

## 모터 스텝 응답에서 변동 구간 검출 기법

(An algorithm of detecting changed intervals with step-type shape in motor's speed response data)

김태은\* · 이해영

Tae-eun Kim (영남대학교 전자정보공학부 4년)

Hai-young Lee (영남대학교 전자정보공학부 부교수)

### Abstract

This paper presents an algorithm of detecting changed intervals with step-type shape in motor's speed response data. The proposed method is composed of 4 parts such as noise filtering, decision making of reference value's change, finding entrance point of steady state and detecting changed intervals. According to simulation results for three cases, we see that changed intervals can be found well.

### 1. 서 론

모터는 많은 종류의 생산공정에서 동력원으로 사용되고 있다. 모터의 응답특성은 생산되는 제품에 직접적인 영향을 주며, 생산설비의 안전이나 수명에도 밀접한 관련이 있다[1]. 대개 생산설비에 모터가 처음 설치될때는 모터공급사에서 생산공정에 맞는 응답특성을 내도록 성능을 조정하여 주지만, 모터를 계속 사용하다 보면 성능이 변화하게 된다. 따라서 어떤 생산공정에서도 정기적으로 모터의 응답특성을 관리하고 있으며, 대개 오프라인 상태에서 모터에 시험신호를 인가하여 응답특성에 관한 관리지표값들을 계산하는 방식이 사용된다. 그러므로 온라인으로 작동중에 모터의 성능에 문제가 발생하면 즉각적인 조치가 이루어지지 못하므로 그동안에 불량품이 제조될 가능성이 높아진다.

온라인 방식으로 모터의 응답특성에 관한 관리지표값들을 구하기 위해서는 먼저 모터의 응답에 관한 데이터를 가지고 모터의 목표값이 변동했을 때 발생하는 응답 데이터를 찾아야 한다. 본 논문에서는 모터의 속도 제어 계통에 관한 목표값이 이전보다 증가하는 방향으로 단위 계단 형태로 변경되었을 때, 모터의 응답에서 그에 대응하는 구간을 찾아내는 알고리즘을 제안한다.

목표값의 변동 구간을 찾아내는 알고리즘은 기능적으로 독립적인 네가지 단계로 설계되었으며, 잡음이  $\pm 2\%$ ,  $\pm 4\%$  및  $\pm 6\%$  인 경우에 대해 각각

시험한 결과, 모든 경우에서 변동구간을 안정되게 검출할 수 있음을 보였다.

### 2. 변동구간 검출 알고리즘

모터의 속도제어계통에 대한 목표값이 바뀌게 되면, 목표값 신호는 계단형태로 변동하며, 모터의 속도 응답 신호는 대개 2차계 응답의 형태로 새로운 목표값에 수렴하게 된다[2]. 이때 속도 응답의 특성을 분석하기위해 필요한 데이터는 모터의 실제 속도가 새로운 목표값으로 수렴되었을 때, 모터의 속도응답을 표현하는 곡선에서 이전 목표값의 위치부터 새로운 목표값으로 수렴된 위치사이에 존재하는 속도데이터다. 이 속도데이터를 포함하고 있는 구간이 변동구간이다. 인간은 속도 응답 신호의 그림을 보면 변동 구간을 시각적으로 쉽게 구분해 낼수 있지만, 컴퓨터로 변동구간을 찾기위해서는 여러 가지 단계의 계산 및 판단과정이 필요하다. 다음에 속도 응답 데이터로부터 변동구간을 자동으로 검출할 수 있는 알고리즘을 설명한다.

#### Step 1: 잡음 저감용 필터링

측정된 속도 응답 데이터  $v_i(n)$ ,  $n=1,2,3,\dots$ , 에 포함된 잡음의 영향을 줄이기 위해서 다음과 같이 인접한 두 개의 데이터에 대해 산술 평균을 구한다.

$$v_o(n) \triangleq \frac{v_i(n-1) + v_i(n)}{2}, \quad \text{단 } v_o(1) = v_i(1) \quad (1)$$

## Step 2: 목표값 변동 여부의 판단

모터 속도의 목표값에 대한 변동 범위가 0~100% 라 할때, 공정에서 운전중에 발생하는 '목표값의 최소 변동 크기'가 정해지면, 그것을 기준으로 하여 목표값 변동 여부를 판단할 수 있는 알고리즘을 설계한다. 목표값의 변동이라는 것은 현재 상태로부터의 변동을 의미하므로, 변동의 발생 여부를 찾으려면 먼저 목표값의 현재 상태를 표현할 수 있는 방법이 필요하다.  $v_{ave}(n)$  을 연속하는  $w$  개  $v_i(n)$  의 산술평균으로 약속하면, 식(2)와 같이 표현된다.

