



Error-Free Loop Gain Adjustment Using Embedded Dynamic Signal Analyzer

Soo-Yong Kim¹, Jihun Koo²

¹*Samsung Research, Samsung Electronics Co.*

²*Department of Smart IT, Osan University*

ABSTRACT

As the error tolerance of low-cost components in servo systems such as optical disc drives become wider, the effects of the errors on model uncertainty increase in comparison with a nominal model. In the case of the optical disk, the size of the data pattern is reduced to increase the storage capacity, so that fast, precise and stable control is required to place the laser spot on the disk. In this paper, we introduce a new technique of a loop gain adjustment (LGA) based on an embedded dynamic signal analyzer (EDSA) that is used for estimating the gains and phases at a cross-over frequency of the system. Conventional algorithms repeat LGA operations until the system finds a target value; however, the proposed LGA directly calibrates the target value to coincide with the frequency response of the nominal model. A measuring algorithm for calculation of the frequency characteristics is proposed for the removal of the effects of additive white Gaussian noise. Moreover, because the proposed algorithms are implemented on a system-on-chip, they can be applied to diverse applications, such as robots, vehicles, and aircraft. The experimental and simulation results show that the proposed LGA based on error-free EDSA exhibits notable and reliable performance.

© 2018 KKITS All rights reserved

KEYWORDS: System identifications, Frequency characteristics, Nominal models, Error tolerance, Loop gain adjustment

ARTICLE INFO: Received 29 August 2018, Revised 27 September 2018, Accepted 12 October 2018.

*Corresponding author is with the Department of Smart IT, Osan University, 45 Cheonghak-ro, Osan-si,

Gyeonggi-do, KOREA.

E-mail address: jihun.koo@osan.ac.kr

1. 서론

광디스크의 저장 용량을 증가시키기 위하여 데이터 패턴의 크기가 축소됨에 따라 광디스크 드라이브 (Optical Disc Drive, ODD)의 성능은 디스크 상의 레이저 스폿의 신속하면서 정확하고 안정적인 제어에 좌우하게 된다[1, 2]. 고속의 기록과 재생은 안정적인 서보 시스템에 의존하여 다양한 제어 기술로 외란과 잡음을 제거하고 억제한다[3, 4, 5]. ODD에서 이러한 교란은 광 픽업 유닛 (Optical Pickup Unit, OPU) [6]과 같은 내부 부품과 함께, 편심과 같은 모터 및 디스크에서 유래한다[7, 8]. 서보 시스템에 있어서 큰 허용 오차를 가진 강인한 시스템을 확보하기 위하여, 정확한 모델링 기법[9] 및 시스템 온칩의 구조[2, 11]와 제어 알고리즘[10, 11, 14, 15] 등에 대한 연구들이 계속 진행되어 왔다. 광 서보 시스템의 주파수 응답 특성을 분석하기 위해 Embedded Dynamic Signal Analyzer (EDSA)가 제안되었고, 추가적으로 적응 제어 알고리즘이 도입되어 구성 요소의 넓은 허용 오차 범위를 가질 수 있도록 하였다[12, 13].

광디스크 재료의 반사율 변화, 광학 디스크의 편심 형상 및 OPU의 불확실성으로 인한 모델 불확실성으로 야기되는 성능 저하 및 불안정성을 극복하기 위해서는 서보 시스템의 개루프의 이득을 교정해야하며, 이때 공칭시스템모델을 사용한 루프 이득 조정 (loop gain adjustment, LGA) [16, 17, 18]을 사용한다. 서보 시스템의 트래킹 또는 포커스 제어 후 이득은 크로스오버 주파수에서 측정된다. 일정한 성능을 얻으려면 공칭모델과 측정된 값의 차이를 목표 값으로 하여 컨트롤러의 이득제어 레지스터에 의해 보상한다. 고속 제어하기 위하여, 불확실성을 가진 실제 시스템을 공칭모델로 간주하는 것은 매우 중요하다.

