

論文98-35S-3-11

포토 센서를 이용한 모니터용 브라운관의 컨버전스 측정 성능 향상에 관한 연구

(A Study on Improvement of Convergence Measurement Performance of Color Display Tube using Photo Sensors)

宋 原 慶 * , 朴 鍾澈 ** , 卞 增男 *

(Won-Kyung Song, Jongcheol Park, and Zeungnam Bien)

요 약

모니터용 브라운관의 제조를 위한 ITC(Integrated Tube Components) 공정에서 포토 센서를 이용한 컨버전스 측정의 필요성에 대하여 기술한다. 1차원 또는 2차원 CCD카메라를 이용한 컨버전스 측정 방법과 달리, 포토 센서를 이용할 경우 고정된 포토 센서에 대하여 움직이는 영상 패턴을 이용한다. 따라서 포토 센서를 이용한 컨버전스 측정을 일반화 시킬 경우, 위상이 변화하는 주기 신호에서 위상차를 측정하는 문제가 된다. 포토 센서를 이용하여 컨버전스를 측정하는 경우, 시스템의 측정 성능은 동일한 환경에서 반복 측정 시 작은 표준 편차와 컨버전스 변화에 대하여 빠른 측정 속도를 가져야 한다. 위의 두 조건을 고려하여 위상이 변화하는 주기 신호에서 기본파와 고조파를 이용하여 위상차를 실시간으로 측정하는 방법을 기술하였다. 그리고 제안된 방법은 모니터용 브라운관 제조 공정에 이용되는 컨버전스 측정에 적용하였다.

Abstract

In Integrated Tube Components(ITC) process in the manufacturing of color display tube, we describe the necessity of the convergence measurement method using photo sensors. Compared with methods using 1D or 2D cameras, its characteristics is to use of moving image patterns and fixed sensors. This measurement method is formulated as the measurement problem of the phase difference in phase changing periodic signals. The convergence measurement system using photo sensors, for the good performance, must have a small standard deviation for the repetitive measurement in the same condition and a fast measurement time for the convergence change. By above two conditions, we propose the real time measurement algorithm of the phase difference using fundamental and harmonic in phase changing periodic signals. And, the proposed algorithm is applied to the convergence measurement system.

I. 서 론

대규모 산업 공정에서 품질의 확보와 생산성 및 근로 조건의 향상과 관련하여 사람의 시작에 의존해야 했던 많은 부분에 대한 자동화의 요구가 증대되고 있

다. 그 가운데 하나가 브라운관의 생산 공정에 속하는 ITC(Integrated Tube Components)공정^[1]이다. 이 공정은 그림1과 같은 전자총 및 모니터용 브라운관(이하 CDT: Color Display Tube)의 각종 부품의 부정합이나 조립 과정에서 만들어지는 오차를 측정하는

* 正會員, 韓國科學技術院 電氣 및 電子工學科
(Department of Electrical Engineering, KAIST)

** 正會員, 三星電管株式會社 生產技術센타

(Production Engineering Center, Samsung Display Devices Co., Ltd)

接受日字: 1996年4月13日, 수정완료일: 1998年2月20日

부분^[2]과 CPM(Convergence & Purity Magnets)과 편향 요크(Deflection Yoke) 등을 이용하여 오차를 조정하는 부분^[3]으로 이루어 진다. 특히, 오차를 측정하는 부분은 인간이 직접 시각에 의하여 검사하거나 이에 상응하는 시스템을 이용하여야 한다. 본 논문에서는 ITC 공정의 측정 항목 중의 하나인 컨버전스(convergence) 측정 부분을 다루고자 한다.

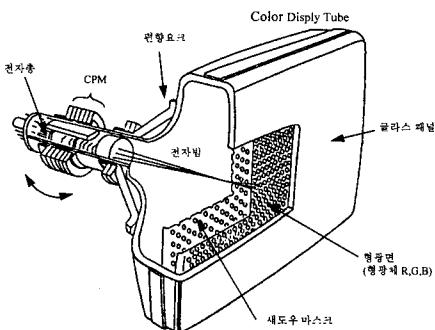


그림 1. 모니터용 브라운관의 구조

Fig. 1. Structure of color display tube.

1. 컨버전스 오차의 측정

컨버전스는 적, 녹, 청(이하 R, G, B)의 세 전자빔이 집중되는 정도를 말한다^[1]. 컨버전스가 좋지 않으면 화면 상의 영상의 경계 부분이 R, G, B 세 색으로 분리되어 보이게 되는 현상이 생긴다. 백색 선 모양의 영상 패턴(image pattern)을 화면에 표시했을 때, 백색 선분을 이루는 R, G, B 각각의 선분이 떨어져 있는 거리를 컨버전스 오차(convergence error)라 한다^[4]. 컨버전스 오차는 수평(x축)과 수직(y축)의 2방향으로 정의된다. 따라서 수평 방향의 컨버전스 오차를 수평 컨버전스 오차라 하고, 수직 방향의 컨버전스 오차를 수직 컨버전스 오차라 한다. 구체적으로 크로스(cross) 영상 패턴이 그림 2와 같이 화면에 표시될 때 식(1)과 같이 컨버전스 오차가 정의된다. 식(1)에서 E의 아래 첨자 x 및 y는 각각 수평 및 수직 방향을 의미하고, 위 첨자 RG의 경우 G 전자빔을 기준으로 R 전자빔의 오차를 의미한다.

