논문 2015-10-01

조명 조건에 강건한 스마트폰 카메라 맥박 측정을 위한 다이내믹 레인지 재구성 알고리즘

(Dynamic Range Reconstruction Algorithm for Smart Phone Camera Pulse Measurement Robust to Light Condition)

박 상 욱*, 차 경 래
(Sang Wook Park, Kyoungrae Cha)

Abstract : Recently, handy pulse measurement method was introduced by using smart phone camera. However, measured values are not consistent with the variations of external light conditions, because the external light interfere with dynamic range of captured pulse image. Thus, adaptive dynamic range reconstruction algorithm is proposed to conduct pulse measurement robust to light condition. The minimum and maximum values for dynamic ranges of green and blue channels are adjusted to appropriate values for pulse measurement. In addition, sigmoid function based curve is applied to adjusted dynamic range. Experimental results show that the proposed algorithm conducts suitably dynamic range reconstruction of pulse image for the interference of external light sources.

Keywords : Dynamic range reconstruction, Pulse measurement, Smart phone camera, Light condition, Image restoration

Ⅰ. 서 론

최근에 스마트폰 카메라를 이용하여 간편하게 맥박을 측정하는 방법에 대한 많은 연구[1-5]가 진행되고 있으며, 이를 상용화한 다양한 어플리케이션들이 개발되고 있다. 주로 스마트폰 카메라의 플래시를 켠 상태에서 렌즈 부분에 검지를 밀착하여 동영상을 촬영하면 혈류 변화에 따른 영상의 밝기 변화를 감지하여 맥박을 측정하는 방식[1, 3]이다. 맥박은 신체의 건강 상태를 점검하는데 필수적인 지표이기 때문에 이와 같이 간편한 측정 방법의 개발이 활발히 진행되고 있다. 그러나 기존에 개발된 스마트폰 카메라를 이용한 맥박 측정 방법 들은 측정 시 외부 조명 조건에 따라 측정값의 정확도가 달라지는 문제점이 있다. 즉, 외부 조명이 일반적인 실내 또는 주광 조건일 경우 맥박 측정값의 편차가 커지고 심한 경우 맥박의 감지 자체가 이뤄지지 않기도 한다.

스마트폰 카메라를 이용한 맥박 측정은 먼저 카메라의 플래시가 켜진 상태에서 검지 손가락을 접촉하여 그 손가락의 혈류 변화의 실시간 비디오로 촬영하는 과정, 입력된 맥박 비디오 영상으로부터 주기적인 맥박 신호를 추출하는 과정, 마지막으로 추출된 맥박 신호 데이터를 분석하고 최종적으로 맥박 수를 판단하여 표시하는 과정으로 이뤄져 있다. 입력된 맥박 비디오 영상으로부터 주기적인 맥박 신호를 추출하는 과정에 있어서 최근 rejection finite state machine (FSM)을 이용하는 접근 방법 [3], 맥박 신호와 그것의 fast fourier transform (FFT)를 한 신호를 동시에 이용하여 신호 주기 판단을 하는 접근 방법 [4] 등 다양한 기법을 이용한 연구가 이뤄지고 있다. 그러나 스마트폰을 이용한 맥박 측정의 활용 범위를 다양하게 하기 위해는 맥박 측정 시스템의 가장 첫 단계에서 이뤄지는 맥박 입력 비디오 영상의 개선 처리 방법에 대한 연구가

*Corresponding Author (swpark@dgmif.re.kr)
Received: 29 Sep. 2014, Accepted: 28 Oct. 2014.
S.W. Park, K. Cha: Daegu-Gyeongbuk Medical Innovation Foundation
※ 본 연구는 한국전자통신연구원의 연구 개발 사업 (과제명: “지역 기반 의료 기기·의료 로봇 기술 개발 및 의료 IT 융합 중소기업 활성화 사업”, 14ZC3110)으로 수행한 연구결과입니다.

ⓒ IEMEK J. Embed. Sys. Appl. 2015 Feb.: 10(1) 1-6
ISSN : 1975-5066
http://dx.doi.org/10.14372/IEMEK.2015.10.1.1

필요하다. 특히 외부 조명 조건의 변화에 강건한 맥박 측정이 가능한 맥박 측정 시스템을 구현하기 위해서는 입력 맥박 비디오 영상의 다이내믹 레인지에 대한 개선 및 복원 과정 필요하다.

