

Radiográfiai képkiértékelő berendezés

Dr. Loványi István* – Dr. Nagy Ákos* – Dr. Czihó András* – Rozsnyik Zoltán* –
Dr. Bátyi Béla** – Katonka Gábor** – Reider László**

Bevezetés

Nem kell túlzottan jártasnak lenni az ipari radiológia kérdéseiben, hogy belássuk: a vizsgálati technikában és eszközrendszerben a kialakulásuk óta nem történt alapvető áttörés. Az elv és a módszer változatlan. Napjainkban természetes módon kínálkoznak az informatikai és számítógépes módszerek alkalmazásának lehetőségei a műszaki élet eme területén is. Felmerül a kérdés: milyen módon tudjuk felhasználni ezeket a lehetőségeket?

Az ilyen jellegű próbálkozások a nyolcvanas évek végén – a kilencvenes évek elején eljutottak olyan szintre, amelyet érdemes volt akkoriban bemutatni.

A szűken mért szakmai érdeklődés arra mindenképpen elég volt, hogy további erőfeszítések és ambiciózus törekvések támpontjává váljon. Az anyagi bázist többnyire a Fővárosi Gázművek Rt. fejlesztési programjai biztosították folyamatosan. A nagyszabású építkezések a FG Rt. területén (pl. 40 bar-os vezeték és más rekonstrukciós munkálatok), a térinformatikai rendszer kifejlesztése, az ISDN hálózat, az SAP vállalatirányítási rendszer kedvező befogadó környezetet és kapcsolatot teremtettek a számítógépes adatfeldolgozó módszerek számára is.

A cikk arra vállalkozik, hogy bemutasson egy olyan módszert, amely a radiográfiai felvételek számítógépes tárolását, visszakeresését, hálózati továbbítását és sokoldalú értékelését teszi lehetővé, prezentálva az említett időszak alatt elért eredményeket.

A módszer kifejlesztését inspiráló tényezők

Az ipari radiográfiai felvétel készítésének rejtelmibe az olvasók többségét szükségtelen beavatni. Ismert dolog az is, hogy a hagyományos kiértékelési módszernek az a lényege, hogy egy megfelelő átvilágító berendezés felhasználásával a negatív felvételt a radiológus – alapvetően szemrevételezéssel – elemzi, szem előtt tartva a szerkezetre (varratra) vonatkozó előírásokat. A kiértékelés írásos eredménye a jegyzőkönyv.

A kiértékeléshez felhasználható segédeszközök szerény módon segítik a felvétel objektív megítélését. Nagyszámú film esetén a dokumentumok nehezen kezelhetők. Bizonyos esetekben pedig különösen fontos, hogy az egyes filmeket gyorsan lehessen előkeresni, mert például egy hegesztési varrattal kapcsolatos üzemszavar biztonságos elhárításához feltétlenül szükséges ismerni a varrat előéletét. Úgy tűnik, hogy újabban a maradék élettartam becsléséhez is olyan értékelési módszereket használnak, amelyek a varratban hagyott (tehát az elsődleges követelmény szerint megtűrt méretű, illetve típusú) hegesztési hibák hatásának elemzésén alapulnak. A hagyományos értékelési és visszakeresési módszer alkalmazása esetén a szükséges adatok begyűjtése lényeges mennyiségű, idejű munkát igényel.

A kialakított rendszer interaktív módszere alapvető változást jelent a radiográfiai filmek által hordozott információk tárolása és értékelése (feldolgozása és rögzítése) terén.

A negatív kép digitalizált formában történő rögzítése, a felvételek értékelésében és a hozzájuk tartozó adatok kezelésében (gyártási és vizsgálati körülmények) is új lehetőségeket nyújt a rendszer használatjának.

Az interaktív módszer alkalmazásánál az operátor szerepe elsősorban az, hogy a felvétel anyaghibásnak ítélt helyeit kijelölje a számítógépes rendszer részére, amely ezt követően a követelmények szempontjából vizsgálja – az anyagvizsgáló közreműködésével – az anyaghibás rész elfogadhatóságát.