$$E_x^{RG} = x^R - x^G, \quad E_x^{BG} = x^B - x^G \quad (1)$$

$$E_y^{RG} = y^R - y^G, \quad E_y^{BG} = y^B - y^G$$

단, x^R, x^G, x^B 는 수평 방향의 R, G, B 전자빔의 위치

y^R, y^G, y^B 는 수직 방향의 R, G, B 전자빔의 위치

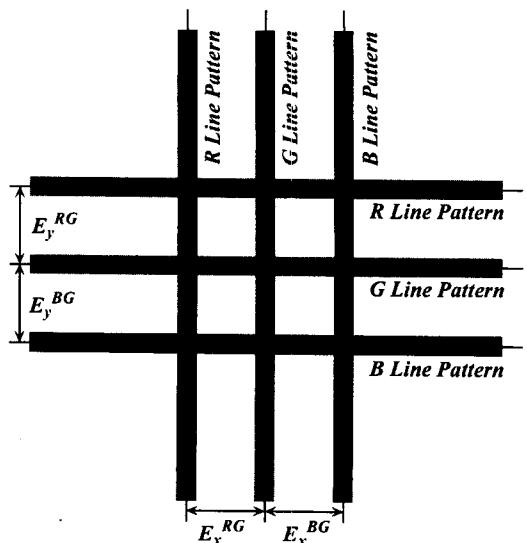


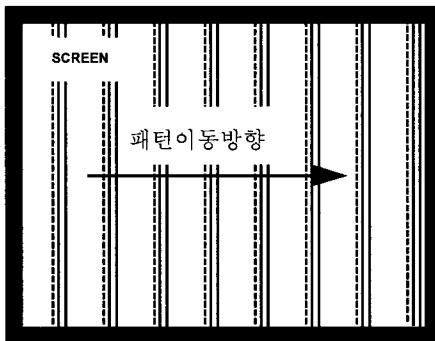
그림 2. 컨버전스 오차

Fig. 2. The convergence error.

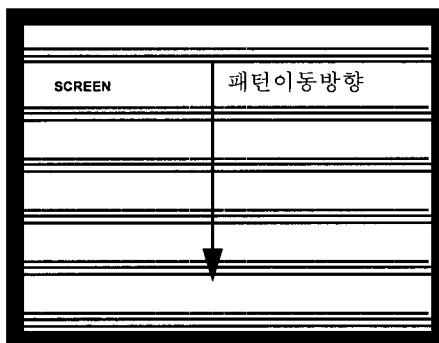
일반적인 컨버전스 오차를 측정하는 방법은 전문가의 시각에 의한 직접적인 컨버전스 오차 측정 방법^[1] 이외에 두 가지가 있다. 첫째, 1차원 카메라를 이용한 컨버전스 오차 측정 방법이다^[1]. 이 방법은 R, G, B의 세 개의 직선을 화면상에 표시한 뒤에 1차원 CCD(Charge Coupled Device) 카메라를 이용하여 세 개의 직선의 발광 무게 중심 사이의 거리 정보를 얻음으로 컨버전스 오차를 측정하는 방법이다. 수평 및 수직의 두 방향의 컨버전스 오차를 측정하기 위해서는 두 개의 1차원 CCD 카메라가 필요하다. 따라서, 컨버전스 오차를 측정하고자 하는 부분에 카메라를 장착할 때, 공간상의 제약에 의하여 두 개의 카메라를 정확히 같은 지점에 장착할 수 없으므로 수평 및 수직 컨버전스 오차가 측정 되는 곳이 약간씩 달라진다는 단점이 있다. 둘째, 2차원 CCD 카메라를 이용한 컨버전스 오차 측정 방법^[5]으로, 컨버전스 오차 측정 방법은 거의 동일하나 2차원 CCD 카메라 한 개로 측정을 하기 원하는 곳의 수평 및 수직 컨버전스 오차를 동시에 측정할 수 있다는 장점을 가진다. 그러나, 1차원 CCD 카메라에 비하여 카메라의 가격이 상대적으로 높다는 단점을 가진다.

컨버전스 오차는 동일한 CDT라도 측정하는 위치에 따라 다른 값을 가진다. 특히, ITC 공정의 최종 단계에

서는 CDT의 조정이 잘 되었는지를 확인하기 위해서 수십 곳에 대하여 컨버전스 오차를 정밀하게 측정하여야 한다^[5]. 이때, 1차원 CCD카메라나 2차원 CCD카메라를 이용한 방법은 카메라 자체의 크기에 의하여 장착 가능한 카메라의 수가 제한되므로 십여 군데 이상의 부분을 동시에 측정하기가 힘들다. 본 논문에서는 이에 대한 해결책으로 1, 2차원 CCD카메라에 비하여 크기가 작고 다루기가 쉬우며 가격이 저렴한 포토 센서(photo sensor)를 이용하고자 한다.