맥박 입력 영상은 혈류가 측정된 것으로서 붉은 색 컬러 영상으로 획득된다. 그러므로 기존 [4] 방법 등에서는 hue saturation intensity (HSI) 변환을 통해 컬러 색 변화를 감지하는 방법이 제시되었으며, 일반적인 영상 센서 소자를 통한 컬러 영상 획득의 파이프라인에 있어서 보정 및 개선 방법에 대하여는 [6-7] 등에서 연구 되었다. 한편, 외부 조명 변화에 대해서 입력 영상의 다이내믹 레인지가 가장 큰 영향을 받게 되는데 영상의 다이내믹 레인지를 개선하는 방법에 대해서는 [8]에서 제시된 방법 이래로 다이내믹 레인지의 해상도를 증대시키는 개념인 하이 다이내믹 레인지 구현을 위해 retinex 적응 필터를 이용한 방법 [9], 다양한 조명 조건에 자동으로 변화되는 상위 커브와 하위 커브를 적용하는 방법 [10] 등이 연구되었다.

본 논문에서는 먼저 조명 조건의 변화에 따른 입력 영상의 다이내믹 레인지의 품질 저하 현상의 원인을 분석하고, 이를 개선하기 위해 입력 영상의 휘도 영상에 대한 다이내믹 레인지에 대하여 적응적인 최대값 및 최소값을 적용한 후, sigmoid 커브 함수 통과를 통해 입력 영상의 다이내믹 레인지 품질을 향상시키는 알고리즘을 제시하고자 한다.

Ⅱ. 조명 조건에 강건한 다이내믹 레인지 재구성 알고리즘

그림 1 (a)의 그림과 같이 맥박 측정을 위해 입력되는 영상은 상단 좌측 적색 영상이다. 입력 영상의 우측 부분에 플래시가 비춰진다. 입력 영상은 그림 1 (a)의 하단 히스토그램에서와 같이 다이내믹 레인지가 매우 작은 상태로 입력되기 때문에 입력되는 영상으로부터 맥박을 측정하기 위한 밝기 값의 변화의 특징을 추출하기가 쉽지 않다. 게다가 일상적인 밝은 외부 조명의 환경에서 영상을 취득할 경우 플래시에 의한 영향은 줄어들고 외부 조명의 간섭 때문에 입력 영상의 이완기와 수축기의 밝기 값 차이는 더욱 줄어들어 결국 맥박 측정의 정확도는 크게 감소하게 된다.

