ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΟΡΑΣΗΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΥ ΧΡΟΝΟΥ iMS (INLINE MEASUREMENT SYSTEM)

ΔΡ. Ε.Α. ΚΑΡΑΜΠΑΣΗ[1], ΔΡ. Ι. ΠΑΝΤΑΖΟΠΟΥΛΟΣ[1], ΔΡ. Κ. ΒΟΛΙΩΤΗΣ[1], ΔΡ. Χ. ΤΑΣΑΚΟΣ[2]
ΙΝΟΣ ΕΛΛΑΣ, ΠΑΠΑΓΟΥ 6, 15701 ΖΩΓΡΑΦΟΥ
INOS AUTOMATIONSSOFTWARE GMBH, CURIERSTRASSE 4, 70563 STUTTGART
e-mail: E.Karabassi@inos-automation.de

Η εταιρεία inos δραστηριοποιείται στους τομείς της μετρολογίας, του ποιοτικού ελέγχου βιομηχανικής παραγωγής και της ρομποτικής. Η εταιρεία έχει εδραιωθεί στη Γερμανική αυτοκινητοβιομηχανία και στους πελάτες της συμπεριλαμβάνονται οι AUDI, DaimlerChrysler, Porsche κα. Το 2004 η εταιρεία τιμήθηκε με το διεθνές βραβείο Vision Award 2004, για το σύστημα inos iMS (inline measurement system).

Το iMS έχει αναπτυχθεί από την inos σε διάστημα αρκετών ετών και προσαρμόστηκε στις πραγματικές ανάγκες της βιομηχανίας μέσα από τη συνεργασία με την εταιρεία παραγωγής οροφών αυτοκινήτων CarTopSystems Fahrzeug-Dachsysteme GmbH. Πρόκειται για ένα σύστημα που συνδυάζει με αποτελεσματικότητα ένα σύνολο ευφυών οπτικών αισθητήρων, πρωτότυπους αλγορίθμους μετρολογίας και μεθόδους επεξεργασίας των μετρήσεων, το οποίο αποτελεί τη βάση για την ανάπτυξη εφαρμογών ευέλικτου ποιοτικού ελέγχου, σε πραγματικό χρόνο.

Το iMS μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την πραγματοποίηση μετρήσεων στη γραμμή παραγωγής καθώς το αντικείμενο βρίσκεται σε κίνηση, ενώ τα αποτελέσματα ελάχιστα επηρεάζονται από θερμοκρασιακές μεταβολές, μεταβολές φωτισμού ή διαφορές στο χρώμα του αυτοκινήτου. Οι προϋποθέσεις αυτές είναι απαραίτητες για την αξιόπιστη λειτουργία ενός συστήματος ελέγχου κατά την κατασκευή εξαρτημάτων υψηλής ποιότητας στην αυτοκινητοβιομηχανία. Το σύστημα επιτρέπει τη συνεχή παρακολούθηση της διαδικασίας παραγωγής, τον έγκαιρο εντοπισμό πιθανών προβλημάτων και την ανά πάσα στιγμή πιστοποίηση της ποιότητας με τη χρήση των στατιστικών εργαλείων της inos.

Στα πλαίσια της λειτουργίας του iMS στις εγκαταστάσεις της CarTopSystems, το σύστημα δοκιμάζεται σε καθημερινή βάση, σε πραγματικές συνθήκες παραγωγής, για περισσότερο από ένα χρόνο. Τα παραγόμενα εξαρτήματα ελέγχονται σε ένα σύνολο σημείων ενδιαφέροντος και οι έλεγχοι περιλαμβάνουν διαφορετικά χαρακτηριστικά ανά σημείο, όπως μετρήσεις διακένου (gap/flush) ή μετρήσεις σημείων σε επιφάνεια κατά μήκος συγκεκριμένων τομών. Εξασφαλίζεται ακρίβεια μέτρησης της τάξης του 0,1 mm, καλύπτοντας συνολικά ένα χώρο διαστάσεων 4m x 3m x 2m, με ταχύτητα κίνησης της γραμμής παραγωγής 3-12 m/min, ενώ η χρήση του συστήματος είναι δυνατή από μη εξειδικευμένο προσωπικό.

