

액정디스플레이를 위한 가변 주거리 기반의 오차 확산 기법

윤요섭[†], 박경미^{**}, 김영봉^{***}

요 약

고품질의 액정디스플레이를 개발하는데 있어서 제일 중요한 기술은 빛을 반사하는 망점의 균일한 분포를 갖는 도광판(BLU)을 만드는 것이다. 망점의 균일한 분포는 연속계조 영상을 이진영상으로 해프토닝하는 방법을 통해 만들고 있다. 여러 해프토닝 방법들 중에서 주거리 기반의 오차확산 기법이 균일한 망점의 분포를 보여주고 있다. 그러나 이 방법은 각 화소의 주거리 범위가 주위 화소의 주거리와 겹치거나 틈이 많이 벌어지는 문제가 발생하게 된다. 이에 본 논문에서는 주거리 기반의 오차 확산 방법을 개선한 가변적 주거리 기반의 오차 확산 방법을 제안한다. 해당 화소 및 주변 화소의 주거리를 활용한 가변적 주거리를 정의하며 주거리는 방향에 따라 다른 값을 가지게 된다. 이 가변적 주거리 알고리즘은 망점들 간의 간격에 대한 고른 분포를 얻을 수 있게 되었다.

Error-Diffusion Technique using Variable Principle Distances for LCD Monitor

Joseph Yoon[†], GyeongMi Park^{**}, Young-bong Kim^{***}

ABSTRACT

The key technology for developing high quality LCDs is about manufacturing BLUs with homogeneous dot distributions. Commonly, homogeneous dot distributions are obtained by the halftoning methods which convert a gray-scale image to a binary image. Among many halftoning algorithms, the error-diffusion technique based on the principle distance is known to show homogeneous dot distributions. However, this technique has a drawback; the extent of the principle distance at each pixel with respect to those of the neighboring pixels can be too small or big creating a gap or overlap. In this paper, we propose a new error diffusion algorithm based on the variable principle distance which improves the existing error diffusion technique based on the principle distance. The variable principle distance at a given pixel is calculated with gray-scale values of the pixel and its neighbors and thus the principle distance value is variable depending on the direction from that pixel. This variable principle distance technique helps BLUs obtain homogeneous dot distributions.

Key words: Error Diffusion(오차확산), Principle distance(주거리), Floyd-Steinberg algorithm (Floyd-Steinberg 알고리즘)

※ 교신저자(Corresponding Author): 김영봉, 주소: 부산 남구 대연3동 599-1(608-737), 전화: 051)629-6248, FAX: 051)629-6210, E-mail: ybkim@pknu.ac.kr
접수일: 2008년 6월 27일, 완료일: 2008년 12월 29일
[†] 준회원, 부경대학교 정보공학과 박사과정 수료
(E-mail: ricerich@gmail.com)

^{**} 준회원, 부경대학교 전자계산학과 박사과정 수료
(E-mail: miyall@pknu.ac.kr)

^{***} 정회원, 부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부 정교수
※ 이 논문은 2006학년도 부경대학교 기성회 학술연구비에 의하여 연구되었음(PK-2006-054)

1. 서 론

최근 대형 텔레비전뿐만 아니라 디지털 멀티미디어 기기(휴대폰, PDA, Smart Phone 등)의 핵심 디스플레이로 널리 사용되고 있는 것이 박막액정표시장치(TFT-LCD)이다. 이 액정표시장치 유닛은 자체적으로 발광을 하지 못하고 외부에서 제공하는 광원을 사용한다. 외부에서 빛을 제공하는 장치를 통틀어 도광판(BLU; Back Light Unit)이라고 부른다. 도광판에 새겨진 많은 원형 패턴들은 광원으로부터 방출된 빛을 액정표시장치의 전면부로 반사하는 역할을 하게 된다. 반사된 빛이 액정표시장치 전 영역에 걸쳐 균일한 빛의 분포를 갖도록 도광판에 새겨지는 패턴이 매우 중요하다. 즉, 빛의 분포를 균등하게 하기 위해서는 도광판에 적절한 패턴을 생성하여야 좋은 품질의 액정표시장치 패널을 만들 수 있다. 빛을 고르게 퍼뜨리는 패턴을 만들기 위해 빛이 패턴을 이루는 각 점에 고르게 도달할 수 있도록 적절히 점의 집합을 만들어야 한다. 특히, 수직으로 이루어진 망점의 패턴은 모니터의 성능을 떨어뜨리게 된다. 균등하게 분포된 망점의 집합을 만들기 위해 디더링(dithering) 방법이 많이 사용되고 있다.

디더링은 원색의 영상보다 표시 색상 또는 계조 단계가 적거나 제한된 영상 표시 장치나 출력 장치에 알맞도록 원 영상을 렌더링 하는 과정을 의미하며, 경우에 따라서는 디지털 헤프토닝, 칼라 줄이기로 불리기도 한다[1,2]. 이 기술은 초창기 색상이 제한된 영상표시장치나 출력장치 등의 하드웨어 특성에 맞게 영상을 처리하기 위한 기술로 비교적 많은 연구가 되어 왔으며 그러한 하드웨어 기술이 발달한 현재에도 많은 분야에서 이 기술이 적용되어 사용되고 있다. 예를 들어 현재 대부분의 가정에서 사용하고 있는 레이저 프린터나 잉크젯 프린터에서 영상을 인쇄할 때 여러 가지 디더링 방법을 선택 또는 기본 사양으로 하여 출력하며 특히 웹브라우저에서 구현할 수 있는 색상의 제한으로 원색의 영상을 웹에서 구현 가능한 색상으로 줄여주는 디더링 과정이 필요하다. 또 이동통신의 발달로 보급이 확대되고 있는 개인용 휴대폰이나 휴대단말장치(PDA) 등에 영상을 표시하기 위해 디더링이 사용되기도 한다[3-8].