많은 장점을 가지고 있는 LGA는 정확하고 빠른

알고리즘을 개발하기 위해 1990년대와 2000년대에 걸쳐 광범위하게 연구되어 왔다. 종래의 알고리즘은 위상 비교기로부터 출력되는 오차가 특정 범위 내에 수렴할 때까지 동작을 반복한다. 그러나 종래의 방법은 긴 처리 시간, 부정확한 결과 및 결과에 의한 시스템 발진 등에 몇 가지 단점을 갖는다.

본 논문에서는 EDSA를 기반으로 공칭 모델과 일치시키는 새로운 알고리즘을 제안한다. EDSA의 구조는 <그림 1>과 같이 사인 신호 생성기, 신호 연산기, 이득 판별기로 구성된 기존의 LGA와 유사하다. EDSA의 경우, 신호 변환기 및 이득 판별기 대신에 푸리에 변환을 채택한다. EDSA로 제안된 알고리즘은 LGA를 안정적이고 신속하게 수행한다.

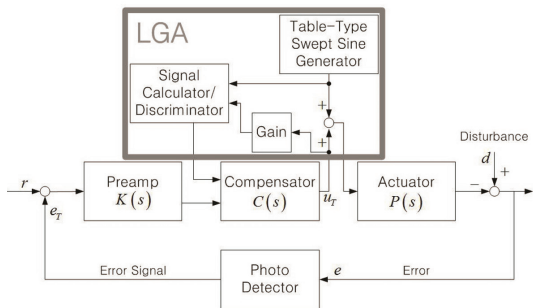


그림 1. 루프 게인 조정을 위한 종래의 구조
Figure 1. Conventional structure for loop gain adjustment

이 논문은 다음과 같이 구성되어있다. 제 2장에서 부정확한 LGA의 근본 원인을 분석하고 실제 시스템을 공칭 모델과 정확하게 맞추는 방법인 실제 주파수 응답 특성을 측정하기 위한 새로운 알고리즘을 제안한다. 제 3장에서는 EDSA에 기반을 둔 새로운 LGA를 제안한다. 제 4장에서 제안된 알고리즘은 ODD를위한 시스템 온칩에서 구현되며, 제안된 알고리즘이 시스템의 유효성과 효율성을 보장할 수 있음을 실험 결과로 보여준다. 마지막으로 제 5장에서 본 논문의 결론을 제시한다.

2. 주파수 특성에 대한 Error-Free 측정

광디스크상의 레이저 스폿 위치를 정밀하고 신속하게 제어하기 위하여, 모델의 불확실성을 극복하는 다양하고 복잡한 조정이 이루어진다. 그 중 LGA는 ODD의 내부 부품 및 광학 디스크의 변형으로 인한 외란을 제거하기 위해 수행되는 중요한 조정 중 하나이다. 개념적으로, LGA는 다양한 이득의 변동을 흡수하기 때문에 모든 ODD가 LGA를 채택할 것이라고 생각하는 것은 당연하지만, 사실은 그렇지 않다. 이 장에서는 이에 대한 근본 원인을 분석한다.

잡음 \hat{y} 가 있는 측정값은 다음과 같이 나타낼 수 있습니다.

$$\hat{y}(kT) = y_0(kT) + n(kT) \quad (1)$$

여기서 y_0 은 정확하지만 알 수 없는 값이고, n 은 가산성 백색 가우스 잡음(AWGN)이고, T 는 샘플 간격이고, k 는 k 번째 샘플의 인덱스이다.

