegenhangers. De kosten van de camerabehuizing zelf kunnen hoger zijn en full-frame lenzen zijn vaak ook duurder.

Groter en zwaarder: Door de grotere sensor zijn full-frame camera's over het algemeen omvangrijker en zwaarder in vergelijking met kleinere sensors. Dit kan ze minder handig maken voor op reis of dagelijks gebruik.

2.1.2. Voordelen van cropped (APS-C) sensoren:

Kosten: Zoals eerder vermeld zijn cropped sensorcamera's meestal betaalbaarder dan hun full frame tegenhangers. De kosten van de camera zelf zijn meestal lager en cropped sensor lenzen zijn over het algemeen ook goedkoper.

Afmetingen en gewicht: Cropped sensoren zijn kleiner dan full-frame sensoren, waardoor het camerasysteem (body + lens) compacter en lichter is. Dit kan een belangrijk voordeel zijn voor op reis of dagelijks gebruik.

Lens opties: Er is vaak een breder scala aan lenzen beschikbaar voor camera's met een cropped sensor, omdat fabrikanten vaak cropped sensoren produceren die kleiner, lichter en goedkoper zijn dan hun tegenhangers van full frame.

Veelzijdigheid: De kleinere beeldhoek (FOV) op bijgesneden sensoren maakt een iets langere effectieve focal lenght mogelijk met dezelfde lens, wat handig kan zijn in bepaalde situaties zoals natuurfotografie of sportfotografie waarbij je onderwerpen op grote afstand moet vastleggen.

Nadelen van cropped (APS-C) sensoren:

Lagere prestaties bij weinig licht: Door hun kleinere formaat hebben cropped sensoren kleinere pixels die minder efficiënt zijn in het vastleggen van licht bij weinig licht in vergelijking met full-frame sensoren. Dit kan resulteren in ruisigere beelden bij opnamen bij weinig licht.

Een kleinere scherptediepte vereist nauwkeuriger scherpstellen: De grotere sensor op full-frame camera's zorgt voor een kleinere scherptediepte, wat een voordeel kan zijn maar ook een nauwkeurigere scherpstelling vereist. Op cropped sensoren is de scherptediepte meestal dieper, waardoor het gemakkelijker is om zowel de voorgrond als de achtergrond scherp te houden bij opnamen met een groot diafragma. [1]

2.2. Cameratypes

Op het gebied van 3D-reconstructie van de plaats delict kan de keuze van de camera een grote invloed hebben op de nauwkeurigheid, het detail en de algehele kwaliteit van het uiteindelijke model. Deze vergelijking onderzoekt de verschillen tussen verschillende soorten camera's, waaronder actiecamera's zoals de GoPro HERO en Insta360 X3, spiegellose camera's zoals de Sony A7, compacte vlogging camera's zoals de Sony ZV-1F, andere digitale camera's en smartphones. Elk cameratype biedt unieke voordelen en beperkingen op basis van hun constructie, sensorformaat, lenskwaliteit en functiesets.

2.2.1. Actiecamera's (GoPro HERO, Insta360 X3)

Action camera's zijn gemaakt voor duurzaamheid en draagbaarheid, vaak met robuuste ontwerpen die waterdicht, stofdicht en schokbestendig zijn. De GoPro HERO-serie en de Insta360 X3 zijn hier goede voorbeelden van, met groothoeklenzen en compacte formaten die ideaal zijn voor het vastleggen van grote scènes in beweging. Hun kleine sensor kan echter de beeldkwaliteit bij weinig licht beperken. Voor 3D-reconstructie van plaatsen delict zijn deze camera's het meest geschikt voor het vastleggen van uitgebreide overzichten van buitenscènes of in omgevingen waar traditionele camera's niet gemakkelijk kunnen komen.

2.2.2. Spiegellose camera's (Sony A7-serie)

Spiegellose camera's, zoals de Sony A7-serie, beschikken over grote sensoren en verwisselbare lenzen en bieden een superieure beeldkwaliteit en veelzijdigheid. De grotere sensor verbetert de prestaties bij weinig licht aanzienlijk en legt fijnere details vast met minder ruis. Hierdoor zijn spiegellose camera's uitstekend geschikt voor 3D-reconstructie, waarbij detail en kleurnauwkeurigheid van het grootste belang zijn. De mogelijkheid om lenzen te verwisselen zorgt ook voor flexibiliteit in kadrering en controle over de scherptediepte, wat cruciaal is voor het documenteren van ingewikkelde details van een plaats delict.

2.2.3. Compacte vlogcamera's (Sony ZV-1F)

Compacte vlogcamera's, zoals de Sony ZV-1F, zijn ontworpen voor draagbaarheid en gebruiksgemak, met vaste lenzen en kleinere sensoren dan spiegellose camera's. Hoewel ze een goede video- en beeldkwaliteit bieden voor hun formaat, beperken de vaste lens en kleinere sensor hun veelzijdigheid en prestaties bij weinig licht in vergelijking met spiegellose en DSLR-camera's. In de context van 3D-reconstructie kunnen ze worden gebruikt voor snelle documentatie of in situaties waarin het onpraktisch is om grotere apparatuur mee te nemen.

2.2.4. Andere digitale camera's

Deze categorie omvat een breed scala aan camera's, waaronder DSLR's, bridgecamera's en geavanceerde compactcamera's. DSLR's, met hun grote sensoren en verwisselbare lenzen, bieden een hoge beeldkwaliteit en veelzijdigheid, vergelijkbaar met spiegellose camera's maar met een optische zoeker. Bridge en geavanceerde compactcamera's bieden een middenweg met vaste lenzen maar uitgebreidere zoommogelijkheden en handmatige bediening dan standaard compactcamera's. De keuze tussen deze hangt af van de specifieke behoeften van de reconstructie, waarbij een balans moet worden gevonden tussen beeldkwaliteit, veelzijdigheid en draagbaarheid.

2.2.5. Smartphones

Moderne smartphones zijn steeds beter in staat om afbeeldingen van hoge kwaliteit te produceren, dankzij de vooruitgang in sensortechnologie en computationele fotografie. Hoewel hun kleine sensoren en vaste lenzen over het algemeen niet kunnen tippen aan de kwaliteit van speciale camera's, kunnen smartphones verrassend effectief zijn voor 3D modellering in goed verlichte omstandigheden. Door hun alomtegenwoordigheid en het gemak om altijd een camera bij de hand te hebben, zijn smartphones een waardevol hulpmiddel voor voorbereidende documentatie of voor het snel vastleggen van details.

2.3. Instellingen om af te stemmen op een camera.

Welk type camera je moet nemen is nu duidelijk. Camera's hebben meerdere instellingen die kunnen worden aangepast om de kwaliteit van de beelden beter en scherper te maken. Hoe de instellingen moeten worden aangepast, hangt af van de omgeving. Welke eigenschappen van het beeld de verschillende instellingen veranderen, wordt hieronder uitgelegd.

