



DETERMINATION OF SEQUENCE OF STROKES THROUGH REFLECTION SPECTRA

Bikram Ashok VAID, Rajender Singh RANA, Chinki DHAWAN

Laboratory of Government Examiner of Questioned Documents, Central Forensic Science Laboratory, Shimla, India

Abstract

Nondestructive analysis of two ink strokes in order to determine their sequence still poses a difficult problem for Forensic Document Examiners and at times may lead to inconclusive if not erroneous results. A number of attempts have been made in the past using scanning electron microscopy and optical microscopy to address the problem. In some cases destructive analysis is also suggested, but since the evidentiary value of the exhibit under examination shall cease to exist, such a technique is not advised in actual casework. In this work, the sequence of two intersecting strokes has been determined by studying the reflectance spectra of ink strokes at three different points, viz. one each on two intersecting strokes and the third at the point of their intersection using a video spectral comparator 2000HR (VSC-2000HR). Since reflection is a surface phenomenon, the spectra at the point of intersection will correspond to the subsequently executed stroke provided that the initial stroke had completely dried before the execution of the subsequent stroke. This technique is nondestructive in nature and has been demonstrated to add more objectivity to the determination of the order of two intersecting strokes, which at times poses a problem due to the occurrence of an optical illusion. The authors have experimented with determining the sequence of two heterogeneous strokes (i.e. samples comprised of two different inks) with a number of permutations and combinations.

Key words

Sequence; Reflection spectra; Surface phenomenon intersecting stroke.

Received 25 April 2011; accepted 20 June 2011

1. Introduction

Determination of the order of two heterogeneous intersecting strokes of handwritings on a document plays an important role in the criminal justice system. Though this is not a new problem faced by forensic scientists, it remains one of the few challenging document examination problems that often leads to an inconclusive subjective finding in many cases. In the past, the seepage of subsequent ink into the strokes of existing ink was studied to determine their order [5]. Furthermore, according to Conway [1], determination of sequence of intersecting lines is not always possible in the case of ball point pen writings. Mathyer and Pfister [8] used Kromekote paper to lift the writings

portion using the techniques of Igoes and Reynolds [6] and studied the sequence of strokes with the help of a Scanning Electron Microscope (SEM). Gupta et al. [4] suggested the use of photography with glossy paper treated with Pyridine to lift and determine the order of intersecting strokes. However, the aforesaid techniques, as suggested by [4, 6, 8], involve the destructive analysis of the documents and the possibility of damaging the documents cannot be ruled out. Furthermore, in some cases an optical illusion may lead to erroneous results as the darker stroke generally dominates and appears to be above the lighter stroke irrespective of their order [2]. To minimize the optical illusion, Jasuja et al. [7] have suggested examining the embossed strokes of an intersection from the reverse

side of the paper using oblique light. However, these techniques are often either destructive or subjective in nature. In order to introduce objectivity – a valid aim rightly suggested by Huber and Headrick [9] – Vaid et al. [10] made a theoretical attempt to solve the problem through refractive indices, but nothing has been done in this direction experimentally to reach an affirmative conclusion. Fabiańska and Kunicki [3] have also suggested a non destructive technique using Raman spectroscopy, but this leads to positive results in only 44.2% of the samples.

Determination of the sequence of two crossing strokes using reflectance spectra is one such technique. The reflectance spectrum is generated using a versatile video spectral comparator, viz. VSC-2000-HR. In this work we have attempted to develop another nondestructive technique, which along with other available techniques should add more objectivity to this ever-challenging problem of forensic document examination. We have carefully prepared heterogeneous samples consisting of dry toner laser jet printer inks, liquid DeskJet printer inks, aqueous based inks, glycol based inks and gel based inks.

2. Theory

A thin layer of ink is deposited when a stroke of ink is executed on a surface and if another stroke of ink, preferably using a different ink, is drawn crossing the previous stroke, then at the point of their intersection the upper layer should correspond to the subsequently executed stroke, provided the first stroke has completely dried. Figure 1 shows the intersection of two lines of different inks, and the blue ink which is executed subsequently is above the existing red ink.



Fig. 1. Intersection of two lines of different inks. The blue ink which is executed subsequently is above the existing red ink.

Furthermore, it is also well known fact that when a beam of light falls on a surface, a part of it is reflected, a part of it is transmitted and the rest of it is absorbed. In this work an attempt has been made to study the reflected part of the aforesaid light by obtaining reflectance spectra using VSC-2000 HR, manufactured by

Foster and Freeman, UK. This equipment can generate spectra in the wavelength range from 400 to 1000 nm, which corresponds primarily to the visible region of the spectrum. For this study, we have opted for reflectance spectra, as they should lead to more accurate results compared to other types of spectra above. Since the equipment has provision for blocking any external light falling on the sample under study the spectra so generated correspond intrinsically to that sample with no or zero external noise. The system has the facility to calculate the average of a number of spectra, the difference between two spectra and normalization. Figure 2 shows the phenomena of reflection and transmission when an incident ray falls on a surface.

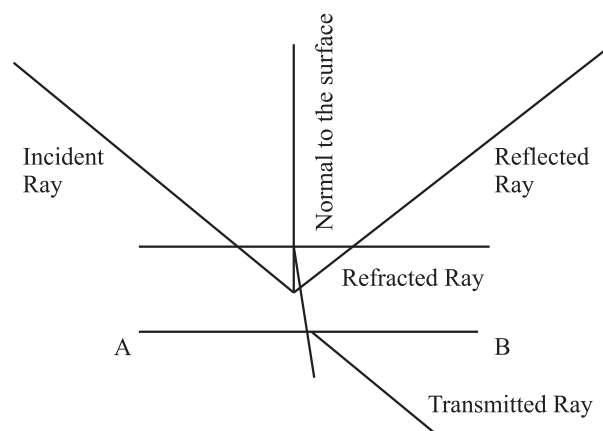


Fig. 2. The phenomena of reflection and transmission when an incident ray falls on a surface.

