한국정보전자통신기술학회논문지(jkiiect)'18-02, Vol.11 No.1
논문 18-11-01-95 http://dx.doi.org/10.17661/jkiiect.2018.11.1.95

역 s-순으로 스캔된 주변 픽셀들에 존재하는 유사성과 에지 특성을 이용한 효율적인 픽셀 값 예측 기법

정수목*

An Efficient Pixel Value Prediction Algorithm using the Similarity and Edge Characteristics Existing in Neighboring Pixels Scanned in Inverse s-order

Soo-Mok Jung*

요 약 본 논문에서는 영상에서 역 s-순으로 스캔된 주변 픽셀 값들을 이용하여 픽셀 값을 정밀하게 예측할 수 있는 효율적인 픽셀 값 예측 기법을 제안하였다. 영상에는 일반적으로 인접 픽셀 값들 사이에 비슷한 값을 갖는 유사성(similarity)이 존재하고, 방향성이 있는 에지 특성(directional edge characteristics)이 존재할 수 있다. 인접 픽셀간의 유사성과 에지 특성을 이용하여 픽셀 값을 예측하는 GAP(Gradient Adjacent Pixel) 기법을 개선하여 픽셀 값 예측 정확도를 향상시키는 기법을 본 논문에서 제안하였다. 제안된 기법에서는 주변 픽셀들의 위치별 가중치를 사용하여 픽셀 값을 정밀하게 예측하도록 함으로 예측 픽셀 값의 정확도를 증가시켰다. 실제 영상에 대한 실험을 통하여 제안된 기법의 우수성을 확인하였다. 제안된 기법은 가역 데이터 은닉, 가역 워터마킹 및 데이터 압축 등의 응용들에 유용하게 사용될 수 있다.

Abstract In this paper, we propose an efficient pixel value prediction algorithm that can accurately predict pixel value using neighboring pixel values scanned in reverse s-order in the image. Generally, image has similarity with similar values between adjacent pixel values, and may have directional edge characteristics. In this paper, we proposed a method to improve pixel value prediction accuracy by improving GAP(Gradient Adjacent Pixel) algorithm for predicting pixel value by using similarity between adjacent pixels and edge characteristics. The proposed method increases the accuracy of the predicted pixel value by precisely predicting the pixel value using the positional weights of the neighboring pixels. Experiments on real images confirmed the superiority of the proposed algorithm. The proposed algorithm is useful for applications such as reversible data hiding, reversible watermarking, and data compression applications.

Key Words : image, pixel value prediction, similarity, edge characteristics, neighboring pixels

1. 서론

픽셀 값들로 구성되는 디지털 영상에서 인접한 픽셀 값들은 유사한 값을 갖는 특성이 있다. 또한 디지털 영상에는 방향성이 있는 에지 특성(directional edge characteristics)이 존재할 수 있다. 영상에 존재하는 유사성(similarity)과 에지 특성을 이용하면 픽셀 값을 효과적으로 예측할 수 있다. 픽셀 값 유사성과 에지 특성을 사용하여 픽셀 값을 예측하는 기법들이 개발되었고[1]-[4], 이러한 기법들을 이용하여 다량의 기밀 데이터를 영상에 은닉하는 가역 데이터 은닉기법과 가역 워터마킹 기법, 데이터 량이 큰 영상을 효과적으로 압축하는 기법들이 개발되고 있다[1]-[8].

*Corresponding Author : Division of Computer Science & Engineering, Sahmyook University (jungsm@syu.ac.kr)
Received February 08, 2018 Revised February 14, 2018 Accepted February 14, 2018

본 논문에서는 가역 데이터 은닉, 가역 워터마킹, 데이터 압축 등에 효과적으로 사용될 수 있는 효율적인 픽셀 값 예측 기법을 제안하였다. 제안된 기법은 기존의 기법인 GAP 기법을[1][2] 개선한 것으로, 픽셀 값 예측을 보다 정밀하게 할 수 있도록 한 효율적인 픽셀 값 예측 기법이다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에 기존의 기법인 GAP 기법에 대하여 기술하고, 3장에 제안기법을 기술한 후, 4장에 실험결과를 기술하고, 5장에 결론을 기술하였다.

