

Niet-destructieve inspectie van de interne kwaliteit van Conference met X-stralen en artificiële intelligentie

Interne gebreken kunnen zich ontwikkelen in peren gedurende suboptimale bewaring na de oogst. Deze interne gebreken zijn echter vaak uitwendig onzichtbaar. De laatste jaren werden X-stralen gebaseerde technologieën naar voren geschoven voor de kwaliteitsinspectie van voedingsproducten. Methodes op basis van X-stralen hebben echter de uitdagingen die samengaan met de hoge variabiliteit van biologische producten en de uiteenlopende graad en voorkomen van de interne gebreken nog niet overwonnen. Bovendien is een hoge doorvoercapaciteit vereist voor industriële toepassingen. In dit onderzoek hebben we nagegaan wat het potentieel is van het inzetten van artificiële intelligentie (AI) om snel en effectief X-stralenbeelden van 'Conference' peren te beoordelen op de aanwezigheid van interne gebreken.

INTERNE GEBREKEN

Om gedurende het hele jaar door peren te kunnen verkopen, worden de vruchten na de oogst in gecontroleerde omstandigheden bewaard in koelcellen. De bewaarcondities worden continu gemonitord en bijgestuurd om deze zo optimaal mogelijk te houden. Wanneer de bewaaromstandigheden echter ongunstig zijn, bijvoorbeeld lokaal te lage zuurstofconcentraties, kunnen zich in de vruchten interne gebreken ontwikkelen. Voor de nog levende cellen van het vruchtvlies zorgt het zuurstoftekort voor een tekort aan energie. De cellen beginnen vervolgens af te sterven, wat zich kan uiten in interne bruine vlekken en holtes (zie Figuur 1).

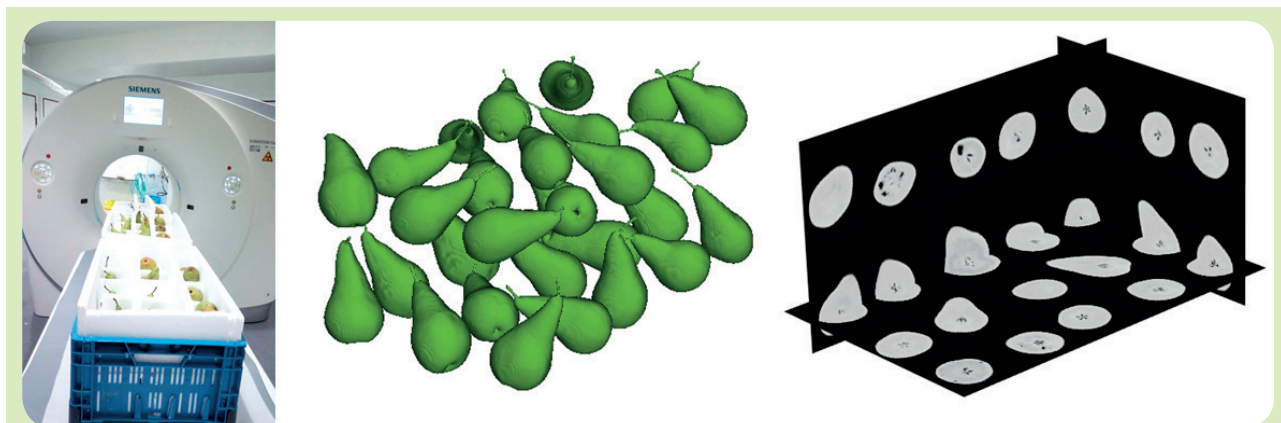
Dergelijke vruchten zijn uiteraard ongewenst en kunnen leiden tot imagoschade voor verkopers. Het is daarom belangrijk dat aangetaste vruchten snel en betrouwbaar kunnen worden uitgesorteerd. Helaas zijn externe symptomen voor zulke gebreken haast nooit aanwezig. Bovendien zijn commerciële sorteersystemen voor kwaliteitsinspectie weinig betrouwbaar voor interne kwaliteitsinspectie. Deze systemen slagen enkel in het detecteren van erge gevallen of vruchten met gebreken net onder de schil (bijvoorbeeld blutsen), maar kunnen niet om met heterogeen verdeelde gebreken in het vruchtvlies.



Figuur 1: Opengesneden 'Conference' peren met intern bruin en holtes

INSPECTIEMETHODES OP BASIS VAN X-STRALEN EN GESTEUND OP ARTIFICIËLE INTELLIGENTIE (AI)

Met behulp van hoogenergetische X-stralen kan letterlijk binnenin de meeste objecten gekeken worden. Het is dus een handige technologie voor het inspecteren van de interne kwaliteit van producten. Lokale verschillen in absorptie, veroorzaakt