$$v_{ave}(n) = \begin{cases} \frac{v_o(n-(w-1)) + \dots + v_o(n-1) + v_o(n)}{w}, & n \geq w \\ 0, & n \leq w-1 \end{cases} \quad (2)$$

$v_{ave}(n)$  은  $v_o(n)$  가  $w$ 개만큼 취득되었을 때, 즉  $n = w$ 일 때 처음 계산되며, 그 이후부터는 매  $n$  마다 한번씩 계산된다. 목표값은 운전중에 계속 변화하므로  $\beta$ ,  $\beta=0,1,2,3,\dots$ , 번째의 목표값을 대변하는 모터 속도를  $V_{ref,SS}(\beta)$  라고 약속하자.  $n = w$ 일 때 구해진  $v_{ave}(w)$  는 목표값의 현재 상태를 표현하는 최초의 값으로 설정되며,  $v_{ave}(n=w) = V_{ref,SS}(0)$  이 된다. 따라서 변동구간 검출 알고리즘이 작동하는 동안  $\beta$ 는 목표값이 변동된 횟수를 의미하게 된다. 그러면  $n = w+1$  일 때부터 매  $n$ 마다 목표값 변동 여부가 식(3)으로 판단된다.

$$v_{ave}(n) - V_{ref,SS}(\beta) \geq 0.9(\text{목표값의 최소 변동 크기}) \quad (3)$$

상기 조건이 만족되지 않으면 목표값의 변동이 없는 것으로 판정하고 다음  $n$ 에서 같은 조건을 점검하며, 만약 조건이 만족되면 목표값이 변동한 것으로 판정한다. 이 조건으로 판정된 변동 시점은 실제 변동시점과 다를 수 있으므로, 정확한 변동 시점을 찾기 위해 식(4)와 같은 조건식을 만족하는 위치를 찾아야 한다.

$$v_o(n-p) \leq |V_{ref,SS}(\beta)| \times 1.01, \quad p=1,2,3,\dots \quad (4)$$

이 조건이 만족된 시점을  $n-p = w'$  이라고 약속한다.

## Step 3: 정상상태 진입 여부의 판단

목표값에 변동이 발생한 다음에는 현재의 모터 속도가 새로운 목표값에 대한 정상상태에 진입한 시점을 찾아야 변동구간을 알아낼 수 있다. 정상상태에 진입한 시점을 판단하는 기법은 정상상태의 정의를 활용하여 만들 수 있다. 정상상태에 진입한 이후에는 모터 속도의 변화가 정상상태의 기준치 이내로 유지되므로, 매  $n$ 마다 산출되는  $v_{ave}(n)$  의 값에 큰 변동이 발생하지 않는 상태가 지속적으로 유지될 것이다. 만약  $M_{diff}$  개 만큼 지속적으로 같은 상태를 유지하는 조건을 수식으로 표현하면 식(5)와 같다.

$$\left. \begin{aligned} |v_{ave}(n) - v_{ave}(n-1)| &\leq 10^{-4} \\ |v_{ave}(n) - v_{ave}(n-2)| &\leq 10^{-4} \\ \dots \\ |v_{ave}(n) - v_{ave}(n-M_{diff})| &\leq 10^{-4} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

이때  $n$  은  $n = w' + 1$  부터 시작되며,  $n \geq (w + M_{diff})$  의 조건이 만족되는 상태에서만 작동된다. 여기서  $M_{diff}$  는  $w$ 와는 독립적으로 설정된다. 상기와 같은  $M_{diff}$  개의 조건이 모두 만족되면, 모터의 속도는 새로운 정상상태에 진입한 것으로 판정되며, 이 시점을  $n = w''$  이라고 약속한다. 그러면  $v_{ave}(n=w'')$  는 새로운 목표값을 대변하는 모터 속도가 되므로,  $\beta$ 를 1만큼 증가시킨 후에  $V_{ref,SS}(\beta)$  를 식(6)과 같이 변경한다.

$$V_{ref,SS}(\beta) = v_{ave}(n=w'') \quad (6)$$

따라서  $\beta$ 는 모터가 작동중에 목표값이 변동된 횟수를 의미하게 된다.

## Step 4: 변동 구간의 검출

변동구간의 시점은 Step2의 결과로부터  $n = w'$ 이며, 변동구간의 종점은 Step3으로부터  $n = w''$ 임을 알 수 있다. 따라서 목표값의 변동이 발생했을 때, 설계된 알고리즘으로부터 검출되는 변동 구간은 다음과 같다.

