

논문 2004-41SP-3-12

경계 영역에서의 색번짐 현상을 줄이기 위한 향상된 벡터 오차 확산법

(Improved Vector Error Diffusion for Reduction of Smear Artifact in the Boundary Regions)

이 순 창*, 조 양 호*, 김 윤 태*, 이 철 희**, 하 영 호*

(Soon-Chang Lee, Yang-Ho Cho, Yun-Tae Kim, Cheol-Hee Lee, and Yeong-Ho Ha)

요 약

본 논문에서는 경계 영역에서의 색번짐 현상을 줄이기 위한 벡터 오차 확산법을 제안한다. 이러한 결점은 양자화 과정에서 생기는 큰 누적된 양자화 오차의 확산으로 인해서 발생하게 되며, 특히 색이 변하게 되는 영상의 경계 영역에서 특정 칼라띠를 형성하게 된다. 따라서 이러한 결점을 줄이기 위해서 제안한 벡터 오차 확산 방법은 오차를 확산 받은 벡터와 8개의 기준 색과의 벡터 크기 및 벡터 각을 비교함으로써, 큰 양자화 오차를 전체 중간조 처리 과정에서 제외 한다. 먼저 오차가 보정된 벡터의 크기가 8개의 기준색보다 클 경우 양자화 오차를 확산 시키지 않게 되며, 벡터 각이 클 경우에도 양자화 오차를 확산 시키지 않는다. 그러므로 제안한 방법은 각 채널의 상관관계를 고려한 벡터 칼라 공간상에서 중간조 처리를 함으로써 시각적으로 색이 향상된 결과를 얻을 수 있었고, 경계 부분에서의 색번짐 현상도 줄일 수 있었다.

Abstract

This paper proposes a vector error diffusion method for smear artifact reduction in the boundary region. This artifact mainly results from a large accumulation of quantization errors. In particular, color bands with a smear artifact, the width of a few pixels appear along the edges. Accordingly, to reduce this artifact, the proposed halftoning process excludes the large accumulated quantization error by comparing the vector norms and vector angles between the error-corrected vector and eight primary color patches. When the vector norm of the error corrected vector is larger than those of eight primary color patches, the quantization error vector is excluded from the quantization error distribution process. In addition, the quantization error is also excluded when the angle between eight primary color patches and error-corrected vector is large. As a result, the proposed method enables a visually pleasing halftone pattern to be generated by all three color separations into account in a device-independent color space and reduces smear artifact in the boundary regions.

Keywords: 중간조 처리 기법, 벡터 오차 확산법, 벡터 크기, 벡터 각, 색 번짐 현상

I. 서 론

연속적인 디지털 영상을 프린터로 출력하기 위해서는, 일반적인 잉크젯 프린터의 경우, 이진 영상(binary image)으로 표현하여 나타낸다. 중간조(halftoning) 처

리된 영상은 흑색과 백색으로만 표현되지만 인간 시각 특성으로 인해 중간조 처리된 영상이 마치 저역 통과 필터를 통과한 것과 같은 효과가 나타난다. 따라서 흑색과 백색으로만 표현되는 이진 영상도 모든 그레이 단계를 표현하는 연속계조의 영상으로 인식 된다. 이는 인간의 시 시각 특성으로 인해 출력된 이진 영상을 공간적으로 적분하여 인식하기 때문이다.

중간조 처리 기법은 저 해상도의 프린터에서 고품질의 출력 영상을 얻기 위해 사용하는 기법으로써, 현재에는 칼라 잉크젯 프린터의 보급으로 칼라 영상의 정확한 색재현을 위해 CMYK 채널에 따라 다양한 중간조 처리 기법들이 연구되고 있다. 칼라 중간조 처리 기법

* 정희원, 경북대학교 전자전기컴퓨터학부
(School of Electrical Engineering and Computer Science, Kyungpook National University)

** 정희원, 안동대학교 컴퓨터공학과
(Computer Engineering, Andong National University)

※ 본 연구는 과학기술부 NRL 사업(M10203000102-03J0000-04810) 지원에 의해서 수행되었습니다.
접수일자: 2003년12월18일, 수정완료일: 2004년4월30일

의 경우 기존의 흑백 영상에 적용하던 기법을 동일하게 적용할 경우에는 일정 수준의 계조 표현은 가능하지만 정확한 색 재현이 어려운 단점이 있다. 따라서 현재 정확한 색 재현을 위한 다양한 칼라 중간조 처리 기법들이 잉크젯 프린터에 적용하기 위해 연구 되어 지고 있다.

기존의 중간조 처리 기법은 크게 순서 디터링(order-ed dithering)^[1], 블루 노이즈 마스크(blue noise mask)^[2-5], 그리고 오차 확산(error diffusion)^[6,7] 기법으로 분류할 수 있다. 순서 디터링 방법은 고정된 마스크의 문턱치값을 입력 영상에 반복 적용하여 중간조 처리에 적용한다. 이러한 방법은 처리 속도 및 연산이 간단한 장점은 있지만, 동일한 패턴이 영상에서 반복되어 출력 영상에 패턴이 인지되는 단점이 있다. 그래서 순서 디터링 방법은 최근 칼라 잉크젯 프린터에 거의 사용되지 않고 있다. 블루 노이즈 마스크는 각 그레이 계조에 대응되는 최적의 출력 패턴을 구성하기 위해, 마스크의 패턴을 인간 시각이 인지하기 어려운 고주파 형태로 분포하도록 생성하는 기법이다. 블루 노이즈 마스크 기법 역시 연산이 간단하여 저 해상도의 프린터에서 사용되고 있으나, 영상에서 고주파 잡음이 눈에 띄게 되는 단점이 있다. 오차 확산 기법은 중간조 처리 과정에서 발생하는 양자화 오차를 인접 화소로 확산 하여, 연속 영상을 이진 영상으로 변환하는 기법이다. 전술했던 기법들에 비해 처리 속도 및 연산은 복잡하지만, 고화질의 결과 영상을 획득할 수 있어 잉크젯 프린터에 널리 적용되고 있다. 하지만 이러한 중간조 처리 기법을 칼라 영상에 동일하게 적용하게 되면, 출력 영상의 화질 열화 현상이 발생한다. 이는 프린터의 경우 CMYK 채널을 조합하여 색을 표현하게 되는데, 이 때 칼라 각 채널의 상관 관계 및 간섭 현상이 고려되지 않았기 때문에 야기되는 문제이다. 그래서 칼라 영상을 프린터로 출력하기 위해서는 칼라 채널의 상관관계를 고려한 기법들의 연구가 필수적이다.

