



"LUCIAN BLAGA" UNIVERSITY OF SIBIU

Syed Usama Khalid Bukhari

DOCTORAL THESIS

(Summary)

**COMPUTER VISION APPLICATIONS
IN INDUSTRIAL ENGINEERING**

**PhD. Advisor:
Rector Prof. Dr. Ing. Ioan BONDREA**

1 Abstract

Europa este considerată locul de naștere al revoluției industriale. Războaiele din Europa (primul și cel de-al doilea război mondial) au fost principalele motoare ale sistemului de verificare a calității. În zilele noastre, calitatea este un criteriu primordial pentru considerarea orice produs. Un sistem de asigurare a calității QA, care asigură o acuratețe de 100%, este obiectivul pe care orice companie dorește să-l obțină. Acest fapt împinge companiile să consume resurse consistente pentru a obține o calitate mai bună. Odată cu sporirea avansului tehnologic, utilizarea QA a crescut în domeniul industrial, astfel, companiile au observat că automatizarea proceselor a dat rezultate rapide, sigure și eficiente din punctul de vedere al costurilor.

Un scenariu asemănător implică și compania “Continental AG”, a cărei scop este să își crească producția de unități de control DQ 200 TCU, automatizând sistemul de inspecție. Deoarece compania vrea să-și păstreze configurația hardware actuală și nu dorește să investească într-un sistem de viziune artificială industrial, o temă de cercetare a fost propusă, motivând astfel prezenta lucrare.

Această teză începe cu un studiu sistematic al tehnologiilor de viziune artificială, ce sunt folosite pentru a ușura controlul și instruirile muncitorilor în mediul industrial. O imagine detaliată a sistemului existent, a cerințelor companiei, a limitărilor practice și a provocărilor în urma utilizării tehnologiei existente, au dus la o întrebare de cercetare explicită “poate fi dezvoltat un sistem rapid și fiabil de inspecție al calității bazat pe viziune artificială, fără a aduce schimbări infrastructurii curente?”

La această întrebare s-a răspuns printr-un framework ce propune două sisteme paralele de inspecție: 1) un sistem bazat pe realitate augmentată; 2) un sistem de inspecție automatizat în totalitate. Modul de funcționare al ambelor sisteme este descris în detaliu în următorul capitol al tezei.

*În final, framework-ul propus a fost testat, iar rezultatele sunt prezentate sub formă de studii de caz și experimente ce au utilizat peste **30.000 de imagini**. Teza se*

încheie prin concluzii, limitări și posibile îmbunătățiri ulterioare ce pot fi aduse acestei lucrări.

2 Introducere

Gradul de conștientizare a esenței și profitabilității în ceea ce privește asigurarea calității a venit la timp său. Europa este considerată ca fiind locul de naștere al revoluției industriale; războaiele din Europa (primul și al doilea război mondial) au devenit principalele motive pentru a avea un control adecvat asupra calității. După al doilea război mondial, când Japonia și-a dezvoltat industria, un accent deosebit a fost pus pe calitatea produsului, astfel companiile europene și americane au intrat în noi crize. Companii necunoscute au dominat unele bine-cunoscute companii europene și americane. Cei care au reușit să supraviețuiască au pierdut cote uriașe pe piață și au intrat într-o nouă criză financiară. În cele din urmă, companiile din întreaga lume au învățat importanța calității unui produs și a consolidării încrederii clienților.

În zilele noastre, calitatea este principalul criteriu de judecată a oricărui produs. Acest lucru împinge companiile să cheltuiască sume considerabile de resurse pentru a realiza o mai bună calitate. Pe măsură ce domeniul computer vision și machine learning au prins maturitate și costurile procesării bazate pe computer a scăzut, majoritatea companiilor au început migrarea inspecției bazată pe oameni la cea vision based.

Studiul prezentat în această teză este legat de un scenariu; în cazul în care un sistem de control bazat pe om recuperează, pentru a crește productivitatea.

