

비디오 카메라의 효과적인 자동 초점 조절 기술

이 준 석(李 峻 碩), 최 강 선(崔 强 善), 고 성 재(高 成 濟)

고려대학교 전자공학과

전화 : (02) 925-5379 / 팩스 : (02) 928-0179

Effective Autofocusing Technique for Video Camera

Jun-Suk Lee, Kang-Sun Choi, Sung-Jea Ko

School of Electronics Engineering Korea University

E-mail : oldy@dali.korea.ac.kr, purely@dali.korea.ac.kr, sjko@dali.korea.ac.kr

Abstract

In this paper, a new autofocusing technique which is resistive to noise generated by the CCD of video cameras is proposed. In the proposed scheme, the frequency selective weighted median (FSWM) filter is utilized to estimate the degree of focus and the fast hill-climbing search (HCS) strategy is exploited to determine the best focused image. Since the FSWM filter can not only extract high frequency components from the image, but also eliminate impulsive noise, the proposed autofocusing method employing the FSWM criterion function can estimate the degree of focus precisely. Furthermore, the proposed real-time HCS algorithm enables the video camera to continuously focus on dynamic images. Experimental results demonstrate that the proposed technique outperforms existing techniques by enhancing the accuracy of the focus value of the video camera without the influence of noise.

I. 서론

비디오 카메라의 영상은 초점이 맞아갈수록 점점 선명해 지는데, 이것은 영상의 고주파 성분이 증가함을 의미한다. 영상 처리를 이용한 자동 초점 조절은

고주파 성분을 가장 많이 포함한 영상이 얻어지는 곳에 정확히 렌즈를 위치시키는 기술이다 [1], [2]. 이 때 렌즈의 위치에 따른 영상의 고주파 성분값을 초점값 (focus value)이라 하고, 초점값이 최대인 곳을 정(頂) 초점이라 한다. 그림 1은 자동 초점 조절의 개념을 보여준다.

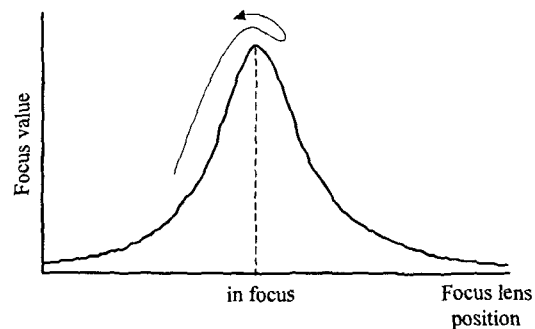


그림 1 자동 초점 조절의 개념

Fig. 1 The concept of autofocusing.

이 논문에서는 Frequency Selective Weighted Median (FSWM) 필터를 통해 초점값을 계산하고, Hill-Climbing Search (HCS) 알고리즘으로 정초점을 찾는 새로운 자동 초점 조절 방법을 제안한다. 기존의 초점값 측정 방법에는 Sum-Modulus-Difference (SMD) [3], Sum-Modified-Laplacian (SML) [4], Tenengrad [5] 등이 있는데 이런 선형 측정 방법들은 비디오 카메라의 Charge-Coupled Device (CCD) 에서

발생하는 임펄스 잡음(impulse noise)의 영향을 간과하고 있다. 임펄스 잡음은 고주파 성분을 많이 포함하고 있기 때문에, 고주파 성분으로 초점의 정도를 파악하는 방법에서는 영상에 임펄스 잡음이 포함되면 잘못된 초점값이 얻어진다. 이에 반해, FSWM 필터를 사용한 방법은 잡음의 영향을 효과적으로 제거하면서 영상의 고주파 성분을 추출함으로써 정확하게 초점 정도를 측정할 수 있게 한다. HCS 알고리즘은 FSWM 필터를 통해 측정된 초점값을 이용하여 최대 초점값을 가지는 위치로 렌즈를 이동시킨다.

