

# 文件底紋之混合網點數位浮水印技術

## Watermarking a Printed Shadow Image with Hybrid Halftone Dots

蕭佩琪 王希俊 連啟明

國立台灣師範大學科技學院圖文傳播學系

臺北市大安區 106 和平東路一段 162 號

{s89129, hsiwang, 69272003}@cc.ntnu.edu.tw

### 摘要

本文提出一種應用於文件底紋數位浮水印技術——以混合網點的概念來隱藏浮水印。使用經校正的調幅網點(Amplitude Modulation, AM)及調頻網點(Frequency Modulation, FM), 將浮水印圖案隱藏於不同大小及不同疏密的網點中, 利用印墨在紙張上著墨特性的不同, 製作在一定距離外, 視覺不可見的浮水印, 但經過影印複製、光柵或掃描機的解碼, 浮水印即可浮現。本研究並發展出一種 AM/FM 網點之輸出校正導表, 以利選擇參數得到最佳之文件底紋浮水印效果。同時以數位印刷的方式可以將文件底紋之浮水印編入不同之序號, 以利文件內容資訊管控及追蹤。

### 關鍵字：

Anti-Counterfeiting, Digital Halftoning, Security Printing, Under-sampling.

### 1. 簡介

數位典藏的處理流程中, 當典藏內容被數位化後, 這些資訊就具有較高的複製傳播與增值應用能力, 但數位化的典藏內容, 需要有著作權或版權保護機制, 來防止典藏內容被非授權使用。典藏的內容除了以網路、CD 光碟等數位方式傳遞外, 透過合法授權[1,2], 部份文獻類典藏內容資料也可以實體文件的方式來呈現。由於目前影像科技的精進, 高解析度的印表機、掃描器或複印機均為容易取得的複製器

材, 故獲得高品質的複製品不再是件難事, 但相對地也造成了版權侵害及文件偽造的問題, 使得防止偽造成為一項重要的課題。

應用於文件上的防偽技術, 常使用特殊材料或特殊印製方式的來達到防偽的功能, 如紙張上的浮水印、變色油墨、凹版印刷、微小字、窗式安全線等[12], 而近年來, 數位浮水印與資料隱藏技術用於數位多媒體上已有相當成果[1,2], 但由於圖像在印刷生成過程中的限制, 使得現有在電子影像的數位浮水印技術不能直接應用到印列圖像上, 這些限制來自於[13,14,15,16,17]：

1. 受限於輸出設備的限制, 列印影像需為兩階影像, 故本身所能隱藏的訊息量有限;
2. 在影像輸出的過程中, 印墨與被印材質的物理與化學交互作用, 使得原來所設計的資訊受到干擾及破壞;
3. 印刷品本身是實體的、類比的媒材, 必須先對影像重新取像, 才能獲取影像內容並驗證真偽, 而受到取像設備的限制, 浮水印能被粹取的困難度更高。

本研究目的在於以混合網點將浮水印圖樣隱藏在文件底紋, 執行過程中需要校正導表來選擇適當參數, 以及使用適當的浮水印偵測方式, 將於以下各節詳述。

## 2. 數位半色調 (Digital Halftoning)

過網(或半色調)是傳統的印刷技術，印刷或印表機列印圖像，只能控制著墨與否，並無法直接表現影像的連續調，需透過半色調技術調整不同形式、不同大小的墨點，間接模擬出連續調層次，而印出的圖像而在一定的觀察距離時，人類視覺系統如同低頻通過濾波器(low-pass filter)，使二階調的影像重現連續調的感覺。隨電腦科技的進步，數位過網已取代傳統過網程序，且其演算法受到許多學者之重視[5,6,7,8,11]。數位過網主要可分兩大類：點陣調色法(ordered dithering)及誤差擴散法(error diffusion)。點陣調色法可產生調幅網點(amplitude modulation, AM)，網點尺寸大小不一，但網點與網點之間距相同；誤差擴散法則可產生大小相同，但點與點之間距不同的條頻網點(frequency modulation, FM)，這兩大類網點的示意圖可參考圖表 1 所示。

