

Lagrange 이차 보간 다항식을 이용한 블록 펄스 급수 추정

論 文
51D-6-3

The Estimation of The Block Pulse Series by The Lagrange's Second Order Interpolation Polynomial

金 泰 勳* · 李 海 基**
(Tai-Hoon Kim · Hae-Ki Lee)

Abstract - This paper presents a new method for estimating the block pulse series coefficients by using the Lagrange's second order interpolation polynomial.

Block pulse functions have been used in a variety of fields such as the analysis and controller design of the systems. When the block pulse functions are used, it is necessary to find the more exact value of the block pulse series coefficients. But these coefficients have been estimated by the mean of the adjacent discrete values, and the result is not sufficient when the values are changing extremely. In this paper, the method for improving the accuracy of the block pulse series coefficients by using the Lagrange's second order interpolation polynomial is presented.

Key Words : Block pulse series coefficients, Lagrange, Interpolation, Estimation

1. 서 론

월쉬(Walsh), 하알(Haar), 블록 펄스(block pulse) 함수 등과 같은 직교함수들은, 시스템의 제반 문제들을 대수적 접근 방식에 의하여 쉽게 해결할 수 있도록 하기 때문에 지금까지 많이 사용되어 왔다[1-4].

직교 함수를 사용하는 경우 오차가 적은 직교 함수 급수의 계수를 구하는 것은 시스템 문제를 해결하는데 있어서 가장 중요한 문제들 중의 하나이며, 특히 이산화된 데이터 형식으로 입력되는 데이터들의 변화폭이 큰 경우 상대적으로 큰 오차가 발생된다는 문제점을 가지고 있었다.

이러한 경우 직교 함수 급수의 원래 정의대로 적분을 통하여 급수의 계수를 구하는 것은 불가능하므로 근사화된 계수값을 사용할 수밖에 없으며, 기존의 방식들은 각 구간에서의 함수값에 대한 평균을 블록 펄스 계수로 사용하는 것이었다[3-7].

본 논문에서는 Lagrange 이차 보간 다항식을 사용하는 보간법을 이용하여 새로운 블록 펄스 급수 계수 추정 기법을 제안함으로써, 기존의 계수 추정 기법보다 정확성을 향상시킬 수 있음을 보였다.

2. 블록 펄스 함수에 대한 보간법의 적용

서로 다른 $(n + 1)$ 개의 점 $(x_0, y_0), (x_1, y_1), \dots,$

(x_n, y_n) 에 대하여 함수 $y = f(x)$ 의 값을 알고 있을 경우에, 구간 $[a, b]$ 사이에 존재하는 x_k 는 다음의 식을 만족하게 된다.

$$a \leq x_0 < x_1 < \dots < x_n \leq b \text{ 와 } y_k = f(x_k)$$

이 $n+1$ 개의 점을 지나는 n 차의 다항식 $p(x)$ 를 구하는 방법을 보간법(interpolation)이라고 하며, 이렇게 구한 다항식 $p(x)$ 를 보간 다항식(interpolation polynomial)이라고 한다. 또한 서로 다른 $(n + 1)$ 개의 점 $(x_0, y_0), (x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)$ 들을 마디점(node point)라고 한다. 이렇게 구한 보간 다항식 $p(x)$ 를 사용하여 x_0 와 x_n 사이 또는 그 구간 밖의 x 에 대한 값을 구할 수 있다[8].

3. Lagrange 이차 보간법

이차 보간법은 서로 다른 세 점 $(x_0, y_0), (x_1, y_1), (x_2, y_2)$ 를 지나는 이차 다항식 $p_2(x)$ 를 구하는 것이다. 앞서 설명한 선형 보간법의 개념을 확장하면 구하고자 하는 $p_2(x)$ 와 $L_0(x), L_1(x), L_2(x)$ 는 각각 다음과 같다.

$$p_2(x) = y_0 L_0(x) + y_1 L_1(x) + y_2 L_2(x) \tag{3.1}$$

$$\text{단, } L_0(x) = \frac{(x - x_1)(x - x_2)}{(x_0 - x_1)(x_0 - x_2)} \tag{3.2a}$$

$$L_1(x) = \frac{(x - x_0)(x - x_2)}{(x_1 - x_0)(x_1 - x_2)} \tag{3.2b}$$

$$L_2(x) = \frac{(x - x_0)(x - x_1)}{(x_2 - x_0)(x_2 - x_1)} \tag{3.2c}$$

* 正 會 員 : 韓 國 情 報 保 護 振 興 院 先 任 研 究 員
 ** 正 會 員 : 忠 清 大 學 電 氣 自 動 化 科 教 授 · 工 博
 接 受 日 字 : 2001年 12月 22日
 最 終 完 了 : 2002年 4月 8日

