

# 채널별 색상정보 외삽법 기반 시간적 초해상도 기법을 활용한 전자광학 센서의 프레임률 향상 연구

노상우  
국방기술품질원

## Improvement of Frame Rate of Electro-Optical Sensor using Temporal Super Resolution based on Color Channel Extrapolation

SangWoo Noh

Defense Agency of Technology and Quality

**요약** 시간적 초해상도 기법은 일반 카메라로 찍은 영상을 고속카메라로 찍은 영상과 같이 보일 수 있도록 프레임률을 증가시키는 방법이다. 전자광학 센서는 다양한 감시정찰 무기체계에 탑재되는데, 각 무기체계별 작전요구성능에 따라 필요로 하는 전자광학 센서의 공간적 해상도와 시간적 해상도가 달라진다. 대부분의 영상센서가 30~60 프레임/초로 영상을 촬영하기 때문에, 표적의 이동 및 변화가 이보다 더 빠른 경우 프레임률의 증가가 필요하다. 본 논문은 채널별 색상정보 외삽법을 활용하여 프레임률을 증가시키는 기법을 제안한다. DMD의 각 화소를 카메라 센서의 각 화소와 정합한 후, 카메라 센서의 배이어 패턴에 맞추어 각 채널별로 화소 그룹을 분리한다. DMD를 이용해 일반 카메라의 한 프레임이 채널별로 서로 다른 연속된 노출 시간을 가지도록 조절하여, 촬영한 영상을 프레임률이 증가한 단일채널 영상으로 변환한다. 옵티컬 플로우 기법을 활용하여 각 채널별로 시점에 맞는 가상의 영상을 생성하여, 프레임률이 증가한 단일채널 영상을 컬러채널 영상으로 만들었다. 시뮬레이션을 통해 제안된 시간적 초해상도 기법의 성능을 확인하였다.

**Abstract** The temporal super resolution is a method for increasing the frame rate. Electro-optical sensors are used in various surveillance and reconnaissance weapons systems, and the spatial resolution and temporal resolution of the required electro-optical sensors vary according to the performance requirement of each weapon system. Because most image sensors capture images at 30~60 frames/second, it is necessary to increase the frame rate when the target moves and changes rapidly. This paper proposes a method to increase the frame rate using color channel extrapolation. Using a DMD, one frame of a general camera was adjusted to have different consecutive exposure times for each channel, and the captured image was converted to a single channel image with an increased frame rate. Using the optical flow method, a virtual channel image was generated for each channel, and a single channel image with an increased frame rate was converted to a color channel image. The performance of the proposed temporal super resolution method was confirmed by the simulation.

**Keywords** : Color channel extrapolation, Dynamic micromirror device, Frame rate, Optical flow, Temporal super resolution

### 1. 서론

전자광학 센서는 정찰위성 및 중·고고도 무인기와

같은 대형 감시정찰 체계에서부터 지상 무인로봇 및 개인용 관측장비에 이르기까지 다양한 감시정찰 무기체계에 활용되고 있다.

본 논문은 저자의 2014년 석사학위 청구논문을 요약, 보완하였다.

\*Corresponding Author : SangWoo Noh(Defense Agency for Technology and Quality.)

Tel: +82-55-751-5564 email: swnoh@dtqa.re.kr

Received January 20, 2017

Revised (1st February 22, 2017, 2nd March 14, 2017)

Accepted May 12, 2017

Published May 31, 2017

각 무기체계별 작전요구성능에 따라 필요로 하는 전자광학 센서의 공간적 해상도와 시간적 해상도가 달라진다. 대부분의 영상센서가 30~60 프레임/초로 영상을 촬영하기 때문에, 표적의 이동 및 변화가 이보다 더 빠른 경우 프레임률 증가가 필요하다. 프레임률을 증가시키기 위한 방법으로는 고속 카메라와 같은 고사양의 하드웨어를 사용하는 방법과 영상처리 알고리즘을 활용한 시간적 초해상도 기법이 있다. 고사양의 하드웨어는 높은 성능이 보장되지만, 장비의 가격이 매우 비싸며, 시간적 초해상도 기법을 활용하면 성능은 고사양 하드웨어 대비 부족하지만 일반적인 전자광학 센서에서도 프레임률을 증가시킬 수 있다.

본 논문에서는 채널별 색상정보 외삽법을 활용하여서, 기존에 시도 되지 않았던 새로운 방법으로 영상의 프레임률을 향상시켰다. 제안된 방법은 기존의 방법들 대비 해상도 손실이 적은 장점을 가지고 있다.