2. GAP

GAP(Gradient Adjacent Prediction) 기법은 그림 1에서 보는 바와 같이 주변의 7개의 픽셀 값을 사용하여 픽셀 값을 예측한다. 그림 1에서 P(Pixel value)는 영상의 픽셀 값을 나타내고, PP(Predicted Pixel value)는 주변 픽셀 값(P)들을 사용하여 예측된 픽셀 값을 나타내고, 아래첨자로 표시된 것은 해당 위치에서의 좌표 값을 나타낸다. 픽셀 값 예측에 사용되는 픽셀들은 역 s-순(inverse s-order)으로 기 스캔된 픽셀 값들이 사용된다. 픽셀 값 예측 기법을 가역 데이터 은닉, 가역 워터마킹에 사용할 수 있도록 하기 위하여 역 s-순으로 기 스캔된 픽셀 값들이 픽셀 값 예측에 사용된다. 그림 2에서 화살표는 영상을 위에서 아래쪽으로, 왼쪽에서 오른쪽으로 역 s-순(inverse s-order)로 스캔하는 방향을 나타내고, 영상에서 임의의 짝수 번 째 행(row)에 있는 임의의 위치에서의 픽셀 값을 예측하는 경우에 대한 예를 보여주고 있다.

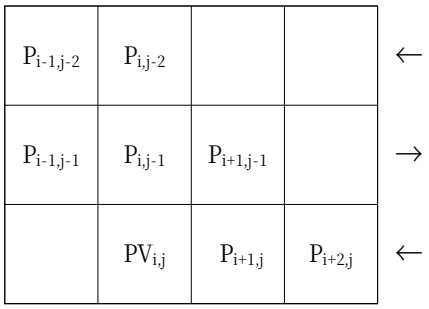

그림 1. GAP 기법에서의 픽셀 값 예측
Fig. 1. Prediction of pixel value in GAP algorithm

GAP 기법에서의 픽셀 값 예측 절차가 그림 2에 나타나 있다. 식 (1), (2)와 같이 수평방향의 픽셀 값 차분들의 합(dh)과 수직방향의 픽셀 값 차분들의 합(dv)을 구한다. 식 (4)~(9)에서 보는 바와 같이 dv와 dh와의 차분 값의 크기에 따라 수평방향과 수직방향의 에지성분의 강도를 결정하고, 결정된 방향성 에지성분의 강도에 따라 예측 픽셀 값을 주어진 식에 따라 계산한다.

그림 2에서 SHE, HE, WHE, SVE, VE, WVE는 각각 Sharp Horizontal Edge, Horizontal Edge, Weak Horizontal Edge, Sharp Vertical Edge, Vertical Edge, Weak Vertical Edge를 나타낸다.

그림 3은 GAP 기법에서 dv-dh 값에 따른 방향성 에지의 강도를 구분하여 나타낸 그림이다. dv-dh 값이 $-8 \leq dv-dh \leq 8$인 경우에는 에지성분이 미미한 것으로 판단하여 식 (5)와 같이 방향성 에지 성분을 고려하지 않고 계산된 값을 예측 픽셀 값으로 사용한다.

$d_h=|P_{i+1,j}-P_{i+2,j}|+|P_{i,j-1}-P_{i+1,j-1}|+|P_{i,j-1}-P_{i-1,j-1}|$ (1)

$d_v=|P_{i+1,j}-P_{i+1,j-1}|+|P_{i,j-1}-P_{i,j-2}|+|P_{i-1,j-1}-P_{i-1,j-2}|$ (2)

IF $(d_v-d_h>80)$ {SHE} $PP_{i,j}=P_{i+1,j}$ (3)

ELSE IF $(d_v-d_h<-80)$ {SVE} $PP_{i,j}=P_{i,j-1}$ (4)

ELSE{

$PP_{i,j}=(P_{i+1,j}+P_{i,j-1})/2+(P_{i-1,j-1}+P_{i+1,j-1})/4$ (5)

IF $(d_v-d_h>32)$ {HE} $PP_{i,j}=(PP_{i,j}+P_{i+1,j})/2$ (6)

ELSE IF $(d_v-d_h>8)$ {WHE}

$PP_{i,j}=(3PP_{i,j}+P_{i+1,j})/4$ (7)

ELSE IF $(d_v-d_h<-32)$ {VE}

$PP_{i,j}=(PP_{i,j}+P_{i,j-1})/2$ (8)

ELSE IF $(d_v-d_h<-8)$ {WVE}

$PP_{i,j}=(3PP_{i,j}+P_{i,j-1})/4$ (9)

}

그림 2. GAP 기법의 절차
Fig. 2. The procedure of GAP algorithm

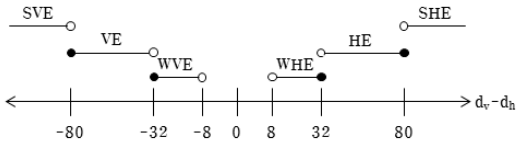

그림 3. dv-dh 값에 따른 방향성 에지의 강도
Fig. 3. The intensity of directional edge according to dv-dh value

3. 제안기법

영상의 인접 픽셀 값들은 유사한 특성이 있다. 또한 영상에 방향성 에지 특성이 존재할 수 있다. 이러한 인접 픽셀 값 간의 유사성(similarity)과 방향성 에지 특성을 이용하여 픽셀 값을 정밀하게 예측할 수 있다. 제안된 픽셀 값 예측 기법에서 사용하는 주변 픽셀들은 그림 2에서 보는 바와 같다.