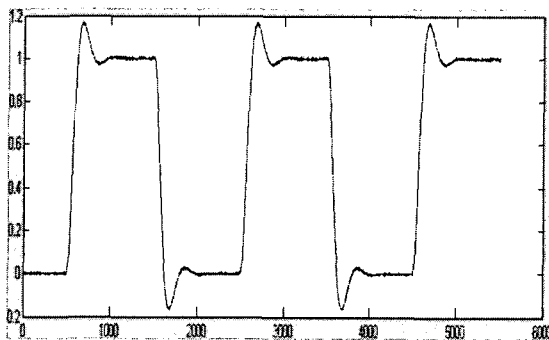
목표값의 변동 구간=  
 $v_o(n=w'), v_o(n=w'+1), \dots, v_o(n=w'')$  (7)

단, 변동 구간의 검출은

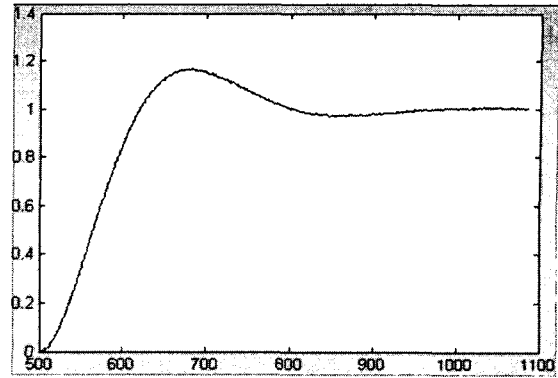
$V_{ref,SS}(\beta+1) - V_{ref,SS}(\beta) > 0$  일때만 시행된다. 자동제어 이론에서 속도 응답 특성을 분석하는 것은 대개 새로운 목표값이 이전의 목표값보다 클 때 속도 응답 곡선이 우측 상향 방향으로 이동하는 부분에서 취득한 데이터로부터 이루어진다 [3]. 따라서 목표값의 변동 구간을 검출하는 과정은  $V_{ref,SS}(\beta+1) - V_{ref,SS}(\beta) > 0$  이 충족되는 변동이 발생할 때만 이루어진다.

### 3. 모의실험 및 결과

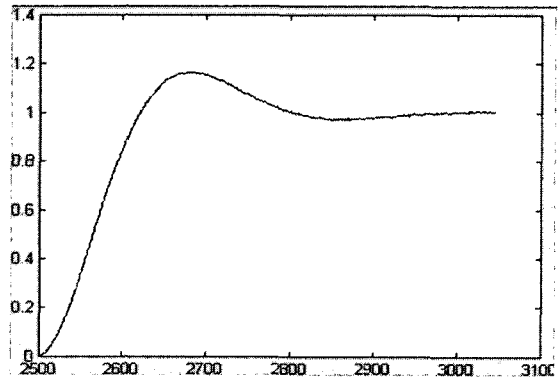
제안된 변동 구간 검출 알고리즘의 성능을 확인하여 보기위해 세가지 종류의 시험을 하였다. 단위 계단 형태의 변화를 연속적으로 세 번 주어 얻어지는 응답에 각각  $\pm 2\%$ ,  $\pm 4\%$  및  $\pm 6\%$ 의 잡음을 추가하여 각 경우에 세 번의 변동 구간을 검출하는 시험을 하였다. 모의실험에서  $w$ 는 10으로,  $M_{diff}$ 는 20으로 설정하였다. 첫 번째 시험 결과를 그림1에 보인다.