Λέξεις-Κλειδιά:μετρήσεις σε μικροκλίμακα, μετρήσεις πραγματικού χρόνου, οπτικοί αισθητήρες, αυτοκινητοβιομηχανία

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο χώρος της αυτοκινητοβιομηχανίας είναι από τους πλέον απαιτητικούς όσον αφορά το συνδυασμό μεγάλου όγκου παραγωγής με τη μέγιστη δυνατή κατασκευαστική αξιοπιστία. Οι στόχοι αυτοί δεν είναι δυνατό να επιτευχθούν παρά μόνο μέσα από ένα σύνολο πλήρως αυτοματοποιημένων διαδικασιών και τη χρήση αυστηρών συστημάτων ποιοτικού ελέγχου σε όλα τα στάδια της παραγωγής.

Ο ποιοτικός έλεγχος στη διαδικασία κατασκευής ενός αυτοκινήτου αφορά τόσο στην ακρίβεια κατασκευής των επιμέρους εξαρτημάτων όσο και στη συναρμολόγηση τους, ώστε να εξασφαλίζεται η πιστή αναπαραγωγή του αρχικού βιομηχανικού σχεδίου (CAD). Οι συνήθεις προδιαγραφές αυτών των εφαρμογών περιλαμβάνουν:

- ακρίβεια της τάξης του 0,1 mm,
- δυνατότητα μετρήσεων εν κινήσει,
- χρήση των συστημάτων από μη εξειδικευμένο προσωπικό,
- δυνατότητα στατιστικής επεξεργασίας

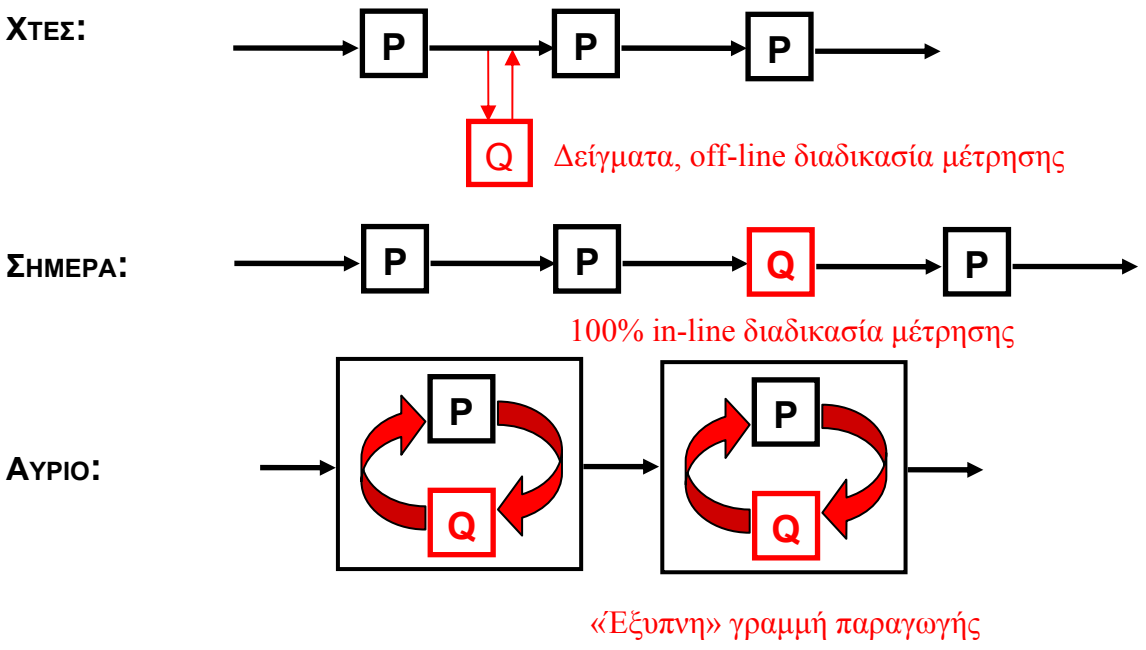
Μέχρι πρόσφατα, ο ποιοτικός έλεγχος είχε αποκλειστικά τη μορφή δειγματοληψίας: Αυτοκίνητα απομακρύνονταν από τη γραμμή παραγωγής ώστε να μετρηθούν στο ειδικό εργαστήριο. Σήμερα, η χρήση νέων τεχνολογιών καθιστά δυνατή τη μέτρηση όλων των παραγόμενων αυτοκινήτων στη γραμμή παραγωγής. Ο στόχος για το μέλλον είναι ο έλεγχος να είναι δυνατός σε όλα τα στάδια της κατασκευής και να επιτρέπει την έξυπνη και αυτόματη αναπροσαρμογή της γραμμής παραγωγής όταν εντοπίζονται συστηματικά προβλήματα (ΣΧΗΜΑ 1).