지금까지 개발된 다양한 디더링 방법들 중에서 오차 확산 방법이 가장 좋고 널리 사용되고 있다[2]. 이

방법은 영상의 화소 값을 이진화한 뒤에 발생한 오차 값을 다음 화소와 다음 줄의 인접 화소들에 분산시켜 전체적인 오류를 최소화 하려는 방식이다. 처음으로 제시된 오차확산 알고리즘이 Floyd-Steinberg 알고리즘이다[3-5]. 오차확산 디더링은 오차에 대한 고역 필터링 과정을 통해 저주파 성분에 민감한 인간 시각에 적합한 이진 영상을 제공한다[1,2]. 그러나 출력되는 영상이 방향 강조 현상이 발생할 수 있으며 이러한 방향성을 제거하기 위하여 약간의 잡음을 영상에 추가하거나 섭동(perturbation)을 추가한다.

오차확산 방법은 오차를 줄이는 좋은 방법으로 알려져 있으나 밝은 계조와 어두운 계조에서 균일한 분포를 생성하는데 한계를 가지고 있다. 이를 극복하기 위해 제시된 알고리즘들이 이진 문턱값 전파방법, 로드맵(roadmap)방법, 주기함수를 이용한 이진 문턱값 변조 방법, 영상에 있는 에지 같은 특징을 보존하는 방법, 그리고 칼라 영상을 디더링 하는 방법 등의 최적화 과정을 활용한다. 이진 문턱값 전파 방법은 기존의 방법이 이진화된 후의 오차값을 해당 화소 값에 전파하였으나 여기서는 문턱값에 전파하는 방법을 사용하였다. 그러나 이 방법은 주위 화소의 분포를 정확히 반영하지 못하는 단점이 있다[9,10].

로드맵 방법은 모든 점이 균일한 분포를 보이도록 최대 16×16 의 화소에 대한 이진 결과값을 저장하고, 그에 따른 망점 분포를 조절하는 방법이다[11]. 이 방법은 중간 계조에 대해서는 기존의 오차 확산 방법을 사용하는 대신, 좋지 않은 결과를 보여주는 밝은 계조와 어두운 계조에 대해서 소수화소의 유무를 검색한다.

주기 함수를 이용한 방법은 소수의 화소들 간의 최소 화소거리를 계산하여 주거리로 정의하고, 문턱값을 변화시키는 방법을 사용하였다[12]. 이 방법은 소수의 화소들의 위치를 정확히 고려하지 않기 때문에 화소의 분포가 눈에 거슬리는 경우가 발생한다.

영상에 나타난 에지 등의 특징을 잘 살릴 수 있도록 헤프토닝을 하는 방법에 대한 연구가 이루어졌다. 이 방법은 영상에 나타난 에지의 특징을 헤프토닝 한 뒤에도 잘 유지할 수 있도록 에지에 가중치를 많이 부여하는 디더링 방법이다.

칼라 영상에 오차 확산 기법을 적용하는 방법에

대한 연구들도 최근에 이루어지고 있다[13,14]. Monga는 칼라 영상에 나타난 톤을 고려하여 오차를 확산 시키는 방법을 제시하였다[15]. 톤의 값을 고려하여 각 망점들이 놓일 위치를 결정할 때 사용하는 문턱치의 값에 변화를 주는 방법을 사용하였다.

최근에 개발된 주거리를 이용하여 망점의 균일한 분포를 만드는 방법은 다른 방법들에 비해 망점의 분포가 상대적으로 균일한 것으로 나타났다[4]. 그러나 이 방법은 각 화소의 계조 값만을 사용하기 때문에 기존의 다른 이웃 화소가 가지는 주거리와 많은 차이를 보이는 경우가 발생하여 적합한 주거리에 대한 혼돈이 생기게 된다. 또한 액정표시장치 등은 망점이 위에서 비치는 빛을 전면으로 반사하도록 만들어져야 하기 때문에 가능한 망점들이 서로 빛을 가리지 않도록 배치가 이루어져야 한다.

그리하여 본 연구에서는 주거리에 기초한 에러 확산 방법을 개선한 새로운 주거리 계산 방법을 제시하고자 한다. 이를 위해 각 점에서의 주거리는 이웃 화소의 계조값과 현 화소의 계조값을 함께 고려하여 각 방향별 주거리를 계산한다. 즉, 제시된 주거리는 타원의 형태를 띠게 된다. 이 방법을 사용하여 망점들이 특정 패턴을 가지거나 망점들이 모여 있는 현상을 없앤 균일한 분포를 갖도록 하였다. 또한 각 만들어진 망점들은 액정표시장치의 특징에 맞도록 각 망점들이 조명으로부터 일직선이 아닌 조금씩 방향이 어긋나도록 배치하게 된다.

2장에서는 이전에 개발된 오차확산을 통한 디터링 방법에 대해 설명하고, 기존의 주거리를 계산하는 방법을 자세히 알아본다. 3장에서는 본 논문에서 제시한 가변적 주거리를 정의하고, 가변적 주거리를 적용한 오차확산 기법을 단계적으로 살펴본다. 기존의 방법과 본 논문에서 제시한 방법들에 대한 실험 결과 및 평가를 4장에서 기술하며, 5장에서 제안 방법에 대한 결론을 도출한다.

2. 오차확산 방법과 주거리

일반적으로 가장 널리 사용되는 오차확산 방법은 다음과 같은 전체적인 과정을 따라 진행된다. 입력인 연속계조 영상의 모든 화소를 좌상귀에서부터 우하귀에 이르는 순서로 차례로 운행해 가면서 다음의 과정을 수행하게 된다.