최근 블루 노이즈 마스크 방법을 칼라 영상에 적용하기 위한 기법으로, 단일 칼라 채널뿐만 아니라 두 개 또는 세 개 채널의 중첩을 고려한 마스크를 구성하여 정확한 계조 재현이 가능하게 하였다. 즉 채널의 간섭현상을 고려하여 출력 패턴을 최적화 하는 방법이다. 이러한 기법은 Parker의 혼합 블루 노이즈 마스크(jointly blue noise mask; JBNM)^[8]에 잘 나타나 있다. 또한 기존의 혼합 블루 노이즈가 패턴의 최적화에만 치중한 것을 확장하여, 출력 색차까지 고려한 개선된 혼합 블루

노이즈 마스크(modified jointly blue noise mask; MJBNM)^[9]도 칼라 영상을 프린터로 출력하기 방법들로 연구되고 있다.

일반적으로 그레이 영상에서의 오차 확산방법은 입력 영상의 이진화로 인한 양자화 오차를 인접화소로 확산 시키는 방법으로, 영상의 경계부분이 명료하며 우수한 화질의 영상을 얻을 수 있기 때문에 잉크젯 프린터에 적용되고 있다^[6]. 이러한 오차 확산 방법을 칼라에 적용시킬 경우, 기존의 방법 중 각각의 칼라에 대한 상관관계를 고려하지 않고 독립적으로 양자화 오차를 확산하는 스칼라 오차 확산법(scalar error diffusion method)이 있다. 즉 CMYK 채널 각각에 따라 오차 확산법을 적용하므로, 색의 상관 관계가 고려되지 않아 영상에서 화질의 열화가 나타난다. 이를 보상하기 위해 각각의 칼라의 상관관계를 고려한 벡터칼라 공간상에서 양자화 오차를 확산하는 벡터 오차 확산법(vector error diffusion method)^[10-13]이 연구 되고 있다. 벡터 오차 확산법은 각각의 칼라의 상관관계를 고려하지 않고 처리하는 스칼라 오차 확산 법에서 나타나는 저주파 패턴의 잡음들을 제거할 수 있으며, 향상된 화질의 영상을 얻을 수가 있다^[12]. 벡터 오차 확산법은 주로 인간의 시각 특성을 고려한 벡터 칼라 공간인 CIELAB 또는 CIEXYZ 공간상에서 처리되어진다^[12]. 하지만 벡터 오차 확산법은 양자화 과정에서 생기는 큰 오차의 확산으로 인해 경계부분에서 제대로 색을 표현하지 못하는 단점이 발생한다. 이는 큰 누적된 양자화 오차를 확산 받음으로써 원하지 않는 다른 색이 표현되기 때문이다. 이러한 단점을 제거하기 위한 방법^[10,11]들이 제안되어 왔으나, 기존의 방법에서는 오차 확산시 고정된 문턱치값만으로 오차 확산의 여부를 판단하기 때문에 경계 부분에서 여전히 칼라띠가 발생하고 있다.

그러므로 벡터 오차 확산법에서 두드러지는 경계부분의 결점을 제거하고 영상의 화질을 높이기 위해 8개의 기준색과 그 중심의 기하학적 거리(Euclidean distance)를 이용하고, 양자화 오차가 보정된 입력벡터와 8개의 기준색과의 벡터 각을 이용함으로써 효율적으로 큰 양자화 오차 벡터를 처리 하였다. 제안한 방법으로 중간조 처리를 하였을 경우 기존의 방법보다 색차가 줄었으며, 경계 영역에서의 색이 번지는 현상을 제거할 수 있었다. 본 논문에서는 II장에서 스칼라 오차 확산법과 벡터 오차 확산법에 대해서 살펴보고, III장에서는 제안한 벡터 오차 확산법에 대해서 설명하고자 한다. IV장에서 실험 및 고찰을 통해, V장에서 결론을 맺고

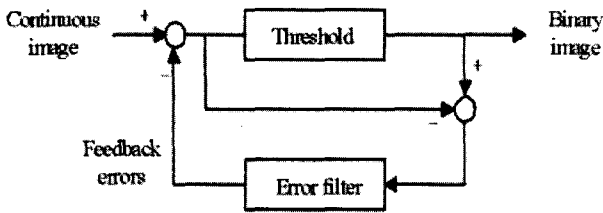


그림 1. 오차 확산법의 흐름도
Fig. 1. Block diagram of error diffusion method.

자 한다.

II. 스칼라 오차 확산법과 벡터 오차 확산법의 비교

2.1. 스칼라 오차 확산법

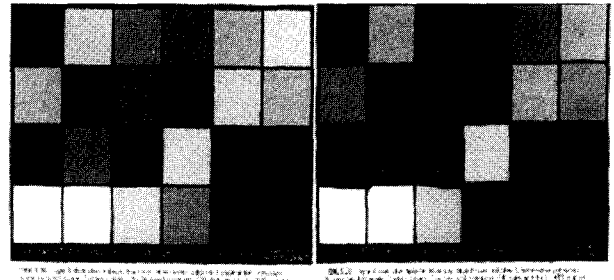
오차 확산법은 각 화소의 값이 임계치에 의해 이진화 되고, 그에 따른 양자화 오차(quantization error)를 주변 화소로 확산시켜주는 방법으로 1975년 Floyd와 Steinberg^[6]에 의해 발표되었다. 오차 확산법은 중간조 처리 기법 중 가장 우수한 영상의 화질을 얻을 수 있으며, 널리 이용되는 중간조 처리 방법 중의 하나이다. 그림 1은 오차 확산법의 흐름도를 나타내고 있다. 연속 계조의 영상이 입력될 때 입력 영상의 각 화소는 양자화 과정을 거치게 되며, 일반적으로 128의 회색조 레벨값을 문턱치 값으로 사용하게 된다. 원 영상과의 양자화된 값과의 오차가 오차 필터(error filter)를 통해서 인접 화소로 피드백(feedback)되어 새로운 양자화 입력값을 만들게 된다. 이러한 양자화, 오차 필터, 피드백 과정을 통해서 최종 출력값이 0 또는 255인 2진 출력 영상을 얻게 된다.