According to the first law of reflection: the incident ray, the normal to the surface and the reflected ray lie in the same plane. This implies that reflection is a surface phenomenon, or more precisely: the reflected ray should essentially characterize the surface from which it is reflected. If two strokes intersect each other, then at the point of their intersection, the surface corresponding to the subsequent stroke will overlap the previous one, provided the initial stroke had dried before the execution of the subsequent stroke. As such, reflectance spectra at the point of their intersection should have characteristics of the stroke executed subsequently. Thus, if we generate reflectance spectra for two intersecting strokes; one each for the individual ink strokes and one at the point of their intersection, the latter should correspond to the stroke executed subsequently.

3. Experiment and results

Intersections of heterogeneous strokes (i.e. strokes using different inks) were prepared, which included aqueous inks, glycol based inks (ball point), gel based inks, dry toner (laser printer) and inkjet printer inks. A reasonable time for drying of the initial ink stroke was allowed and afterwards the subsequent intersecting stroke was executed. The control samples so generated were kept under similar climatic conditions. Reflectance spectra were generated using VSC-2000-HR corresponding to three different points, viz. one each for the two individual strokes and one at the point of their intersection. Spectra for each stroke were taken at three different points on it and its average spectrum was obtained using the software tool available in the equipment, thus minimizing the chances of any possible experimental error. The spectra generated at the point of intersection should correspond to the stroke executed subsequently, provided that there is no inter-

mixing of the inks at the point of their intersection. The results so obtained are shown in Figures 3–11. It is quite evident from the results that the spectra at the point of intersection correspond to the subsequent stroke except in the case of gel ink where results are inconclusive. This technique was also applied in an actual case referred to this laboratory and the result so obtained is shown in Figure 12 (the result generated using this technique was also corroborated by other evidences available in this particular case). Since this is a nondestructive method, the experiment can be repeated by another laboratory, which will add more objectivity to the findings and eliminate any possible error due to subjectivity, including optical illusion. In order to make this work easily understandable, a spectrum numbering scheme is maintained, wherein the no. 1 line corresponds to the spectrum for the stroke executed first, no. 2 to the (spectrum for the) subsequent stroke and 3 to the intersection point.

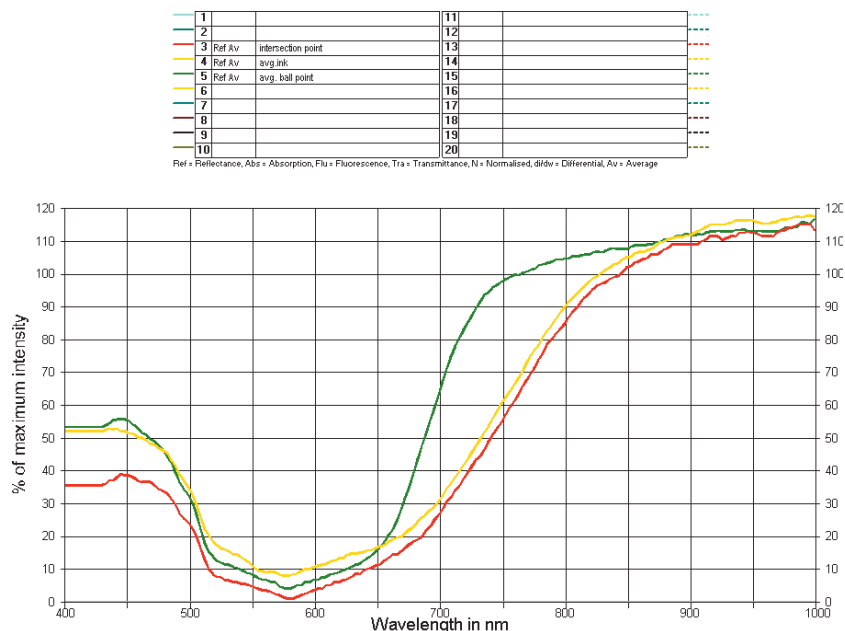


Fig. 3. Reflectance spectra generated using the VSC-2000-HR for a control sample comprised of two heterogeneous intersecting strokes. The line marked 1 corresponds to the average of the spectra for the aqueous based nib pen ink stroke; the line marked 2 corresponds to the average of the spectra for the glycol based ink ball point pen ink stroke; the line marked 3 corresponds to the average of the spectra at the point of intersection. The nature of the spectra depicted by the line marked 3 corresponding to the point of intersection is similar to that of the spectra depicted by the line marked 2 corresponding to the glycol based ball point pen ink stroke indicating that the ball point pen ink stroke was executed subsequently to the aqueous based nib pen ink stroke.