제어 시스템의 주파수 응답을 얻으려면 푸리에 계수를 코사인 및 사인 항으로 계산해야 한다. ω_0 을 주파수 조절 사인 발생기의 주파수라고 하면, 코사인 항 B_c 및 사인 항 B_s 은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$B_c = N/2 \sum_{(k=0)}^{(N-1)} \hat{y}(kT) \cos(\omega_0 kT) \quad (2)$$

$$B_s = N/2 \sum_{(k=0)}^{(N-1)} \hat{y}(kT) \sin(\omega_0 kT) \quad (3)$$

단순하게 하기 위해서, 유일한 코사인 항이 고려될 것이다. 식 1을 식 2에 대입함으로써, 교란된 코사인 항은 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned} B_c &= \frac{N}{2} \sum_{k=0}^{N-1} \{y_0(kT) + n(kT)\} \cos(\omega_0 kT) \\ &= \frac{N}{2} \sum_{k=0}^{N-1} y_0(kT) \cos(\omega_0 kT) \\ &\quad + \frac{N}{2} \sum_{k=0}^{N-1} n(kT) \cos(\omega_0 kT) \end{aligned} \quad (4)$$

식 4로부터, 푸리에 계수는 잡음의 크기에 의존한다는 것을 알 수 있으며, LGA가 처리될 때마다 결과는 잡음의 영향으로 바뀌게 된다. 또한 측정된 주파수 응답은 주파수 조절 사인 발생기의 주파수 ω_0 에 따라 변동하게 된다.

측정된 값에서 잡음의 영향을 제거하기 위해 AWGN의 평균이 0이 되는 특성을 이용하도록 계산 순서가 변경된다. 출력의 측정 프로세스가 반복될 수 있는 경우, 측정된 값은 식 5와 같이 표현될 수 있으며, 여기서 i 는 사인 발생기 ω_0 의 동일한 위상에서 i 번째 샘플의 인덱스를 의미한다.

$$\hat{y}^i(kT) = y_0^i(kT) + n^i(kT) \quad (5)$$

여기 신호의 동일한 위상에서 샘플을 수집 한 후, 평균값은 다음과 같이 계산 될 수 있다.

$$\begin{aligned} \hat{y}^i(kT) &= \lim_{M \rightarrow \infty} \frac{1}{M} \sum_{(i=0)}^{(M-1)} \{y_0^i(kT) + n^i(kT)\} \\ &= y_0(kT) + \lim_{M \rightarrow \infty} \frac{1}{M} \sum_{(i=0)}^{(M-1)} n^i(kT) \end{aligned} \quad (6)$$

여기서 M 은 총 측정 횟수이며 값이 증가함에 따라 AWGN의 특성으로 인해 잡음의 영향이 제거된다. 따라서 측정된 값은 정확한 값으로 수렴된다.

실제로, 종래의 LGA는 디스크의 반경 및 수직

표면이 균일하지 않기 때문에 스피들 모터의 많은 회전 동안 결과를 평균화하기 위해 측정을 반복한다. 디스크의 회전수를 ψ rpm으로 하고 LGA의 처리 시간을 t 초라고 가정하면, M 은 다음과 같이 표현 될 수 있다.

$$M = 2\pi / \omega_0 t \quad (7)$$

일반적으로 ω_0 는 여기 신호의 주파수가 회전 속도에 따라 크로스오버 주파수와 일치하므로 ψ 와 간접적인 관련이 있다. 그러나 이 조건은 필수적인 것은 아니다. 따라서 M 은 회전 주파수 ψ 와 독립적이다. <표 1>에서, 측정수 M 이 1000회 이상이 되면 평균값 수렴원리에 따라서 1회측정 AWGN 전력 대비 18dB 가량 상쇄된다. 이는, 16bit 체계를 이용하는 디지털 제어 시스템에서 노이즈가 전체 수 표현의 25%를 차지하더라도 연산결과 최소 기수 이하의 값이 되기 때문에 잡음의 영향을 무시하기에 충분하다. 주파수 특성에 대해 이 방법을 구현하려면 더 많은 메모리가 필요하다. 메모리 크기가 충분히 크고 저렴하기 때문에 해결하는 것은 어렵지 않다. 그러나 사인과 코사인의 계산 횟수가 줄어들기 때문에 필요한 계산 시간은 종래의 알고리즘보다 단축된다.