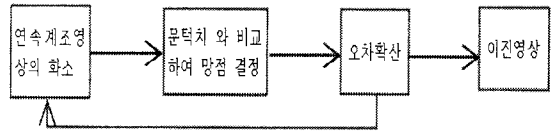


그림 1. 일반적인 오차확산 방법의 흐름도

전형적인 Floyd-Steinberg 알고리즘은 현재 화소의 오차 값 ($Error = I(x,y) - I_d(x,y)$)을 이웃한 화소들에 확산하는 방법으로 다음과 같은 필터를 사용하였다. 즉 현재의 위치를 X로 표시하였을 때 바로 오른쪽에 위치한 화소와 아래쪽 방향으로 이웃한 3개의 화소에 오차 값을 그림 2에서 주어진 비율대로 확산시키는 알고리즘이다. 이 방법을 통해 기존의 디터링 방법에서 제기되었던 많은 문제를 해결할 수 있었다.

오래전에 개발된 Floyd-Steinberg 알고리즘을 개선하기 위해 많은 연구들이 이루어져 왔으며, 그 방법들은 일반적으로 각 방향으로 오류를 전파하는 비율 또는 필터 값 그리고 오류의 영향을 받는 인접영역의 크기에 대한 변경을 통해 Burki 필터, Stucki 필터 등과 같은 다양한 필터를 만들어 냈다. 그러나 오류전파의 수평, 수직 방향의 강조성이 크고, 넓게 퍼진 밝은 영역에서는 바람직하지 않는 패턴이 발생하는 문제가 계속적으로 발생하고 있다.

그러나 기존 방법들은 망점의 균등한 분포를 제공하지 못하고 있다. 액정표시장치 패널을 제작하기 위해 사용하는 영상은 주로 256계조의 영상을 많이 활용한다. 이 영상을 몇 배의 크기로 확대하고, 세밀한 디터링을 통해 액정표시장치 패널의 도광판 부분을 제작하게 된다. 이 도광판을 통한 결과에서 각 망점들로 도달하는 빛이 막히지 않으려면 망점들이 수직으로 일직선이 아닌 약간씩 어긋난 형태로 배치가 되어야 한다. 이를 위해 본 연구에서는 망점의 균등한 분포를 이루면서 일직선의 형태가 되지 않도록 하기 위해 다음과 같은 과정을 통해 디터링 하는 방법을 제시하고자 한다.

이와 같이 이진화된 망점들이 고르게 분포하도록

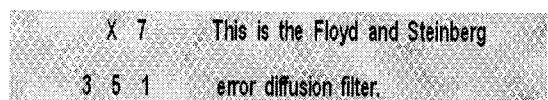


그림 2. Floyd-Steinberg's 오류 확산 필터

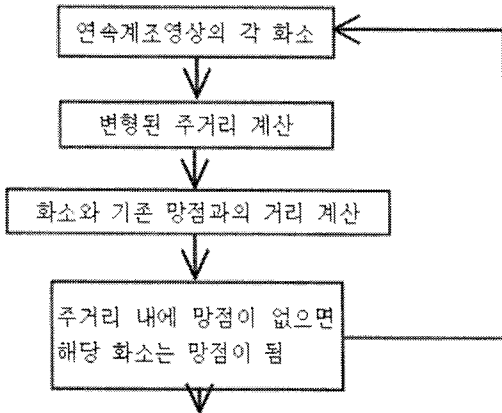


그림 3. 본 시스템의 전체적인 흐름도

하기 위해 각 망점들 간의 거리를 이용하여 균등 분포를 이루도록 시도하였다. 균등 분포를 위해 각 점들이 계조 값에 따라 적당한 거리를 두고 분포하여야 한다. 또한 특정한 규칙을 갖는 패턴이 나타나지 않아야 좋은 패턴이라고 할 수 있다. 이렇게 각 점들 사이의 거리를 계조값에 따라 조절하기 위해 여러 방향으로 존재하는 점들과의 거리 개념을 도입하여야 한다. 예를 들어 해당 화소 값이 128이면 전체적인 밝기에서 약 $128/255 \approx 1/2$ 에 해당한다. 즉, 이 경우 하나의 계조값을 나타내기 위해 지정된 범위의 모든 점들 중 1/2이 망점으로 선택되어야 가장 합리적이라고 할 수 있다. 따라서 이웃한 점들이 대각선 방향으로 존재해야하므로 망점 간의 간격은 $\sqrt{2}$ 가 되어야 적합하다. 이 개념을 주거리라 정의하였다. 정의된 주거리를 모든 계조값에 대해 사용하면 0부터 ∞ 까지의 다양한 값이 나오게 되는데, 계산의 편리를 위해 주거리를 이루는 화소의 대상을 128을 기준으로 바꾸어 주면 주거리가 $\frac{1}{\sqrt{2}} \sim 16$ 까지로 제한된다. 즉, 화소의 계조값이 128보다 크면 망점간의 거리를, 128보다 작으면 비망점간의 거리를 주거리로 사용한다. 이와 같은 방법으로 주거리를 정의하면 다음과 같은 식(1)로 나타낼 수 있다.

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\frac{128 - |x(m,n) - 128|}{255}}} \quad (1)$$

식(1)에 정의된 주거리 개념에 따라 그림으로 나타낸 것이 그림 4에 나타나 있다. 주거리는 128 이상으로 망점간의 거리를 나타낸다.

