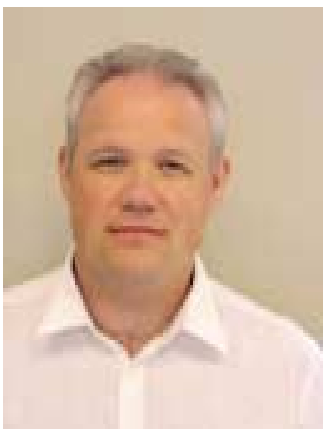


# Fulldautomatisk anlæg med visionstyrede robotter

En effektiv procesoptimering af masseproduktion har kunnet lade sig gøre ved hjælp af omfattende målinger af emnepositionerne i procesforløbet.



▲ Karsten Hartelius.



▲ Nils Hammeken.

## Af projektleder Nils Hammeken, ProInvent A/S og Karsten Hartelius, Videometer A/S

ProInvent A/S har indgået kontrakt med Pressalit A/S om at levere en fleksibel montagelinie til Pressalit A/S med Videometer A/S som visionleverandør. Montagelinien består af ni visionstyrede ABB robotter som fulldautomatisk skal færdigmontere toiletsæt. Anlægget får i alt 31 visionkameraer til identifikation og positionsbestemmelse af emner. Udformningen af montagelinien er dikteret af behovet for hurtig omstilling

pga. små seriestørrelser, lav taktid og økonomi.

### Fleksibilitet i opbygning

Montagelinien er opbygget med automatisk indføding af sæder og låg i hærdeplast fra et mellemvarelager i et kassettesystem. Da emnerne ikke står entydigt bruges vision på alle fire indfødingslinier til at bestemme emnernes position og rotation, før den første robot griber emnerne og placerer dem på transportlinien. Senere i denne artikel har vi valgt at beskrive denne visionopgave i detaljer.

Da sæde og låg ikke er fikserede på fremføringsbåndet under transport findes deres præcise position på hver procesplads - efter fiksering på procespladsen - ved hjælp af visionsystemer. For at opnå tilstrækkelig præcision er visionløsningerne opbygget med flere lavopløsningskameraer, som

analyserer hver deres del af emnerne. På første procesplads monteres plastemner ved hjælp af en montageenhed, som er en kombination af et fleksibelt fødesystem, en robot og et visionsystem.

For at montageenheden kan håndtere alle emner uden omstilling, er der udformet specialgribere til alle robotter og et fødesystem, som ikke har behov for omstilling. Der er en montageenhed til hhv. sæde og låg. På anden procesplads monteres hængsler ved hjælp af montageenheder og robotter, der er forsynet med skruemaskiner. Herefter følger en tom procesplads samt en plads til manuel montage.

På sidste og femte procesplads samles sæde og låg til et sæt, og hængslerne på sæde og låg sættes sammen ved hjælp af bøsninger. Da skiftet mellem forskellige bøsningstyper skal foregå uden fysisk omstilling, er der også her ▶

## Ledningsevne måling



### DFM tilbyder

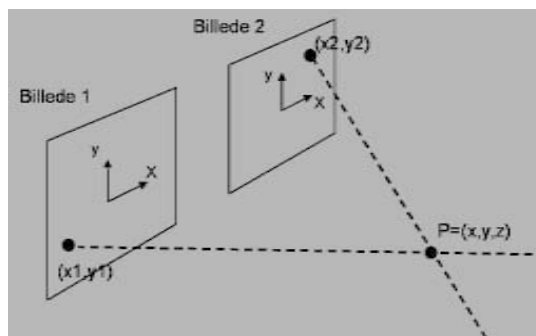
- Elektrolytisk ledningsevne: Måling af opløsninger og salg af certificerede referenceopløsninger
- Kalibrering mod primærnormaler i masse, volumen, længde, elektrisk spænding/modstand, optisk effekt og bølglængde
- Nano metrologi og karakterisering af overflader
- GUM usikkerhedsberegning: Undervisning og salg af software
- Måleteknisk rådgivning og konsulentbistand
- Undervisning i kvalitetsstyring, måleteknik og god vejpraksis

DFM – Dansk Fundamental Metrologi  
Matematiktorvet 307 • 2800 Kgs. Lyngby,  
tlf. 4593 1144 • info@dfm.dtu.dk • www.dfm.dtu.dk



DFM er Danmarks nationale måletekniske institut, som sikrer international anerkendelse af danske måleresultater og kalibreringscertifikater

► *Figur 3. Stereovision princippet. 3D positionen af et punkt  $p$  findes ved at beregne skæring mellem linjerne som punktet danner i to forskudte kamerabilleder.*



valgt en robot til håndteringen. Bøsningerne hhv. hentes i et fødesystem og placeres i indskubningsenheder som begge kan håndtere alle anvendte typer. Endelig kan det færdige toiletsæt sendes videre til pakkemaskinen eller lægges i transportkassetter.