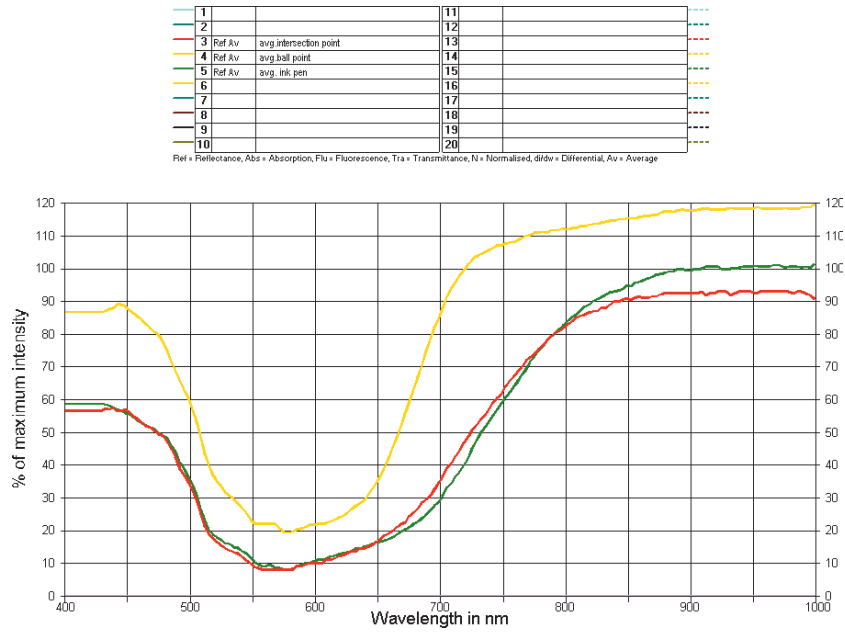


Fig. 4. Reflectance spectra generated using the VSC-2000-HR for a control sample comprised of two heterogeneous intersecting strokes. The line marked 1 corresponds to the average of the spectra for the glycol based ball point pen ink stroke; the line marked 2 corresponds to the average of the spectra for the aqueous based nib pen ink stroke; the line marked 3 corresponds to the average of the spectra at the point of intersection. The nature of the spectra depicted by the line marked 3 corresponding to the point of intersection is similar to that of the spectra depicted by the line marked 2 corresponding to the aqueous based nib pen ink stroke indicating that the aqueous based nib pen ink stroke was executed subsequently to the glycol based ball point pen ink stroke.

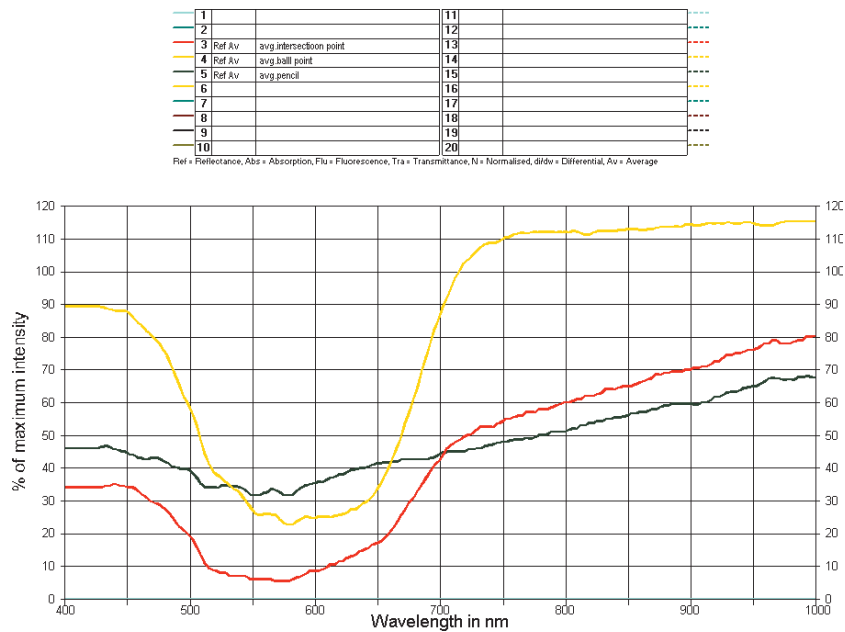


Fig. 5. Reflectance spectra generated using the VSC-2000-HR for a control sample comprised of two heterogeneous intersecting strokes. The line marked 1 corresponds to the average of the spectra for the aqueous ball point pen ink stroke; the line marked 2 corresponds to the average of the spectra for the graphite lead pencil stroke; the line marked 3 corresponds to the average of the spectra at the point of intersection. The nature of the spectra depicted by the Line marked 3 corresponding to the point of intersection is similar to that of the spectra depicted by the line marked 2 corresponding to the graphite lead pencil stroke, indicating that the graphite lead pencil stroke was executed subsequently to the glycol based ball point pen ink stroke.

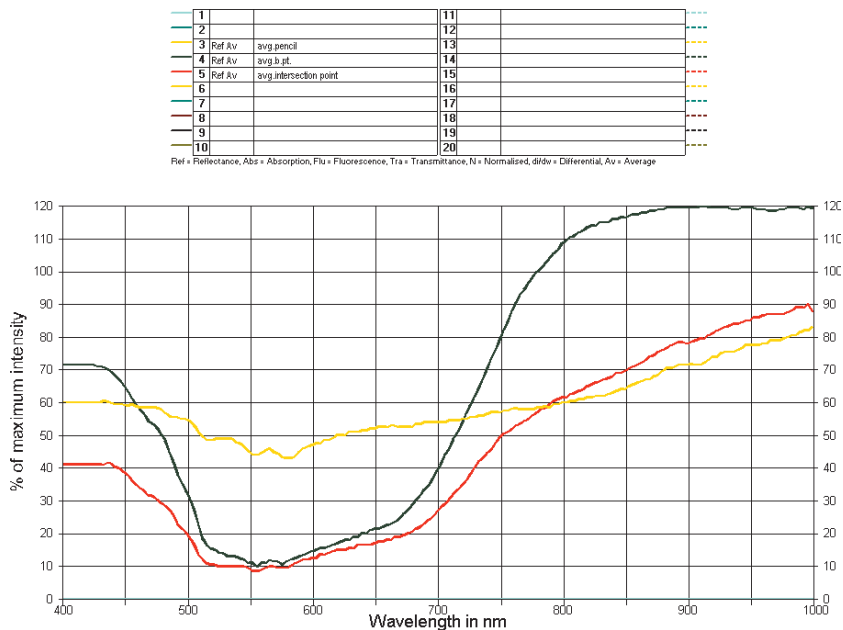


Fig. 6. Reflectance spectra generated using the VSC-2000-HR for a control sample comprised of two heterogeneous intersecting strokes. The line marked 1 corresponds to the average of the spectra of the graphite lead pencil stroke; the line marked 2 corresponds to the average of the spectra for the glycol based ball point pen ink stroke; the line marked 3 corresponds to the average of the spectra at the point of intersection. The nature of the spectra depicted by the line marked 3 corresponding to the point of intersection is similar to that of the spectra depicted by the line marked 2 corresponding to the glycol based ball point pen ink stroke, indicating that the glycol based ball point pen ink stroke was executed subsequently to the graphite lead pencil stroke.