由於點陣調色法演算速度快，目前仍是印刷輸出時主要採用的網點表現方式，然而其缺點為造成部份空間解析度(spatial resolution)的喪失，故在追求高品質影像時，誤差擴散法的確能表現較佳的影像品質；然而，誤差擴散的演算法較點陣調色的運算複雜度為高，且亦受到網點擴張的影響，而造成階調無法重現，另在誤差擴散的同時所造成的斑蟲紋路(worm)，仍需要修飾與改進[9,10]。近來，混合網屏(hybrid screening)的發展綜合點陣調色與誤差擴散的優點，亦逐漸受到產業界與學術界的重視。

### 2.1 點陣調色法 (Ordered Dithering)

點陣調色法是利用一臨界值矩陣(如表格 1)將連續調影像分割成臨界值矩陣尺寸相同大小的區塊，所生成的網點排列方式與形狀受到矩陣內的值影響，不一樣的臨界值矩陣可形成不同的網點排列，其中網屏角度為 45 度的臨界值矩陣所生成網點較為常用，這是因為人眼視覺

系統對 45 度方向之網點較不敏感，不易察覺到有網點及網屏角度的存在。

表格 1. 屏角度為 45 度之 8x8 臨界值矩陣

35	49	41	33	30	16	24	32
43	59	57	54	22	6	8	11
51	63	62	46	14	2	3	19
39	47	55	38	26	18	10	27
29	15	23	31	36	50	42	34
21	5	7	12	44	60	58	53
13	1	4	20	52	64	61	45
25	17	9	28	40	48	56	37

點陣調色法之演算方式如下，臨界值矩陣如表格 1，原灰階影像  $g(i,j)$ ，透過方程式(1)將原灰階值量化成臨界值矩陣的階調數， $N_1$  和  $N_2$  而是臨界值矩陣的長與寬。

$$x(i, j) = N_1 \times N_2 \times \left(1 - \frac{g(i, j)}{255}\right) \quad (1)$$

再透過方程式(2)來完成過網的動作。

$$h(i, j) = \begin{cases} 1, & x(i, j) > T(i, j) \\ 0, & x(i, j) < T(i, j) \end{cases} \quad (2)$$

其中  $h(i, j)$  是最終獲得的過網影像(二階影像)，1 代表的是黑點，0 代表的是白點， $T(i, j)$  是臨界值矩陣中的值，在方程式(3)之  $k_1$  和  $k_2$  為正整數：

$$T(i, j) = T(i+k_1 \times N_1, j+k_2 \times N_2) \quad (3)$$

### 2.2 誤差擴散法 (Error Diffusion)

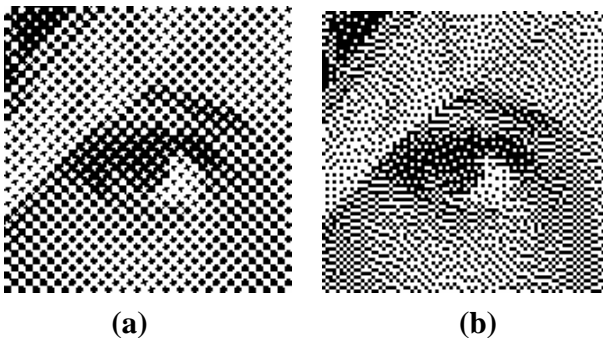
誤差擴散法可產生較高解析度的 FM 網點，其中最著名的就屬 Floyd 與 Steinberg 所提出的 Floyd-Steinberg Error Diffusion(FSED)[5]，其兩階化如方程式(4)所示， $T$  為一固定的臨界值，而將誤差擴散至鄰近未二階化的像素時，

需選擇方程式(5)之矩陣來分配誤差擴散的比重。

$$h(i, j) = \begin{cases} 1, & g(i, j) \geq T \\ 0, & g(i, j) < T \end{cases} \quad (4)$$

$$\frac{1}{16} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & -16 & 7 \\ 3 & 5 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

誤差擴散法所形成的網點是以像素為基本單位，故解析度比點陣調色法以臨界值矩陣大小為基本單位會高許多。現在許多的噴墨印表機是採用誤差擴散的演算方法為基礎作改進，影像亮部區域放大來看，有時會產生斑馬或蟲形的干擾圖樣，這是因為誤差是往下方及行進方向擴散所至。