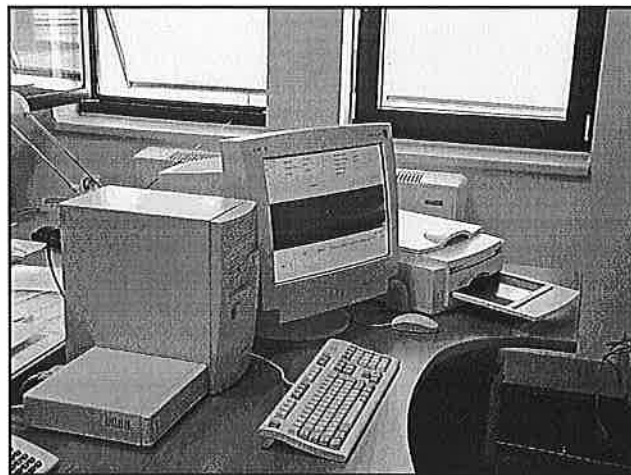
Az egyes anyaghibák méretei meghatározásának a pontossága nem hasonlítható a kézi módszeréhez. A felvételeken talált és előzetesen hibásnak ítélt helyek pontosabb értékeléséhez különleges segít-

séget ad a rendszer, pl. a síkszerű és térfogatos hibák felismerésében, a hibák helyének és méretének, a kép minőségének a meghatározásában, a hibák jellegének, kódjának reális (IWW katalógus szerinti) megítélésében.

Az adattárolás korszerű formája megoldja a kézi módszernél említett visszakeresési, hozzáférési problémákat. A módszer gyakorlatilag integrálni képes az informatikai hozzáférhetőség bármelyik elemét a Windows eszköztárán keresztül. Módot ad oktatási, távoktatási – konferencia, vagy tanácskozás jellegű – megoldásokra is.

RADEXSYS 4.0 – radiográfiai archiváló és kiértékelő rendszer

A rendszer, amely ipari radiográfiai felvételek számítógépes digitalizálására, archiválására, megjelenítésére és interaktív kiértékelésére alkalmas, két fő egységből áll: a számítógépből és a hozzá csatlakoztatott AGFA lapszkennerből (1. ábra).



1. ábra. RADEXSYS 4.0 radiográfiai képkiértékelő berendezés

Első lépésként a meglévő felvételeket digitalizálni kell a szkennert segítségével, majd az így keletkező képi fájlokat lehet az adatbázisba beilleszteni. Egy varrattól csak több lépésben lehet a röntgenfelvételeket elkészíteni, amelyek azonban túl nagyok ahhoz, hogy egy lépésben digitalizálhatók lennének, vagyis a részfelvételek is több szegmensből tevődnek össze, amelyek között célszerű átfedés van. A problémák kiküszöböléséhez a szoftver nyújt segítséget, az egymás utáni képek összeláncolásával, illetve ez alapján a teljes felvétel felépítésével.

A program felépítése

A program hat ablakból áll, amelyek a következők: *referenciák, adatbázis, képfeldolgozás, keresés, láncolás, teljes felvétel.*

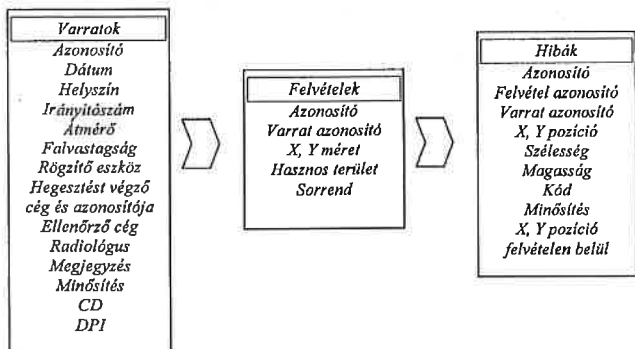
Minden ablaknak jól behatárolt funkciója van: a *referenciáknál* tekinthető meg egy tipikus hibákat tartalmazó mintaadatbázis, az *adatbázis* ablak az adatbázis menedzseléséhez nyújt segítséget, a *képfeldolgozásnál* az egyes felvételek vizsgálata, feldolgozása történhet meg, a *keresésnél* leszűrhető az adatbázis, és így könnyebben megtalálhatók a keresett képek, adatok, a *láncolásnál* két szomszédos felvétel összeláncolására van lehetőség, a *teljes felvételnél* pedig egy teljes varrat összefűzése és megjelenítése a cél az adott varrathoz tartozó képrészletek, a képek sorrendje és a láncolásnál megadott összefűzési szabályok alapján.

* Budapesti Műszaki Egyetem Irányítástechnika és Informatika Tanszék

** Fővárosi Gázművek Rt.

Az adatbázis felépítése

Az adatbázis három táblából áll, amelyek hierarchikusan épülnek egymásra (2. ábra):



2. ábra. Adattábla struktúra

A táblák között egy-több kapcsolat van, ami azt jelenti, hogy egy varrathoz több felvétel, egy felvételhez több hiba tartozik, de visszafelé ez nem igaz, vagyis egy felvétel pontosan egy varrathoz tartozhat.

