

視覺 特性을 基盤한 靑色雜音 스크린 製作

박희윤 · *유미옥 · **오성상 · ***문영득 · 안석출

부경대학교 인쇄정보공학과

*해양대학교 제어계측공학과

**신구대학교 인쇄학과

*** 부산외국어대학교 전자공학과

(1998년 7월20일 받음, 1998년 8월25일 최종수정본 받음)

Blue Noise Screen Design Based on Human Visual Characteristics

*Hee-Youn Park · *Mee-Ok Yoo · **Sung-Sang Oh ·
***Young-Deuk Moon · Suk-chul Ahn*

Dept. of Graphic Arts Information, Pukyung National University

*Dept. of Control and Instrumentation Eng., Korea Maritime University

**Dept. of Graphic Arts, Singu University

***Dept. of Electronics Engineering, Pusan University of Foreign Studies

(Received 20 July 1998, in final form 25 August 1998)

Abstract

Halftoning is a technique to create the appearance of intermediate tone levels by controlling the spatial distribution of the binary pixel values. Recently, many printing devices such as image setter, inkjet printer, laser printer and facsimile, generate binary image, they require the technique. Ordered dither is achieved comparing the gray scale image to periodic array. This method is fast, but it occurs periodic patterns. Conventional error diffusion generates a good image. But processing speed is very slow and appears worm artifacts in middle tone scale. To improve it, BNS(Blue noise Screen) is developed based on Gaussian distribution. In this paper, we describe methods to design BNS based human visual characteristics and to improve blur appearing at edge area of image by USM(using unsharp mask).

1. 서론

디지털 망점화는 연속계조 이미지를 2진 정보로 표현하는 기술이다. 이러한 기술은 옵셋 인쇄를 비롯하여 잉크젯 프린터, 레이저 프린터, 팩시밀리 등에 많이 사용되고 있다. 망점화된 이미지는 공간 주파수 특성에 크게 의존하기 때문에, 망점화 스크린은 사람의 눈이 공간적으로 저주파 통과 필터로 작동하는 것을 교묘하게 이용한 것이다. 일반적으로 디지털 망점화는 디더법과 오차 확산법이 있다. 디더법은 처리 속도가 빠른 반면에 규칙적인 패턴이 발생하며, 오차 확산법은 전반적으로 좋은 이미지를 만들지만 중간단계에서 불필요한 패턴의 발생과 처리 속도가 떨어진다는 단점이 있다¹⁾. 디더법과 같은 빠른 처리 속도를 가지면서 우수한 이미지를 만드는 BNS(청색 잡음 스크린)를 이용한 방법이 보고된 바 있으며, 이 BNS는 시각의 특성이 가우시안 특성이라는 가정으로 제작한 스크린이다. 이것은 오차 확산법에서 단점인 처리속도와 불필요한 패턴발생이 나타나지 않고, 또한 시각적으로 보기좋은 이미지를 얻을 수 있지만, 에지 부분에서 블러(Blur)현상이 일어나 선예도가 떨어지는 문제점과 각도에 대한 시각 특성이 고려되지 않았다. 본 연구에서는 시각의 공간 주파수 특성과 각도에 대한 시각 특성을 고려한 BNS를 설계하는 방법을 서술하고, USM을 사용하여 에지 부분의 블러를 개선하였다.

2. 스크린 디자인

BNS에 의해 망점화된 2진 이미지를 푸리에 변환하여 방사적 평균 에너지 스펙트럼을 구하면 Fig.1과 같고, 이 특성은 저주파 영역에서는 에너지분포가 거의 없고, 기본 주파수 f_0 보다 높은 고주파 영역에서는 에너지 분포가 평탄한 특성을 나타낸다^{1),2)}. Fig.1은 밝기값이 g 인 청색 잡음의 방사적 평균 에너지 스펙트럼을 나타내었다.

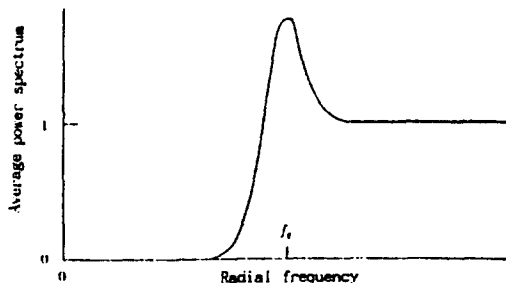


Fig. 1. Radially average power spectrum.

