

Hoge resolutie infraroodbeelden

Met de nieuwste warmtebeeldcamera's van Testo

Testo heeft onlangs de veel gebruikte serie 875 aanzienlijk verbeterd en binnenkort zijn er twee nieuwe uitvoeringen van leverbaar. Beide beschikken over de SuperResolution technologie waarmee men vorig jaar op de markt kwam en die het mogelijk maakt om de resolutie van het beeld op een zeer slimme manier te vergroten. Tijd om eens te gaan kijken wat de SuperResolution technologie exact inhoudt.



Het analyseren van zeer kleine of extreem verre objecten met thermografie is nog altijd zeer lastig. De opbouw van warmtebeeldcamera's beperkt namelijk de beeldresolutie als gevolg van de beschikbare detectortechnologie op de markt. De SuperResolution technologie voegt een nieuwe dimensie toe die de beeldkwaliteit van warmtebeeldcamera's duidelijk verbetert. Infraroodbeelden die gemaakt worden met SuperResolution hebben een veel hogere resolutie (vier keer meer meetwaarden en een factor 1,6 betere geometrische resolutie) en tonen veel meer details in het infraroodbeeld en bieden daardoor een grotere betrouwbaarheid bij elke thermografische meting. De SuperResolution technologie maakt gebruik van de natuurlijke beweging van de hand om meerdere infraroodbeelden, enigszins onder andere hoeken, kort na elkaar te nemen. Dankzij de precieze kennis van de lenseigenschappen en het gebruik van individuele beelden in een reeks, kan een algoritme gebruikt worden om deze individuele infraroodbeelden om te zetten in een hoge resolutie afbeelding. Hierbij worden echte meetwaarden gebruikt en is het resultaat vergelijkbaar met een opname met een detector met een hogere resolutie. Let wel, het is dus geen interpolatieproces.

Technologische uitdagingen

In vergelijking met digitale fotocamera's hebben infrarooddetectoren een lage resolutie. Deze situatie is te wijten aan zowel de fysieke als de technologische redenen en kan met name problemen veroorzaken als een gebruiker aan zeer kleine objecten wenst te meten. Het beeld van deze meetobjecten op de sensor is vaak nog kleiner dan één enkele pixel. In het eerste geval ontvangt slechts een klein deel van het pixel de energie die door het kleine meetobject wordt uitgestraald. Dat betekent dat het verdwijnt in de achtergrond en niet langer herkenbaar is in de afbeelding. Als het object

groot genoeg is om een significant deel van de ontvangen straling uit te maken, kan de achtergrond nog steeds oorzaak zijn van een meetwaarde die ligt tussen de temperatuur van het meetobject en dat van de achtergrond. In de praktijk levert dat een vertekende meetwaarde op. Dit probleem is zeker bekend bij de micro-elektronica, waar infraroodbeelden worden genomen van objecten die zeer klein zijn en een dus een zeer fijne resolutie vereisen. Deze uitdaging komt ook veel voor bij thermografie in de bouw, waar objecten zich op grote afstand kunnen bevinden, bijvoorbeeld dakrichels of bovenverdiepingen.

De oplossing voor high res beelden

De Testo SuperResolution technologie maakt het mogelijk om, dankzij meer werkelijke meetwaarden zonder het gebruik van een grote detector, correct kleinere meetobjecten te meten. Dit is niet een eenvoudig interpolatieproces, zoals bilineaire of bicubische interpolatie, waarin kunstmatige tussenliggende waarden worden gegenereerd zonder aanvullende informatie te verkrijgen. Zulke kunstmatig gegenereerde waarden kunnen nooit hoger zijn dan de aangrenzende waarden – die bijzonder noodzakelijk zijn in het geval een hotspot-meting bij kleine objecten. In tegenstelling tot interpolatie levert SuperResolution een verhoging van de meetresolutie en de mate van detail op. Het originele signaalgedrag kan worden gereconstrueerd (zie figuur 1).