Η εταιρεία inos ιδρύθηκε με στόχο να ανταπεξέλθει σε αυτές τις συνεχώς αυξανόμενες απαιτήσεις της αυτοκινητοβιομηχανίας και ένας από τους κύριους τομείς της δραστηριότητας της είναι τα συστήματα μετρολογίας, με χρήση οπτικών αισθητήρων. Στη συνέχεια θα παρουσιάσουμε την πλατφόρμα iMS (inline measurement system), που έχει σχεδιαστεί για τη διεξαγωγή και επεξεργασία μετρήσεων στη γραμμή παραγωγής.

2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Το σύστημα iMS προσφέρει μια ολοκληρωμένη εφαρμογή της τεχνολογίας μετρολογίας με την βοήθεια οπτικών αισθητήρων, σε όλους τους τομείς συναρμολόγησης οχημάτων καθώς και σε άλλους τύπους εφαρμογών. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως στατικός εξοπλισμός πραγματικού χρόνου, πάνω σε ρομποτικό βραχίονα ή και σαν offline σύστημα μέτρησης.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων λαμβάνονται με τη βοήθεια ενός συνόλου οπτικών αισθητήρων (κάμερες και laser) και αναλύονται από ένα σύστημα επεξεργασίας εικόνας, όπου οι θέσεις, τα σημεία ενδιαφέροντος ή τα διάφορα γεωμετρικά χαρακτηριστικά μπορούν να μετρηθούν. Τα αποτελέσματα αποθηκεύονται σε μία βάση δεδομένων και εμφανίζονται στις οθόνες μιας συστοιχίας σταθμών απεικόνισης αποτελεσμάτων.



ΣΧΗΜΑ 1- Η εξέλιξη του ποιοτικού ελέγχου στην αυτοκινητοβιομηχανία

3. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Τα χαρακτηριστικά του iMS περιλαμβάνουν:

- διεξαγωγή διαδοχικών μετρήσεων μέσα στη γραμμή παραγωγής (100% in-line)
- δυνατότητα μέτρησης ενώ το αντικείμενο βρίσκεται εν κινήσει
- υψηλή ακρίβεια μέτρησης της τάξης του 0,1 mm
- μέτρηση αντικειμένων κάθε χρώματος και διαφορετικών υλικών (μέταλλο, πλαστικό, ύφασμα)
- αυτοματοποιημένες διαδικασίες που δεν απαιτούν ανθρώπινη παρέμβαση κατά τη μέτρηση
- εύκολο χειρισμό από μη εξειδικευμένο προσωπικό
- άμεσο εντοπισμό των ελαττωματικών κομματιών
- δυνατότητα μαζικής επεξεργασίας των μετρήσεων και σύγκριση των δεδομένων σε διαφορετικά στάδια της παραγωγής, ώστε να διαπιστωθούν εγκαίρως προβλήματα στη γραμμή παραγωγής
- μεγάλη ποικιλία αισθητήρων και εύκολη ενσωμάτωση νέων, ώστε να υπάρχει εύκολη προσαρμογή του συστήματος στις ανάγκες κάθε εφαρμογής

