



## **DETERMINATION OF THE GENERATION OF PHOTOCOPIES USING THE IMAGE PROCESSING TECHNIQUE**

Komal SAINI<sup>1</sup>, Jagjeet Singh SAROA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Department of Forensic Science, Punjabi University, Patiala, Punjab, India*

<sup>2</sup>*State Forensic Science Laboratory (H. P.), Junga, Shimla, India*

### **Abstract**

Ascertainment of the generation (i.e. 1<sup>st</sup>, 2<sup>nd</sup>, 3<sup>rd</sup> generation etc.) of a photocopy of a (potentially manipulated) document is a great challenge to the forensic document examiner, and furthermore such a finding is useful in trying to establish whether the photocopied document has been manipulated. In the present study, an attempt has been made to tackle this type of problem by using the image processing technique.

### **Key words**

Photocopied documents; Photoshop CS2; Generation; Expansion of strokes.

*Received 19 March 2010; accepted 12 October 2010*

### **1. Introduction**

Modern photocopying techniques facilitate the fraudulent manipulation of documents. (Successive) recopying of a photocopy is one of the methods of fraudulently manipulating documents as this process may hide or eliminate most of the evidences of manipulation or alteration of an original document. Manipulated photocopies can be detected in the presence of the original as there are certain qualities of the modern photocopier which can be utilized to disclose the (re)copying of the document. The disappearance of sharp angles, appearance of discontinuity in strokes and loss of smoothness of edges of the strokes are some of the changes which can be seen in photocopies in comparison to the original documents. The shape, size and position of defect marks could be used to distinguish photocopiers. These patterns of flaws (defect marks) are characteristic for a given photocopier and are transferred from photocopy to photocopy (relatively) very accurately and may be evidence that the

suspected photocopy is the result of (successive) recopying on the same machine [3].

Another important feature is the enlargement of the material written on the document. The degree of enlargement also suggests the generation of the photocopy (i.e. copy 1<sup>st</sup> generation) or copy of a copy (2<sup>nd</sup> generation) etc. [3, 6]. It has been observed from earlier studies that the degree and direction of expansion of strokes of the letter can also be used as an indicator of the generation of a photocopy relative to the original document. Image processing is one of the useful techniques in the examination of questioned documents. A number of researchers have emphasized the use of image processing techniques to help in the analysis of alterations on documents [1, 2, 4, 5]. However, no study has been carried out to determine whether this technique can be used to assess the generation of photocopies.

Therefore, in the present study an attempt has been made to apply the image processing technique using Adobe Photoshop CS2 in the detection of recopying of

photocopied documents. An attempt has also been made to classify various photocopiers based on the features present in photocopies produced by a particular photocopier.

## 2. Materials and methods

A text page was written in Microsoft Word and was printed using a LaserJet printer, and then this laser printout was photocopied using a photocopier, which constituted the 1<sup>st</sup> generation copy. Then a copy of this (1<sup>st</sup> generation photocopy) was obtained from the same photocopier (2<sup>nd</sup> generation photocopy) and this photocopy was recopied again using the same photocopier, thereby forming the 3<sup>rd</sup> generation photocopy of the document. In the same way, photocopies up to 3<sup>rd</sup> generations were obtained from 102 photocopiers (Table I).

Adobe Photoshop CS2 examination: All the samples (1<sup>st</sup> generation to 3<sup>rd</sup> generation) of 102 photocopiers along with the original document were scanned using a digital color Hp scanner. The scanned images were then processed in Adobe Photoshop CS2 software by performing the following steps:

Step 1: The scanned images of a 1<sup>st</sup> and 3<sup>rd</sup> generation photocopy of a sample are opened into a Photoshop CS2 page (Figure 1).

Step 2: A new blank file of size 21 cm × 16 cm (A4) is opened in Photoshop CS page (Figure 2).

Step 3: The scanned images of the 1<sup>st</sup> and 3<sup>rd</sup> generation photocopy are dragged into it by clicking the Moving File Option in Photoshop so that the image of the 1<sup>st</sup> generation photocopy is placed over the 3<sup>rd</sup> generation image (Figure 3).

Step 4: Then, Layer Option is opened by clicking Option of Window or by pressing F9. Opacity Option is varied to see which part of the 3<sup>rd</sup> generation character is expanding beyond the 1<sup>st</sup> generation character (Figure 4).

Step 5: Then, the overlapped image is saved by Merge Visible or Flatten Image or by pressing keys (Shift + Cr + E) simultaneously (Figure 5).

A similar procedure is applied to the scanned images of the original document and 1<sup>st</sup> generation, 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> generation copies and 2<sup>nd</sup> and 3<sup>rd</sup> generation copies of samples. Similarly, the scanned images of all photocopies (from 1<sup>st</sup> generation to 3<sup>rd</sup> generation) from 102 photocopiers are processed using Adobe Photoshop CS2 to determine the generation of photocopies on the basis of the extent and direction of expansion of strokes of the letter and baseline of printing.

Then the photocopiers were classified according to the direction of the expansion of the letter stroke and

TABLE I. SHOWING DESCRIPTION OF SAMPLES

No.	Make and model of photocopiers	Number of samples
1	Canon NP3050	9
2	Canon NP2020	2
3	Canon NP2120	8
4	Canon NP6085	2
5	Canon NP4050	15
6	Modi Xerox 1025	3
7	Kodak	2
8	Canon NP 3030	6
9	Canon 6050	8
10	Toshiba 2030	1
11	Canon NP 6060	9
12	Canon NP 3825	2
13	Canon NP 6251	1
14	Xerox India Limited	3
15	Canon	4
16	Ricoh FT 4215	1
17	Canon Selex 2010	1
18	Xerox Work Center Pro 320	1
19	Canon NP 6241	1
20	Canon Selex 3100	1
21	Xerox 5825	1
22	Kyocera Mita KM 2530	1
23	Kodak 30 copier	1
24	Ricoh Aficio 1035	2
25	Kodak Image Source 50	1
26	Canon NP 125	2
27	Canon NP 4080	1
28	Canon NP 6020	9
29	Kodak EKTA Print Copier 30	1
30	Canon LC 2800M	1
31	Canon LC 2525M	1
32	Canon NP 3325	1

baseline of printing. The results have been given in Table II. The extent of expansion or enlargement of strokes of the letters from the original document up to its third generation has also been studied (Table III).