일반적인 스칼라 오차 확산법에서 칼라 영상을 표현할 경우, CMYK 각각의 칼라를 독립적으로 처리한다. 각 채널에서 입력화소의 공간상의 위치 (m, n) 에서의 레벨값 f_{mn} 은 0에서 255사이의 값을 가지게 되며, 오차 확산을 위한 입력값과 양자화 오차 및 오차필터의 처리 과정은 다음과 같이 표현되어 진다.

$$i_{mn} = f_{mn} + \sum_{ij} w_{ij} e_{m+i, n+j} \quad (1)$$

여기서 양자화 입력 값이 되는 i_{mn} 은, 원 영상의 입력 값인 f_{mn} 과 양자화 과정으로 인해 생기는 오차 e_{mn} 이 오차 필터의 가중치인 w_{ij} 에 의해 가중되어진 값과의 합으로 얻어진다. 오차값은 입력값과 양자화된 값과의 차이로 계산되어지며, 다음과 같다.

$$e_{m+i, n+j} = i_{m+i, n+j} - b_{m+i, n+j} \quad (2)$$



(a) (b)

그림 2. 다양한 오차 확산법을 적용한 결과 영상;
(a) 스칼라 오차 확산법을 적용한 결과 영상,
(b) 벡터 오차 확산법을 적용한 결과

Fig. 2. Result images using various error diffusion methods; (a) result of scalar error diffusion, (b) result of vector error diffusion.

최종적인 이진화 값은 다음의 양자화 과정을 통해서 획득 된다.

$$b_{mn} = Q[i_{mn}] \quad (3)$$

여기서 b_{mn} 은 출력 이진 값이고, $Q[\]$ 는 양자화 처리 과정을 의미하며 고정된 임계치 값으로 0 또는 255 이진값을 만들게 된다.

이러한 스칼라 오차 확산 방법은 칼라 오차 확산 방법 중에서 기존의 흑백 오차 확산법을 가장 간단하게 확장하여 적용한 방법일수는 있으나, CMY 각각의 칼라가 독립적으로 처리되기 때문에 인간 시각특성을 고려하지 못하게 되고 패턴의 중첩으로 인한 저주파 패턴의 잡음을 만들게 된다. 그러므로 각 칼라 채널을 고려한 벡터 오차 확산법이 연구되고 있다. 벡터 오차 확산법의 경우는 각각 칼라 채널의 상관관계를 고려한 CIEXYZ 또는 CIELAB 공간상에서 중간조 처리를 하기 때문에 저주파 잡음이 생기지 않으며, 보다 정확한 색을 표현할 수 있다.

그림 2에서는 연속 영상을 스칼라 오차 확산법으로 중간조 처리를 수행하였을 경우와 벡터 오차 확산법으로 중간조 처리를 수행한 결과 이다. 스칼라 오차 확산법의 경우 전반적으로 채널 중첩에 의한 저주파 패턴의 잡음이 나타나게 되어 원 영상의 색을 정확하게 표현하지 못하게 된다. 이러한 문제점은 각 패치에서 채널 중첩으로 인한 검은색의 점이 많이 나타나게 되어 잡음이 많은 영상으로 나타나고 있다. 하지만 벡터 오차 확산법을 적용한 결과, 저주파 패턴의 잡음이 감소하였고 색 표현의 정확도도 향상되었다. 하지만 벡터 오차 확산법을 적용하게 되면 누적된 양자화 오차로 인해 경계

영역에서 색이 번지는 현상이 나타난다. 그러므로 본 논문에서는 보다 정확한 색을 표현하기 위해 칼라 채널 간의 상관성을 고려한 벡터 오차 확산법을 기반으로, 경계 영역에서 색이 틀어지는 벡터 오차 확산법의 단점을 향상 시키고자 한다.

2.2. 벡터 오차 확산법

벡터 오차 확산 법은 인간의 시각 특성을 고려한 칼라 공간인CIEXYZ 공간^[10]에서 오차 확산 과정이 이루어진다. 8개의 기준색(eight primary color patches)을 사용하여 최종결과 영상은 양자화 입력 벡터와 최소 기하학적 거리를 가지는 8개의 기준색 중 하나의 색을 선택함으로써 중간조 처리 과정을 수행한다. 벡터 오차 확산법에서는 스칼라 양자화 과정의 양자화기가 기하학적 거리로 정의되어, 벡터 칼라 공간상에서 입력 화소의 칼라값과 기준색과의 벡터의 유클리드 놈(norm)을 사용하며 다음과 같다.

$$b_{mn} = p_s | \min \{ \|i_{mn} - p_s\| \} |, \tag{4}$$

where $s = Red, Green, Blue, Cyan, Magenta, Yellow, White, Black$

여기서 i_{mn} 은 양자화 입력 벡터 이며, e_{mn} 은 양자화 입력 벡터와 선택 되어진 8개의 기준색과의 오차값을 가지는 벡터이다. p_s 는 8개의 기준색이 가지는 각각의 벡터값이고, b_{mn} 은 양자화 입력과 최소 기하학적 거리를 가지는 8개의 기준색 중 하나가 되며 CIEXYZ 공간에서의 벡터로 나타나게 된다.

그림 3에서 일반적인 벡터 오차 확산법의 흐름도가 나타나 있다. 입력 양자화 벡터는 프린터가 표현할 수 있는 8개의 기준색 중에서 최소 기하학적 거리를 가지는 벡터에 의해 표현 되며, 양자화 벡터를 피드백 시켜주는 오차 필터는 스칼라 오차 확산법과 동일한 필터를 사용하게 된다.