圖表 1. 兩種網點形式的比較。(a)點陣調色過網的調幅(AM)網點影像，(b)誤差擴散過網的調頻(FM)網點影像。

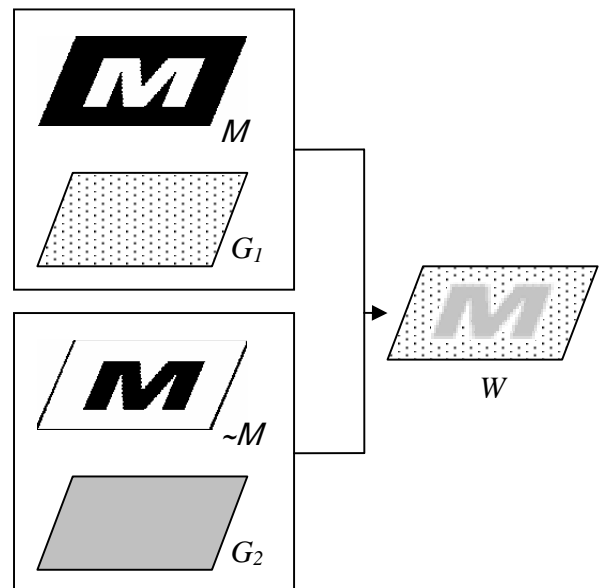
### 3. 混合網點之數位浮水印技術

同時使用兩種主要網點形式(AM 與 FM)來顯示一張影像，即可稱為混合網點或複合網點(hybrid screening)。由於 AM 網點在邊界高頻區域表現的解析度不佳，而 FM 網點之高空間頻率解析度可彌補 AM 網點的缺點；誤差擴散雖然可得到空間解析度高的影像，但 FM 網

點的網點擴張情形較為嚴重，以至於印出圖像在階調表現上受到影響，而點陣調色在整體影像的階調層次又較能保持，故適當地使用混合網點將可綜合 AM/FM 網點特性之優勢，達到較佳之輸出圖像表現。

在本研究中，擬利用 AM/FM 網點對於影印機之複製能力差異，將浮水印藏入底紋之中，以此做版權的宣告與版本控制。先前的研究[18,19,20]，大致上透過大小不一或粗細不一網點、網線、圖案或微小字來設計浮水印，當複製時，兩種尺寸的網點所需的取樣頻率不同，而複製設備無法滿足其中之一的取樣需求時，即能顯示隱藏之浮水印，以防止以複印機或掃描印列影像的偽造。

我們提出一種新的技術，利用遮罩區塊形成混合網點之數位浮水印。此方法可因應不同印表機來輸出最佳的影像品質，以製作較高解析度的加密圖像，同時解碼影像的反差對比較先前研究有大幅度的提升。



圖表 2. 混合網點加密示意圖

混合網點加密的數位浮水印技術流程如圖 2 所示，首先定義兩塊灰階色塊不同的濃度，其中一灰階色塊經過點陣調色的半色調處理得到半色調影像  $G_1$ ；另一灰階色塊則由輸出設備自行過網，故只給定適當的灰階值。再利用一兩階浮水印遮罩  $M$  (黑表 1, 白表 0)，將  $G_1$  與  $G_2$  合併即可得加密影像  $W$ ，如方程式(6)所示。

$$W = (G_1 \cap M) \cup (G_2 \cap \sim M) \quad (6)$$

加密後並印出的影像在  $G_1 \cap M$  範圍的部分影像是由事先定義的點陣調色 AM 網點所構成，而與在  $G_2 \cap \sim M$  範圍的部分影像是由輸出裝置內建的 FM 網點所構成，由圖表 3.顯微影像可看出兩者的差異。



圖表 3. 經顯微鏡取像，其中左方及上方的網點是調幅(AM)網點；右下角細微的網點是調頻(FM)網點。

以人眼在一定距離(約 30 公分)觀察加密後的浮水印影像(如圖 4.)，看不出灰度有任何的差異，或者感知到有訊息隱藏在內。一經複印機複印，以取樣定理[3,4]可知，由於 FM 的網點是以最高解析度輸出的，此解析度若高於複印機的空間取樣頻率則無法被完全重建，浮水印潛像因而顯現出來，如圖表 5 所示。另在加密的過程中浮水印遮罩  $M$ ，需要前處理修整 [20,21]，加密後的影像才不會因為浮水印邊界上不連續的白邊或黑邊使得密碼缺乏隱密性。