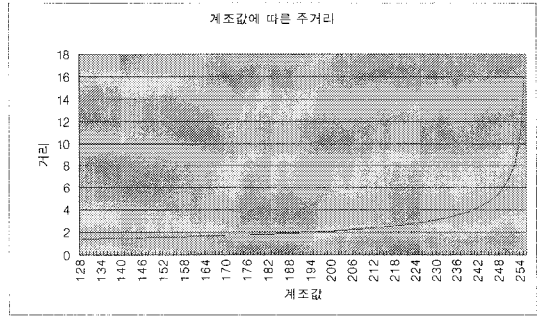


그림 4. 계조값에 따른 이상적인 주거리

3. 가변적 주거리를 이용한 오차 확산 방법

3.1 가변적 주 거리에 대한 정의

기존의 방법에서는 한 화소에 대한 주거리를 방향에 무관하게 사용하였다. 그러나 계조가 방향에 따라 차이가 클 경우에는 각 화소에서의 주거리가 이웃 화소끼리 많은 차이가 발생해 어는 것이 올바른 주거리인지 혼돈을 가져오게 된다. 즉, 그림 5에서와 같이 ㉠ 화소에서의 주거리를 계산할 때 망점 ㉡는 주거리 밖에 있기 때문에 ㉠이 망점이 될 수 있지만 ㉢ 망점의 위치에서 봤을 때는 ㉠이 주거리 범위 내에 있어서 망점이 되는 것이 불합리하다.

이와 같이 주거리가 특정 화소와 주변 화소들의 주거리가 달라서 어는 것이 더 정확한 망점간의 거리가 될지 알 수가 없는 단점이 발생하게 된다. 따라서 본 연구에서는 기존의 연구에서 사용하였던 획일적인 주거리가 아니라 화소의 각 방향에 따른 주거리를 측정하는 방법을 사용하고자 한다. 그리하여 본 논문에서는 여러 방향마다 계조값의 차이를 감안한 새로

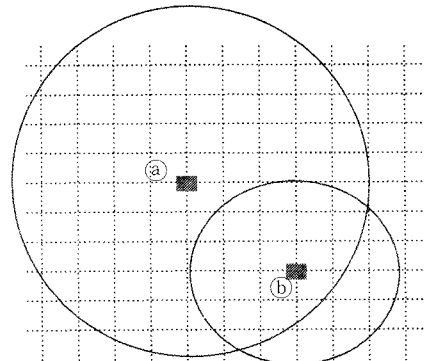


그림 5. 주거리의 혼돈

D0	T	D1
B	X	N
D3	L	D4

그림 6. 화소 X의 이웃 화소들

운 주거리 계산 방법을 제시하고자 한다.

주어진 화소 X에 대한 주거리 계산은 다음과 같이 이웃한 화소들의 값을 고려하여 계산된다. 그러나 그림 6에서 보듯이 8 방향의 화소들 중 오차확산 방법으로 진행하면 D0, T, D1, B 위치의 값들은 이미 오차 확산에 의해 전파되었기 때문에 저장된 값들이 없다. 따라서 본 연구에서는 아직 값들이 남아 있는 N, D3, L, D4의 값을 사용하여 주거리를 계산한다. 특히, 모든 방향을 고려하는 것이 타당하나 본 연구에서는 타원을 이루기 위해 필요한 N과 L 방향만을 고려하여 가변적인 주거리를 계산 하였다. 즉, 기존의 방법에서는 X의 계조 값만을 사용하였으나 본 연구에서는 식 2에 보여준 바와 같이 X와 L의 계조값의 평균을 사용하여 상하 방향으로의 주거리를 계산 하였다.

$$\delta_1 = \frac{1}{\sqrt{\frac{\frac{X+L}{2} - 128}{255}}} \quad (2)$$

같은 방법으로 좌우 방향으로의 주거리는 N의 계조값과 X의 계조값의 평균을 사용하여 계산하였다.

$$\delta_2 = \frac{1}{\sqrt{\frac{\frac{X+N}{2} - 128}{255}}} \quad (3)$$

이렇게 구해진 δ_1 와 δ_2 를 고려하여 주거리를 정의하는 타원을 만들게 된다. 각 방향에 따른 주거리는 타원의 중심에서 부터의 거리가 된다. 이렇게 상하와 좌우에 다른 주거리를 사용함으로써 각 화소의 주거리가 주변 화소의 주거리와 일치 하게 되어 고른 분포를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

타원에서는 중심에서 각 타원상의 점까지의 거리가 다르기 때문에 계산이 매우 복잡해진다. 따라서 계산의 편리를 위해 우리는 점까지의 거리를 타원까지의 거리의 비를 이용하여 단위 주거리 개념으로 정의하여 사용하였다. 즉, 임의의 망점까지의 거리가

d_1 이고 망점과 타원의 중심을 연결한 선분과 타원의 교점까지의 거리를 d_2 라고 할 때 d_1/d_2 값을 화소의 중심과 망점과의 단위 주거리로 사용하였다. 그리하여 그림 7에서 보는 바와 같이 타원의 상위 쪽에 위치한 망점들과의 거리들을 비교하여 최소거리가 1보다 크다면 해당 화소는 새로운 망점이 되고, 그렇지 않다면 해당 화소는 망점이 아닌 점으로 간주된다.

$$f(x) = \frac{d_1}{d_2} \quad (4)$$

임의의 점 $x(m,n)$ 이 망점 인지 아닌지를 결정하기 위해서 해당 점으로부터 각 방향으로 수직 4에 주어진 방법으로 단위 주거리로 바꾸게 된다. 계산된 단위 주거리가 그림 7(a)에서 보는 바와 같이 각 방향별로 존재하는 망점들의 단위 주거리보다 작다면 해당 점은 망점으로 판정하고, 그림 7(b)와 같이 그렇지 않은 경우에는 해당 점은 균일한 분포를 만족하지 못하므로 망점이 될 수 없다.