## 2. 관련 연구

기존 시간적 초해상도 기법으로는 연속되는 두 장의 이미지를 보간법을 이용해서 시간축 상으로 사이에 해당하는 이미지를 만들어내는 방법[1-3]과 특수 장치를 사용하여 획득한 한 프레임을 여러 프레임으로 만드는 방법[4-7]이 있다.

두 장의 이미지를 보간법을 이용해서 가상의 이미지를 만들어 내는 방법은 연속되는 두 장의 이미지간의 움직임을 추적하여, 이 움직임의 경로를 구해서, 구해진 경로에 따라 가상의 이미지를 만들어 내는 방법이다. 이러한 방법의 장점은 입력으로 두 장의 사진만이 필요하기 때문에, 기존에 이미 찍어놓은 영상으로도 프레임률을 증가시키는 것이 가능해서, 애니메이션 제작과 같은 엔터테인먼트 분야에서도 다양한 응용이 가능하다. 하지만 이러한 보간 방법으로는 선형적 움직임과 간단한 변화에 대해서만 프레임률 증가가 가능하며, 두 이미지 사이에 비선형적인 움직임을 가지는 물체에 대해서는 프레임률 증가가 불가능하다.

특수 장치를 활용하는 방법은 사용되는 LCOS (Liquid Crystal on Silicon) 또는 DMD (Digital Micromirror Device)와 같은 장비를 활용해서 카메라의 화소별로 다른 노출시간을 가지게 하는 방법이다. DMD의 한 화소와 카메라 센서의 한 화소를 각각 정합시키면,

카메라의 노출시간 동안 화소별로 자유롭게 노출시간을 제어할 수 있다. DMD와 일반 카메라를 사용하여 시간과 공간을 trade-off 시키는 방법을 통해서 영상의 프레임률을 증가시킬 수 있고[4], 압축적 감지(compressive sensing) 등의 기법을 이용하여 시간과 공간 해상도의 trade-off 를 넘어설 수 있다[5-7].

## 3. 제안하는 시간적 초해상도 기법

### 3.1 DMD를 활용한 시간적 정보 분할

DMD의 각 화소를 카메라 센서의 각 화소와 일대일로 정합한 후, 카메라 센서의 Fig. 1과 같은 베이어 패턴에 맞추어 R, G, B 각 채널과 정합된 DMD의 화소 그룹을 생성한다.

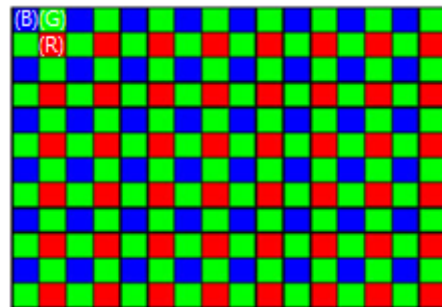


Fig. 1. Bayer pattern of camera sensor  
(R) Red, (G) Green, (B) Blue

DMD 센서의 노출 주기를 카메라 센서의 프레임률과 일치시키고, Fig. 2의 (a) 좌측과 같이 R, G, B 채널과 정합된 각 그룹별 노출 시간을  $\frac{1}{3}$ 로 줄이고, 각 그룹 간의 노출 시간이 겹치지 않도록 안배한다. 위와 같은 방법으로 촬영된 매 프레임은 서로 다른 시간대의 단일 채널 정보만을 가지고 있는 세 프레임으로 분리할 수 있다.

제안하는 시간적 초해상도 기법은 분리된 단일 채널 영상 세 프레임과 유틸리티 플로우 추정 기법을 활용하여 가상의 단일 채널영상 여섯 프레임을 생성하고 Fig. 2의 (a)와 같이 프레임률을 3배로 증가시킨다. Fig. 2의 (b)와 같이 연속된  $t_1, t_0, t_1$  시점의 R, G, B 단일채널 영상 중 R, G 채널의 영상과 G, B 채널의 영상을 각각 유틸리티 플로우 추정 기법을 이용하여  $t_0$  시점의 가상의 R 채널 영상과 B 채널 영상을 생성한다.