표 1. 측정 및 처리 시간과의 관계

Table 1. Relation with a number of measurement and processing time

시스템	제어 주파수 (rpm)	여기 주파수 (kHz)	연산 시간 (sec)	M
추적	2000	3	0.5	1500
목표	2000	2.5	0.5	1250

3. Embedded Dynamic SignalAnalyzer에 기반 한 루프 이득 조정

이 장에서는 EDSA[12, 13]에 기반한 새로운 LGA

기법이 제시한다. EDSA는 제어 시스템의 정확한 전체 이득을 측정하기 때문에 제안된 알고리즘은 반복적이지 않고 직접 이득을 보상하는 기법이다. 결과적으로, 처리 시간이 종래의 알고리즘보다 상당히 빠르게 수행한다.

주파수 제어 영역에서 광 서보 시스템을 분석하기 위해 EDSA가 제안되었고 적응 제어 알고리즘이 도입되어 구성 요소의 넓은 허용 오차로 시스템의 안정된 성능을 달성하였다. EDSA는 주파수 조절 사인 발생기, 대역 통과 필터 및 시스템 식별자로 구성된다. 위상 검출기와 적분기를 사용하는 대신에, 크로스 오버 주파수에서의 이득은 EDSA의 신뢰할 수 있는 결과를 기반으로 즉시 계산된다.

<그림 2>와 같이 페루프의 주파수 특성은 측정 후 개루프의 이득 및 위상을 특정 주파수에서 계산해야 한다. $M(s)$ 를 측정 된 페루프, $F(s)$ 를 대역 통과 필터 (BPF)의 전달 함수라고 하면, 개루프의 전달 함수 $H(s)$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$H(s) = \frac{1}{F(s)} \frac{M(s)}{1 - M(s)} \quad (8)$$

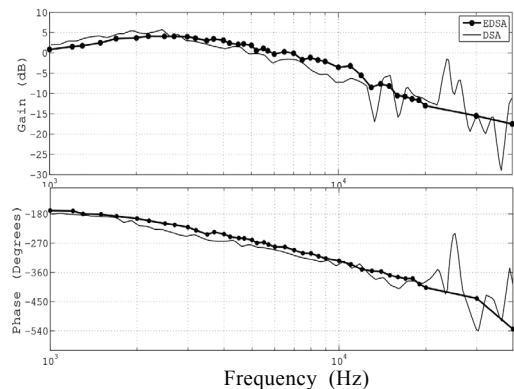


그림 2. 임베디드 다이내믹 신호 분석기를 사용하여 페루프의 측정 된 보드 플롯 [13]

Figure 2. Measured bode plots of the closed loop using embedded dynamic signal analyzer[13]

α , ω 를 페루프의 이득과 위상, β , θ 를 크로스 오버 주파수에서의 BPF 이득 및 위상이라고 하면 $M(s)$ 과 $F(s)$ 를 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$M(j\omega) = \alpha e^{-j\omega} \tag{9}$$

$$F(j\theta) = \beta e^{-j\theta} \tag{10}$$

식 9 및 식 10을 식 8에 대입함으로써, 개루프의 전달 함수는 식 11과 같이 표현된다.

$$H(j\omega) = \frac{\alpha}{\beta(\alpha^2 - 2\alpha \cos\omega + 1) - \alpha e^{-j(2\omega + \theta)}} \dots \tag{11}$$

개루프의 이득이 0dB이기 때문에, 보상 될 이득 K 은 다음 식 12과 같이 표현된다.

$$K = \frac{1}{|H(j\omega)|} = \frac{\beta}{\alpha} \sqrt{(\alpha^2 - 2\alpha \cos\omega + 1)} \tag{12}$$

4. 실험결과

제안된 알고리즘은 아날로그 및 디지털 프론트 엔드 프로세서, 디지털 보상기, EDSA, 아날로그-디지털 변환기 및 디지털-아날로그 변환기를 포함하여 삼성 65nm공정을 이용하여 광디스크 컨트롤러 SoC에 구현되었다. 시스템 분석을 위한 계산은 ARM 마이크로 프로세서를 사용하는 소프트웨어로 처리되었다. 조정 절차는 <그림 3>의 흐름도와 같이 제공되며, 주 조정은 디스크의 도입 동작 중에 처리된다. 형상과 광학 환경이 디스크의 내부 영역에서 외부 영역까지 동일하지 않기 때문에 개루프의 전

체 이득은 공칭 모델의 변동에 따라 변동될 수 있다. 따라서 기록 혹은 재생 동작이 완료되고 2 차 조정을 위한 활성 조건이 충족될 때마다 LGA 프로세서는 개루프 이득을 보정하려고 시도한다. 2 차 조정 중에 중요한 인터럽트가 발생하면 작업이 즉시 중단되고 인터럽트 서비스 루틴이 시작된다.