2-1. 시각특성을 이용한 2-D 저주파 통과 필터설계

시각 특성이 가우시안 특성이라 가정한 BNS는 시각의 공간 주파수 특성은 반영하고 있으나, 각도에 대한 시각의 특성은 반영되지 않았다. 시각의 공간 주파수 특성과 각도에 대한 시각의 특성을 고려한 BNS의 제작을 위해서는 시각의 MTF(Modulation transfer function)가 필요하며, Daly는 시각의 MTF를 식(1)과 같이 나타내었다^{3),4),5)}.

$$V_{uv} = \begin{cases} a(b + c\bar{f}_{uv}) \exp(-(c\bar{f}_{uv})^d) & \text{if } \bar{f}_{uv} > f_{max} \\ 1.0 & \end{cases} \quad (1)$$

여기서 a, b, c, d 는 각각 2.2, 0.192, 0.114, 1.1이며, u 와 v 는 푸리에 공간에서 수직과 수평축을 나타내고, V_{uv} 는 시각의 MTF를 나타낸다. 그리고 \bar{f}_{uv} 는 관찰거리에 대한 시각의 방사 공간 주파수 특성을 나타내며, f_{max} 는 V_{uv} 가 최대값을 가질 때의 주파수를 나타내며, V_{uv} 의 최대값을 1로 정규화 하였다. Fig.2는 Daly에 의해 구해진 시각의 MTF를 1차원으로 나타낸 것이다.

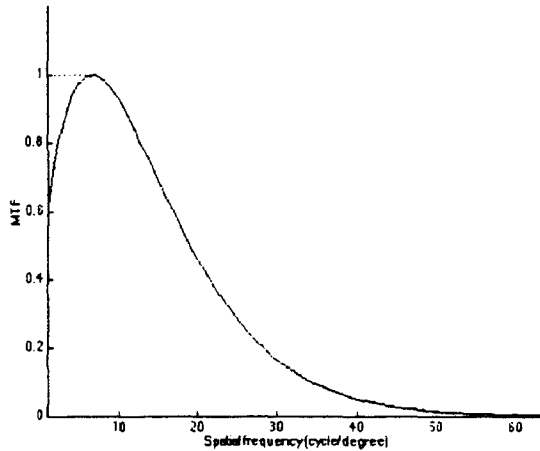


Fig. 2. MTF of the human visual system.

대형적인 프린터 그리드에 대해서 수직 공간 주파수(f_v)와 수평 공간 주파수(f_u)는 주기적이며, 이들의 주파수는 식(2)와 같이 도트 피치 Δ 와 N 개의 주파수에 의해 나타낼 수 있다.

$$f_u = \frac{2u-N}{2\Delta N}, \quad f_v = \frac{2v-N}{2\Delta N} \quad (2)$$

여기서 N 은 2진 패턴의 이미지 크기를 나타내고 있으며, 푸리에 공간에서 사용할 2-D 필터의 크기를 의미한다.

식(2)에 의해서 구해진 f_u 와 f_v 로부터 f_{uv} 를 구하는 방법은 Fig.3과 같고, 일반적으로 f_{uv} 는 $\sqrt{f_u^2 + f_v^2}$ 로 된다.

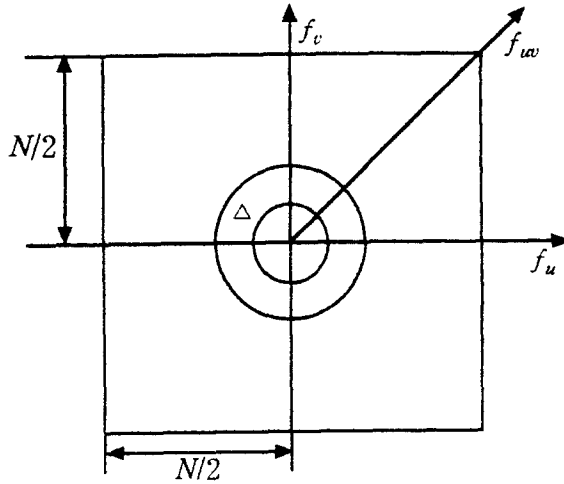


Fig. 3. Radial spatial frequency

f_{uv} 를 관측거리를 고려한 방사적 시공간 주파수로 나타내면 식(3)과 같고, 여기서 dis 는 관측거리를 나타낸다.