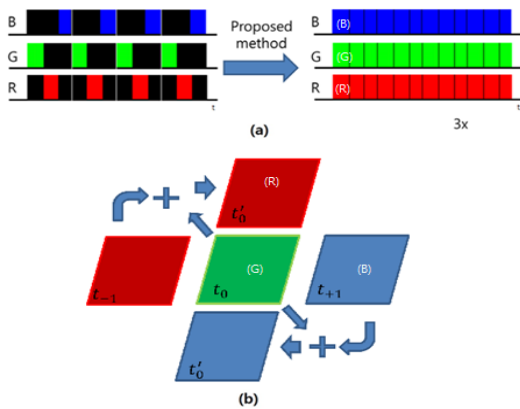


Fig. 2. Proposed Temporal super resolution sequence (R) Red, (G) Green, (B) Blue

### 3.2 미세한 움직임을 보존하는 옵티컬 플로우 추정 기법

기존의 T. Brox 등의 옵티컬 플로우 추정 기법[8]과 A. Bruhn 등의 모션 추정 기법[9]은 미세한 움직임과 큰 이동에 대하여 취약하다. 큰 이동에서는 정확한 움직임의 추정 자체가 부정확한 경우가 많고, 미세한 움직임에 대해서는 움직임을 감지하지 못하고 정지해있는 상태로 잘 못 추정하는 경우가 발생한다. 이는 옵티컬 플로우에서 사용하고 있는 점진적 정확도 향상 기법 체계로 인해 발생한 문제들이다. 빠른 계산을 위해서 해상도를 낮춘 영상으로부터 변화한 근사값을 먼저 추정하고, 이를 바탕으로 점진적으로 해상도를 올리면서 값을 추정함으로써 해상도를 낮춘 영상에서 근사값이 실제의 움직임과 많은 차이가 나타나면 이는 최종으로 추정된 값에도 큰 영향을 끼치기 때문이다.

본 논문에서는 미세한 움직임을 보존하는 옵티컬 플로우 추정 기법[10]을 활용하여 가상 채널 영상을 생성하였다. 미세한 움직임을 보존하는 옵티컬 플로우 추정 기법은 초기값 설정시 점진적 향상 기법 외에 특징점 정합과 패치 정합을 추가하여 옵티컬 플로우의 움직임으로 추정될 수 있는 대상을 늘리고, 입력 데이터에 따라서 영역별로 색상정보를 기준으로 최적화를 진행할 것인지 경계선정보를 기준으로 최적화를 진행할 것인지 선택하였다.

두 장의 영상  $I_1$ 과  $I_2$ 로부터 두 영상 간의 움직임을 추정한 옵티컬 플로우를  $u$ 로 나타낸다. 점진적 정확도 향상 기법 체계만을 사용하여 구한 옵티컬 플로우를  $u^c$ 라고 한다. 기존의 옵티컬 플로우는 후보군  $u^c$ 속에서 식(1)을 최소화 시키는 최적화를 통해  $u$ 를 구하는 것이다.

$$E_D(u) = \sum_x \frac{1}{2} \| I_2(x+u) - I_1(x) \|^2 + \frac{1}{2} \tau \| \nabla I_2(x+u) - \nabla I_1(x) \|^2 \quad (1)$$

여기서  $\tau$ 는 색상값과 경계선 값이 결과에 미치는 영향을 한쪽에 치우치지 않게 하기 위한 상수이고,  $\nabla$ 는 경계선 근사화를 시키는 연산자이다. 특징점 정합으로 밀도는 적지만 이 특징점의 이동을 나타낸 시프트 플로우  $u^i$ 와 패치 정합을 이용한 패치 플로우  $u^n$ 을 구하여 후보군  $u^c$ ,  $u^i$ ,  $u^n$ 속에서 식(2)를 최소화 하였다.

$$E_D(u, a) = \sum_x a(x) \| I_2(x+u) - I_1(x) \|^2 + (1-a(x)) \tau \| \nabla I_2(x+u) - \nabla I_1(x) \|^2 \quad (2)$$

$a(x)$ 는 경계선과 색상정보를 선택적으로 고르는 이진 함수이다. 패치 정합을 이용한 패치 플로우  $u^n$ 은 식(3)을 최소화 시킴으로써 구할 수 있는데, 이 중  $N(x)$ 는  $x$ 를 중심으로 하는  $5 \times 5$  크기의 패치를 의미한다.

$$E(u^n, a) = \sum_{y \in N(x)} \sum_k a(x) \| I_2^k(y + u^n(x)) - I_1^k(y) \|^2 \quad (3)$$

$u^i$ 는 두 영상 간의 특징점 정합을 통해서, 각 특징점들이 좌표평면상에서 어떻게 이동했는지 행렬을 구하고, 행렬들이 집합으로 구해진다.

## 4. 실험 및 결과

제안하는 시간적 초해상도 기법의 실험을 위해서 DMD로 찍은 것과 같은 영상을 생성 후 실험을 진행하였다. 실험을 위해 만든 가상 영상은 일반 비디오 영상 중 연속하는 3프레임의 R, G, B 채널에 해당하는 각 채널의 정보를 취합하여, 채널별로 영상이 촬영된 시점이 다른 가상의 프레임 Fig. 3을 만들었다.