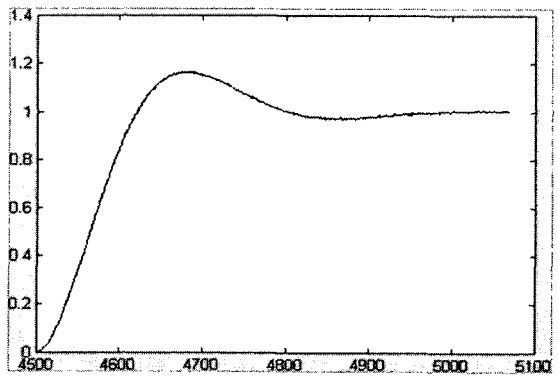
(a) 출력 응답  
 (a) Output response



(b) 첫 번째 구간 검출 결과  
 (b) Result of finding the first interval



(c) 두 번째 구간 검출 결과  
 (c) Result of finding the second interval

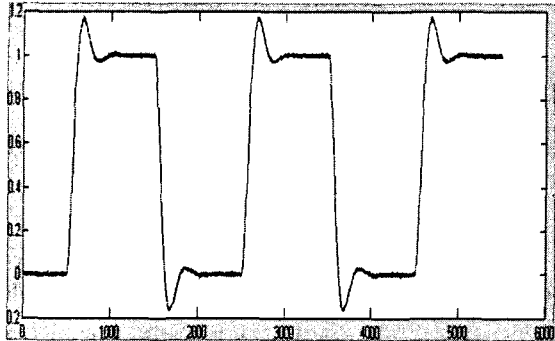


(d) 세 번째 구간 검출 결과  
 (d) Result of finding the third interval

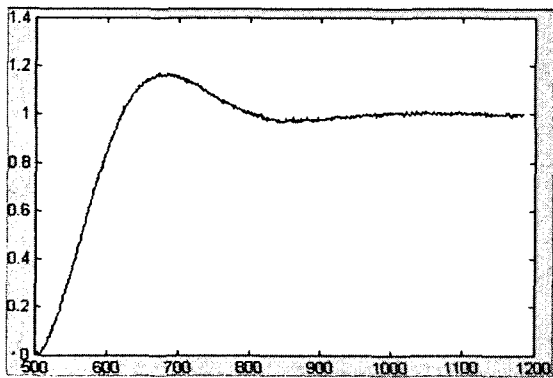
그림 1. 잡음 크기의 변동범위가  $\pm 2\%$ 인 경우의 시험 결과

Fig.1. Test result when fluctuation range of noise's magnitude is  $\pm 2\%$

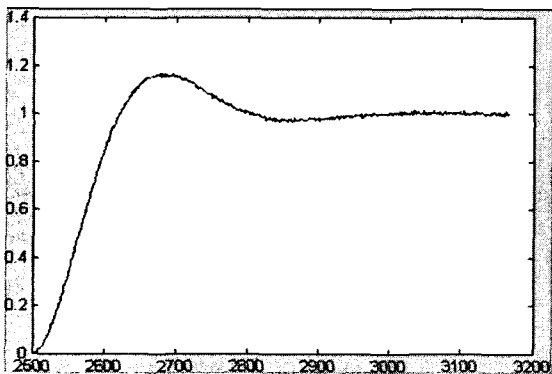
첫 번째 시험 결과에서 첫 번째 변동구간은 503 번째부터 1087번째까지, 두 번째 변동구간은 2502 번째부터 3046번째까지, 두 번째 변동구간은 4503 번째부터 5069번째까지로 검출되었다. 그림 1의 (a)를 보면 세 번의 변동구간 검출이 모두 적절하게 이루어졌음을 알수 있다. 두 번째 시험 결과를 그림2에 보인다.



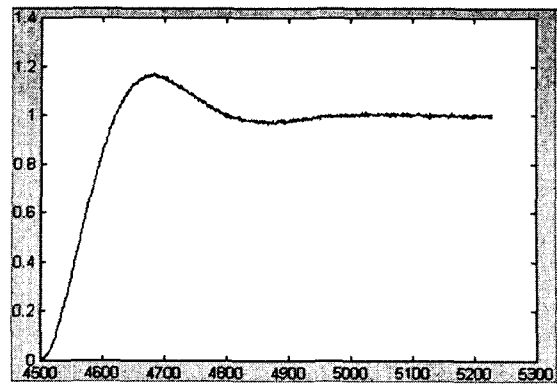
(a) 출력 응답  
(a) Output response



(b) 첫 번째 구간 검출 결과  
(b) Result of finding the first interval



(c) 두 번째 구간 검출 결과  
(c) Result of finding the second interval

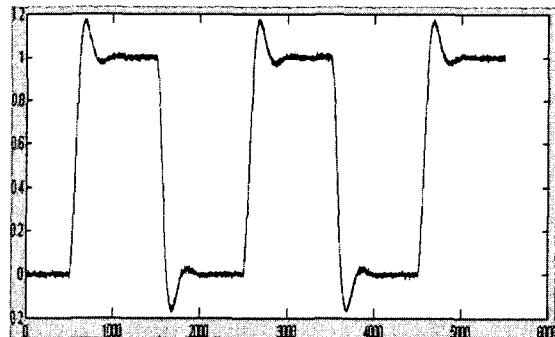


(d) 세 번째 구간 검출 결과  
(d) Result of finding the third interval

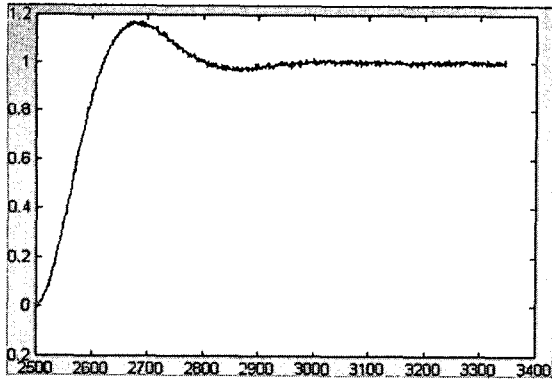
그림 2. 잡음 크기의 변동범위가  $\pm 4\%$ 인 경우의 시험 결과