II. FSWM 필터를 이용한 자동 초점 조절 알고리즘

2.1 Frequency Selective Weighted Median (FSWM)

기존의 초점값 측정 방법들은 비디오 카메라의 CCD에서 생긴 임펄스성 잡음(impulsive noise)에 민감한 결과를 보였다 [6]. 그러나, FSWM 필터를 이용한 방법은 임펄스성 잡음을 효과적으로 제거하여 고주파 성분을 얻기 때문에 정확한 초점값을 얻을 수 있다. 이 장에서는 linear-phase FIR 고대역 통과 필터를 기반으로 해서 만들어진 FSWM 필터에 대해 설명한다 [7]. 일반적인 FIR 필터는 다음과 같이 정의된다.

$$y(n) = \sum_{k=0}^{N-1} h(k)x(n-k), \quad (h(k) \in R) \quad (1)$$

만약 이 필터가 linear-phase FIR 저대역 통과 필터(low-pass filter)라면 $h(k) = h(N-k-1)$ 과 같이 대칭 구조를 가진다. 이 경우 필터의 홀수 번째 계수의 부호를 반대로 바꾸면 고대역 통과 필터를 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} y_H(n) &= \sum_{k=0}^{N-1} h_H(k)x(n-k) \\ &= \sum_{k=0}^{N-1} (-1)^k h_L(N-k-1)x(n-k) \\ &= \sum_{l=\text{even}} h_L(N-l-1)x(n-l) \quad (2) \\ &\quad - \sum_{m=\text{odd}} h_L(N-m-1)x(n-m) \\ &= y_1(n) - y_2(n) \end{aligned}$$

식 (2)는 고대역 통과 필터가 두 개의 저대역 부분 필터 $y_1(n)$, $y_2(n)$ 로 나눠짐을 보여준다. 만약 $y_1(n)$, $y_2(n)$ 대신 가중 미디언 필터(weighted median filter)를 사용하면 영상의 경계(edge) 성분은 보호하고 임펄스성 잡음을 제거하여 고대역 통과 필터의 성능을 향상시킬 수 있다. 이를 일반화하면 linear-phase FIR 필터는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$y(n) = \sum_{i=1}^N \alpha_i \cdot y_i(n) \quad (3)$$

여기에서 N 는 부분 필터의 수이고, 필터 $y_i(n)$ 의 계수는 모두 양수 값이며, α_i 는 실수이다. 식 (3)에서 linear-phase 부분 필터 대신 가중 미디언 부분 필터를 사용하고 적당한 α 값을 구함으로써 FSWM 필터를 만들 수 있다.

$$y_{FSWM}(n) = \sum_{i=1}^N \alpha_i \cdot \hat{y}_i(n) \quad (4)$$

FSWM 필터를 수평과 수직 방향으로 적용한 결과를 각각 F_x , F_y 라 하면, 초점값 F 는

$$F = \sum_x \sum_y F_x^2 + \sum_x \sum_y F_y^2 \quad (5)$$

와 같이 구할 수 있다. 이 논문에서는 F 값이 최대가 되는 곳에서 렌즈가 멈추도록 알고리즘을 구현하였다.

2.2 Hill-Climbing Search (HCS) 알고리즘

자동 초점 조절 알고리즘은 실시간 처리를 위해 적은 계산량이 필요하다. 또한 대부분의 피사체는 화면의 중앙에 위치하는 경향이 있다. 따라서, 계산시간이 많이 걸리는 화면 전체보다 중앙의 일부분을 관심 영역으로 사용하면 영상 처리에 필요한 계산량을 줄일 수 있다. 이를 수행하기 위해 화면을 그림 (2)와 같이 분할하였다.