(a) 수직선 모양의 영상패턴



(b) 수평선 모양의 영상패턴

그림 3. 영상 패턴

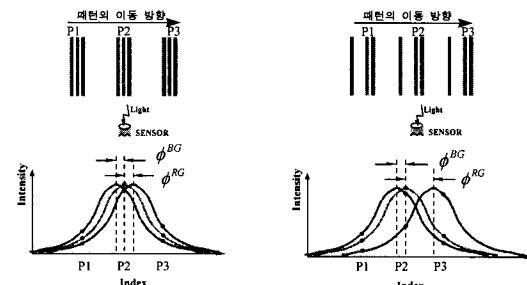
Fig. 3. Image pattern.

포토 센서를 사용한 컨버전스 오차의 기본적인 측정 원리는 다음과 같다^[5]. 우선 측정 대상 CDT상에 그림 3과 같이 R, G, B의 수평 및 수직선 모양의 영상 패턴을 순서대로 이동시키면서 표시하고, 포토 센서로 영상 패턴의 밝기를 측정한다. 각 영상 패턴에 대한 센서의 출력 신호의 피크값(peak value)을 특징(feature)으로 사용하여 컨버전스 오차를 구한다. 즉, R, G, B 영상 패턴에 대한 포토 센서의 출력 신호의 피크값에 대하여 한 주기 단위로 이산 푸리에 변환(discrete fourier transform)^[6]을 취한다. 이 결과

에서 G를 기준으로 R과 B의 기본파(fundamental)의 위상차를 비교한다. 위상차($\Delta\phi$)는 식(2)에 의해서 컨버전스 오차(E)로 환산 할 수 있다.

$$E = \frac{P_T \Delta\phi}{2\pi} \quad (2)$$

단, E 는 실제 거리로 환산된 컨버전스 오차 (m)
 P_T 는 한 주기 동안의 영상 패턴의 이동 거리(m)
 $\Delta\phi$ 는 위상차 (rad)



(a) 컨버전스 오차가 작은 경우 (b) 컨버전스오차가 큰 경우

그림 4. 컨버전스 오차가 큰 경우와 작은 경우

Fig. 4. Cases of a large and small convergence error.

실제 R, G, B의 선 모양의 영상 패턴은 계속 점멸하면서 이동한다. 따라서, 영상 패턴의 밝기에 대한 포토 센서의 출력은 주기 신호 형태를 가진다. 또한, 컨버전스 오차는 조정하는 동안에 그 값이 자주 변화한다. 그러므로, 포토 센서를 이용하여 컨버전스 오차를 구하는 것은 위상이 변화하는 주기를 가지는 신호들에 대하여 위상차를 구하는 문제가 된다.

컨버전스 오차가 큰 경우와 작은 경우는 그림4와 같다. 컨버전스 오차가 큰 경우는 R, G, B의 영상 패턴이 표시되는 간격이 커지므로 신호의 위상차가 커지는 효과를 가지고 컨버전스 오차가 작은 경우 반대의 효과를 가진다.

2. 문제의 기술

포토 센서를 이용한 컨버전스 측정 시스템의 성능을 평가하기 위해서 다음과 같은 두 가지 측면이 고려되어야 한다.

첫째, 컨버전스 측정 시스템은 동일한 환경에서 반복하여 측정하였을 때의 측정값의 표준편차가 작아야 한다. 즉, 컨버전스 오차의 정확한 값을 알 수 없으므로 동일한 상황에서 반복 측정했을 때 측정값의 차이가 얼마나 작은 가로 판단할 수 밖에 없다. 이를 위해

서 컨버전스 측정 시스템은 잡음에 강해야 한다.

둘째, 컨버전스 측정 시스템은 측정 속도가 빨라야 한다. 포토 센서로 컨버전스 오차를 측정 할 때는 수직 동기 신호(V-Sync)를 기준으로 일정한 주기를 가지며 이동하는 영상 패턴을 사용하므로, 측정 시간이 영상 패턴의 이동 간격과 한 주기간의 이동 횟수에 영향을 받게 된다. 컨버전스 측정 시스템의 측정 결과는 컨버전스 조정에 사용되고 컨버전스 조정은 CPM 및 편향 요크 등에 의해서 이루어 지면서 이 과정은 반복되어 진다^[7]. 컨버전스 오차의 측정을 시작했을 때나 컨버전스의 조정으로 인하여 컨버전스 오차가 변했을 때는, 포토 센서를 이용하여 수평 및 수직 방향의 컨버전스 오차를 정확히 측정하려면, 한 주기 동안 8번 이동하는 영상 패턴을 사용하는 경우 24프레임(frame)씩 총48프레임의 정보가 필요하다. (R, G, B 각각에 대하여 수평 및 수직의 방향의 데이터가 필요하므로 60Hz의 수직 동기 신호의 영상 패턴을 사용할 때는 측정 시작부터 완료까지 약 800ms($= 8 \times 3 \times 2 \times 1/60\text{Hz}$)의 시간이 소요된다.) 그러나 산업 현장에서 컨버전스 오차를 측정할 때, 이 시간은 실제 사용하기에는 상당히 긴 시간이다. 따라서 측정 시간을 줄여서 컨버전스 변화에 대하여 컨버전스 오차의 측정 속도를 빠르게 하고자 한다.