그러므로 그림 1 (b)의 하단에서와 같이 입력 영상의 히스토그램을 넓게 하여 다이내믹 레인지를 재구성 하여 맥박 영상의 이완기와 수축기의 변화

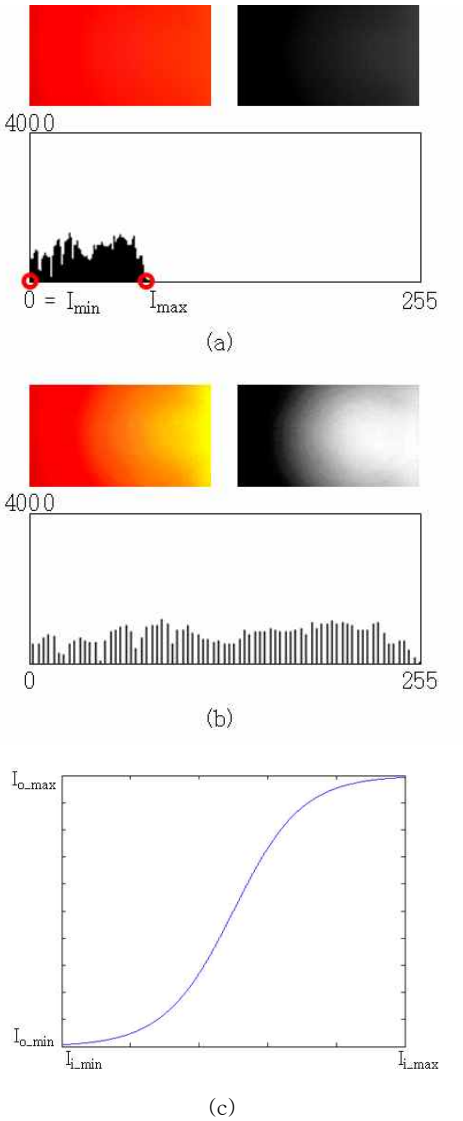

그림 1. (a) 외부조명 10 Lux에서 이완기 휘도 영상에 대한 히스토그램, (b) 제안된 알고리즘을 (a)에서의 영상에 적용한 결과와 그 히스토그램, (c) 입력 영상의 휘도 값을 결과 영상의 휘도 값으로 대응시키는 (1)의 sigmoid 함수

Fig. 1 (a) Histogram of release luminance image for 10 Lux external light, (b) histogram of proposed method result for 10 Lux external light, (c) sigmoid curve function of (1) to change input intensity values to output intensity values

양상의 특징을 파악하기 용이하게 만들어줄 필요가 있다. 특히, 외부 조명의 간섭이 심한 일반 조도의 환경에서도 그렇지 않은 이상적인 경우에서의 영상에서 맥박 영상이 획득 되는 것과 같이 일관성 있게 다이내믹 레인지를 재구성하는 과정이 필요하다.

따라서 입력 영상의 밝기 값 I_i을 그림 1 (c)에서와 같이 S자 모양의 곡선을 갖는 sigmoid 함수 [11]를 통해 넓은 다이내믹 레인지를 갖는 밝기 값 I_o로 변환하는 다음의 식 (1)을 적용한다.

$$I_o = \begin{cases} I_{o_\min} & , I_i < I_{i_\min} \\ \dfrac{1}{1+e^{-\left(I_i - \frac{I_{i_\min}+I_{i_\max}}{2}\right)}} & , I_{i_\min} \le I_i \\ & I_i < I_{i_\max} \\ I_{o_\max} & , I_i \ge I_{i_\max} \end{cases}, \tag{1}$$

이 때, $I_{i_\min}$과 $I_{i_\max}$는 다음의 두 식 (2)와 (3)을 통해 구해진다.

$$I_{i_\min} = \frac{\sum_{I_i(m,n) < k_L} I_i(m,n)}{n(L)}, \quad L = \{(m,n) | I_i(m,n) < k_L\}, \tag{2}$$

$$I_{i_\max} = \frac{\sum_{I_i(m,n) > k_U} I_i(m,n)}{n(U)}, \quad U = \{(m,n) | I_i(m,n) > k_U\}, \tag{3}$$

이 때, (m,n)는 입력 영상 안에서의 가로 세로 좌표 위치 값을 나타내며 $I_i(m,n)$는 그 위치에서의 밝기 값이다. $n(.)$는 어떤 집합의 원소 개수를 구하는 연산이고, k_L 과 k_U는 다음과 같이 구해진다.

$$k_L = \alpha I_i \min, \tag{4}$$
$$k_U = \beta I_i \max, \tag{5}$$

여기서, α와 β는 각각 상수 값이고, $I_i\min$와 $I_i\max$는 다음과 같이 구해진다.

$$I_i\min = \min_{(m,n)\in A}\{I_i(m,n)\}, \tag{6}$$
$$I_i\max = \max_{(m,n)\in A}\{I_i(m,n)\}, \tag{7}$$

여기서, min(.)과 max(.)는 최소값과 최대값을 구하는 연산자이고, A는 입력영상 전체에 대한 색인의 집합이다. $I_{i_\min}$과 $I_{i_\max}$를 위와 같은 식으로 구하는 이유는 다이내믹 레인지 변환에 있어 가장 밝거나 가장 어두운 경계 값의 설정을 단순히 일정한 상수 값으로 정하면 과노출이나 저노출된 영상에서