모든 양자화 오차 벡터는 벡터 칼라 공간상에서 확산 과정이 이루어진다. 하지만 벡터 오차 확산법은 오차 확산 과정에서 누적된 오차값이 커질 경우, 입력 화소의 벡터값과 색이 다른 8개의 기준색 벡터값이 선택될 가능성이 있다. 이 경우 벡터 오차 확산법을 사용하기 때문에 스칼라 오차 확산법보다 전체적인 영상의 화질은 향상되지만, 영상의 경계 부분에서 색을 제대로 표현 못하는 단점이 있다^[10,11]. 이러한 문제점은 기존의 스칼라 오차 확산 법에는 나타나지 않는 결점으로, 다른

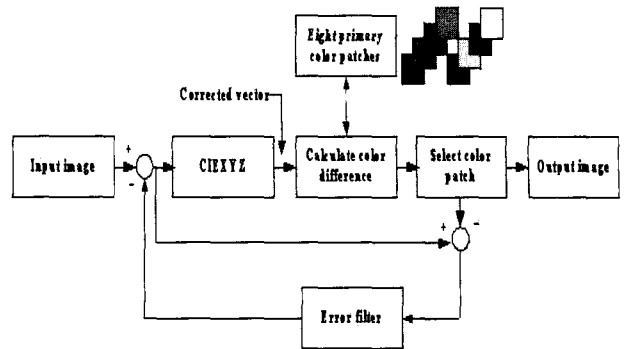


그림 3. 벡터 오차 확산법의 흐름도
Fig. 3. Block diagram of vector error diffusion

칼라의 영역으로 큰 양자화 오차를 확산시킴으로써 주요 8색의 칼라 패치 보다도 훨씬 큰 값을 가지게 되는 누적된 양자화 오차값 때문에 야기되는 문제점이다. 이러한 결점을 제거하기 위하여 현재 처리해야할 화소와 이전에 오차를 확산 받은 인접하는 화소와의 화소 크기의 차를 임계치로 사용한 방법^[10]이 제안되었으며, 큰 양자화 오차를 갖는 부분에 대해서는 기존의 스칼라 오차 확산 법을 적용하는 방법^[11]도 제안되었다. 하지만 단순히 인접 화소와의 기하학적 거리를 임계치로 사용할 경우, 전체 중간조 처리과정에 필요한 양자화 오차를 버림으로써 영상의 화질이 열화될 수 있으며, 결점을 유발하는 고정된 임계치 보다 작은 화소에 대해서만 양자화 오차를 확산시키기 때문에 경계부분의 결점을 완전히 제거 할 수는 없게 된다.

III. 제안한 벡터 오차 확산 방법

벡터 오차 확산법에서 두드러지게 나타나는 경계 부분의 결점을 줄이기 위해서, 기존의 방법은 현재 처리한 벡터로 인해 생긴 양자화 오차를 확산 받았을 때의 인접 화소 벡터와 원래의 인접 화소 벡터와의 기하학적 거리가 적절한 임계치 값보다 작은 범위 내에서만 오차 확산 과정이 수행된다. 즉 특정 임계치값 보다 차의 값이 클 경우에는 영상의 경계일 가능성이 있고, 또한 누적된 오차가 크다는 것을 의미하므로 오차 확산 과정에서 제외시킨다. 하지만 이러한 방법만으로는 정확하게 색 틀어짐을 정의할 수 없고, 영상에 따라 임계치가 적응적으로 결정되어야 하는 단점이 있다.

그래서 제안하는 벡터 오차 확산 방법은 현재 처리한 벡터로 인해 생긴 양자화 오차를 받을 것인지를 결정하는데 있어서, 8개의 기준색과 양자화 오차가 보정된 벡터 크기와 벡터 각을 이용하게 된다. 누적된 양자화

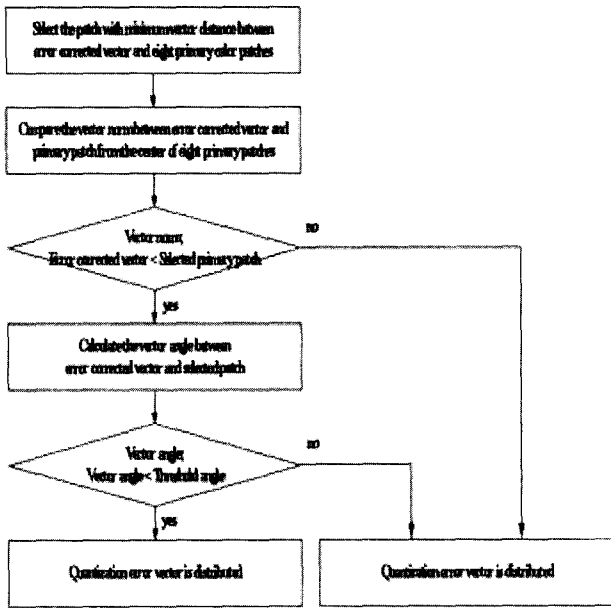


그림 4. 제안한 방법의 흐름도
Fig. 4. Block diagram of proposed method

오차가 클 경우, 오차 확산법에서 제외시키기 위해 누적된 양자화 오차를 확산 받은 값과 기준색과의 벡터 크기를 비교하게 된다. 또한 누적된 양자화 오차가 벡터 크기는 적정 임계치내로 들어오더라도, 누적된 양자화 오차의 색 변화가 발생할 수 있기 때문에 이러한 색 틀어짐을 보상하기 위해 기준색과의 벡터 각을 다음 단계에서 비교한다. 그림 4에서 제안한 벡터 오차 확산법의 흐름도가 나타나 있다. 먼저 입력 화소의 벡터값과의 크기를 비교하고 난 뒤, 벡터 각을 기준색과 비교하여 오차 확산 여부를 판단하여 색 틀어짐을 감소시킨다.

3.1. 8개의 기준색과의 벡터의 크기 비교

8개의 기준색 크기를 벗어나는 보정된 벡터에 대해서는 양자화 오차를 확산 시키지 않고 원래의 벡터 값이 중간조 처리되게 된다. 8개의 기준색에는 Red, Green, Blue, Cyan, Magenta, Yellow, White, Black이 사용되는데, 이 8개의 기준색들은 3차원 칼라 공간상에서 벡터로 나타나며 색역을 형성 하게 된다. 먼저 벡터 오차 확산법의 양자화 과정에서, 입력 화소가 오차 필터를 거친 x_{mn} 과 기준색과의 최소 거리를 갖는 기준색은 식 (4)와 같이 계산되어 진다. 이를 8개의 기본색의 중심점에서 각각 선택된 양자화 출력과의 거리와 중심점에서 양자화 오차를 확산 받은 값과의 거리를 비교하여, 양자화 오차와의 거리가 크게 되면 양자화 오차 과정에서 제외한다. 이는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