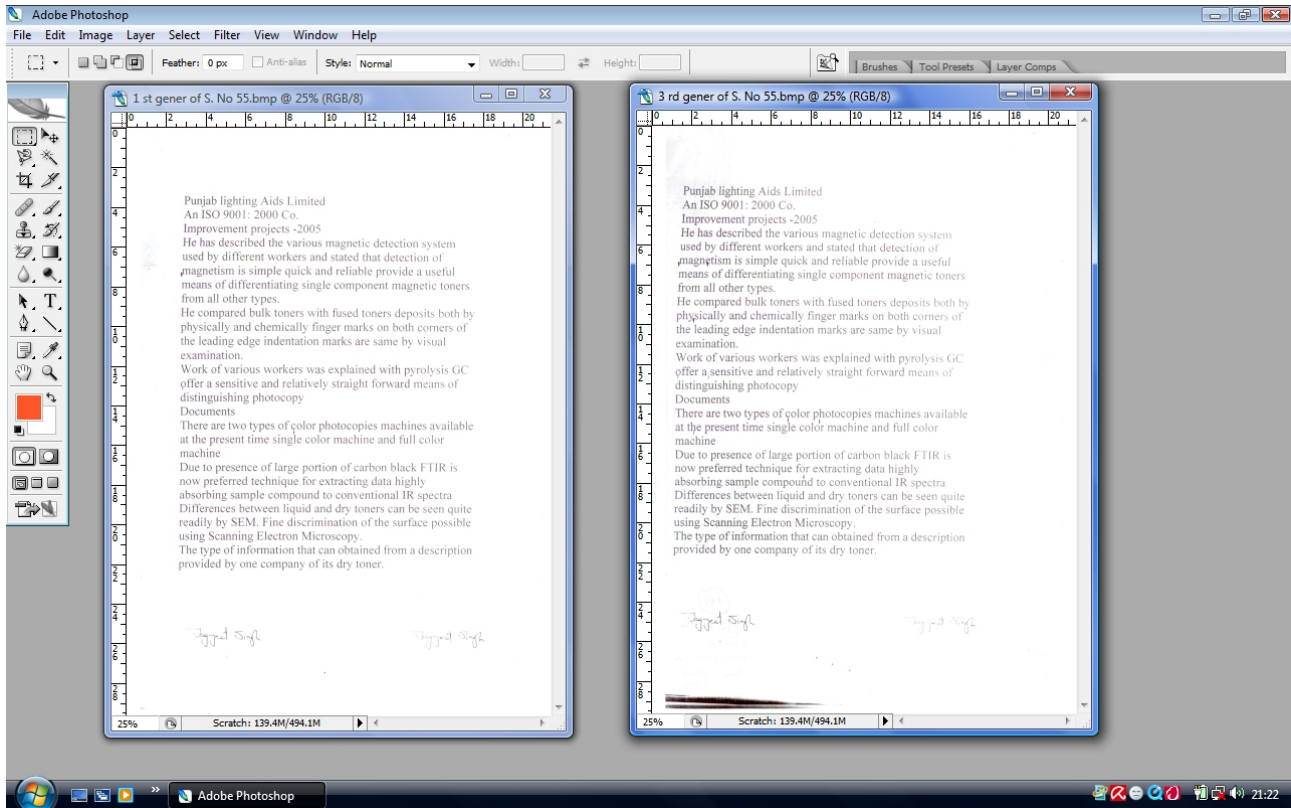


Fig. 1. Scanned images of the 1<sup>st</sup> and 3<sup>rd</sup> generation of sample no. 55.

