

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
Fakulta strojního inženýrství
Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky

Ing. František BRADÁČ

**METODY OPTICKÉ KONTROLY A JEJICH APLIKACE
V OBLASTI STROJÍRENSKÉ VÝROBY**

**THE METHODS OF OPTIC QUALITY CONTROL AND THEIR
APPLICATION AT THE ENGINEERING INDUSTRY**

ZKRÁCENÁ VERZE PHD THESIS

Obor: Technická kybernetika

Školitel: Doc. Dr. tech. Ing. Lubomír VAŠEK, CSc.

Oponenti: Prof. RNDr. Miloslav Druckmüller, CSc.

Doc. Ing. František Zezulka, CSc.

Doc. Dr. Ing. Pavel Zemčík

Datum obhajoby: 11. 10. 2002

KLÍČOVÁ SLOVA

zvyšování rozlišení, sub-pixelové posuny, interpolace obrázků, zpracování obrázků

KEYWORDS

Increase of resolution, sub-pixel movement, image interpolation, image processing

Práce je uložena na oddělení pro vědu a výzkum na FSI VUT v Brně.

© František Bradáč, 2003

ISBN 80-214-2397-8

ISSN 1213-4198

OBSAH

<u>OBSAH</u>	3
<u>1 ÚVOD</u>	5
<u>2 OBSAH PRÁCE</u>	5
<u>3 SOUČASNÝ STAV</u>	7
<u>4 CÍLE PRÁCE, ZVOLENÉ METODY A ZPRACOVÁNÍ</u>	8
<u>5 HLAVNÍ VÝSLEDKY PRÁCE</u>	9
<u>5.1 Lineární chování CCD elementu</u>	9
<u>5.2 Vlastní zvýšení rozlišovací schopnosti</u>	11
<u>5.2.1 Rozeznání posuvu snímků</u>	12
<u>5.2.2 Interpolace snímků</u>	13
<u>5.2.3 Verifikace výsledků</u>	14
<u>6 ZÁVĚR</u>	16
<u>7 PUBLIKACE A CITOVANÁ LITERATURA</u> <u>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY</u>	17
<u>PUBLIKACE AUTORA</u>	19
<u>8 CURICULUM VITAE</u>	20
<u>9 SUMMARY</u>	21

1 ÚVOD

V mnoha výrobcích ať už sériových, malosériových či kusových je často požadována až 100 % kontrola všech částí výrobků, sestav a nakonec i hotových výrobků jdoucích do expedice. Jedna z nejsložitějších úloh v kontrolním procesu je kontrola, jež by zachytila jak vady funkčnosti tak, což je neméně důležité, vady kosmetické. Díky tomuto nepochybně automatická vizuální kontrola zvyšuje produktivitu a zlepšuje celkovou kvalitu výroby.

Velmi rychlý rozvoj počítačové techniky a všeobecně elektroniky, přinesl s sebou i výrazné zlepšení a zlevnění průmyslových zařízení pro zpracování obrazu, což má za následek i rozvoj zabývajících se zpracováním obrazu, rozeznáváním objektů a tvarů a všeobecně umělou inteligencí. Automatická kontrola pomocí obrazu ve výrobě je dnes široce a rychle rozvíjející se oblast komerčních zájmů. Tuto vizuální kontrolu výroby nejčastěji využívá elektrotechnický průmysl pro kontrolu desek plošných spojů, integrovaných obvodů a fotografických masek plošných spojů. Jiná průmyslová odvětví, jako automobilové, dřevozpracující, textilní, sklářenské a výroba obalů, používají podobné systémy a procedury kontroly. Nejnovějším trendem je i zavádění počítačového vidění do linek třídění tuhého domovního odpadu. Ve většině případů se ještě v nedávné době používaly systémy jednoúčelové, tzn. systémy budované speciálně pro ten či onen druh aplikace. V současné době je ovšem trend nasazování automatických systémů víceúčelových, které by zvládly mnoho různých druhů kontroly. Jejich využitelnost a jednoduchost nasazení může přinést ekonomický význam pro mnoho druhů průmyslových odvětví.

2 OBSAH PRÁCE

Práce se zabývá metodami optické kontroly v oblasti průmyslové kontroly jakosti a měření, její nasazování v automatických a automatizovaných výrobních systémech, metodami zpracování a identifikace obrazů. Hlavní důraz je v práci kladen na metody zvyšování rozlišovací schopnosti snímacích elementů a extrakci snímků s vysokým rozlišením ze série snímků s nízkým rozlišením.

Práce je rozdělena na část teoretickou a část experimentální a formálně je členěna do jedenácti kapitol.

Kapitola první uvádí celou práci, popisuje využití optické kontroly v různých výrobních a jiných systémech a definuje umístění tohoto druhu kontroly v standardním kruhu jakosti výrobku.

Druhá kapitola specifikuje důvody vzniku práce a definuje cíl, jehož chce autor dosáhnout.

V kapitole tři jsou v několika podkapitolách popsány metody a postupy řešení stanoveného cíle disertační práce jak byly nalezeny a popsány v různých druzích publikací. Jsou zde rozebírány metody jako proložení hrany objektu spojitou křivkou, přes metody „curvature“ ve 2D obrazech a dále pak metody, jež nejsou čistě matematické, ale které využívají doplňkových mechanismů, např. třetích os pro

polohování objektů apod. Poslední částí je zde popis metod určených pro speciální účely jako jsou například metody užívané armádou.

Kapitola čtyři stručně definuje vlastní pojem „vizuální kontrola“ a popisuje její princip.

Pátá kapitola popisuje základní typy vizuální kontroly. Její podkapitoly se zabývají jednotlivými typy a podrobně popisují nejpoužívanější metodu a to metodu vizuální kontroly na základě modelu. Dále je zde pro tuto metodu popsán postup kontroly od nalezení a vybrání správných charakteristik, které se kontrolují a porovnávají, přes vytváření vlastního modelu až po vlastní porovnávání a detekci defektů kontrolovaného objektu.

Obsahem šesté kapitoly je podrobný popis metod pro zpracování obrazu a jejich přesné definice včetně výpočetních vztahů použitelných v aplikacích pro technickou vizuální kontrolu. Dále se zde nachází zevrubný popis programového vybavení jež bylo vytvořeno. Jsou zde uvedeny filtrační metody a to jmenovitě filtrace za pomoci konvoluční matice, dále pak filtrační metody ve spektrální rovině a filtrace mediánová. Dále podkapitoly popisují různé druhy segmentace zpracovávaného obrazu. Zde se objevuje popis metod jako je segmentace prahováním, dále pak sofistikovanější metody, jako metoda určení hranice objektu, segmentace za pomoci dilatace-eroze obrazu a jako poslední metoda, která provádí segmentaci pomocí analýzy struktury daného obrazu. Následuje popis jednotlivých tvarových reprezentací a charakteristik, používaných v modelech pro popis objektů ve snímané scéně. Jsou zde uváděny charakteristiky jako jsou plocha objektu, šířka a výška, excentricita, obvod a další. Dále jsou zde uváděny speciální momentové charakteristiky jakož popis objektů, který je v závislosti na dané hodnotě těchto momentů invariantní vůči posunutí, rotaci a změně měřítka, což umožňuje jejich využití v rozeznávání různých druhů a typů objektů nalezených ve snímané scéně.