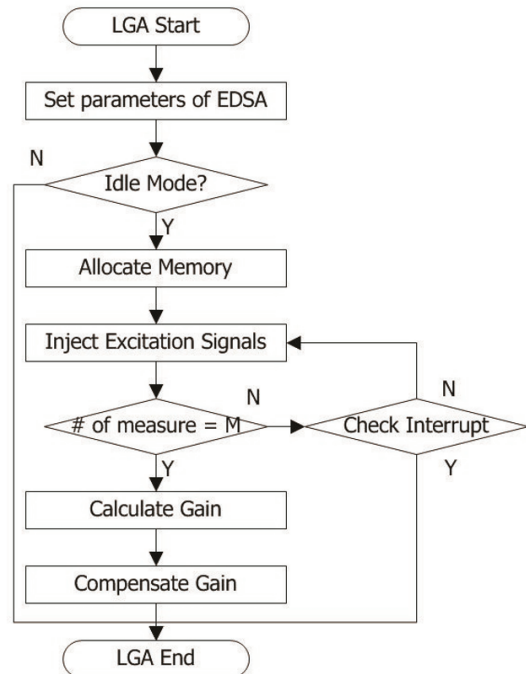


그림 3. EDSA에 기반한 error-free 루프 이득 조정을 위한 데이터 처리 플로우 차트

Figure 3. Flowchart of data processing for error-free loop gain adjustment based on the EDSA.

제안된 알고리즘의 정확성과 신뢰성을 나타내기 위해 기존의 방법 [15], 기존의 EDSA [13]을 이용한 제안된 알고리즘, 본 논문에서 제안하는 알고리즘을 7개의 ODD에 대해서 실험을 수행하였다. 하나의 DVD-ROM 디스크를 사용하여 서보의 포커스 및 트랙킹에 대한 계인 및 위상을 이득 교차 주파수에서 측정하였다. 보상할 이득은 식 12를 사용하여 측정된 파라미터에 기초하여 계산되었다. BPF의

파라미터는 조정 중에 일정한 값이었으므로 결과적으로 보상 이득은 측정 된 페루프의 이득 및 위상에 따라 달라진다.

보상기에서 이득을 조정 한 후 LGA를 완료한다. 공칭 모델의 경우 이득의 구조가 2의 보수 시스템이기 때문에 전체 이득의 기대 값은 0.5이다. 이때, 포커스 시스템의 조정된 값의 평균 및 표준 편차가 <그림 4>에 도식 되었으며, 평균값은 매우 집중된 것, 표준 편차는 상당히 분산된 것을 알 수 있다. 측정된 표준편차를 기준으로 하였을 때, 제안한 알고리즘은 기존의 LGA대비 6.42dB, 종래의 EDSA대비 4.03dB 향상된 것을 확인 하였다. 이는 EDSA를 사용하여 제안된 알고리즘이 효과적으로 잡음을 제거하고 신뢰할 수 있는 결과를 생성 할 수 있음을 의미한다.

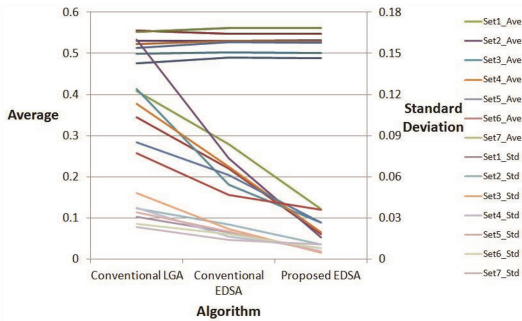


그림 4. 다양한 알고리즘과 비교 한 조정 결과의 평균 및 표준 편차.