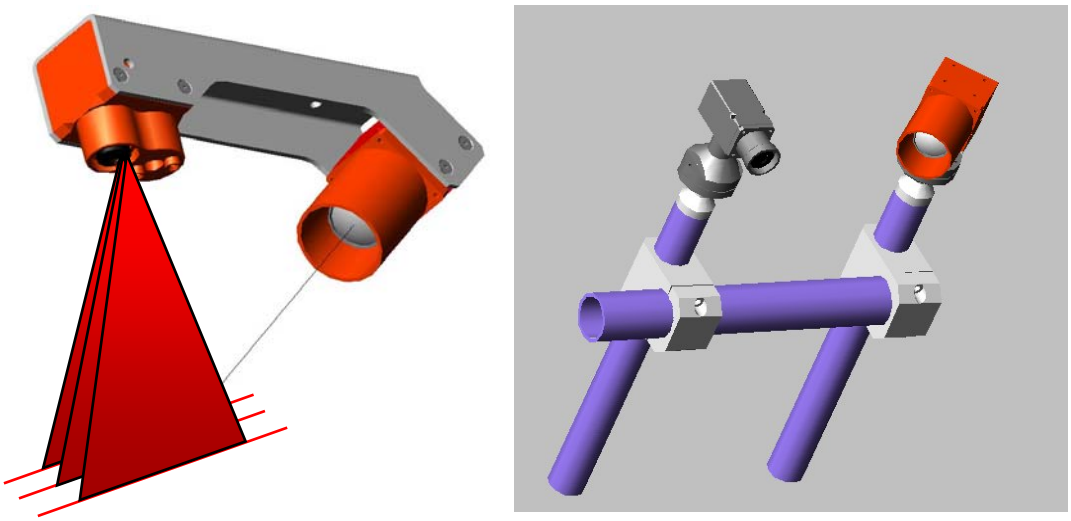
ΣΧΗΜΑ 2- Παραδείγματα εγκαταστάσεων του iMS

4. ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ

Όλες οι μετρήσεις στο iMS διεξάγονται με χρήση οπτικών αισθητήρων, ώστε να μην απαιτείται αλληλεπίδραση με το αντικείμενο της μέτρησης. Οι οπτικοί αισθητήρες της inos χωρίζονται σε τρεις κύριες κατηγορίες:

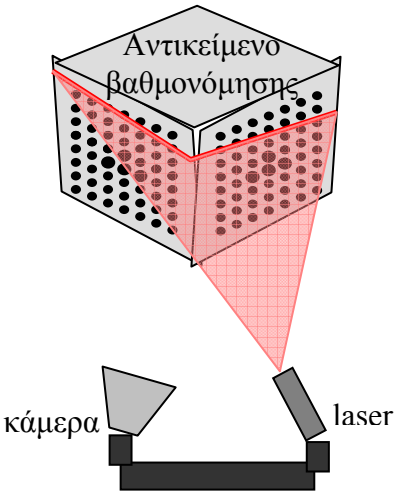
- Αισθητήρες αποτελούμενοι από μία κάμερα. Οι αισθητήρες αυτοί επιτρέπουν τον εντοπισμό και τη μέτρηση αντικειμένων σε 2 διαστάσεις.
- Αισθητήρες αποτελούμενοι από δύο κάμερες (stereo pair), οι οποίοι επιτυγχάνουν τον εντοπισμό και τη μέτρηση χαρακτηριστικών στις 3 διαστάσεις.
- Αισθητήρες που χρησιμοποιούν συνδυασμό κάμερας και laser. Ανάλογα με την εφαρμογή το χρησιμοποιούμενο laser μπορεί να προβάλει ένα σημείο, μία ή περισσότερες γραμμές ή κάποιον άλλο συνδυασμό. Οι αισθητήρες αυτοί επιτρέπουν μέτρηση σε 2 ή 3 διαστάσεις.