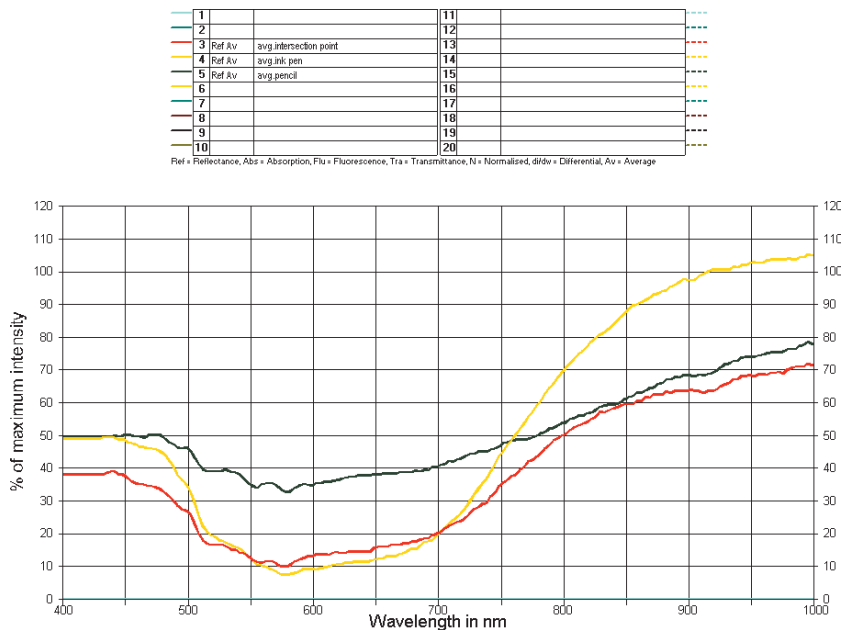


Fig. 7. Reflectance spectra generated using the VSC-2000-HR for a control sample comprised of two heterogeneous intersecting strokes. The line marked 1 corresponds to the average of the spectra for the aqueous based nib pen ink stroke; the line marked 2 corresponds to the average of the spectra for the graphite lead pencil stroke; the line marked 3 corresponds to the average of the spectra at the point of intersection. The nature of the spectra depicted by the line marked 3 corresponding to the point of intersection is similar to that of the spectra depicted by the line marked 2 corresponding to the graphite lead pencil stroke, indicating that the graphite lead pencil stroke was executed subsequently to the aqueous based nib pen ink stroke.

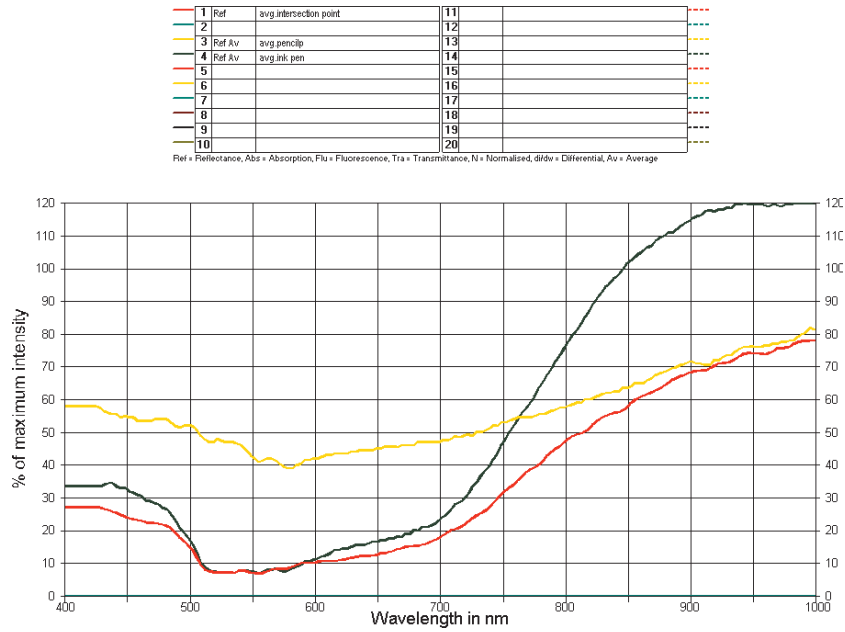


Fig. 8. Reflectance spectra generated using the VSC-2000-HR for a control sample comprised of two heterogeneous intersecting strokes. The line marked 1 corresponds to the average of the spectra for the graphite lead pencil stroke; the line marked 2 corresponds to the average of the spectra for the aqueous nib pen ink stroke; the line marked 3 corresponds to the average of the spectra at the point of intersection. The nature of the spectra depicted by the line marked 3 corresponding to the point of intersection is similar to that of the spectra depicted by the line marked 2 corresponding to the aqueous based stroke indicating that the aqueous based nib pen ink stroke was executed subsequently to the graphite lead pencil stroke.

