

POVRCHOVÉ MIKROSTRUKTURY

Surface Microstructures

Jiří Rošický

Abstract: This paper presents surface microstructures and their applications in the field of physical object identification. Two types of surface microstructures and some of their properties (i.e. resolution) are described. Modes of their interpretation as identifiers of physical objects are outlined. Two methods of implementation of surface structures are proposed and discussed in the experimental part.

Key words: Surface structure, Microstructure, Identification, Fingerprint, Signature, Tag, Particle, Image analysis.

1. Úvod

Problematika identifikace fyzických objektů je obsáhlou oblastí. Je v popředí zájmu širokého spektra zájmových skupin. Identifikací fyzických objektů se zabývají téměř všechna odvětví průmyslové výroby, obchodníci, poskytovatelé dopravních a logistických služeb, bezpečnostní služby, státní úřady, knihovny, archivy, výzkumné instituce. Výčet není zdaleka úplný. Identifikací objektů se nějakým způsobem zabývá každý člověk. Problematika je předmětem zájmu vědeckého výzkumu. Jednou z možností, jak realizovat identifikaci fyzických objektů je využít vlastností struktur, které tvoří *povrch* fyzických objektů.

2. Cíle práce

Cílem práce je analyzovat způsoby přístupů k povrchovým mikrostrukturám z hlediska jejich interpretace jako identifikátorů fyzických objektů, navrhnout implementaci vytváření povrchových struktur a odhadnout její rozlišovací schopnost.

3. State of the Art

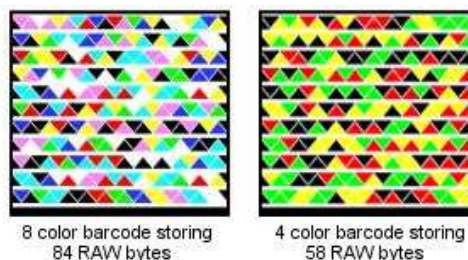
Existují v zásadě dva způsoby, jak využít povrchových struktur k identifikaci fyzických objektů.

Jednou možností jsou metody, které k fyzickému objektu připojí identifikátor ve formě dodatečné entity (např. samolepka s čárovým kódem nebo štítek s RFID čipem), nebo nějakým způsobem modifikují objekt samotný. Příkladem těchto metod jsou: označování

čárovým kódem (obr. 1, v celé řadě variant, v současné době je asi nejpokročilejším řešením High Capacity Color Barcode, obr. 2 [4]), RFID a početná skupina povrchového značení (např. laserem, ražbou, mikroúderem, tepelné nebo chemické značení). Čárové kódy, RFID a ostatní uvedené značení je založené na vytváření *definovaných* identifikátorů; tj. nejdříve je vygenerován požadovaný kód a ten je zobrazen (zhmotněn) pomocí příslušné reprezentace (obrazcem uspořádaných geometrických entit - černých a bílých ploch, barevných trojúhelníků apod.).

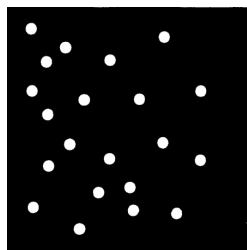


Obrázek 1. Čárový kód PDF-417.

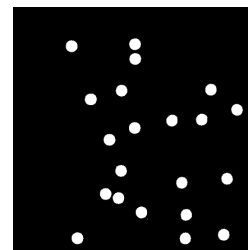


Obrázek 2. High Capacity Color Barcode [4].

Jiným přístupem je vytváření *náhodných* identifikátorů [1]. Identifikátor (struktura) v tomto případě vzniká tak, že na povrch objektu jsou náhodně distribuovány miniaturní elementy. Kód identifikátoru se zde netvoří před vznikem struktury ale až po jejím vzniku. Kód je tedy *náhodný* a odvozuje se od prostorového uspořádání elementů a případně dalších atributů (barva, velikost, tvar elementů, atd.). Náhodnost takto vzniklých identifikátorů otevírá možnosti pro jejich použití zejména v oblasti ochrany proti padělkům.



Obrázek 3. Obraz náhodné povrchové struktury [1]



Obrázek 4. Obraz (jiné) náhodné povrchové struktury [1]

Relevantní otázkou je, kolik unikátních identifikátorů (značek) lze v daném případě vygenerovat a jaká je pravděpodobnost, že se dva *rozdílné* identifikátory (značky) budou vyhodnoceny jako *stejné*. Odpověď závisí na metodě vytváření a měření povrchové struktury. V [1] je počet unikátních značek odhadnut na 5×10^{21} . Odhad platí pro situaci s parametry: rozměry značky $18\text{mm} \times 14\text{mm}$, velikost objektů (průměr) $0,5\text{mm}$ a rozlišení obrazu značky 640×480 bodů.