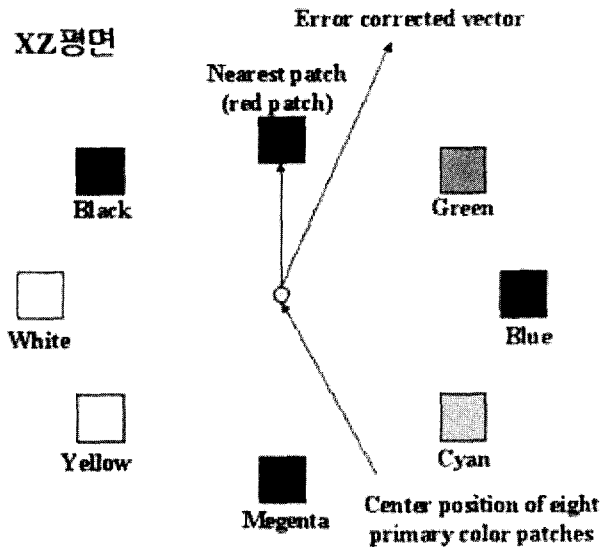


그림 5. 보정된 벡터가 8개의 기준색 보다 클때
Fig. 5. Error corrected vector is larger than eight primary color patch.

$$\|p_{center} - p_s\| < \|p_{center} - x_{mn}\| \tag{5}$$

여기서 p_{center} 는 8개의 기준색의 중심 벡터를 의미하고, p_s 는 벡터 오차 확산법의 양자화기를 통해 선택된 8개의 기준색값 중의 하나이다. 그리고 x_{mn} 은 양자화 오차를 확산 받은 값이다. 8개의 기준색보다 작은 벡터들에 대해서 전체 중간조 처리 과정 중에 그 양자화 오차 벡터의 방향이 색역의 내부로 향하기 때문에 중간조 처리가 원활하게 이루어진다. 하지만 8개의 기준색보다 큰 벡터들은 외부로 그 방향이 결정되기 때문에, 누적되는 오차의 값이 증가하여 단일색이 두드러지게 나타나거나 원하지 않는 다른 색이 표현되어질 수 있다.

즉 8개의 기준색의 중심 벡터와 오차가 보정된 벡터와의 기하학적 거리가 8개의 기준색의 중심 벡터와 선택 되어진 기준색과의 기하학적 거리 보다가 커질 경우에는 양자화 오차를 확산 받지 않게 된다. 따라서 벡터 크기 비교를 통해, 벡터 크기가 클 경우에는 현재 처리한 벡터로 인한 양자화 오차를 확산 받아야할 벡터값은 원 영상의 입력값인 f_{mn} 이 변화없이 사용 되고, 반대로 작을 경우에는 오차를 확산 받은 x_{mn} 이 사용 된다.

그림 5에는 양자화 오차를 확산 받은 벡터가 8개의 기준색보다 클 경우에 대해서 나타내었다. 오차를 확산 받은 벡터와 최소값을 가지는 기준색 벡터는 Red이지만, 양자화 오차 벡터가 원점에서 기준색 벡터보다 큰

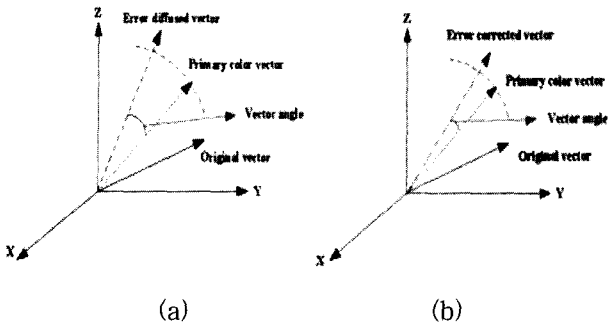


그림 6. 오차 확산 벡터와 기준색과의 벡터각 비교; (a) 벡터각이 큰 경우, (b) 벡터각이 작은 경우
 Fig. 6. Comparison of vector angle between error diffused vector and primary color vector; The case of (a) large vector angle, (b) small vector angle

경우이다. 이때 큰 양자화 오차 벡터를 확산 과정에 포함시키지 않음으로써 경계 영역에서 하나의 색이 두드러지게 나타나는 것을 제거 할 수 있다.

3.2. 8개의 기준색과의 벡터 각의 크기 비교

원영상의 벡터는 양자화 오차를 확산 받았을 때 8개의 기준색과 일정한 벡터각을 이루게된다. 장치 독립적인 색공간인 CIEXYZ 또는 CIELAB에서는 8개의 기준색과 큰 벡터각을 가지는 벡터는 8개의 기준색에 유사한 색을 가지지 않는다. 반대로 8개의 기준색과 거리가 짧은 벡터 일수록 유사한 색을 가지게 된다. 따라서 본 논문에서는 누적된 양자화 오차가 큰 값을 벡터 오차 확산 과정에서 제거하기 위해 벡터 크기를 비교한 후, 색이 틀어지는 현상을 방지하기 위해 양자화 오차가 보정된 벡터와 8개의 기준색과의 벡터각이 큰 화소에 대해서는 오차 확산 과정에 포함 시키지 않게 된다.

이를 위해 현재 처리한 벡터에 의한 양자화 오차를 확산 받은 그 이웃 화소의 벡터와 가장 가까운 기하학적 거리를 갖는 8개의 기준색을 벡터 오차 확산 과정에서 결정한 후, 그 기준색과 벡터각을 계산 하게 된다. 그림 6에서는 벡터각이 큰 경우와 작은 경우에 대한 예를 도식적으로 나타내었다. 벡터각이 클 경우에는 양자화 오차를 확산 시키지 않는다. 실험에서 사용된 벡터각의 문턱치값은 기준색 8개의 값을 3차원 색역으로 나타내었을 때, 무채색 Black과 White를 제외한 6개의 색을 색도값 좌표로 나타낸 후 각각의 기준색값이 차지하는 범위를 기준으로 적용적으로 결정되었다. 따라서 이러한 벡터각을 고려하여 오차 확산을 판단함으로써 이웃화소와의 기하학적 거리만을 고려한 방법보다 경계부

분의 결점을 줄일 수 있었으며 시각적으로 향상된 중간조 패턴을 얻을 수 있다.