이차 다항식 $L_0(x)$ 는 x_0 에서 1이고 x_1 과 x_2 에서 0이며, $L_1(x)$ 는 x_1 에서 1이고 x_0 과 x_2 에서 0이며, $L_2(x)$ 는 x_2 에서 1이고 x_0 과 x_1 에서 0이다. 이들 다항식들 $L_0(x)$, $L_1(x)$, $L_2(x)$ 를 Lagrange 기저 함수(Lagrange basis functions)라고 하며, 식 (3.1)의 $p_2(x)$ 를 이차 Lagrange 보간 다항식이라고 부른다.

다항식 $L_i(x)$, $i = 0, 1, 2$ 의 특성에 의하여

$$p_2(x_i) = y_i, \quad i = 0, 1, 2 \quad (3.3)$$

임을 쉽게 알 수 있다. 즉, $p_2(x)$ 는 서로 다른 세 점 (x_0, y_0) , (x_1, y_1) , (x_2, y_2) 를 지나는 이차 다항식이 된다.

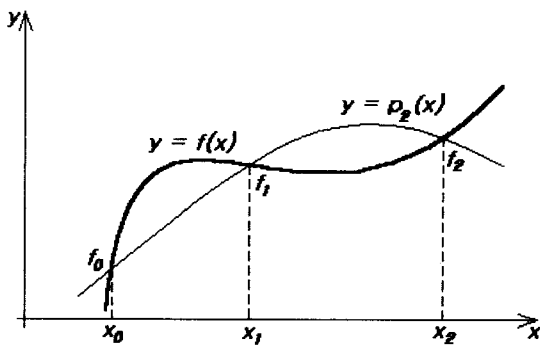


그림 1 이차 보간법
Fig. 1 Second order interpolation

Lagrange 이차 보간 다항식을 이용한 적분을 고려하여 보면, 세 개의 점 $t_0 = (i-2)h, t_1 = (i-1)h, t_2 = ih$ 에서의 $f(t)$ 에 대한 이차 보간 다항식을 $p_2(t)$ 라고 하는 경우, Lagrange 형태의 보간 다항식 $p_2(t)$ 는 다음과 같게 된다[9-10].

$$p_2(t) = f((i-2)h) \frac{(t-(i-1)h)(t-ih)}{2h^2} - f((i-1)h) \frac{(t-(i-2)h)(t-ih)}{h^2} + f(ih) \frac{(t-(i-2)h)(t-(i-1)h)}{2h^2} \quad (3.4)$$

식 (3.4)를 미소구간 $t \in [(i-1)h, ih]$ 에서 적분하면 다음과 같은 결과를 얻을 수 있게 된다.

$$\int_{(i-1)h}^{ih} p_2(t) dt = -\frac{1}{12} f((i-2)h) + \frac{8}{12} f((i-1)h) + \frac{5}{12} f(ih) \quad (3.5)$$

이차 보간 다항식을 이용하는 적분 방법의 경우, 보간 다

항식의 오차 정리[10]로부터 오차는

$$f(t) - p_2(t) = \frac{(t-(i-2)h)(t-(i-1)h)(t-ih)}{3!} f^{(3)}(\xi) = -\frac{h^3}{24} f^{(3)}(\xi) \quad (3.6)$$

과 같으므로, m 항 전개한 미소구간에서의 블록 펄스 급수 계수의 오차는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$E = -m \times \frac{h^3}{24} f^{(3)}(\xi) \quad (3.7)$$

4. 블록 펄스 계수 추정 기법

4.1 기존의 블록 펄스 계수의 추정

기존에 사용하던 블록 펄스 급수 전개 기법은, 원래의 함수 $f(t)$ 가 구분 연속 상수값의 함수 $\hat{f}(t)$ 에 의하여 근사화 될 수 있음을 의미하는 것이며, 이러한 근사화는 구간 $t \in [0, t_f]$ 에서 $f(t)$ 와 $\hat{f}(t)$ 사이의 평균자승오차를 표시하는 식 (4.1)의 최소값에 도달하는 것이다[11].