### Simplificeret kommunikation

Kommunikationen mellem enhederne på anlægget foregår ved hjælp af device- og ethernet, mens omstilling styres via recepter og stregkoder.

Foruden robot- og visionstyringer er der en plc til at koordinere kommunikationen og styre alt periferi-udstyr. Da alle motorer, ventiler, I/O, visionpc og robotter er på device- eller ethernet, er kablingen på anlægget simplificeret. Foruden den reducerede kompleksitet betyder det også, at elektrisk støj på anlægget er minimeret.

Anlægget betjenes ved hjælp af en Visual Basic applikation, som er programmeret specielt til opgaven. I denne er der mulighed for at se status på anlægget og

styre det både i manuel og automatisk mode.

Statistik og hændelseslog genereres også af betjeningsinterfacet. For at kunne lægge data i robotterne - uden at skulle stoppe sekvensafviklingen i dem - kommunikerer der med robotterne ved hjælp af WebwareSDK, som er en netværkssoftware fra ABB specielt beregnet til robotterne.

### Visionstyret indfødn

Gribesystemets funktion i indfødn er at gribe emnerne fra kassette-systemet og placere dem på et bånd til videre fremføring. Robotten griber det forreste emne og kassetten rykkes frem i takt, således at gribeområdet er konstant. Emnernes position og orientering varierer meget, når de ankommer i kassetten, men gribningen af emnerne foregår, således at de placeres på samme måde på fremføringsbåndet uanset deres orientering i kassetten. I resten af montage-systemet haves 100 procent kontrol over emnernes position, hvorved man kun behøver at foretage finjuste-

ringer af emnernes position i det videre forløb.

Gribningen af emnerne fra kassetten foregår ved hjælp af en robot, som får 3D positions- og vinkelkoordinater for hvert emne fra et visionsystem. Systemet håndterer 64 forskellige typer sæder og lag af forskellig størrelse og form. Derudover skal systemet håndtere vinkeltolerancer på  $\pm 20$  grader for emnerne samt emner, der står på hovedet (drejet 180 grader). Visionsystemet skal være robust overfor variationer i lysindfald og baggrund. Variationerne i baggrunden skyldes de bagvedliggende og delvist synlige emner i kassetten samt bevægelig mekanik. Krav til mobiliteten af kassettesystem og robot gør, at det er umuligt at afskærme fuldstændigt for baggrundsstøj. *Figur 2* viser to eksempler på emneplaceringer, som skal håndteres af systemet.

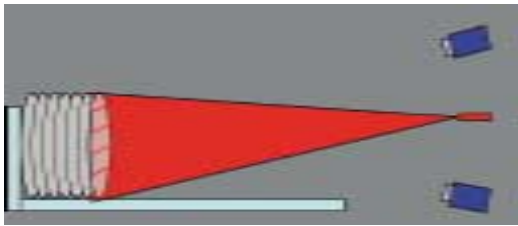
Selve gribningen af emnerne foregår ved hjælp af vakuum, og det er derfor meget vigtigt, at positionen og orienteringen af gribe-hovedet passer præcist med positionen og orienteringen på



▲ *Figur 1. Layoutet på den omtalte maskine. Maskinen måler 20 x 7 m.*

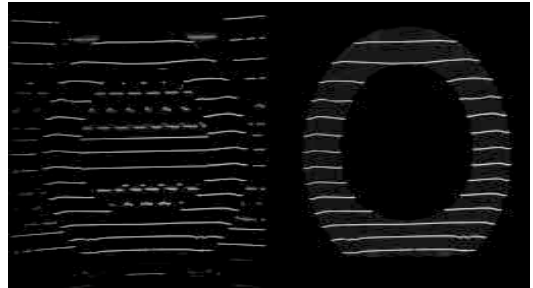


► *Figur 2. Eksempler på placering af toilet-sæde i kassettestation.*



◀ Figur 4. Stereovision opstilling med to kameraer og en laser til opmåling af toiletsæder og låg i kassette.

▶ Figur 5. Toiletsæde placeret i kassettestation belyst med laser-linier. Det venstre billede viser det rå kamerabillede af lasergriddet. Ved hjælp af stereovision beregnes 3D positionen for laserpunkterne. Herefter kan bagvedliggende toilet-sæder samt baggrundsstøj filtreres bort og resultatet er vist i det højre billede.



emnet. I det følgende beskrives 3D-opmålingen og synkroniseringen i robot- og visionsystemet, som er nødvendig for, at alle emner gribes optimalt.