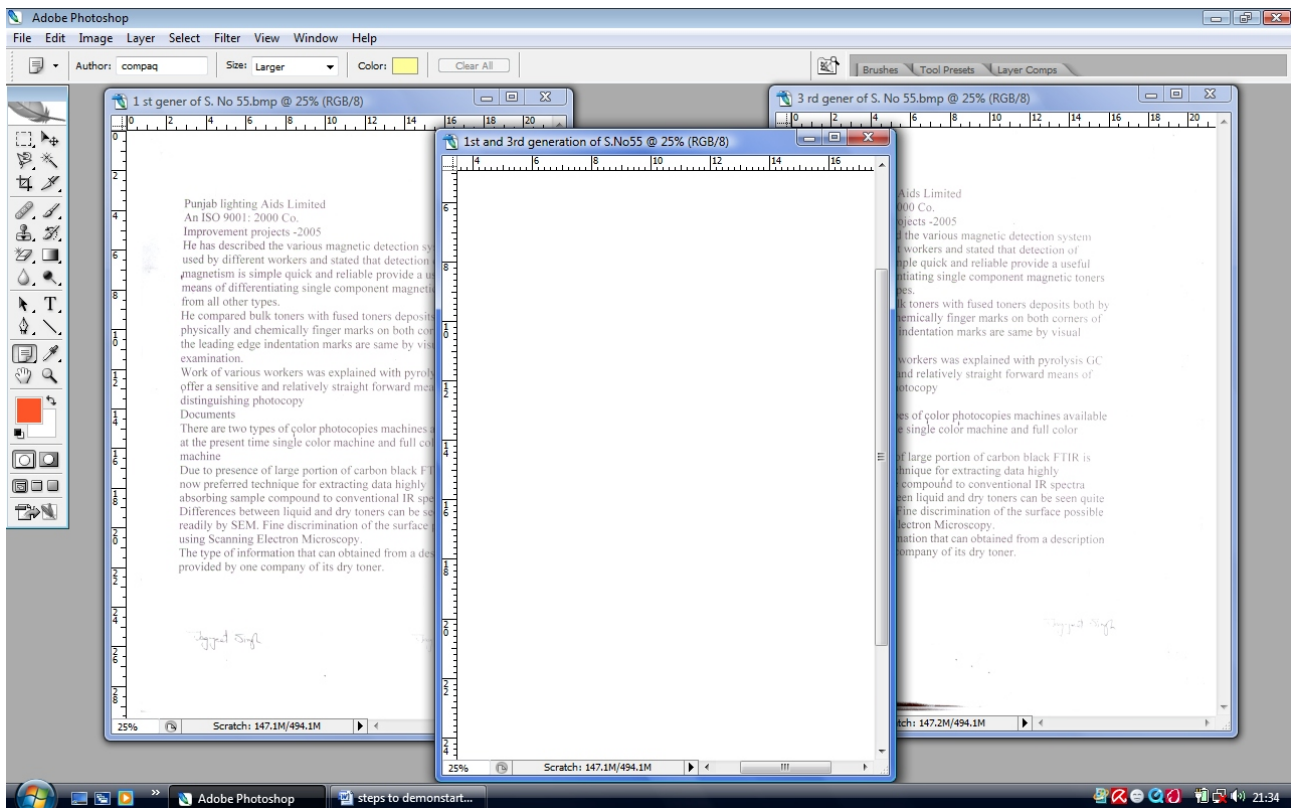


Fig. 2. New blank file opened along with 1<sup>st</sup> and 3<sup>rd</sup> generation images.

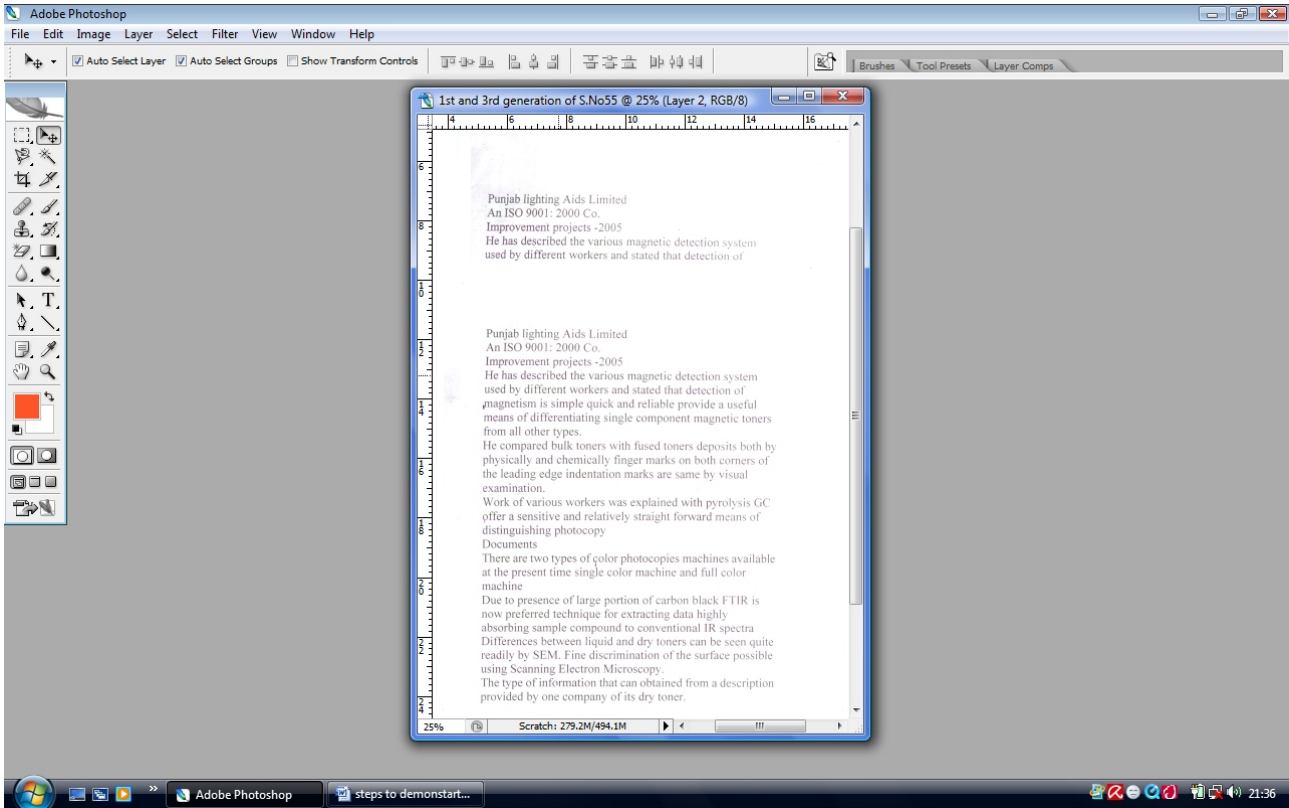


Fig. 3. Images of the 1<sup>st</sup> and 3<sup>rd</sup> generation dragged in new blank file.