$$\epsilon = \frac{1}{t_f} \int_0^{t_f} \left[f(t) - \sum_{j=0}^{m-1} F_j \psi_j(t) \right]^2 dt \quad (4.1)$$

식 (4.1)이 최소값이 되기 위해서는 다음 조건을 만족하여야 한다[12].

$$\frac{\partial \epsilon}{\partial F_i} = -\frac{2}{t_f} \int_0^{t_f} \left[f(t) - \sum_{j=0}^{m-1} F_j \psi_j(t) \right] \psi_i(t) dt = 0 \quad (4.2)$$

그리고 블록 펄스 함수의 직교성으로부터 다음 식을 얻을 수 있다.

$$\int_{ih}^{(i+1)h} F_i \psi_i(t) dt = \int_{ih}^{(i+1)h} f(t) \psi_i(t) dt \quad (4.3)$$

따라서, 식 (4.2)의 평균자승오차 ϵ 을 최소로 하기 위한 필요조건으로 블록 펄스 계수 $F_i (i = 0, 1, 2, \dots, m-1)$ 를 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$F_i = \frac{1}{h} \int_{ih}^{(i+1)h} f(t) \psi_i(t) dt = \frac{1}{h} \int_{ih}^{(i+1)h} f(t) dt \quad (4.4)$$

식 (4.4)는 블록 펄스 계수들의 기하학적인 의미를 나타내며, i 번째 블록 펄스 계수 F_i 는 i 번째 미소구간에서 원래 함수 $f(t)$ 의 적분 평균값이다. 다시 말하면, i 번째 블록 펄스 계수 F_i 는 $f(t)$ 의 곡선중 미소구간 $t \in [ih, (i+1)h]$ 에서의 면적과 관계가 있는 것이다.

하지만 만일 함수 $f(t)$ 의 정적분을 구할 수 없는 경우라

면, 일반적으로 사용하는 적분 방법을 이용하는 것 자체가 불가능하며, 이럴 경우에는 블록 펄스의 폭 h 가 충분히 작다고 가정된 후 다음과 같은 단순한 관계로부터 근사적으로 블록 펄스 계수들을 결정할 수 있다[13].

$$F_i \doteq \frac{1}{2} \{f(t_i) + f(t_{i+1})\} \quad (4.5)$$

단, $f(t_i)$ 와 $f(t_{i+1})$ 은 $t = ih$ 와 $t = (i+1)h$ 에서의 $f(t)$ 의 값

그러나 식 (4.5)는 각각의 블록 펄스 계수가 미소구간의 두 끝점들에서의 원래 함수의 평균값에 의해서 근사화됨을 나타내는 것이다. 일반적으로 사용되어 온 이 방법을 사용할 경우, 블록 펄스 계수는 각각의 구간에 대한 함수 $f(t)$ 의 평균값이므로 곡선인 구간에서는 식 (4.4)에 대한 근사식인 식 (4.5)의 오차가 커지게 된다.

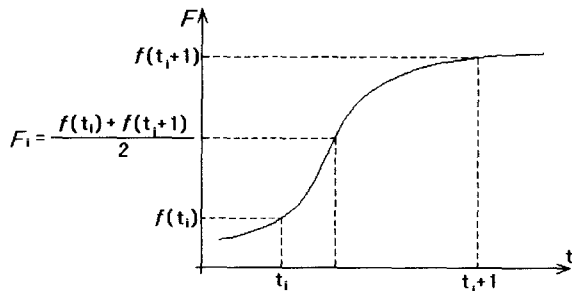


그림 2 기존의 블록 펄스 계수
Fig. 2 Common block pulse coefficient

4.2 Lagrange 이차 보간 다항식을 이용한 블록 펄스 계수 추정

세 개의 점 $t_0 = (i-2)h$, $t_1 = (i-1)h$, $t_2 = ih$ 를 지나는 $f(t)$ 에 대한 이차 보간 다항식을 $p_2(t)$ 라고 하면, Lagrange 형태의 보간 다항식 $p_2(t)$ 는 식 (4.6)과 같고,

$$p_2(t) = f((i-2)h) \frac{(t - (i-1)h)(t - ih)}{2h^2} - f((i-1)h) \frac{(t - (i-2)h)(t - ih)}{h^2} + f(ih) \frac{(t - (i-2)h)(t - (i-1)h)}{2h^2} \quad (4.6)$$