그림 2에 나타난 7개의 이웃 픽셀들을 사용하는 경우, 픽셀 값을 예측 할 수 있는 픽셀들은 상위 2개 행과 좌측 2개의 열을 제외한 영역에서 예측 픽셀 값이 계산될 수 있다.

그림 3은 제안된 기법에서의 픽셀 값 예측 절차를 나타낸다. 그림 3에서 보는 바와 같이 제안된 기법에서는 픽셀 값을 예측하는 위치 주위에 있는 픽셀 값들에 대하여 위치별 가중치를 두어 픽셀 값 예측을 보다 정밀하게 하는 식 (10)을 사용하였다. 제안된 기법의 식 (10)은 dv와 dh 값의 차가 매우 적은 경우, 즉 인접 픽셀 값들 사이에 에지 성분이 거의 없고, 유사도가 매우 높은 경우에 수행된다. 따라서 방향성 에지 성분이 거의 없고 유사도가 매우 높은 경우에는 GAP기법에서 사용하는 식 (5)에 비하여 제안기법의 식(10)을 사용하여 유사도가 매우 높은 주위 픽셀 값들을 효과적으로 사용하여 픽셀 값을 정밀하게 예측할 수 있다.

식 (10)에서 사용된 β는 위치에 따른 가중치를 나타내며 1이하의 값을 가지며, $P_{i+1,j}$와 $P_{i,j-1}$에 대한 가중치는 1로 하였다.

$$d_h=|P_{i+1,j}-P_{i+2,j}|+|P_{i,j-1}-P_{i+1,j-1}|+|P_{i,j-1}-P_{i-1,j-1}| \quad (1)$$

$$d_v=|P_{i+1,j}-P_{i+1,j-1}|+|P_{i,j-1}-P_{i,j-2}|+|P_{i-1,j-1}-P_{i-1,j-2}| \quad (2)$$

IF $(d_v-d_h>80)$ {SHE} $PP_{i,j}=P_{i+1,j}$ (3)

ELSE IF $(d_v-d_h<-80)$ {SVE} $PP_{i,j}=P_{i,j-1}$ (4)

ELSE{

$PP_{i,j}=(P_{i+1,j}+P_{i,j-1})/2+(P_{i-1,j-1}+P_{i+1,j-1})/4$ (5)

IF $(d_v-d_h>32)$ {HE} $PP_{i,j}=(PP_{i,j}+P_{i+1,j})/2$ (6)

ELSE IF $(d_v-d_h>8)$ {WHE}

$PP_{i,j}=(3PP_{i,j}+P_{i+1,j})/4$ (7)

ELSE IF $(d_v-d_h<-32)$ {VE}

$PP_{i,j}=(PP_{i,j}+P_{i,j-1})/2$ (8)

ELSE IF $(d_v-d_h<-8)$ {WVE}

$PP_{i,j}=(3PP_{i,j}+P_{i,j-1})/4$ (9)

ELSE

$PP_{i,j}=(P_{i,j-1}+P_{i+1,j}+(P_{i+1,j-1}+P_{i-1,j-1})*\beta)/(2+2*\beta)$ (10)

}

그림 4. 제안된 기법의 절차
Fig. 4. The procedure of the proposed algorithm

4. 실험결과

제안된 픽셀 값 예측 기법의 성능을 평가하기 위하여 사용된 영상은 512x512 픽셀 크기를 갖는 pepper, sail boat, bridge 영상을 사용하였다. pepper, sail boat, bridge 영상은 gray scale 영상이고, 8비트로 픽셀 값이 표시되기 때문에 영상의 픽셀 값은 0~255(256가지) 사이의 값을 갖는다.

제안된 기법의 식 (10)에 사용된 β의 값은 0.25로 하였다. 실험에 사용된 영상의 위쪽 2개의 행, 왼쪽 2개의 열은 예측 가능영역이 아니므로 픽셀 값을 예측하지 아니하고, 나머지 영역에서의 픽셀 값 예측을 수행하였다. 따라서 샘플 영상의 전체 262,144개의 픽셀 중에서 260,100개의 픽셀 값에 대한 예측을 하였다.

본 실험에서는 pepper, sail boat, bridge에 대하여 제안된 기법을 사용하여 각각의 영상에 대한 예측 영상

을 생성하였다. 예측 가능영역이 아닌 영역에서는 원본 영상의 픽셀 값을 그대로 예측 영상에 사용하였다. 예측 가능 영역에서는 그림 4의 제안된 방법에 따라 원본 영상을 역 s-순으로 기 스캔한 픽셀 값들을 사용하여 픽셀 값을 예측하고, 예측 된 값을 반올림하여 정수 값으로 변환한 후 예측 영상의 예측 픽셀 값으로 하였다.