VI. 실험 및 고찰

4.1. CIELAB 색차

모니터의 입력 영상과 중간조 처리된 영상의 색차를 계산하는데 있어서 가장 대표적인 방법은 CIELAB 균등 색공간을 이용하여 입력 영상과 프린터를 통한 출력 영상의 색차를 계산하는 방법이다. CIELAB 칼라 좌표계는 1976년 CIE에서 제정한 균등 색공간으로써 인간의 시각 특성을 바탕으로 만들어진 좌표계이다. CIELAB값은 장치 의존적인 비균등 색공간인 RGB에서 장치 독립적인 삼차 극치값인 CIEXYZ로 변환을 하고, 이를 CIELAB값으로 변환 하여야한다. RGB에서 CIEXYZ로의 변환은 비선형관계 이므로 선형 변환은 불가능하나 다항 회귀 방정식의 변환 함수를 통해서 변환하고, CIEXYZ에서 CIELAB로의 변환은 수식을 통해서 변환이 가능하다. 다음의 수식은 CIEXYZ값을 CIELAB값으로 변환하는 과정을 보여 주고 있다.

$$L^* = 116 f(Y/Y_n) - 16 \tag{6}$$

$$a^* = 500 [f(X/X_n) - f(Y/Y_n)] \tag{7}$$

$$b^* = 200 [f(Y/Y_n) - f(Z/Z_n)] \tag{8}$$

$$f(w) = \begin{cases} (w)^{1/3}, & w > 0.008856 \\ 7.787(w) + 16/116, & w \leq 0.008856 \end{cases} \tag{9}$$

여기서 X_n, Y_n, Z_n 은 기준 백색의 삼차극치이며, Y_n 은 100으로 고정된다. CIELAB 색차는 CIELAB 색공간에서의 기하학적 거리로 계산되며, 색차를 나타내는 수식 ΔE^*_{ab} 는 다음과 같다.

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \tag{10}$$

$$= \sqrt{(L_m^* - L_p^*)^2 + (a_m^* - a_p^*)^2 + (b_m^* - b_p^*)^2}$$

여기서 L_m^*, a_m^*, b_m^* 과 L_p^*, a_p^*, b_p^* 는 각각 모니터와 프린터에 대한 L^*, a^*, b^* 이다.

4.2. CIELAB 색차 실험

본 논문에서 제안한 방법으로 ‘Macbeth Color Checker’ 영상에 대해 실험을 하였으며 CIELAB 색차를 구하였다. 기존의 벡터 오차 확산법의 Haneish의 방법과 CIELAB 색차를 비교하였다. 실험에 사용한 모

		7/16
3/16	5/16	1/16

그림 7. Floyd-Steinberg 오차 필터
Fig. 7. Floyd-Steinberg error filter.

표 1. Floyd-Steinberg 필터를 사용하였을 경우, 스칼라 오차 확산법, Haneish 방법, 제안한 방법의 CIELAB 색차 비교

Table 1. Comparison of the CIELAB color difference using scalar error diffusion, Haneish's method, and proposed method.

중간조 처리기법	평균 색차
Scalar method	20.43
Haneish's method	17.56
Proposed method using vector norma and vector angle	16.03

니터는 LG Flatron 775FT이며 모니터의 CIELAB값을 얻기 위해 Minolta CS-1000 분광광도계를 이용하였으며, 프린터 출력영상의 CIELAB값은 Minolta CM-3600d 분광측색계를 사용하였다. 그리고 프린터는 HP Deskjet 895cxi를 사용하였다. 양자화 오차를 확산하기 위해 사용한 오차 필터는 Floyd-Steinberg 필터를 사용하였으며, 그림 7에 나타나 있다. 제안한 방법으로 중간조 처리를 하였을 경우 기존의 스칼라 오차 확산법에서 채널 중첩으로 나타나는 저주파 패턴의 잡음들을 제거할 수 있었고, 경계 영역에서의 결점도 많이 줄일 수가 있었다. 표 1에는 Floyd-Steinberg 필터를 사용하였을 경우, 스칼라 오차 확산법, Haneish 방법, 제안한 방법으로 중간조 처리했을 경우의 색차를 나타내고 있다. 여기서는 'Macbeth ColorChecker'영상의 24개 패치에 대한 평균 색차를 나타내었다. 스칼라 오차 확산법의 경우 CIELAB 색차가 가장 크게 나타나며, 제안한 방법이 기존의 Haneish의 방법을 적용했을 경우보다 색차가 1 정도 감소함을 알 수 있다. 하지만 CIELAB 색차가 1 정도 감소하는 것은 인간 시각이 거의 인지 하지 못할 정도의 미세한 차이이다. 이는 벡터 오차 확산법의 경우 경계 영역에서 나타나는 색 틀어짐이 작은 양이기 때문에 색차의 평균값에서는 크게 차이가 나지 않는다.

4.3. 주관적인 화질 비교

실험에서 사용된 영상은 'Macbeth ColorChecker', 'bike', 'flower'를 사용하였다. 그림 8, 9, 10의 (a)는 스

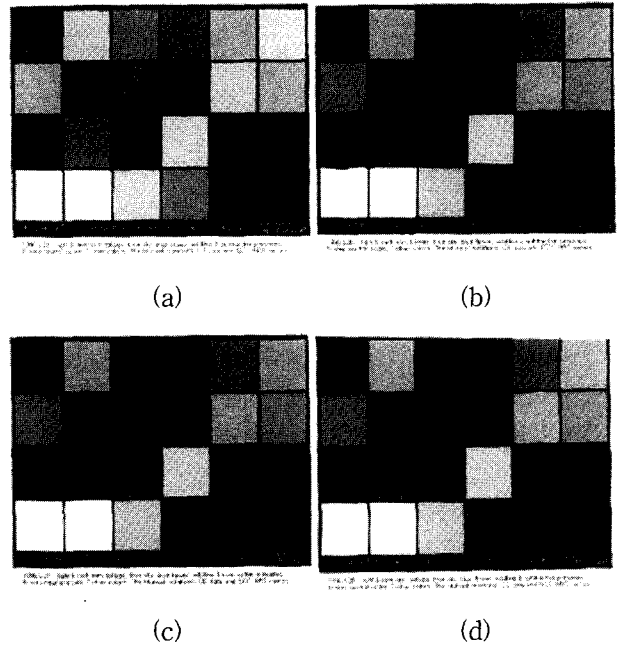


그림 8. 'Macbeth Colorchecker' 결과 영상; (a) 스칼라 오차 확산법을 적용한 결과, (b) Haneish 방법을 적용한 결과, (c) 벡터 크기만을 적용한 결과, (d) 벡터크기와 벡터각을 적용한 결과

