

REZUMAT - TEZĂ DE DOCTORAT

Optimizarea recunoașterii codurilor Data Matrix în mediul industrial

Autor: Ing. Ion-Cosmin Diță

Conducător științific: prof.univ.dr.ing Marius Oteșteanu

Teză susținută public în data de 16.03.2012

Capitolul 1 - Introducere

Teza de doctorat este dedicată unei probleme de mare interes în amprentele digitale și anume achiziția codurilor Data Matrix în mediul industrial. Problema constă în localizarea corectă a amprentei și estimarea caracteristicilor ei pentru a putea fi scanată. Metodele tradiționale de recunoaștere și scanare implementate pentru amprentele codurilor Data Matrix standard sunt nepotrivite în cazul de față. Cercetările în această direcție au dus la dezvoltarea unei aplicații de recunoaștere a codurilor destinată în special codurilor Data Matrix industriale. Teza de doctorat este structurată în opt capitole, la care se adaugă bibliografia corespunzătoare.

În Capitolul 1 se prezintă o privire de ansamblu a achiziției codurilor Data Matrix folosite în mediul industrial. Sunt introduse pe scurt etapele acestei tehnici și problemele care le ridică fiecare etapă. Tot în cadrul acestui capitol, sunt prezentate motivele care au condus la tratarea acestei teme de cercetare ce face obiectivul tezei de doctorat.

Motivație

Această secțiune face o prezentare a problematicii achiziției codurilor Data Matrix în mediul industrial și plasează în context estimarea neparametrică robustă, problemă asupra căreia se concentrază o parte a contribuțiilor tezei.

Codurile Data Matrix au devenit tot mai comune prin tipărirea lor pe articole media, cum ar fi etichete și scrisori. Codul poate fi citit rapid de către un cititor de bare sau o cameră video, astfel permițând extragerea informațiilor obiectului marcat.

În scopuri de inginerie industrială, codurile Data Matrix pot fi marcate direct pe componente, prin diferite metode, cele mai comune sunt: cu jet de cerneală, prin punctare, marcarea cu laser, gravură și erodare chimică electrolitică. Aceste metode oferă o marcarea permanentă, ce durează cât viața componentei.

Codurile Data Matrix standard pot fi citite cu ajutorul scannerelor 2D, utilizând camere video de rezoluție mare sau în ultima vreme chiar și cu telefoanele mobile. Se pune problema citirii codurilor Data Matrix, ce sunt folosite în industrie marcate direct pe material, unde condițiile de mediu sunt nefavorabile.

În cazul codurilor Data Matrix standard, amprenta este tipărită pe o etichetă din hârtie, cu negru pe alb unde contrastul este foarte mare, iar citirea nu este o problemă. În cazul codurilor Data Matrix industriale, materialul nu este o etichetă de culoare albă, iar modulele nu sunt celule pătratice. Aici materialul poate fi de orice culoare, cu texturi diferite sau cu deteriorări, iar modulele sunt cavități mici în suprafața materialului. De cele mai multe ori, imaginile nu pot fi captate ortogonal, sau codurile sunt marcate pe suprafețe curbe. Acest lucru, combinat cu un contrast mic, ca urmare a diverselor materiale pe care sunt marcate și cu perturbații tipice în mediul industrial cum ar fi zgârieturi, rugină, picături de ulei, face localizarea și decodarea o sarcină dificilă.

În literatură s-au implementat mai multe metode pentru achiziția și recunoașterea codului, dar cele mai multe sunt implementate pentru codurile standard. În cazul codurilor folosite în mediul industrial aceste metode nu pot fi utilizate. De aceea în această teză se propune o soluție completă de achiziție, localizare și scanare a codului ce poate confrunța condițiile nefavorabile create de mediul industrial.

Teza de doctorat își propune să studieze în ce măsură metodele de estimare neparametrică pot fi avantajoase în raport cu metodele utilizate curent în achiziția și recunoașterea codurilor Data Matrix. Se implementază aceste metode și se compară rezultatele lor cu tehnica de estimare robustă pe baza Algoritmului cu Translație la Medie (Mean Shift). Se determină experimental că metodele propuse în cadrul tezei de doctorat sunt mai exacte și mai fiabile.

Prezentare generală a etapelor procesului de recunoaștere

În teza de față este propusă o metodă de recunoaștere și scanare a codurilor Data Matrix marcate direct pe material, metoda fiind implementată practic. Fig. 1 indică etapele procesului de recunoaștere, în același timp, prezentând și structura tezei de doctorat.