Continental AG, cunoscut sub numele de **Continental** este o companie Germană de produse automotiv de top. Sistemul de asigurare a calității, care este necesar să fie reformat aparține liniei de producție a unității de control DQ200 TCU, adică o îmbunătățire în ceea ce privește timpul de asigurare a calității este necesară după placa este trecută prin procesul de lipire.

Deoarece compania vrea să păstreze configurația hardware actuală și nu dorește să investească într-un sistem vision complet, o nouă întrebare de cercetare este ridicată.

Q: “Poate fi dezvoltat un sistem rapid și fiabil de inspecție al calității vision-based, fără a aduce schimbări infrastructurii curente?”

3 Structura Tezei:

Teza este structurată după cum urmează:

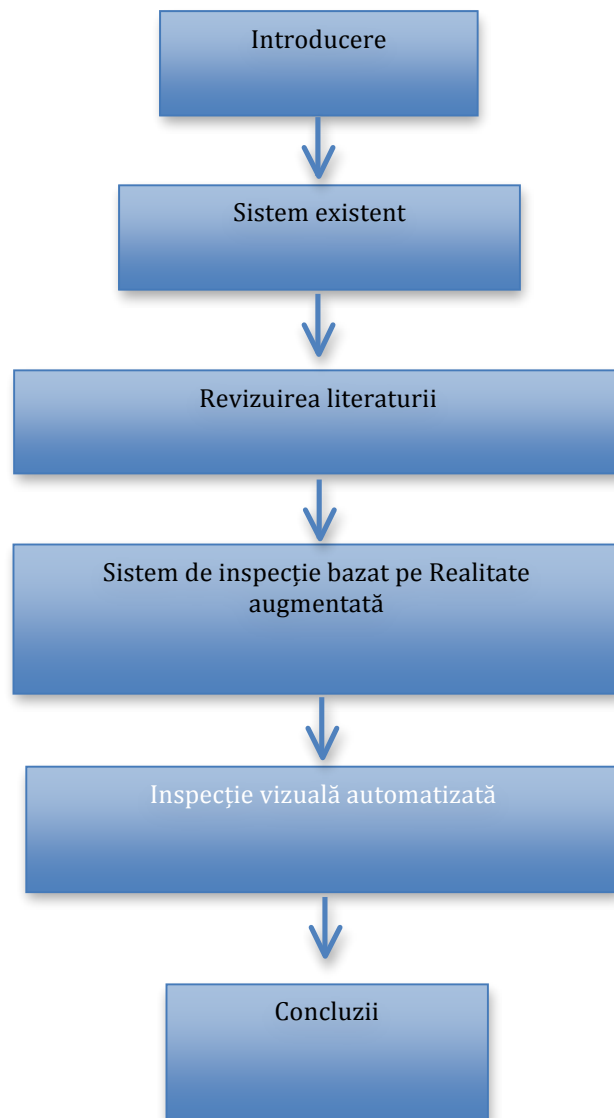


Figura 1 Structura tezei

Capitolul 1 conține o scurtă istorie de utilizare a computer vision în mediul industrial din 1930 până în prezent. Capitolul evidențiază evenimentele și invențiile cheie și importante realizate în industrie, folosind tehnologia computer vision. După prezentarea perspectivelor industriale asupra sistemelor vision în mediile industriale, sunt identificate punctele cheie pentru de cercetări suplimentare.

- *Sistemele Vision sunt esențiale pentru inspecția calității în industrie datorită unui număr de beneficii tangibile și intangibile.*
- *Dezvoltarea unui sistem vision personalizat necesită mai puține resurse și are mai multe șanse de succes.*
- *Proiectarea unui sistem de vision are nevoie de un control total asupra software-ului și hardware-ului.*

Aceste descoperiri au dus la obiectivele cercetării, care este urmată de întrebarea principală. **"Poate un sistem vision based fi dezvoltat rapid și fiabil de inspecție a calității, fără a face nici o modificare în infrastructura curentă."**

Viitorul capitol explică metodologiile de cercetare și structura tezei.