- **ISO:** ISO geeft aan hoe gevoelig de sensor van je camera is voor licht. Hogere ISO-instellingen (bijv. ISO 800, ISO 1600) maken je sensor gevoeliger voor licht en stellen je in staat om opnamen te maken in situaties met weinig licht of met kortere sluitertijden. Een hogere ISO kan echter ook zorgen voor meer ruis of korreligheid in je video.
- **Resolutie:** Resolutie verwijst naar het aantal pixels in een bepaalde ruimte (meestal uitgedrukt als breedte x hoogte). Hogere resoluties, zoals 4K of 8K, resulteren in gedetailleerdere beelden, maar vereisen meer opslag- en verwerkingskracht. Lagere resoluties zoals SD of HD leveren minder details maar vereisen minder opslagruimte.

- **FPS:** Frames per seconde (FPS) is het aantal frames dat je camera vastlegt binnen één seconde. Een hogere FPS kan beweging vloeiender laten lijken, terwijl een lagere FPS kan resulteren in een hortende beweging. 60 FPS wordt over het algemeen beschouwd als een standaard voor goede videokwaliteit, maar professionele filmmakers maken vaak opnamen met een hogere FPS om slowmotion-effecten te bereiken.
- **Focal lenght:** De focal lenght beïnvloedt het gezichtsveld en de scherptediepte. Een groothoekobjectief (bijv. 14 mm of 24 mm) legt meer van de scène vast, terwijl een telelens (bijv. 200 mm) de afstand comprimeert en een kleinere scherptediepte creëert. De focal lenght heeft ook invloed op de verhouding tussen je onderwerp en de achtergrond, waarbij langere focal lenght de achtergrond meer vervagen en kortere focal lenght de achtergrond scherp houden.
- **Sluitertijd:** De sluitertijd geeft aan hoe lang de sluiters van je camera open is, zodat er licht op de sensor valt. Een snellere sluitertijd (zoals 1/200 of 1/500) kan beweging bevriezen, maar kan resulteren in een donkerder beeld, vooral bij opnamen met een lagere ISO. Langzamere sluitertijden (zoals 1/30 of 1/60) laten meer licht door in de camera, wat resulteert in helderdere beelden met bewegingsonscherpte.

2.4. Samenvatting camera

Het selecteren van de juiste camera voor 3D-reconstructie van een plaats delict vereist een goed begrip van de verschillende factoren die van invloed zijn op de beeldkwaliteit en de nauwkeurigheid van het gereconstrueerde model. De keuze van de camerasensor, het cameratype en de instellingen zijn cruciaal in deze context en dragen elk op unieke wijze bij aan het eindresultaat.

2.4.1. Camerasensor

Het onderscheid tussen full-frame en cropped (APS-C) sensoren is aanzienlijk, met elk hun eigen voor- en nadelen. Full-frame sensoren blinken uit in omstandigheden met weinig licht, bieden een kleinere scherptediepte voor meer uitgesproken onderwerpisolatie en bieden over het algemeen een groter dynamisch bereik, waardoor meer details worden vastgelegd in zowel schaduw- als lichte gebieden. Deze eigenschappen maken full-frame camera's bijzonder geschikt voor het reconstrueren van plaatsen delict waar details, helderheid en lichtgevoeligheid van cruciaal belang zijn. De hogere kosten, de omvang en het gewicht kunnen echter beperkende factoren zijn.

Cropped sensoren bieden lagere prestaties bij weinig licht en een grotere scherptediepte, maar bieden ook voordelen op het gebied van kosteneffectiviteit, compactheid en een reeks lensopties die voldoen aan verschillende opnamevereisten. De cropfactor kan ook voordelig zijn bij het vergroten van het effectieve bereik van objectieven, wat handig is bij bepaalde reconstructiescenario's waarbij opnamen op afstand nodig kunnen zijn.

2.4.2. Cameratypes

Actiecamera's: Ideaal voor het vastleggen van brede beelden van scènes buitenshuis of in veeleisende omgevingen. Door hun draagbaarheid en duurzaamheid zijn ze handig voor uitgebreide scènedocumentatie, hoewel ze mogelijk tekortschieten bij weinig licht.

Spiegellose camera's: Bieden de beste combinatie van beeldkwaliteit, veelzijdigheid en prestaties bij weinig licht, dankzij hun grote sensoren en verwisselbare lenzen. Hierdoor zijn ze uitstekend geschikt voor gedetailleerde 3D-reconstructies waarbij precisie en flexibiliteit van het grootste belang zijn.

Compacte vlogcamera's: Geschikt voor snelle documentatie of situaties die veel draagbaarheid vereisen. Hoewel ze een goede beeldkwaliteit bieden, beperken hun vaste lenzen en kleinere sensoren hun veelzijdigheid en prestaties bij weinig licht.

Andere digitale camera's: Waaronder DSLR's, bridgecamera's en geavanceerde compactcamera's, bieden een reeks opties die een evenwicht vinden tussen beeldkwaliteit, veelzijdigheid en draagbaarheid. De keuze hier hangt af van de specifieke eisen van de reconstructietaak.

Smartphones: Kunnen effectief zijn voor voorlopige documentatie of het snel vastleggen van details, vooral in goed verlichte omstandigheden. Door hun gebruiksgemak en verbeterende cameratechnologie zijn ze een waardevol aanvullend hulpmiddel.

2.4.3. Camera-instellingen

Het begrijpen en aanpassen van camera-instellingen zoals ISO, resolutie, FPS, brandpuntsafstand en sluitertijd is cruciaal voor het optimaliseren van de beeldkwaliteit voor 3D-reconstructie. Een hoge resolutie en de juiste FPS zijn essentieel voor het vastleggen van gedetailleerde en vloeiende beelden, terwijl de instellingen voor ISO, focal length en sluitertijd afhangen van de omgevingsomstandigheden en de specifieke aspecten van de scène die wordt gedocumenteerd.

2.5. Conclusie

Om aan de veelzijdige eisen voor 3D-reconstructie van de plaats delict te kunnen voldoen, is de keuze van de juiste camera afhankelijk van een uitgebreide evaluatie van de sensorgrootte, het cameratype en de flexibiliteit van de camera-instellingen. Onder de uitgelichte opties onderscheiden full-frame spiegellose camera's, zoals die in de Sony A7 serie, zich door hun grote sensorformaat. Hierdoor kan een grote hoeveelheid informatie worden vastgelegd, wat zorgt voor een breder gezichtsveld en een groter dynamisch bereik, wat cruciaal is voor het uitgebreid vastleggen van grote scènes. Deze camera's worden daarom sterk aanbevolen voor het vastleggen van ingewikkelde details van misdaadscènes, gezien hun superieure beeldkwaliteit en veelzijdigheid in verschillende lichtomstandigheden.