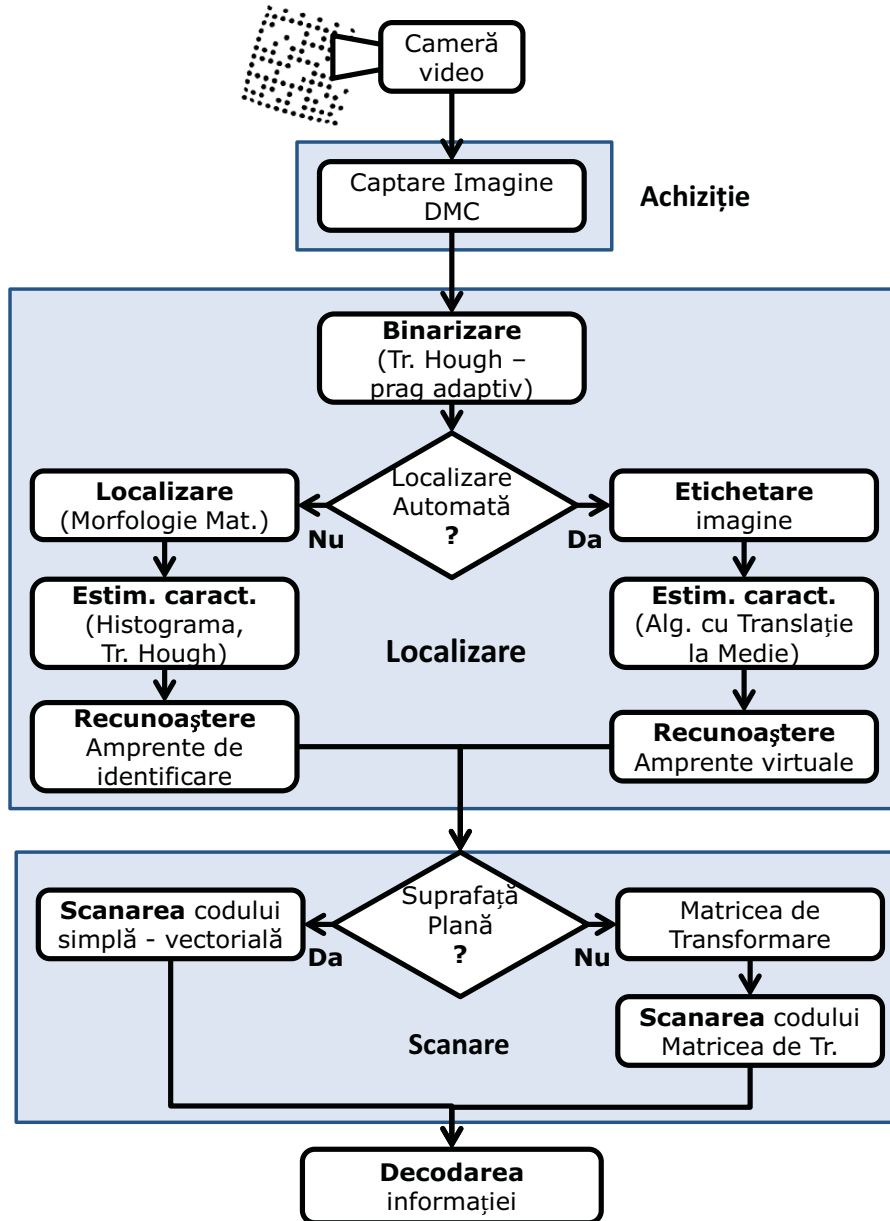


Figura 1: Etapele procesului de recunoaștere a codului Data Matrix industrial

Imaginea codului Data Matrix este captată de camera video și trimisă la procesul de localizare. În acest proces se binarizează imaginea cu metoda lui Otsu cu prag adaptiv și în funcție de modul de utilizare a programului, automat sau semi-automat, imaginea este prelucrată mai departe.

În cazul modului de lucru semi-automat, amprenta codului Data Matrix este localizată pe baza Morfologiei matematice prin recunoașterea formei pătratică a ampretei și pe baza informațiilor despre mărimea ampretei și a caracteristicilor camerei video folosite. Având regiunea de interes, pe baza histogramei și a Transformării Hough se estimează distanța dintre module, suprafața acestora și orientarea ampretei codului Data Matrix. Pe baza acestor informații se recunoaște amprenta de localizare și cea de sincronizare a codului Data Matrix.

În modul automat, imaginea este etichetată, se estimează distanța dintre module, suprafața acestora și orientarea ampretei codului pe baza Algoritmului cu Translație la Medie (Mean Shift).

Pe baza acestor informații se construiește o amprentă virtuală de identificare și de sincronizare. Prin încercarea succesivă de potrivire a acesteia cu modulele codului se recunoaște amprenta de identificare reală a codului Data Matrix.

Pentru scanarea codului, metoda propusă în teza de față oferă două soluții. Prima soluție este destinată amprentelor marcate pe materiale plane. În acest caz, scanarea este efectuată pe baza distanței dintre module și pe baza orientării amprentei codului. Dacă se dorește scanarea unui cod marcat pe o suprafață curbă, a doua metodă de scanare pe baza Matricei de transformare oferă o soluție precisă independentă de traiectoria modulelor amprentei codului.

În urma scanării amprentei, este creată o listă cu coordonatele modulelor codului Data Matrix. Aceasta este trimisă mai departe la blocul de decodare și interpretare a informației.

Experimentele sunt realizate pe modele reale, algoritmi prezentați în această teză se confruntă cu perturbațiile din lumea reală. Această metodă oferă 3 avantaje:

- robustețe. Codul Data Matrix poate fi localizat și în cazul imaginilor cu zgomot;
- precizie. Algoritmii propuși oferă acuratețe în recunoașterea, identificarea amprentelor și scanarea modulelor;
- implementare practică. Metoda este implementată practic în mediul de programare Matlab, fiind testată pe diverse coduri înscrispionate.

Rezultatele teoretice și practice arată că metoda propusă oferă performanțe bune, pentru diferite condiții de iluminare, de material, de poziție sau alte perturbații externe. Această aplicație este realizată în întregime și are soluții pentru problemele ce se pot întâlni la captarea și prelucrarea codului Data Matrix industrial.