$$f_{uv} = \frac{\pi}{180 \arcsin\left(\frac{1}{\sqrt{1 + dis^2}}\right)} \sqrt{f_u^2 + f_v^2} \quad u, v = 1, 2, 3, 4, \dots, N \quad (3)$$

결과적으로 패턴을 관측하는 각도의 함수로서 시각의 MTF 변화를 설명하기 위하여 각도의 존함수 $s(\theta_{uv})$ 로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\overline{f_{uv}} = \frac{f_{uv}}{s(\theta_{uv})} \quad (4)$$

여기서 $s(\theta_{uv})$ 는 Daly에 의해 식(5)와 같이 되며, w 는 조정 파라메타로 패턴의 각도 θ_{uv} 는 식(6)으로 나타낼 수 있다.

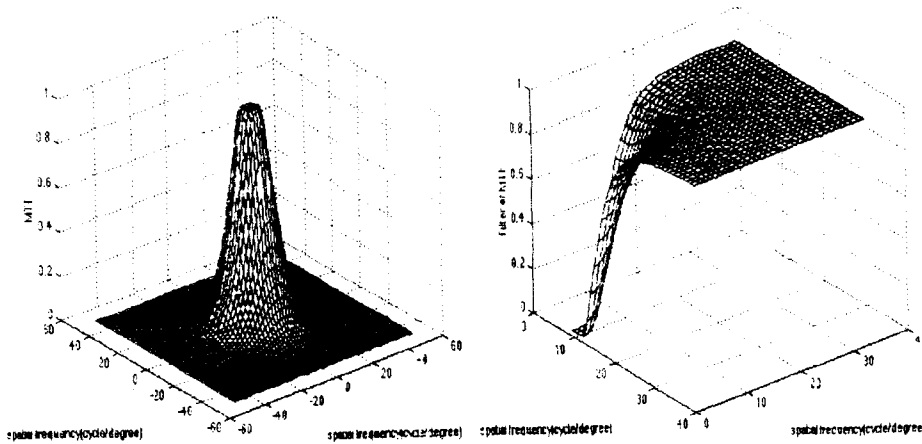
$$s(\theta_{uv}) = \frac{1-w}{2} \cos(4\theta_{uv}) + \frac{1+w}{2} \quad (5)$$

$$\theta_{uv} = \arctan\left(\frac{f_v}{f_u}\right) \quad (6)$$

시각의 MTF로부터, BNS를 제작하는데 필요한 2-D 필터 F_{uv} 는 시각 MTF의 역으로 식(7)과 같이 된다.

$$F_{uv} = \begin{cases} 1 & \text{if } \overline{f_{uv}} = 0 \\ 1 - a(b + c \overline{f_{uv}}) \exp(- (c \overline{f_{uv}})^d) & \text{if } \overline{f_{uv}} > f_{\max} \\ 0 & \end{cases} \quad (7)$$

Fig4 (a)는 Fig2에 나타낸 1차원적인 시각의 공간 주파수 특성을 패턴의 각도와 공간 주파수를 고려한 식(1)의 2차원 특성을 나타내고 있다. (b)는 본 연구에서 BNS를 제작하는데 실제로 사용한 2-D필터의 1/4을 나타낸 것이다.



(a) Implemented of eq.1 (b) Designed 2-D filter based on MTF

Fig. 4 2-D low pass filter based on visual MTF.

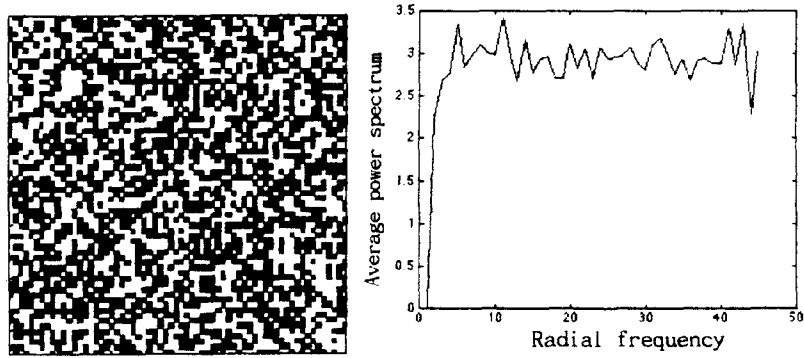
2-2. 초기 이진 패턴

이진 패턴을 만들기 위해서 밝기값이 g 이고 크기가 $N \times N$ 인 8bit 이미지를 백색 잡음 스크린으로 이진 패턴을 만든다. 일반적으로 BNS의 초기 이진 패턴을 만들 때 g 는 중간 밝기인 128의 이미지를 사용하고, 이진화된 패턴을 $B(i,j,g)$ 라 하며, Fig.5의 (a)와 같고 (b)는 $B(i,j,g)$ 를 푸