Sedmá kapitola se podrobně zabývá popisem metody pro zvyšování rozlišovací schopnosti jako hlavní náplně práce, dále se zde uvádí popis testovacího pracoviště a verifikace dosažených výsledků. Jak již bylo uvedeno, podkapitoly obsahují popis testovacího a měřicího pracoviště, dále se zde nachází také popis lineárního chování CCD elementu jako základní podmínky pro zpracování následné metody. Následuje podrobný popis metody s velkým množstvím doplňujících obrázků a výrazů, které dokreslují řešení problému. Popis metody obsahuje dvě části a to část zabývající se rozeznávání vzájemného posunu snímků a část popisující vlastní interpolaci snímků z vypočtených posunů. Konec doplňuje popis způsobu verifikace a diskuse získaných výsledků.

Poslední osmá kapitola obsahuje závěr, shrnutí dosažených výsledků a jejich diskusi.

Publikaci doplňuje v deváté kapitole seznam použité literatury, dále pak v desáté kapitole seznam vlastních publikací autora.

Jako poslední kapitoly se zde objevuje obsah, seznam publikací a seznam obrázků a schémat nacházejících se v práci.

3 SOUČASNÝ STAV

V současné době je oblast vizuální kontroly dosti dobře popsána a narůstá její nasazování a používání v mnoha oblastech průmyslu.

Vlastní typy vizuální technické kontroly je možno rozdělit v zásadě do dvou nezávislých oblastí a to na typ, jež jednoznačně určí zda objekt vyhovuje či nevyhovuje určitým kritériím (kontrola na základě modelu), avšak není schopen poskytnout další nezbytné upřesňující informace jako je např. určitý rozměr. V zásadě lze tento druh rozhodovacího mechanismu s úspěchem použít i v situacích, kdy jiné typy kontrol nejsou účinné, jako např. defekty vzniklé při nástřiku laku atd. Tyto defekty jsou běžně automatizovaně neidentifikovatelné a je zde třeba zásahu obsluhy pro jejich detekci. Druhý způsob obecně umožňuje získat už přesné hodnoty určitých rozměrů kontrolovaného objektu a tyto hodnoty případně postoupit nadřazenému systému pro další, např. statistické zpracování.

Právě při zaměření na druhý způsob vizuální kontroly a to na přesné měření objektů a jejich identifikování a ze zpracováním poznatků získaných v průběhu prací byly nalezeny následující problémy. Z prostudovaných materiálů vyplývá, že obsah informací uložených a případně získaných z jednoho snímku obrazové scény je omezený a tudíž i extrakce informace a následně i rozlišení je konečné. Z toho plyne, že vlastní měření prováděné pomocí digitálních optických snímacích zařízení, jako jsou např. CCD kamery, je omezeno technickými vlastnostmi těchto zařízení a to převážně fyzickým rozlišením používaných snímacích elementů. Vezmeme-li v úvahu, že se tyto elementy vyrábí v maximálních rozlišeních cca. 4096x4096 snímacích bodů pro čtvercové elementy a v rozlišeních cca. 8192 snímacích bodů pro lineární snímací prvky, lze dojít k názoru, že i přesnost měření danými zařízeními je silně omezená a závislá právě na tomto rozlišení. Druhým a také dosti podstatným faktorem je i cena těchto elementů. Pokud bereme v úvahu např. snímací zařízení s čtvercovým snímacím elementem jež byl uveden dříve (4096x4096 bodů) cena se zde pohybuje řádově 100 000 Kč, kdežto snímací zařízení s řádově menším rozlišením se v současné době pohybují v cenových relacích 10 až 20 tisíc Kč. Z tohoto důvodu je patrné, že i cena je důležitý faktorem.

Proto vznikly metody, jež tuto limitaci dokáží obejít, a to jak metody matematické, tak metody využívající např. doplňkového pohybu.

Z metod matematických to jsou například metody interpolační, jejichž principem je částečná vektorizace hrany, která prokládá nespojitý (diskrétní) obraz scény spojitou funkční závislostí, ze které je následně vyhodnocován požadovaný rozměr objektu scény.

Další z metod běžně používaných je metoda „Curvature“, která prokládá části hranice snímaného objektu pomocí hladké křivky na základě největšího gradientu přechodu jasu na hranici objektu.

Za část matematických metod lze považovat i metody jako jsou interpolace bilineární nebo interpolace pomocí kubického B-Spline. Nevýhodou těchto metod je ovšem, že vlastně doplňují do obrazové matice informaci, která zde není, i když

subjektivně, například pro lidské oko se může zdát výsledný obraz lepší a to z důvodů jeho adaptační schopnosti a přenosové charakteristiky.

Jako poslední z matematických metod stojí za zmínku např. metoda MAP[16] (Maximum a posteriori) používané světovými armádami. Tato metoda byla částečně publikována, ale jelikož vývoj byl prováděn za podpory leteckých sil USA, podrobnosti v těchto člancích nejsou uváděny z důvodů utajení

Z ostatních metod je dobré zde uvést např. zavedení dodatečné osy pro řádkové senzory nebo 2D polohovacích zařízení pro senzory čtvercové.

Další z metod je možno uvést metody, které zvyšují vlastní rozlišovací schopnost optického snímacího elementu a tím definované rozlišení snímaného obrazu na základě pohybu snímaného objektu vzhledem k ploše snímacího elementu a následovně zpracování této časové série snímků do jednoho výsledného obrazu s vysokým rozlišením. Tato metoda se velmi často vyskytuje u vysoce specializovaných kamer např. v infračervených snímacích kamerách pro astronomické sledování, např. kamery firmy Carl-Zeiss, kde je snímací element rozkmitáván pomocí piezo-elementu, čímž je dosahováno sub-bodového posunu objektu, tzv. microscanning. Následně jsou poté takto posunuté snímky s **předem známým vzájemným posunem** interpolovány a převzorkovány do jednoho snímku s vysokým rozlišením.