A felvételek nincsenek az adatbázisban, egy külön könyvtárban vannak, ami a program konfigurációs beállításai között található. A fájlok neve a felvételek egyedi azonosítóival van összefüggésben.

Képfeldolgozási alapfunkciók

Az adatbázisból az éppen aktuális felvétel automatikusan betöltődik. A kép felett a varrat néhány fontos paramétere látható, azonosítás céljából.

Görgetés: a képernyőn nem látható részek megjelenítésére szolgál.
Fényerő/Kontraszt: a képernyőn látható felvétel jól megszokott fényerő és kontraszt beállítására szolgál.

Élkiemelés: a felvételen található éleket kiemeli, vagyis a világosság-kód eltéréseket felerősíti, lehetővé téve a foltok könnyebb elkülönítését.

Hisztogram: statisztikai jellemző, amelyet a program grafikonos formában jelenít meg. Erről leolvasható, hogy a képen hány darab pont van a különböző szürkességi szintekbenől.

Vonalprofil: egy adott vonal mentén adja meg a szürkességi szinteket.

Tükrözés vízszintes/üggőleges tengelyre: a felvétel szükség esetén tükrözhető.

Kicsinyítés/Nagyítás: a felvétel maximum 4-szeresére nagyítható, illetve kicsinyíthető. A művelet során a kép közepe a helyén marad, a többi pedig ehhez képest változik.

Eredeti felvétel: a parancs lehetővé teszi, hogy a képet visszaállítsuk eredeti formájába, vagyis minden paraméter az alapértelmezést veszi fel (görgetés, nagyítás, fényerő, kontraszt, élkiemelés, tükrözés).

Új hiba felvétele: a képen lévő hibák meghatározására szolgál. A parancsot kiadva az egérrel manipulálva téglalappal körülvehető a hibás rész. A program meghatározza a téglalap közepének pozícióját, és méreteit milliméterben, a megadott scanner DPI értéknek megfelelő pontossággal.

Hiba archiválása: Párbeszéd ablakban adhatjuk meg a paramétereit. Egy részét a program a téglalap alapján automatikusan kitölti, a többi mezőt a felhasználónak kell megadni. A **Pozíció mezők** arra szolgálnak, hogy a radiológus a teljes varratra vonatkoztatva adja meg a hiba helyzetét. Az adott képen belüli pozíciót a program automatikusan kitölti.

Változtatás mentése: Ezzel a paranccsal lehet a tükrözött képeket elmenteni az adatbázisba, vagyis a digitalizálás során keletkezett nem kívánt forgatásokat kiküszöbölni. Ez azt jelenti, hogy ha a képet tükröztük egyik, vagy akár mindkét tengelyre, és ezután kiadjuk a fenti parancsot, akkor a program felülírja az eredeti képet, de például az élkiemelést nem veszi figyelembe, tehát a kép minősége megmarad.

Radiográfiai felvétel specifikus funkciók

Keresés: A keresett értékek beírása után a táblázatban látható, hogy mely varratok felelnek meg a beírt feltételeknek. Ha több mezőre is adunk kritériumot, akkor csak azok a varratok lesznek láthatók, amelyek mindegyiknek eleget tesznek.

Láncolás: A teljes varrat összerűzéséhez szükséges funkció. Az éppen aktuális és az azt követő felvételek közötti láncolást lehet megadni. Mindkét oldalon lehetőség van a felvételek görgetésére, és fényerő-kontraszt állítására is a képfeldolgozás ablaknál leírt módon. A felvételek gyűrűbe vannak fűzve, vagyis a legutolsó következője a legelső. A képek fölötti sorszámok segítik a tájékozódást.

A három paraméter és a kép mérete egyértelműen megadja, hogy a teljes varrat felépítéséhez az egyes felvételeknek melyik részére van szükség.

Teljes varrat: Lehetőségünk van a teljes varrat megtekintésére. Ez azt jelenti, hogy a program az adott varrathoz tartozó felvételekből – a megadott sorszámok szerint – elkészíti a teljes varrat képét. Minden egyes felvételből a láncolás során megadott terület kerül felhasználásra.

Az egyes felvételek sorszáma nagyon fontos, hiszen a láncolásnál a különböző értékek – például Y irányú elcsúsztatás – az előző felvételhez képest vannak eltérő, így a sorszám későbbi megváltoztatása a teljes kép helytelen megjelenítéséhez vezethet.