圖表 4. 加入浮水印後並印出的底紋圖像，在一定距離觀察人眼無法感知有任何的灰度差異。



圖表 5. 將圖表 4.經複印機複印之後，浮水印潛像即浮現。

#### 4. 校正導表(Calibration chart)

在選擇正確的輸出參數時，需要考慮網點擴張(Dot Gain)的問題，網點擴張係指所設定的網點面積與印出的網點面積的不一致性，通常後者比前者要大，擴張的程度又隨著網點大小、形狀、印製材料的不同而改變。為了將潛像隱藏在印刷品中，網點擴張效應是需要被校正的。本研究設計了適合用於混合網點浮水印的專用導表，如此因應不同設備與不同媒材差異性，可以利用導表快速選擇適當的加密參數，有效率地輸出藏有潛像浮水印的文件底紋。如表 2，外部點陣調色網點面積百分比為 3% 時，周圍 FM 網點濃度的灰階值，左上到右下依序為 244,243,242,...,220，影像解析度為 720dpi。將導表印出後，如圖表 6.，其中灰度

顯示一致時，代表是最佳匹配的參數，在此輸出條件下，以 3% 點陣調色網點時，適當匹配的 FM 網點灰階值為 221 或 220。

**表格 2. AM 網點面積百分比在 3%，適當匹配的 FM 網點的灰階值校正導表。**

244	243	242	241	240
239	238	237	236	235
234	233	232	231	230
229	228	227	226	225
224	223	222	221	220



**圖表 6. 藉由表格 2. 的灰階值校正導表影像列印輸出後，當顯現灰度一致時，則為適當匹配的參數以 3% 點陣調色網點為底時，匹配的 FM 網點灰階值為 221 或 220。**

## 5. 浮水印偵測

本研究適用的浮水印偵測方式有三種：1. 複印機、2. 柱狀透鏡光柵、3. 掃描器。在第三節中已闡述過可以使用複印機來偵測浮水印；除此之外，而也可以透過 751pi 或其他係數的光柵來解碼(圖表 7.)，由於圖像輸出網線數與光柵的係數並非完全一致，故會有干擾條紋(moiré)的情形發生，但還是在人眼可辨識的範圍。再者，掃描器也如同複印機，因為取樣差異，使得浮水印可在取樣不足(under-sampling)的情況下顯現，如圖表 8. 所示。



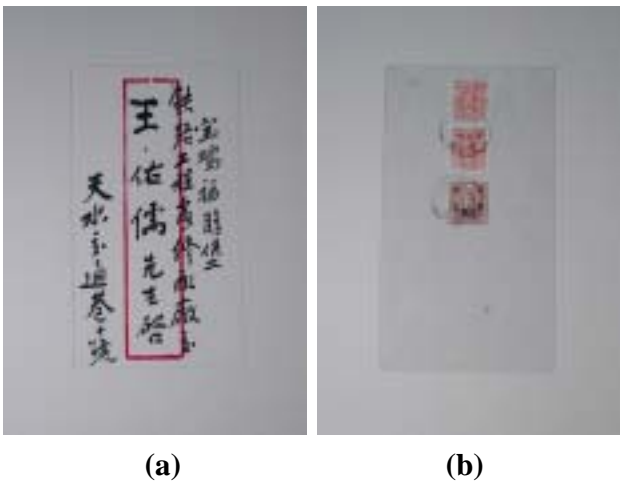
**圖表 7. 利用 751pi 的柱狀透鏡光柵解碼，可清楚顯示隱藏之浮水印。**



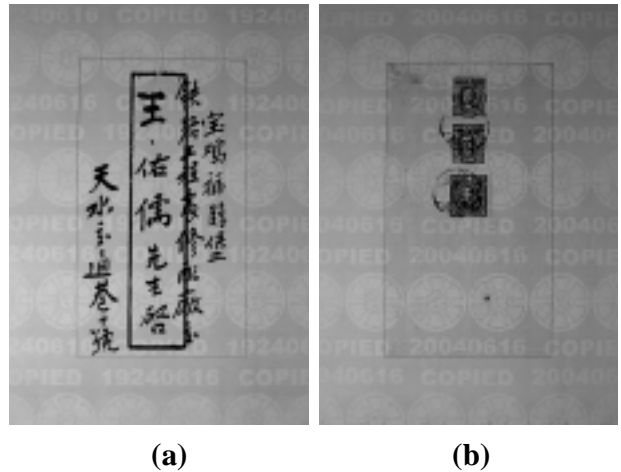
**圖表 8. 利用掃描器在 600dpi 的解析度下掃描所得之影像，因為取樣不足可清楚偵測浮水印。**