4 CÍLE PRÁCE, ZVOLENÉ METODY A ZPRACOVÁNÍ

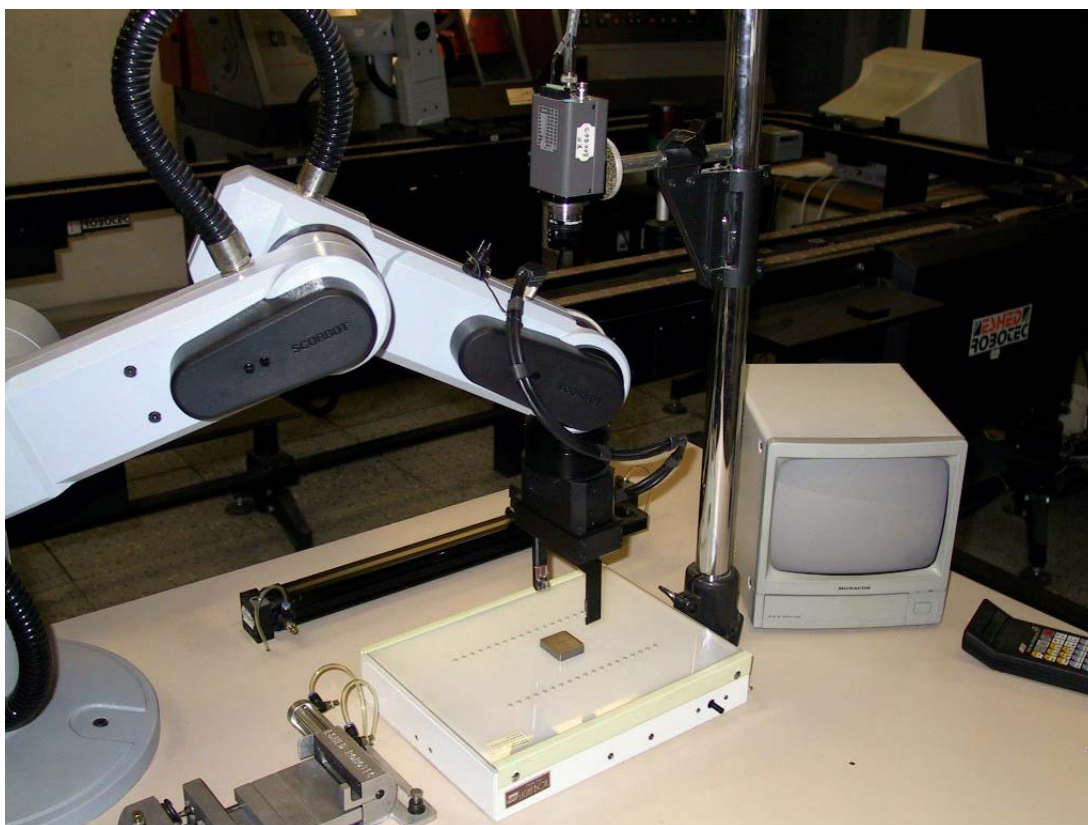
Cíl řešení této práce lze definovat následujícími slovy. Autor této práce byl v průběhu studia spoluřešitelem dvou grantových projektů a to FRVŠ 1101/1999 „Bezdotyková kontrola součástí v automatizovaných výrobních buňkách“ a GAČR 101/97/0200 „Výrobní buňka jako součást CIM“ v oblasti technického vidění a kontroly jakosti. V rámci těchto prací a v průběhu přípravných prací této disertační práce bylo vytvořeno programové vybavení pro stanici technické kontroly. Na základě řešení uvedeného problematiky byl zjištěn následující problém, který přímo souvisí s nasazováním tohoto typu vizuální technické kontroly do průmyslových oblastí. Tento problém je úzce svázán s přesností měření. Jelikož je fyzické rozlišení užitého snímacího elementu, ať je použit CCD senzor nebo senzor CMOS, konečné, tzn. je zde pouze omezený počet snímacích bodů, je i fyzické rozlišení sejmuté obrazové scény konečné.

Proto nyní je možno definovat cíl této disertační práce a to :

Nalezení, vyzkoušení a případné upravení metody, umožňující částečné zvýšení rozlišovací úrovně snímacích zařízení.

5 HLAVNÍ VÝSLEDKY PRÁCE

Na základě výše uvedených skutečností a poznatků získaných v průběhu prací byly získány následující výsledky. Z hlediska prostudovaných materiálů vyplývá, že obsah informací uložených a případně získaných z jednoho snímku obrazové scény je omezený a tudíž i extrakce informace a následně i rozlišení je konečné. Z tohoto důvodu se práce zaměřuje na extrakci informace ne z jednoho statického snímku obrazové scény, ale ze série snímků, které jsou vzájemně posunuty podobně jako u používaných snímacích zařízení firmy Carl-Zeiss. V zásadě bylo vycházeno z možností, které nabízejí současná automatizovaná pracoviště a to, že např. translační pohyb součástí je snadno dostupný například na základě působením dopravníků v mezioperační přepravě, tzn. že snímací zařízení je možno umístit přímo nad dopravník, nebo např. jako v našem případě, nasazením již instalovaného manipulátoru, jež tento posuv zajistí, jak je vidět na obr.1.

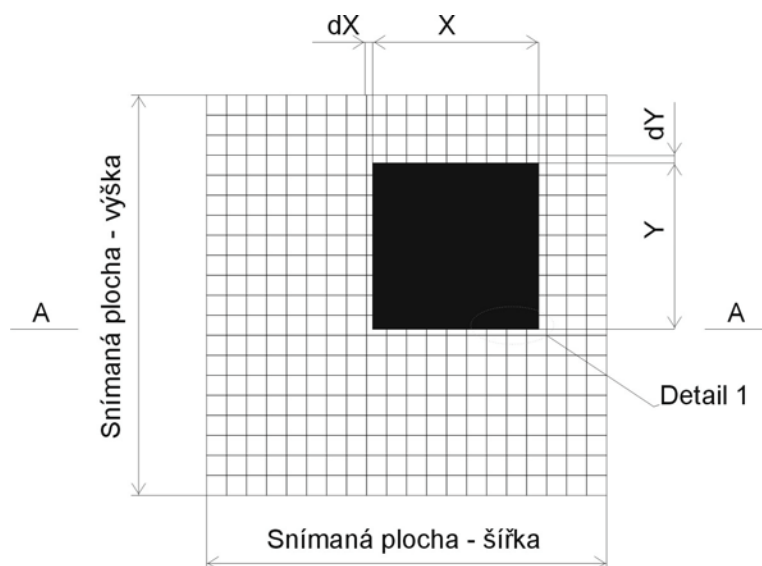


obr. 1 Testovací pracoviště

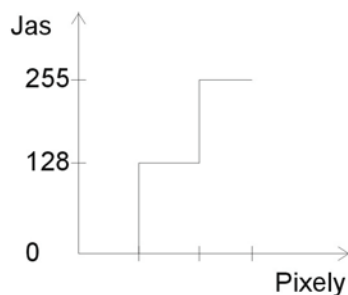
5.1 LINEÁRNÍ CHOVÁNÍ CCD ELEMENTU

Základem metody byl předpoklad, že odezva snímacího elementu běžných CCD čipů kamer na vstupní signál je lineární, nebo se dá linearizovat za předpokladu dostatečně malých a tudíž akceptovatelných odchylek.