## Stereovision til 3D positionering

Ved hjælp af stereovision kan man ud fra to separate kamerabilleder af det samme objekt skabe et tredimensionelt billede af objektet.

Princippet bag stereovision er følgende (se figur 3). Når man betragter et punkt på et objekt i et enkelt kamerabillede, er det ikke muligt at bestemme punktets dybdeplacering, eftersom punktet beskriver en hel linie af positioner fra kameraet og ud i rummet. Hvis man derimod sammenholder objektpunktets linier fra to kameraer som sidder forskudt i forhold til hinanden, kan man bestemme dybdeplaceringen af objektpunktet som skæringspunktet mellem punktlinierne. Det eneste krav er, at objektpunktet er synligt i begge kamerabilleder.

Anvendelsen af stereovision kræver en to-trins kamera-kalibreringsprocedure. Kameraets linsefortegninger kalibreres først ved hjælp af en intrinsisk (indre) kalibrering. Dernæst kalibreres positionen af de to kameraer i forhold til hinanden samt nulpunktet og orienteringen af verdenskoordinatsystemet vha. en excentrisk kalibrering. Det intrinsiske kalibreringstrin udføres, når man ændrer kameraoptikken. Det excentriske kalibreringstrin udføres, når kameraets position ændres, eller man ønsker at redefinere sit verdenskoordinatsystem.

Kalibrerings-rutinerne indebærer, at man placerer et objekt med fixpunkter foran kameraene. Kalibreringssoftwaren finder dernæst de projicerede positioner af fixpunkterne  $(x_1, y_1)$  og  $(x_2, y_2)$  og beregner et sæt af transformationsparametre.

Præcisionen af de beregnede værdier af  $(x, y, z)$  ud fra  $(x_1, y_1)$  og  $(x_2, y_2)$  er omvendt proportional med afstanden mellem objekt og kameraer og er proportional med afstanden mellem de to kameraer. Stor vinkelafstand giver en bedre tredimensional opfattelse af verden. I praksis er det ofte kravet om, at objektpunkter skal være synlige i begge kamerabilleder, der sætter grænsen for, hvor langt man kan sætte kameraerne fra hinanden.

## Definition af tredimensionelle koordinater

Rent matematisk definerer vi de tredimensionelle koordinater for et objekt punkt  $p$  ved  $(x, y, z)$ . Dette definerer vores verdenskoordinater. Projektionen af  $p$  i kamerabillede 1 defineres ved pixelpositionen  $(x_1, y_1)$ , og projektionen af  $p$  i kamerabillede 2 defineres ved pixelpositionen  $(x_2, y_2)$ .  $(x_1, y_1)$  og  $(x_2, y_2)$  kaldes korresponderende billedpunkter. Ved hjælp af stereovision kan man beregne  $(x, y, z)$  ud fra  $(x_1, y_1)$  og  $(x_2, y_2)$ . Et objekt punkt  $p$ , som man kender verdenskoordinaterne for, kaldes et fixpunkt.

Westerberg Komponenter, specialister inden for:

## Strømsensorer

### ES range:

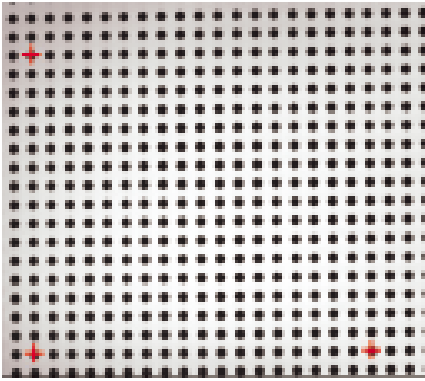
- 100 A to 2000A
  - D.C., A.C., pulsating currents measure
  - Galvanic insulation
  - High accuracy
  - Measure of high current frequency
  - 100% fitted with resin
  - UL or UR
- Ring og hør mere på 70 25 26 50.



Westerberg Komponenter A/S  
Telefon: +45 70 25 26 50  
Telefax: +45 70 25 26 51  
E-mail: info@westerberg.dk  
www.westerberg.dk

Westerberg Komponenty Sp. z o.o.  
+48 32 752 2204  
+48 32 752 0964  
info@westerberg.pl  
www.westerberg.pl





◀ *Figur 6. Kalibreringsplade til robotvision systemet. De sorte prikker anvendes af visionsystemet til at kalibrere positionen af de to kameraer samt orienteringen af verdenskoordinatsystemet. De røde krydser anvendes af robot-systemet til at kalibrere orienteringen af verdenskoordinatsystemet.*

### 3D-positionering af emner i kassettestation

Robottens gribe-position omfatter 3D positionen ( $\text{pos}(x), \text{pos}(y), \text{pos}(z)$ ) samt 3D vinklen ( $\text{rot}(x), \text{rot}(y), \text{rot}(z)$ ) af gribehovedet. I dette afsnit beskrives hvorledes stereovision anvendes til at finde gribe-positionen.