Fig. 8. 'Macbeth Colorchecker' result images; (a) result of using scalar error diffusion, (b) result of using Haneish's method, (c) result of using vector norm, (d) result of using vector norm and vector angle

칼라 오차 확산법을 적용한 결과 영상이고, (b)는 Haneish의 방법을 적용하여 경계에서 색번짐 현상을 줄인 벡터 오차 확산법이며, (c)는 제안한 방법에서 벡터 크기만을 고려한 벡터 오차 확산법이고, (d)는 벡터 크기와 벡터 각을 모두 고려한 결과이다. 스칼라 오차 확산법을 적용한 결과는 색의 중첩 현상으로 인하여 결과 영상에 잡음과 같은 특성이 많이 나타나고 있다. 이는 채널의 상관관계가 고려되지 않았기 때문에 CMY 채널의 중첩으로 검은점들이 영상에서 많이 나타나게 된다. 각 그림 (b)의 Haneish 방법을 적용한 벡터 오차 확산법의 결과는 기본적으로 출력 색의 상관관계가 고려된 벡터 오차 확산법으로 영상을 출력하므로 출력 색의 정확도 및 부드러운 결과를 얻을 수 있었다. 하지만 영상의 경계 영역에서 색이 번지는 특성이 나타나는 벡터 오차 확산법의 기본적인 특성을 현재 화소값과 오차 확산하기 위한 화소와의 고정된 문턱치값을 사용한 단순한 크기 비교만으로 오차 확산을 제외하므로, 경계 영역의 색 번짐 현상을 완전히 감소할 수 없는 결과가 나타난다. 따라서 벡터 오차 확산법에서 나타나는 경계 영역의 색 번짐 현상을 제안한 방법인 벡터 크기와 벡터

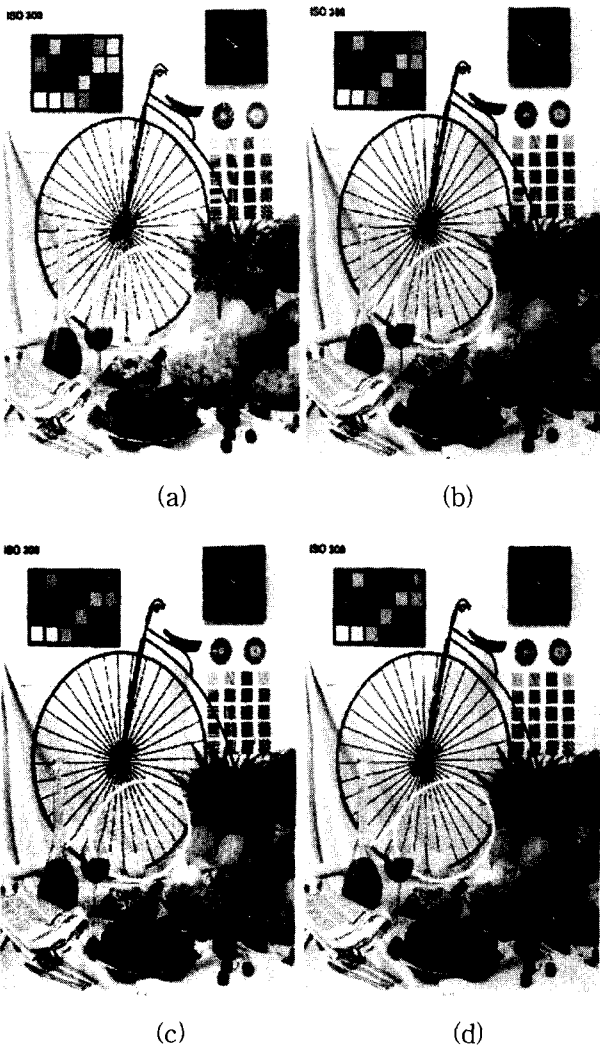


그림 9. 'bike' 결과 영상: (a) 스칼라 오차 확산법을 적용한 결과, (b) Haneish 방법을 적용한 결과, (c) 벡터 크기만을 적용한 결과, (d) 벡터크기와 벡터각을 적용한 결과

Fig. 9. 'bike' result images: (a) result of using scalar error diffusion, (b) result of using Haneish's method, (c) result of using vector norm, (d) result of using vector norm and vector angle

각을 이용하여 오차 확산을 조절함으로써 향상된 결과를 얻을 수 있었다. 제안한 방법은 먼저 벡터 크기를 사용하여 오차 확산의 여부를 판단한 뒤, 벡터 각을 사용하여 최종 오차 확산을 결정하는 방식으로 이루어져 있다. 결과 영상 8, 9, 10의 (c)는 벡터 크기만을 사용하여 오차 확산을 제어한 결과이고, (d)는 벡터 크기와 벡터 각을 동시에 사용하여 벡터 오차 확산법을 적용한 결과이다. 벡터 크기를 사용하여 색 번짐 현상을 감소한 결과는 기존의 Haneish 방법의 결과보다 상당 부분 향상됨을 알 수 있다. 'Macbeth Colorchecker' 영상의 회색조 패치나, 노란색 패치에서 색 번짐 현상이 감소하고

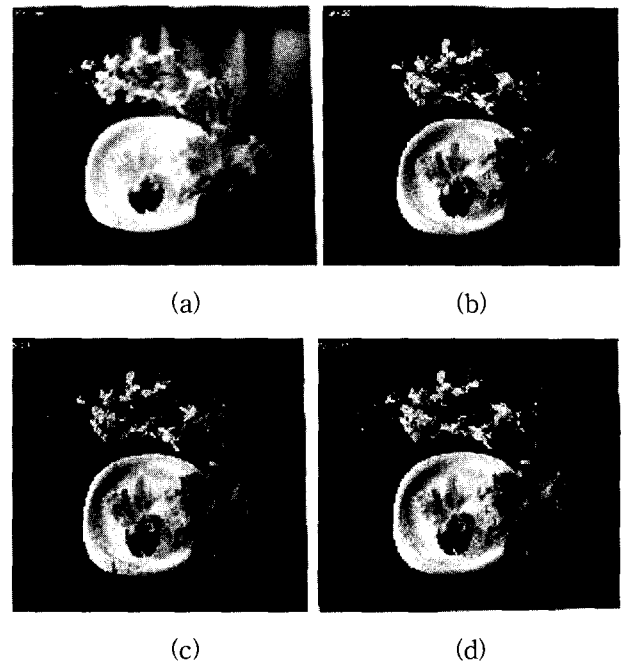


그림 10. 'flower' 결과 영상: (a) 스칼라 오차 확산법을 적용한 결과, (b) Haneish 방법을 적용한 결과, (c) 벡터 크기만을 적용한 결과, (d) 벡터크기와 벡터각을 적용한 결과