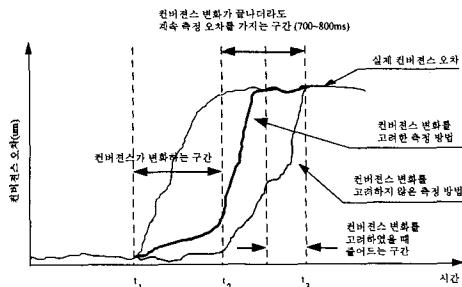


그림 5. 컨버전스가 변화할 경우의 시간 구분

Fig. 5. The time classification for the change of convergence.

컨버전스가 변화하는 동안의 시간의 구분은 그림 5와 같다. 크게, 컨버전스가 실제로 변화하는 구간 ($t_1 \sim t_2$)과 실제 컨버전스 변화가 끝나더라도 일정 기간 동안 계속하여 측정값이 실제 컨버전스 오차와 차이를 가지는 구간 ($t_2 \sim t_3$)으로 나누었다. 그림 5에서 컨버전스 변화를 고려하지 않는 측정 방법은 앞에서 기

술한 기본적인 측정 원리만을 이용한 결과이다. 컨버전스 변화를 고려한 측정 방법은 본 논문에서 제안 될 알고리즘을 적용했을 때의 결과이다. 본 논문에서는 측정값이 실제 컨버전스 오차와 차이를 가지는 구간 ($t_2 \sim t_3$)을 줄여서 측정 시스템의 성능을 향상 시키고자 한다. 따라서, 컨버전스 측정 시스템의 성능을 향상 시키기 위해서 동일한 환경에서 반복 측정을 하였을 때 측정값의 표준 편차가 작으면서, 컨버전스가 변화할 때의 컨버전스 오차의 측정 시간을 줄이고자 한다.

II. 본 론

1. 포토 센서 신호의 DFT 해석

컨버전스가 변화할 때, 컨버전스 오차를 빠르게 측정하기 위해서는 이산 푸리에 변환을 수행했을 때 기본파의 위상차 외에 추가적인 정보의 이용이 필요하다. 따라서 추가적인 정보로 기본파와 함께 고조파(harmonic)를 이용하고자 한다.

주기를 가진 신호에 대하여 위상을 측정하는 데 고조파를 사용하는 물리적 의미는 다음과 같다. 고조파의 경우 기본파에 비해 높은 주파수를 사용하므로, 위상의 변화에 대하여 기본파에 비해 빠른 응답 속도를 가진다. 예를 들어, 제2고조파의 경우 기본파에 비해 두 배의 주파수를 가지므로 두 배의 응답 속도를 가진다.

그러나, 제2고조파의 주기가 기본파의 주기의 $1/2$ 이므로, 위상의 변화하는 정도가 기본파의 주기에 비해 $1/2$ 보다 클 경우는 $1/2$ 보다 작은 경우와 구분할 수 없는 경우가 생긴다. 그리고 고조파는 잡음의 영향을 더 쉽게 받는다. 그림6은 컨버전스 변화가 있을 때의 실제 포토 센서의 신호의 이산 푸리에 변환의 결과인 크기와 위상을 나타낸 것이다. 그림6에서 크기의 변화가 급격하게 생기는 곳이 컨버전스 변화가 있는 곳이다. 크기를 살펴보면, 제3, 4고조파는 기본파와 제2고조파에 비해서 컨버전스 변화가 있는 경우에 신호의 크기가 급격하여 변화한다. 이는 잡음의 영향이 상당히 크다는 것을 의미한다. 따라서, 잡음이 많은 신호를 사용할 경우에 동일한 상황에서 반복 측정을 하였을 때 측정값의 표준편차가 커져서 결국 측정 시스템의 성능이 저하되는 결과를 가진다. 기본파와 제2고조파의 위상은 그림6과 같이 변화하며, 컨버전스가 변화하는 중에는 제2고조파를 적절히 사용해서 컨버전스 오

차의 측정 시간을 향상 시키고자 한다.

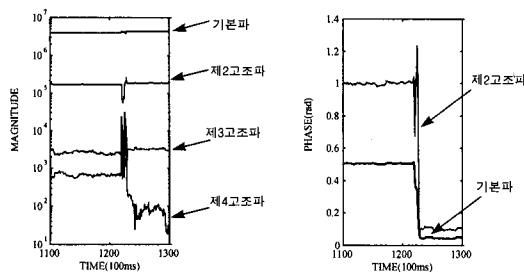


그림 6. 기본파와 제2, 3, 4고조파의 크기와 위상
Fig. 6. Magnitudes and phases of fundamental, second harmonic, third harmonic, and fourth harmonic