Capitolul 2 - Codul Data Matrix

În Capitolul 2 se face o scurtă prezentare a evoluției istorice a codurilor, de la apariția primului cod de bare la codurile Data Matrix. Tot în acest capitol se prezintă structura codului Data Matrix cu caracteristicile lui și tehnicile de inscripționare folosite în prezent.

Codul Data Matrix ECC 200 este compus din două părți separate (Fig. 2): amprenta de identificare, care este folosită de cititor pentru localizarea simbolului, precum și datele codificate în sine.

Amprenta de identificare este definită de forma pătratică sau dreptunghiulară, mărimea, distanța dintre module și numărul de rânduri și coloane din codul Data Matrix. Amprenta solidă întunecată este numită „Amprenta L de identificare”. Acesta este utilizată în principal pentru a determina dimensiunea și orientarea codului (Fig. 2(a)). Celelalte două părți ale amprentei sunt formate din elemente alternativ luminoase-întunecate cunoscute sub numele de „Amprenta de sincronizare”. Aceasta definește structura de bază a simbolului și poate, de asemenea, determina mărimea și distorsiunile codului (Fig. 2(b)). Datele sunt codificate într-o matrice în interiorul amprentei de identificare a codului. Aceasta este o traducere în simboluri Data Matrix de caractere binare (numerice sau alfanumerice), Fig. 2(c).

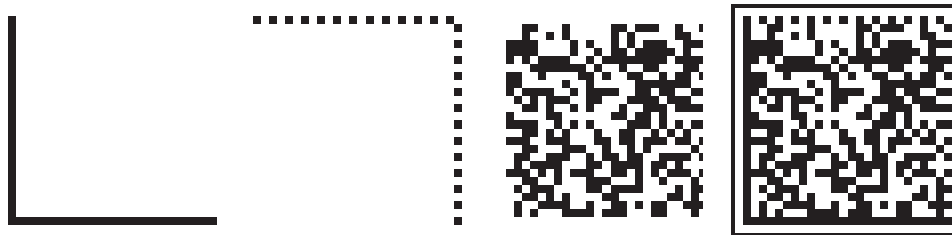


Figura 2: DMC - (a) Amprenta de identificare, (b) Amprenta de sincronizare, (c) Informația codată, (d) Zona de liniște

La fel ca și codurile de bare liniare (1D), codul Data Matrix are obligatoriu o zonă de liniște. Aceasta este o zonă luminoasă în jurul codului care nu trebuie să conțină niciun element grafic ce poate perturba citirea codului. Are o lățime constantă egală cu distanța dintre module, aflată pe fiecare din cele 4 laturi ale simbolului.

Fiecare cod Data Matrix este format dintr-un număr de rânduri și coloane. În versiunea ECC 200, numărul de rânduri și de coloane este întotdeauna un număr par. Prin urmare, codul Data Matrix ECC 200 are întotdeauna un modul luminos, în colțul din dreapta sus, Fig. 2. Evident, acest colț poate fi întunecat, dacă codul Data Matrix este tipărit în negativ (culori complementare).

Capitolul 3 - Metode de recunoaștere a codului Data Matrix

În Capitolul 3 se prezintă stadiul actual al cercetării în problema recunoașterii codurilor Data Matrix industriale bazată pe tehnici robuste de estimare. Se prezintă o clasificare a metodelor de recunoaștere și scanare existente și etapele care duc la extragerea informației. De asemenea, se menționează tipurile de corespondență și problemele pe care acestea le ridică, împreună cu caracteristicile lor.

Metodele tradiționale de recunoaștere și scanare implementate pentru amprente codurilor Data Matrix standard sunt nepotrivite în cazul de față. Cercetările în această direcție au dus la dezvoltarea unei aplicații de recunoaștere a codurilor destinată în special codurilor Data Matrix industriale.

Capitolul 4 - Localizarea codurilor Data Matrix industriale

În Capitolul 4 sunt prezentate metodele propuse privind localizarea codurilor Data Matrix. Din necesitatea unei estimări a parametrilor amprentei Data Matrix, pe baza informațiilor cunoscute despre aceasta, s-au elaborat două soluții de achiziție și recunoaștere. În ambele soluții, imaginea este binarizată pe baza unui prag dinamic adaptiv, calculat cu metoda lui Otsu. Prima soluție utilizează histograma pentru estimarea distanței dintre module și a suprafeței acestora, iar pentru estimarea orientării, se folosește Transformarea Hough. Pentru localizarea amprentei codului se folosește Morfologia matematică ce ajută la recunoașterea formei acesteia. Estimarea distanței dintre module și a suprafeței acestora, pe baza histogramei, este o metoda robustă ce poate fi implementată să ruleze în timp real. Transformarea Hough este la fel o metoda robustă pentru detecția orientării amprentei codului Data Matrix. Având aceste informații estimate și având informații despre colțurile amprentei codului Data Matrix, se pot detecta amprenta de identificare și cea de sincronizare.



(a) DMC, Colțurile amprentei



(b) Imaginea DMC prelucrată morfologic

Figura 3: Cupru lucios, dimensiune amprentă $2 \times 2\text{cm}^2$

În Fig. 3 codul este punctat pe cupru lucios, dimensiunea amprentei este de $2 \times 2\text{cm}^2$. Se poate vedea că dimensiunea reală a codului și numărul de module nu sunt importante pentru localizarea amprentei, colțurile amprentei fiind localizate cu succes.