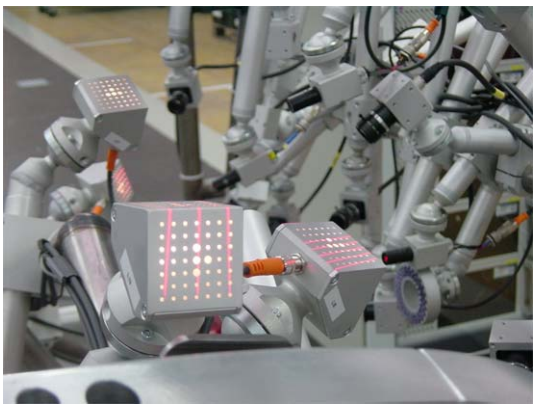
Όλοι οι αισθητήρες διακρίνονται σε δύο τύπους: αισθητήρες σταθερής γεωμετρίας (iSens) οι οποίοι παραδίδονται έτοιμοι προς χρήση, και σε αισθητήρες ελεύθερης γεωμετρίας (DNS) οι οποίοι μπορούν εύκολα να προσαρμοστούν σε δύσκολες τοπολογίες, αλλά απαιτούν ρύθμιση στο εργοστάσιο (ΣΧΗΜΑ 3).



ΣΧΗΜΑ 3- Αισθητήρες iSens (αριστερά) και DNS (δεξιά).

Για όλους τους σένσορες της inos είναι δυνατή η διαδικασία βαθμονόμησης (calibration), ώστε να καταστεί εφικτή η αξιόπιστη μέτρηση σε πραγματικές διαστάσεις. Η διαδικασία επιτυγχάνεται με ένα συνδυασμό καθιερωμένων αλγορίθμων [1] και ειδικών μεθόδων που έχουν αναπτυχθεί από την εταιρεία [2]. Η χρήση ειδικών αντικειμένων και διατάξεων βαθμονόμησης επιτρέπει το συσχετισμό των μετρήσεων με κάποιο γνωστό σύστημα συντεταγμένων .





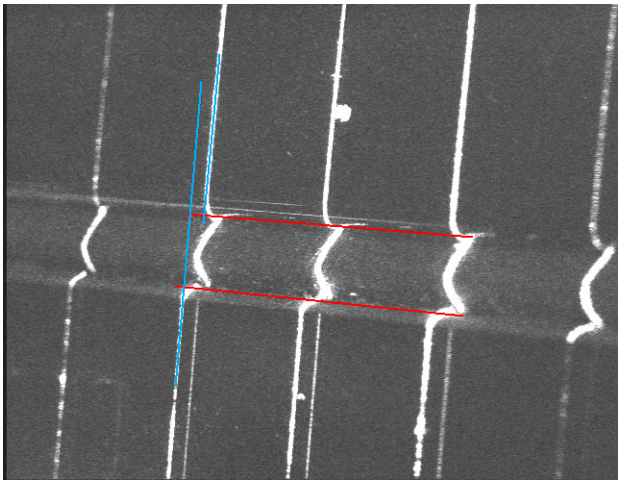
ΣΧΗΜΑ 4- Βαθμονόμηση αισθητήρων laser

5. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

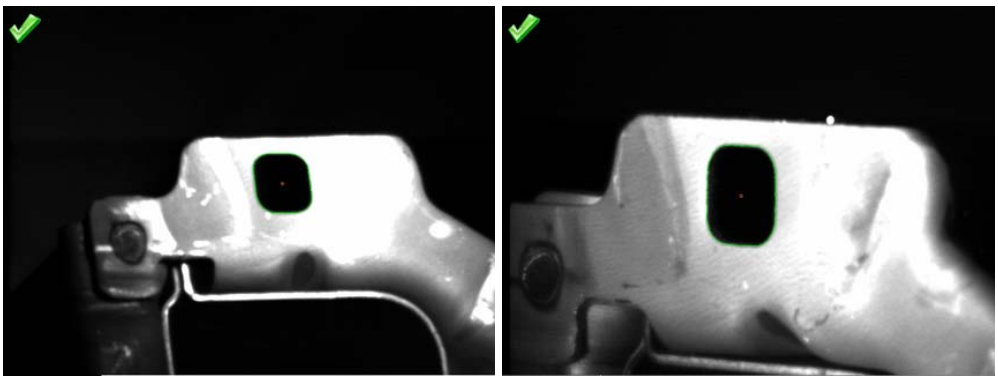
Οι μετρήσεις στη γραμμή παραγωγής αφορούν σε δύο κύριες κατηγορίες: έλεγχο της σωστής κατασκευής μεμονωμένων χαρακτηριστικών και έλεγχο της σχετικής θέσης των διαφόρων τμημάτων. Χαρακτηριστικά παραδείγματα εφαρμογών του iMS είναι:

