

런지-커타 기법과 유전자 알고리즘을 이용한 제어기 설계 시스템의 구현

An Implementation of the Controller Design System Using the Runge Kutta Method and Genetic Algorithms

이충기*, 강환일**, 유일규***
Chungki Lee*, Hwanil Kang**, Ilkyu Yu***

* 명지대학교 컴퓨터소프트웨어학과, ** 명지대학교 정보공학과, *** 명지대학교 정보통신공학과
* Department of Computer Software,
** Department of Information Engineering,
*** Department of Information and Communication Engineering, Myongji University

요 약

유전자 알고리즘은 생물의 유전적 진화과정을 이용한 새로운 문제 해결의 방안으로 결정론적 방법으로 해결하지 못한 난제에 적합한 알고리즘이다. 제어기 설계 기법은 주파수에 의존하는 명세에 의한 설계는 있어 왔으나 Manabe 표준형을 기본으로 사용하는 시간에 의존하는 명세를 만족시키는 제어기 설계 기법은 미미한 단계에 있다. 본 논문에서는 일반화된 Manabe 표준형을 이용하여 플랜트의 성능을 충족시키는 제어기의 설계에 관해 연구한다. 두 변수 구조를 갖는 제어시스템에서 제어기의 계수 설계시 역행렬 방법이나 기존의 의역 행렬 방법으로 해결할 수 없는 경우가 있다. 이 경우에 원하는 페루프 다항식이 설계된 다항식과 같거나 근사적으로 같도록 새로운 의역 행렬 방법과 경사알고리즘을 이용하여 제어기를 설계하는 두 가지 방법을 제안한다. 다음으로 제안된 제어기 설계 방법들을 자바로 구현한다.

Abstract

Genetic algorithms using a process of genetic evolution of an organism are appropriate for hard problems that have not been solved by any deterministic method. Up to now, the controller design method has been made with the frequency dependent specification but the design method with the time specification has gotten little progress. In this paper, we study the controller design to satisfy the performance of a plant using the generalized Manabe standard form. When dealing with a controller design in the case of two parameter configurations, there are some situations that neither a known pseudo inverse technique nor the inverse method can be applicable. In this case, we propose two methods of designing a controller by the gradient algorithm and the new pseudo inverse method so that the desired closed polynomials are either equalized to or approximated to the designed polynomial. Design methods of the proposed controller are implemented in Java.

Key Words : 유전자 알고리즘, 런지-커타 기법, Manabe 표준형, 제어기 설계

1. 서 론

유전자 알고리즘은 지난 30년 동안 많은 관심을 불러 일으켰다. 유전자 알고리즘은 많은 최적화, 설계, 제어 및 기계 학습 응용들에 대한 적합한 방법임이 판명되었다. 특히 유전자 알고리즘은 결정론적인 방법으로 해결하지 못한 난제에 적합한 알고리즘으로 90년대에 들어와 그 응용 분야를 확장하고 있다. 컴퓨터 과학의 대표적인 난제군인 NP-Complete 문제군의 최적화 문제들이 좋은 응용 대상의 예이다[1, 2, 3,

4]. 유전자 알고리즘은 생물학적 진화와 적자생존의 원리를 이용한 반복적인 탐색 최적화 기법으로 경사 하강법의 단점인 지역 극소점에 빠질 가능성을 제거한다. 제어기 설계 기법은 주파수에 의존하는 명세에 의한 설계는 있어 왔으나 Manabe 표준형을 기본으로 사용하는 시간에 의존하는 명세를 만족시키는 제어기 설계 기법은 미미한 단계에 있다.

본 논문은 제어 시스템에서 원하는 출력 파형을 보이는 제어기 설계를 위해서 상승 시간(rise time)과 정정 시간(settling time)이 Manabe 표준형보다 더 빠른 특성을 갖는 일반화된 Manabe 표준형을 사용하여 단위 응답 파형을 얻어낸다. 다음으로 단위 계단 응답에 의한 전달 함수의 출력 파형 검출에서의 상승 시간과 정정 시간을 구하는 문제를 풀기 위해서 런지 커타(Runge-Kutta) 방법을 이용한다. 이 방법을 통하여 전달함수를 나타내는 상미분 방정식의 해를 구할 수 있다. 이 과정에서 유전자 알고리즘을 이용하고 이 알

접수일자 : 2003년 2월 15일
완료일자 : 2003년 4월 17일
본 연구는 한국과학재단 특정기초연구(199-2-302-013-3)의 지원에 의하여 이루어 졌습니다.

고리즘은 자바 언어로 구현된다. 이 구현 프로그램은 그래픽 사용자 인터페이스를 이용하여 사용자가 유전자 알고리즘의 주요 파라미터를 쉽게 수정하고 실행 과정 확인할 수 있도록 하여 사용하기 쉽게 하였다.