리에 변환하여 구한 방사적 평균 에너지 스펙트럼을 나타낸다. 밝기가 g 인 이미지와 이것을 이진화한 $B(i,j,g)$ 의 차를 오차라 하고, 오차 $e(i,j)$ 는 식(8)과 같이 정의 하였고 평균 자승오차 (Mean Square Error) $MSE(i,j)$ 는 식(9)와 같다.

$$e(i, j) = B(i, j) - g \quad (8)$$

$$MSE(i, j) = \frac{1}{N \times N} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N [e(i, j)]^2 \quad (9)$$



(a) Halftone image of white noise. (b) Radial spectra of white noise.

Fig. 5. Halftone image and radial spectra of white noise.

$N \times N$ 크기의 이진 패턴 $B(i,j,g)$ 를 사용하여 g 가 128인 초기 BNS를 제작하는 처리 과정은 다음과 같다.

〈step 1〉 START

〈step 2〉 크기가 $N \times N(64 \times 64)$ 이고, 밝기값이 $g(128)$ 인 이미지를 백색 잡음 이진 패턴 $B(i,j,g)$ 를 생성한다.

〈step 3〉 이진 패턴 $B(i,j,g)$ 를 2차원 푸리에 변환하여 $B(u,v,g)$ 를 만든다.

〈step 4〉 푸리에 변환된 $B(u,v,g)$ 를 식(7)에서 설계된 2-D 필터 F_{uv} 에 통과시켜 $B'(u,v,g)$ 를 만든다.

〈step 5〉 $B'(u,v,g)$ 를 푸리에 역변환 $B'(i,j,g)$ 를 구한다.

〈step 6〉 $B'(i,j,g)$ 와 밝기값 g 의 오차 $e(i,j)$ 를 구한다.

〈step 7〉 $e(i,j)$ 의 배열을 큰 값으로부터 작은 값으로 나열한다.

〈step 8〉 $e(i,j)$ 제일 큰 값과 제일 작은 값이 위치하는 0은 1로 그리고 1은 0으로 교환하고, 2번째의 큰값과 2번째의 작은 값이 위치하는 0은 1로 그리고 1은 0으로 P 쌍 만큼 교환해 준다.

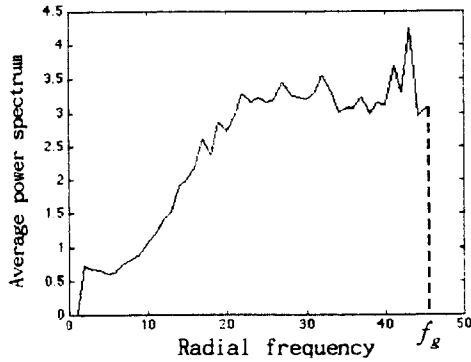
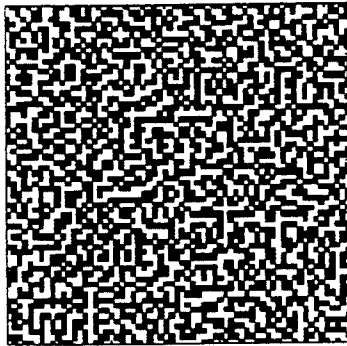
- 〈step 9〉 현재의 $MSE(i,j,g)$ 가 앞단계의 $MSE(i,j,g)$ 보다 적거나 같으면 〈step 3〉으로 가고, 그렇지 않으면 〈step 10〉으로 간다.
- 〈step 10〉 현재의 $MSE(i,j,g)$ 가 앞단계의 $MSE(i,j,g)$ 보다 크면서 동시에 $P \neq 1$ 인 경우는 $P=P/2$ 로 하여 〈step 3〉으로 가고, $P=1$ 인 경우는 〈step 11〉로 간다.
- 〈step 11〉 END