De specifieke eisen van de reconstructie van plaatsen delict - variërend van de noodzaak van draagbaarheid en duurzaamheid tot kostenoverwegingen - kunnen echter het gebruik van andere soorten camera's rechtvaardigen, waaronder actiecamera's.

Actiecamera's worden vooral gewaardeerd om hun compacte formaat, robuuste ontwerp en gebruiksgemak in moeilijke omgevingen, waardoor ze onmisbaar zijn voor het vastleggen van beelden van hoge kwaliteit in situaties waar traditionele camerasystemen onpraktisch of omslachtig zijn. Dit aanpassingsvermogen is essentieel voor forensische professionals die zich tijdens onderzoeken door verschillende en mogelijk moeilijke omstandigheden moeten bewegen.

Bijgesneden camera's of camera's met APS-C-sensoren bieden ook een haalbaar alternatief voor full-frame sensoren, vooral als het budget of de fysieke afmetingen een probleem vormen. Ondanks hun kleinere sensorformaat kunnen deze camera's de informatie-opnamecapaciteiten van hun full-frame tegenhangers bijna evenaren, vooral wanneer ze zijn uitgerust met de juiste lenzen, zoals groothoek- of fisheye-lenzen. Dit maakt ze een geschikte keuze voor scenario's waarbij de balans tussen kosten, formaat en beeldkwaliteit cruciaal is.

Bovendien kan het belang van het aanpassen van de camera-instellingen aan de omgevingsomstandigheden en de gewenste beeldresultaten niet genoeg benadrukt worden. Deze aanpassing is cruciaal voor het optimaliseren van de vastgelegde gegevens voor nauwkeurige en gedetailleerde 3D-modellering. Het selectieproces strekt zich ook uit tot compacte vloggingcamera's en smartphones, die extra gemak en mobiliteit bieden en waardevol zijn voor snelle documentatietaken of wanneer het dragen van grotere apparatuur niet haalbaar is.

Concluderend: hoewel full-frame spiegellose camera's vaak de voorkeur genieten vanwege hun ongeëvenaarde beeldkwaliteit en flexibiliteit, betekent de noodzaak om de gevarieerde en specifieke omstandigheden van onderzoeken op de plaats delict aan te pakken dat een breder scala aan cameratypen, waaronder actiecamera's, moet worden overwogen. De mogelijkheid om verschillende cameratypes te gebruiken, die elk unieke voordelen bieden van duurzaamheid en draagbaarheid tot kosteneffectiviteit, samen met het strategisch aanpassen van de camera-instellingen, zorgt ervoor dat forensische professionals goed zijn uitgerust om de meest nauwkeurige en gedetailleerde 3D-reconstructies mogelijk te maken. Deze holistische benadering, die de specifieke behoeften van elk onderzoek erkent, zorgt voor een effectieve en efficiënte documentatie van plaatsen delict, waarbij rekening wordt gehouden met de verschillende uitdagingen die zich voordoen bij forensisch werk.

3. Welke specifieke bewegingen zijn nodig voor een uitgebreide 3D-reconstructie van een plaats delict?

Bij het maken van een 3D-reconstructie is de methode om de plaats delict vast te leggen net zo cruciaal als de keuze van de camera. Het vastleggen van de plaats delict houdt meer in dan alleen maar door de kamer lopen en willekeurig foto's maken van de omgeving. Een dergelijke aanpak zou resulteren in een 3D-reconstructie gevuld met veel "wolken", wat leidt tot een slechte en onduidelijke reconstructie, zoals te zien is in Figuur 2. In dit hoofdstuk wordt de juiste methode voor het vastleggen van een plaats delict uitgelegd.



Figuur 2: Bewolkte 3D reconstructie

Er zijn twee methoden om een plaats delict vast te leggen: foto's maken of filmen. De moeilijkste methode is het maken van foto's, waarbij elk nieuw beeld ongeveer tweederde van het vorige moet overlappen, zoals te zien is in Figuur 3. Het is bijna onmogelijk om deze mate van overlap op de hele plaats delict te bereiken. Het is echter veel gemakkelijker voor kleinere stukken bewijs. Een voordeel van het nemen van individuele foto's is de zekerheid van duidelijkheid in elk beeld. Het beheersen van deze techniek is essentieel.



Figuur 3: Overlappende afbeeldingen

Het filmen van een plaats delict is iets makkelijker. Je hoeft geen overlappende beelden te maken, maar legt alles vast in een video. Het is essentieel om een hoge framesnelheid te gebruiken en ervoor te zorgen dat de camera zich richt op de hele scène in plaats van op specifieke objecten, zodat de beelden duidelijk en voldoende overlappend zijn. Voor gebruik met NeRF moet de video worden gesegmenteerd in afzonderlijke frames, een taak die kan worden uitgevoerd met Colmap, dat frames extraheert en de kenmerken ertussen matcht.

Camerabewegingen

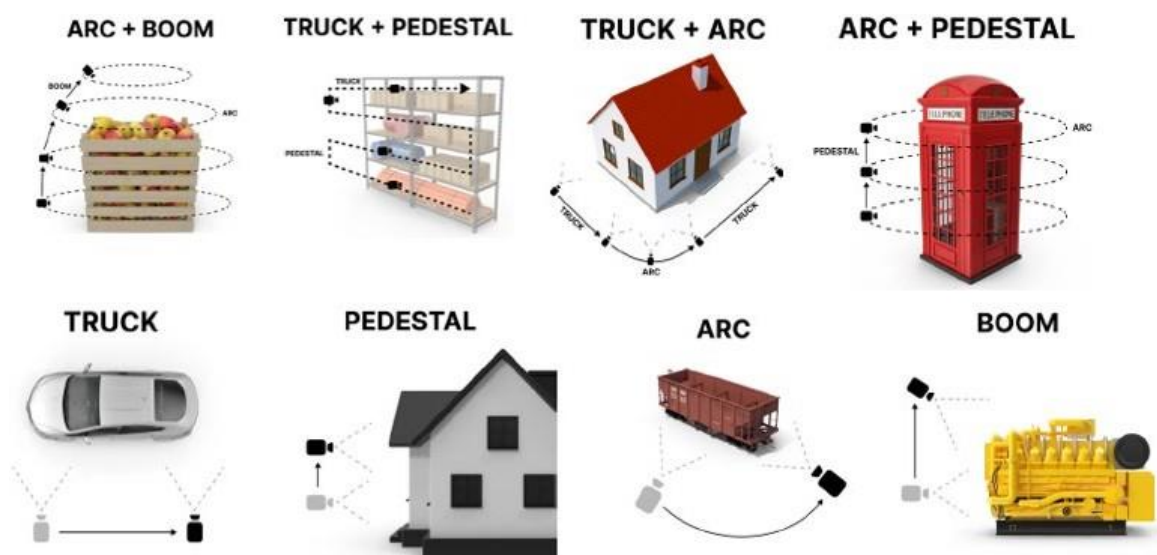
Effectieve camerabewegingen zijn van cruciaal belang bij het vastleggen van een plaats delict, of dat nu via video of foto's is. Het gebruik van een strategische combinatie van bewegingen kan de kwaliteit van de resulterende 3D-reconstructie aanzienlijk verbeteren. Dit hoofdstuk categoriseert bewegingen in goed, tijdelijk en slecht, te beginnen met de laatste. Het minimaliseren of idealiter elimineren van slechte bewegingen wordt aanbevolen.