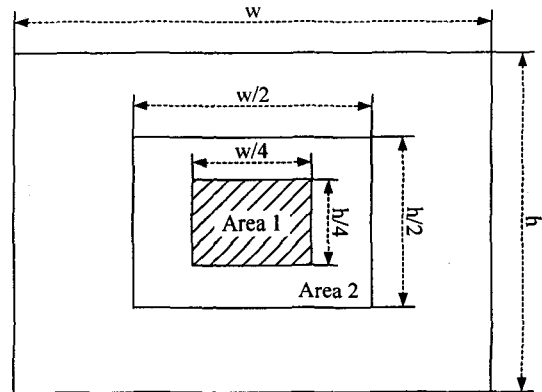


그림 2 화면 분할

Fig. 2 The split screen.

HCS 알고리즘은 탐색 모드(searching mode)와 감시 모드(watching mode)를 수행하는 것으로 구성된다. 탐색 모드는 초점값이 최고가 되는 위치로 렌즈를 이동시키고, 감시 모드는 항상 최대 초점값에 렌즈가 위치하도록 탐색 모드에서 찾은 위치의 초점값 변화를 감

시한다. 그림 (3)은 HCS 알고리즘의 개념을 보여준다.

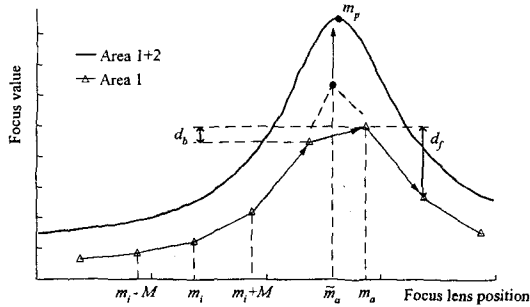


그림 3 HCS 알고리즘의 개념
Fig. 3 The concept of HCS algorithm.

그림 3의 영역 1에는 영역 1+2보다 많은 국부 최대 값이 발생하지만, 영역 1+2보다 계산량이 적기 때문에 영역 1에서 탐색 모드를 시작한다. 먼저 영역 1에서 렌즈가 거리 M 만큼 움직일 때마다 초점값을 측정하고, 그 값이 증가하는 방향으로 렌즈를 이동시킨다. 이렇게 초점값을 일정 간격으로 구함으로써 최대 초점값을 찾는 시간을 단축하고, 국지적인 최대값에서 렌즈가 멈출 확률을 줄일 수 있다.

$$m_j = \begin{cases} m_i + jM, & \text{if } F(m_j) < F(m_i + jM) \\ m_i - jM, & \text{if } F(m_j) < F(m_i - jM) \end{cases} \quad (6)$$

m_i = 현재 렌즈 위치
 m_j = 다음 렌즈 위치, ($j=0, 1, 2, \dots$)
 $F(m)$ = 렌즈 위치가 m 일때 초점값
 $M = L/\beta$ (L =최대 렌즈 스텝 수, β =양의 정수)

식 (6)을 이용하여 렌즈의 이동 방향이 결정되면 렌즈는 초점값이 증가에서 감소로 바뀌는 지점 m_a 를 찾을 때까지 이동한다. m_a 가 구해지면 관심 영역을 영역 1+2로 확장하고, 예측된 정초점 위치 \tilde{m}_a 를 다음과 같이 구한다.

$$\tilde{m}_a = m_a + \left[\frac{M}{2} \times \frac{D_b - D_f}{D_b + D_f} \right] \quad (7)$$

$$\begin{cases} D_b = F(m_a) - F(m_{a-1}) \\ D_f = F(m_a) - F(m_{a+1}) \end{cases}$$

감시 모드는 탐색 모드가 완료된 후 피사체의 움직임을 감시하면서 항상 정초점 위치에 렌즈가 위치하도록 영역 1에서 시작한다. 이전의 정초점 위치에서의 초점값을 F_P , 현재 값을 F 라 하면 두 값의 차 $|F_P - F|$ 가 정해진 임계값 이상이면 영역을 바꿔 감시 모드가 수행된다.

$$\text{감시모드} = \begin{cases} \text{영역 1} & (T_1 < |F_P - F|) \\ \text{영역 1+2} & (T_2 < |F_P - F| < T_1) \end{cases} \quad (8)$$

$$\begin{cases} T_1 = \frac{D_b + D_f + |D_b - D_f|}{k} \\ T_2 = \frac{D_b + D_f + |D_b - D_f|}{l} \end{cases} \quad (k < l)$$

제안된 자동 초점 조절 방법의 전체 구성도를 그림 (4)로 나타내었다.