Předpokládáme, že obraz snímaného objektu na ploše snímacího elementu má tvar, jež je zobrazen na obr.2.



A-A Detail 1



obr. 2 Vzorkování snímané scény

Zde je možno vidět příklad umístění snímaného objektu v poli snímacího elementu a zakrytí jeho jednotlivých snímacích bodů. V případě konečného počtu bodů snímacího elementu je šířka X nebo výška Y daného objektu obrazové scény rovna počtu překrytých bodů. V okrajových partiích snímaného objektu ovšem nedochází k překrytí celého pixelu, což znázorňují hodnoty dX a dY , jež udávají neceločíselné překrytí snímacích bodů. Potom pokud vezmeme v úvahu popis chování standardních snímacích elementů, tzn. že většina těchto elementů se chová dle lineárního modelu [21,22,23,24] viz vzorec.1, je možno říci, že typický průběh signálu v místě hrany objektu je takový, jako je uveden na Detailu 1 viz obr.2. Detail zobrazuje situaci kdy platí, že $dX=0,5$ bodu a dY je přímo na hraně, což v praxi znamená zakrytí snímacího bodu z jedné poloviny.

$$r_i = e \int_{\lambda_i}^{\lambda_h} s_i(\lambda) i(\lambda) d\lambda + n_i$$

vzorec.1

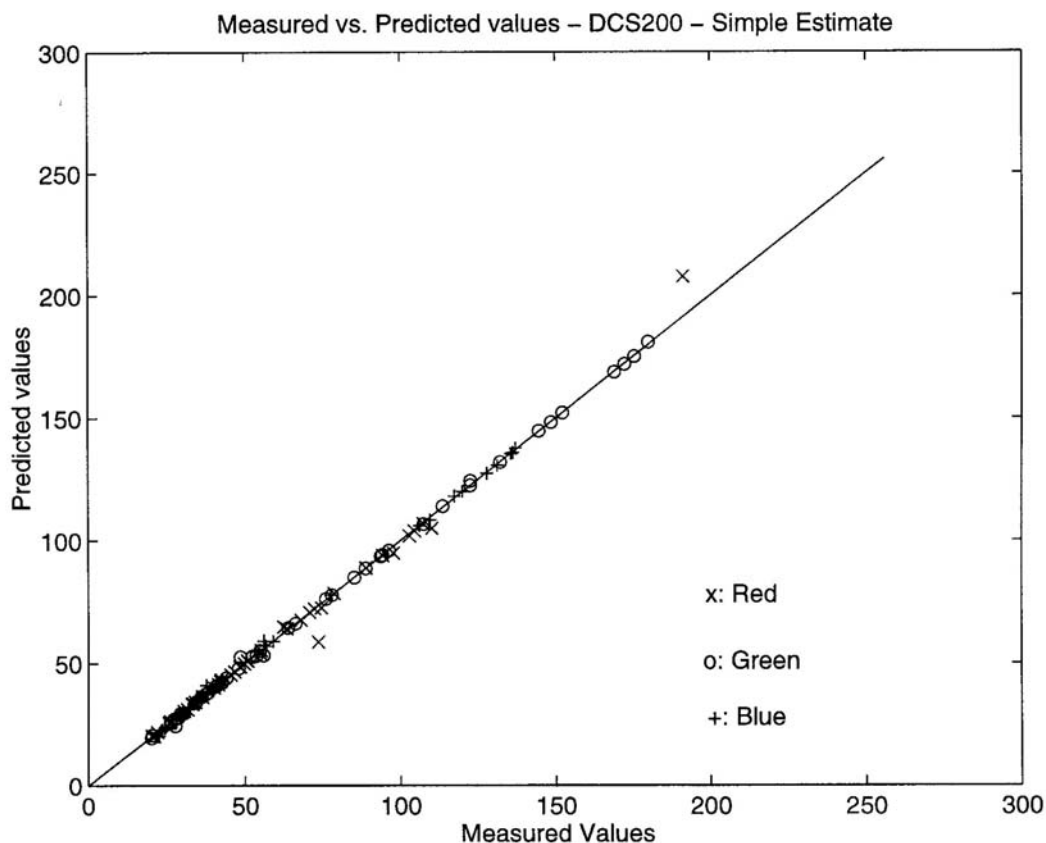
kde

r_i je výstupní hodnota i -tého bodu

$s_i(\lambda)$ je spektrální citlivost i -tého bodu

$i(\lambda)$ je intenzita dopadajícího světla za časovou jednotku ve vlnové délce λ
 e je doba expozice
 λ_i a λ_h jsou mez vlnové citlivosti snímače
 n_i je náhodná proměnná odpovídající vlivu šumu.

Na obr.3 [21,22,23,24] je možno vidět porovnání skutečných hodnot s predikovanými pro barevnou CCD kameru Kodak DCS-200m jež byly získány v laboratořích Hewlett-Packard ve spolupráci s Kalifornskou univerzitou v Santa Barbaře.



obr. 3 Lineární model versus měřené hodnoty

Z výše uvedených informací lze přijmou teorii, že každý snímací element je možno považovat za lineární, nebo je možno nalézt takovou funkci, jež dokáže data získávaná ze snímacího elementu zlinearizovat s akceptovatelnými odchylkami.

5.2 VLASTNÍ ZVÝŠENÍ ROZLIŠOVACÍ SCHOPNOSTI

Pokud se vezme v úvahu závěry předcházející kapitoly, je možno říci, že vlastní převzorkování je možné za předpokladu, že se do systému vloží určitá informace. Toto vložení doplňkové informace může nabídnout např. náhodné posunutí jednotlivých korespondujících snímků obrazové scény a toto může být použito pro částečné odstranění podvzorkování. Posun každého ze série daných snímků je vypočten (odhadován) z obsahu tohoto snímku obrazové scény oproti snímku referenčnímu. Dále je možno pomocí tohoto odhadu vypočítat snímek s vyšším

rozlišením. Z tohoto plyne, že se v zásadě jedná o dva nezávislé problémy a to rozeznání posuvu snímků obrazové scény a jejich následná interpolace.

5.2.1 Rozeznání posuvu snímků

Rozeznání posuvů snímků je jednou z důležitých částí interpolace obrazů. V literatuře [29] je uváděna možnost využití prvních členů Taylorova rozvoje pro odhad posunů jednotlivých funkcí, kde funkcí může být i funkce jasové složky obrazové scény.