Manabe 표준형을 변형시킨 일반화된 Manabe 형을 이용하여 설계자가 원하는 출력 파형을 얻도록 하는 제어기 설계에 관한 연구가 발표되었다[5]. 프로그래밍을 이용한 제어기 설계 기법은 국내에서 시도되었다[6]. 국외에서도 수행되었으나 이는 Matlab으로 구현하였기 때문에 인터넷상에 올려 놓지 못하는 단점이 있다[7]. 본 연구가 기존 연구와 다른 점은 상승 시간과 정정 시간을 임의로 조절할 수 있는 오버슈트(overshoot)가 없는 전달 함수를 구하는 것과 자바 언어를 이용하여 제어기 설계를 구현하여 인터넷상에서 누구나 사용할 수 있게 한 것이다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 장에서 Manabe 표준형과 일반화된 Manabe 표준형을 소개한다. 3장에서는 제어기 설계에서 사용된 런지 커타 기법과 그 기법에 적용된 유전자 알고리즘을 기술한다. 4장에서는 제어기 설계 기법을 기술한다. 5장에서는 제어기 설계 기법을 구현한 제어기 설계 시스템을 기술하고 이 시스템을 이용하는 방법을 간단한 제어기 설계 예제를 통하여 설명한다. 6장은 연구 내용을 요약한다.

2. Manabe 표준형

단일 입력 단일 출력 제어시스템에서 페루프다항식의 안정도는 Lipatov와 Sokolov[8]의 충분조건에 의해 인접한 세 계수로 표시되는 안정지수 γ_i (stability indices)를 이용하면 주어진 페루프 다항식의 차수에는 관계없이 항상 2차의 부등식으로 안정도의 충분조건을 표현할 수 있다[9]. 어떤 선형 시불변 시스템의 특성방정식

$$F(s) = \sum_{i=0}^n a_i s^i \quad (a_i > 0, (i=0, 1, \dots, n))$$

이 주어질 때 안정지수 γ_i 를 $\gamma_i = \frac{a_i^2}{a_{i-1}a_{i+1}}$ ($i=1, 2, \dots,$

$n-1$) 로 정의한다. 특성 다항식이 좌반평면 안정할 충분조건은 모든 i 에 대하여 부등식 $\gamma_i > 1.4656$ ($i=1, 2, \dots, n-1$) 이 성립하는 것이다[8]. 2차 이상의 n 차 특성다항식에서 $\gamma_1 = 2.5, \gamma_2 = \dots = \gamma_{n-1} = 2$ 이면 Manabe 표준형(standard form) 이라 한다[9]. 이 표준형은 계수도법(Coefficient diagram methods: CDM)에서 초기 설계로 많이 쓰이고 있다.

Manabe 표준형은 오버슈트가 거의 없는 전달함수의 표준형으로서 차수가 변해도 계단 응답의 모양이 거의 일정한 특징을 가지고 있다. 그러나 상승시간과 정정시간을 동시에 조절하기에는 불편한 점이 있다. 이를 개선하기 위해 유전자 알고리즘을 이용하여 상승시간과 정정시간을 조절할 수 있는 일반화된 Manabe 형을 유도할 수 있다[10]. Manabe 표준형의 일반화 연구로서 상승시간과 정정시간을 빠르게 혹은 느리게 만들 수 있다. 이 중 상승시간도 빠르고 정정시간도 빠른 형이 FRFS(Fast Rise time and Fast Settling time) 형이다.

3. 런지 커타 기법과 유전자 알고리즘

단위 계단 응답에 의한 플랜트 전달함수의 출력 파형을

검출하고자 하는 경우, 출력 파형에서 상승시간과 정정시간을 구할 수 있다. 여기서 상승시간은 정정 상태의 최종 값의 10%에서 90%까지 도달하는데 걸리는 시간을 의미하고 정정시간은 입력 파형이 인가된 시각부터 입력 파형의 최종 값의 98%와 102%사이의 범주 안에 파형이 들어오는 첫 시각까지의 시간이다. Manabe 표준형의 일반화 연구에 런지 커타(Runge-Kutta) 기법을 이용한다[11]. 이 기법을 이용하여 전달함수를 나타내는 상미분 방정식의 해를 구할 수 있다. 이때 입력은 단위계단 입력을 이용한다.