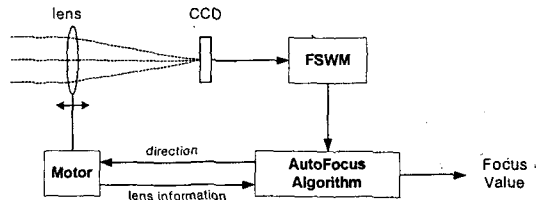


그림 4 제안된 자동 초점 조절 알고리즘
Fig. 4 The proposed autofocus algorithm.

III. 실험 결과 및 분석

HCS 알고리즘에 사용될 초점값을 계산하기 위해 아래의 7-tab FSWM 중간대역 통과 필터를 사용하였다.

$$y = \text{med}\{x(n-1), x(n), x(n+1)\} - \frac{1}{2} \text{med}\{x(n-3), x(n-2), x(n-1)\} - \frac{1}{2} \text{med}\{x(n+1), x(n+2), x(n+3)\}$$

그림 (5)는 기존의 초점값 측정 방법과 FSWM과의 정규화된 초점값 곡선을 그린 것이다.

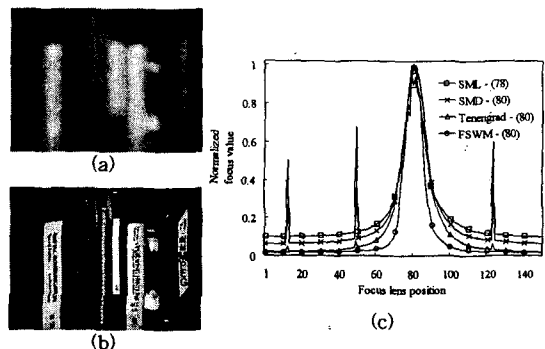


그림 5 잡음이 13, 50, 124번째 프레임에 첨가된 실험 동영상 "Book" (a)흐릿상태 (b)정초점상태 (c)기존의 방법과 제안된 방법의 초점값 비교
Fig. 5 A test sequence "Book" which is contaminated by reading noise occurred at its 13, 50, 124th frames. (a) Out of focus. (b) In focus. (c) Comparison of focus value curves.

FSWM과 Tenengrad 방식이 SML이나 SMD보다 우수한 결과를 보이고, 특히 FSWM만이 임펄스성 잡음을 효과적으로 제거하였음을 알 수 있다.

HCS 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 영역 1에서 예측된 정초점 위치 \tilde{m}_a 와 실제 정초점 위치가 얼마나 차이가 나는지를 정량적으로 표현하는 MSD (Modified Standard Deviation)를 식(10)과 같이 정의하고, 그 결과를 표 1에 나타내었다.

$$MSD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (m_p - \tilde{m}_a)^2}{N}} \quad (10)$$

식 (10)에서 \tilde{m}_a 는 예측된 정초점 위치를, m_p 는 실제 정초점 위치를, N 은 실험 횟수를 나타낸다. 표 1은 식 (7)에서 $M=20$ 일 때의 \tilde{m}_a 와 m_p 의 표준 편차를 렌즈의 시작 위치를 달리하면서 20번에 걸쳐 실험한 것을 평균한 결과이다. 평균 MSD가 3.65라는 것은 예측된 정초점 위치 \tilde{m}_a 가 실제 정초점 위치 m_p 와 3.65 렌즈 스텝만큼 떨어져 있음을 의미한다. 실험에서 사용된 비디오 카메라의 최대 렌즈 스텝수가 약 150정도임을 고려하면 두 위치가 매우 가깝다는 것을 알 수 있다.