În **capitolul 2** modul de lucru al sistemului existent este explicat cu motivele și schimbările ce trebuie aduse acestuia. Analiza în detaliu a limitărilor funcționale și non-funcționale au fost identificate și discutate. Un model matematic de calcul al productivității este dezvoltat pentru a estima producția sistemului curent. În finalul capitolului un sistem în două etape, este propus.

Capitolul 3 este împărțit în două secțiuni principale 1) Înțelegerea utilizării sistemului automat de inspecție vizuală (AVI) pentru controlul calității pe liniile de producție a plăci cu circuite imprimate (PCB). 2) Înțelegerea realității augmentată (AR) și modul în care este folosită pentru a ajuta un mediu industrial.

Studii științifice sunt efectuate în detaliu pentru ambele sisteme AVI și AR în mediul industrial, urmate de o analiză critică. În cele din urmă principalele concluzii sunt extrase și discutate din ambele sondaje.

În **capitolul 4** modul de lucru al modulului AR al sistemului propus este discutat în detaliu. Pentru rezultate analitice, studii de caz sunt efectuate și prezentate în acest capitol. O comparație între sistemul existent și sistemul AR este prezentat apoi arătând părțile pozitive și negative ale utilizării sistemului AR, în scenariul dat.

În **capitolul 5** o explicație a sistemului vizual de control automat, împreună cu cerințele fiecărei imagini, criteriile lor de control, precum și soluțiile pentru acestea sunt discutate în detaliu. Rezultatele sunt adunate folosind 30.000 de imagini și apoi aceste rezultate sunt comparate cu sistemul existent și sistemul AR utilizând modelul matematic de calcul de producție.

Capitolul 6, a concluzionat teza, prin rezumarea acesteia, subliniind constatările cheie, contribuțiile și activitățile viitoare.

4 Extrase ale studiului

Următoarele informații cheie au fost extrase din cercetările prezentate în această teză:

- Nevoia tot mai mare de a automatiza sistemele de asigurare a calității în industrie este în creștere.
- Analiza literaturii de specialitate arată o creștere a utilizării de realitate augmentată într-un mediu industrial.
- Din cauza diferite scenarii și medii, sisteme AVI personalizate sunt necesare pentru a obține rezultatele dorite.
- În capitolul 4, rezultatele studiilor de caz arată că, cu o scurtă pregătire și utilizare a realității augmentată, rezultate bune pot fi obținut chiar și de la un nou utilizator.
- Computer vision and machine learning have evolved to such a degree that even in a scenario, where control to change or to modify image acquiring system is not possible, however a customized AVI system can be built on a standard laptop, which has the ability to learn and evolve with time.
- Computer vision și machine learning au evoluat într-o așa măsură încât chiar și într-un scenariu, în care controlul pentru a schimba sau a modifica sistemul de dobândire a imaginii nu este posibilă, cu toate acestea un sistem AVI personalizat poate fi construit pe un laptop standard, care are capacitatea de a să învâța și evolua în timp.
- Un sistem AVI sau AR poate crește dramatic productivitatea în domeniul asigurării calității.

5 Limitări ale cercetării

Următoarele sunt principalele limitări ale procesului utilizat în activitatea de cercetare:

Reflecție asupra studiilor de caz și limitările acestei cercetări

- Studii de caz au fost efectuate pentru a obține rezultatele sistemului AR. Pe măsură ce eșantionul studiului de caz au fost limitate, rezultatele generate de acestea sunt doar o estimare aproximativă a comportamentului uman; Este nevoie de o desfășurare reală a sistemului pentru a obține rezultate precise.
- În sistemul AR, cum, unde și ce informații sunt afișate pe monitor este decisă de către o singură persoană. Prin urmare, nici o optimizare de afișare a informațiilor nu a fost realizată. O astfel de activitate necesită cercetare adecvată.