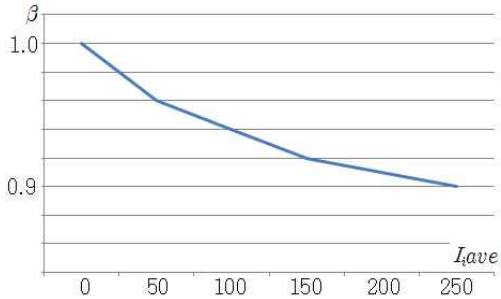

그림 2. 수식 (5)에서 값의 평균 밝기 값 $I_i ave$에 따른 β의 설정 값

Fig. 2 The value β according to average intensity value $I_i ave$ of equation (5)

다이내믹 레인지 재조정 후 영상의 밝기 값이 완전 포화되어 버리는 문제점이 있기 때문이다. 그러므로 입력된 밝기 값의 다이내믹 레인지 중에서 어두운 값의 구간과 밝은 값의 구간의 평균을 취하여 다이내믹 레인지 조정을 하면, 앞서 언급한 문제점 없이도 외부 조명의 큰 조도 변화에 대해서도 적절한 다이내믹 레인지 조정이 가능하다.

Ⅲ. 실험 및 결과

제안된 방법에 따른 실험을 수행할 때 수식 (2)와 (3)에서의 상수값 α값은 1.1로 설정하였고, β값은 맥박 입력 영상의 특성을 고려하여 입력 영상의 평균 밝기 값에 따라 실험적으로 그림 2에서 보는 바와 같은 곡선에 따른 값으로 설정하였다. 이와 같이 β값을 설정하는 이유는 저조도의 경우에는 k_U 값을 $I_i\max$ 값과 거의 동일한 값으로 설정해도 상관이 없으나, 조도가 높은 경우 과노출에 의해 다이내믹 레인지 재조정 후의 결과 영상이 과포화되는 문제점이 생길 가능성이 커지기 때문에 k_U 값을 $I_i\max$ 값보다 더 작게 설정해야 한다.

이 때, α값이 β값 보다 큰 경우에는 α값을 β값과 같게 설정하였다. $I_i ave$ 값은 다음의 식 (8)을 통해 밝기 값의 평균을 계산하는 방식으로 구해진다.

$$I_i ave = \frac{\sum_{(m,n)\in A} I_i(m,n)}{n(A)}. \tag{8}$$

그림 3의 외부 조명 10 Lux는 외부 조명의 간섭이 없어 맥박 측정의 정확도가 높은 경우이고 그

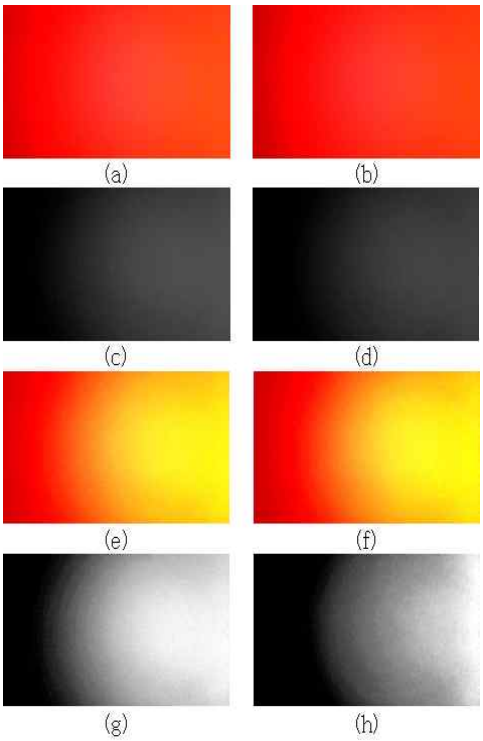

그림 3. 외부 조명 10 Lux에서 검지 실험 결과 영상 (a) 이완기 입력 영상, (b) 수축기 입력 영상, (c) 이완기 휘도 영상, (d) 수축기 휘도 영상, (e) 이완기 제안된 방법 적용 영상, (f) 수축기 제안된 방법 적용 영상, (g) 이완기 제안된 방법 적용 휘도 영상, (h) 수축기 제안된 방법 적용 휘도 영상

Fig. 3. Experimental results of index finger for external light 10 Lux, (a) release period input image, (b) contraction period input image, (c) release period luminance image, (d) contraction period luminance image, (e) release period proposed method result, (f) contraction period proposed method result, (g) release period proposed method luminance result, (h) contraction period proposed method luminance result