Figure 4. Average and standard deviation of adjusted results compared with diverse algorithms.

제안된 알고리즘의 현저한 개선을 보이기 위해서는 정확한 주파수 특성을 확인하여 조정 값과 실제 값을 비교해야 한다. 모든 시스템을 식별하는 것은 불가능하기 하므로, 대안으로 공칭 모델 및 목표 시스템에 대하여 주파수 응답 특성을 시뮬레이션하는 것이다. 시뮬레이션은 <표 2>의 조건을 사용하여 수행되었다. <그림 5>에 도식 된 페루프의 이득 및 위

상은 3.8kHz에서 각각 3.35dB 및 -32.7도이다. 식 12를 사용하여 루프 이득을 보상한 이득 특성은 <그림 6>에 나타난 공칭모델과 일치함을 알 수 있다.

LGA가 전체 시스템의 이득을 보상하기 때문에 개루프의 위상을 변경하지 않았다. 즉, ODD에서 위상 마진이 향상되지 않는다. 또한, 두 번째 공진 값이 공칭 모델의 일반적인 값보다 크면 이득의 안정성을 해치기 쉽다. 따라서 위상과 이득 마진을 향상시키기 위해, 시스템은 EDSA [13]에 기반을 둔 적응 제어를 적용해야 한다.

표 2. 오차 허용 오차를 갖는 공칭 모델 및 편향 모델과의 차이
Table 2. Difference with a nominal model and a biased model with an error tolerance

System	First Resonant Freq. (Hz)	Low Sensitivity (mm/V)	Q Factor (dB)
Nominal	55	1.1	10
Biased	55	1.54	15

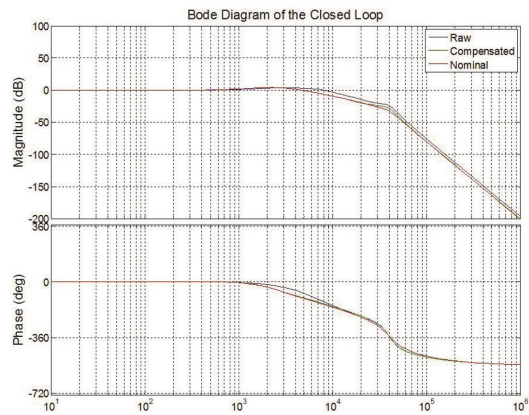


그림 5. 제안 된 루프 게인 조정을 사용하여 보상 된 이득을 갖는 페루프.

Figure 5. Closed loop with compensated gain using proposed loop gain adjustment.

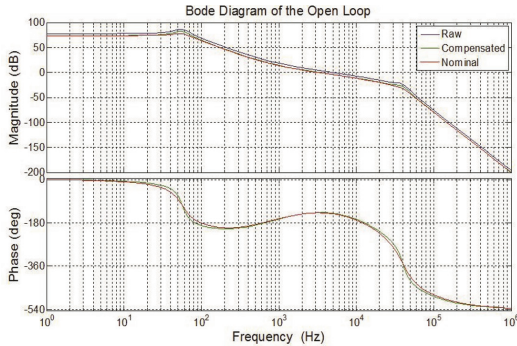


그림 6. 제안된 루프 게인 조정을 사용하여 보상된 이득을 갖는 개루프.

Figure 6. Open loop with compensated gain using proposed loop gain adjustment.

5. 결론

ODD의 대량 생산 시 높은 수율을 확보하기 위해서는, 광범위한 허용 오차의 서보 시스템의 안정성을 보장하여 균일한 성능을 유지하는 것이 필수 불가결하다. 본 논문에서는 EDSA 기반의 새로운 루프 이득 조정을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 보상 이득이 시스템 분석 기법에 의해 추정되기 때문에 광디스크의 반사율, 전기 회로의 불확실성 및 액추에이터의 저주파수 이득 불확실성의 영향을 보상할 수 있다. 또한, EDSA기반으로 하여 공칭 모델과 실제 시스템과의 시스템 특성의 차이가 없는 방법으로 외란과 잡음 영향을 제거할 수 있다.