- Ο υπολογισμός των διακένων στις πόρτες του οχήματος (διάκενο και υψομετρική διαφορά ανάμεσα στην πόρτα και το αμάξωμα). Η μέτρηση αυτή γίνεται είτε με χρήση αισθητήρων laser μίας ή πολλαπλών γραμμών, είτε με μία εξειδικευμένη διάταξη καμερών και ειδικών λαμπτήρων υπέρυθρης ακτινοβολίας (ΣΧΗΜΑ 5).
- Η μέτρηση της θέσης και των διαστάσεων οπών (κύκλοι, παραλληλόγραμμα, ελλείψεις κ.ά.) στο αμάξωμα με χρήση μεθόδων στερεοσκοπίας [3] (ΣΧΗΜΑ 6).
- Η επιβεβαίωση της σωστής θέσης ιδιαίτερων χαρακτηριστικών του οχήματος, όπως η άκρη από τα πλαϊνά φτερά, είτε με στεροσκοπικές μεθόδους είτε με αισθητήρες laser πολλαπλών γραμμών.
- Η μέτρηση κάποιων διαστάσεων του οχήματος σε συγκεκριμένες τομές οριζόμενες από τα CAD (π.χ. εύρεση του ύψους του φτερού σε συγκεκριμένο σημείο), με αισθητήρες laser.
- Ο έλεγχος ταύτισης μίας επιφάνειας με την CAD αναπαράστασή της [4]. Η υπό εξέταση επιφάνεια ανακατασκευάζεται με τη βοήθεια αισθητήρων laser που παράγουν μεγάλο αριθμό γραμμών.

Για τη διεξαγωγή των παραπάνω μετρήσεων έχει αναπτυχθεί ένα σύνολο εξειδικευμένων αλγορίθμων επεξεργασίας εικόνας και μετρολογίας. Το ζητούμενο είναι η δυνατότητα μέτρησης ακόμη και παρουσία σημαντικού θορύβου (κυρίως από εξωτερικές μεταβλητές πηγές φωτισμού στο χώρο του εργοστασίου), σε μικρό χρόνο με τη μέγιστη δυνατή ακρίβεια και επαναληψιμότητα.



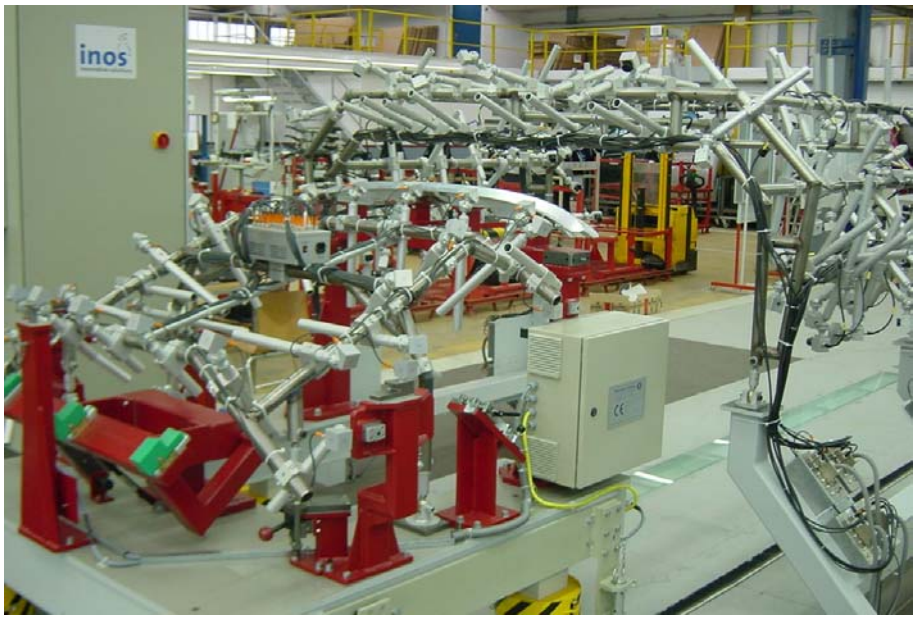
ΣΧΗΜΑ 5- Μέτρηση διακένου ανάμεσα σε δύο επιφάνειες