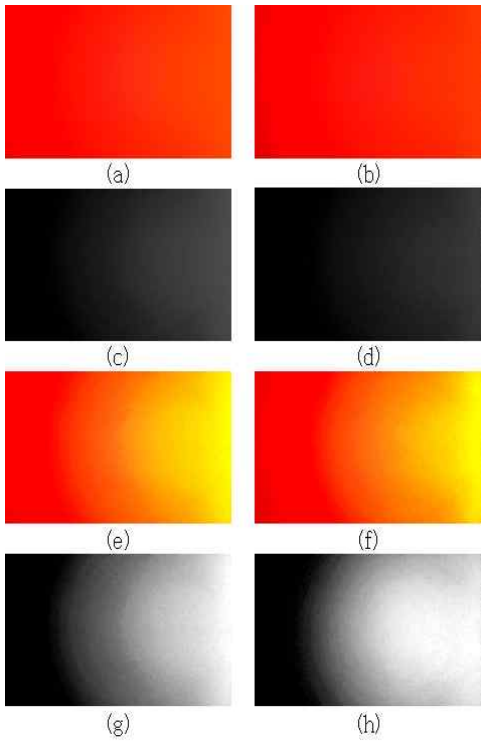

그림 4. 외부 조명 250 Lux에서 검지 실험 결과 영상 (a) 이완기 입력 영상, (b) 수축기 입력 영상, (c) 이완기 휘도 영상, (d) 수축기 휘도 영상, (e) 이완기 제안된 방법 적용 영상, (f) 수축기 제안된 방법 적용 영상, (g) 이완기 제안된 방법 적용 휘도 영상, (h) 수축기 제안된 방법 적용 휘도 영상

Fig. 4. Experimental results of index finger for external light 250 Lux, (a) release period input image, (b) contraction period input image, (c) release period luminance image, (d) contraction period luminance image, (e) release period proposed method result, (f) contraction period proposed method result, (g) release period proposed method luminance result, (h) contraction period proposed method luminance result

림 4의 250Lux는 외부 조명의 간섭이 커 정확한 맥박 측정을 위한 특징 추출이 어려운 영상이다. 그림 3과 그림 4에 모두 제안된 다이내믹 레인지 재구성 알고리즘을 적용하였고, 각 그림의 (e)-(h)에서 보는 바와 같이 다이내믹 레인지가 재구성됨으로써 맥박 영상의 수축기와 이완기의 밝기 값의 차이 식별이 크게 증가하였고, 따라서 외부 조명 조건의 변화와 관계없이 맥박 신호 측정을 위한 특징추출이 쉽게 수행될 수 있게 되었다.

표 1에서 보는 바와 같이 제안된 다이내믹 레인

표 1. 제안된 방법을 적용했을 때의 정확도 증가율
Table 1. Increase accuracy by instrumentation of proposed method.

	10 Lux	250 Lux
측정 정확도 증가율	+6.7%	+10.2%

지 재구성 알고리즘을 적용한 경우에 맥박 측정값의 정확도 증가율이 각 조도에 대하여 6%와 10% 이상 증가하여 맥박 신호 측정의 용이함이 커진 것을 확인할 수 있었다. 맥박 영상을 통해 육안으로 측정한 맥박의 수치가 동일한 환경에서 맥박 측정기를 통해 측정한 값과 ±3% 이내인 경우 정확한 것으로 판단하였다. 각 조도에서 정확도 증가율은 제안된 알고리즘을 적용한 후 맥박을 측정한 경우의 정확도에서 제안된 알고리즘을 적용하지 않고 맥박을 측정한 경우의 정확도 차감하여 계산하였다. 각 조도에서의 10명의 실험자에 대하여 정확도 증가율을 구해 평균값을 표에 나타내었다.