Twee bewegingen die je moet vermijden zijn pannen en kantelen, omdat ze geen beweging tussen twee posities inhouden, wat schadelijk is voor de kwaliteit van de reconstructie. Als een beweging zoals pannen of kantelen nodig is, verdienen boog- of boombewegingen de voorkeur. Daarnaast resulteert het combineren van een slechte beweging met een goede nog steeds in een ongunstig resultaat, zoals een boog + kantelbeweging.



Figuur 4: Pannen en kantelen

Goede bewegingen voor het vastleggen van een plaats delict omvatten vier specifieke types. De eerste twee, trucking en pedestaling, hebben betrekking op het zijwaarts of verticaal bewegen terwijl een bepaald gebied in focus blijft, wat helpt bij het matchen van beelden op basis van hun kenmerken. De andere twee, arcing en booming, zijn essentieel voor het omcirkelen van een object of het toevoegen van verticale beweging aan een kanteling, respectievelijk, wat het vastleggen van objecten vanuit meerdere hoeken vergemakkelijkt.



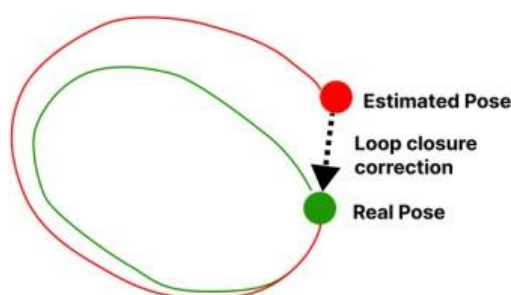
Figuur 5: Moties voor het vastleggen van de plaats delict

Overgangsbewegingen dragen weliswaar geen extra gegevens bij aan de 3D-reconstructie, maar de kwaliteit ervan gaat er niet op achteruit. Ze zijn nuttig voor de overgang tussen effectieve bewegingen. Als je bijvoorbeeld naar binnen beweegt om de inhoud van een bureau beter te bekijken, heb je een duwbeweging nodig gevolgd door een uittrekbeweging om verder te gaan met het vastleggen van de grotere scène.



Figuur 6: Transitinale bewegingen

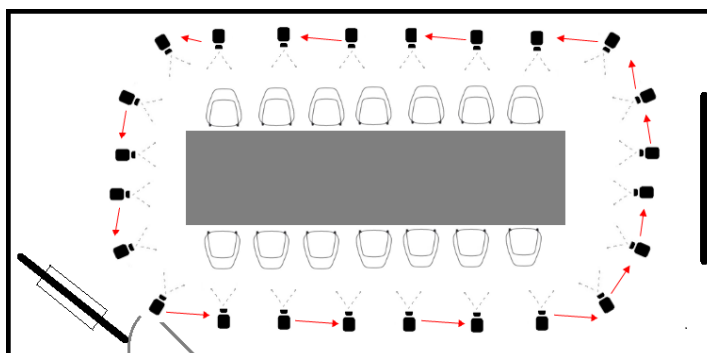
Door goede en overgangsbewegingen te combineren is een uitgebreide en gedetailleerde opname van de plaats delict mogelijk. Figuur 5, laten vier effectieve combinaties zien, afgestemd op verschillende scenario's, van het scannen van gedetailleerde objecten tot het vastleggen van grote scènes of objecten met een aanzienlijke hoogte. Het laatste belangrijke punt om rekening mee te houden is het maken van lusafsluitingen. Dit is wanneer je beelden vastlegt in een lus om fouten in je cameraposities te corrigeren. Terwijl je beelden opneemt rond een scène, berekent de 3D-reconstructiesoftware de pose (positie en oriëntatie) van elk beeld ten opzichte van de andere. Vervolgens gebruikt het deze poses om de oppervlakken van objecten en scènes te trianguleren. De software is niet perfect en fouten kunnen zich ophopen in je beeldset. Een voorbeeld van een loop closure is te zien in Figuur 7.



Figuur 7: Een loop closure

4. Welk NeRF-algoritme (Neural Radiance Fields) levert de meest nauwkeurige 3D-reconstructieresultaten?

Om de verschillende NeRF-algoritmen goed te kunnen vergelijken, is een uitstekende video van een vergaderruimte gemaakt. Deze vergaderruimte is gefilmd volgens de methoden die zijn beschreven in hoofdstuk 3. Het pad dat is afgelegd om de vergaderruimte vast te leggen, wordt weergegeven in Figuur 8. Tijdens het vastleggen van de vergaderruimte werden meerdere loop closure gemaakt. De eerste loop closure omvatte een volledige scan rond de hele kamer met de camera gericht op de muren. De tweede loop closure vond plaats terwijl de camera gericht was op de vergadertafel, en de laatste loop closure bestond uit het scannen rond de kamer met de camera gericht op het plafond. Een deel van de scan concentreerde zich ook op het whiteboard in de kamer. De video is toegevoegd als bijlage.