Werkelijke waarden worden berekend, welke vergelijkbaar zijn met een infraroodbeeld van een warmtebeeldcamera met een hogere detectorresolutie. De geometrische resolutie van een SuperResolution infraroodbeeld is duidelijk verbeterd. In de praktijk betekent dit dat zelfs het "kleinste meetbare object" veel kleiner kan zijn met behoud van de afstand tot het te meten object. De thermograaf kan zodoende zijn afstand tot het meetobject bewaren en daarnaast levert het in het infraroodbeeld meer meetwaarden op die geanalyseerd kunnen worden op een PC (zie figuren 2 en 3).

SuperResolution biedt de volgende voordelen:

- Vier keer meer meetwaarden in het infraroodbeeld
- Geometrische resolutie (IFOV_{geo}) van het infraroodbeeld verbeterd met een factor 1,6
- Meetobjecten kunnen 1,6 keer kleiner zijn (IFOV_{meas})
- Veel meer detail tijdens analyse en daardoor kwalitatief en kwantitatief verbeterde opties bij evaluatie in het thermografisch rapport

Testo's SuperResolution technologie, waarop patent in aanvraag is, combineert zoals gezegd twee bekende methodieken, namelijk Super-sampling en Deconvolutie. 'Super-sampling' maakt gebruik van een reeks foto's die enigszins onder andere hoek, kort na elkaar zijn genomen. Deze reeks aan beelden wordt vervolgens gebruikt om berekeningen uit te voeren en een hogere resolutie beeld te creëren. Het proces maakt gebruik van de natuurlijke trilling van de hand, die ieder mens heeft bij het bedienen van een warmtebeeldcamera. Dit creëert een reeks aan beelden die willekeurig net onder een andere hoek zijn genomen. Testo's speciale algoritme gebruikt de additionele informatie en waarden om hoge resolutie beeld te creëren van het meetobject. Het 'deconvolutie' proces verbetert de beeldkwaliteit dankzij de gedetailleerde kennis van de lenseigenschappen. Dit

wordt veroorzaakt door de berekening van de beeldeigenschappen van de lens met het infraroodbeeld.

Super-Sampling

Bolometerdetectoren voor warmtebeeldcamera's bestaan uit een matrix van individuele pixels die de straling absorberen en omzetten naar een elektrisch evalueerbaar signaal. De pixelmatrix bevindt zich in een vacuüm behuizing ten behoeve van de thermische isolatie. Elke pixel bestaat uit een dun bolometermembraan dat bevestigd is aan fijne pinnen op een substraat. Er zijn daardoor kleine openingen tussen de pixels – ook ten behoeve van de thermische isolatie. Deze isolatie moet overspraak voorkomen, dat wil zeggen de stroom van warmte beperken van de ene pixel naar de volgende. Echter creëert deze isolatie een opening tussen de individuele pixels waarin geen straling kan worden gedetecteerd. Bovendien is niet het volledig pixelgebied gevoelig voor straling. De straling wordt alleen opgenomen in het binnenste gedeelte van het pixelmembraan.

Deze opbouw betekent dat er "blinde vlekken" tussen de pixels zitten, waar geen infraroodstraling wordt gedetecteerd. Als een object extreem klein is, dan is het mogelijk dat de geïmitteerde straling op deze "blinde vlek" valt en daardoor zo goed als verloren gaat. Het klassieke super sampling principe lost dit probleem op door de gehele detectormatrix een halve pixelbreedte te verplaatsen in alle richtingen, zodat de beeldreeks kan worden gevormd tot één enkel beeld. De openingen tussen de pixels worden hierdoor gevuld met additionele informatie en de frequentielimiet van de detector wordt verbeterd.