2. 위상 변화의 측정 알고리즘

이산 퓨리에 변환을 효과적으로 적용하기 위해서는 두 가지 경우로 나누어 처리한다. 왜냐하면, 포토 센서 신호는 포토 센서와 CDT와의 거리에 따라서 제2고조파의 포함 정도가 다르기 때문이다. 따라서, 제2고조파의 크기가 기본파의 크기의 약 $1/10 \sim 1/50$ 정도 이상인 것과 아닌 것으로 나누었다. ($10 \leq \beta \leq 50$, H_1 는 기본파의 크기, H_2 는 제2고조파의 크기)

- * $H_1 > \beta H_2$ (제2고조파의 크기가 기본파의 크기에 비해 무시할 만큼 작지 않은 경우) - 기본파와 제2고조파의 위상을 사용한 방법 적용
- * $H_1 < \beta H_2$ (제2고조파의 크기가 기본파의 크기에 비해 무시할 만큼 작은 경우) - $\sin(\omega t + \varphi) + offset$ 의 역 모델(inverse model)을 이용하여 구하는 방법 적용

가. 제2고조파의 크기가 기본파의 크기에 비해 무시할 만큼 작지 않은 경우

제2고조파의 크기가 잡음에 비해 무시할 만큼 작지 않은 경우는 기본파와 제2고조파의 위상을 동시에 이용한다. 이와 같은 경우의 물리적 의미는 앞에서 기술했듯이 제2고조파의 주기는 기본파의 $1/2$ 이므로, 제2고조파의 위상은 기본파에 비해 두 배의 응답 속도를 가지기 때문이다. 컨버전스 오차 측정 및 조정을 관찰해 본 결과에 따르면 컨버전스가 변화할 때 기본파의 위상차는 일반적으로 단조 증가 또는 단조 감소하는 특성을 가지는 데 비해 제2고조파의 위상차의 형태는 상당한 차이가 있어 제2고조파의 성분을 기본파에 단순히 더하는 방법으로 적용하여 사용하기가 어렵다.

R과 G 사이의 컨버전스 오차에 살펴 보면 다음과

같다. G를 기준으로 R의 기본파의 위상차를 ϕ_1^{RG} 라 하고 제2고조파의 위상차를 ϕ_2^{RG} 라 하자. 컨버전스가 변화하는 동안 기본파의 위상차 ϕ_1^{RG} 가 변화하는 방향으로 일정한 양을 적절하게 더 해 주면 컨버전스 오차를 측정하는 속도가 향상 된다. 이 때 변화하는 방향 $\Delta\phi_1^{RG}$ 로 더 해주는 양을 구하는 데는 $\frac{1}{2}\phi_2^{RG}$ 와 ϕ_1^{RG} 의 차의 절대값을 사용한다. 이때 $1/2$ 은 제2고조파의 주기가 기본파의 $1/2$ 이므로, 기본파의 위상에 대하여 제2고조파의 위상의 상대적인 크기를 맞추어 주기 위해서 사용되는 상수이다. 실제 데이터를 비교해 보면 $|\frac{1}{2}\Delta\phi_2^{RG} - \phi_1^{RG}|$ 의 크기가 순간적으로 커졌다가 작아지는 현상이 있고 현재 입력되는 데이터에만 의존하는 경우에 비하여 잡음에 강한 성능을 가지기 위해서 식(4)와 같이 $|\frac{1}{2}\Delta\phi_2^{RG} - \phi_1^{RG}|$ 의 절대값의 평균을 취한다. 평균을 취하는 필터 $M(\cdot)$ 에 사용되는 매개 변수 a 와 m 은 브라운관의 관종에 따라 실험을 통하여 정한다. 따라서, R과 G 사이의 컨버전스 오차는 식(3)과 같다.

$$E^{RG}[k] = c \cdot (\phi_1^{RG}[k] + a^{RG} \cdot M(|\frac{1}{2}\phi_2^{RG}[k] - \phi_1^{RG}[k]|)) \cdot \Delta\phi_1^{RG}[k] \quad (3)$$

$$\text{단, } \phi_1^{RG}[k] = \phi_1^R[k] - \phi_1^G[k]$$

$$\phi_2^{RG}[k] = \phi_2^R[k] - \phi_2^G[k]$$

c 는 위상차를 거리로 환산하기 위한 계수, $\frac{P_T}{2\pi}$
 a^{RG} 는 제2고조파 위상차의 가중치(weight)

$$\Delta\phi_1^{RG}[k] = \phi_1^{RG}[k] - \phi_1^{RG}[k-1]$$

$$M(x[k]) = \frac{a_0x[k] + a_1x[k-1] + \dots + a_{m-1}x[k-(m-1)]}{a_0 + a_1 + \dots + a_{m-1}} \quad (4)$$

단, m 은 필터의 크기

a_0, a_1, \dots, a_{m-1} 은 현재 값을 기준으로 과거 값을 고려하는 양을 결정하는 상수

마찬가지로, B와 G사이의 컨버전스 오차는 식(5)와 같다.

$$E^{BG}[k] = c \cdot (\phi_1^{BG}[k] + a^{BG} \cdot M(|\frac{1}{2}\phi_2^{BG}[k] - \phi_1^{BG}[k]|)) \cdot \Delta\phi_1^{BG}[k] \quad (5)$$