위의 처리 과정이 실행되면 식(10)과 같은 초기 BNS(Blue Noise Screen)인 $PBNS(i,j)$ 가 생성되며, $N \times N$ 크기의 기본 주파수 f_g 는 식(11)로 나타낸다.

$$PBNS(i, j) = \begin{cases} g & B'(i, j, g) = 0 \\ g-1 & B'(i, j, g) = 1 \end{cases} \quad (10)$$

$$f_g = \begin{cases} \sqrt{g/256} \cdot N & g \leq 128 \\ \sqrt{(1-g)/256} \cdot N & g > 128 \end{cases} \quad (11)$$

Fig.6의 (a)는 초기 BNS에 의한 이진 패턴을 나타내며, (b)는 (a)의 패턴을 푸리에 변환하여 구한 방사적 평균 에너지 스펙트럼을 나타낸 것이며, N 이 64이므로 기본주파수가 128인 경우의 f_g 는 약 45가 된다.



(a) Blue noise pattern.

(b) Average radial power spectra.

Fig. 6 Blue noise pattern and average radial power spectra of primary BNS.

2-3. BNS 제작

구해진 초기 BNS인 $PBNS(i,j)$ 를 이용하여 밝기값 $\pm\Delta g$ 만큼 변화함에 따라 $PBNS(i,j)$ 의 값을 변화시킨다. 이 과정은 $g \pm \Delta g$ 가 0 또는 255가 될 때까지 실행한다. 8비트의 이미지에서 일반적으로 Δg 는 1이며, g 가 128이므로 스크린의 문턱값이 128에서 255가 되는 상승 단계와 127에서 0이 되는 하강 단계로 구분된다. 예를들어 N 이 64인 경우에 대해서 Δg 가 1만큼 증가 또는 감소함에 따라서 흑(백)점이 백(흑)점으로 변화하는 수는 $N^2/256$ 이므로 16이 되며, 처리 과정은 다음과 같다.

<step 1> START

<step 2> $B'(i,j,g)$ 가 0인 흑점들 중 16개를 랜덤하게 1인 백점으로 교환 한다.

<step 3> $PBNS(i,j)$ 를 구하는 과정과 같이, 변화된 $B'(i,j,g)$ 를 청색 잡음 특성을 가지도록 2-D 필터처리를 한다. 흑점과 백점의 위치를 서로 교환할 때 $PBNS(i,j)$ 의 흑점의 위치에서만 한정하고, $B'(i,j,g)$ 가 0인 위치의 $PBNS(i,j)$ 값에 한하여 1씩 증가시킨다.

<step 4> $B'(i,j,g+1)$ 가 0인 흑점들 중 16개를 랜덤하게 1인 백점으로 교환하여, $g \pm \Delta g$ 가 255가 될 때까지 반복 처리하면, 최종의 $PBNS(i,j)$ 의 값은 128에서 255의 값을 각 단계당 16개씩 가지게 된다.

<step 5> $B'(i,j,g)$ 가 1인 백점들 중 16개를 랜덤하게 0인 흑점으로 교환한다.

<step 6> $PBNS(i,j)$ 를 구하는 과정과 같이, 변화된 $B'(i,j,g)$ 를 청색 잡음을 가지도록 2-D 필터처리를 한다. 흑점과 백점의 위치를 서로 교환할 때 $PBNS(i,j)$ 의 백점의 위치에서만 한정하고, $B'(i,j,g)$ 가 1인 위치의 $PBNS(i,j)$ 값에 한하여 1씩 감소시킨다.

<step 7> $B'(i,j,g-1)$ 가 1인 백점들 중 16개를 랜덤하게 0인 흑점으로 교환하여, $g \pm \Delta g$ 가 0이 될 때까지 반복 처리하면, 최종의 $PBNS(i,j)$ 는 0에서 127의 값을 각 단계당 16개씩 가지게 된다.

<step 8> 처리가 완료되면 $PBNS(i,j)$ 가 청색 잡음 스크린인 $BNS(i,j)$ 가 생성되며, $BNS(i,j)$ 는 0에서 255의 값을 가진다.

<step 9> END

Fig.7은 이상의 처리과정을 그림으로 나타낸 것으로, (a)는 각 단계별 이진 패턴을 나타낸 것이며, (b)는 스크린의 문턱값 변화를 나타내고 있다.