A doua soluție utilizează Algorimul cu Translație la Medie pentru estimarea distanței dintre module, a suprafeței modulelor și orientarea amprentei codului. Localizarea amprentei codului se face prin potrivirea obiectelor din imagine cu o amprentă virtuală, construită pe baza parametrilor estimați. În Fig. 4 (a, b) se poate vedea posibilitatea ca mai multe formațiuni de module să se potrivească în șabloanele construite, dar sunt selectate doar cele ce îndeplinesc condiția să formeze o amprentă Data Matrix (Fig. 4 (c)). Se indică cu albastru modulele amprentei de identificare, iar cu roșu modulele amprentei de sincronizare.

Datorită capacității metodei de localizare a amprentei, este posibilă localizarea codurilor Data Matrix a căror imagine nu este achiziționată cu o cameră foto orientată perfect perpendicular pe suprafața amprentei codului. Această metodă oferă flexibilitate mare de utilizare, având capacitatea recunoașterii codurilor Data Matrix marcate pe suprafețe curbe.

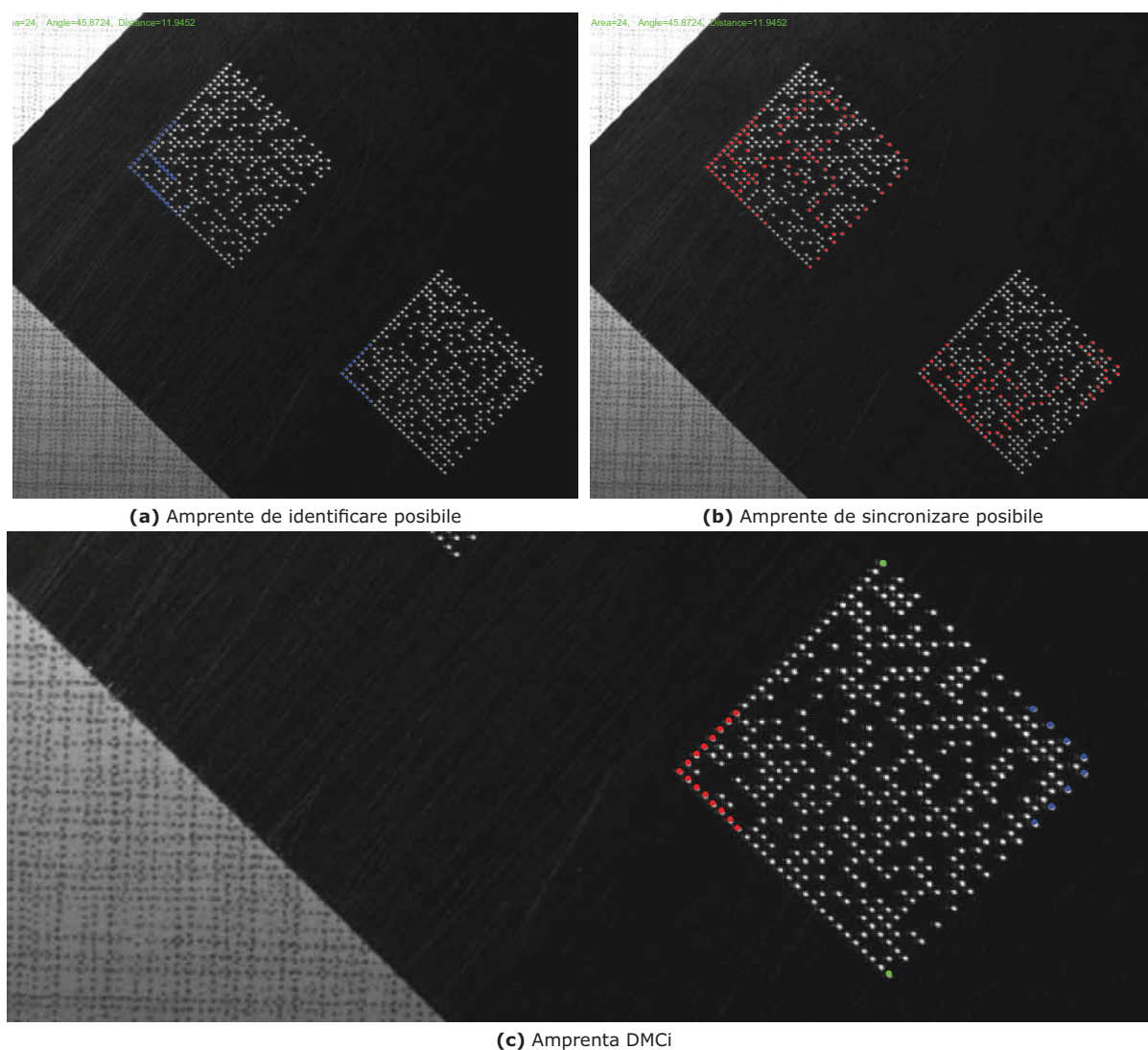


Figura 4: Aluminiu, dimensiune amprentă $2 \times 2\text{cm}^2$

Capitolul 5 - Comparația metodelor de localizare

În Capitolul 5 se testează eficacitatea metodelor propuse și robustețea acestora, prezentându-se rezultatele obținute. Cu ajutorul unui generator de amprente Data Matrix se construiesc amprente orientate în unghiuri diferite. În Fig. 5 este afișată imaginea codului Data Matrix originală și amprenta construită sintetic pentru diferite niveluri de eroare.