Deconvolutie

Het beeld van een object is wiskundig beschreven door de convolutie (samenvoegen) van de objectstraling met de overdrachtsfunctie van de camera. Deconvolutie is het omgekeerde van de samenvoeging van twee functies. Een wiskundig algoritme dat uitsluitend gebruik maakt van de informatie van het resultaat van het samenvoegen – hier het uitgangssignaal – en de overdrachtsfunctie om zodoende het ingangssignaal te bepalen. In dit geval betekent dit dat met het uitgangssignaal van de bolometer en de kennis van de lenseigenschappen van de warmtebeeldcamera, het ingangssignaal van de actuele straling van het gemeten object kan worden gereconstrueerd. Het resultaat is een veel scherper infraroodbeeld. Incidenteel werkt deconvolutie ook zonder super-sampling. Voor thermografen betekent dit dat hun infraroodbeelden nog scherper zijn, ook al wordt er geen gebruik gemaakt van super-sampling, bijvoorbeeld zonder de natuurlijke trilling van de hand, bijvoorbeeld als de camera op een statief geplaatst wordt.

Super-sampling en deconvolutie in één

SuperResolution is de technologische combinatie van super-sampling en deconvolutie in één algoritme en geeft een stijging naar een veel hogere geometrische resolutie van het infraroodbeeld. De SuperResolution technologie kan gebruikt worden om scherpere infraroodbeelden te maken met meer detail en kan nadien eenvoudig worden bekeken

op een PC via analyse software. Dit maakt het mogelijk om zelfs de kleinste of verste meetobjecten te detecteren zonder het gebruik van een duurdere detector.

Bewijs van de SuperResolution technologie

In de thermografie spelen een aantal factoren een belangrijke rol in relatie tot de kwaliteit van het infraroodbeeld. Twee factoren spelen een uitzonderlijk belangrijke rol, waaronder de geometrische resolutie en de scherpte van het object. De verbeterde resolutie en scherpte kunnen weergegeven worden door te kijken naar enkele nauwe-spleetdiafragma's. In deze opstelling wordt een spleetdiafragma met verticale openingen, die geleidelijk kleiner en dichter bij elkaar komen, over een zwart verwarmd paneel met een constante temperatuur geplaatst (figuur 3). Zonder SuperResolution technologie kunt u zien dat het beeld wazig wordt wanneer de spleten compacter en dichter op elkaar komen. Hetzelfde proces met SuperResolution resulteert in een algeheel scherper beeld dat duidelijk veel meer detail zichtbaar maakt ondanks dat de spleten kleiner en dichter bij elkaar komen.

Hoe dieper de analyse, hoe meer het weergeeft hoe problematisch een te lage detectorresolutie is: zichtbare beeldfouten, bijvoorbeeld aliasing, zorgen er voor dat de gemeten temperaturen sterk afwijken.

Gebouwthermografie

Bij gebouwthermografie is de SuperResolution technologie ideaal om snel en effectief constructiefouten te detecteren en energieverliezen bij verwarming- of aircosystemen te analyseren zonder daarvoor vlak bij de bron te moeten komen. De hoge mate van detail in het infraroodbeeld maakt gebrekkige isolatie, koudebruggen of constructiefouten duidelijk zichtbaar. SuperResolution infraroodbeelden zijn daarom ideaal voor uitgebreide foutdiagnose en onderhoud aan binnenruimtes of gebouwschillen – met name voor een energieprestatieadvies.

Elektrische inspectie en industrieel onderhoud

De SuperResolution technologie maakt gedetailleerde thermografie eenvoudiger in laag-, midden- en hoogspanningssystemen. Het maken van hoge resolutie thermografische beelden gedurende onderhoudswerkzaamheden leiden tot vroegtijdige detectie

Eigenschappen	testo 875-1	testo 875-1i	testo 875-2i	testo 875-2i set
Detector	160 x 120 pixels			
Thermische gevoeligheid (NETD)	< 80 mK		< 50 mK	
Temperatuurbereik	-20 ... +280 °C		-20 ... +350 °C	
Beeldfrequentie	9 Hz		33 Hz*	
Lens 32" x 23"	✓	✓	✓	✓
Verwisselbare telelens 9" x 7"	-	-	(✓)	✓
SuperResolution	(✓)	(✓)	(✓)	(✓)
Hoge temperatuurmeting tot 550 °C	-	-	(✓)	(✓)
Geïntegreerde digitale camera	-	✓	✓	✓
Geïntegreerde power LEDs	-	-	✓	✓
Spraakopname met gebruik van headset	-	-	✓	✓
Laser**	-	✓	✓	✓
Weergave van oppervlaktevocht (via handmatige invoer)	-	-	✓	✓
Vochtmeting met draadloze vochtvoeler *** (automatische meetwaarden-overdracht in real-time)	-	-	(✓)	(✓)
Isotherm display in instrument	-	-	✓	✓
Min / Max op oppervlakteberekening	-	-	✓	✓
Auto Hot/Cold Spot herkenning	✓	✓	✓	✓
Solar modus	✓	✓	✓	✓
Lens protectie glas	(✓)	(✓)	(✓)	✓
Extra accu	(✓)	(✓)	(✓)	✓
Snellader	(✓)	(✓)	(✓)	✓