Továbbfejlesztési lehetőségek

A előzőekben röviden bemutatott kiértékelő szoftver több olyan verzióját kifejlesztettük, melyek kvantitatív mérésekkel nagyban segítettek a kiértékelést végző szakember döntésénél.

A legutóbbi időig azonban a gyakorlati alkalmazhatóság korlátozott volt két technológiai eredetű probléma:

- a nagy denzitású röntgenfilmek (D>4) megfelelő minőségű digitalizálása és

- a nagyméretű digitális képek hatékony manipulálása (tárolás, visszakeresés, továbbítás) miatt.

Az első problémára a professzionális scanner-technológia napjainkban már megfelelő választ ad, vagyis a feldolgozandó filmek által támasztott minőségi követelmények illetve a rendelkezésre álló anyagi források gondos mérlegelésével már választhatunk gyári scannert. Ebben a folyamatban hasznosnak bizonyult a saját képbeviteli eszközök tervezésében szerzett tapasztalat.

A második feladatkör megoldására kidolgoztunk egy eljárást, melynek alapja az intelligens – a radiográfiai felvétel magas szintű, tartalomfüggő jellemzőihez adaptált – vektorkvantálás technikája.

Intelligens képtömörítés – Vektorkvantálás (VQ)

A VQ módszernek a kutatása a képtömörítés területén több éves múltra tekint vissza, azonban az elért eredmények ma még nem vezettek olyan népszerűséghez és széles felhasználáshoz, mint pl. a lineáris transzformáció alapuló algoritmusok, melyek leglátványosabb példája a JPEG norma, illetve mozgóképek esetén az MPEG. Ugyanakkor a mai tendencia szerint egyre inkább szükség van alkalmazás-specifikus algoritmusok kidolgozására, ilyen megközelítésben a vektorkvantálás is előtérbe kerül. A VQ alapvetően olyan módszer, mely automatikusan adaptálható a tömörítendő képek illetve képsorozatok típusához, jellegzetességeihez. Sőt, alkalmazásához elengedhetetlen, hogy előzetes információkkal rendelkezünk a képekről, ha azonban ez a feltétel teljesül, akkor más módszerekkel ellentétben a vektorkvantálás kihasználja az adott képek sajátosságait.

A pixel szintet természetesen minden módszer érinti, hiszen a pixelek értékének rekonstruálása elengedhetetlen. Ugyanakkor nagyon kevés algoritmus operál csak ezen legelső szinten anélkül, hogy magasabb jellegű információkat is kihasználna. A skalár kvantálás illetve a pixelekre alkalmazott entrópia-kódoló eljárások sorolhatók pusztán ide. Ezeknél jobb eredményt ér már el a DPCM alapú kódolás, mely nem függetlenül, hanem a szomszédjai különbségével kódolja a pixeleket.

Ugyanakkor érdemesebb még tovább menni, s több pontot együtt kezelni. A legtöbb módszer alapegysége a blokk. A JPEG norma pl. 8x8-as blokkokon végez cosinus-transzformációt, s e méret 16x16-ra nő az MPEG algoritmusban. Blokk-kódoló módszer a fraktál tömörítés vagy a vektorkvantálás is.

Jóval kevesebb módszer használja ki a blokkok között jelen levő redundanciát, vagyis a lokális kontextus szintjét. A JPEG algoritmusban található erre egy egyszerű példa, ahol is differenciális kódolással tárolódnak az egyes blokkok átlagértékei.

A legnagyobb hiány a globális szint kihasználatlansága. A szakirodalomban csupán egyszerű, „region of interest” alapú eljárások találhatók, amikor is a kép egyes, fontosabb részeit jobb minőséggel, míg a kevésbé fontos részeket durvábban, de erősebben tömörítünk.

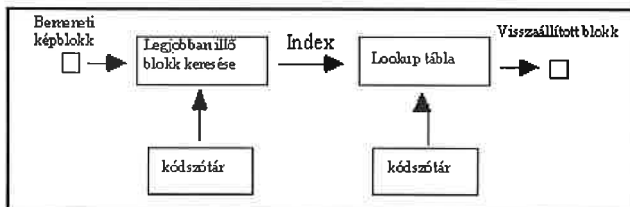
Megítélésünk szerint egy intelligens tömörítési módszernek mind a négy szinten jelen kell lennie. Különösen fontos a legfelső, globális szint, azaz a rendelkezésre álló *a priori* információk kihasználása.