실험을 통해 제안하는 알고리즘의 표준 편차가 기존의 LGA대비 6.42dB, 기존의 EDSA대비 4.03dB 감소된 것을 확인 하여 보다 높은 정확도와 신뢰성을 갖는 것을 확인하였다. 즉, 실제 서보는 제안된 알고리즘에 의해 공칭 모델과 일치 할 수 있다. 더욱이, LGA의 처리 시간은 부가 회로 없이 감소된다. 제안된 알고리즘은 ODD를 위한 제어기 SoC에서 구현되기 때문에 로봇, 차량, 항공기 등 다양한 응용 분야에 적용될 수 있다.

References

- [1] J. R. Ryoo, and T-Y. Do, *Track jump scheme using internal state manipulation in optical disc drives*, IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 55, pp. 541-544, 2009.
- [2] S-Y. Kim, K. Koo, J. R. Ryoo, and S. W. Kim, *Design for layer jump in optical disc drives using internal state manipulation*, IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 58, pp. 1225-1231, 2012.
- [3] J. Martinez, O. Sename, and M. Alma, *Modeling and robust control of Bluray disc servo mechanisms*. Mechatronics, Vol. 19, pp. 715-725, 2009.
- [4] J. R. Ryoo, T-Y. Doh, and M. J. Chung, *Robust disturbance observer for the track-following control system of an optical disc drive*, Control Engineering Practice, Vol. 12, pp. 577-585, 2004.
- [5] T. Ogata, T. Nakazaki, N. Sakimura, K. Ohishi, T. Miyazaki, D. Koide, H. Tokumaru, and Y. Takano, *High precision tracking control based on pseudo-inverse feedforward control system for next-generation optical disks*, Japanese Journal of Applied Physics, No. 51 pp. 08JA05-08JA06, 2012.
- [6] K. T. Lee, and S-N. Hong, *A study on optical pickup actuator for small form-factor optical disc drives*. Mechatronics, No. 19, pp. 357-363, 2009,
- [7] J. Kim, K. Chang, I. Shim, G. Park, and S. Kim, *Adaptive repetitive control for an eccentricity compensation of optical disk drivers*, IEEE Transactions on Consumer Electronics, No. 53, pp. 962-968, 2007.

- [8] J. Martinez, and M. Alma, *Improving playability of blu-ray disc drives bt using adaptive suppression of repetitive disturbances*, Automatica, Vol. 48, pp. 638-644, 2012.
- [9] Z. Jigui, W. Hongxing, Z. Ping, P. Liping and and H. Yuping, *Modeling and simulation of speed loop control technology for permanent magnet synchronous motor servo system*, 2017 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo, Asia-Pacific (ITEC Asia-Pacific), Harbin, pp. 1-5, 2017.
- [10] S-Y. Kim, and J-H. Ahn, *Reduced noise servo control*, US patents 7,796,479, 2010.
- [11] F. Lin, I. Sun, K. Yang and J. Chang, *Recurrent Fuzzy Neural Cerebellar Model Articulation Network Fault-Tolerant Control of Six-Phase Permanent Magnet Synchronous Motor Position Servo Drive*, in IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Vol. 24, No. 1, pp. 153-167, Feb. 2016.
- [12] S-Y. Kim, X. Mao, J. Huh, K. H. Koo, and S. W. Kim, *System identification using embedded dynamic signal analyzer*, Joint International Symposium on Optical Memory and Optical Data Storage, OTuC6, 2011.
- [13] S-Y. Kim, K. Koo, J. Huh, H. Cho, and S. W. Kim, *System identification using embedded dynamic signal analyzer*, Japanese Journal of Applied Physics, No. 51, pp. 08JB02-08JB07, Aug. 2012.
- [14] S. Furrer, A. Pantazi, G. Cherubini, and M. A. Lantz, *Resolution Limits of Timing-Based Servo Schemes in Magnetic Tape Drives*, in IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 51, No. 11, pp. 1-4, Nov. 2015.
- [15] C. Hsu, and Y. Lai, *Novel online optimal bandwidth search and autotuning techniques for servo motor drives*, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 53, No. 4, pp. 3635-3642, 2017.
- [16] Y. Uekawa, J. Kubo, K. Kono, M. Iida, K. Koyama, and M. Nakamura, *The development of digital servo algorithms for optical disc players*, IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 36, pp. 567-571, 1990.
- [17] Y. Saito, *Automatic gain adjustment device and automatic gain adjustment method*, US patents 7,321,801, 2008.
- [18] K-S. Kim, and K-H. Rew, *Enhancing robustness by feedback loop gain Adjustment*, Proceeding of International Conference on Control, Automation and Systems, Seoul, pp. 2876-2879, 2007.