결국 식(3), (5)는 기본파 위상차에 대하여 제2고조

파의 위상차에 적절한 기중치를 두어 더하는 간단한 방법이다. 이것은 일반적인 머신 비전에 적용되는 알고리즘이 상당히 간단하다는 것과 일치한다. 간단한 방법을 사용하므로 수십 개의 포토 센서 신호에 대한 실시간 측정이 가능해진다. 즉, 컨버전스 측정 시스템은 측정하고자 하는 CDT의 영상 패턴이 이동할 때마다 수십 개의 센서 신호에 대하여 계속적으로 연산을 수행하는 것이 필요하다. 복잡한 연산이 필요한 알고리즘을 적용할 경우 계산량이 상당히 많아져 실시간 구현이 힘들어 진다.

나. 제2고조파의 크기가 기본파의 크기에 비해 무시할 만큼 작은 경우

제2고조파의 크기가 기본파의 크기에 비해 무시할 만큼 작은 경우는 다음과 같이 역 모델(inverse model)을 사용한다. 즉, $I[k] = A \cdot \sin(\omega k + \varphi) + offset$ 의 형태의 근사화 된 모델을 사용한다. R, G, B 각각에 대하여 컨버전스가 변화하기 전의 $A, \varphi, offset$, 을 한 주기 단위로 계속 구하고 있다가 컨버전스 변화가 시작되면 컨버전스 변화가 시작되기 전의 $A, offset$ 값을 이용하여 φ 를 구한다^[5].

다. 컨버전스 변화의 판단

기본파의 위상차만을 사용하여 컨버전스 오차를 측정할 경우, 동일한 환경에서 반복하여 측정할 때는 측정값의 변화가 작다. 그러나, 제2고조파까지 사용하여 컨버전스 오차를 측정할 경우, 컨버전스가 변화하는 경우에 사용하기 적당하나 컨버전스가 변화하지 않는 경우는 기본파만을 사용한 측정법에 비해 잡음에 민감하다. 그러므로, 실제 적용을 위해서는 컨버전스 변화를 판단하는 과정이 필요하다.

컨버전스 변화가 시작되는 것의 판단은 식(6)과 같다. C_{on} 를 임계값(threshold level)이라 할 때 다음 중의 한 조건만 만족하면 된다.

$$\begin{aligned} & |I_x^R[k] - I_x^R[k-N]| > C_{on} \\ & |I_x^B[k] - I_x^B[k-N]| > C_{on} \\ & |I_y^R[k] - I_y^R[k-N]| > C_{on} \\ & |I_y^B[k] - I_y^B[k-N]| > C_{on} \end{aligned} \quad (6)$$

단, I 는 센서 신호의 피크값을 나타내며 위 첨자 R, B 는 각각 R, B 영상 패턴을 의미하고 아래 첨자 x, y 는 각각 수평 및 수직선 모양의 패턴을 의미한다. 컨버전스 변화의 판단에 G 영상 패턴이 사용되지 않

는 이유는 CPM이 조정되어도 큰 영향이 없기 때문이다.

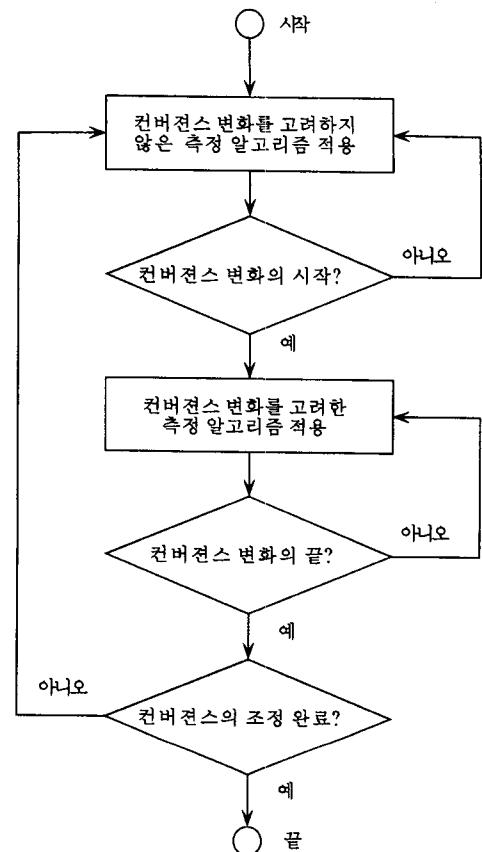


그림 7. 효율적인 컨버전스 측정을 위한 흐름도
Fig. 7. The flow chart for the effective convergence measurement.