식 (4.6)을 미소구간 $t \in [(i-1)h, ih]$ 에서 적분하면 다음과 같은 형태의 블록 펄스 계수를 얻을 수 있게 된다.

$$F_i = \int_{(i-1)h}^{ih} p_2(t) dt = -\frac{1}{12} f((i-2)h) + \frac{8}{12} f((i-1)h) + \frac{5}{12} f(ih) \quad (4.7)$$

식 (4.5)에 비하여 식 (4.7)에서는 하나의 항이 더 추가되었지만, 식 (4.5)는 컴퓨터의 연산 능력이 부족하던 시기에 정확성과는 관계없이 연산 시간을 줄이기 위하여 고안된 식이었다. 따라서 현재와 같이 컴퓨터의 연산 능력이 향상된 시점에서는 단순 연산으로 인한 연산 시간의 차이는 아주 적으며, 정확성의 향상이 더 의미 있는 것이 된다.

5. 블록 펄스 계수 추정 방식의 비교

다음과 같은 함수가 주어진 경우를 고려하여 보도록 한다.

$$f(t) = e^{\cos(t)} \quad (5.1)$$

이 함수를 구간 $t \in [0, 1]$ 에서 4항 전개 ($m = 4$)하는 경우에 블록 펄스 계수의 값을 구하여 보도록 하자.

5.1 기존의 근사식을 이용하는 방법

일반적으로 사용하고 있는 식 (4.5)로 주어지는 공식을 이용하여 블록 펄스 계수의 값을 구하면 다음과 같다.

$$f_1 = \frac{1}{2} (e^{\cos(0)} + e^{\cos(\frac{1}{4})}) = \frac{1515}{566} \quad (5.2a)$$

$$f_2 = \frac{1}{2} (e^{\cos(\frac{1}{4})} + e^{\cos(\frac{1}{2})}) = \frac{1318}{523} \quad (5.2b)$$

$$f_3 = \frac{1}{2} (e^{\cos(\frac{1}{2})} + e^{\cos(\frac{3}{4})}) = \frac{4598}{2051} \quad (5.2c)$$

$$f_4 = \frac{1}{2} (e^{\cos(\frac{3}{4})} + e^{\cos(1)}) = \frac{2408}{1269} \quad (5.2d)$$

따라서 $f(t) = e^{\cos(t)}$ 의 블록 펄스 급수는 다음과 같이 표시된다.

$$f(t) \doteq \frac{1515}{566} \psi_1(t) + \frac{1318}{523} \psi_2(t) + \frac{4598}{2051} \psi_3(t) + \frac{2408}{1269} \psi_4(t) \quad (5.3)$$

5.2 Lagrange 이차 보간 다항식을 이용하는 방법

Lagrange 이차 보간 다항식을 이용한 블록 펄스 계수를 구하는 공식인 식 (4.7)을 이용하여 블록 펄스 계수의 값을 구하면 다음과 같다.

$$f_1 \doteq \frac{5}{12} (e^{\cos(\frac{1}{4})}) = \frac{2141}{1950} \quad (5.4a)$$

$$f_2 \doteq \frac{8}{12} e^{\cos(\frac{1}{4})} + \frac{5}{12} e^{\cos(\frac{1}{2})} = \frac{1327}{481} \quad (5.4b)$$

$$f_3 \doteq -\frac{1}{12} e^{\cos(\frac{1}{4})} + \frac{8}{12} e^{\cos(\frac{1}{2})} + \frac{5}{12} e^{\cos(\frac{3}{4})} = \frac{4475}{1989} \quad (5.4c)$$

$$f_4 \doteq -\frac{1}{12} e^{\cos\left(\frac{1}{2}\right)} + \frac{8}{12} e^{\cos\left(\frac{3}{4}\right)} + \frac{5}{12} e^{\cos(1)} = \frac{4375}{2302} \quad (5.4d)$$

따라서 $f(t) = e^{\cos(t)}$ 의 블록 펄스 계수는 다음과 같이 표시된다.

$$f(t) \doteq \frac{2141}{1950} \psi_1(t) + \frac{1327}{481} \psi_2(t) + \frac{4475}{1989} \psi_3(t) + \frac{4375}{2302} \psi_4(t) \quad (5.5)$$

식 (5.2)부터 식 (5.5)까지로 구한 각각의 블록 펄스 계수를 정리하여 그림 5.1에 표시하였다. Lagrange 보간 다항식에 의한 방법에 대한 미소구간 오차는, 식(3.7)을 이용하여 확인하는 것이 가능하다.