## 6. 結果與討論

圖表 9 與圖表 10 為本研究在數位典藏之應用實例，獲授權之文件內容影像印列輸出在有混合網點加密底紋的防偽紙張上(圖表 9.)，本研究目前應用數位印刷方式能印列少量多樣化的防偽文件，並可將序號或特殊密碼作為隱藏資訊，輸出隱藏內容皆不一樣的防偽文件底紋，以達到版本的控管與資訊隱藏(data hiding)之目的。在圖表 9.(a)中為 1946 年的信封正面，數位化後印列在具有防偽功能的底紋上，文件底紋的隱藏內容為“COPIED 19240616”的字樣序號與師大校徽的圖樣；而圖表 9.(b)則為此信封背面含有郵票及郵戳影像，但印列在隱藏內容不一樣的文件底紋上，該隱藏內容為“COPIED 20040616”的不同字樣序號與師大校徽的圖樣。而這兩份安全文件經過拷貝後，隱藏圖案及不同之序號即浮現(圖表 10.)，顯示此為非經授權之複本，並且該文件的序號也浮現。



圖表 9. 混合網點的數位浮水印應用於文件底紋的實例。(a)數位典藏文件內容為 1946 年的信封正面，文件底紋為隱藏“COPIED 19240616”的字樣序號與師大校徽；(b)文件內容為該信封背面，文件底紋為隱藏“COPIED 20040616”的字樣序號與師大校徽。



圖表 10. 將圖表 9.(a)與(b)分別經過複印機拷貝後的複本影像，底紋浮現隱藏圖樣及不同之序號，則可知為未授權複本。

總之，本技術能在不同輸出設備的條件下，仍能達到的最佳解析度來輸出細緻的 FM 網點，而目前列印輸出之高解析度 FM 網點在低網點面積百分比區域內是無法被忠實複製的，故能達到植入浮水印的效果，另在製作 FM 網點時，在加密端是決定灰階值，等到送到輸出設備印出時，以設備的過網方式決定 FM 網點，因而這部分的灰度可微調到很精細，由導表顯示(圖表 6.)，不只有一個灰階參數可以被選擇，可取這些適當參數之中間值，來當做輸出參數，且保證其是最適參數來匹配鄰近之 AM 網點以達到底紋浮水印隱藏之效果。

## 7. 結論及未來工作

本研究結果顯示，混合網點中植入浮水印是可行的，並利用數位印刷方式，將序號隱藏在底紋中達到版本控管的目的，且加密影像的解析度因灰度可微調到更精細而提高，解碼後浮水印與本身底紋的濃度反差亦比較以前之方法提高。

未來將進一步以網點位移或網點變形[15]之方式將更多的隱藏資訊編入有色彩之底紋及複雜影像中，將可使用本技術再多加防偽的機制，甚至我們將不同的認證編碼藏入其中，而解密時除了可以透過人眼判斷真偽之外，內含的隱藏資訊可以被電腦取出並作認證，進而達到機器判讀(machine readable)的功能，將可大幅增進本研究的應用層次。

另在本研究中，所形成 FM 網點之品質，亦對結果有相當程度之影響，如網點在較平緩的區域時會有斑蟲紋路紋(worm)效應的形成(如圖表 11.所示)，這對影像品質會有所干擾，尤其網點過於接近時，會比較容易被影印機複製，故 FM 網點均勻分散性越高，所形成的浮水印品質就越好，Allebach 等人所設計的 DBS (Direct Binary Search)[8,9]演算法在消除這種效應有不錯的成果，這也是一個值得研究的學術性課題。



圖表 11. 印表機過網形成之誤差擴散網點之顯微影像，圖中顯示網點並非均勻散佈。

## 8. 誌謝

感謝行政院國家科學委員會對本研究之支持，計畫編號 NSC 93-2422-H-003-001，台灣師範大學圖文傳播學系謝家瑋同學攝影的協助亦在此言謝。

## 9. 參考文獻

[1] W. Bender et al., *Techniques for data hiding*, *IBM System Journal*, vol 35, Nos 3&4, pp 313-336, 1996.