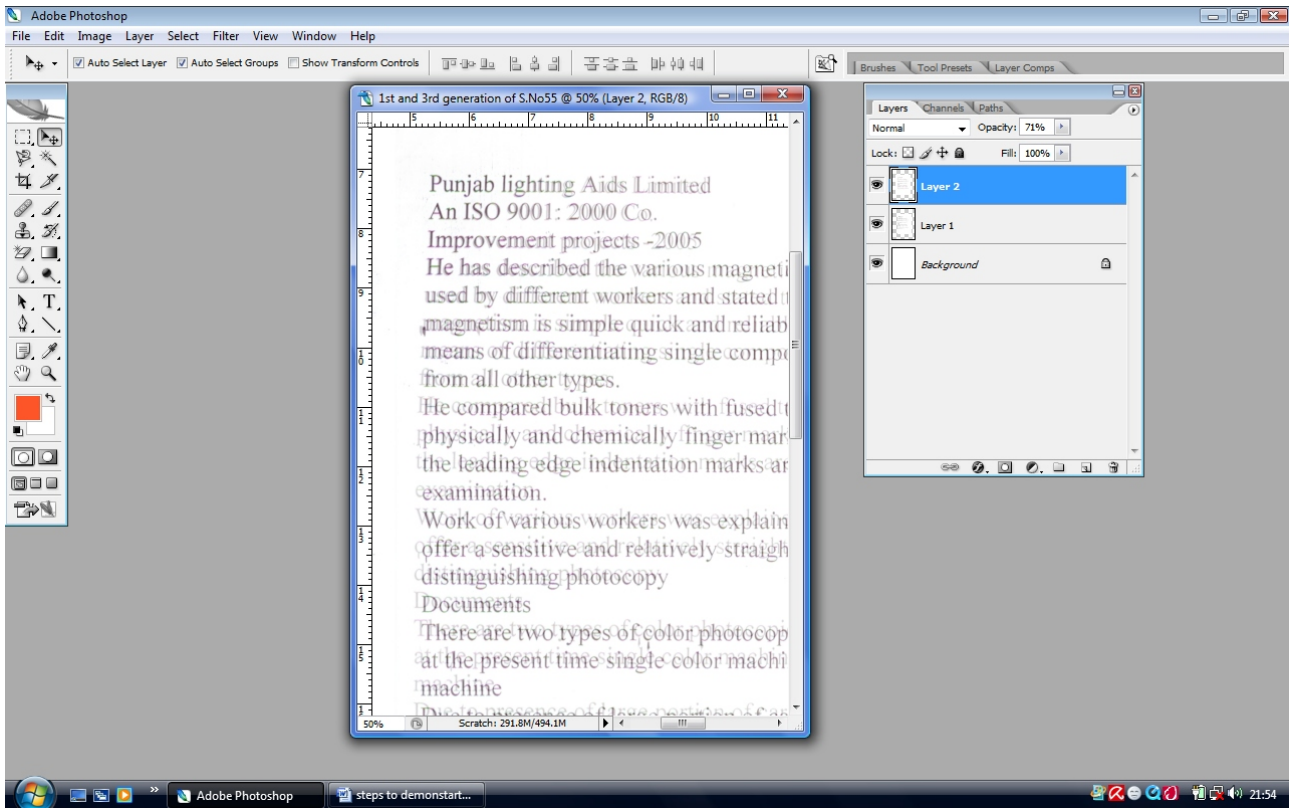


Fig. 4. The option Layer showing varied opacity opened.



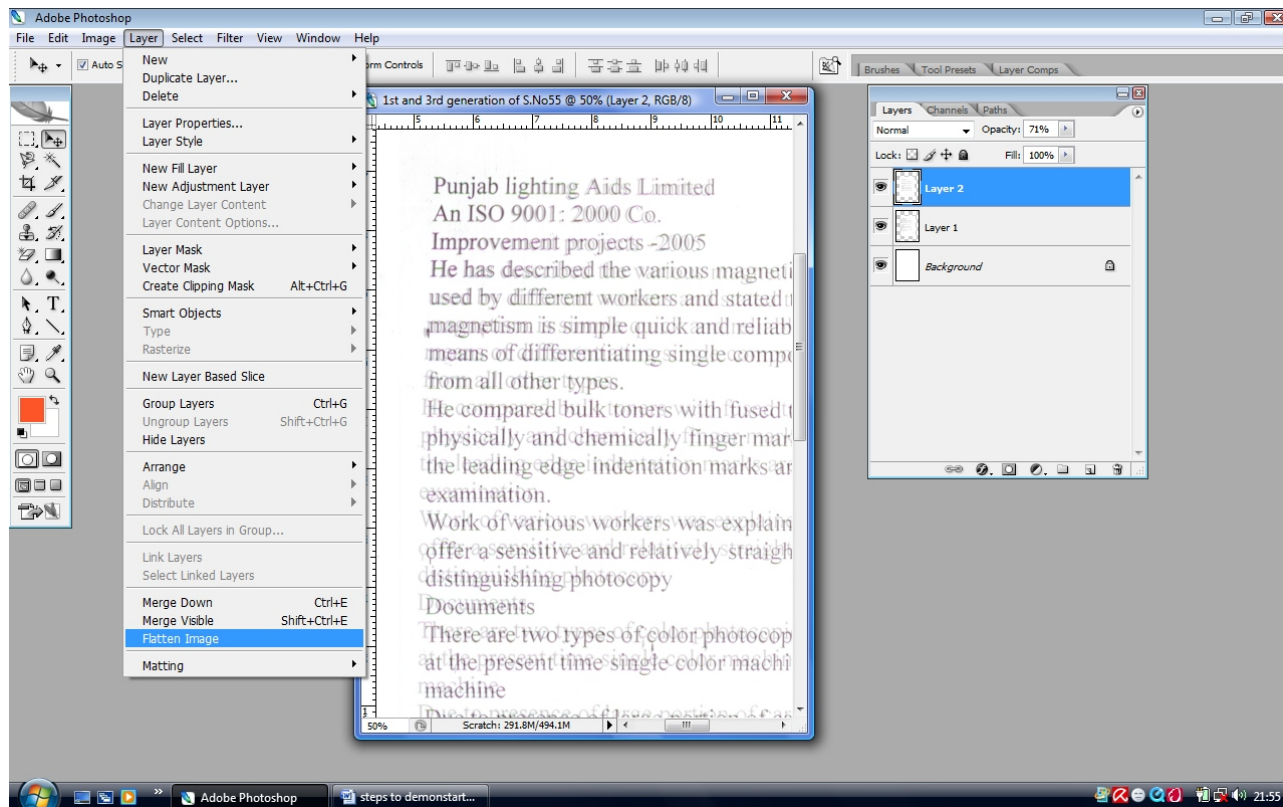


Fig. 5. Image showing flattening or merging of the layers.