✓ bij levering inbegrepen (✓) optioneel

* Binnen de EU en voor landen zonder export restricties, anders 9 Hz
 ** met uitzondering van USA, China en Japan
 *** Draadloze vochtvoelers alleen in de EU, Noorwegen, Zwitserland, Kroatië, USA, Canada, Colombia, Turkije, Brazilië, Chili, Mexico, Nieuw Zeeland, Indonesië

Tabel 1. De eigenschappen van de oude en nieuwe camera's uit de 875-serie op een rij

van defecte componenten of aansluitingen, zodat noodzakelijk preventief onderhoud zeer doelgericht kan worden ingezet. Dit minimaliseert het risico van brandgevaar en voorkomt kostbare productieonderbrekingen. SuperResolution maakt ook vroegtijdige detectie mogelijk van potentiële schade aan productiegerelateerde systeemcomponenten. In geval van mechanische componenten in het bijzonder, kan het ontdekken van thermische onregelmatigheden (bijvoorbeeld dankzij wrijving of onjuiste uitlijning) wijzen op een verhoogde mate van spanning.

Onderzoek en Ontwikkeling

Bij onderzoek en ontwikkeling zijn infraroodbeelden vereist voor gericht thermische analyse van warmteverdeling en warmteontwikkeling op bijvoorbeeld printplaten. De vaak kleine componenten kunnen snel en in een contactloos proces geïnspecteerd worden, waarbij de kleinste details thermografisch in beeld kunnen worden gebracht. Alle temperatuurmeetwaarden zijn nadien te analyseren op een PC, waardoor de schakeling thermisch geoptimaliseerd kan worden.

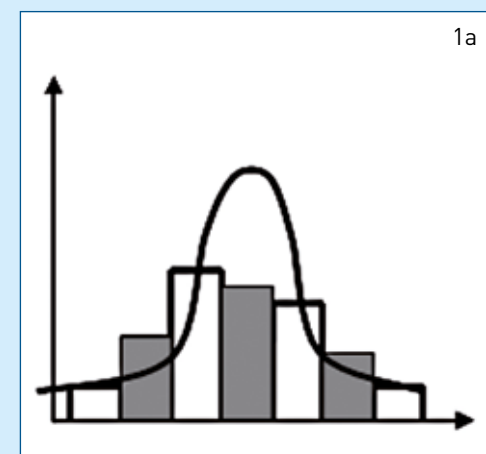
Beschikbaarheid

De Testo SuperResolution technologie is beschikbaar in alle warmtebeeldcameramodellen in de serie testo 875, testo 876, testo 881, testo 882, testo 885 en testo 890. Zelfs warmtebeeldcamera's die al uitgeleverd zijn, kunnen uitgerust worden met deze technologie door een upgrade van de camera'software. Ook de nieuwe camera's uit de 875-I-serie (figuur 5) hebben de nieuwe technologie aan boord. Daarnaast beschikken ze over een groot aantal extra functies en zijn de meeteigenschappen op veel punten verbeterd en dat alles bij een lagere prijs. Tabel 1 toont wat er veranderd is en waar u op mag rekenen. ●