제안된 기법의 픽셀 값 예측의 정확도는 예측 가능 영역에서 예측 영상의 픽셀 값과 원본 영상의 픽셀 값을 각 위치별로 비교하였다. 예측 가능영역의 각각의 위치에서 예측 영상의 픽셀 값이 원본 영상의 픽셀 값과 동일하면 예측이 정확한 것으로 판단하였고, 서로 일치하지 않는 경우에는 예측이 부정확한 것으로 판단하였다. 제안된 기법에 대한 실험 결과가 표 1에 나타나 있다.

표 1. 제안된 기법의 실험 결과
Table 1. The experimental results of the proposed algorithm

영상	예측 기법	예측 픽셀 수	정확한 예측 픽셀 수	예측 정확도 (%)	성능향상 (%)
pepper	GAP	260,100	19,683	7.57	x
	제안 기법	260,100	21,436	8.24	8.91
sail boat	GAP	260,100	17,622	6.78	x
	제안 기법	260,100	18,971	7.29	7.66
bridge	GAP	260,100	18,034	6.93	x
	제안 기법	260,100	20,982	8.07	16.35

표 1에서 보는 바와 같이 제안기법을 적용하여 픽셀 값을 예측하면, 기존의 GAP기법에 비하여 예측의 정확도가 최대 16.35% 증가하게 되어 픽셀 값 예측 성능이 향상된다.

5. 결론

본 논문에서는 기존의 GAP기법의 성능을 개선하기 위하여 효과적으로 픽셀 값을 예측하는 기법을 제안하였다. 제안된 기법은 주변 픽셀 값들 사이에 방향성 에지 성분이 미미하고 유사도가 높은 경우, 주변 픽셀들의 유사도를 효과적으로 반영하도록 픽셀 값을 예측하는 기법을 GAP기법에 추가하였다. 제안된 기법을 사용하여 픽셀 값을 예측하면, 픽셀 값 예측 정확도가 GAP기법 대비 최대 16.35% 증가하였다. 주변 픽셀 값들 사이에 유사도가 매우 높은 경우, 주변 픽셀 값들의 유사도가 정밀하게 반영되도록 예측 픽셀 값을 예측하기 때문에 제안된 기법의 예측 정확도가 증가하게 된 것이다.

제안된 기법을 사용하여 픽셀 값을 예측하면, 픽셀 값 예측의 정확도가 증가하기 때문에 제안된 기법은 가역 데이터 임베딩, 가역 워터마킹, 데이터 압축 등의 응용분야에 유용하게 적용될 수 있다.

REFERENCES

[1] X. Wu, N. Memon, “Context-based, Adaptive, Lossless Image Codec,” IEEE Trans. Commun, Vol. 45, No. 4, 1997.
[2] M. Fallahpour, “Reversible image data hiding based on gradient adjusted prediction,” IEICE, Vol. 5, No. 20, pp.870-876, 2008.
[3] S. M. Jung, “Reversible data hiding algorithm using spatial locality and the surface characteristics of image,” Journal of the Korea Society of Computer and Information, Vol. 21, No. 8, pp. 1-12, 2016.
[4] S. M. Jung, “Pixel Value Prediction Algorithm using the Similarity of Adjacent Pixel Values,” The 2017 Fall Conference of Korea Information Electron Communication Technology, 2017
[5] Y. C. Li, C. M. Yeh, and C. C. Chang, “Data hiding based on the similarity between neighboring pixels with reversibility,” Digital Signal Processing, Vol. 20, No. 4, pp. 1116-1128, 2010.
[6] R. Jovanovic, and R. A. Lorentz, “Adaptive Lossless Prediction based Image Compression,” Applied Mathematics & Information Sciences, Vol. 8, No. 1, pp. 153-160, 2014.
[7] B. Ou, Z. Li, Y. Zhao, and R. Ni, “Reversible data hiding using invariant pixel-value-ordering and prediction-error expansion,” Signal Processing: Image Communication, Vol. 29, No. 7, pp. 760-772, 2014.
[8] B. Ou, X. Li, and J. Wang, “High-fidelity reversible

data hiding based on pixel-value-ordering and pairwise prediction-error expansion," Journal of Visual Communication and Image Representation, Vol. 39, pp. 12-23, 2016.

저자약력

정 수 목(Soo-Mok Jung) **[종신회원]**

- 1984 경북대학교 공학사
- 1986 경북대학교대학원 공학석사
- 2002 고려대학교 대학원 컴퓨터학과 이학박사
- 현 재: 삼육대학교컴퓨터학부 교수

<관심분야>
영상처리, 컴퓨터시스템