3.2 가변적 주거리를 적용한 오차확산 방법

주거리를 이용하여 해당 화소 $x(m,n)$ 을 배경점 또는 망점으로 만들기 위해서는 모든 화소에 대해 최소 거리를 계산할 필요가 있다. 식(1)에 의하면 계조 값이 0이 아닌 경우에 주거리는 최대 16이 되므로 최소 거리를 계산하기 위해서는 해당 화소로부터 16화소의 범위 안에 있는 모든 화소들에 대한 정보를 가지고 있어야 한다. 따라서 해당 화소 $x(m,n)$ 이 위치한 스캔라인으로부터 위로 16라인에 대한 결과 값을 항상 기록하여야 하는 불편이 있다. 그러나 거리에 대한 계산은 범위내의 모든 망점이 아니라 현재의 위치에서 가장 가까운 망점에 대해서만 수행하면 되므로 각 열에서는 가장 최근에 발생한 망점만이 필요하게 된다. 그리하여 위쪽 방향으로 가장 가까이 있는 망점에 대한 위치를 표시해주면 된다. 즉, 현재의 스캔

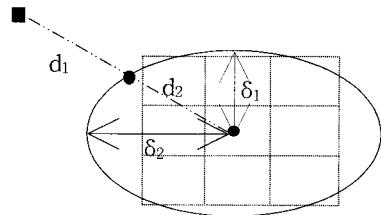


그림 7. 방향에 따른 주거리

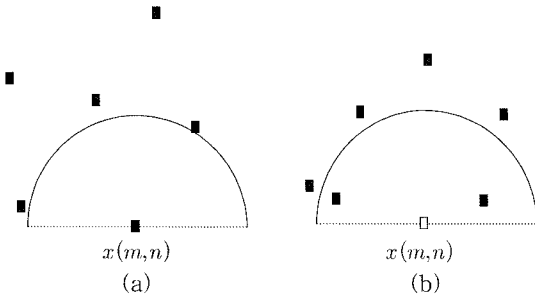


그림 8. 각화소의 주거리와 주변 망점들의 분포

라인으로부터 가장 가까이 있는 망점이 위로 몇 번째 줄에 존재하는가에 대한 정보만 필요하게 된다.

위 그림 8(a)는 현재 진행 중인 화소 $x(m,n)$ 으로부터 주위의 망점의 분포 상황을 나타내고 있다. 이 그림에서 화소 $x(m,n)$ 에 대해 각 열의 관계를 보면 가장 가까이 있는 망점 점은 모든 열에서 가장 아래쪽에 존재하는 망점라는 것을 알 수가 있다. 즉, 각 열에서 맨 나중에 결정된 망점이 화소 $x(m,n)$ 에 가장 가까운 망점이 된다. 이를 나타낸 그림 8(b)에 근거하여 $x(m,n)$ 으로 부터의 거리를 구하면 표 1과 같다.

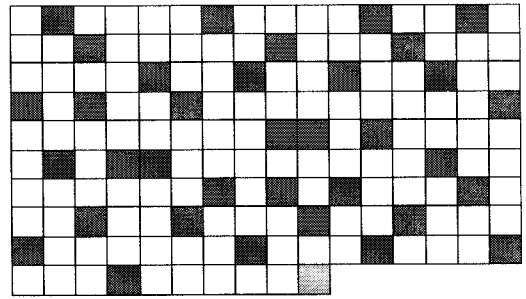
표 1에서 주거리는 위쪽 화소와 왼쪽 화소의 계조 값을 고려하여 계산하여야 한다. 계산 방법은 앞장에서 설명했듯이 그림 5에서 주어진 화소 $x(m,n)$ 의 계조 값이 125이고, B의 계조 값은 115, T의 계조 값이 81 이라면 수식 2 와 수식 3에 의해 주거리가 위쪽은 3.2, 왼쪽은 5.6이 된다. 따라서 주거리에 의한 타원 방정식은 식 5와 같이 된다.

$$\frac{(x-m)^2}{5.6^2} + \frac{(y-n)^2}{3.2^2} = 1 \tag{5}$$

표 1. $x(m,n)$ 으로부터의 거리 계산

x-m	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2
n-y	0	4	2	0	4	2	3	1
거리	9	8.94	7.28	6	6.40	4.47	4.24	2.24
주거리	5.6	4.21	5.01	5.6	3.25	4.21	2.78	4.21
거리비	1.6	2.12	1.45	1.07	1.97	1.05	1.56	0.53

x-m	-1	0	1	2	3	4	5	6
n-y	3	2	3	1	2	4	3	1
거리	3.16	2	3.16	2.24	3.61	5.65	5.83	6.08
주거리	1.05	5.6	1.04	4.21	3.64	2.33	3.86	4.84
거리비	3.0	0.36	3.0	0.53	0.99	2.42	1.51	1.26



$x(m,n)$
(a)

0	4	2	0	4	2	3	1	3	2	3	1	2	4	3	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

각 열당 근거리 망점의 수직거리
(b)

그림 9. 망점의 분포와 최단거리에 있는 망점들의 위치

그림 9에서 왼쪽으로 4번째인 망점에 대해 $x(m,n)$ 에 대한 상대적인 위치는 (-4,2)가 된다. 이 점과 $x(m,n)$ 사이의 유클리디안 거리는 4.47이다. 따라서 타원의 중심점 $x(m,n)$ 과 상대적인 위치 (-4,2)가 이루는 직선의 방정식은

$$2(x+4)+4(y-2)=0 \tag{6}$$

가 된다. 여기서 직선의 방정식과 타원이 만나는 교점을 구하면

$$x = -2y \tag{7}$$

$$y = \pm \sqrt{\frac{5.6^2 \times 3.2^2}{4 \times 3.2^2 + 5.6^2}} = 2.107 \tag{8}$$

$$x = -2 \times y = -4.214 \tag{9}$$

가 된다. 따라서 이점의 유클리디안(Euclidean) 거리 d 를 계산하면

$$d = \sqrt{2.107^2 + (-4.214)^2} = 4.71 \tag{10}$$

이 된다. 주거리를 고려한 새로운 길이 d' 은 거리 d 를 주거리로 나눈 값이므로

$$d' = 4.47/4.21 = 1.05 \tag{11}$$

가 된다. 이와 같은 방식으로 그림 8(b)에 나타난 $x(m,n)$ 에 가까이 있는 모든 망점 점에 대해 거리비를 구한다.