컨버전스 변화가 끝난다는 판단은 식(7)과 같다. C_{off} 를 임계값이라 할 때 다음의 네 조건을 모두 만족하면 된다. 컨버전스가 아주 작은 양이 변화했을 경우는 컨버전스가 변화했다고 판단하지 못하는 경우가 있을 수 있으나 이 경우는 컨버전스의 변화를 고려하지 않은 측정 방법만을 적용해도 컨버전스 오차를 잘 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} & |I_x^R[k] - I_x^R[k-N]| < C_{off} \\ & |I_x^B[k] - I_x^B[k-N]| < C_{off} \\ & |I_y^R[k] - I_y^R[k-N]| < C_{off} \\ & |I_y^B[k] - I_y^B[k-N]| < C_{off} \end{aligned} \quad (7)$$

III. 실험 및 결과

1. 실험 환경 - DSP를 이용한 포토 센서 시스템

본 연구를 위해서 그림 8과 같이 포토 센서를 이용한 실시간 컨버전스 측정 시스템을 구현하였다. 측정 대상 모니터에 나타나는 영상 패턴의 빛의 세기를 측정하는 32개의 포토 센서, 포토 센서의 구동을 위한 포토 센서 드라이버, 포토 센서 오차의 측정을 위한 선 모양의 영상 패턴을 발생시키는 패턴 발생기, 센서 신호의 피크값을 구하여 디지털 값으로 변환해 주는 포토 센서용 A/D 보드와 이 데이터로 컨버전스 오차를 계산해 주는 DSP 보드^[8] 및 사용자에 대한 인터페이스를 담당하고 있는 VME PC로 구성된다^[5].

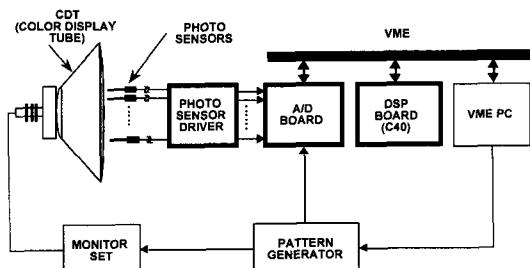
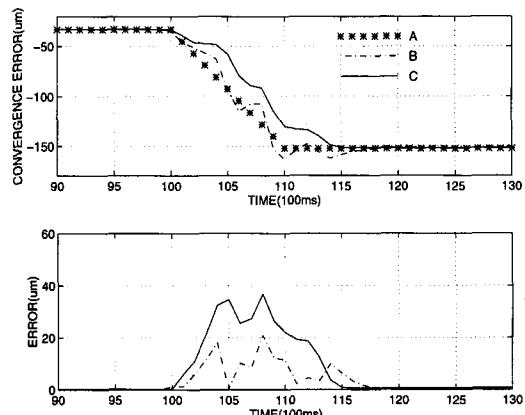


그림 8. 포토 센서를 사용한 컨버전스 측정 하드웨어의 전체적인 구조

Fig. 8. The overall structure of the convergence measurement hardware using photo sensors.



A: 모델을 사용하여 만들어진 컨버전스 오차
B: 컨버전스 변화를 고려한 측정 알고리즘을 적용하였을 때
C: 컨버전스 변화를 고려하지 않은 측정 방법을 적용하였을 때

그림 9. 시뮬레이션 결과

Fig. 9. Simulation results.

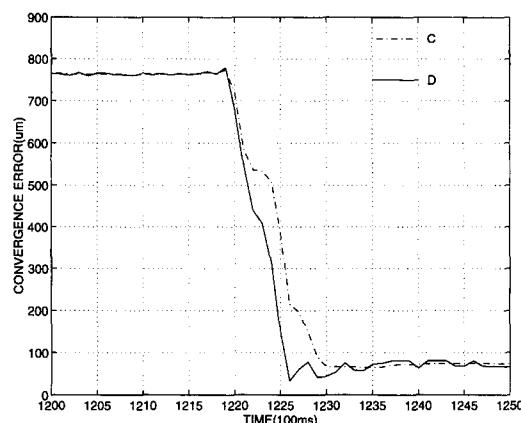
2. 실험 결과

가. 컨버전스가 변화할 때의 시뮬레이션 결과

실제 컨버전스가 변화하는 데이터는 CDT의 특성상 컨버전스 변화를 정확히 알기 힘들다. 따라서 앞에서 제안한 알고리즘의 정확성을 평가를 위해서 우선 임의의 데이터에 대하여 모의 실험을 수행한 결과는 그림9와 같다. 이 결과에서 컨버전스 변화를 고려한 측정 알고리즘은 컨버전스 변화를 고려하지 않은 측정 방법을 적용한 것에 비해 실제 컨버전스가 변화하는 구간과 컨버전스 변화가 끝나더라고 계속 오차를 가지는 구간에 향상된 성능을 나타냄을 알 수 있다.

나. 컨버전스가 변화할 때의 실제 데이터에 적용한 결과

14인치 CDT에 대하여 실제 컨버전스가 변화할 때의 데이터에 대하여 본 논문에서 제안된 컨버전스 변화를 고려한 측정 알고리즘을 적용하였다.



C: 컨버전스 변화를 고려하지 않은 측정 방법을 적용했을 때의 컨버전스 오차

D: 컨버전스 변화를 고려한 측정 알고리즘을 적용했을 때의 컨버전스 오차

그림 10. 측정 데이터에 대하여 컨버전스 변화를 고려한 알고리즘과 변화를 고려하지 않는 측정 방법의 결과

Fig. 10. Results of the convergence measurement algorithm with consideration of the convergence change and the measurement method without consideration of the convergence change for measurement data.