Ⅳ. 결 론

본 논문에서는 외부 조명 조건의 간섭에 강건한 스마트폰 카메라를 이용한 맥박 측정이 가능하도록 하는 다이내믹 레인지 재구성 알고리즘을 제안하였다. 휘도 영상에 대한 다이내믹 레인지에 대하여 적응적인 최대값 및 최소값을 적용한 후, sigmoid 커브 함수 통과를 통해 입력 영상의 다이내믹 레인지를 외부 조명 조건에 상관 없이 맥박 측정에 용이하도록 변환하였다. 그러나 스마트폰 카메라를 통해 입력되는 맥박 영상은 외부 조명 조건의 변화뿐만 아니라, 카메라와 플래시의 상대적 위치 관계와 카메라와 손가락의 접촉 정도의 변화에 따라 맥박의 정확도는 매번 달라진다. 그러므로 향후에는 이러한 다양한 변화 요인을 반영하여 정확한 맥박 신호 획득이 가능하도록 맥박 영상을 개선 및 복원하는 방법에 대한 연구를 계속 진행할 예정이다.

References

[1] P. Pelegris, K. Banitsas, T. Orbach, K. Marias, "A Novel Method to Detect Heart Beat Rate Using a Mobile Phone," Proceedings of IEEE Annual International Conference on the Engineering in Medicine and Biology Society, pp. 548-549, 2010.

[2] J.B. Bolkhovsky, C.G. Scully, K.H. Chon, "Statistical Analysis of Heart Rate and Heart Rate Variability Monitoring Through the Use of Smart Phone Cameras," Proceedings of IEEE Annual International Conference on the Engineering in Medicine and Biology Society, pp. 1610-1613, 2012.

[3] A. Pal, A. Sinha, A.D. Choudhury, T. Chattopadyay, A. Visvanathan, "A robust heart rate detection using smart-phone video," Proceedings of 3rd ACM MobiHoc Workshop on Pervasive Wireless Healthcare, pp. 43-48, 2013.

[4] A. Pal, A. Visvanathan, A.D. Choudhury, A. Sinha, "Improved heart rate detection using smart phone," Proceedings of 29th Annual ACM Symposium on Applied Computing, pp. 8-13, 2014.

[5] S. Xu, L. Sun, G. K. Rohde, "Robust efficient estimation of heart rate pulse from video," Biomedical Optics Express, Vol. 5, No. 4, pp. 1124-1135, 2014.

[6] B. Pham, G. Pringle, "Color correction for an image sequence," IEEE Transactions on Computer Graphics and Applications, Vol. 15, No. 3, pp. 38-42, 1995.

[7] R. Ramanath, W.E. Snyder, Y. Yoo, M.S. Drew, "Color image processing pipeline." IEEE Signal Processing Magazine, Vol. 22, No. 1, pp. 34-43, 2005.

[8] P.E. Debevec, J. Malik, "Recovering high dynamic range radiance maps from photographs," Proceedings of 24th International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, Vol. 31, pp. 369-378, 1997.

[9] L. Meylan, S. Susstrunk, "High dynamic range image rendering with a retinex-based adaptive filter," IEEE Transactions on Image Processing, Vol. 15, No. 9, pp. 2820-2830, 2006.

[10] K. Jacobs, C. Loscos, G. Ward, "Automatic high-dynamic range image generation for dynamic scenes," IEEE Transactions on Computer Graphics and Applications, Vol. 28, No. 2, pp. 84-93, 2008.

[11] G. Tanaka, N. Suetake, E. Uchino, "Image enhancement based on multiple parametric sigmoid functions," Proceedings of Intelligent Signal Processing and Communication Systems, pp. 108-111, 2007.

저 자 소 개

박 상 욱

2001년 연세대학교 전자공과 학사.
2003년 연세대학교 전기전자공학과 석사.
2013년 연세대학교 전기전자공학과 박사.
현재, 대구경북첨단의료산업진흥재단 선임연구원.
관심분야: 의료 영상 처리, 의료 영상 장비 개발
Email: swpark@dgmif.re.kr

차 경 래

1996년 조선대학교 기계공학과 학사.
1996년 조선대학교 기계공학과 석사.
1999년 조선대학교 기계공학과 박사.
현재, 대구경북첨단의료산업진흥재단 책임연구원.
관심분야: 의료로봇, 의료영상기반 수술/치료장치 개발, Email: orotham@dgmif.re.kr