Se estimează pe rând cu cele două metode unghiul amprentelor și se compară rezultatele. Se urmărește creșterea acurateții și a eficienței estimării unghiului amprentei codului Data Matrix industrial.

În Fig. 6 este reprezentată grafic eroarea medie pentru unghiurile estimate cu cele două metode.

În cazul transformării Hough, cu cât abaterea modulelor este mai mare, indiferent de numărul de eșantioane din acumulator, crește și eroarea la detecția unghiului. În cazul Algoritmului cu Translație la Medie, abaterea modulelor codului Data Matrix influențează foarte puțin unghiul estimat. Fiind independent de alegerea lățimii de bandă, în cazul nostru Algoritmul cu Translație la Medie ne-a furnizat rezultate mai bune în estimarea unghiului orientării amprentei codului Data Matrix. Experimentele au fost realizate cu ajutorul unei aplicații implementată în mediul de programare Matlab.

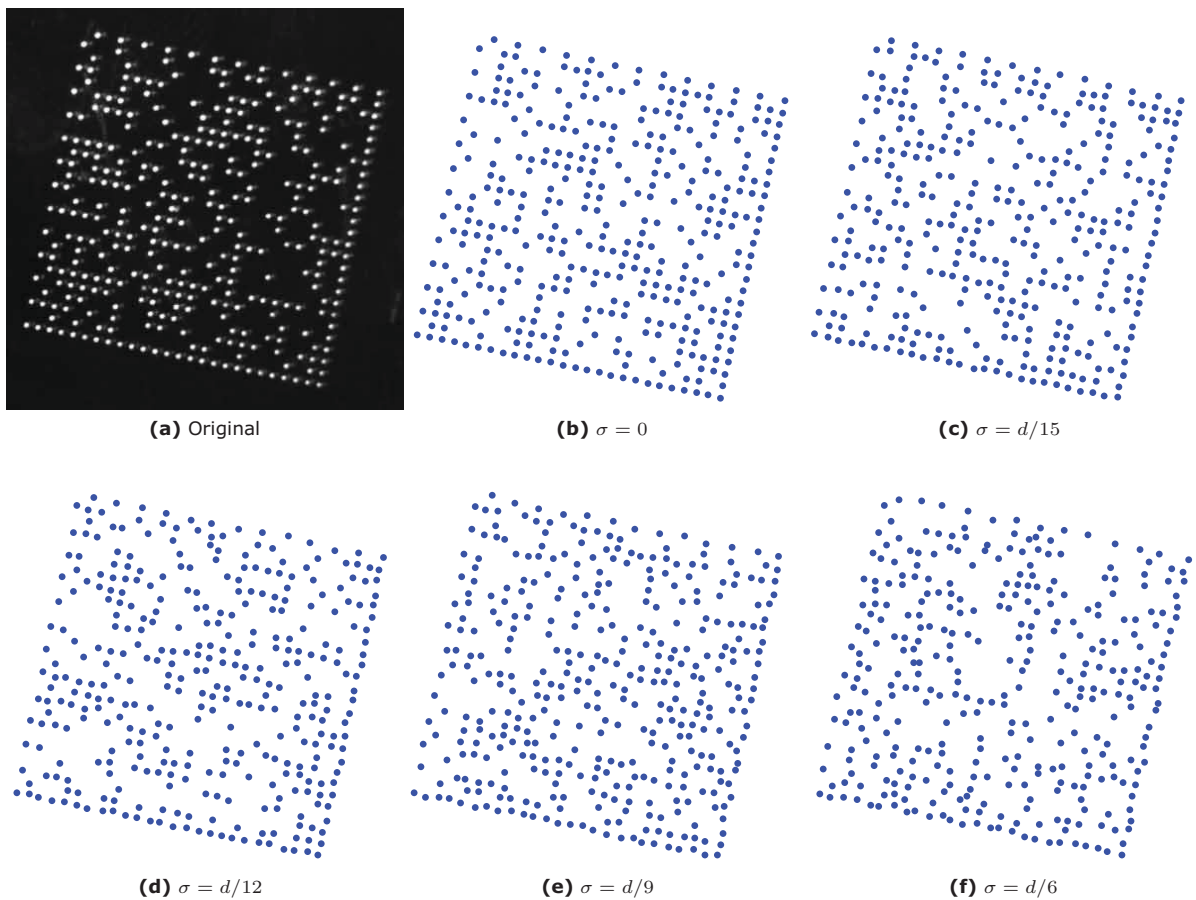


Figura 5: Amprenta DMC generată sintetic, mărimea = 26×26 , $d = 11px$, $\alpha = 78^\circ$

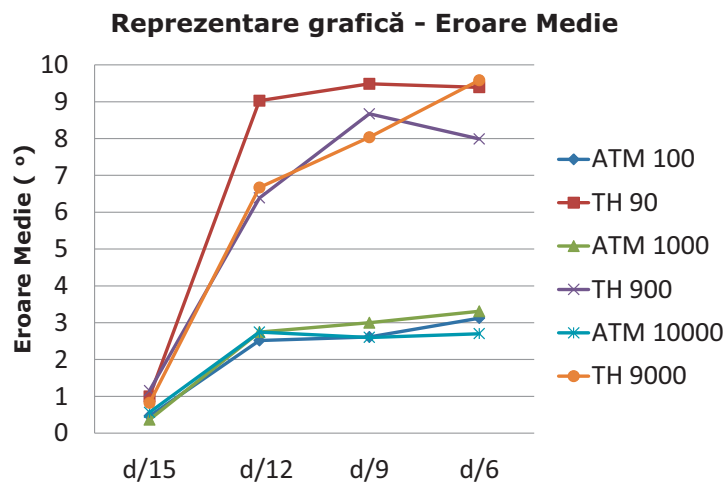


Figura 6: Eroarea medie

Capitolul 6 - Scanarea codurilor Data Matrix

În Capitolul 6 se prezintă tipurile de suprafețe pe care amprenta Data Matrix poate fi marcată. În funcție de acestea, se dezvoltă două metode de scanare ale amprentei codului. Prima metodă efectuează scanarea modulelor în mod vectorial pe baza orientării amprentei și a distanței dintre module.