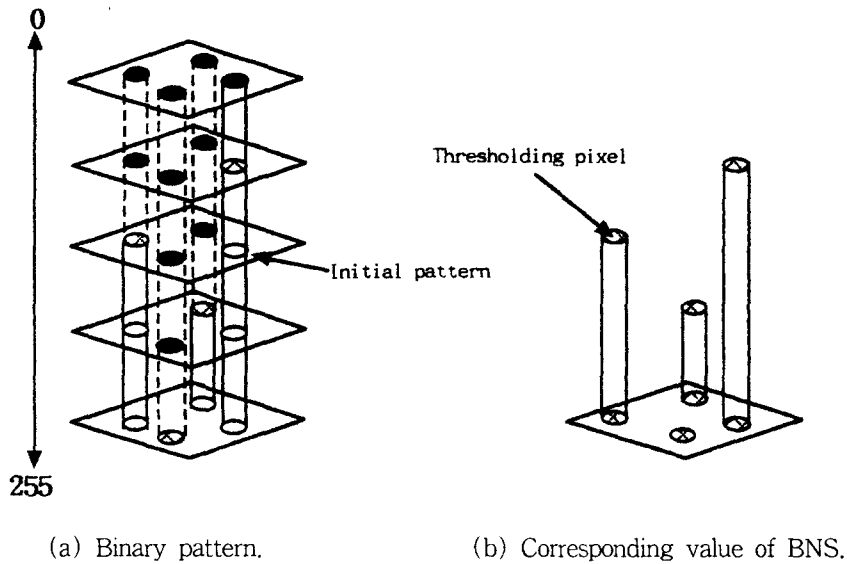
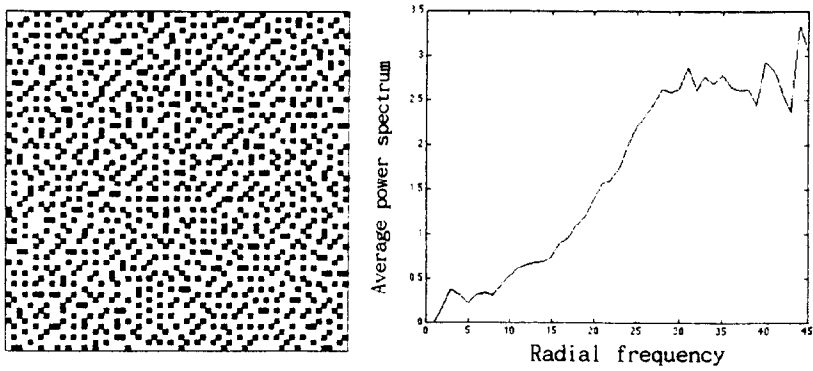
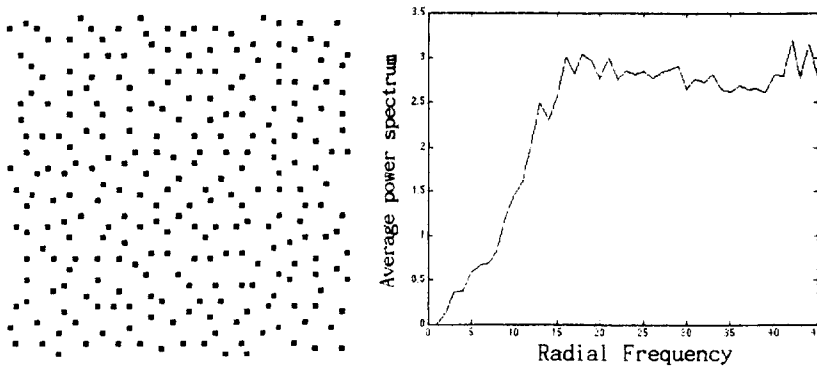


Fig. 7 Binary pattern and corresponding value of BNS.

이상의 처리를 통해서 만들어진 BNS를 사용하여 전 단계의 그레이 값에 대한 이진 패턴을 생성할 수 있다. 청색 잡음 특성을 확인하기 위해서 Fig.8에 그레이 값이 192인 이미지와 240인 이미지를 대상으로 이진 패턴을 생성하여 방사적 평균 에너지 스펙트럼을 검토하였다. 기본 주파수 f_k 보다 낮은 저주파에서는 에너지가 약하고, f_k 보다 높은 고주파 영역에서는 높은 에너지를 가지는 청색 잡음 특성을 잘 나타내고 있음을 알 수 있다.