계산된 결과에서 거리비가 1이면 해당 점 $x(m,n)$

이 주거리 상에 있으므로 적합한 경계점을 의미한다. 즉, 주변의 계조값을 고려한 균등 분포를 이루는 거리에 존재한다는 의미가 된다. 만약 최소거리가 1인 것이 여러 방향으로 고르게 퍼져있다면 가장 최적의 망점 위치가 된다. 따라서 본 연구에서는 이진화에 따른 약간의 오차를 감안하여 최소거리가 1.05 이하가 되면 해당 화소 $x(m,n)$ 을 망점으로 선정하고, 최소거리가 1.05보다 크면 해당 점은 망점이 아닌 것으로 한다. 1.05의 값은 여러 번의 실험을 통해 가장 결과가 잘 나오는 값으로 선택된 것입니다.

$$x(m,n) = \begin{cases} 255 & \text{if 거리비} < 1.05 \\ 0 & \text{o.w.} \end{cases} \quad (12)$$

4. 실험결과

제안한 방법의 성능을 분석하기 위해서 기존의 균일한 망점 분포를 얻기 위한 방법들과 비교 실험을 하였다. 비교대상으로는 가장 널리 사용되고 있는 에러확산 방법들 중에서 가장 먼저 개발된 Floyd-Steinberg 알고리즘과 주거리를 이용한 방법인 주거리 기반 오차확산 방법들에 대해서 결과를 비교하고

자 한다. 비교에 사용된 기본 영상은 그림 10에서 보여준 영상과 같이 액정디스플레이를 위한 망점의 분포를 정의한 함수를 따라 서서히 변하는 데이터로 구성되어 있다. 영상을 보면 위쪽은 계조 값이 작고 아래쪽은 계조 값이 큼을 알 수 있다. 즉, 위쪽은 망점의 개수가 적어도 되지만 아래쪽은 망점이 조밀하게 분포하여야 함을 나타낸다.

그림 10의 연속계조영상에 대해 Floyd-Steinberg가 제안한 알고리즘을 적용하여 얻은 결과가 그림 11(a)에 있는 영상이다. 이 영상에서는 작은 세로와 가로로 된 무늬가 보이게 된다. 그림 11(a)에 있는 노란색 사각형을 확대한 것이 그림 11(b)의 영상이고, 그림 11(b)의 영상에서 사각형 부분을 확대한 것이 그림 11(c)이다. 그림 11(c)에 있는 망점의 분포를 보면 가까이 붙어 있는 것들과 멀리 떨어져 있는 등 간격이 고르지 못함을 확인할 수 있다.

그림 12는 기존의 방법으로 구현한 것으로 주거리 개념을 도입하여 망점의 균등한 분포를 나타내기 위해 사용한 것으로 그림 11의 결과보다는 비교적 고르게 분포함을 알 수 있다. 그림 12(c)의 결과에서 보듯이 망점이 비교적 고르게 분포를 한다. 그러나 간혹 거리가 좁은 망점들도 보여지고 있다.

같은 데이터에 대해 본 논문에서 제시한 가변적 주거리를 사용한 디터링 기법을 적용한 결과 Floyd-Steinberg 알고리즘보다 특정 무늬가 나타나는 현상이 많이 줄어들었다. 또한 그림 13(c)를 보더라도 각 망점들 간의 거리는 기존의 방법들의 결과인 그림 11(c)와 그림 12(c)에서 보여준 망점들 간의 거리보다 더 균등함을 눈으로 확인할 수 있습니다. 특히, 그림 12(c)도 거리가 매우 균등한 편이지만 몇몇의 곳에서 망점간의 거리가 매우 가까움을 확인할 수 있습니다. 이런 현상을 본 논문에서는 가변적 주