A továbbiakban röviden ismertetjük kutatásaink főbb eredményeit, illetve a röntgenfilmek hálózati multimédia adatbázisokban való kezelésének távlatait.

A röntgenfelvételek digitális formában történő gyors továbbításához szükséges azok tömörítése. Az ismert módszereket két nagy csoportra bonthatjuk: veszteségmentes, veszteséges tömörítés. A veszteségmentes módszerek garantálják ugyan a kép tökéletes minőségű visszaállíthatóságát, de a tömörítési arány elégtelenül kicsi. Az ismert veszteséges módszerek alkalmazásakor viszont a képminőséggel lehet baj.

A vektorkvantálás alapú algoritmusok kidolgozására azért esett a választásunk, mert képesek a képreprezentáció minden szintjén (pixel, lokalitás, lokalitások kontextusa, globalitás) megjelenő információt figyelembe venni – vagyis az eljárások a konkrét feladatra (esetünkben a röntgenfelvételekre) optimalizálhatók, másrészt a tömörítés a képi jellemzők szerinti visszakeresés, illetve zajos csatornán történő robusztus képtovábbítás funkciói integrálhatóak. Eljárásunk elméleti alapjai az [1] [2] irodalomban találhatók.

Alapelv szerint a kóder összehasonlítja minden x_i bemeneti vektor (képlokalitás) tartalmát a kódszótár $W = \{w_0, w_1, \dots, w_{N-1}\}$ kódvektoraival, ezután egy hibakritérium szerint „legközelebbi” kódvektor indexe kerül átvitelre. Dekóder oldalon az átvitt index egy ún. lookup táblából a kódszótár megfelelő vektorával helyettesíti a kérdéses képrészletet. A kódszótárt tanulmánytá (reprezentatív radiográfiai felvételek) segítségével határozhatjuk meg. A VQ általános működési sémája a 3. ábrán látható.



3. ábra. A vektorkvantálás egyszerűsített sémája

A fentiekből kiolvasható, hogy alapvetően az alábbi négy lépésből állhat a leírt „intelligens képtömörítés”:

1. **Modellalkotás:** Elsőként ki kell dolgozni a kép típusától függően egy modellt, mely tartalmazza a kép globális struktúráját, a rajta fellelhető objektumokat, azok egymáshoz való viszonyát stb. Ez az a lépés, mely alapvetően alkalmazásfüggő, különböző típusú képek esetén tehát nagyon eltérő lehet. Továbbá a modell hatékonysága erősen befolyásolja a tömörítés minőségét, hatékonyságát.

2. **Szótáralkotás:** Minden egyes megkülönböztetett típusú objektumhoz, háttérhez stb. külön szótár tervezése szükséges.

3. **Analízis:** A konkrét tömörítendő képre ráillesztjük a modellt, azaz megkeressük az egyes objektumok helyét, a kép struktúráját globálisan leírjuk, és továbbítjuk a dekódolóhoz.

4. **Vektorkvantálás:** Maga a tömörítés; mindig a megfelelő szótárt alkalmazva (a kép analízise folytán ez ismert mind a kódolónál, mind a dekódolónál), kódoljuk a képet.

Kísérleteink során 256 szürkeségi szintű hegesztésivarrat-felvételeket vizsgáltunk. Első lépésben két zónatípust különböztettünk meg (varrat / háttér). Abból indultunk ki, hogy a vizsgálat a varratra koncentrálna, a háttér csak kiegészítő információt (felirat, markerek stb.) hordoz, ezért tömörítéséhez kisebb (durvább közelítésű) kódszótár is elégséges. A varratot azonban nagyobb kódszótárral kódoltuk O-FSVQ algoritmusunkat alkalmazva [3]. A varrat és háttér szegmentálása automatikusan történt. A kódszótár tervezésnél a Kohonen-féle önszervező háló (Kohonen's Self-Organizing Feature Map) algoritmusát alkalmaztuk [4].

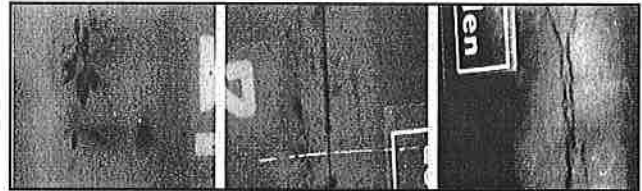
Az 5. ábra illusztrálja az eredményeket. A visszaállított képen (5.b.) a hibák megfelelően látszanak. A széleken a képminőség természetesen rosszabb, de a releváns információ még jól olvasható.