내장형 동적 신호분석기 기반의 Error-Free 루프 이득 조정 기법 연구

김수용¹, 구지훈²

¹삼성전자 Samsung Research Creative Leader

²오산대학교 스마트IT과 조교수

요 약

광학 디스크 드라이브에서 저가 부품의 오류 허용 오차가 커짐에 따라 모델 불확실성에 대한 오류의 영향은 공칭 모델과 비교하여 증가한다. 광디스크의 경우, 저장 용량을 증가시키기 위해서 데이터 패턴의 크기가 축소되어 디스크에 레이저 스폿을 배치하기 위해서는 신속하고 정밀하며 안정적인 제어가 필요로 하게 되었다. 본 논문에서는 시스템의 크로스 오버 주파수에서 이득 및 위상을 추정하는데 사용되는 임베디드 동적 신호 분석기 (EDSA)를 기반으로 한 루프 이득 조정 (LGA)의 새로운 기법을 소개한다. 기존 알고리즘은 시스템이 목표 값을 찾을 때까지 LGA 연산

을 반복하지만, 제안된 LGA는 공칭 모델의 주파수 응답과 일치하도록 목표 값을 직접 교정한다. 가산 백색 가우시안 잡음의 영향을 제거하기 위해 주파수 특성을 계산하기 위한 측정 알고리즘이 제안되었다. 또한, 제안된 알고리즘은 시스템 온 칩 (system-on-chip) 상에서 구현되기 때문에 로봇, 차량, 항공기 등의 다양한 어플리케이션에 적용될 수 있다. 실험 및 시뮬레이션 결과는 error-free EDSA를 기반으로 제안된 LGA가 주목할 만한 신뢰성 있는 성능을 나타냄을 보여준다.

감사의 글

본 연구는 중소벤처기업부의 기술개발사업 [S2599981]과 2018학년도 오산대학교 교내연구비 지원에 의하여 이루어졌음



Soo-Yong Kim received his B.S. degree from the Department of Automation Engineering, Inha University, Incheon, Korea, in 2000 and his M.S. and Ph.D. degrees from the Electrical Engineering, Pohang University of Science and Technology (POSTECH), Pohang, Korea, in 2010 and 2014, respectively. He has worked as a Creative Leader at Samsung Electronics Co., Seoul, Korea from 2000. His research interests are in Wearable Device, Bio-medical engineering, Machine Learning, Deep Learning, and Internet-of-Things (IoT).

E-mail address: odin.kim@samsung.com



Jihun Koo received the B.S and M.S. degrees in Electrical Engineering from Inha University, Incheon, Korea, in 2000 and 2002, respectively and the Ph.D. degree from Yonsei University, Seoul, Korea in 2015. He was Principal engineer of Connectivity development team of Samsung Electronics Co., Ltd., Hwaseung, Gyeonggi-do, Korea. He is currently a Professor in the Smart IT Department at Osan University, Osan, Korea. His current research interests include wireless communication, Internet-of-Things and Connectivity.

E-mail address: jihun.koo@osan.ac.kr