ΣΧΗΜΑ 6- Μέτρηση οπής

6. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΧΡΗΣΗΣ

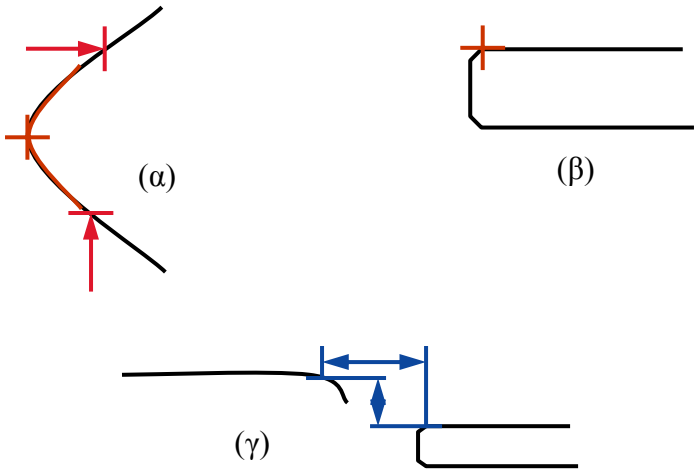
Μία εκ των πιλοτικών εφαρμογών χρήσης του iMS (iMS ABSolut) περιλαμβάνει τη διεξαγωγή απόλυτων και συσχετισμένων μετρήσεων (μέτρηση στο σύστημα συντεταγμένων του CAD μοντέλου) σε μεγάλα αντικείμενα. Το σύστημα λειτουργεί στις εγκαταστάσεις της CarTopSystems Fahrzeug-Dachsysteme GmbH, η οποία κατασκευάζει οροφές αυτοκινήτων. Το σύστημα χρησιμοποιείται για τον ποιοτικό έλεγχο στο τέλος της γραμμής παραγωγής (end-of-line quality assurance).



ΣΧΗΜΑ 7- Εγκατάσταση του iMS σε εργοστάσιο της CTS.

Οι μετρήσεις που διεξάγονται περιλαμβάνουν (ΣΧΗΜΑ 8):

(α) Μέτρηση μεμονωμένων σημείων (προσομοίωση λειτουργίας Coordinate Measurement Machine).
(β) Μέτρηση θέσης ακμής (απόλυτη μέτρηση).
(γ) Μέτρηση διακένου (σχετική μέτρηση).
(δ) Συσχετισμός με CAD μοντέλο (CAD contour fitting).



ΣΧΗΜΑ 8- Παραδείγματα μετρήσεων

Οι στόχοι της εφαρμογής, οι οποίοι και εκπληρώθηκαν, είναι:

- Μέτρηση εν κινήσει (ταχύτητα της γραμμής παραγωγής 3-12 m/min).
- Κάλυψη χώρου διαστάσεων 4m x 3m x 2m

- Απόλυτη ακρίβεια ± 0,1 mm
- Σταθερότητα μετρήσεων, ανεξάρτητα από χρώμα, θερμοκρασία και φωτισμό περιβάλλοντος
- Συνεχής λειτουργία
- Εύκολη χρήση

Το 2004 η εταιρεία τιμήθηκε με το βραβείο **"**Prize for Applied Machine Vision" στη διεθνή έκθεση Vision 2004 [5], για τη συγκεκριμένη εφαρμογή.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] Roger Y. Tsai, "A versatile Camera Calibration Technique for High-Accuracy 3D Machine Vision Metrology Using Off-the-Shelf TV Cameras and Lenses", IEEE Journal of Robotics and Automation, RA-3(4),1987, 323-344.

[2] Patent pending, EU 03 023 402.5

[3] Long Quan, Conic Reconstruction and Correspondence From Two Views, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 18(2), 1996, 151-160.

[4] Paul J. Besl, Neil D. McKay, "A Method for Registration of 3-D Shapes", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence,14(2), 1992, 239-256.

[5] http://www.inos-automation.de/news_e.htm