Scanarea modulelor pornește din colțul principal, pe baza distanței dintre module și a unghiului orientării amprentei codului Data Matrix. Folosind o fereastră, se caută în rânduri și în coloane

fiecare modul marcat, creând o matrice de coordonate ale modulelor marcate și nemarcate. Dacă în fereastră există un modul, atunci elementul din matrice este un „1”. În cazul în care fereastră este goală, atunci elementul din matrice este un „0”. În cazul în care este detectat un modul, centrul ferestrei este ajustat la centrul de greutate al modulului. Dimensiunea ferestrei este egală cu distanța dintre module. Folosind această operație, acumularea de eroare este eliminată. Această operație se repetă până când toate modulele dintr-un rând sunt scanate. Scanarea continuă cu rândul următor până când toate rândurile sunt verificate. În Fig. 7 sunt prezentați pașii vectoriali de scanare a modulelor codului Data Matrix.

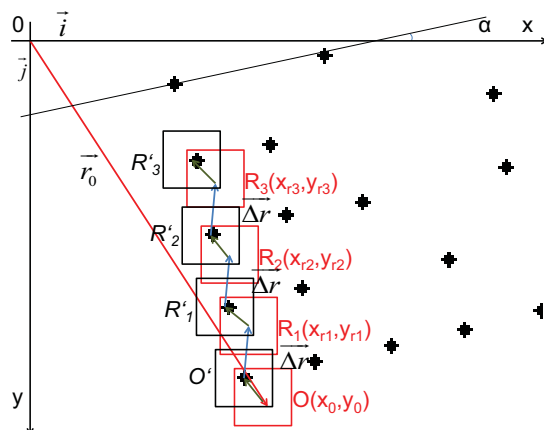


Figura 7: Ajustarea ferestrei de scanare

În Fig. 8 codul este punctat pe fier acoperit cu pete de rugină, dimensiunea amprentei este de $1,2 \times 1,2 \text{ cm}^2$. Modulele sunt detectate corect chiar și în cazurile în care obiectele au fundal neregulat sau între module se găsesc pete de rugină sau vopsea. Menționez că în figura prezentată mai sus, cu galben sunt reprezentate modulele detectate ce indică valoarea „1”, iar cu roșu sunt reprezentate modulele nemarcate ce indică valoarea „0”.

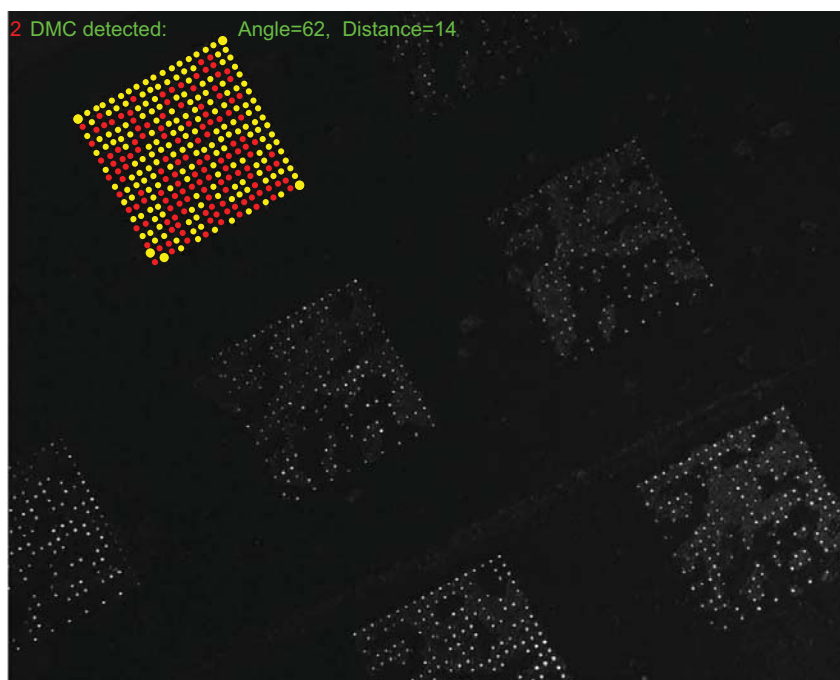
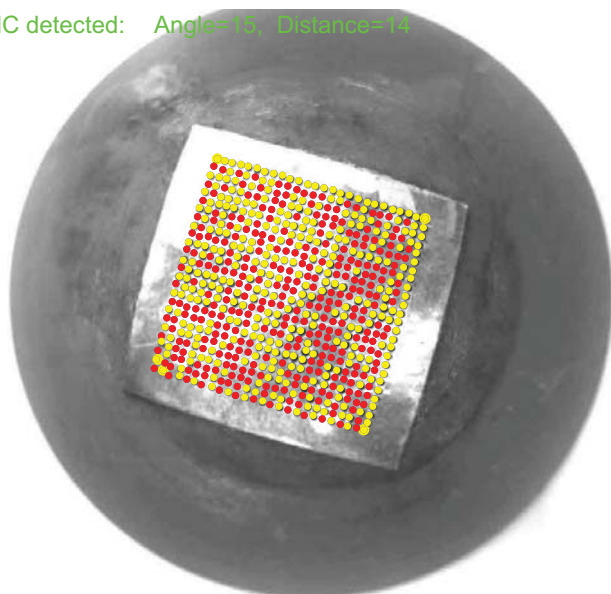