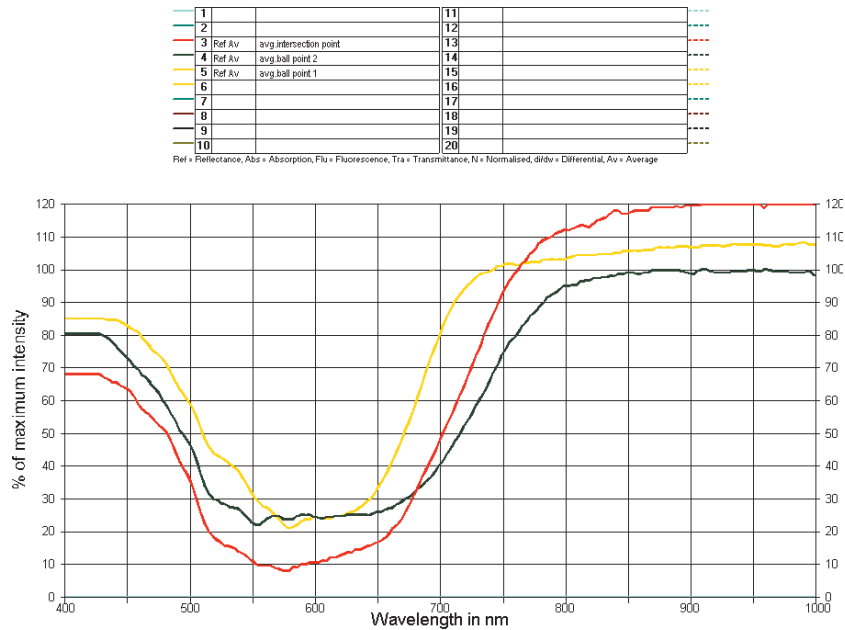


Fig. 9. Reflectance spectra generated using the VSC-2000-HR for a control sample comprised of two heterogeneous intersecting strokes. The line marked 1 corresponds to the average of the spectra for the glycol based ball point pen ink stroke of brand A; the line marked 2 corresponds to the average of the spectra for the glycol based ball point pen ink stroke of brand B; the line marked 3 corresponds to the average of the spectra at the point of intersection. The nature of the spectra depicted by the line marked 3 corresponding to the point of intersection is similar to that of the spectra depicted by the line marked 2 corresponding to the glycol based ball point pen ink stroke of brand B, indicating that the ball point pen ink stroke of brand B was executed subsequently to the ball point pen ink stroke of brand A.

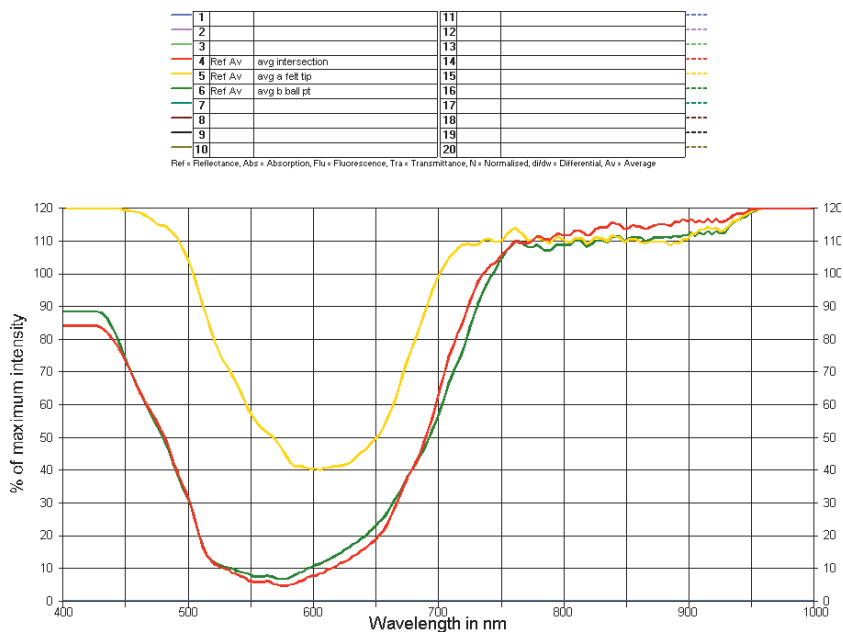


Fig. 10. Reflectance spectra generated using the VSC-2000-HR for a control sample comprised of two heterogeneous intersecting strokes. The line marked 1 corresponds to the average of the spectra for the aqueous based felt tip pen ink stroke; the line marked 2 corresponds to the average of the spectra for the glycol based ink ball point pen ink stroke; the line marked 3 corresponds to the average of the spectra at the point of intersection. The nature of the spectra depicted by the line marked 3 corresponding to the point of intersection is similar to that of the spectra depicted by the line marked 2 corresponding to the glycol based ink stroke, indicating that the ball point pen ink stroke was executed subsequently to the aqueous based felt tip pen ink stroke.

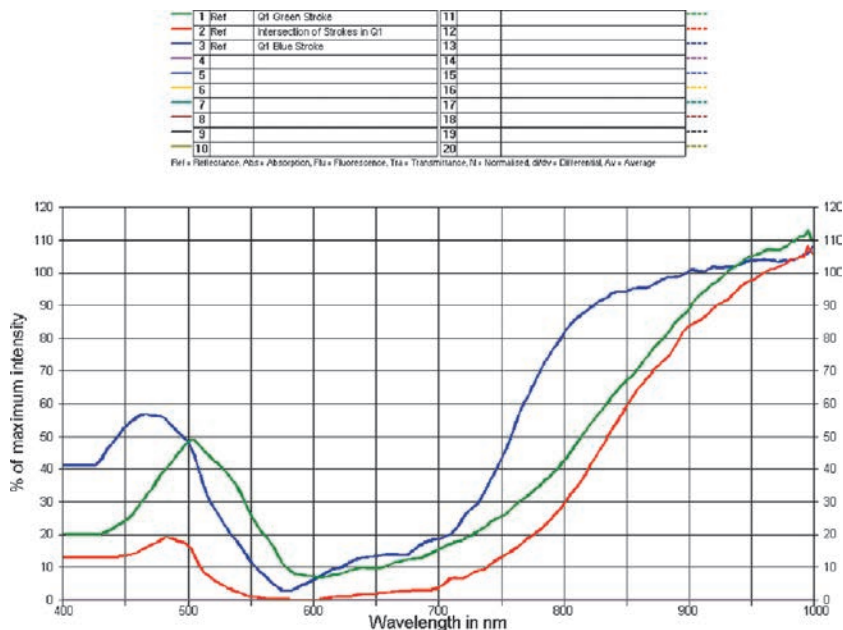


Fig. 11. Reflectance spectra generated using the VSC-2000-HR for a control sample comprised of two heterogeneous intersecting strokes. The line marked 1 corresponds to spectra for the stroke executed with an ink of green tint; the line marked 2 corresponds to the average of the spectra for the glycol based ball point pen ink stroke; the line marked 3 corresponds to the average of the spectra at the point of intersection. The nature of the spectra depicted by the line marked 3 corresponding to the point of intersection is similar to that of the spectra depicted by the line marked 2 corresponding to the ink stroke executed with an ink of blue tint indicating that the blue tint ink stroke was executed subsequently to the green tint ink stroke.