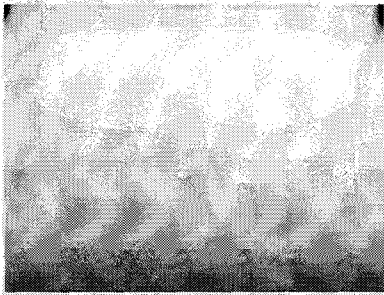


그림 10. 비교로 사용할 데이터

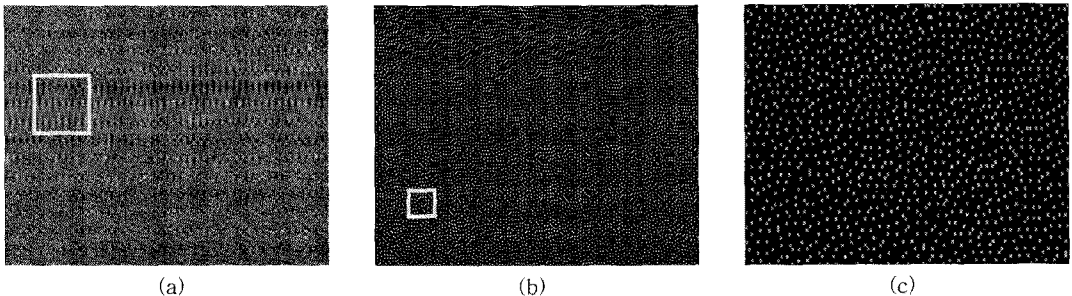


그림 11. Floyd-Steinberg 알고리즘 에 의한 오차확산 결과와 확대영상

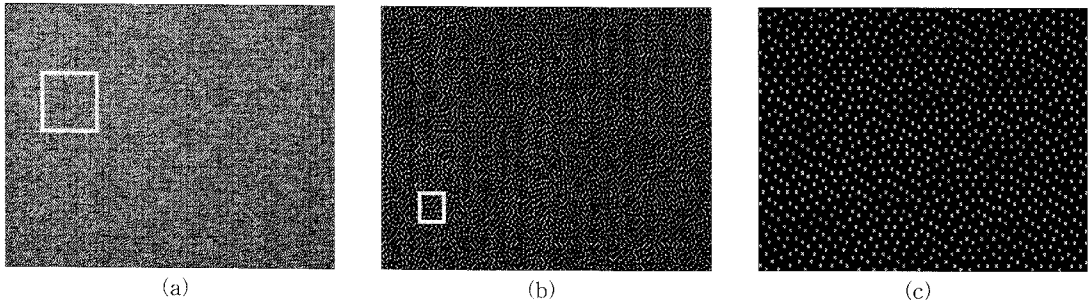


그림 12. 주거리 기반 오차확산 결과와 확대 영상

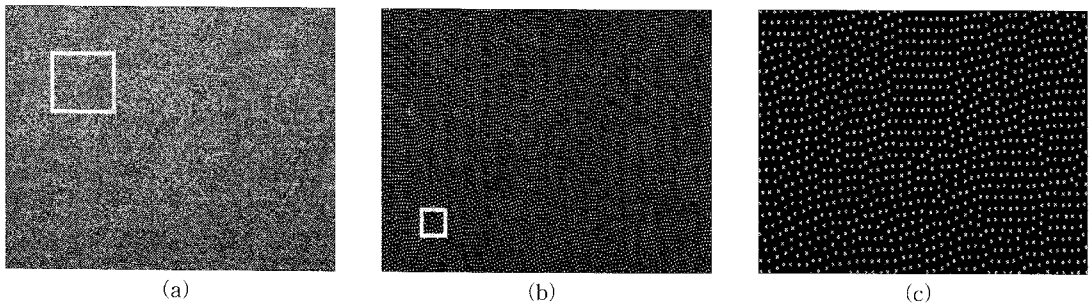


그림 13. 본 논문에서 제안한 가변적 주거리를 이용한 오차확산 결과와 확대영상

거리를 활용함으로써 감쇄 시킬 수 있었다. 또한 LCD 모니터에서 원하는 특정한 수직 패턴 등이 비교적 나타나지 않음을 확인할 수 있었다.

따라서 기존의 가장 대표적인 방법과 주거리에 바탕을 둔 방법과 비교한 결과 본 연구에서 제안한 방법이 좀 더 고른 분포를 보여줌을 결과 영상을 통해 확인할 수 있었다.

위 결과 영상들 간의 비교를 위해 화소값이 77인 약 90여개의 점들만을 선택하여 근거리 화소까지의 거리를 측정하여 도표로 나타내었다. 화소값이 77이면 식 1에 의해 주거리가 1.8257이 된다. 그러나 실제 예제에서는 그림 14에서 보듯이 기존의 방법들이 제안 방법보다는 평균 거리가 차이가 크게 나타나거나 거리에 대한 진폭이 조금 더 큰 것으로 나타났다. 따라서 기존의 방법 보다는 제안 방법이 주 거리에 더 근접한 결과를 제공하는 것을 확인할 수 있었다.

또한 그림 13(c)에서 본 결과가 기존의 방법보다 더 좋은 결과가 나오게 된 것은 주거리로 인한 혼돈을 줄인 결과로 판단된다. 본 논문에서 제시한 변형 주거리 방법은 그림 15에서 보듯이 망점 ①에서의 주거리가 망점 ②를 포함하는 관계를 가지고 있어

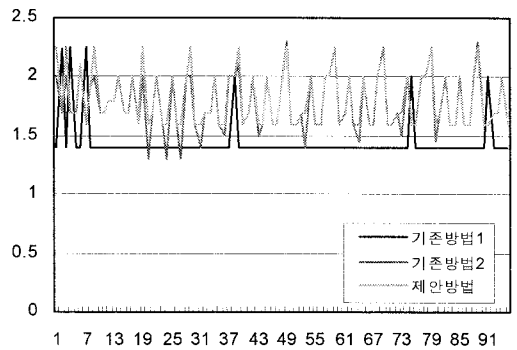


그림 14. 근거리 망점까지의 거리를 측정된 데이터

주거리 기준으로 부적합한 것이다. 그러나 망점 ②를 기준으로 하면 적합한 것으로 판단되어 혼란을 가중 시킬 수 있다. 만일 ① 화소를 기준으로 한다면 ②화소는 망점이 될 수가 없다. 그러나 본 논문에서 제시한 방법은 가변 주거리를 사용함으로써 그림 15(b)에서 보듯이 망점 ①과 망점 ②에서 모두 주거리 조건을 만족하기 때문에 혼돈의 상황은 발생하지 않기 때문에 더 적합한 것으로 판단되고, 실험 결과인 그림 13(c)에서도 좋은 결과를 보여주고 있다.

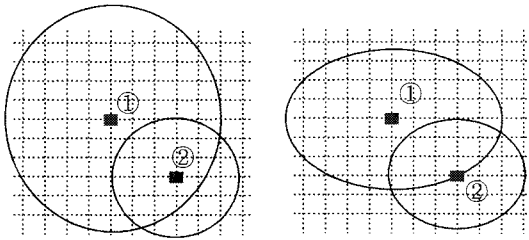


그림 15. 기존 방법과 제안 방법의 망점에서의 주거리 비교

5. 결 론

본 연구에서는 액정표시장치 모니터에 필요한 도광판의 디터링 영상을 생성하기 위해 이루어 졌다. 기존의 디터링 방법들은 망점의 분포가 경우에 따라서 좋은 분포를 보이기도 하지만 망점의 분포가 특정한 무늬를 띠거나 망점들이 몰려 있는 최악의 경우도 발생하고 있다. 주거리를 이용한 디터링 방법은 이를 적절히 분포하도록 해 주는 역할을 하였다.