- [2] C.C. Kuo, T. Kalker, W. Zhou, "Digital Rights Management – from the guest editors", *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 21, Issue 2, pp11-14, March 2004.
- [3] W.K. Pratt, *Digital image processing*, 2nd Ed, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1991.
- [4] A.V. Oppenheim, R.W. Schaffer, *Discrete-time signal processing*, Prentice-Hall Inc., New Jersey, 1989.
- [5] R.W. Floyd and L. Steinberg, An adaptive algorithm for spatial greyscale, *proceedings of Society for Information Display*, Vol 17(2), pp75-77, 1976.
- [6] R. Ulichney, *Digital Halftoning*, MIT Press, Cambridge, MA, 1987.
- [7] I. Katsavounidis and C.C. Jay Kuo, A multiscale error diffusion technique for digital halftoning, *IEEE Transaction on Image Processing*, Vol. 6, No.3, pp.483-490, March 1997.
- [8] F.A. Baqai and J.P. Allebach, Halftoning via direct binary search using analytical and stochastic printer model, Vol 12, No. 1, pp1-15, 2003.
- [9] P. Li and J. P. Allebach, Tone-Dependent Error Diffusion, *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 13, No. 2, pp. 201-215, 2004
- [10] D.L. Lau, R. Ulichney, G.R. Arce, Blue- and Green-Noise Halftoning Model, *IEEE Signal Processing Magazine*, Vol.20, No.4, pp.28-38, 2003.
- [11] M. Mese and P.P. Vaidyanathan, Recent advances in digital halftoning and inverse halftoning methods, *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Fundamental theory and applications*. Vol 49, No 6, pp.790-805, June 2002.
- [12] R. L. van Renesse; *Optical Document Security*, 2nd Ed., Artech, London, 1998.
- [13] H.C. Wang, C.Y.Lin, C.C. Huang, Data Hiding in a binary image by the modified digital halftoning techniques, *proceedings, 1999 Conference on Computer Vision*,

- Graphics and Image Processing, pp. 183-190, Taipei, Taiwan, August, 1999.
- [14] D. Gruhl and W. Bender, Information Hiding to Foil the Casual Counterfeiter, proceedings, 2nd International Workshop on information hiding, Lecture Notes in Computer Science, 1525, pp 1-15, Portland, Oregon, April 1998.
- [15] D.L. Hecht, Embedded data Glyph technology for hardcopy digital documents, SPIE 2171, pp. 341-352, 1995.
- [16] M.S. Fu and O.C. Au, "Data Hiding Watermarking for Halftone Images," IEEE Transaction on Image Processing, 11(4)477-484, 2002.
- [17] H.C. Wang, An Information Hiding Techniques for Binary Images in Consideration of Printing Process, PCM 2002, Lecture Notes in Computer Science 2532, pp. 460-467, 2002.
- [18] M. Kiuchi, K. Saito, Frequency Analysis for Security Printing Lines, SPIE proceedings, Conference on Optical Security and Counterfeit Deterrence Techniques V, vol.4677, pp110-120, San Jose, January 2002.
- [19] G. K. Philips, Combining Nanocharacter Printing, Digital Watermarking and UV Coded Taggents for Optimal Machine-Readable Security, SPIE proceedings, Conference on Optical Security and Counterfeit Deterrence Techniques V, vol.4677, pp150-158, San Jose, January 2002.
- [20] P.C. Hsiao, Y. T. Chen, H.C. Wang, "Watermarking a Printed Binary Image with Varied Screen Rulings" 16th IPPR Conference on Computer Vision, Graphics and Image Processing, proceedings, pp290-297, 2003.
- [21] H.C. Wang , J. Sung, Y.H. Chen (2004), Elimination of artifacts in encrypted binary images by modified digital halftoning technique, proceeding, Conference on Optical Security and Counterfeit Deterrence Techniques V, SPIE, vol . 5310, San Jose, January 2004.