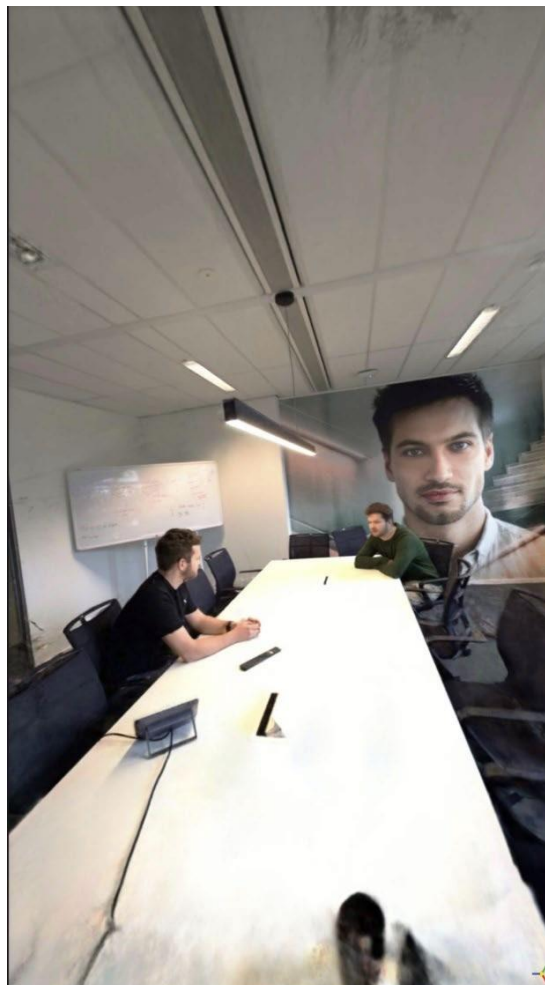
Figuur 8: Vastleggen pad vergaderzaal

Er zijn veel verschillende NeRF-algoritmen die van elkaar verschillen, maar de meeste verschillen zijn beperkt. De 3D-reconstructies worden gemaakt met behulp van de scan die hierboven is genoemd. De 3D-reconstructies worden allemaal vanuit dezelfde hoek vergeleken, zie Figuur 9. In deze afbeelding zijn de volgende objecten zichtbaar die vergeleken kunnen worden:

- de tafel,
- de twee personen,
- de man op de muur
- het whiteboard
- het plafond
- de lamp

Deze objecten worden vergeleken in de verschillende 3D-reconstructies. De 3D reconstructies worden vergeleken op hoe scherp de objecten in de reconstructie zijn en ook hoeveel wolken er in de 3D-reconstructie zitten. De volgende NeRF-algoritmen zullen worden getest:

- Instant-NGP
- Nerfacto
- Nerfacto-big
- Nerfacto-huge
- Volinga
- Luma AI



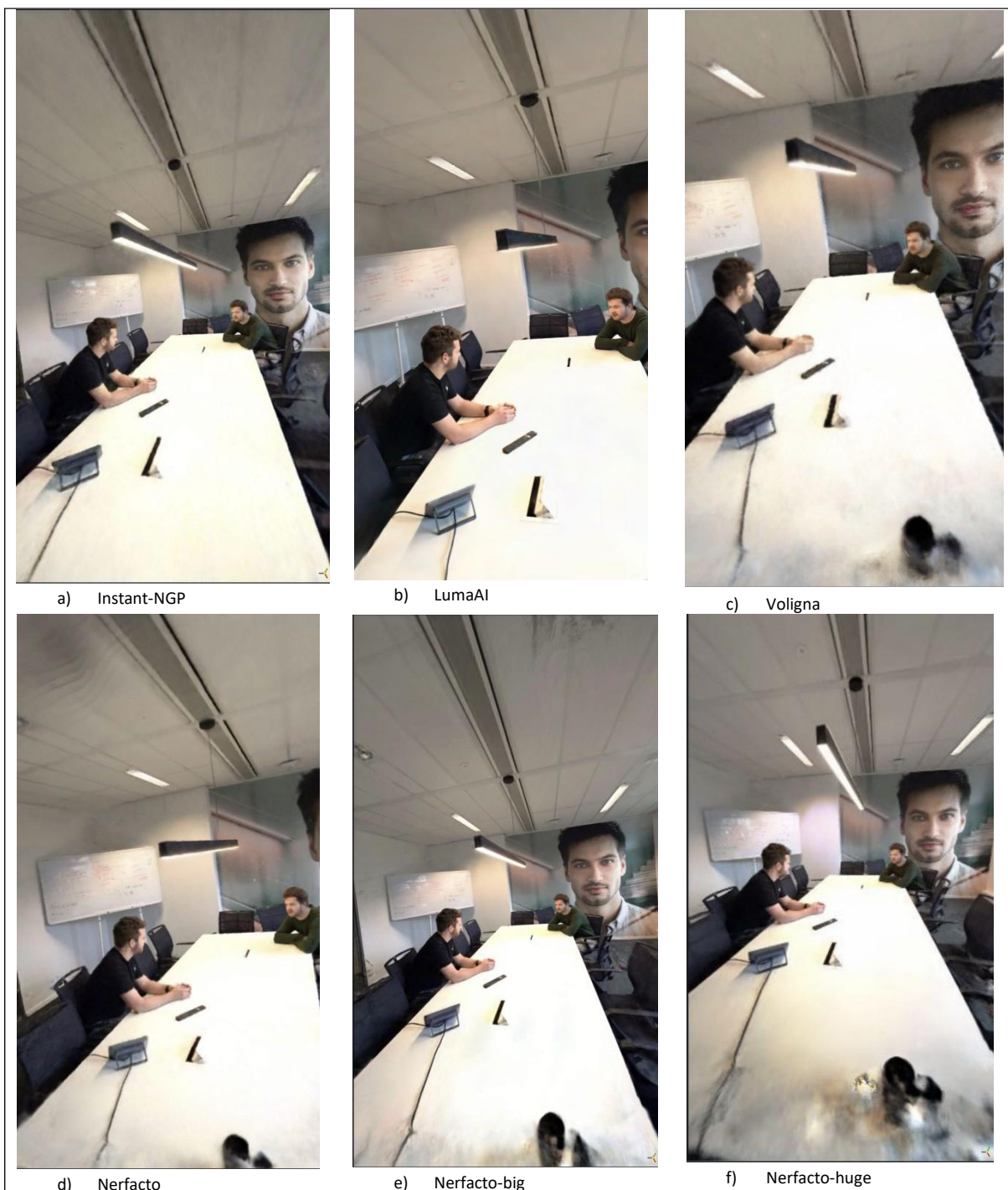
Figuur 9: Vergelijkingshoek

De criteria in de onderstaande tabel moeten worden overwogen bij het vergelijken van de verschillende NeRF-algoritmen.