Nechť $f_0(x_0, y_0)$ jsou hodnoty diskrétní funkce odpovídající prvnímu snímku v sérii. Poté $f_i(x_i, y_i)$ jsou hodnoty i -tého snímku v sérii, jež je oproti prvnímu snímku posunut o hodnotu h v x -ové ose a hodnotu k v y -ové ose. Poté je možno psát [34]:

$$f_i(x_i, y_i) \approx f_0(x_0, y_0) + h_i \frac{\partial}{\partial x} f_0(x_0, y_0) + k_i \frac{\partial}{\partial y} f_0(x_0, y_0)$$

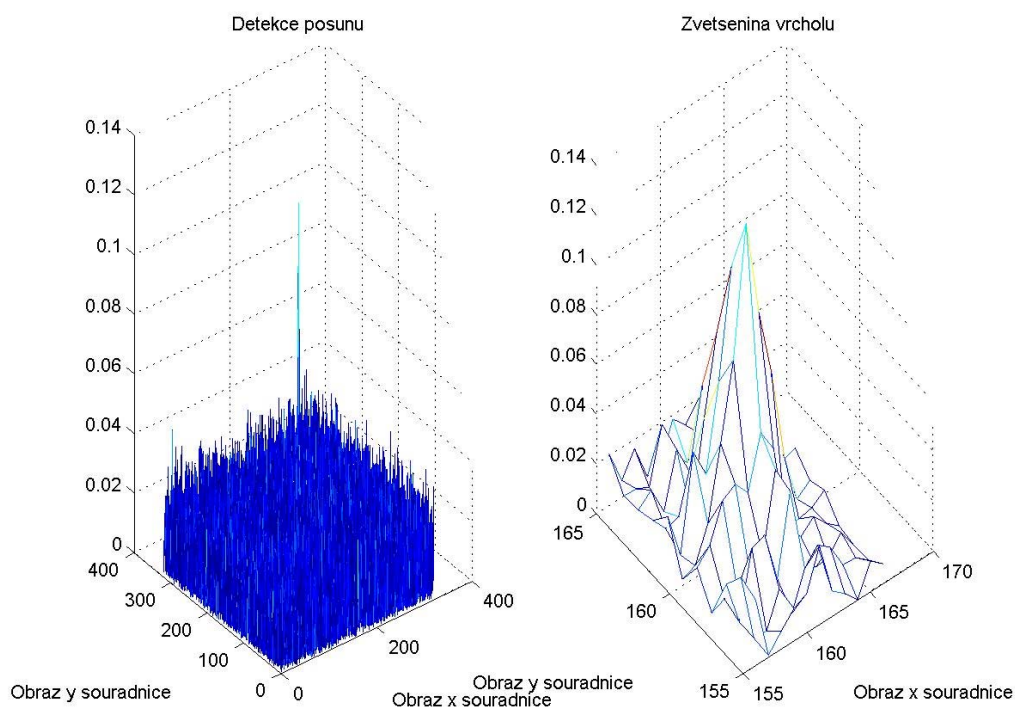
vzorec. 2

Poté je možno pomocí metody nejmenších čtverců ve dvou osách obdržet posun jedné obrazové funkce oproti druhé. V případě dvou různých snímků obdržíme subpixelový posun. Této metody je široce využíváno právě v kamerách s microscanningem, jelikož zde je dodržena podmínka vzájemného posunu pouze v rámci jednoho pixelu.

Výhodou této metody je velmi malá výpočetní náročnost. Ovšem velkou nevýhodou je její omezené použití při velkých posunech (řádově nad 0,5 pixelu). Vzhledem k těmto výsledkům a způsobu snímání požadovaných snímků obrazové scény v sekci vizuální technické kontroly a to pomocí posouvání objektu manipulátorem nebylo možno dosáhnout žádaných subpixelových posuvů jako v případě kamery s microscanningem, i když pokud byly posuvy větší než půlka bodu byl obraz programově posunut daným směrem o 1 bod tak aby bylo možno spočítat posun z druhé disjunktní strany daného intervalu. Poté byla opět aplikována stejná metoda, která v tomto případě dává přesnější výsledky odhadu posunu.

Vzhledem k těmto důsledkům bylo nezbytné nalézt další metodu, jež by obecně umožnila zhodnotit posuv snímků ve větších rozmezech a to i za předpokladu méně přesného odhadu posunu.

Z tohoto hlediska byla nalezena a modifikována druhá metoda, jež byla popsána v [15]. Tato metoda vychází z teoremu posunu Fourierovy transformace. Tento teorém zajišťuje, že Fourierovy obrazy těchto podobných, avšak vzájemně posunutých snímků jsou podobné v amplitudě, ale mají rozdílnou fázi signálu. Provedením křížová korelace dvou obrazů a následným provedením inverzní Fourierovy transformace dostaneme impulsní funkci, jejíž průběh je blízký nulovým hodnotám vyjma viditelného maxima (vrcholu), jež přímo koresponduje s posunem daných obrazů oproti sobě viz obr.4. Nevýhodou této metody ovšem je, že získaný posun je pouze celopixelový, tzn. že výsledek se nehodí jako vstupní data do matematických interpolačních metod.



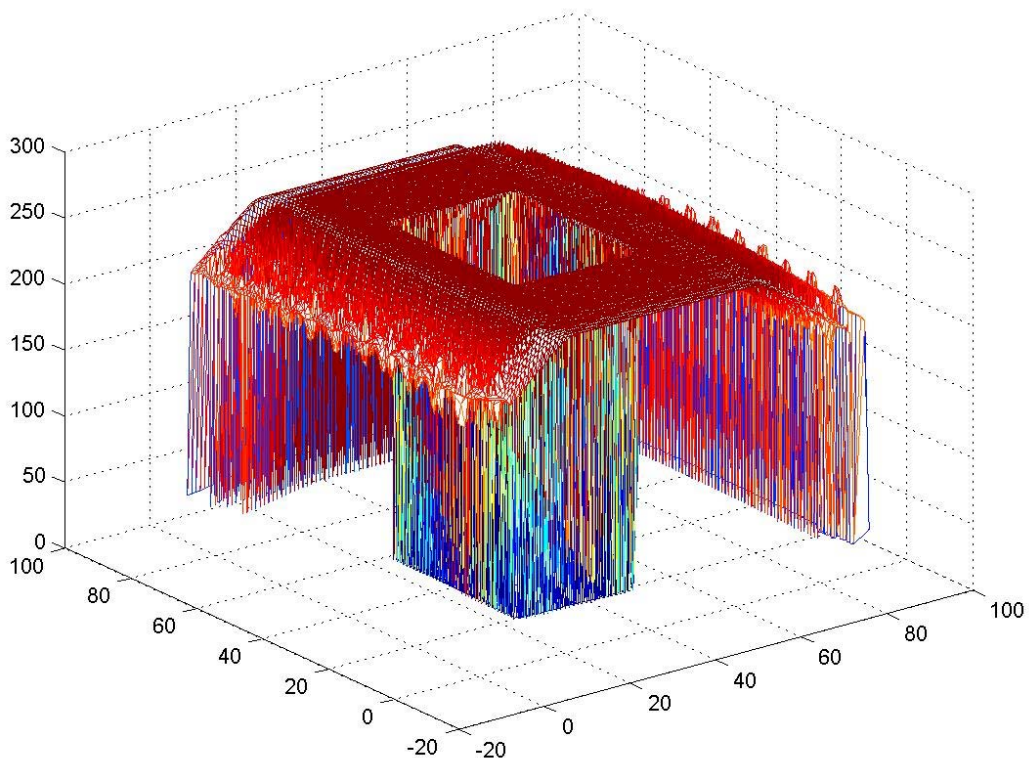
obr. 4 Grafické znázornění výsledku metody „Normovaná křížová korelace ve frekvenční oblasti“