Fig. 12. Photograph of the actual document received in the author's laboratory and reported by using the methodology under discussion. The exhibit was comprised of heterogeneous ink strokes, viz. one of blue color and another of green.

4. Drawbacks

1. The results in the case of the gel inks are not encouraging, the reasons for which are still not known to the Authors.
2. This technique is not applicable to cases where the intersecting strokes are homogeneous in nature.
3. The technique gives inconclusive results in cases where intermixing of ink samples takes place at the point of intersection, i.e. the second stroke is executed before the first one has dried.

5. Discussion

The experimental results obtained are encouraging for heterogeneous samples in most of the cases. However, in the case of gel based inks, the results are inconclusive and the reasons for this still need to be researched further. Furthermore, in some cases for heterogeneous samples where the intermixing of two inks making up the strokes takes place at the point of their intersection, the results obtained were found to be inconclusive and could lead to erroneous interpretation; extreme caution is therefore required in such samples. Also, if dissolution of inks takes place at the point of intersection, the results are inconclusive. Furthermore, if two strokes are intersecting at more than one point the experiment can be repeated for each of the intersections, which will add objectivity to the results. Moreover, since this technique is non-destructive in nature, the results can be verified by any other laboratory, thus adding a repeatability factor. Furthermore,

the technique is simple and easily understandable even by a person without a scientific background. It can easily be demonstrated in a court of law to help the judiciary in the justice system, leading to improving the conviction rate. This technique can be used together with other reported techniques to add more objectivity to this ever challenging problem of forensic document examination.

Acknowledgments

The Authors are thankful to Dr. S. Ahmed, AGEQD Shimla and Dr. O. P. Jasuja, Professor, Punjabi University Patiala for their valuable suggestions and discussion.

References

1. Conway J., *Evidential documents*, Charles C. Thomson, Springfield 1959.
2. Ellen D., *The scientific examination of documents*, John Wiley & Sons, New York, Toronto 1989.
3. Fabiańska E., Kunicki M., Raman spectroscopy as a new technique for determining the sequence of intersecting lines, *Problems of Forensic Sciences* 2003, 53, 60–69.
4. Gupta A. K., Rai G., Chugh O. P., Determination of writing sequence of strokes of ball-point pen versus ball-point pen and other conventional writing instruments, *Forensic Science International* 1987, 34, 217–223.
5. Hilton, Ordway, *Scientific examination of questioned documents*, Elsevier Science Publishing Co., New York 1982.
6. Igoe T. J., Reynolds B. L., A lifting process for determining the writing sequence of two intersecting ball-point pen strokes, *Forensic Science International* 1982, 20, 201–205.
7. Jasuja O. P., Singh A. K., Chattopadhyay P. K., A simple method for determining the sequence of intersecting ball pen lines, *Journal of Forensic Science Society* 1987, 227–230.
8. Mather J., Pfister R., The determination of sequence of crossing strokes by the "Kromekote" paper lifting process and by the scanning electron microscopic method, *Forensic Science International* 1984, 24, 113–124.
9. Roy H. A., Headrick A. M., Let's do it by numbers, *Forensic Science International* 1990, 46, 209–218.
10. Vaid B. A., Singh M., Sood N. C., Sequencing order of written strokes – a theoretical approach, *The Forensic Archive* 2010, 1–3.

Corresponding author

Rajender Singh Rana
 Central Forensic Science Laboratory
 Directorate of Forensic Science Services
 Ministry of Home Affairs, Government of India
 Railway Board Building, Shimla, Himachal Pradesh
 171003 India
 email: rsrana06@gmail.com