Tabel 1: Criteria voor de vergelijking van NeRF-algoritmen

Criteria	1	2	3	4	5
Wolken	Er zijn te veel wolken en kan niets zien	Er zijn veel wolken maar de kamer is zichtbaar	Er zijn wat wolken, maar kan de omtrek van de kamer zien	Er zijn bijna geen wolken en kan de kamer vrij helder zien	Er zijn geen wolken
Details	Pixelated, kan zien dat het een object is	Pixelated, maar kan zien wat voor voorwerp het is (bijv. tafelstoel, papier)	Je kunt gemakkelijk zien wat voor object het is.	Kan in detail zien welk object het is en kan het merk definiëren	Zeer gedetailleerd zie geen verschil tussen het model en de video
Duur	Het maken van de 3D-reconstructie neemt meer dan een dag in beslag	Het maken van de 3D-reconstructie neemt minder dan een dag in beslag	Het maken van de 3D-reconstructie duurt minder dan 8 uur	Het maken van de 3D-reconstructie duurt minder dan 2 uur	Het maken van de 3D-reconstructie duurt minder dan 30 minuten
Vr-intergratie	Geen mesh extractie mogelijk	Mesh extractie is mogelijk maar mesh is ruw en zonder kleur	Mesh extractie is mogelijk maar mesh is ruw en met kleur	Mesh extractie is mogelijk en mesh heeft details	Mesh extractie is mogelijk en mesh heeft veel details

In de analyse van verschillende NeRF-algoritmen (Neural Radiance Fields) die worden toegepast op de reconstructie van plaatsen delict, laat elk algoritme unieke sterke punten en beperkingen zien. De vergelijkende beoordeling onthult inzichten in hun prestaties, vooral in termen van helderheid, detailnauwkeurigheid, verwerkingstijd en virtual reality (VR) integratie. In Figuur 10 is de kwalitatieve vergelijking tussen de algoritmes vergeleken. Met behulp van Tabel 1 zijn de algoritmes vergeleken. In Tabel 2 zijn de algoritmes op hun prestaties beoordeeld.



Figuur 10: Kwalitatieve vergelijking van 3D-reconstructie algoritmes

Tabel 2: Kwalitatieve vergelijking van 3D-reconstructie algoritmen

Algoritme	Wolken	Details	Duur	VR- integratie
Instant-NGP (a)	4	3	5	3
Luma AI (b)	4	5	4	4
Volinga (c)	3	3	5	4
Nerfacto (d)	4	4	5	3
Nerfacto-big (e)	4	4	2	3
Nerfacto-huge (f)	4	3	1	3

De algoritmen Instant-NGP, Nerfacto, Nerfacto-big en Nerfacto-huge vertonen allemaal een matig niveau van bewolking met een wolkenclassificatie van 4. Dit niveau van bewolking kan fijnere details verhullen, suggereert dat het duidelijk beelden kan produceren met minder obstructies, wat cruciaal is voor het vastleggen van subtiele details in een plaats delict. Volinga laat iets meer wolken zien in dit aspect, met een wolkenclassificatie van 3, wat suggereert dat meer obstructies plaatst vind. Luma AI sluit aan bij de eerste groep en scoort ook een wolkenbeoordeling van 4.

De algoritmes Instant-NGP, Voligna en nerfacto zijn erg snel met het verwerken van de data en het creëren van een 3D reconstructie, dit doen de drie algoritmes in minder dan 30 minuten. LumaAI komt ook erg dichtbij en heeft minder dan een uur nodig om een 3D reconstructie te creëren. Nerfacto-big en nerfacto-huge hebben veel meer tijd nodig om een 3D reconstructie te creëren.

De 3D-reconstructies geven over het algemeen een gedetailleerd beeld van de omgeving, waarbij de meeste objecten herkenbaar zijn. Nerfacto-big en Luma AI leveren reconstructies waarin labels en tekst op muren leesbaar zijn, wat bij de andere methoden niet het geval is.

De VR-mogelijkheden van de algoritmen zijn ook ongeveer gelijk. Bij instant-ngp, nerfacto, nerfacto-big en nerfacto-huge zijn de details van de VR-omgeving niet voldoende om ze te kunnen gebruiken. Voor Luma AI en Voligna zijn de mogelijkheden een stuk beter, deze twee algoritmen maken het ook mogelijk om de 3D reconstructie direct te exporteren naar een game engine.

Uit de bovenstaande vergelijking kunnen we concluderen dat LumaAI de hoogste kwaliteit levert in het 3D-reconstrueren van een plaats delict. Bovendien biedt LumaAI de mogelijkheid om de 3D-reconstructie te exporteren naar een format dat bruikbaar is in een game engine. Dit maakt het mogelijk om een VR-omgeving te creëren waarin de politie het plaats delict virtueel kan betreden.

5. Met welke beperkingen wordt NeRF (Neural Radiance Fields) geconfronteerd wanneer het wordt toegepast op de reconstructie van plaatsen delict?

Neurale radiantievelden (Neural Radiance Fields - NeRF) hebben zich ontpopt als een krachtig hulpmiddel voor 3D-reconstructie van scènes, waaronder toepassingen in forensische analyse en onderzoek van de plaats delict. Ondanks de veelbelovende mogelijkheden, heeft NeRF echter specifieke beperkingen wanneer het wordt toegepast op de reconstructie van de plaats delict, die cruciaal zijn voor forensische experts om deze technologie effectief te kunnen gebruiken.

5.1. Gevoeligheid voor lichtomstandigheden

Een van de belangrijkste beperkingen van NeRF (Neural Radiance Fields) bij het reconstrueren van plaatsen delict is de gevoeligheid voor wisselende lichtomstandigheden. NeRF-algoritmen vertrouwen op het vastleggen van de kleur en intensiteit van het licht dat door objecten wordt gereflecteerd om een 3D-model te construeren. Dit proces gaat uit van een consistente belichting over meerdere aanzichten, wat vaak niet mogelijk is op de plaats delict. Misdaadlocaties kunnen ongelijkmatig verlicht zijn door omgevingsfactoren, noodverlichting of simpelweg de aard van de locatie (bijv. schemerige kamers, nachtelijke scènes).

Wanneer de belichting aanzienlijk varieert tussen verschillende aanzichten, heeft NeRF moeite om de licht- en kleurinformatie nauwkeurig te interpoleren, wat leidt tot reconstructies met onjuiste texturen en kleuren. Dit kan forensische details verdoezelen of bepaalde delen van de scène er vervormd of uitgewassen uit laten zien. Het overwinnen van deze uitdaging vereist ofwel gecontroleerde lichtomstandigheden tijdens het vastleggen van beelden, wat onpraktisch is in veel forensische situaties, of geavanceerde voorbewerking om lichtvariaties in invoerbeelden te normaliseren.

5.2. Behandeling van transparante en reflecterende oppervlakken

Transparante en reflecterende oppervlakken vormen een bijzondere uitdaging voor NeRF omdat deze materialen zich niet houden aan het Lambertiaanse reflectiemodel, dat ervan uitgaat dat licht in alle richtingen evenveel wordt gereflecteerd. Deze aanname werkt goed voor ondoorzichtige en matte oppervlakken, maar faalt voor materialen zoals glas of gepolijst metaal, waar reflectie sterk hoekafhankelijk is.