TABLE II. SHOWING PERCENTAGE OF EXPANSION OF STROKES OF LETTERS AND BASE LINE OF PRINTING

Sample no.	Percentage of expansion of base line in			
	1 <sup>st</sup> generation relative to original	2 <sup>nd</sup> generation relative to 1 <sup>st</sup> generation	3 <sup>rd</sup> generation relative to 2 <sup>nd</sup> generation	3 <sup>rd</sup> generation relative to 1 <sup>st</sup> generation
1	1.00%	1.002%	1.003%	2.006%
2	1.275%	1.321%	1.471%	2.611%
3	1.142%	1.231%	1.460%	2.613%
4	0.96%	0.98%	0.97%	1.94%
5	0.999%	1.001%	1.004%	2.001%
6	1.001%	1.004%	1.007%	2.011%
7	1.13%	1.15%	1.18%	2.123%
8	0.95%	0.965%	0.98%	1.95%
9	0.93%	0.94%	0.96%	1.88%
10	0.90%	0.92%	0.96%	1.82%
11	0.95%	0.96%	0.97%	1.95%
12	1.09%	1.15%	1.21%	2.300%
13	1.009%	1.101%	1.121%	2.211%

14	0.89%	0.91%	0.93%	1.84%
15	0.90%	0.92%	0.96%	1.86%
16	0.82%	0.84%	0.86%	1.68%
17	0.90%	0.96%	0.98%	1.764%
18	0.82%	0.85%	0.96%	1.98%
19	1.000%	1.002%	1.012%	2.42%
20	0.97%	0.98%	0.99%	1.96%
21	0.81%	0.83%	0.85%	1.64%
22	0.70%	0.72%	0.75%	1.582%
23	0.87%	0.94%	0.96%	1.82%
24	1.008%	1.101%	1.121%	2.211%
25	0.75%	0.78%	0.82%	1.685%
26	0.70%	0.72%	0.76%	1.543%
27	0.79%	0.81%	0.83%	1.647%
28	0.78%	0.80%	0.84%	1.77%
29	0.85%	0.87%	0.89%	1.764%
30	0.75%	0.85%	0.87%	1.643%
31	1.27%	1.294%	1.314%	2.58%
32	0.96%	0.98%	0.99%	1.98%
33	1.00%	1.01%	1.04%	2.031%

TABLE II. SHOWING PERCENTAGE OF EXPANSION OF STROKES OF LETTERS AND BASE LINE OF PRINTING (cont.)

Sample no.	Percentage of expansion of base line in			
	1 <sup>st</sup> generation relative to original	2 <sup>nd</sup> generation relative to 1 <sup>st</sup> generation	3 <sup>rd</sup> generation relative to 2 <sup>nd</sup> generation	3 <sup>rd</sup> generation relative to 1 <sup>st</sup> generation
34	1.09%	1.12%	1.14%	2.263%
35	1.00%	1.02%	1.04%	2.02%
36	0.99%	1.01%	1.04%	2.04%
37	0.81%	0.84%	0.87%	1.643%
38	1.002%	1.008%	1.012%	2.382%
39	0.83%	0.85%	0.87%	1.72%
40	1.12%	1.14%	1.21%	2.41%
41	1.025%	1.10%	1.12%	2.12%
42	1.07%	1.15%	1.25%	2.21%
43	1.02%	1.04%	1.05%	2.06%
44	0.98%	1.00%	1.02%	2.01%
45	1.15%	0.98%	0.999%	1.95%
46	1.00%	1.01%	1.04%	2.052%
47	1.01%	1.05%	1.08%	2.08%
48	1.13%	1.15%	1.18%	2.31%
49	1.04%	1.085%	1.101%	2.164%
50	1.24%	1.290%	1.304%	2.51%
51	1.08%	1.12%	1.16%	2.24%
52	0.98%	1.01%	1.04%	2.031%
53	1.02%	1.06%	1.08%	2.08%
54	1.00%	1.02%	1.05%	2.04%
55	1.26%	1.30%	1.36%	2.62%
56	1.14%	1.18%	1.22%	2.32%
57	1.18%	1.24%	1.28%	2.42%
58	1.12%	1.18%	1.20%	2.30%
59	1.08%	1.14%	1.18%	2.24%
60	1.04%	1.08%	1.12%	2.12%
61	1.00%	1.04%	1.08%	2.06%
62	1.21%	1.28%	1.34%	2.52%
63	1.12%	1.18%	1.22%	2.20%
64	1.04%	1.08%	1.12%	2.10%
65	1.00%	1.02%	1.04%	2.04%
66	0.98%	0.99%	1.02%	1.96%
67	0.99%	1.00%	1.02%	1.995%
68	0.96%	0.98%	1.00%	1.94%
69	1.02%	1.04%	1.06%	2.10%
70	0.82%	0.83%	0.84%	1.76%
71	1.10%	1.12%	1.14%	2.28%
72	0.92%	0.93%	0.94%	1.90%
73	1.02%	1.03%	1.05%	2.02%
74	1.30%	1.31%	1.34%	2.60%
75	1.02%	1.04%	1.06%	2.02%
76	1.06%	1.08%	1.10%	2.12%
77	0.96%	0.98%	1.02%	1.94%
78	1.00%	1.02%	1.06%	2.04%
79	0.98%	0.99%	1.00%	2.00%
80	1.02%	1.04%	1.06%	2.011%
81	0.98%	1.00%	1.02%	2.02%
82	1.02%	1.04%	1.06%	2.04%
83	0.98%	1.024%	1.04%	2.02%
84	1.00%	1.02%	1.06%	2.03%
85	0.96%	0.98%	1.00%	1.92%
86	0.96%	0.98%	1.02%	2.06%
87	0.94%	0.96%	0.98%	1.90%
88	1.12%	1.14%	1.16%	2.22%
89	1.00%	1.02%	1.06%	2.10%
90	0.94%	0.96%	0.98%	1.90%
91	1.00%	1.02%	1.04%	2.06%
92	0.96%	0.98%	1.00%	1.96%
93	1.22%	1.24%	1.265%	2.52%
94	0.94%	0.95%	0.96%	1.98%
95	1.00%	1.02%	1.04%	2.02%
96	0.98%	1.00%	1.02%	2.00%
97	1.12%	1.14%	1.16%	2.32%
98	1.04%	1.06%	1.10%	2.10%
99	1.00%	1.02%	1.04%	2.02%
100	0.98%	1.02%	1.06%	2.04%
101	0.96%	0.98%	1.00%	1.98%
102	0.96%	1.00%	1.04%	2.02%