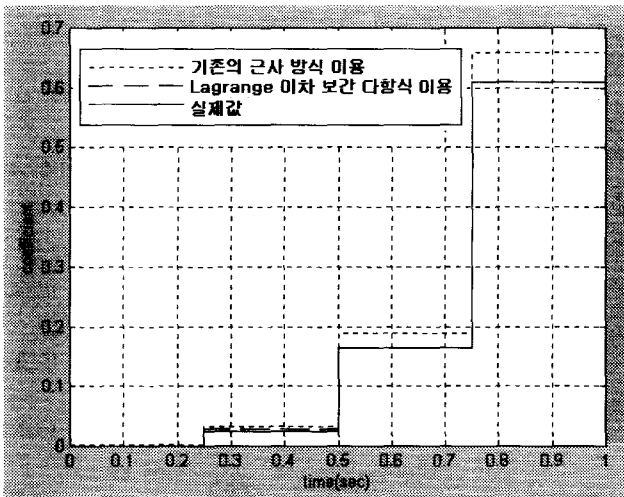


그림 3 $e^{\cos(t)}$ 에 대한 블록 펄스 계수
Fig. 3 Block pulse coefficient of $e^{\cos(t)}$

6. 선형 시스템 해석에의 적용

다음의 식 (6.1)과 같은 미분 방정식으로 주어진 단일 입력(SISO) 선형 시불변 시스템을 고려하여 보도록 한다.

$$a_n y^{(n)}(t) + a_{n-1} y^{(n-1)}(t) + \dots + a_0 y(t) = b_n u^{(n)}(t) + b_{n-1} u^{(n-1)}(t) + \dots + b_0 u(t) \quad (6.1)$$

단, $u(t)$ 와 $y(t)$ 는 스칼라 입력과 출력이고, a_i 와 b_i (단, $i = 0, 1, \dots, n$)는 시스템 파라미터이다.

실제 시스템에서는 일부 항들이 나타나지 않을 수도 있지만, 일반성을 나타내기 위하여 모든 항이 존재한다고 가정하도록 한다.

블록 펄스 영역에서, 연속 시간 선형 시불변 시스템의 해석 문제는 유한 시구간 $t \in [0, T]$ 에서의 입력 $u(t)$ 와 출력의 초기값 등을 이용하여 출력 $y(t)$ 의 블록 펄스 계수를 구하는 것이 된다.

식 (6.1)의 단일 입력 선형 시불변 시스템의 양변을 0부터 t 까지 연속적으로 n 번 적분하면 다음의 식 (6.2)와 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} & \sum_{i=0}^n a_{n-i} \underbrace{\int_0^t \dots \int_0^t y(t) dt \dots dt}_{i \text{ 번}} \\ & - \sum_{i=0}^{n-1} \left(y_0^{(i)} \sum_{j=i}^{n-1} a_{n+i-j} \underbrace{\int_0^t \dots \int_0^t dt \dots dt}_{j \text{ 번}} \right) \\ & = \sum_{i=0}^n b_{n-i} \underbrace{\int_0^t \dots \int_0^t u(t) dt \dots dt}_{i \text{ 번}} \\ & - \sum_{i=0}^{n-1} \left(u_0^{(i)} \sum_{j=i}^{n-1} b_{n+i-j} \underbrace{\int_0^t \dots \int_0^t dt \dots dt}_{j \text{ 번}} \right) \end{aligned} \quad (6.2)$$

단, $y_0^{(i)}$ 와 $u_0^{(i)}$ (단, $i = 0, 1, \dots, n-1$)는 $y(t)$ 와 $u(t)$ 의 초기값

입력과 출력을 블록 펄스 급수 전개하면 다음의 식과 같게 되므로,

$$u(t) \doteq [u_1 \ u_2 \ \dots \ u_m] \Phi(t) = U^T \Phi(t) \quad (6.3a)$$

$$y(t) \doteq [y_1 \ y_2 \ \dots \ y_m] \Phi(t) = Y^T \Phi(t) \quad (6.3b)$$

블록 펄스 급수를 벡터 형태로 표현하면 다음과 같은 식을 얻게 된다.