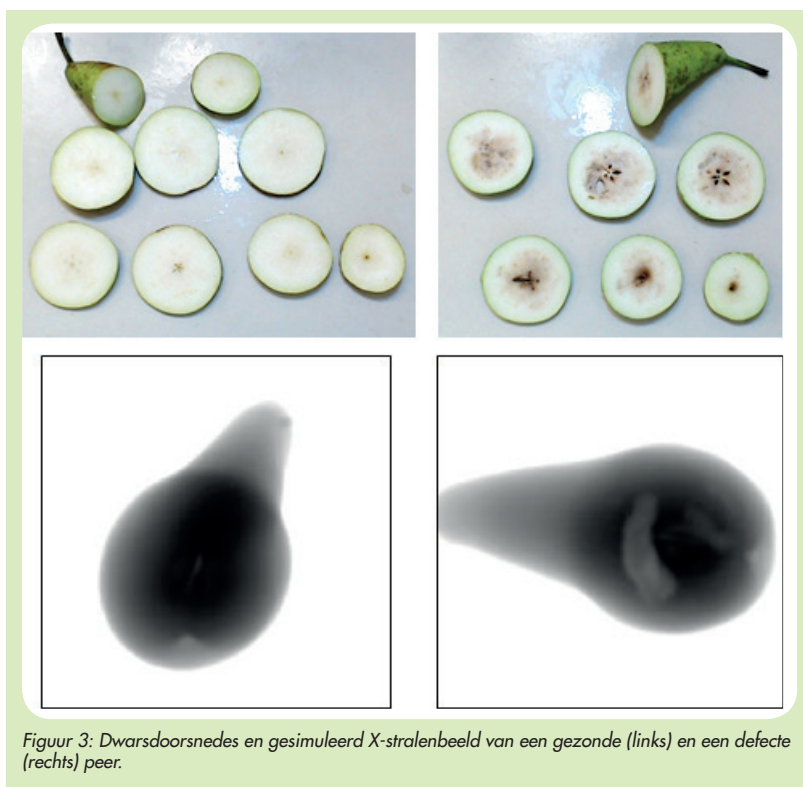


Figuur 2: X-stralen CT-scans van de vruchten in UZ Leuven. Links: Dozen met peren in de medische CT-scanner; Midden: 3D-visualisatie van peren in een doos; Rechts: Dwarsdoorsnedes doorheen de CT-scan van een doos. In sommige peren zijn interne gebreken zichtbaar.

door de vorm en interne structuur van het product, kunnen met een X-stralendetector vertaald worden in een grijswaardenbeeld waarin de grijswaarde evenredig is met de hoeveelheid opgemeten energie. Hoe minder materiaal aanwezig is, of hoe lager de densiteit, des te hoger de grijswaarde in het beeld. Interne gebreken hebben typisch een lagere densiteit dan gezond weefsel. Om X-stralen gebaseerde inspectie toe te passen aan een hoge doorvoercapaciteit, moeten dergelijke beelden automatisch geïnterpreteerd worden door computeralgoritmes. Klassieke algoritmes beoordelen ieder beeld door een reeks van vaste stappen en regels te volgen. Het is echter moeilijk om dergelijke regels te bedenken, aangezien telkens uitzonderingen gevonden kunnen worden. Een mens kan echter op basis van enkele voorbeelden al snel enkele patronen herkennen die defecte van gezonde vruchten onderscheiden. Recent is een nieuwe tak binnen artificiële intelligentie ontstaan, deep learning, die het mogelijk maakt om zelflerende algoritmes te ontwikkelen die op basis van data en trial-and-error zelf nuttige patronen te ontdekken om een bepaalde taken uit te voeren. Deze algoritmes hebben dus geen vooraf gedefinieerde regels nodig, maar enkel een zekere hoeveelheid voorbeelden waarvan ze kunnen leren.

DATA OM VAN TE LEREN

Twee partijen 'Conference' peren werden gedurende 8 maanden bewaard, waarbij de eerste en tweede partij respectievelijk optimale en slechte bewaarcondities kregen. Na bewaring werden 90 vruchten van elke partij willekeurig geselecteerd en vervoerd naar het UZ Leuven voor het maken van X-stralen CT-scans (zie Figuur 2). Deze scans leveren digitale versies van elke vrucht op en vormen het vertrekpunt voor de grote hoeveelheid data die we ervan kunnen genereren om een slimme algoritmes te trainen.



Figuur 3: Dwaarsdoorsnedes en gesimuleerd X-stralenbeeld van een gezonde (links) en een defecte (rechts) peer.

Vervolgens werd op basis van dwarsdoorsnedes van alle vruchten beslist welke vruchten gezond of defect waren. Met behulp van de digitale versies van de vruchten werden daarna meer dan duizend X-stralenbeelden gesimuleerd. Hierin werden de virtuele vruchten in een willekeurige oriëntatie geplaatst om telkens unieke beelden te genereren. In Figuur 3 worden voorbeelden weergegeven van doorsnedes en gesimuleerde X-stralenbeelden van een gezonde en een defecte vrucht.

PROOF OF CONCEPT TESTEN

Met behulp van de gesimuleerde data werd een zelflerend algoritme getraind dat vruchten sorteert op basis van X-stralen foto's. Dit werd vervolgens getest op echte radiografieën die verkregen werden met het X-stralenmachine van de MeBioS Naoogstonderzoeksgroep (KU Leuven). De vruchten die hierbij getest werden, vertoonden grote verschillen in de graad van de interne gebreken. Hierbij werd een accuraatheid van 87 % gehaald op 720 beelden. Deze eerste testen tonen dus aan dat de combinatie van X-stralen en AI gebaseerde algoritmes een groot potentieel heeft voor interne kwaliteitsinspectie.

Dit onderzoek werd ondersteund door KU Leuven (C3 project C3/19/036), Research Council of Norway (project 255596/E50)

Non-destructive internal quality inspection of fruit using X-rays and artificial intelligence

Internal disorders can develop in the pear fruit due to suboptimal storage conditions after harvest. These disorders are externally often invisible. Recently, the use of X-ray technologies has been proposed for quality and safety inspection of foods. However, X-ray inspection methods have not yet overcome the challenging variability in agricultural products and internal disorders that can be present. We investigated whether recent advances in deep learning can be used effectively for internal quality inspection of pear fruit using inline X-radiography. Conference pears were stored in optimal and suboptimal storage conditions for 8 months to obtain fruit with a wide range in internal quality. After storage, an image dataset containing X-ray CT and ground truth images of the fruit was collected. Thereafter an algorithm was trained on a dataset of simulated X-ray images to recognize fruits with internal disorders. Finally, the performance was tested on real inline X-ray radiograph images which demonstrated the potential of the technology.