OKREŚLANIE KOLEJNOŚCI KREŚLENIA KRZYŻUJĄCYCH SIĘ LINII PISMA NA PODSTAWIE ANALIZY ICH WIDM ODBICIOWYCH

1. Wprowadzenie

Wyznaczanie kolejności, z jaką nakreślono na dokumencie dwie heterogeniczne (utworzone za pomocą różnych materiałów pisarskich, na przykład tonera i atramentu) przecinające się linie pisma, odgrywa istotną rolę w dziedzinie nauk sądowych. Choć nie jest to nowe zagadnienie, z którym przychodzi zmierzyć się ekspertem z zakresu badania dokumentów, to wciąż nastęrcza ono wielu trudności, które prowadzą często do uzyskiwania przez biegłych niejednoznacznych, subiektywnych wyników. W literaturze przedmiotu można znaleźć więc liczne sposoby badania krzyżujących się linii. W przeszłości do ustalania kolejności, z jaką zostały naniesione przecinające się linie, wykorzystywano informację dotyczącą większej ilości tuszu wyciekającego z urządzenia pisarskiego na podłoże, która charakteryzowała linię naniesioną na istniejące już pociągnięcie [5]. Według Conwaya [1] ustalenie kolejności, w jakiej nakreślono linie, nie zawsze było możliwe w przypadku stosowania długopisów. Mathyer i Pfister [8] wykorzystali papier Kromekote, aby przenieść fragment zapisów, stosując w tym celu metodę zaproponowaną przez Igoesa i Reynoldsa [6] i analizowali kolejność, z jaką zostały nałożone na siebie linie, za pomocą skaningowego mikroskopu elektronowego (SEM). Gupta i inni [4] zasugerowali natomiast zastosowanie fotografii, wykorzystując w tym celu błyszczący papier zaimpregnowany pirydyną. Wspomniane wyżej metody zaproponowane w literaturze [4, 6, 8] wymagają jednak przeprowadzenia niszczących analiz, których stosowanie nie jest pożądane w przypadku badań prowadzonych na potrzeby wymiaru sprawiedliwości. Ponadto w niektórych przypadkach złudzenie optyczne może prowadzić do błędnych wyników, kiedy to ciemniejsze pociągnięcie linii zwykle dominuje nad jaśniejszym i pojawia się jako najbardziej zewnętrzne bez względu na kolejność nanoszenia linii [2]. W celu zminimalizowania wpływu efektu złudzenia optycznego, Jasuja i inni [7] zasugerowali, aby analizować miejsce wytłoczenia krzyżujących się linii widoczne na odwrotnej części papieru, wykorzystując w tym celu światło ukośne. Jednakże metody te są często zarówno niszczące, jak i subiektywne w swej naturze. Aby wprowadzić do badań obiektywizm, który jest istotnym wymogiem i słusznie został zasugerowany przez Hubera i Headricka [9], Vaida i in. [10], którzy przeprowadzili teoretyczne analizy rozwiązania tego problemu przez wykorzystanie współczynników załamania światła, lecz żadne eksperymenty nie zostały wykonane w celu potwierdzenia tych teorii. Natomiast Fabiańska i Kunicki [3] zasugerowali

możliwość wykorzystania nieniszczącej techniki, jaką jest spektroskopia Ramana, lecz metoda ta pozwoliła na uzyskanie pozytywnych wyników jedynie w 44,2% próbek.

Ustalenie kolejności, w jakiej nakreślone zostały dwie krzyżujące się linie przy użyciu widm odbiciowych, należy do metod nieniszczących. Widma odbiciowe generowane są przy użyciu komparatora spektralnego, np. typu VSC-2000-HR. W niniejszej pracy autorzy prezentują nieniszczącą metodę, która – w połączeniu z innymi dostępnymi metodami – powinna zwiększyć obiektywizm w rozwiązywaniu trudnego problemu związanego z analizą dokumentów do celów sądowych. W swoich badaniach autorzy starannie przygotowali próbki krzyżujących się linii uzyskane za pomocą m.in. tonerów do drukarek laserowych, tuszów do drukarek atramentowych, tuszów wodnych, tuszów opartych na glikolu etylenowym oraz tuszów żelowych.

2. Podstawy teoretyczne

W przypadku krzyżujących się linii, linia naniesiona na dowolną powierzchnię zostaje przecięta przez drugą linię naniesioną za pomocą innego tuszu. Zewnętrzna powierzchnia miejsca tego przecięcia powinna odpowiadać linii naniesionej w drugiej kolejności, pod warunkiem, że tusz tworzący pierwszą linię uległ całkowitemu wyschnięciu. Na rycinie 1 przedstawiono dwie krzyżujące się linie nakreślone za pomocą różnych tuszów w ten sposób, że linia oznaczona kolorem niebieskim została nakreślona na istniejącą już linię oznaczoną kolorem czerwonym.

Zgodnie z teorią, kiedy wiązka światła pada na powierzchnię próbki, to część tego promieniowania ulega odbiciu, a część promieniowania zostaje zaabsorbowana. W prezentowanej pracy podjęto próbę analizy promieniowania odbitego poprzez wyznaczenie widm odbiciowych przy użyciu urządzenia VSC-2000 HR firmy Foster i Freeman (Wielka Brytania). Urządzenie to umożliwia rejestrację widma w zakresie między 400 a 1000 nm, co odpowiada zasadniczo widzialnej części spektrum. Przed przystąpieniem do badań autorzy założyli, że widma odbiciowe pozwolą uzyskać dokładniejsze wyniki niż inne typy widm wspomniane powyżej. Stosowany spektrometr wyposażony jest w urządzenie blokujące zewnętrzne światło padające na próbkę podczas jej badania. Tym samym wyeliminowany zostaje wpływ zewnętrznych szumów, a zmierzone widma odpowiadają bezpośrednio analizowanej próbce. Ponadto sprzęt wyposażony

jest w oprogramowanie, które pozwala na wyznaczenie widm średnich, różnicowanie pomiędzy dwoma widmami oraz wykonania normalizacji widm. Na rycinie 2 przedstawiono zjawisko odbicia i transmisji promieniowania padającego na powierzchnię.

Zgodnie z pierwszym prawem odbicia promień padający, prosta prostopadła do powierzchni padania promieniowania oraz promień odbity leżą na jednej płaszczyźnie. Wynika stąd, iż odbicie jest zjawiskiem powierzchniowym, a dokładniej mówiąc, promień odbity powinien zasadniczo opisywać powierzchnię, z której uległ odbiciu. Jeżeli dwie linie krzyżują się ze sobą, wtedy w miejscu ich przecięcia powierzchnia odpowiada powierzchni linii nakreślonej w drugiej kolejności, która pokrywa linię wcześniejszą, pod warunkiem, że linia początkowa wyszła przed nakreśleniem linii późniejszej. W proponowanej procedurze mierzone są zatem widma odbiciowe dla dwóch krzyżujących się linii w ten sposób, że generuje się jedno widmo odbiciowe dla każdej linii z osobna, a następnie rejestruje widmo z miejsca ich przecięcia. Następnie należy porównać widmo zebrane z punktu krzyżowania się linii z widmami uzyskanymi dla poszczególnych linii z osobna. W efekcie tego porównania powinno się uzyskać zgodność między widmem zebrany z miejsca przecięcia a widmem odpowiadającym linii nakreślonej w drugiej kolejności.