$$\begin{aligned} & \left(Y^T \sum_{i=0}^n a_{n-i} P^i - E^T \sum_{i=0}^{n-1} \left(y_0^{(i)} \sum_{j=i}^{n-1} a_{n+i-j} P^j \right) \right) \Phi(t) \\ & \doteq \left(U^T \sum_{i=0}^n b_{n-i} P^i - E^T \sum_{i=0}^{n-1} \left(u_0^{(i)} \sum_{j=i}^{n-1} b_{n+i-j} P^j \right) \right) \Phi(t) \end{aligned} \quad (6.4)$$

식 (6.4)로부터, 다음과 같은 대수 관계를 구할 수가 있게 된다.

$$\begin{aligned} & Y^T \sum_{i=0}^n a_{n-i} P^i - E^T \sum_{i=0}^{n-1} \left(y_0^{(i)} \sum_{j=i}^{n-1} a_{n+i-j} P^j \right) \\ & \doteq U^T \sum_{i=0}^n b_{n-i} P^i - E^T \sum_{i=0}^{n-1} \left(u_0^{(i)} \sum_{j=i}^{n-1} b_{n+i-j} P^j \right) \end{aligned} \quad (6.5)$$

A 를 다음의 식 (6.6)으로 두면

$$A = \sum_{i=0}^n a_{n-i} P^i \quad (6.6)$$

식 (6.5)는 식 (6.7)로 표현되며, 식 (6.7)을 이용하면 출력의 블록 펄스 계수를 입력으로부터 직접 구할 수가 있게 된다.

$$Y^T = BA^{-1} \tag{6.7}$$

$$\text{단, } B = E^T \sum_{i=0}^1 \left(y_0^{(i)} \sum_{j=i}^1 a_{n+i-j} P^j \right) + U^T \sum_{i=0}^1 b_{n-i} P^i - E^T \sum_{i=0}^1 \left(u_0^{(i)} \sum_{j=i}^1 b_{n+i-j} P^j \right)$$

다음의 식 (6.8)과 같은 2차 선형 시스템을 고려하여 보도록 한다.

$$a_2 y^{(2)}(t) + a_1 y^{(1)}(t) + a_0 y(t) = b_0 u(t) \tag{6.8}$$

단, 전개 항수는 8 ($m = 8$)로 하고, 구간은 $t \in [0, 1)$ 로 한다. 또한 계수들은 각각 $a_0 = 2.0$, $a_1 = 3.0$, $a_2 = 1.0$, 그리고 $b_0 = 1.0$ 으로 하며, 초기값은 0으로 하고 입력은 $u(t) = t^4$ 으로 한다.

이와 같은 경우 식 (6.7)은 다음과 같은 형태를 가지게 된다.

$$Y^T = b_0 E^T P^2 (a_2 P^0 + a_1 P^1 + a_0 P^2) \tag{6.9}$$

식 (6.9)에 대하여 기존의 방식과 본 연구에서 제안한 방식을 적용한 결과를 표시하면 표 6.1, 그림 6.1과 같다.

표 1 시뮬레이션 결과

Table 1 The result of the simulation

전개항	실제값	기존의 근사값 방식	본 연구에서 제안한 방식
1	0.00000022798777	0.00000056996942	0.00000023748726
2	0.00000805705786	0.00001216307282	0.00000810778389
3	0.00008099526167	0.00010288134217	0.00008113837490
4	0.00045934468508	0.00053570047021	0.00045964525392
5	0.00184244662523	0.00204828754067	0.00184298461924
6	0.00585288256407	0.00632077828050	0.00585375384738
7	0.01573170274496	0.01667482033372	0.01573302006970
8	0.03731045871973	0.03904965892434	0.03731235271941

7. 결 론

블록 펄스 함수를 사용하여 시스템 문제를 해결하기 위해서는 먼저 오차가 적은 블록 펄스 급수의 계수를 구하여야 하는데, 이 경우 기존에는 각 구간에서의 함수값에 대한 평균을 블록 펄스 계수로 사용하는 방식을 사용하였다. 하지만 이와 같은 평균값을 사용하는 방식은 급격한 변화를 포함하고 있는 경우에 정확한 값을 나타낼 수 없게 된다.

본 논문에서 제안한 Lagrange 이차 보간 다항식을 이용하는 새로운 블록 펄스 급수 계수 추정 기법의 특징을 요약하면 다음과 같다.