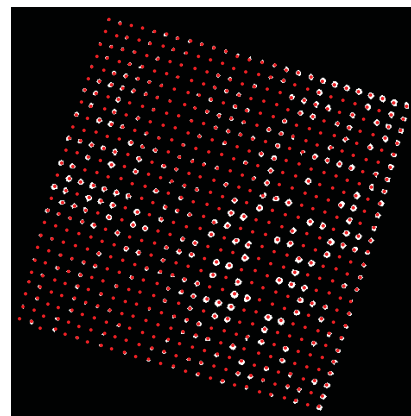
Figura 8: Fier acoperit cu pete de rugină, dimensiune amprentă $1,2 \times 1,2 \text{ cm}^2$

Metoda a doua realizează scanarea amprentei codului pe baza unei grile de coordonate ce estimează poziția modulelor codului. Această grilă de coordonate este construită cu ajutorul Matricei de transformare geometrică.

DMC detected: Angle=15, Distance=14



(a) Modulele detectate



(b) Grila de preziceri

Figura 9: Cod Data Matrix marcat pe suprafață sferică

În Fig. 9 este prezentată o situație în care codul Data Matrix este marcat pe o suprafață sferică. Transformarea Direct Liniară ia punctele extreme ale codului Data Matrix și calculează grila prezicerilor distribuției modulelor amprente Data Matrix pe suprafața obiectului marcat. Informațiile sunt extrase pe baza acestei grile de preziceri, fiind analizate modulele ce se intersectează cu grila.

Folosind această metodă, nu imaginea este transformată geometric, ci este creată doar o grila de poziții pe baza imaginii. Avantajul este că imaginea nu este procesată, informațiile din imagine fiind nemodificate, de asemenea sistemul de procesare nu are nevoie de multă putere de calcul pentru scanare și procesare.

Se recomandă folosirea primei metode pentru scanarea suprafețelor plane, iar celei de-a doua pentru suprafețele curbe.

Capitolul 7 - Comparația metodelor de scanare

În Capitolul 7 se pun față în față cele două metode de scanare propuse în Capitolul 6, prin scanarea succesivă a mai multor tipuri de amprente. În urma experimentelor, se compară rezultatele și se discută eficiența și precizia folosirii celor două metode propuse. Experimentele au fost realizate cu ajutorul unei aplicații implementată în mediul de programare Matlab.

Comparând cele două metode reiese că performanțele sunt mai bune în cazul metodei de scanare destinată suprafețelor cilindrice. În toate cazurile, eroarea fiind mai mică de un pixel pentru metoda scanării matriciale. Timpul de scanare este mai mic în cazul metodei implementată pentru scanarea suprafețelor plane. De aceea se folosesc ambele metode de scanare prin selectarea metodei de scanare optimă în funcție de amprenta codului Data Matrix.

Capitolul 8 - Concluzii generale și contribuții

Capitolul 8 conține principalele concluzii rezultate din teza de doctorat și contribuțiile originale ale doctorandului, raportate în această teză.

Contribuții

- Am implementat un algoritm semi-automat de recunoaștere a formei codului Data Matrix bazat pe morfologie matematică. Metoda propusă a fost publicată în [1]. Această metodă este îmbunătățită prin automatizare completă, astfel fiind capabilă să recunoască direct amprenta de identificare a codului Data Matrix, publicată în [2].
- Am implementat metoda Transformării Hough pentru estimarea orientării amprente Codurilor Data Matrix industriale, prezentată în [3].

- Principala contribuție a tezei de doctorat este elaborarea și implementarea unei metode de achiziție și recunoaștere a Codurilor Data Matrix industriale, bazată pe Algoritmul cu Translație la Medie, publicată în [3], [2]. Contribuțiile metodei se referă la o soluție de maximă verosimilitate, prin maximizarea densității de probabilitate în spațiul parametrilor. Algoritmul cu Translație la Medie folosit în localizarea maximelor densității de probabilitate a caracteristicilor amprentei (distanța dintre module, orientare, aria modulelor) este fundamentat pe estimarea neparametrică.
- Am realizat un studiu comparativ între Algoritmul cu Translație la Medie și algoritmul Transformării Hough pentru estimarea orientării amprentei Codului Data Matrix. Acest studiu comparativ realizat și publicat în [3], a stabilit performanțele și acuratețea Algoritmului cu Translație la Medie. Experimentele realizate confirmă avantajele metodei bazată pe estimarea densității de probabilitate folosind funcții nucleu.
- Am implementat o metodă de scanare a codului Data Matrix marcat pe suprafețe curbe, pe baza orientării amprentei și distanței dintre module, metodă publicată în [4]. Metoda fiind îmbunătățită pe baza Matricei de transformare geometrice, permite scanarea codurilor Data Matrix industriale ale căror imagini au defect de perspectivă sau sunt marcate pe suprafețe curbe. Rezultatele acestor îmbunătățiri sunt publicate în articolele [5], [6], [7].