V závislosti na výše uvedených skutečnostech byla zvolena varianta kombinací těchto metod, kdy pomocí metody „Normované křížové korelace ve frekvenční oblasti“ byl v prvním kroku identifikován celopixelový posun daných obrazů (objektů). Poté byly tyto snímky na základě již známých posunů centrovány, tak aby mohly být následně předány do metody výpočtu na základě Taylorova rozvoje, která umožňuje zjistit posun sub-pixelový.

5.2.2 Interpolace snímků

Druhým krokem následujícím po odhadu posunu jednotlivých snímků pro úspěšné zvýšení rozlišovací schopnosti je vybrat správnou metodu interpolace jednotlivých bodů a sloučení těchto snímků obrazové scény do jednoho. Pokud vezmeme v úvahu lineární chování snímacího segmentu kamery, jak bylo popsáno v předchozích kapitolách, je teoreticky možno jednotlivé body proložit, např. rovinou. Bohužel nevýhodou této metody je, že je dosti náchylná na šum v obraze a v zásadě interpoluje pouze v rozmezí jednoho pixelu, tzn. že nebere v potaz hodnoty pixelů ve svém okolí.

Proto po zkouškách bylo nutno nalézt odlišnou metodu. Pro tento účel proto byla zvolena jedna z dosti rozšířených metod používaných např. v metodě konečných prvků a v rekonstrukcích obrazů a to metoda triangulace, jež splňovala požadavky jak na linearitu tak i to, že zohledňuje své okolí. Pro tento účel byl použit standardní algoritmus tzv. „Delaunay triangulace“. Na obr. 5 je možno vidět výsledek po proložení série vzájemně posunutých snímků pomocí triangulace.

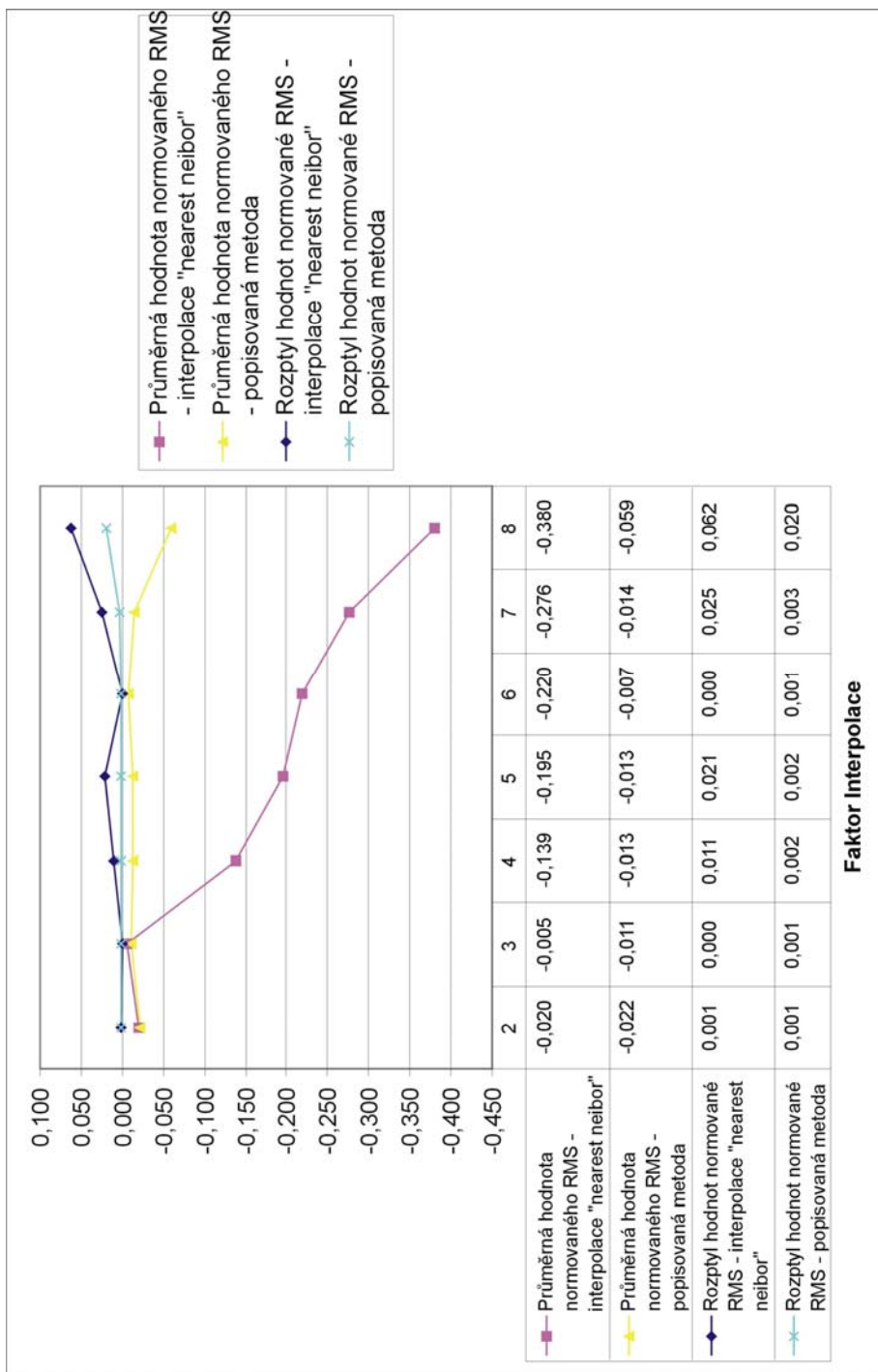


obr. 5 Triangulace série snímků

Po tomto proložení následovalo převzorkování daného modelu snímku a vypočtení hodnot nacházejících se v mezibodových polohách.