Fig.2. Test result when fluctuation range of noise's magnitude is  $\pm 4\%$

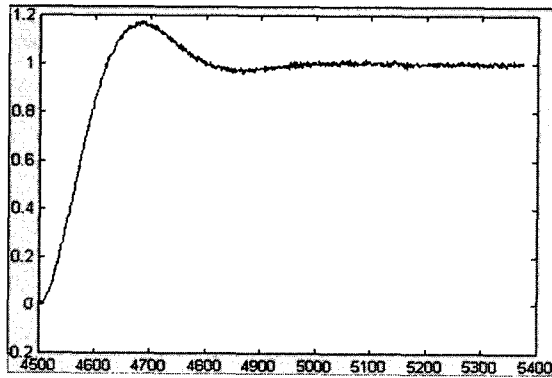
두 번째 시험 결과에서 첫 번째 변동구간은 504 번째부터 1186번째까지, 두 번째 변동구간은 2500 번째부터 3167번째까지, 두 번째 변동구간은 4503 번째부터 5230번째까지로 검출되었다. 그림 2의 (a)를 보면 세 번의 변동구간 검출이 모두 적절하게 이루어졌음을 알수 있다. 세 번째 시험 결과를 그림3에 보인다.



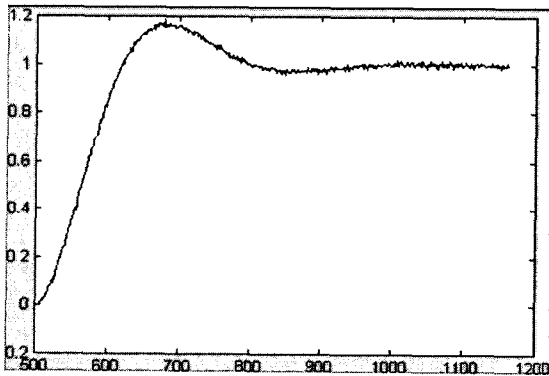
(a) 출력 응답  
(a) Output response



(b) 첫 번째 구간 검출 결과  
(b) Result of finding the first interval



(c) 두 번째 구간 검출 결과  
(c) Result of finding the second interval



(d) 세 번째 구간 검출 결과  
(d) Result of finding the third interval

그림 3. 잡음 크기의 변동범위가  $\pm 6\%$ 인 경우의 시험 결과

Fig.3. Test result when fluctuation range of noise's magnitude is  $\pm 6\%$

세 번째 시험 결과에서 첫 번째 변동구간은 507번째부터 1163번째까지, 두 번째 변동구간은 2504번째부터 3346번째까지, 두 번째 변동구간은 4502번째부터 5376번째까지로 검출되었다. 그림 3의 (a)를 보면 세 번의 변동구간 검출이 모두 적절하게 이루어졌음을 알 수 있다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 모터 속도의 목표값이 변동하였을 때 응답데이터에서 목표값의 변동에 대응하는 구간에 포함된 데이터를 자동으로 검출할 수 있는 알고리즘을 제안하였다. 목표값의 변동 구간을 찾아내는 알고리즘은 잡음 저감용 필터링, 목표값 변동 여부를 판단, 정상상태 진입 여부를 판단 및 변동 구간의 검출과 같이 기능적으로 독립적인 네가지 단계로 설계되었다. 응답데이터에 잡음이  $\pm 2\%$ ,  $\pm 4\%$  및  $\pm 6\%$ 가 포함된 경우에 대해 각각 시험한 결과, 모든 경우에서 변동구간을 안정되게 검출할 수 있음을 보였다.

#### 참 고 문 헌

- [1] V.B.Ginzburg, "High-Quality Steel Rolling Theory and Practice", Marcel Dekkor Inc, 1993.
- [2] Norman S.Nise, 김도현외 공역, "제어 시스템 공학", 홍릉과학출판사, pp.228~232, 2000.
- [3] Franklin, Gene F. "FEEDBACK CONTROL OF DYNAMIC SYSTEMS", PrenticeHall, pp.147~152, 2002.