표 1 HCS 알고리즘 성능 분석
Table 1 The peak estimation procedure performance of HCS algorithm.

실험 영상	정초점 위치	MSD
Shade	77	3.02
Book	80	3.31
Building	73	2.58
Doll	78	3.82
Couple	76	1.32
DarkCactus	83	4.44
DarkDoll	78	3.98
DarkMan	78	3.65
Black & White	71	3.83
LightCactus	84	4.30
LightDoll	76	4.20
Gray	82	3.68
LightMan	80	3.94
People	72	3.52
Average MSD		3.65

IV. 결론

이 논문에서는 FSWM 필터와 HCS 알고리즘을 이용한 새로운 자동 초점 조절 방법을 제안하였다. 자동 초점 조절을 위해서는 정확한 초점값을 얻는 것과, 카메라 렌즈를 정초점 위치로 이동시키는 방법이 필수적이다 [8]. 기존의 초점값 계산 방법들은 영상의 그래디언트를 통해 고주파 성분을 추출함으로써 초점값을 계

산하였다. 그러나 비디오 카메라의 특성으로 인해 발생하는 잡음을 효과적으로 처리하지 못하여 초점값에 오차를 야기시키고, 극부 최대값으로 렌즈를 이동시켜 잘못된 정초점 위치를 얻는 문제점들을 드러내었다. FSWM 필터를 이용하면 잡음과 고주파 성분을 구분하여 정확한 초점값을 계산할 수 있으므로 이 문제점을 해결할 수 있다. 또한 HCS 알고리즘은 FSWM 필터를 통해 얻은 초점값을 기반으로 탐색과 감시 모드를 수행하면서 렌즈의 시작 위치에 관계없이 정초점 위치를 찾아내었다. 특히 화면 전체 대신 일부 영역만을 사용하고, 초점값 계산 위치를 들성하게 잡음으로써 정초점 위치를 찾는 시간이 줄어드는 장점이 있다. 실험을 통해 제안된 자동 초점 조절 알고리즘의 우수한 성능을 확인하였다.

References

- [1] K. Ooi, K. Izumi, M. Nozali, and I. Takeda, "An advanced autofocus system for video camera using quasi condition reasoning," *IEEE Trans. Consumer Electronics*, vol. 36, pp. 526-529, Mar. 1990.
- [2] K. -S. Choi and S. -J. Ko, "New Autofocusing Technique Using the Frequency Selective Weighted Median Filter for Video Cameras," *Proc. of 1999 IEEE International Conference on Consumer Electronics*, vol. 99CH36277, pp. 160-161, Los Angeles, CA, Jun. 1999.
- [3] R. A. Jarvis, "Focus optimization criteria for computer image processing," *Microscope*, vol. 24, no. 2, pp. 163-180, 1976.
- [4] S. K. Nayar and Y. Nakagawa, "Shape from focus," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 16, pp. 824-831, Aug. 1994.
- [5] J. M. Tenenbaum, *Accommodation in computer vision*, Ph.D. thesis, Stanford University, 1970.
- [6] 이성희, 김주현, 최병태, 고성제, "미디어 필터의 차이를 이용한 비디오 카메라의 자동초점조절 알고리즘," *한국통신학회*, 제 23권, 제 1호, pp. 41-51, Jan. 1998.
- [7] K. S. Choi and K. H. Lee and S. J. Ko and A. W. Morales, "Frequency selective weighted median filters," *Proc. IS&T/SPIE Symposium on Electronic Imaging*, vol. 3646, Jan. 1999.
- [8] A. Horii, "The focusing mechanism in the KTH head-eye system," Tech. Rep., ISRN KH, 1992.