In de context van een plaats delict kunnen dergelijke oppervlakken kritisch zijn en vingerafdrukken, residu of ander forensisch bewijs bevatten. Het huidige onvermogen van NeRF om deze oppervlakken nauwkeurig te modelleren kan resulteren in aanzienlijke gaten in de gegevens. Een glazen raam kan bijvoorbeeld ondoorzichtig lijken of gevuld zijn met artefacten, en spiegels reflecteren hun omgeving mogelijk niet correct, wat leidt tot onvolledige of misleidende reconstructies. Om deze beperking aan te pakken zouden modellen in NeRF moeten worden opgenomen die niet-Lambertiaanse oppervlakken aankunnen of zouden aanvullende technieken moeten worden gebruikt die speciaal zijn ontworpen om de eigenschappen van deze uitdagende materialen vast te leggen.

5.3. Complexiteit en oclusies

Plaats delicten hebben vaak complexe geometrieën met meerdere objecten die elkaar overlappen, waardoor verborgen gebieden ontstaan die moeilijk vast te leggen zijn met de standaard fotografietechnieken die in NeRF worden gebruikt. Het algoritme heeft beelden nodig die vanuit meerdere hoeken zijn genomen om een gebied volledig te reconstrueren, maar fysieke beperkingen op een plaats delict, zoals muren, meubilair of puin, kunnen het vastleggen van bepaalde perspectieven verhinderen. Dit resulteert in oclusies die leiden tot onvolledige of onnauwkeurige gebieden binnen het 3D-model.

Bovendien kan de ruimtelijke complexiteit van plaatsen delict deze problemen verergeren. De ingewikkelde overlap van objecten, variërende dieptes en de fijne details die cruciaal zijn voor forensische analyse (zoals kogelgaten of bloedspatpatronen) kunnen bijvoorbeeld niet goed worden vastgelegd als delen van de scène zijn afgedekt. Om dit te voorkomen kan een betere voorbereiding van de scène nodig zijn, zoals het verwijderen van obstakels voor een betere toegang tot de camera of het gebruik van meer geavanceerde beeldtechnieken die rondom oclusies kunnen vastleggen, zoals LIDAR of gestructureerde lichtscans, die de NeRF-aanpak kunnen aanvullen.

5.4. Computationale vereisten en tijdsbeperkingen

NeRF-algoritmen zijn rekenintensief omdat ze een neurale netwerk moeten trainen op een potentieel grote dataset van beelden om een 3D-model te produceren. Het proces omvat het optimaliseren van een neurale netwerk om de kleur en dichtheid van punten in de ruimte te voorspellen, gebaseerd op de gezichtspunten van de afbeeldingen. Deze berekening moet meestal worden uitgevoerd op krachtige hardware, zoals GPU's, die mogelijk niet in alle forensische omgevingen beschikbaar is.

Bovendien kan de tijd die nodig is voor training en rendering aanzienlijk zijn. Een enkele reconstructie kan uren of zelfs dagen duren, afhankelijk van de resolutie en complexiteit van de scène. Dit is problematisch in forensische contexten waar onderzoekers vaak een snelle doorlooptijd nodig hebben om te helpen bij lopende onderzoeken of om een plaats delict veilig te stellen. De vertraging in de verwerking kan de tijdige analyse van bewijsmateriaal en de effectiviteit van vervolgacties belemmeren.

5.5. Afhankelijkheid van hoogwaardige gegevensverzameling

Het succes van een op NeRF gebaseerde reconstructie is sterk afhankelijk van de kwaliteit en volledigheid van de invoergegevens. De dataset moet elke hoek en elk perspectief van de scène omvatten om een uitgebreid 3D-model te garanderen. Deze eis vertaalt zich in een nauwgezette planning en uitvoering van het proces van gegevensvastlegging, wat een uitdaging kan zijn in ongecontroleerde omgevingen van de plaats delict. Factoren die de kwaliteit van de dataset kunnen aantasten zijn onder andere:

- **Camerakwaliteit:** Camera's met een lagere resolutie of met een slecht dynamisch bereik kunnen onvoldoende details vastleggen voor een nauwkeurige reconstructie.
- **Dekking en bemonstering:** Onvoldoende dekking van de scène of onvoldoende bemonstering van gezichtspunten kan leiden tot gaten in de reconstructie, waarbij het algoritme minder gegevens heeft om de structuur van de ruimte af te leiden.
- **Fotografische techniek:** Variaties in belichting, scherpstelling of parallaxfouten door handmatige camerabewegingen kunnen allemaal de invoergegevens aantasten, wat invloed heeft op de natuurgetrouwheid van het uiteindelijke model.

Om gegevens van hoge kwaliteit te verzamelen is vaak gespecialiseerde apparatuur en training nodig, waardoor de logistieke en financiële kosten van het inzetten van NeRF in forensisch onderzoek toenemen.

5.6. Dynamische scènes en beweging

NeRF is ontworpen om statische scènes te modelleren en gaat ervan uit dat de scène onveranderd blijft gedurende de verzamelde dataset. Plaats delicten zijn echter vaak dynamische omgevingen waar veranderingen kunnen optreden tussen beeldopnames. Factoren zoals de beweging van mensen, veranderingen in de verlichting (bijv. het aan- en uitschakelen van lichten of natuurlijke lichtveranderingen) of de verandering van de scène (bewegende objecten of de aankomst/het vertrek van wetshandhavers) kunnen allemaal de consistentie van de gegevens beïnvloeden.

Beweging binnen de scène introduceert discrepanties tussen de beelden, wat leidt tot fouten en artefacten in het gereconstrueerde model. Deze inconsistenties kunnen zich manifesteren als ghosting-effecten, vage details of zelfs ontbrekende delen van de scène in het 3D-model. Om deze problemen aan te pakken zijn vaak extra voorbewerkingsstappen nodig, zoals beelduitlijning en bewegingscorrectie, wat het reconstructieproces nog ingewikkelder kan maken en de verwerkingstijd kan verlengen.

6. Discussie

Het onderzoek naar en de beoordeling van Neural Radiance Fields (NeRF) in de context van de reconstructie van de plaats delict heeft een aantal kritieke inzichten en overwegingen opgeleverd. Nu deze technologie wordt getest en mogelijk wordt geïntegreerd in forensische methodologieën, is het essentieel om zorgvuldig om te gaan met de mogelijkheden en beperkingen ervan.

6.1. Integratie van NeRF in forensische onderzoek

Het vermogen van NeRF om gedetailleerde driedimensionale reconstructies te maken van een reeks tweedimensionale beelden biedt een transformerende mogelijkheid voor forensische onderzoek. De technologie kan een revolutie teweegbrengen in de manier waarop plaatsen delict worden gedocumenteerd, bewaard en opnieuw bezocht. Het integratieproces moet echter worden uitgevoerd met begrip voor de operationele en praktische realiteit van forensisch werk. De behoefte aan gegevensverzameling van hoge kwaliteit en aanzienlijke rekenkracht zorgt voor logistieke uitdagingen, vooral in omgevingen met beperkte middelen of in zaken die een snelle reactie vereisen.