(a) Binary patterns and average radial power spectra for $g(g=192)$.

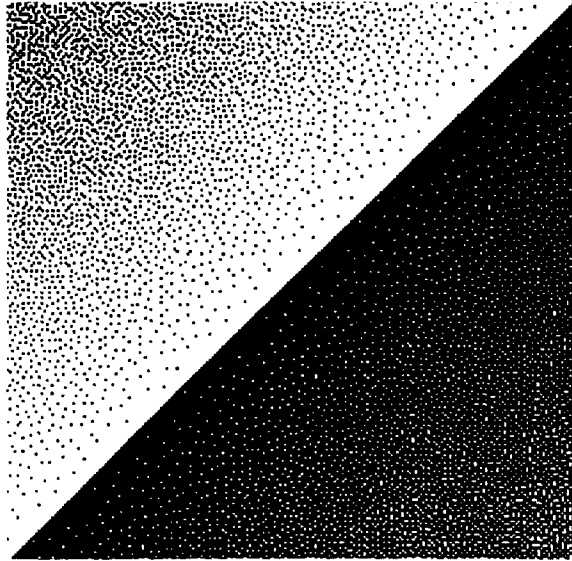


(b) Binary patterns and average radial power spectra for $g(g=240)$.

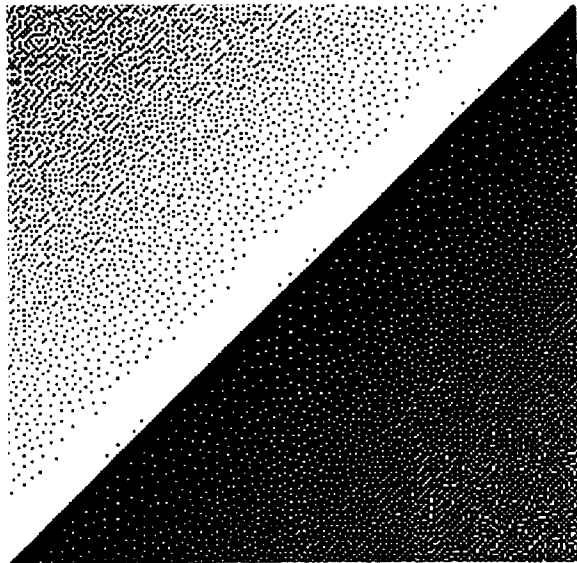
Fig. 8 Binary patterns and average radial power spectra.

2-4. BNS에 의한 이진 패턴과 USM(Unsharp Mask) 처리

Fig.9의 (a)는 시각특성 MTF를 기반으로 제작한 BNS를 이용한 그레이 램프 이미지를 이진화 하여 72dpi로 출력한 것이며, (b)는 가우시안 특성을 이용한 BNS에 의해 이진화된 패턴의 예를 나타내었다. (a)는 전영역에 걸쳐서 45도의 패턴이 많이 나타나고 있어서 부드러운 느낌이 나며, (b)는 전 영역에 걸쳐서 도트가 가우시안적인 패턴을 하고 있어서 중간계조 부근에서 (a)보다 강한 도트 패턴을 인식하게 되었다. 그러나 (a)는 하이라이트와 새도우 영역에서 3~4개의 도트가 45도 방향으로 연속된 패턴이 나타남을 알 수 있다.



(a) Halftoning for gray level by BNS(Visual MTF)



(b) Halftoning for gray level by BNS(Gaussian)

Fig. 9 Gray scale and image halftoned by BNS.

에지부분의 흐림을 보상하기 위해서 원고 이미지를 USM 처리한 후, BNS에 의한 이진 패턴의 어큐턴스^(a)(acutance)와 USM을 처리하지 않은 이미지를 BNS에 의한 이진 패턴의 어큐턴스(acutance)와 오차 확산법에 의한 이진 패턴의 어큐턴스의 비교값을 <Table 1>에 나타내었다.