이에 본 연구에서는 각각의 계조 값이 방향에 따라 차이가 다르다는 사실에 기초하여 기존의 방법을 개선한 가변적 주거리를 제시하였다. 모든 방향으로의 주거리를 계산하는 것 보다는 윗 방향과 옆 방향에서의 주거리를 이용하여 타원체로 주거리의 변화를 표시하는 것이 적절하기 때문에 두 방향에 대한 주거리를 계산하여 타원 형태의 가변적 주거리 개념을 도입하였다. 또한 타원체의 거리 개념을 사용하는 것이 매우 불편하기 때문에 임의의 점에 대한 거리를 타원체의 주거리로 나눈 값을 단위 주거리로 사용하여 사용의 편리성을 확보하였다. 실험을 통해 우리는 제시한 방법이 비교적 고른 망점의 분포를 보임을 알 수 있었다. 또한 기존의 주거리 방법에서 보여주었던 혼란스런 상황을 해결한 결과를 보여주고 있다. 앞으로의 연구로는 주거리를 계산하는데 방향에다 면적을 가미한 방법을 시도하면 더 좋은 결과를 얻을 것으로 기대한다.

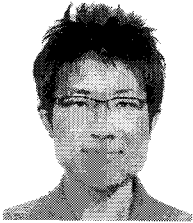
참 고 문 헌

[1] A. Ulichney, *Digital Halftoning Techniques*, McGraw-Hill, New York, 1987.
 [2] R. Eschbach, Ed. *Recent Progress in Digital Halftoning*, IS&T, 1994.
 [3] 진영근, "단색 영상장치를 위한 개선된 Floyd-

Steinberg 디터링 기법 연구," *대한전자공학회 추계종합학술대회*, 23권, 2호, pp. 231-234, 2000.
 [4] 강기민, 김춘우, "주거리 기반의 오차확산 방법," *대한전자공학회 논문지*, 38권, 1호, pp. 1-10, 2001.
 [5] R. Floyd and L. Steinberg, "An adaptive algorithm for spatial gray scale," *Proc. Soc. Inf. Disp.*, Vol.17, No.2, pp. 75-77, 1976.
 [6] P. W. Wong, "Adaptive error diffusion and its application in multi-resolution rendering," *IEEE Trans. Image Process.* Vol.5, No.7, pp. 1184-1196, 1996.
 [7] Z. Fan, "Dot-to-dot error diffusion," *J. Electron. Imaging*, Vol.2, No.1, pp. 62-66, 1993.
 [8] R. Eschbach, "Pixel-based error diffusion algorithm for producing clustered halftone dots," *J. Electron. Imaging*, Vol.3, No.2, pp. 198-202, 1994.
 [9] R. Eschbach, "Error diffusion algorithm with homogeneous response in highlight and shadow areas," *J. of Electronic Imaging*, Vol.6, No.3, pp. 348-356, 1997.
 [10] D. U. Hong and C. W. Kim, "A serpentine error diffusion kernel with threshold modulation for homogeneous dot," *PPIC/JH'98*, pp. 363-366. 1998.
 [11] G. Marcu, "An error diffusion algorithm with output position constraints for homogeneous highlight and shadow dot distribution," *SPIE*, Vol.3300, pp. 314-352, 1998.
 [12] 강기민, 김춘우, "균일한 도트 분포를 위한 문턱 값 변조 오차확산 방법," *대한전자공학회 논문지*, 제 37권 SP편, 4호, pp. 279-288, 2000.
 [13] 광내정, 권동진, 김영길, 안재형, "Edge-Enhanced Error Diffusion halftoning using local mean and spatial activity," *정보처리학회논문지* 제 13-B권, 2호, pp. 77-82, 2006.
 [14] V. Monga, N. Damera-Venkata, and B. L. Evans, "An Input-Level dependent approach to color error diffusion," *Proc. SPIE Color Imaging: Processing, Hardcopy and Appli-*

cations IX, Vol.5293, pp. 333-343, 2004,

- [15] P. Li and J. P. Allebach, "Tone dependent error diffusion," *IEEE Trans. On Image Processing*, Vol.13, No.2, pp. 201-215. 2004.



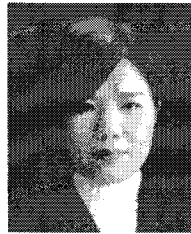
윤 요 섭

1999년 3월 ~ 2003년 2월 부경대학교 전자계산학과(이학사)

2003년 3월 ~ 2005년 2월 부경대학교 전자계산학과(공학석사)

2005년 3월 ~ 현재 부경대학교 정보공학과 박사과정 수료

관심분야 : 컴퓨터그래픽스, 3D애니메이션, 영상처리



박 경 미

1998년 3월 ~ 2000년 2월 한국방송통신대학교 컴퓨터학과 (공학사)

2001년 3월 ~ 2003년 8월 부경대학교 정보전산학과 (공학석사)

2004년 3월 ~ 현재 부경대학교 전자계산학과 박사과정 수료

관심분야 : 컴퓨터그래픽스, 3D 애니메이션, 영상처리



김 영 봉

1987년 서울대학교 계산통계학과(이학사)

1989년 한국과학기술원 전산학과(공학석사)

1994년 한국과학기술원 전산학과(공학박사)

1994년 ~ 1995년 삼성전자 정보기술연구소 선임연구원

1995년 ~ 현재 부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부 정교수

관심분야 : 컴퓨터 그래픽스, 3D 컴퓨터 시뮬레이션