TABLE III. SHOWING DIRECTION OF EXPANSION OF STROKES OF LETTERS AND BASE LINE OF PRINTING

No.	Direction of expansion in different generations of photocopies	Total number of samples	Percentage of samples
1	Upward	1	0.98%
2	Upward left	16	15.7%
3	Upward right	22	21.5%
4	Upward compact	18	17.6%
5	Downward	1	0.98%
6	Downward left	18	17.6%
7	Downward right	10	9.8%
8	Mixed (upper lines-downward left and lower lines-upward left)	13	12.7%
9	Mixed (upper lines-upward left and lower lines-downward left)	2	1.96%
10	Compact	1	0.98%

### 3. Results and discussions

The results of the present investigation are given in Table II and Table III. It is evident from Table II that all the samples have shown expansion of strokes and baseline of printing in the 1<sup>st</sup>, 2<sup>nd</sup> and 3<sup>rd</sup> generation photocopies in comparison to the original document. It has been observed that enlargement of strokes and escapement of baseline is present in all the samples. This degree of expansion from the original document to its first generation varies from 0.70% to 1.275%, whereas the expansion from the 1<sup>st</sup> generation to the 2<sup>nd</sup> is 0.72% to 1.321%, and from 2<sup>nd</sup> generation to 3<sup>rd</sup> is 0.75% to 1.471%. The range of changes in expansion between successive generations of photocopies increases between 0.001% and 0.201%. This is due to the disappearance of sharp angles, appearance of discontinuity in strokes and loss of smoothness of edges of the strokes in the subsequent photocopies. The degree of expansion of stokes varies from 0.70% to 1.471% when it is observed in succeeding generations; however, the enlargement of the text doubles from the 1<sup>st</sup> generation to the 3<sup>rd</sup>, that is, from 1.64% to 2.613%.

The direction of expansion of strokes of the letter and baseline of printing in photocopies from different

photocopiers is different (Table III). The changes are unidirectional in all generations of photocopies produced by one photocopier. On the basis of this, the photocopies are classified into four major groups:

- I. Upward group. The samples are further divided into four subgroups:
  1. Upward subgroup: The subgroup in which the direction of expansion of strokes of the letter and baseline of printing is exactly upward;
  2. Upward left subgroup: The subgroup in which the direction of expansion of strokes of the letter and baseline of printing is upward and left;
  3. Upward right subgroup: The subgroup in which the direction of expansion of strokes of the letter and baseline of printing is upward and right;
  4. Upward compact subgroup: The group in which the direction of the expansion of strokes of the letter and baseline of printing is upward and the appearance of the text is compact.
- II. Downward group. The samples are further divided into three subgroups:
  1. Downward subgroup: The subgroup in which the direction of expansion of strokes of the letter and baseline of printing is downward;
  2. Downward left subgroup: The subgroup in which the direction of expansion of strokes of the letter and baseline of printing is downward and left;
  3. Downward right subgroup: The subgroup in which the direction of expansion of strokes of the letter and baseline of printing is downward and right.
- III. Mixed group: The samples are further divided into the following subgroups:
  1. Mixed subgroup 1: The subgroup in which the direction of expansion of strokes of the letter and baseline of printing of upper lines is downward and left, and lower lines is upward and left.
  2. Mixed subgroup 2: The subgroup in which the direction of expansion of strokes of the letter and baseline of printing of upper lines is upward and left and lower lines is downward.
- IV. Compact: The group in which there is an overall compact appearance of strokes of the letter and baseline of printing.

It has been found that the “upward right” direction of expansion of strokes and baseline of printing occurs most frequently (21.5% samples) as shown in Figure 6, followed by “upward compact” (17.6% samples) as shown in Figure 7 and “downward left” (17.6% samples) as shown in Figure 8. It is evident that photocopiers can be classified on the basis of the direction of expansion of strokes of the letters and baseline of printing.



Punjab lighting Aids Limited  
 An ISO 9001: 2000 Co.  
 Improvement projects -2005  
 He has described the various n  
 used by different workers and  
 magnetism is simple quick and  
 means of differentiating single  
 from all other types.  
 He compared bulk toners with  
 physically and chemically fin  
 the leading edge indentation m  
 examination.  
 Work of various workers was e  
 offer a sensitive and relatively  
 distinguishing photocopy

Fig. 6. Direction of expansion of strokes of the letter and baseline of printing upward and right.

Punjab lighting Aids Limited  
 An ISO 9001: 2000 Co.  
 Improvement projects -2005  
 He has described the various mag  
 used by different workers and sta  
 magnetism is simple quick and r  
 from all other types.  
 He compared bulk toners with tu  
 physically and chemically finger  
 the leading edge indentation m  
 examination.  
 Work of various workers was  
 offer a sensitive and relatively str  
 distinguishing photocopy  
 Documents  
 there are two types of color phot  
 at the present time single color m  
 Documents

Fig. 7. Direction of expansion of strokes of the letter and baseline of printing upward and compact appearance of text.

Furthermore, it is observed that the strokes of the letters expand as the generation of the photocopy increases from original up to 3<sup>rd</sup> generation due to aberrations in the resolution of the optical parts of the photocopiers. Hence, the expansion of the strokes of the letter and the baseline of printing are the character-

Punjab lighting Aids Limited  
 An ISO 9001: 2000 Co.  
 Improvement projects -2005  
 He has described the various n  
 used by different workers and s  
 magnetism is simple quick and  
 means of differentiating single  
 from all other types.  
 He compared bulk toners with  
 physically and chemically fing  
 the leading edge indentation m  
 examination.  
 Work of various workers was e  
 offer a sensitive and relatively s  
 distinguishing photocopy

Fig. 8. Direction of expansion of strokes of the letter and baseline of printing downward and left.

istics which can be used in determining the generation of a copy. Similar results have been reported by Hilton [3] and Winchester [6], supporting these findings.