Druhou možností jsou metody, které identifikátor generují na základě měření charakteristické vlastnosti objektu. V tomto případě nedochází k doplnění objektu o dodatečnou entitu ani k modifikaci samotného objektu. Příkladem jsou biometrické metody (měření otisků prstů - obr. 5 a 6, měření oční rohovky, analýza hlasu), metody počítačového vidění a metody založené na měření nerovností na povrchu objektu [2], [3], obr. 7, 8 a 9.

V případě LSA laserový paprsek osvětluje povrch objektu (papíru) a detektory zaznamenávají intenzitu odraženého záření. Signál zaznamenaný detektory je zpracován a výsledkem je unikátní signatura (fingerprint), která jednoznačně identifikuje daný objekt [2].

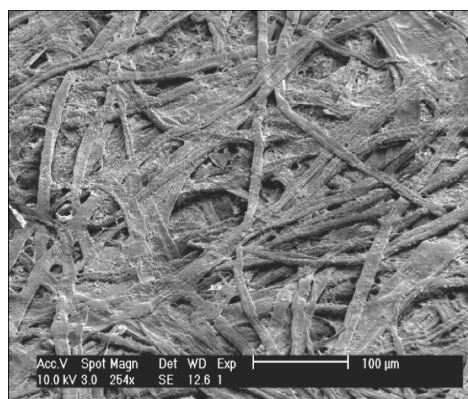


Obrázek 5. Papilární linie tvoří povrchovou mikrostrukturu [5].

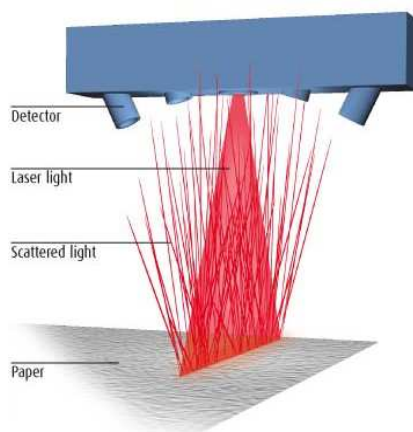


Obrázek 6. Otisk prstu - reprezentace povrchové struktury prstu.

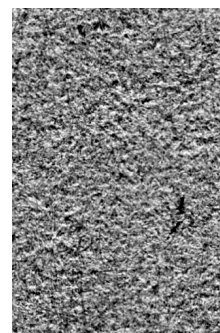
Ve druhém případě [3], je povrch papíru zobrazen běžným skenerem (obr. 9). Ze dvou takto získaných (vzájemně pootočených) zobrazení je rekonstruována topografie povrchu papíru, ze které je odvozena unikátní signatura.



Obrázek 7. Povrch papíru zobrazený mikroskopem. Náhodné uspořádání vláken tvoří unikátní povrchovou mikrostrukturu. (Měřítko 100 μm)[2, 3].



Obrázek 8. LSA [2].

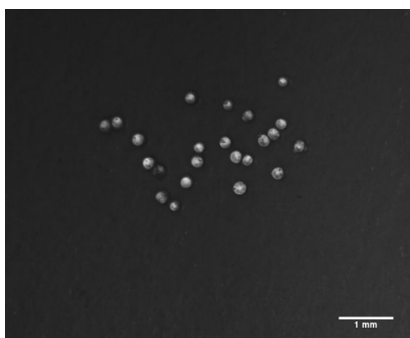


Obrázek 9. Oskenovaný papír -

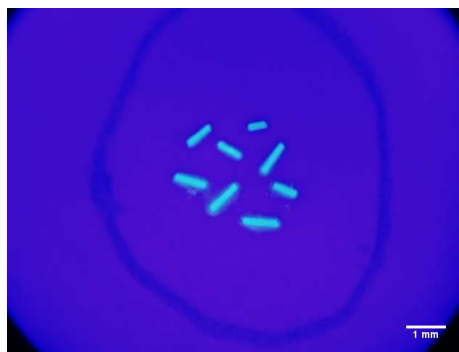
reprezentace povrchové struktury papíru pomocí zobrazení běžným stolním skenerem [3].

