



Universiteit
Leiden
The Netherlands

Faster X-ray computed tomography in real-world dynamic applications

Graas, A.B.M.

Citation

Graas, A. B. M. (2026, February 4). *Faster X-ray computed tomography in real-world dynamic applications*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/4291923>

Version: Publisher's Version

License: [Licence agreement concerning inclusion of doctoral thesis in the Institutional Repository of the University of Leiden](#)

Downloaded from: <https://hdl.handle.net/1887/4291923>

Note: To cite this publication please use the final published version (if applicable).

Samenvatting

Introductie en probleemstelling

In dit proefschrift is onderzocht hoe computertomografie sneller gemaakt kan worden t.b.v. industriële en wetenschappelijke dynamische toepassingen.

Over computertomografie Computertomografie (CT) is een beeldvormende techniek, waarin met behulp van X-rays—ookwel bekend als röntgenstraling—in objecten of het menselijke lichaam gekeken kan worden. Dit werkt door röntgenfoto's te maken vanuit verschillende hoeken van het object of lichaam. Hiervoor gebruikt men een opstelling met een stralingsbron en een X-ray detector, vergelijkbaar met een fotocamera. Op een enkele röntgenfoto, genomen vanuit één hoek, is te zien hoeveel straling er door het medium heen is gekomen, en dat geeft het contrast tussen bijvoorbeeld bot (dat veel straling opneemt) en weefsel (dat relatief weinig straling opneemt) weer. Omdat één foto onvoldoende informatie bevat om een 3D beeld te vormen, combineert CT de röntgenfoto's vanuit vaak honderden tot duizenden verschillende hoeken. Hiervoor dienen de stralingsbron en detector rondgedraaid te worden om het lichaam, of kan een object op een draaischijf geplaatst worden. Het aantal hoeken bepaalt onder meer de scherpte van het uiteindelijk gevormde 3D beeld.

De noodzaak voor snelheid De rekenduur of rekenkracht die nodig is om van een aantal röntgenfoto's naar een 3D beeld te gaan, de zogenaamde *CT reconstructie*, hangt af van de resolutie van de röntgenfoto's en het 3D beeld, alsmede de rekencapaciteiten van de computer, en de keuze van het algoritme. Het filtered-backprojection (FBP) algoritme is bijvoorbeeld zo snel dat er binnen één seconde een reconstructie berekend kan worden. Ook de implementatie doet er toe: tegenwoordig wordt de videokaart veelvuldig gebruikt voor CT, omdat deze met een enkele computerinstructie gelijktijdig berekeningen kan uitvoeren op een gedeelte van de data. Veel moderne X-ray toepassingen vereisen echter nog snellere algoritmes en implementaties voor computertomografie, onder andere voor:

- snel bewegende processen, waarbij elk tijdstip in het proces in feite een eigen reconstructieprobleem is;
- algoritmes die meer rekenkracht vereisen, bijvoorbeeld omdat deze moeten compenseren voor lage aantallen hoeken, of voor hoge ruis op de röntgenfoto's;
- toepassingen die CT onafgebroken gebruiken, bijvoorbeeld aan de lopende band voor de opsporing van defecten in producten, of voor de controle van de voedselveiligheid;

- technieken gebaseerd op kunstmatige intelligentie (AI), i.h.b. neurale netwerken, die eerst moeten leren van een groot aantal gereconstrueerde voorbeelden voordat ze toegepast kunnen worden.

Samenvatting van de hoofdstukken

Hoofdstuk 2 In dit hoofdstuk wordt een experimentele opstelling geïntroduceerd die bestaat uit drie stralingsbronnen en drie detectoren. Doordat deze opstelling niet draait is deze geschikter voor het waarnemen van zeer snel bewegende processen, zoals de zgn. wervelbedden die gebruikt worden in de chemische industrie. Een wervelbed bestaat uit gas en bewegende deeltjes en gedraagt zich bij benadering als een vloeistof. Bestaande technieken konden tot dusver alleen wervelbedden waarnemen in één doorsnede op een bepaalde hoogte, of via een tijdsgemiddelde. Het voordeel van deze techniek is dat het de morfologische veranderingen van gasbellen in wervelbedden zowel door de tijd als door de 3D ruimte kan volgen.

Hoofdstuk 3 Dit hoofdstuk introduceert een neuraal netwerk dat om kan gaan met de veranderlijke experimentele data binnen *real-time* tomografie. Real-time tomografie staat het toe om “live” mee te kijken met een experiment. Normaal gesproken leren neurale netwerken uit voorafgaande experimenten, voordat ze gebruikt worden. Echter, in de experimenten die met real-time tomografie worden uitgevoerd, in synchrotrons (deeltjesversnellers), is er vaak geen tijd of geschikte data voorafgaand aan het experiment. De voorgestelde methode leert daarom gedurende het experiment.

Hoofdstuk 4 Dit hoofdstuk introduceert een software pakket genaamd *ASTRA KernelKit*, dat het gemakkelijker maakt om tomografische algoritmes aan te passen voor bijzondere omstandigheden. Bestaande tomografische algoritmes zijn vaak alleen maar optimaal efficiënt voor standaardproblemen, bijvoorbeeld als de data voldoet aan veelvoorkomende afmetingen. De nieuwe software, gebaseerd op de programmeertaal Python, maakt het gemakkelijk voor wetenschappelijke gebruikers om aangepaste algoritmes te creëren en uit te proberen op videokaarten, en kan met behulp van *tuning* de snelste versie voor een voorgedefinieerd probleem en specifieke hardware vinden.

Hoofdstuk 5 In dit hoofdstuk wordt tenslotte een oplossing gezocht voor het verwijderen van ruis op röntgenfoto's, wat ook de kwaliteit van de daaropvolgende CT reconstructies ten goede komt. State-of-the-art methodes voor het verwijderen van ruis zijn tegenwoordig allemaal AI-gebaseerd, maar hebben in de regel voorbeelden nodig van afbeeldingen zonder ruis om van te kunnen leren. Voor X-ray opstellingen zijn deze in de praktijk niet verkrijgbaar, omdat een ruisloze afbeelding een lange meettijd nodig heeft. De gepresenteerde oplossing past de eigenschappen van de ruis in röntgenfoto's van moderne X-ray scintillator detectoren dusdanig aan dat elke pixel daarna statistisch onafhankelijk wordt. Deze statistische eigenschap maakt de data vervolgens geschikt voor de zgn. Blind-Spot Netwerken, een type neurale netwerken waarvoor geen ruisloze voorbeelden meer nodig zijn.