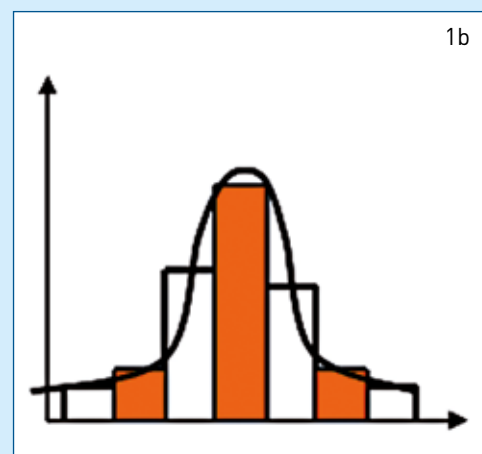
Voor meer informatie www.etotaal.nl/achtergrond.
 Artikel "Hoge resolutie infraroodbeelden".

Testo is ook te vinden op de beurs HET Instrument, stand 2D071

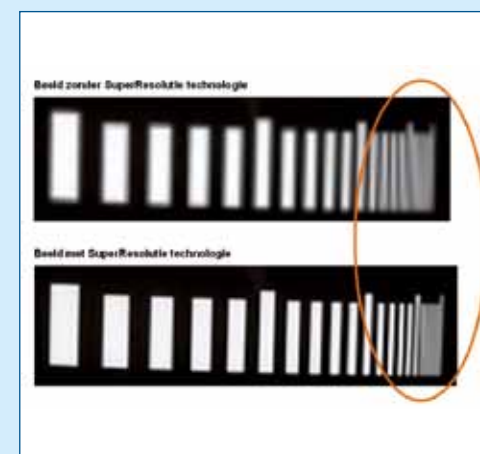
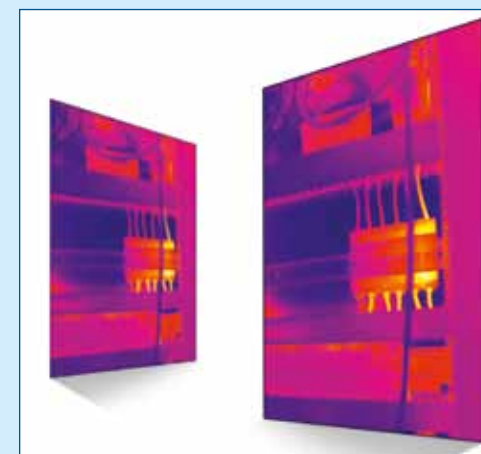
Ewout de Ruiter



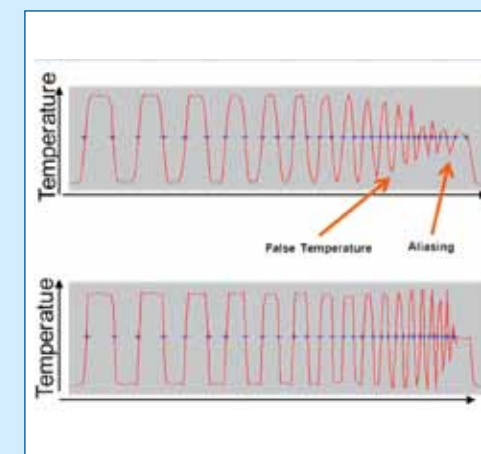
Figuur 1. De zwarte lijn geeft het oorspronkelijke signaal aan. De witte balken zijn de originele pixelwaarden. De grijze balken aan de linker zijde zijn kunstmatig gegenereerde interpolatiewaarden – deze kunnen het oorspronkelijke signaal niet reconstrueren. De oranje balken aan de rechter zijde zijn SuperResolution waarden – deze kunnen het oorspronkelijke signaal wel reconstrueren.



Figuur 2. De afbeelding aan de linkerzijde geeft een infraroodbeeld weer met 320 x 240 pixels. De rechter afbeelding geeft een SuperResolution infraroodbeeld weer met 320 x 240 pixels (komt overeen met 640 x 480 pixels).



Figuur 3. Test opstelling met spleet diafragma



Figuur 4. De test opstelling met spleet diafragma uit figuur 3 leveren deze temperatuurmetingen op.



Figuur 5. De nieuwe thermografische camera uit de 875-I-serie.