Reflecție asupra studiilor experimentale și limitările lor

- Sistemul AVI a fost dezvoltat cu o limitare de nu avea control asupra sistemului general. Un anumit control asupra câtorva variabile pot da rezultate semnificativ mai bune. Mediu, iluminat, capacitatea de a adăuga hardware nou și o imagine achiziționată
- AVI system was tested using a non-dedicated machine, with non-optimized code and a limited data set. A dedicated machine with optimized code and access to an increased amount of data can give much better results.
- Sistemul AVI a fost testat folosind o mașină de bază non-dedicată, cu cod neoptimizat și set de date limitate. O mașină dedicată cu cod optimizat și acces la o cantitate mai mare de date poate da rezultate mult mai bune.
- Datele cu care a fost instruit sistemul propus, nu conțineau informații despre greșelile făcute de muncitori calificați. De exemplu, în cazul în care un muncitor calificat a respins o placă, care nu a avut nici o eroare sau acceptat o placă, care a avut defecte în ea. Prin urmare, sistemul după ce a învățat acel set de date este, de asemenea, predispus la a face anumite erori.

6 Contribuții de cercetare

Principalele contribuții ale acestei cercetări pot fi împărțite în trei mari categorii: contribuție teoretică, contribuție practică și contribuție științifică. Figura 6.1 ilustrează fluxul evenimentelor și conexiunile lor pentru a îndeplini obiectivul general al cercetării. Acestea sunt discutate mai detaliat în următoarele subsecțiuni.

6.1 Contribuția teoretică

Teoria a fost dezvoltată pentru a arăta nevoia, utilizarea și limitarea sistemelor de control al calității în industrie.

- **Perspectiva industriei:** Capitolul 1 prezintă perspectiva industrială, care prezintă sisteme de vedere actuale de utilizare a acestora, limitări și cerințe viitoare în industrie, în special în domeniul inspecției calității. Punctele cheie sunt identificate pentru a aduna orientările privind progresele viitoare în domeniu.
- **Cunoașterea domeniului de aplicare:** Capitolul 2 a prezentat o problemă industrială orientată în timp real, cu cunoștințe de detaliu a sistemului existent și pentru identificarea sarcina exacte. Aceasta oferă o perspectivă a nevoilor industriale actuale.
- **Concentrat și literatura de specialitate sistematică:** trei analize detaliate din literatura de specialitate sistematice sunt efectuate pentru capitolul 3. Primul studiu oferă o vedere asupra utilizării computer vision în domeniul industriei de automobile. Studiul a cuprins peste 70 de lucrări de cercetare științifică și cărți de referință. Acesta este publicat apoi întrun conferință la universitate [*1st International Conference for Doctoral Students IPC 2013, Pagina 294*]. Al doilea studiu oferă o privire de ansamblu în detaliu de utilizare a sistemului AVI în mediul industrial. O lucrare științifică este generată folosind acest studiu și în prezent este în proces de revizuire. Al treilea studiu oferă o supraveghere a tehnologiei AR și utilizarea acesteia în mediul industrial. Ambele studii au peste 40 de cercetări și cărți ca referințe. De asemenea,

studiul al treia este transformat într-o publicație de cercetare și în prezent este în proces de revizuire al unui jurnal de renume. Aceste revizuri sunt una dintre principalele contribuții, deoarece acestea nu numai că reafirma perspectiva industrială, dar, de asemenea, oferă o imagine de ansamblu detaliată a cercetării academice și industriale.

Această contribuție teoretică a dus la procesul de gândire cu privire la modul de rezolvare a problemei de față, ceea ce a dus la proiectarea unei soluții de automatizare în două sensuri. Figura 6.1 prezintă schema bloc a principalelor contribuții.