Am implementat o aplicație în mediul de programare Matlab destinată achiziției și scanării codurilor Data Matrix industriale. Am avut în vedere următoarele aspecte:

- Selecția modului de lucru pentru recunoașterea codurilor, semi-automat sau automat. În modul semi-automat se poate configura aplicația cu date fizice despre amprenta codului și caracteristicile sistemului video folosit.
- Estimarea caracteristicilor amprentei codului pe baza Algoritmului cu Translație la Medie. Se estimează distanța dintre module, suprafața modulelor și orientarea amprentei Codului Data Matrix industrial.
- Clasificarea suprafeței pe care este marcat codul (plană, cilindrică sau sferică) și scanarea amprentei codului Data Matrix generând o matrice cu coordonatele modulelor ei.

Aplicația soft implementată, permite conectarea unei camere foto la calculator și afișarea informațiilor rezultate în urma recunoașterii și scanării codului Data Matrix industrial. Această aplicație este testată pe materiale reale de diferite dimensiuni și suprafețe, astfel fiind demonstrată aplicativitatea metodei propuse.

Direcții viitoare de cercetare

Rezultatele teoretice și experimentale ale cercetărilor dezvoltate în prezenta teză de doctorat deschid noi orizonturi de cercetare în recunoașterea codurilor Data Matrix industriale.

- Una din direcțiile viitoare de cercetare este optimizarea metodelor de recunoaștere și scanare, implementate în teză, cât și dezvoltarea de noi tehnologii cu posibilitatea de funcționare în timp real. Se dorește dezvoltarea unei aplicații hardware ce poate funcționa independent de calculator.
- O altă direcție de cercetare este studierea tehnicilor de marcare pentru codurile Data Matrix marcate pe suprafețe sferice. În acest caz, marcarea modulelor codului se face neregulat datorită suprafeței sferice a materialului. Cunoscând principiul de funcționare a acestor tehnici de marcare, se poate corecta această neregularitate a modulelor codului pe baza prelucrării imaginii achiziționate a codului Data Matrix industrial.
- Teza de doctorat a fost realizată în vederea colaborării cu un doctorand german al Universității de Științe Aplicate din Karlsruhe. Acest doctorand se ocupă de partea de decodare a codului Data Matrix industrial. Se dorește conectarea celor două aplicații: cea de Recunoaștere a codului și cea de Decodare, și implementarea unui sistem complex ce poate funcționa în buclă, prin reglarea automată a parametrilor de recunoaștere în funcție de deciziile de corecție luate de sistemul de decodare.

Lucrări publicate

- [1] I. C. Dita, M. Otesteanu, and F. Quint, "A Robust Localization Method for Industrial Data Matrix Code," *TRANSACTIONS on ELECTRONICS and COMMUNICATIONS*, vol. Tom 56(70), Fascicola 2, pp. 12–17, 2011.
- [2] I. C. Dita, V. Gui, M. Otesteanu, and F. Quint, "Using Mean Shift Algorithm in the Recognition of Industrial Data Matrix Codes," *accepted for publishing at 11th WSEAS International Conference on SIGNAL PROCESSING (SIP '12)*, 2012.
- [3] I. C. Dita, V. Gui, F. Quint, and M. Otesteanu, "Comparison of Hough Transform and Mean Shift Algorithm for Estimation of the Orientation Angle of Industrial Data Matrix Codes," *accepted for publishing at ICDIP 2012 - International Conference on Digital Image Processing*, 2012.
- [4] I. C. Dita, M. Otesteanu, and F. Quint, "Data Matrix Code - A Reliable Optical Identification of Microelectronic Components," *2011 IEEE 17th International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME)*, pp. 39–44, 2011.
- [5] I. C. Dita, F. Quint, and M. Otesteanu, "A Scanning Method for Industrial DMC Marked on Cylindrical Surfaces," *accepted for publishing at 11th IFAC/IEEE International Conference on Programmable Devices and Embedded Systems*, 2012.
- [6] I. C. Dita, M. Otesteanu, and F. Quint, "Scanning of Industrial Data Matrix Codes in non Orthogonal View Angle Cases," *accepted for publishing at 6th Euro American Conference on Telematics and Information Systems EATIS 2012*, 2012.
- [7] I. C. Dita, M. Otesteanu, F. Quint, and N. Annamdevula, "A Scanning Method for Industrial Data Matrix Codes marked on Spherical Surfaces," *accepted for publishing at 11th WSEAS International Conference on TELECOMMUNICATIONS and INFORMATICS (TELE - INFO 2012)*, 2012.
- [8] I. C. Dita and M. Otesteanu, "Factors that Influence the Image Acquisition of Direct Marking Data Matrix Code," *17th Telecommunications forum TELFOR 2009*, pp. 929–926, 2009.
- [9] I. C. Dita, M. Otesteanu, and F. Quint, "Scanning Industrial Data Matrix Codes," *19th Telecommunications Forum (TELFOR)*, pp. 1211–1214, 2011.
- [10] I. C. Dita, "Image Acquisition of Direct Marking Data Matrix Code," *Doctor ETC 2009*, pp. 111–116, 2009.