4. Návrh řešení, implementace a experimenty

Podle vzoru [1] byly vytvořeny zkušební povrchové mikrostruktury. V jednom případě byly použity miniaturní skleněné kuličky (obr. 10), ve druhém případě byly použity fluorescenční objekty (obr. 11). V případě mikrokuliček je využito retroreflexivity kulového objektu - vlastnost, která způsobuje odrazení světla zpět do směru osvětlení podobně jako u koutových odražečů). V případě fluorescenčních objektů se využívá fluorescence materiálu.



Obrázek 10. Povrchová struktura tvořená mikrokuličkami. (Měřítko 1mm).



Obrázek 11. Povrchová struktura tvořená fluorescenčními objekty. (Měřítko 1mm)

Struktura s kuličkami se zatím jeví jako málo robustní, protože retroreflexivita kuliček závisí na způsobu jejich fixace k povrchu a tato závislost znesnadňuje obrazovou analýzu. Struktura s fluorescenčními objekty se z tohoto pohledu jeví jako robustnější. Geometrický tvar objektů poskytuje navíc širší pole možností pro analýzu takových struktur.

Odhadneme rozlišovací schopnost struktury podle obr. 11. Budeme postupovat jiným způsobem než [1]. Strukturu nebudeme popisovat pomocí *polohy* objektů, ale k popisu využijeme *vzájemnou orientaci* objektů. Postup je velmi jednoduchý. Změříme orientaci objektů (úseček) a z naměřených hodnot (hodnoty budou v rozsahu $\pm\pi/2$) vytvoříme uspořádanou množinu. Ptáme se, kolik takových množin můžeme rozlišit. Předpokládejme, že máme k objektů a jejich natočení měříme s nejistotou $\Delta\varphi^\circ$. Potom měření orientace objektu bude indikovat hodnotu v jednom z $n = 180^\circ/\Delta\varphi$ intervalů. Počet množin, které takto můžeme rozlišit, odhadneme podle modelu:

$$\frac{1}{n} \sum_{j=1}^{\min(k,n)} \binom{k-1}{n-1} \cdot \binom{n}{j} \quad (1)$$

Pro $k = 10$, $n = 20$ vychází počet přibližně 1×10^6 , což není nijak vysoké číslo – zvláště vzhledem k výsledkům 5×10^{21} [1], případně $10^{51} \div 10^{72}$ [2]. Cílem práce však bylo pouze *navrhnout* implementaci struktury a nikoli *optimalizovat* její parametry. Rozlišovací schopnost se dramaticky zvýší zahrnutím dalších parametrů (např. *délky* objektů).

5. Závěr

Byly popsány dva typy povrchových mikrostruktur a uvedeny způsoby jejich interpretace jako identifikátorů fyzických objektů. Byly uvedeny některé vlastnosti těchto struktur (odhad rozlišovací schopnosti). Byly implementovány dva typy povrchových mikrostruktur a u jednoho z nich provedena elementární analýza rozlišovací schopnosti. Další postup bude směřovat k optimalizaci objektů, použitých pro tvorbu struktury s cílem zvýšit rozlišovací schopnost a k vývoji metody pro porovnávání povrchových struktur.

Poděkování

Příspěvek vznikl za podpory interního grantu ČVUT, *Aplikace metod identifikace povrchových mikrostruktur* (CTU0902512).

Literatura

- [1] Alphafox Systems Limited [GB/GB]; Briar Mead Yatton North Somerset BS49 4RE (GB). Security, identification and verification systems. IPC: G06K 19/06 G06K 7/12 G07D 7/12 G07D 7/20 G07F 7/08 G08B 13/24. WIPO PCT Patent, WO/2002/050790. 2002-06-27.
- [2] D. R. Buchanan, R. P. Cowburn, A.-V. Jausovec, D. Petit, P. Seem, G. Xiong, D. Atkinson, K. Fenton, D. A. Allwood, and M. T. Bryan, "Forgery: 'fingerprinting' documents and packaging," *Nature*, vol. 436, p. 475, 2005.
- [3] William Clarkson, Tim Weyrich, Adam Finkelstein, Nadia Heninger, J. Alex Halderman and Edward W. Felten: Fingerprinting Blank Paper Using Commodity Scanners. To appear in Proc. IEEE Symposium on Security and Privacy, May 2009.
- [4] Microsoft Corporation Redmond, WA 98052 (US). System and method for encoding high density geometric symbol set. Jancke, Gavin (inventor). MPT6: G06K 19/06. EPO Patent, EP1612724A1. 2005-06-16.
- [5] http://cs.wikipedia.org/wiki/Otisk_prstu