#### 4. Conclusion

It can be concluded that the generation of photocopies can be determined by comparing them with the original document using the image processing technique (i.e. Adobe Photoshop CS2). The degree (percentage) of expansion of the strokes of the letter and baseline of printing from the original up to the 3<sup>rd</sup> generation could be a more useful characteristic to determine the sequence of (generation of) photocopied documents. The direction and extent of expansion can be used to differentiate photocopiers.

#### Acknowledgments

The authors wish to express their appreciation to the Department of Science and Technology, New Delhi, for providing financial help for the research project.

#### References

1. Gibson R. E., Obliteration decipherment using computer scanner technology, *International Journal of Forensic Document Examiners*, 1996, 2, 326–332.



2. Hicks A. F., Computer imaging for questioned documents examiners-I: The benefits, *Journal of Forensic Science* 1995, 40, 1045–1051.
3. Hilton O., Detecting fraudulent photocopies, *Forensic Science International* 1979, 13, 117–123.
4. Josey L., Use of image processing to enhance IR/UV images from the VSC-1, *International Journal of Forensic Document Examiners* 1996, 2, 235–241.
5. Ng G. K., An innovative microscope image processing system for document examination, *International Journal of Forensic Document Examiners* 1999, 5, 306–316.
6. Winchester J. M., Use of the Projectina universal comparison projector in comparing typewriting, photocopies, computer printed and mechanically produced documents, *Journal of Forensic Science* 1980, 25, 390–397.

---

**Corresponding author**

Dr. Komal Saini  
Punjabi University  
Department of Forensic Science  
147 002 Patiala, Punjab  
India  
e-mail: komal2saini@yahoo.com

---

## OKREŚLENIE KOLEJNOŚCI POWSTANIA KSEROKOPII ZA POMOCĄ TECHNIK ANALIZY OBRAZÓW

### 1. Wstęp

Współczesne techniki wykonywania kserokopii umożliwiają dokonywanie fałszerstw oryginalnych dokumentów. W trakcie wykonywania kserokopii możliwe jest ukrycie większości śladów wskazujących na to, że dokonywano manipulacji na oryginalnym dokumencie. Kserokopie dokumentów, na których wykonywano takie manipulacje, mogą być zidentyfikowane w przypadku, gdy dysponujemy oryginałem, z którego zostały wykonane. Wynika to z faktu, że współczesne kserokopiarki posiadają specyficzne cechy, które mogą być wykorzystane w celu stwierdzenia, że dokument jest kserokopią. Zanik ostrych kątów, pojawienie się przerw w liniach graficznych liter, utrata gładkości krawędzi linii liter, to kilka przykładów zmian, które można zaobserwować, porównując oryginalny dokument. Rozkład różnych cech charakterystycznych dla danej kserokopiarki jest przenoszony z kserokopii na kserokopię stosunkowo bardzo dokładnie i może być dowodem, że kwestionowana kserokopia powstała w wyniku zastosowania konkretnej kserokopiarki [3].

Inną cenną wskazówką umożliwiającą wykrycie fałszerstwa jest informacja o stopniu powiększenia tekstu porównywanych dokumentów. Poprzez stopień powiększenia może również wskazać, która z kserokopii została najpierw wykonana [3, 6]. Zaobserwowano podczas wcześniejszych badań [1, 2, 4, 5], że stopień i kierunek powiększenia linii graficznej liter może być cenną wskazówką do ustalenia kolejności powstawania kserokopii w trakcie powielania oryginalnego dokumentu. Niemniej jednak dotychczas brak jest doniesień dotyczących określenia – przy zastosowaniu technik analizy obrazu – czy kserokopią uzyskaną podczas powielenia jest kserokopia z oryginalnego dokumentu, czy kserokopią z kserokopii tego dokumentu. Dlatego też w niniejszej pracy pokazano użycie techniki analizy obrazów z zastosowaniem programu Adobe Photoshop CS2 do rozwiązania wspomnianego problemu. Zaprezentowano również rezultaty badań poprzez opracowanie schematu klasyfikacji kserokopiarek na podstawie charakterystycznych cech występujących na badanej kserokopii.

### 2. Materiały i metody

Strona tekstu napisana w programie Word firmy Microsoft została wydrukowana na drukarce laserowej LaserJet, a następnie skopiowana. Tak powstałą kserokopię ponownie skserowano, a nowo powstałą kserokopię sko-

piowano jeszcze raz. Tym samym z jednego oryginalnego dokumentu uzyskano trzy kserokopie. Ten sposób postępowania zastosowano do wykonania kserokopii z wykorzystaniem 102 różnych fotokopiarek (tabela I).

Oryginalny dokument oraz wszystkie kserokopie zostały zeskanowane za pomocą kolorowego skanera cyfrowego firmy HP. Tak uzyskane skany poddawano następnie analizie z wykorzystaniem programu Adobe Photoshop CS2 w następujący sposób:

- Krok 1: plik z obrazem kserokopii oryginału oraz ostatniej, trzeciej, wykonanej kserokopii otwierano w programie Photoshop CS2 (rycina 1).
- Krok 2: otwierano nowy plik o rozmiarach 21 cm 16 cm (format A4) (rycina 2).
- Krok 3: otwarte (krok 1) obrazy przenoszono do nowo otwartego dokumentu za pomocą funkcji „moving file option” tak, aby obraz oryginału był na obrazie ostatniej, trzeciej wykonanej kserokopii (rycina 3).
- Krok 4: otwierano opcję „layer option” przez kliknięcie opcji „option of window” lub przez wciśnięcie klawisza F9. Funkcja nieprzeźroczystości „opacity option” była stosowana w celu sprawdzenia, która część kserokopii oryginału różni się od ostatniej, trzeciej z wykonanych kopii (rycina 4).
- Krok 5: tak uzyskane, nałożone na siebie obrazy, zachowywano za pomocą funkcji „merge visible” lub „flatten image” albo przez jednoczesne zastosowanie kombinacji klawiszy (Shift + Cr + E) (rycina 5).