Az alábbi objektív hibakritériumot alkalmazva (The Peak Signal to Noise Ratio):

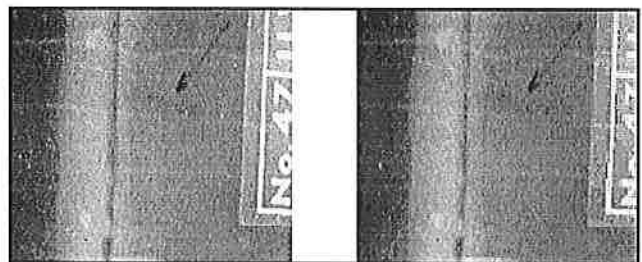
$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{255^2}{\frac{1}{T} \sum_{k=1}^T (f'_k - f_k)^2}, \text{ dB}$$

ahol T az összes képpontok száma, f és f' rendre az eredeti és visszaállított képnek felel meg.

A PSNR átlagosan 33.698 dB volt a varratra, illetve 27.557 dB volt a szőveges részre. További eredmények az [5] irodalomban találhatóak.



4. ábra. Három kép a tanítókészletből



a. Eredeti kép b. Visszaállított kép

5. ábra. Példa a vektorkvantálás kvalitatív értékeléséhez

A varratra és háttérre különböző típusú és paraméterezésű VQ algoritmusokat alkalmazva természetesen eltérő eredményeket kaptunk a tömörítési arány illetve a képminőség tekintetében [5].

Összefoglalás

A cikkben bemutatott az ipari radiográfiai felvételek számítógéppel segített feldolgozásának néhány lehetőségét. Ismertettük a Fővárosi Gázművek Rt.-nek kifejlesztett RadexSys 4.0 berendezés alapfunkcióit.

Az ismertett képiértékelő rendszer elemei egy adott időszak informatikai eszközeinek fejlettségi szintjén jelennek meg, következésképpen folyamatos feladatot és persze lehetőséget jelent a rendszer továbbfejlesztése (pl. a képfelbontás, műveleti sebesség fokozása, a denzitás növelése stb.) az egyre hatékonyabb eszközök felhasználásával. Ma még bizonyos korlátokat kell állítanunk a feldolgozhatóság érdekében.

A gyakorlati alkalmazhatóságot korlátozó két technológiai eredetű probléma – nagy denzitású röntgenfilmek ($D > 4$) megfelelő minőségű digitalizálása, nagyméretű digitális képek hatékony tárolása, visszakeresése, hálózati továbbítása – megoldására tett erőfeszítéseink közül ismertettünk egy, a radiográfiai felvételek tömörítésére kidolgozott új, intelligens képtömörítési eljárást.

Kísérleti eredményeink szerint a képek magas szintű sajátosságait figyelembevevő algoritmus jobb eredményeket ad, mint a közismert kompressziós eljárások. A módszer gyakorlati (valósidejű) implementálására – továbbfejlesztett hardver platformon – a közeljövőben kerül sor. Ezzel összhangban a scanner-technológia legújabb eredményeit alkalmazva tervezzük a digitalizált képek minőségének további javítását, mellyel a rendszer képessé válik extrém sötét-sötétű filmek feldolgozására is. Ugyancsak folyamatos a cikkben ismertett feldolgozó alapfunkciók felhasználói igényeknek megfelelő bővítése.

Folyamatban van a Fővárosi Gázművek Rt.-nél üzemelő 40 bar-os gázvezeték radiográfiai felvételeinek feldolgozása, mely referenciaként szolgálhat más potenciális felhasználó számára is.

Irodalom

- [1] A. Gersho, R.M. Gray: „Vector quantization and signal compression”, Kluwer Academic Publisher, Boston, 1992.
- [2] R. Aravind & A. Gersho: „Image compression based on vector quantization with finite memory”, Optical Engineering, Vol. 26, pp. 570-580, July 1987.
- [3] A. Czihó, I. Loványi, B. Solaiman, G. Cazuguel, C. Roux: „Derailment-free Finite State Vector Quantization using Conditional Histogram. Optimization and Application to Image Compression”, ICIP'97, pp. 706-709, USA, 1997.
- [4] T. Kohonen: „Self Organization and Associative Memory”, New York, Springer-Verlag, 1984.
- [5] A. Czikó, I. Loványi: „Image transfer and retrieval in multimedia applications” MicroCAD '99, 1999. február 24–25. Miskolc