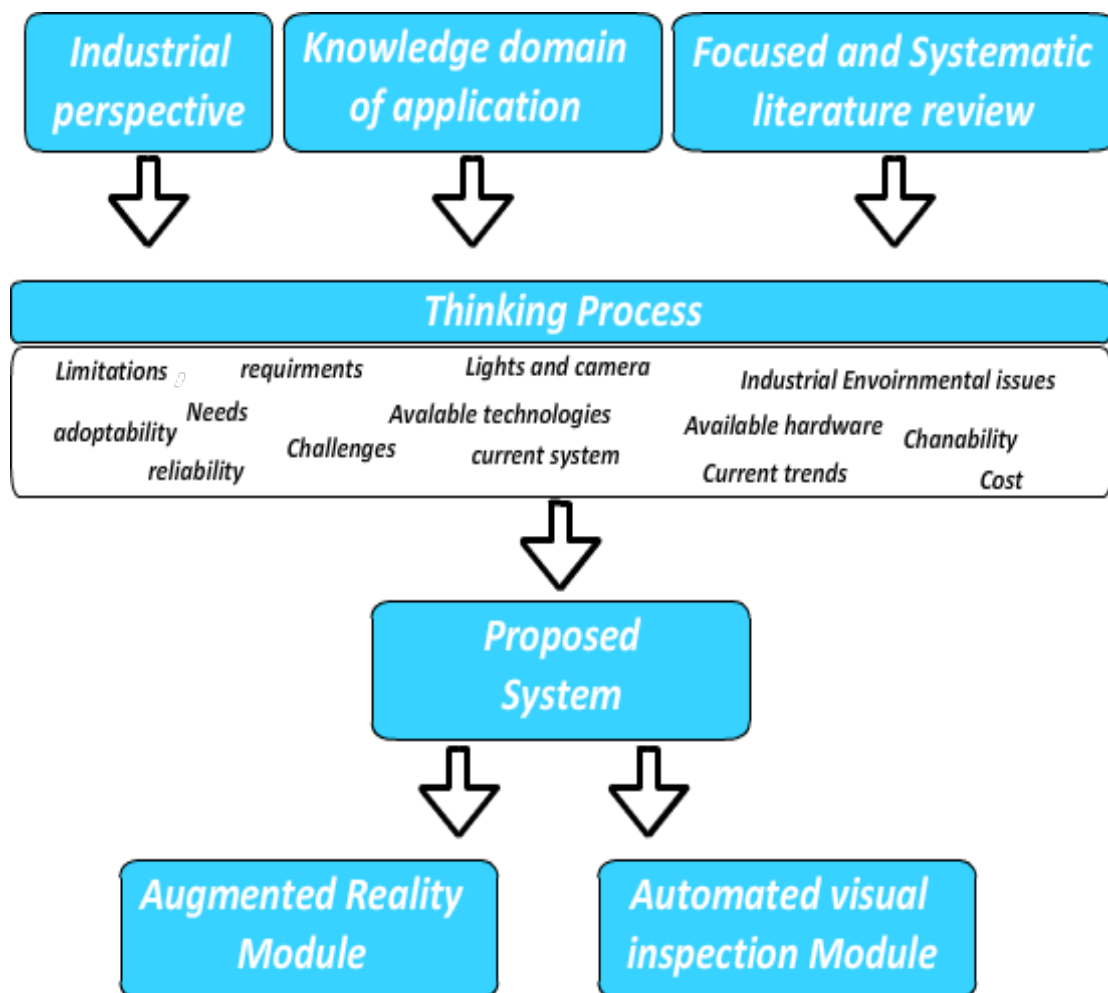


Figura 2: Prezintă schema bloc a procesului de gândire și principala contribuție

6.2 Contribuția practică

Dezvoltarea a două module paralele însă coerente de automatizare a sistemului existent sunt o contribuție practică importantă la această cercetare.