작업자의 일반적인 작업 속도를 고려하여 실험적으로 식(4)에서 $m=5$ 이고 $\alpha_i = 1$ ($i=0,1,2,3,4$)인 필터를

사용하였다. 그림 10은 컨버전스가 변화할 때의 실제 데이터로서 컨버전스 오차가 상당히 큰 상태에서 작은 상태로 조정이 되고 있는 상황이다.

제안된 알고리즘을 적용한 결과는 그림10과 같다. 컨버전스 오차가 약 $700\mu\text{m}$ 에서 약 $80\mu\text{m}$ 으로 변화할 때 컨버전스 변화를 고려하지 않는 측정 방법에 비해 컨버전스 변화가 끝난 상태의 값이 $\pm 10\mu\text{m}$ 안으로 들어가는 시간이 800ms에서 약 400ms정도로 줄었다.

IV. 결론 및 추후 과제

본 논문에서는 포토 센서를 사용한 컨버전스 측정의 필요성에 대하여 기술하였다. 포토 센서로 컨버전스를 측정하는 문제는 위상이 변화하는 주기 신호를 처리하는 문제로 일반화 할 수 있다. 포토 센서를 사용하여 컨버전스 오차를 측정하는 경우에, 컨버전스 변화가 없는 동일한 환경에서 작은 표준 편차를 가지면서 컨버전스가 변화할 때는 빠른 측정 속도를 가져야 한다. 위의 두 조건을 만족시키기 위하여 위상이 변화하는 주기 신호에서 고조파를 이용하여 위상 변화의 차를 안정적으로 실시간에 측정할 수 있는 방법에 대하여 다루었다. 실제 포토 센서를 사용한 컨버전스 측정 시스템에서 고정된 센서에 대하여 주기를 가지며 이동하는 선 모양의 영상 패턴의 신호를 실시간에 처리하는데 적용하였다. 특히, 컨버전스가 변화했을 때는 올 바른 컨버전스 오차를 구하는 데 소요되는 시간이 필요 하며 컨버전스 변화를 고려한 측정 알고리즘을 적용함으로써 이 시간을 약 800ms에서 약 400ms로 단축시켰다.

본 논문의 연구 결과를 바탕으로 추후에 더 연구되어야 할 과제를 살펴보면 다음과 같다. 첫째, 측정 알고리즘에서 제2고조파의 가중치와 관계되는 ω 를 효율적으로 정하는 방법에 대한 연구가 필요하다. 둘째, 잡음이 있는 실제 상황에서 최소한의 데이터 샘플링으로서 시스템의 변화를 알아내는 부분에 대하여 체계적인 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] Z. Bien, D. Han, J. Park, J. Lee, "Real time color purity and convergence measurement algorithms for automatic ITC adjustment system", *IEEE Workshop on Application of Computer Vision*, pp. 274~281, Nov, 1992.
- [2] 김종식, "컬라 브라운관 화면 상태 실시간 측정에 관한 연구", 한국과학기술원 석사학위논문, 1995.
- [3] Z. Bien, S. Kim, D. Han, "Knowledge based convergence measurement and control algorithm for automatic ITC adjustment", *Proc. IEEE Industry Applications Society(IAS) 28th Annual Meeting*, pp. 2007 ~2013, Oct. 1993.
- [4] 정태신, "조정 공정 자동화를 위한 지능 제어 접근법과 브라운관 ITC 조정 시스템에의 적용", 한국과학기술원 석사학위논문, 1994.
- [5] 송원경, "포토 센서를 사용한 모니터용 브라운관 측정 시스템의 구현", 한국과학기술원 석사학위논문, 1996.
- [6] Alan V. Oppenheim, *Discrete-time Signal Processing*, Prentice Hall, 1989.
- [7] 정병록, 정창욱, 박창효, "퍼지모델을 이용한 편향 요크의 컨버전스 조정", 한국 퍼지 및 지능시스템 학회 춘계학술대회 논문집, pp. 1~12, 1995.
- [8] J. Park, Z. Bien, "Design of an advanced machine vision system for industrial inspection", *Intelligent Automation and Soft Computing*, vol. 1, no. 2, pp. 209~219, 1995.

저자 소개



宋 原 慶(正會員)

1971년 9월 10일생. 1994년 2월 고려대학교 제어계측공학과 졸업(학사). 1996년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(석사). 1996년 3월 ~ 현재 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사과정 재학 중. 주 관심분야는 로봇 시각 제어, 서비스 로봇, 실시간 비전 등임



朴 鍾 澈(正會員)

1967년 12월 19일생. 1989년 2월 고려대학교 전기공학과 졸업(학사). 1991년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(석사). 1996년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학박사). 1996년 2월 ~ 현재 삼성전관 생산기술센타 검사설비개발 업무 담당과장. 주 관심분야는 로봇 시각 제어, 영상 처리, 실시간 영상처리 시스템 설계

卞 增 男(正會員) 第30券 B編 第10號 參照

현재 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 교수