Fig. 10. 'flower' result images: (a) result of using scalar error diffusion, (b) result of using Haneish's method, (c) result of using vector norm, (d) result of using vector norm and vector angle

있으며, 'bike' 영상의 시계 부분, 그리고 'flower' 영상에서 꽃잎 부분의 색 번짐이 기존의 방법에 비해 감소하고 있음을 알 수 있다. 하지만 벡터 크기만으로 색 번짐 현상을 제어했을 경우에는 여전히 경계 영역에서 색이 들어지는 곳이 발생하였다. 이를 벡터 각으로 색 들어짐을 방지함으로써 (d)의 결과 영상들에서 (c)보다 경계 영역의 색 번짐 현상을 줄일 수 있었다.

그러므로 제안한 벡터 오차 확산법을 칼라 프린터의 중간조 처리 방법에 적용한 결과, 스칼라 오차 확산법을 칼라에 확장한 방법에 비해 우수한 화질을 얻을 수 있었으며, 벡터 크기와 벡터 각을 사용하여 경계 영역의 색 들어짐을 감소하였다. 경계 영역에서 전반적인 색 들어짐은 벡터 크기를 사용하여 누적된 오차를 오차 확산 과정에서 제외함으로써 제거할 수 있었다. 그리고 오차 확산으로 인한 기본색 자체가 들어지는 것을 방지하기 위해 벡터 각을 사용하여 오차 확산 과정을 제어하였다. 이러한 방법으로 재현된 영상은 기존의 방법에 비해 색의 간섭 현상과 왜곡 현상이 감소하였다.

V. 결 론

본 논문에서는 기존의 중간조 처리 기법의 대표적인 방법인 오차 확산법에 있어서 오차 확산 과정을 처리하는 벡터 오차 확산법의 색 번짐 문제를 제거하기 위한 방법을 제안하였다. 누적된 양자화 오차의 확산값으로 야기되는 영상 경계 영역에서의 결점을 제거하기 위하여 8개의 기준색과 보정된 입력 벡터와의 기하학적 거리를 비교하여 8개의 기준색보다 큰 벡터에 대해서는 양자화 오차 확산 과정에서 포함시키지 않았으며, 큰 벡터각을 가지는 보정된 벡터에 대해서도 양자화 오차를 확산 시키지 않았다. 따라서 제안한 방법은 기존의 스칼라 오차 확산법에서 두드러지게 나타나는 저주파 패턴의 잡음을 제거 할 수 있었고, 영상의 경계 부분의 결점도 제거 할 수 있었다. 그러므로 벡터 크기와 벡터각을 이용한 벡터 오차 확산법을 칼라 프린터에 적용한 결과 색 틀어짐이 감소하였고, 인간 시각에 부드러운 결과를 얻을 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] B. E. Bayer, "An optimum method for two-level rendition of continuous-tone pictures," IEEE International Conference on Communications, vol. 1, pp. 11-15, 1976.
- [2] R. Ulichney, Digital Halftoning, The MIT Press, 1993.
- [3] H. R. Kang, Digital Color Halftoning, The SPIE Optical Engineering Press, 1999.
- [4] T. Mitsa and K. J. Parker, "Digital halftoning technique using a blue-noise mask," Journal of Optical Society of America A, vol. 9, no. 11, pp. 1920-1929, Nov. 1992.
- [5] Q. Yu and K. J. Parker, "Stochastic screen halftoning for electronic imaging devices," Journal of Visual Communication and Representation, vol. 8, no. 4, pp. 423-440, Dec. 1997.
- [6] Floyd R. and Steinberg L., "An adaptive algorithm for spatial gray scale," SID 1975 Symp. Dig. Tech. Papers, pp. 36-37, 1975.
- [7] K. T. Knox, "Evolution of error diffusion," SPIE Conference On Device-Independent Color Imaging, vol. 3648, pp. 448-458, Jan. 1999.
- [8] M. Wang and K. J. Parker, "Properties of jointly-blue noise masks and applications to color halftoning," Journal of Imaging Science and Technology, vol. 44, no. 4, pp. 360-370, July/Aug. 2000.
- [9] Y. S. Kwon, Y. T. Kim, H. K. Lee, and Y. H. Ha, "Modified jointly-blue noise masks approach using S-CIELAB color difference," Ninth Color Imaging Conference, Color Science and Engineering, Scottsdale, U.S.A., pp. 194-198, Nov. 2001.
- [10] H. Haneish, T. Suzuki, N. Shimonyama, and Y. Miyake, "Color digital halftoning taking colorimetric color reproduction into account," Journal of Electronic Imaging, vol. 5, no. 1, pp. 97-106, Jan. 1996.
- [11] Z. Fan, "Boundary artifacts reduction in vector error diffusion," SPIE Conference on Device-Independent Color Imaging, vol. 3648, pp. 480-484, Jan. 1999.
- [12] M. Kouzaki, T. Itoh, T. Kawaguchi, N. Tsumura, H. Haneishi, and Y. Miyake, "Evaluation of digital halftone image by vector error diffusion," Proc. SPIE, 3648, pp. 470-479, Jan. 1999.
- [13] C. H. Lee, W. H. Choi, E. J. Lee, and Y. H. Ha, "Digital halftoning based on color correction using neural network with uniform color samples and vector error diffusion," EI2000(Electronic Imaging), SPIE, San Jose, U.S.A., vol. 3963, pp. 415-422, Jan. 2000.

 저 자 소 개

이 순 창(정회원)

2001년 경일대학교 전자공학과 학사 졸업.

2003년 경북대학교 전자공학과 석사 졸업.

<주관심분야: 디지털 칼라 프린팅 및 디스플레이 장치 색 표현 향상 등>

김 윤 태(정회원)

제 41권 SP편 제 2호 참조

이 철 희(정회원)

제 41권 SP편 제 1호 참조

조 양 호(정회원)

제 41권 SP편 제 2호 참조

하 영 호(정회원)

제 38권 SP편 제 3호 참조