Sistemul de control bazat realitatea augmentată: a fost dezvoltat un sistem AR, care poate fi de mare ajutor în medii industriale, deoarece nu necesită multe schimbări în sistemul existent. Obiectivul principal al sistemului este de a afișa informații utile augmentate și transformarea and conversion of the fuzziness of the system to somewhat caniness. Conversia de informații neclare în informații discrete ajută în luarea deciziilor rapide și mai precise. Sistemul folosește tehnici foarte simple și rapide computer vision, care nu numai că ajută sistemul AR în a identifica imagini și markeri pentru alinierea de informații, ci, de asemenea, da un avantaj suplimentar pentru a calcula informații runtime a plăcii, ceea ce face lucrurile mai ușoare pentru utilizatorul uman. Rezultatele arată că timpul de procesare pentru a inspecta o singură placă și formarea unui nou utilizator a fost redusă în mod semnificativ.

Sistem automat de inspecție vizuală: Un sistem a fost dezvoltat pentru a converti un sistem de specialitate de asigurare a calității bazat pe utilizator într-un sistem complet automatizat de asigurare a calității. Este un sistem personalizat dezvoltat pentru o sarcină industrială foarte concentrată. Obiectivul principal al sistemului a fost de a reduce la minimum timpul de inspecție a plăcii după lipire. Sistemul automatizat durează în medie 13,7 secunde pentru a finaliza toate sarcinile în modul paralel, în timp ce 143,7 secunde sunt necesare în modul de serie. Acest timp a fost calculat folosind MacBook Pro ce rulează un cod neoptimizat Matlab. Timpul poate fi scăzut în mod semnificativ în cazul în care același sistem rulat pe un server dedicat, în paralel, cu un cod optimizat.

Date experimentale: În scopuri experimentale, sunt folosite 30.000 de imagini, care au fost colectate de companie. Deoarece sistemul companiei a fost în imposibilitatea de a salva orice imagini negative reale, ore lungi sunt cheltuite observând sistemului și așteptând pentru ca imaginile negative să apară. Informațiile despre fiecare imagine reală negativă sunt adunată cu atenție. Cu ajutorul operatorilor și al instructorilor din companie, diferite tipuri de imagini reale negative sunt dezvoltate acestea sunt prezentate ulterior pentru a obține aprobarea de la ingineri și operatori din producție.

Învățare sistemului se face numai pe adevărate imagini pozitive și adevărate imagini negative sunt folosite pentru a verifica soliditatea sistemului. Rezultatele experimentelor sunt prezentate în capitolul 4 și capitolul 5.

Cu toate acestea, datele experimentale reprezintă încă un eșantion mic, în comparație cu scenariul în timp real. Conform unui alt calcul standard de machine learning, sistemul nu poate avea performanță 100% în timp real. Toate sistemele trebuie să evolueze în timp pentru a ajunge la rezultate de 100%.

Sistemul este proiectat astfel încât, să poată evolua; rezultatele arată modul în care performanța sa crește cu timpul.

6.3 Contribuție științifică

Cercetările efectuate în cadrul tezei sunt reorganizate și publicate în diferite reviste și conferințe de renume. În total, șapte lucrări științifice sunt generate, printre care patru sunt deja publicate în timp ce restul de trei lucrări sunt în curs de revizuire sau proces de construcție.

Lista și rezumatul publicațiilor științifice este

- Prima lucrare a fost un studio cu numele "*Use of computer vision in automotive: a brief survey*", lucrarea este publicată în "*1st International Conference for Doctoral Students IPC 2013. Page 294*". Studiul conține o prezentare detaliată a utilizării tehnologiei viziune de calculator în industria de automobile. Cu peste 70 de referințe la lucrări științifice și cărți și o analiză critică la această lucrare oferind o prezentare amplă a domeniului computer vision în industria de automobile.
- Necesitatea de a dezvolta un algoritm bun de detectare a marginii, care este rapid și reglabil cerințelor, conduce la publicarea celui de-a doua lucrări în "*Studies in Informatics and Control, ISSN 1220-1766, vol. 23 (2), pp. 163-170, 2014*" cu titlul "*Fast Edge Detection Algorithm for Embedded Systems*". Articolul cuprinde modul de lucru a algoritmului și rezultatele sale, ceea ce arată în mod clar că algoritmul propus necesită mai puține resurse și este mult mai rapid decât alți algoritmi cunoscuți.
- Mecanismul și rezultatele sistemului de realitate augmentată pentru inspectarea PCB, sunt puse într-o altă lucrare științifică, care este publicat

în alt jurnal *"Industrial Engineering Letters 5.7 (2015): 1-4."* Cu titlul *"Augmented Reality System to Help Train New Skilled Workers for PCB Inspection"*. Studiul conține întreaga funcționare a sistemului AR și rezultatele acestuia.