5.2.3 Verifikace výsledků

Vlastní verifikace výsledků byla provedena pomocí porovnání RMS (root-mean-square) [35] signálu snímku a to prvního snímku před snížením vzorkovací frekvence, dále pak po převzorkování do výsledného snímku vytvořeného pomocí výše popsané metody a pro porovnání byla provedena také interpolace prvního snímku v sérii na původní velikost pomocí standardní interpolační metody „nearest neighbor“. Výsledné hodnoty byly spočteny pro faktor interpolace 2 až 8 a výsledek je zobrazen na obr. 6. Jak je vidět na následujícím grafu, hodnoty pro interpolační faktor 2 a 3 jsou prakticky shodné pro obě použité metody. Ovšem pro vyšší faktory se tyto hodnoty prudce rozcházejí, jak je vidět na obr. 6, kde hodnoty RMS pro původní snímek a snímek vytvořený popisovanou metodou jsou zhruba stejné až do interpolačního faktoru 8, kdežto RMS snímku interpolovaného běžnou metodou již při faktoru 4 dosahuje značné odchylky.



obr. 6 Vývoj hodnot RMS

6 ZÁVĚR

Práce obsahuje podrobný popis metodiky, která v široké míře umožňuje eliminování či částečné omezení některých podmínek vstupujících do procesu vizuální technické kontroly. Základní zaměření práce bylo definování nových přístupů k vizuální technické kontrole a bylo orientováno na omezení vlivů konečné rozlišovací schopnosti snímacích elementů v systémech vizuální technické kontroly a tím přímo související přesnosti měření. Práce vychází z apriorních a již dříve ověřených vlastností obrazů vznikajících při snímání obrazové scény, a to zejména z hypotézy, že pokud existuje sequence obrazů s daným rozlišením daného objektu, jehož poloha je v čase proměnná, potom na základě podrobné matematické analýzy je možno získat aposteriorní informaci využitelnou k eliminaci problému s nízkým rozlišením. Touto aposteriorní informací je posun jednotlivých snímků obrazové scény z časové řady, a to nejen subpixelový posun, ale i posun celopixelový.

Tuto metodologii využití obou přístupů celopixelového i subpixelového posunu právě definuje a výsledné vlastnosti hodnotí tato práce. Bylo ověřeno na simulovaných i reálných sequencích obrazů obrazové scény, že v práci uvedená metodika dává dobré výsledky a je možné využití matematicky extrahovaných vzájemných posunů snímků skutečně využít ke zvýšení rozlišovací schopnosti běžných kamerových systémů obvykle začleňovaných do systémů vizuální technické kontroly. Na základě měření výsledků testovaných hypotéz i následných reálných experimentech bylo dosaženo zvýšení rozlišení obrazu obrazové scény. Pro zvýšení rozlišení se využívá matematických metod, které umožňují složení snímků sekvence obrazové scény na základě výpočtu vzájemných posunů do jednoho výsledného snímku a následné matematické úpravy snímku tak, aby došlo k dopočtu hodnot jasové složky nových bodů obrazu se zvýšeným rozlišením. K tomuto byla zvolena metodika interpolace na základě triangulace obrazové sítě, a to konkrétně Delaunayuv algoritmus, s tím, že tyto metody jsou použitelné na základě provedených testů do faktoru interpolace cca. 4-5. Ve vyšších oblastech interpolace jsou už tyto metody nepřesné.

7 PUBLIKACE A CITOVANÁ LITERATURA

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Výzkumná zpráva č. ÚVSSaR 247/99 Výrobní buňka jako součást CIM II, Brno 1999.
- [2] Výzkumná zpráva č. ÚVSSaR 246/98 Výrobní buňka jako součást CIM I, Brno 1998.
- [3] Výzkumná zpráva č.ÚVSSaR 250/00 Bezdotyková kontrola součástí v automatizovaných výrobních buňkách, Brno 2000
- [4] Molnár, Zdeněk.: Moderní metody řízení informačních systémů, Grada 1992
- [5] Robot Vision Pro, Users' Manual, Eshed Robotec 1995
- [6] Klíma, M. a kol.: Zpracování obrazové informace; ČVUT Praha; 1996.
- [7] Ružický, E.; Ferko, A.: Počítačová grafika a spracovanie obrazu; Sapiencia Bratislava; 1995
- [8] Pecháč, V.; Semetkovský, L.: Klient/server ODBC; GComp Praha;1996
- [9] Halaška, I.; Pokorný, J.: Databázové systémy (jazyk SQL a systém ORACLE); ČVUT v Praze; 1997.
- [10] Druckmüller, M.; Heriban, P.: Obrazový analyzátor; SOFO Brno; 1992.
- [11] Přednášky o zpracování obrazu Doc. M.Druckmüller - 1997
- [12] Bartsch, H.: Matematické vzorce; SNTL Praha; 1960
- [13] Maroš, B.; Marošová, M.: Základy numerické matematiky a programování – Numerické metody; VUT Brno; 1988
- [14] Vavřík, I.; Becha, P.: Jakost I – Řízení jakosti, Interní učební texty UVSSaR VUT FSI, Brno 1997
- [15] B. Srinivasa Reddy; B.N. Chatterji: An FFT-Based Technique for Translation, Rotation, and Scale-Invariant Image Registration, IEEE Transaction on Image Processing, Vol. 5, No. 8, August 1996
- [16] Russell C. Hardie, Kenneth J. Barnard, Ernest E. Armstrong: Joint MAP Registration and High-Resolution Image Estimation Using a Sequence of Undersampled Images, IEEE Transaction on Image Processing, Vol. 6, No. 12, December 1997
- [17] Richard R. Schultz, Robert L.Stevenson: Extraction of High-Resolution Frames from Video Sequences, IEEE Transaction on Image Processing, Vol. 5, No. 6, June 1996
- [18] Jen-Ming Chen: A Genetic-Based Vision Systems for Cross-Functional Integration in Flexible Manufacturing: A Tutorial and Application, The Internacional Journal of Flexible Manufacturing Systems, 9(1997): 343-365, 1997 Kluwer Academic Publishers Boston
- [19] Kovalevsky, Vladimir: Curvature in Digital 2D Images, The Seventh International Workshop on Combinatorial Image Analysis (IW CIA 2000), Caen, France, July 2000
- [20] Nicolas Ayache, Oliver D. Faugeras: HYPER: A New Approach for Recognition and Positioning of Two-Dimensional Objects, IEEE Transactions