Fig. 3. Virtual images generated by R, G, B color channel integration

Fig. 4와 Fig. 5는 채널별 색상정보 외삽법 기반 시간적 초해상도 기법을 적용한 실험 결과이다. 좌측은 위에서 생성한 가상의 프레임으로 8 프레임/초 이며, 우측은 좌측 영상의 R, G, B 와 미세한 움직임을 보존하는 옵티컬 플로우 기법을 적용하여 생성한 가상의 채널영상을 결합하여 24프레임/초로 프레임률을 3배 증가시킨 실험 결과이다. 움직이는 사람의 특정 부분이 배경과 정합되는 것을 제외하면, 비교적 안정적인 결과가 얻어진 것을 확인할 수 있었다.



Fig. 4. Simulation result(1) with Optical flow method



Fig. 5. Simulation result(2) with Optical flow method

## 5. 결론

본 논문에서는 프레임률 향상을 위한 채널별 색상정보 외삽법 기반 시간적 초해상도 기법을 제안하였다. 제안한 기법은 DMD와 미세한 움직임을 보존하는 옵티컬 플로우 추정 기법을 활용하는 시간적 초해상도 기법으로 카메라의 프레임률이 3배 향상되도록 하였다. 기존의 시

간적 초해상도 기법들이 프레임률이 향상될 때에 시간과 공간 상의 trade-off 에 영향을 받는 것과 달리 제한한 기법은 카메라 센서에서 베이어 패턴을 통해 획득한 각 채널이 디모자이크(demosaic) 되기 전에 분리하여 프레임률을 향상시킴으로써, 공간의 해상도에 영향을 주지 않았다. 제한한 기법은 기존의 방법들과 달리 색상정보를 활용하여 프레임률을 향상시키기 때문에, 일반 카메라를 사용하는 기존의 방법들과 병용가능하며, 이를 통해 기존의 방법들의 한계치에서 프레임률을 3배 향상시킬 수 있다.

## References

- [1] D. Mahajan, F. C. Huang, W. Matusik, R. Ramamoorthi, and P. Belhumeur, "Moving gradients: a path-based method for plausible image interpolation." *Proceedings of SIGGRAPH*, 2009.  
DOI: <https://doi.org/10.1145/1531326.1531348>
- [2] T. Brox, A. Bruhn, N. Papenberg, and J. Weickert, "High accuracy optical flow estimation based on a theory for warping." *European Conference on Computer Vision (ECCV)*, pp. 25-36, 2004.  
DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-540-24673-2\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-540-24673-2_3)
- [3] C. Wang, L. Zhang, Y. He, and Y. P. Tan, "Frame rate up-conversion using trilateral filtering." *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology (TCSVT)*, Vol. 20, Issue. 6, pp. 886-893, 2010.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/TCSVT.2010.2046057>
- [4] G. Bub, M. Tecza, M. Helmes, P. Lee, and P. Kohl, "Temporal pixel multiplexing for simultaneous high-speed, high-resolution imaging." *Nature methods*, Vol. 7, Issue. 3, pp. 209-211, 2010.  
DOI: <https://doi.org/10.1038/nmeth.1429>
- [5] J. Gu, Y. Hitomi, T. Mitsunaga, and S. Nayar, "Coded rolling shutter photography: Flexible space-time sampling." *IEEE International Conference on Computational Photography (ICCP)*, 2010.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/ICCPHOT.2010.5585094>
- [6] D. Reddy, A. Veeraraghavan, and R. Chellappa, "P2C2: Programmable pixel compressive camera for high speed imaging." *Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2011.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/CVPR.2011.5995542>
- [7] D. Liu, J. Gu, Y. Hitomi, M. Gupta, T. Mitsunaga, and S. Nayar, "Efficient Space-Time Sampling with Pixel-wise Coded Exposure for High Speed Imaging." *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (PAMI)*, Vol. 36, Issue. 2, pp. 248-260, 2013.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2013.129>
- [8] T. Brox, A. Bruhn, N. Papenberg, and J. Weickert. High accuracy optical flow estimation based on a theory for warping. *European Conference on Computer Vision (ECCV)*, pp. 25 - 36, 2004.  
DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-540-24673-2\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-540-24673-2_3)
- [9] A. Bruhn and J. Weickert. Towards ultimate motion estimation: Combining highest accuracy with real-time performance. *International Conference on Computer Vision (ICCV)*, pp. 749 - 755, 2005.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/iccv.2005.240>
- [10] L. Xu, J. Jia, and Y. Matsushita, "Motion detail preserving optical flow estimation." *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (PAMI)*, Vol. 34, Issue. 9, pp. 1744-1757, 2012.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2011.236>

노 상 우(SangWoo Noh)

[정회원]



• 2013년 12월 ~ 현재 : 국방기술품  
절원 연구원

<관심분야>  
영상처리, 로봇