Visionsystemet er placeret for enden af kassettestationen, så kameraerne kigger frontalt ind på det forreste emne i kassetten (se figur 4). Kameraerne er placeret lodret over hinanden og vinklen fra emnerne til kameraerne er ca. 30 grader. Med en pixel-opløsning på  $\pm 1$  mm i (x,y) retningen giver det en fejl på z-positionerne på ca. 2 mm.

Emnerne har pga. deres afrundede form og varierende orientering ikke mange let genkendelige fixpunkter. Derfor anvendes laserlys til at generere hjælpepunkter. Hjælpepunkterne er ikke fixpunkter, da man ikke kender verdenskoordinaterne for dem, men de anvendes til at generere en omtrentlig position for emnet. Laserlyset danner et antal laserlinier på tværs af emnerne og ud fra laserlinierne findes korresponderende pixler og en profil af (x,y,z) værdier for hver laserlinie.

Herudfra isoleres det forreste emne fra baggrunden ved at ekstrahere de stykker af (x,y,z) profilerne, som ligger længst fremme i kassetten. Resten af punkterne filtreres bort, og ud fra de tilbageblivende (x,y,z) punkter haves et delvist omrids af emnet, som kan anvendes til at finde en omtrentlig position og orientering for emnet.

Denne anvendes dernæst til at lokalisere to bufferhuller på hvert emne, der fungerer som fixpunkter. Ud fra fixpunkterne beregnes en nøjagtig og reproducerbar gribe-position for emnet.

### Synkronisering af robotvisionsystemet

For at det samlede robot-vision system kan fungere, skal hvert system synkroniseres til hinanden. Dette gøres ved hjælp af to kalibreringstrin.

Det første trin er et 3D kalibreringstrin, som synkroniserer verdenskoordinat-systemet mellem robot- og visionsystem.

Det andet trin er et teachin-trin, som fastlægger et emnetype-specifikt offset mellem visionsystemets beregnede emneposition og den optimale gribe-position for robotten.

3D kalibreringen af systemet foregår på følgende måde:

- Operatøren sætter en kalibreringsplade foran kameraerne.
- Kameraerne tager et billede af kalibreringspladen og fastlægger verdenskoordinatsystemet ud fra de sorte prikker, som udgør et sæt af ækvidistante fixpunkter (se figur 6).
- Robotten bevæges automatisk hen i nærheden af kalibreringspladen.
- Operatøren teacher de tre røde krydser på kalibreringspladen, som bestemmer verdenskoordinatsystemets orientering og nulpunkt, hvorefter kalibreringen er færdig.

Teachin proceduren er:

- Operatøren placerer et emne i måleområdet.
- Visionsystemet bestemmer emnets position og orientering.
- Robotten kører til et punkt tæt på emnet.
- Operatøren kører til det ønskede kontaktpunkt manuelt og gemmer punktet.
- Systemet beregner og gemmer offset-positionen og offset-vinklen.

3D-kalibreringen er system-af-

hængig og skal derfor fastlægges for hver enkelt kassettegribningsstation.

Emnekalibreringen skal derimod kun foretages een gang for hvert emne og kan efterfølgende anvendes på forskellige kassettegribningsstationer.

### Perspektiver

En montageenhed bestående af fleksibelt fødesystem, robot og vision er velegnet til mange applikationer, da det samme system kan håndtere forskellige emner uden omstilling.

Der er god økonomi i at automatisere produktion og montage på den her beskrevne måde, fordi der kan omstilles til andre produkter uden skiftetid. Tidligere var det ikke muligt pga. for små serier.

### Mini CV

*Nils Hammeken* er civilingeniør fra DTU med konstruktionssteknik som speciale og har siden 1994 udviklet automatiseringsløsninger. Han har været ansat som projektleder hos *ProInvent A/S* siden 2001, og har tidligere konstrueret og programmeret maskiner.

*Karsten Hartelius* har været ansat som projektleder hos *Videometer A/S* siden januar 2004 og arbejder primært med udvikling af visionsystemer til 3D-opmåling, robot-vision samt visuel inspektion. Han har tidligere været beskæftiget med udvikling af skannersystemer hos *Via Vision A/S*. Karsten Hartelius har en Ph.D. i statistisk billedanalyse fra Danmarks Tekniske Universitet i 1996.