Powyższą procedurę zastosowano równocześnie dla par: oryginalny dokument i kserokopia z oryginału, kserokopia z oryginału i kserokopia z niej wykonana oraz ostatnia wspomniana kserokopia w porównaniu z jej kserokopią. Podobnie postąpiono z zeskanowanymi obrazami kserokopii wykonanymi za pomocą każdej ze 102 kserokopiarek w celu ustalenia zasad umożliwiających stwierdzenie, którą w kolejności kserokopią jest analizowany dokument. Analizowano rozmiar rozszerzania się linii graficznej liter i linii graficznej wydruku. Rezultaty przedstawiono w tabeli II. Na podstawie tych danych opracowano również schemat klasyfikacji kserokopiarek (tabela III).

### 3. Wyniki i dyskusja

Wyniki wykonanych badań zaprezentowano w tabeli II i III. Z tabeli II jednoznacznie wynika, że na wszystkich kserokopiach występowało powiększenie linii gra-

ficznej liter i linii bazowej wydruku w stosunku do dokumentów, z których były one wykonane. Stopień powiększenia kserokopii wykonanej z oryginalnego dokumentu w stosunku do tego dokumentu wynosił od 0,70% do 1,275%. Stopień powiększenia między kserokopią wykonaną z oryginału a kserokopią wykonaną z tej kserokopii wynosiła od 0,72% do 1,321%, natomiast stopień powiększenia między tą ostatnią kserokopią a kserokopią z niej wykonaną wynosił od 0,75% do 1,471%. Zakres zmian powiększenia między kserokopią wykonaną z kserokopii wykonanej wcześniej wzrastał między 0,001% a 0,201%. Obserwowano również zanikanie ostrości kątów oraz utratę gładkości krawędzi linii graficznych liter. Stopień powiększenia linii graficznej liter zmieniał się w przedziale od 0,70% do 1,471%, gdy porównywano ze sobą kserokopie wykonane po sobie. Natomiast stopień powiększenia tekstu był dwukrotnie większy, tj. od 1,64% do 2,613%, gdy porównywano tekst na kserokopii wykonanej z oryginału z tekstem ostatniej, trzeciej z wykonanych kserokopii.

Kierunek powiększenia linii graficznych liter i linii bazowej wydruku kserokopii uzyskanych różnymi kserokopiarkami był różny (tabela II), przy czym kierunek obserwowanych zmian był identyczny dla kserokopii uzyskanych tą samą kserokopiarką. Wykonane badania pozwoliły podzielić kserokopiarki na 4 główne grupy.

- I. Grupa „przesunięcie do góry”, którą następnie podzielono na cztery podgrupy:
  1. podgrupa „do góry”: kierunek powiększenia linii graficznej liter i linii bazowej wydruku zwrócony jest dokładnie w górę;
  2. podgrupa „do góry i w lewo”: kierunek powiększenia linii graficznej liter i linii bazowej wydruku zwrócony jest w górę i w lewo;
  3. podgrupa „do góry i w prawo”: kierunek powiększenia linii graficznej liter i linii bazowej wydruku zwrócony jest w górę i w prawo;
  4. podgrupa „do góry i przesunięty”: kierunek powiększenia linii graficznej liter i linii bazowej wydruku zwrócony jest w górę z niewielkim przemieszczeniem tekstu.
- II. Grupa „przesunięte w dół”, którą następnie podzielono na trzy podgrupy:
  1. podgrupa „w dół”: kierunek powiększenia linii graficznej liter i linii bazowej wydruku zwrócony jest w dół;
  2. podgrupa „w dół i w lewo”: kierunek powiększenia linii graficznej liter i linii bazowej wydruku zwrócony jest w dół i w lewo;
  3. podgrupa „w dół i w prawo”: kierunek powiększenia linii graficznej liter i linii bazowej wydruku zwrócony jest w dół i w prawo.

III. Grupa „mieszana”, którą następnie podzielono na dwie podgrupy:

1. podgrupa „mieszana 1”: kierunek powiększenia linii graficznej liter i linii bazowej wydruku górnych linii zwrócony jest w dół i w lewo, a linii górnych do góry i też w lewo;
  2. podgrupa „mieszana 2”: kierunek powiększenia linii graficznej liter i linii bazowej wydruku górnych linii zwrócony jest w górę i w lewo, a linii górnych w dół.
- IV. Grupa „inne”, w której występują różne kierunki powiększenia linii graficznej liter i linii bazowej wydruku.

Kierunek „do góry i w prawo” (rycina 6) był najczęściej spotykany (21,5% próbek). Następne w kolejności były kierunki „do góry i przesunięty” (17,6% próbek; rycina 7) oraz „w dół i w lewo” (17,6% próbek; rycina 8).

Podsumowując, na podstawie kierunku powiększenia linii graficznej liter i linii bazowej wydruku, można dokonać klasyfikacji kserokopii do jednej z zaproponowanych w tabeli III grup. Ponadto powiększenia linii graficznej liter i linii bazowej wydruku są tymi cechami, które mogą być użyte do określenia kolejności, w jakiej powstawały kserokopie. Podobne wnioski ze swoich badań uzyskali i opublikowali Hilton [3] oraz Winchester [6].

#### 4. Wnioski

Stosując techniki analizy obrazu wykorzystujące program Adobe Photoshop CS2, można określić, czy kserokopia jest kopią oryginalnego dokumentu, czy też kopią innej kserokopii. Stopień (wyrażony w procentach) powiększenia linii graficznej liter i linii bazowej wydruku obserwowany między oryginalnym dokumentem a kserokopiami może być użyteczną cechą w celu określenia sekwencji powstawania kserokopii. Kierunek i stopień obserwowanego powiększenia może być również zastosowany w celu rozróżnienia kserokopiarok.

#### Podziękowania

Autorzy dziękują Departmentowi Nauki i Technologii w New Delhi za wsparcie finansowe opisanego w artykule projektu badawczego.