- on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. PAM1-8, No. 1, January 1986
- [21] Poorvi L. vora, Joyce E. Farrell, Jeremy D Tietz, David H. Brainard: Digital color cameras – 1 – Response models, Hewlett-Packard Company, Technical Report, HP-97-53, march 1997
 - [22] Poorvi L. vora, Joyce E. Farrell, Jeremy D Tietz, David H. Brainard: Digital color cameras – 2 – Spectral response, Hewlett-Packard Company, Technical Report, HP-97-54, march 1997
 - [23] Poorvi L. vora, Joyce E. Farrell, Jeremy D Tietz, David H. Brainard: Image Capture: synthesis of sensor responses from multispectral images, Proceedings of the 1997 IS&T/SPIE Conference on Electronic Imaging, (San Jose, CA, February 10-14, 1997), 3018, 2-11
 - [24] Poorvi L. vora, Joyce E. Farrell, Jeremy D Tietz, David H. Brainard: Linear Models for Digital Cameras, Proceedings of the 1997 IS&T 50th Annual Conference, (Cambridge, MA, May 18-23, 1997), 377-382
 - [25] Brian C. Tom, Aggelos K. Katsaggelos: Reconstruction of a High-resolution Image ny Simultaneous Registration, restoration, and Interpolation of Low-resolution Images, IEEE 1995
 - [26] Brian C. Tom, Aggelos K. Katsaggelos, Nicolas P. Galatsanos: Reconstruction of a High Resolution Image from Registration and Restoration of Low Resolution Images, IEEE 1994
 - [27] Shmuel Peleg, Danny Keren, Limor Schweitzer: Improving image resolution using subpixel motion, Patern Recognition Letters 5 (1987), North-Holland
 - [28] Roland T.Chin: Algorithms and techniques for Automated visual Inspection, Handbook of Pattern Recognization and Image Processing, 1986 Academic Press
 - [29] Cris L. Luengo Hendriks, Lucas J. van Vliet: Resolution Enhancement of a sequence of Undersampled Shifted Images, ASCI'99, Delft, 1999
 - [30] Andrew J. Patti, M. Ibrahim Sezan, A. Murat Tekalp: Superresolution Video reconstruction with Arbitrary Sampling Lattices and Nonzero Aperture Time, IEEE Transaction on Image Processing, Vol. 6, No. 8, August 1997
 - [31] Sonka Milan, Hlavac Vaclav, Boyle Roger: Image Processing, analysis and Machine Vision, Internacional Thomson Computer Press, 1996, ISBN 0-412-45570
 - [32] www.dspguru.com
 - [33] Rektorys, K.: Přehled užité matematiky I., Prometheus, Praha 2000, ISBN 80-7196-180-9
 - [34] Rektorys, K.: Přehled užité matematiky II., Prometheus, Praha 2000, ISBN 80-7196-181-7
 - [35] Smetana, C.: Praktická elektro-akustika, SNTL , Praha 1981

PUBLIKACE AUTORA

- [36] Bradáč, F.: Technická kontrola pomocí CCD kamery a její začlenění v CIM; Instruments and Control. Proceedings of XXIII. ASR Seminary '99; Ostrava 1999
- [37] Bradáč, F.: Technická kontrola, její začlenění a využití v automatizovaných systémech; Transfer '99; VUT Brno 1999
- [38] Bradáč, F.: Využití CCD kamer ve stanicích technické kontroly a metody zvýšení jejich rozlišovací schopnosti, Pedagogicko-vědecká konference, FSI VUT Brno 2000
- [39] Bradáč, F.: Metody zvýšení rozlišení obrazů, XXVI. ASR '2001 Seminar, Instruments and Control, Ostrava, Ostrava 2001
- [40] Bradáč, F.: The methods of improving of spatial resolution of images, 13.konference Riadenia procesov - Process Control'01. Štrbské Pleso 2001

8 CURICULUM VITAE

Narozen: 27. 1. 1971

Stav: svobodný

Bydliště: Nám.Míru 2, 602 00 Brno

Vzdělání:

1977-1978 ZŠ Slovanské náměstí, Brno

1978-1985 ZŠ Jana Babáka, Brno

1985-1989 SPŠS Sokolská, Brno

1989-1994 VUT FS, Brno – název diplomové práce „Počítačová podpora retrofitu“

1994-2002 VUT FS, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky-doktorské studium

Odborná praxe:

1995-1997 Studijní pobyt TUT Tampere, Finsko

2000-2001 asistent na Ústavu výrobních strojů, systémů a robotiky VUT FSI Brno

2001-> zaměstnán jako výzkumný pracovník pobočky Výzkumného centra pro strojírenskou výrobní techniku a technologii – Společné pracoviště ČVUT v Praze a SST

Studijní pobyty:

1995-1997 Studijní pobyt TUT Tampere, Finsko

2000 ESIEE Paris, Francie

Odborná výuka:

- cvičení ” Řídící počítače a jejich programování”
- přednášky a cvičení ” Programování pro výrobní systémy”
- přednášky a cvičení ” Počítačová podpora výrobních systémů II”

Jazykové znalosti:

angličtina, ruština

Účast na grantových projektech:

GAČR 101/97/0200 - „Výrobní buňka jako součást CIM“

FRVŠ 1101/1999 - „Bezdotyková kontrola součástí v automatizovaných výrobních buňkách“

9 SUMMARY

The work consists of detailed description of methodology, which allows to broadly eliminate or partially reduce influence of a priori given restrictions that limits the process of visual technical control. The main focus of the work was to define new approaches to visual technical control and the goal was to reduce influence of limited resolution of the optical sensor elements used in systems of visual technical control as the resolution directly influences accuracy of measurements.

The work is based on proven a priori properties of images that arise from the image scanning, especially from the hypothesis that if there exists a sequence of limited resolution images of an object whose location is time variable, then using mathematical analysis it is possible to gain an a posteriori information that can be used to increase the resolution of the original image. This a posteriori information is information gained by sub-pixel and pixel shift of images.

Methodology for utilization of sub-pixel and pixel shift is defined in the work. Moreover the work includes evaluation of results obtained by utilization of the presented methods. On both simulated and real-world sequences was shown that the described methodology provides satisfactory results. The presented work shows that it is possible to use mathematically extracted image movements to increase resolution of standard camera systems that are being utilized in systems of visual technical control systems.

Based on comparison of tested hypotheses and experiments on real-world images it is possible to state that it is possible to increase spatial resolution of the scene. To increase the spatial resolution there are used mathematical methods that enable to combine images from an image sequence into a final image. By enumeration of mutual movements of single images it is possible to produce a final image with spatial resolution higher than the resolution of original images.

Consecutively by application of mathematical adjustments the brightness of the new pixels in the final image is calculated.