- Pentru a genera adevărul la sol sub formă de imagini diferite, o nouă tehnica GA este propusă, care este apoi publicată în *"CISSE Online E-Conference, Pagina-4 2014."* Cu titlul *"Dynamic Population for Genetic Algorithms"*. Noua tehnica este utilă în mai multe moduri și poate fi utilizată în alte domenii în afara computer vision.
- Lucrarea cu privire la funcționarea întregului sistem AVI cu rezultatele și procesul de a transforma modul în care un sistem de operare bazat pe om în sistem automat este în prezent în proces de revizuire a "PLOS One" cu titlul *"Migration from Manual to Automated PCB Inspection System: A Case Study"*.
- Un studio privind sistemele AVI în mediul industrial este în progres în acest moment. Studiul conține referințe la peste 40 de cercetări și cărți de specialitate. Studiul vorbește despre sistemele AVI din 1980 până în prezent, astfel oferind o imagine de ansamblu asupra sistemelor folosite în acest domeniu.
- O altă lucrare despre realitatea augmentată și folosirea ei în mediul industrial este în process de creare. Această lucrare vorbește despre realitatea augmentată în general, modul de folosire, apoi explicând utilizarea AR în mediul industrial cât și viitorul acestui system.

7 Sumar

Dezvoltarea unui sistem de control automatizat conform nevoii din industrie, este o sarcină dificilă. Această provocare devine și mai dificilă, în cazul în care unele limitări sunt impuse. Cercetarea prezentată în această teză oferă o posibilă soluție la o sarcină industrială bine definită. Deși acest lucru a venit cu prețul său, având o flexibilitate foarte limitată pentru a proiecta întregul sistem.

Două sisteme bazate pe module sunt propuse pentru îndeplinirea sarcinii. Unul bazat pe realitatea augmentată, pe când celălalt este un sistem automatizat complet ce

folosește computer vision si machine learning pentru a îndeplini cerințele. Rezultatele arată că ambele sisteme satisfac cerințele specificate și că ambele se pot complete dacă sunt implementate unul câte unul.

8 Lucrări publicate

- *Syed Usama KHALID BUKHARI, Remus BRAD, Constantin BĂLĂ ZAMFIRESCU, Fast Edge Detection Algorithm for Embedded Systems, Studies in Informatics and Control, ISSN 1220-1766, vol. 23 (2), pp. 163-170, 2014.*
- *BUKHARI, Syed Usama, Ioan BONDREA, and BRAD Remus. "Augmented Reality System to Help Train New Skilled Workers for PCB Inspection. "Industrial Engineering Letters 5.7 (2015): 1-4.*
- *Use of computer vision in automotive: a brief survey. PETRUSE, Radu, et al. "1st International Conference for Doctoral Students IPC 2013. Page 294-300" (2013).*
- *Dynamic Population for Genetic Algorithms, CISSE Online E-Conference, Page 4-6, 2014.*
- *BUKHARI, Syed Usama, Ioan BONDREA, and BRAD Remus. "Migration from Manual to Automated PCB Inspection System: A Case Study" , PLOS ONE (under review)*
- *BUKHARI, Syed Usama, Ioan BONDREA, and BRAD Remus," Use of Augmented Reality in Industrial Environment, A survey", Virtual Reality (2016) (under review process)*
- *BUKHARI, Syed Usama, Ioan BONDREA, and BRAD Remus, "Use of Computer Vision in industrial Environment, A survey", journal of Electronic Testing (under review process)*