6.2. Balans tussen detail en efficiëntie

De analyse heeft aangetoond dat algoritmen zoals LumaAI weliswaar uitblinken in het vastleggen van gedetailleerde reconstructies, maar dat dit ten koste gaat van de tijds efficiëntie. Omgekeerd bieden snellere algoritmen mogelijk niet het detailniveau dat nodig is voor genuanceerde forensische analyse. Het vinden of ontwikkelen van algoritmen die deze behoeften in balans brengen is cruciaal voor praktische toepassingen. Forensische professionals moeten op basis van de specifieke vereisten van elke zaak beslissen of de prioriteit ligt bij details of bij snelheid.

6.3. Toekomst van scènereconstructie

De voortdurende ontwikkeling en verfijning van NeRF en zijn algoritmen suggereren een veelbelovende toekomst voor technologieën voor scènereconstructie. Vooruitgang moet echter specifiek gericht zijn op de unieke uitdagingen van de omgeving van een plaats delict, zoals variabele lichtomstandigheden, de aanwezigheid van reflecterende en transparante oppervlakken en de noodzaak om fijne details vast te leggen die door occlusies worden verborgen.

6.4. Ethische en juridische overwegingen

Zoals bij elke forensische technologie, roept de toepassing van NeRF ethische en juridische overwegingen op. De nauwkeurigheid en betrouwbaarheid van reconstructies, vooral wanneer ze gebruikt worden als bewijs in de rechtszaal, moeten verifieerbaar zijn. Het potentieel van deze technologieën om de uitkomst van rechtszaken te beïnvloeden vereist strikte validatie, standaardisatie van procedures en transparantie in het gebruik ervan.

7. Conclusie

De verkenning van neurale radiantievelden (Neural Radiance Fields - NeRF) in de context van de reconstructie van de plaats delict heeft veelbelovende perspectieven geopend voor forensische onderzoek, waarbij het potentieel is aangetoond om de nauwkeurigheid en gedetailleerdheid van digitale 3D-reconstructies aanzienlijk te verbeteren. Dit document biedt een uitgebreide analyse van de mogelijkheden, beperkingen en praktische overwegingen die gepaard gaan met de inzet van NeRF-technologie in forensische toepassingen.

NeRF-algoritmen, met hun vermogen om een reeks tweedimensionale beelden om te zetten in fotorealistische driedimensionale modellen, betekenen een aanzienlijke vooruitgang ten opzichte van traditionele reconstructiemethoden. Ze bieden forensische professionals een krachtig hulpmiddel voor het vastleggen en analyseren van complexe misdaadscènes met ongekende details, wat kan helpen bij zowel onderzoeks- als gerechtelijke processen. Deze modellen zorgen niet alleen voor een beter begrip van de ruimtelijke dynamiek van plaatsen delict, maar bieden ook een duidelijk en toegankelijk formaat voor het presenteren van bewijs in de rechtszaal.

De integratie van NeRF-technologie in de forensische praktijk is echter niet zonder uitdagingen. De afhankelijkheid van gegevens van hoge kwaliteit, substantiële computermiddelen en de behoefte aan gespecialiseerde training zijn belangrijke barrières die moeten worden aangepakt. Bovendien is de balans tussen verwerkingstijd en de mate van detail die nodig is voor forensische validiteit een kritische overweging die voortdurende verfijning van NeRF-algoritmen noodzakelijk maakt.

Bovendien roept de toepassing van NeRF in juridische contexten belangrijke ethische en juridische vragen op, vooral met betrekking tot de validatie van de technologie en de acceptatie ervan als betrouwbaar bewijs. De ontwikkeling van gestandaardiseerde protocollen en strenge validatiekaders is essentieel om de geloofwaardigheid en legaliteit van NeRF-gegenereerde reconstructies in het rechtssysteem te garanderen.

Om het potentieel van NeRF-technologieën bij de reconstructie van de plaats delict te maximaliseren, is een multidisciplinaire aanpak met samenwerking tussen technologieontwikkelaars, forensische experts en juridische professionals van cruciaal belang. Deze samenwerking moet zich richten op het aanpassen van NeRF aan de specifieke behoeften van de analyse van de plaats delict, het ontwikkelen van uitgebreide trainingsprogramma's voor forensische beroepsbeoefenaars en het opstellen van duidelijke richtlijnen en normen voor het forensisch gebruik van 3D-reconstructies.

Concluderend kan worden gesteld dat NeRF weliswaar belangrijke mogelijkheden biedt om een revolutie teweeg te brengen in de forensische methodologieën, maar dat de effectieve implementatie ervan een zorgvuldige afweging vereist van technologische, operationele en juridische aspecten. Voortdurend onderzoek en ontwikkeling, in combinatie met strategische samenwerking en beleidsvorming, zal de sleutel zijn tot het benutten van het volledige potentieel van NeRF voor het verbeteren van de getrouwheid, efficiëntie en bruikbaarheid van reconstructies van de plaats delict, om zo de bredere doelen van de forensische wetenschap en het strafrecht te ondersteunen.

8. Aanbevelingen

De aanbevelingen zijn de volgende:

1. **Onderzoek en ontwikkeling:** Blijven investeren in onderzoek om de mogelijkheden van NeRF-algoritmen te verbeteren zodat ze effectief kunnen omgaan met complexe en dynamische omgevingen op de plaats delict.
2. **Standaardisatie en protocollen:** Ontwikkeling van industriebrede standaarden en protocollen voor het gebruik van NeRF-technologie in de forensische wetenschap, om consistentie en betrouwbaarheid te garanderen in de reconstructies die als wettelijk bewijs worden gebruikt.
3. **Opleiding en middelen:** Opzetten van uitgebreide trainingsprogramma's om capaciteit op te bouwen onder forensische professionals voor het effectieve gebruik van geavanceerde reconstructietechnologieën.
4. **Interdisciplinaire samenwerking:** Stimuleer samenwerking tussen technologieontwikkelaars, forensische experts en juridische professionals om ervoor te zorgen dat NeRF-technologieën worden ontwikkeld en geïmplementeerd op een manier die overeenkomt met de praktische en wettelijke vereisten van onderzoek op de plaats delict.

Bibliography

- [1] K. Dadfar, "Explained: what are full-frame vs. crop sensors in photography?," 19 08 2021.
[Online]. Available: <https://focus.picfair.com/articles/explained-full-frame-vs-crop-sensors>.
- [2] Kameraexpress, "Keuzehulp: Full frame vs. cropsensor," [Online]. Available: <https://www.kamera-express.nl/full-frame-vs-cropsensor>.