<Table 1>에서 알 수 있는 바와 같이 BNS의 단점인 에지부분의 블러 현상을 USM 처리에 의해 어큐턴스 32.75에서 40.25로 향상시킬 수 있었으며, 지나친 강조는 전체 이미지의 왜곡을 초래할 수 있으므로 마스크량을 100%로 하였다.

Table 1. Acutance of BNS, Error diffusion and USM-BNS

Type of halftone	Acutance
BNS	32.75
Error diffusion	52.75
USM-BNS	40.25

Fig.10의 (a)는 BNS에 의한 이진화한 패턴, (b)는 오차 확산법에 의한 이진화한 패턴 그리고 (c)는 원고 이미지를 USM 처리를 실시한 후, BNS에 의한 이진화한 패턴을 360dpi로 출력한 예이다. (a)는 경계부분에 흐림이 나타나며, (B)는 경계부분이 선명하지만 얼굴 부분과 배경부분에서 불필요한 무늬 패턴이 발생하고 있다. 그리고 (c)는 (a)보다 경계부분이 강조되어 있으며, 전 패턴을 통해서 불필요한 패턴의 발생은 없다.



(a) BNS Image

(b) Error diffusion Image

(c) BNS Image for processing USM

Fig. 10. BNS Image for Non-processing and processing USM.

3. 결 론

시각의 공간 주파수 특성과 각도에 대한 시각 특성을 고려한 BNS를 설계하고 USM 처리를 통해서 에지 부분의 블러를 개선하는 방법을 제안하고, 실험을 통해서 다음과 같은 사실을 알았다.

- 1) 교환할 때 쌍은 32쌍이 가장 적합하였다.
- 2) BNS에 의해 이진화된 이진 패턴의 방사적 평균 에너지 스펙트럼을 검토한 결과 청색 잡음 특성을 나타내고 있었다. 그러나 하이라이트와 새도우 영역은 45°각도로 패턴이 너무 강하게 나타났다.
- 3) 시각적 특성을 이용한 BNS에 의한 이진 패턴은 가우시안 특성을 이용한 이진 패턴보다 부드러움을 알 수 있었다.
- 4) 하이라이트(그레이값 240 이상)와 새도우 영역(그레이값 15 이하)에서는 시각의 MTF를 기반한 BNS보다 가우시안 특성의 BNS가 우수하여, 두 종류의 BNS를 혼용함으로써 우수한 청색 잡음 특성을 가지는 이진 패턴의 생성이 가능하였다.
- 5) USM 처리를 통해 경계부의 블러를 개선할 수 있었다.

이상의 결과로 하이라이트와 새도우 영역을 제외하고는 가우시안 특성을 이용한 BNS보다 본 논문에서 제시한 시각특성 MTF를 기반한 BNS가 시각적으로 부드러운 이진 패턴을 생성하였다. 원 이미지를 USM 처리를 실시한 후 BNS에 의한 이진화 패턴의 에지부분은 오차 확산법보다 못하지만 인쇄분야의 고정세 인쇄를 위한 FM(Frequency Modulation)스크린 제작에 이용될 수 있음을 확인할 수 있었다.

參考文獻

1. MenYao, Kevin. Parker, "A comparison of the Blue Noise Mask and Error Diffusion", IS&T's 47th Annual Conference/ICPS, pp.491~493(1994).
2. H. Y. Park, K. R. Yoo, H. G. Ha, Y. D. Moon, S. C. Ahn, "Moire' Free Pseudo-Random Method in Digital Halftoning", J. of the Korean Printing society, Vol.15, No. 2, pp.91~106(1997).
3. J. Sullivan, L. Ray, R. Miller, "Design of Minimum Visual Modulation Halftone Pattern", IEEE TRANFER ON SYSTEMS,MAN AND CYBERNETICS, Vol.21, No1, pp.33~38(1991).
4. Theophano Mitsa, kevin J. Parker, " Digital halftoning technique using a blue noise mask", J. Opt. soc. Am. A/Vol.9, No.11, pp.1920~1929(1992).
5. H. Y. Park, E. H. Lee, Y. D. Moon, S. C. Ahn, "Blue Noise Mask Design Based On Human Visual Modulation Transfer Funtion", Conference, the Printing society, pp.1~4(1998).
6. Jung Jin Lee, Suk Chul Ahn, Yoichi Miyake, "Image Enhancement Processing of the Digital Color to use in the hard Copy" J. of the Korean Printing society, Vol.14, No.2, pp.9~15(1996).