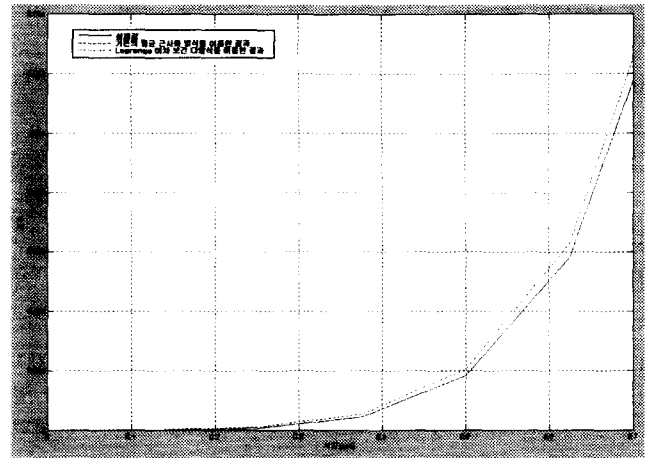


그림 4 시뮬레이션 결과

Fig. 4 The result of the simulation

(1) 임의의 미소 구간에 대한 블록 펄스 계수를 구하기 위하여 더 많은 데이터를 사용함으로써 정확성을 향상시킬 수 있다.

(2) 데이터의 급격한 변화가 발생하는 경우 기존의 평균 근사 방식에 비하여 상대적으로 오차가 적다.

또한 본 논문에서 제안한 방식을 확장하여 보간 다항식의 특징을 이용하는 새로운 블록 펄스 적분 연산 행렬의 유도가 가능할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] C. F. Chen and C. H. Hsiao, "A State-space Approach to Walsh Series Solution of Linear System", Int. J. Systems Sci. Vol. 6, pp.929-935, 1975
- [2] C. F. Chen and C. H. Hsiao, "Time Domain Synthesis via Walsh Function", Proc. IEEE, Vol. 122, No. 5, pp. 565-570, May, 1975
- [3] K. R. Palanisamy and V.P. Arunachalam, "Analysis of Vibrating System via Walsh Series Approach", Int. J. Systems Sci., Vol.18, No.8, pp. 1457-1466, 1987
- [4] K. R. Palanisamy, "Analysis and Optimal Control of Linear Systems via Single Term Walsh Series Approach", Int. J. Systems Sci., Vol. 12, No. 4, pp. 541-547, 1985
- [5] C. F. Chen and C. H. Hsiao, "Walsh Series Analysis in Optimal Control," Int. J. Control, Vol.21, pp. 881-897, 1975
- [6] C. F. Chen and C. H. Hsiao, "Design of Piecewise Constant Gains for Optimal Control via Walsh Functions," IEEE Trans. Automatic Control, Vol.20, pp. 596-602, 1975
- [7] S. Omatu, "Optimal Sensor Location Problem for a

- Linear Distributed Parameter Systems”, IEEE Trans. Automatic Control, Vol.23, pp.665-673, 1978
- [8] 정상권, 이승래, 권욱현, CEMTool 수치해석, 도서출판 한산, 2000
- [9] J. Douglas Faires and Richard L. Burden, Numerical Analysis, PSW publishing company, 1993
- [10] 김창근, 수치해석, 교우사, 1997
- [11] 안두수, 제어 시스템 해석을 위한 직교함수와 응용, 복두 출판사, 1997
- [12] 안두수, Walsh 함수와 시스템 제어, 복두 출판사, 2000
- [13] 김태훈, 김진태, 이승, 이명규, 안두수, “확장된 블록 펄스 적분 연산 행렬을 이용한 쌍일차계의 시변 파라미터 추정”, 대한전기학회 논문지, 50D권 8호, pp.384-391, 2001

저 자 소 개



김 태 훈 (金 泰 勳)

1971년 2월 1일 생. 1995년 성균관대 공대 전기공학과 졸업. 1997년 동 대학원 전기전자 및 컴퓨터 공학과 졸업(석사). 1999년~현재 동 대학원 전기전자 및 컴퓨터 공학과 박사과정

Tel : 405-5323

E-mail : taihoon@netsgo.com



이 해 기 (李 海 基)

1955년 2월 28일 생. 1981년 충북대학교 공대 공업교육과 졸업. 1985년 성균관대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1990년 성균관대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1991년~현재 충청대학 전기자동화과 교수

Tel : (043) 230 - 2351