3. Pomiary i wyniki

Przedmiotem badań były próbki krzyżujących się heterogenicznych linii utworzonych za pomocą różnych tuszów. Do przygotowania próbek posłużono się tuszami wodnymi, tuszami opartymi na glikolu etylenowym (długopisy), długopisami żelowymi, tonerami do drukarek laserowych oraz tuszami do drukarek atramentowych. Próbki przecinających się linii przygotowywano w ten sposób, że po nakreśleniu pierwszej linii pozostawiano ją do wyschnięcia, a następnie kreślono linię drugą. W ten sam sposób przygotowano próbki kontrolne, które przechowywano w podobnych warunkach atmosferycznych. Widma odbiciowe wykonywano za pomocą komparatora spektralnego VSC-2000-HR. Widma rejestrowano z miejsc odpowiadających każdej linii z osobna oraz z miejsca ich przecięcia. Widma dla każdego pociągnięcia zbierano w trzech różnych punktach, a następnie, korzystając z narzędzi oprogramowania wykorzystywanego do obsługi spektrometru, wyznaczano widmo średnie, minimalizując w ten sposób możliwość wprowadzenia błędu eksperymentalnego. Zgodnie z założeniami, widma generowane z miejsca przecięcia linii powinny odpowiadać widmu tuszu linii naniesionej w drugiej kolejności, pod warunkiem, że nie doszło do wzajemnego mieszania się tuszów w miejscu ich przecięcia. Uzyskane wyniki przedstawiono na rycinach 3–11.

Aby ułatwić zrozumienie przedstawionych badań, zachowano schemat umieszczania widm – na każdym prezentowanym widmie nr 1 odpowiada widmu linii nakreślonej jako pierwszej, nr 2 odpowiada linii naniesionej w drugiej kolejności, a nr 3 miejscu przecięcia się linii. Przeprowadzone badania wyraźnie wskazują, że widma uzyskiwane z miejsca przecięcia się linii odpowiadają widmu linii nakreślonej w drugiej kolejności. Wyjątek stanowią próbki linii naniesionych za pomocą długopisów żelowych, dla których otrzymane wyniki są nierozstrzygujące. Opisana powyżej procedura została również zastosowana w sprawie aktualnie skierowanej do tegoż laboratorium, a uzyskane wyniki przedstawiono na rycinie 12 (rezultaty uzyskane tą metodą zostały również potwierdzone przez inne dowody dostępne w tej konkretnej ekspertyzie). Zaproponowana metoda należy do metod nieniszczących, dlatego też pomiary mogą zostać powtórzone przez inne laboratorium, co przyczynia się do zwiększenia obiektywności uzyskiwanych wyników badań, ponieważ w ten sposób eliminuje możliwe błędy związane z subiektywizmem, na przykład problem zluźnienia optycznego.

4. Wady metody

1. W przypadku długopisów żelowych uzyskane wyniki nie są satysfakcjonujące, a powody, dla których tak się dzieje, wciąż nie są znane autorom.
2. Zaproponowana procedura nie znajduje również zastosowania w przypadkach, gdy obie przecinające się linie są jednorodne w swej naturze.
3. Procedura nie pozwala także na uzyskanie rozstrzygających wyników w przypadkach, gdy próbki materiałów kryjących tworzące linie ulegają zmieszaniu w obrębie ich przecięcia. Na przykład sytuacja taka ma miejsce, gdy druga w kolejności linia zostanie nakreślona przed całkowitym wyschnięciem pierwszej.

5. Dyskusja wyników

Rezultaty eksperymentów uzyskane dla próbek heterogenicznych w większości przypadków były satysfakcjonujące. Jednakże dla długopisów żelowych nie uzyskano rozstrzygających wyników ani nie określono też powodów, dla których tak się dzieje. Stąd należałoby dokonać dalszych analiz. Nierozstrzygające wyniki uzyskano również dla próbek heterogenicznych, kiedy dwa tusze tworzące oddzielne linie ulegały zmieszaniu w obrębie krzyżowania się linii. Co więcej, w tych przypadkach uzyskane wyniki mogły prowadzić nawet do błędnych wniosków. Analiza tego typu próbek powinna być zatem prowadzona ze szczególną ostrożnością. Nierozstrzygające wyniki otrzymywano także w przypadku

tuszu ulegającego degradacji w obrębie krzyżowania się linii.

Metoda ta posiada jednak szereg zalet. W przypadkach, gdy dwie linie krzyżują się ze sobą więcej niż w jednym punkcie, badania można przeprowadzić dla każdego miejsca ich przecięcia, co zwiększa obiektywność wyników. Poza tym metoda jest nieniszcząca, więc tym samym uzyskiwane wyniki mogą zostać zweryfikowane przez inne laboratorium, przez co otrzymuje się dodatkowo informacje dotyczące powtarzalności uzyskiwanych wyników. Ponadto zaproponowana procedura jest niezwykle prosta, a zrozumienie jej nie nastręca trudności nawet osobom bez naukowego przygotowania. Stąd wyniki badań wykonane tą metodą można bez trudu przedstawić w sądzie, przyczyniając się tym samym do poprawy jakości wydawanych wyroków. Metoda ta może być stosowana w połączeniu z innymi metodami w celu zwiększenia obiektywności w rozwiązywaniu tego trudnego i wymagającego problemu, jakim jest wnioskowanie dotyczące kolejności nakreślenia krzyżujących się linii, z którym na co dzień spotykają się biegli z zakresu badania dokumentów.

Podziękowania

Autorzy dziękują dr S. Ahmed z firmy AGEQD, Shimla oraz dr O. P. Jasuja, Profesorowi Uniwersytetu Panjabia w Patialii za ich cenne uwagi i dyskusję, które dopełniły ostateczną wersję artykułu.