만약 전달함수가

$$G(s) = \frac{b_0}{a_4 s^4 + a_3 s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + a_0}$$

이라면 이를 상미분 방정식으로 바꾸어 표현하면 다음과 같다:

$$a_4 y'''' + a_3 y'''' + a_2 y'' + a_1 y' + a_0 y = b_0 u$$

여기에서

$$\begin{aligned} x_1 &= y \\ x_2 &= y' \\ x_3 &= y'' \\ x_4 &= y''' \end{aligned}$$

이라고 치환하면 다음과 같은 4개의 일차 미분 방정식의 시스템으로 표현된다:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= x_2 \\ \dot{x}_2 &= x_3 \\ \dot{x}_3 &= x_4 \\ \dot{x}_4 &= -\frac{a_0}{a_4} x_1 - \frac{a_1}{a_4} x_2 - \frac{a_2}{a_4} x_3 - \frac{a_3}{a_4} x_4 + \frac{b_0}{a_4} u \end{aligned}$$

이것을 선형시스템으로 변형하면 다음과 같다 :

$$\begin{aligned} \dot{x} &= Ax + Bu \\ x^T &= [x_1, x_2, x_3, x_4] \\ A &= \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ -\frac{a_0}{a_4} & -\frac{a_1}{a_4} & -\frac{a_2}{a_4} & -\frac{a_3}{a_4} \end{bmatrix} \\ B &= \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \frac{b_0}{a_4} \end{bmatrix} u \quad (u=1) \end{aligned}$$

여기서 $Y = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix}$ 라 놓으면 다음 식이 된다 :

$$\frac{dY}{dt} = AY + B$$

여기에 Runge-Kutta 방법을 적용하면 다음과 같다:

$$\begin{aligned} k_1 &= AY + B \\ k_2 &= A(Y + k_1 h/2) + B \\ k_3 &= A(Y + k_2 h/2) + B \end{aligned}$$

$$k_4 = A(Y + k_3 h) + B$$

$$Y(t+h) = Y(t) + h/6(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4)$$

$$Y(t+h) = \begin{bmatrix} y(t+h) \\ y'(t+h) \\ y''(t+h) \\ y'''(t+h) \end{bmatrix}$$

런지 커타 기법의 상미분 방정식의 해를 구하기 위하여 유전자 알고리즘을 이용하는 이유는 단위 계단 응답에 의한 전달함수의 출력 파형의 검출에서 다양한 출력 파형이 생성된다. 이러한 다양한 출력 파형에서 원하는 상승 시간과 정정 시간을 구하기 위해서 비결정론적 방법이 필요하다. 이와 같은 비결정론적 난제에 적합한 것이 유전자 알고리즘이다. 우선 다항식의 계수가 n차인 경우, 안정지수 ($\gamma_i (i=1, 2, 3, \dots, n-1)$)의 값에 따라 적정한 상승시간과 정정시간을 갖는 일반화된 Manabe 형을 유도할 수 있다. 다항식의 계수가 n차인 경우, n-1 개의 안정지수로 구성되는 염색체를 이용하여 원하는 상승시간과 정정시간을 갖는 염색체를 찾아낸다.

본 논문에서 구현한 유전자 알고리즘에서 교차 연산은 일점 교차를 이용하고, 변이 연산은 염색체를 구성하는 모든 비트에 대하여 변이 확률보다 낮은 경우 변이를 일으키도록 한다. 선택 연산은 룰렛휠 선택 연산을 사용하며 염색체의 표현은 이진수로 나타낸다. 각 염색체의 이진수는 범주의 최소 값의 차이를 염색체의 비트 크기의 이진수로 나타낼 수 있도록 한다. 룰렛휠 선택 연산에서 이용되는 목적 함수는 다음과 같다:

$$\text{적합도 함수} : 1/[(t_r - t_{rd})^2 + (t_s - t_{sd})^2]$$

여기서 t_r, t_{rd}, t_s, t_{sd} 는 각각 실험에서 구한 상승시간, 원하는 상승시간, 실험에서 구한 정정시간과 원하는 정정시간을 나타낸다. 즉 원하는 상승시간과 정정시간에 어느 정도 근접하게 하기 위하여 차의 제곱들의 합의 역수로 목적함수를 선택한다.

4. 제어기 설계 기법

Manabe 표준형의 일반화를 이용하여 플랜트의 성능을 충족시키는 제어기의 설계 기법에 대해 기술한다. 두 변수 구조를 갖는 제어시스템에서 제어기의 계수 설계시 Sylvester 행렬이 정방(square)이 아니고 기존의 의역행렬 (pseudoinverse) 방법[12]으로 해결할 수 없는 경우 새로운 의역행렬 방법과 경사 알고리즘을 이용하여 원하는 페루프 다항식이 설계된 다항식과 같거나 근사적으로 같도록 설계한다. 원하는 페루프 특성 방정식은 Manabe 표준형을 선택한다.

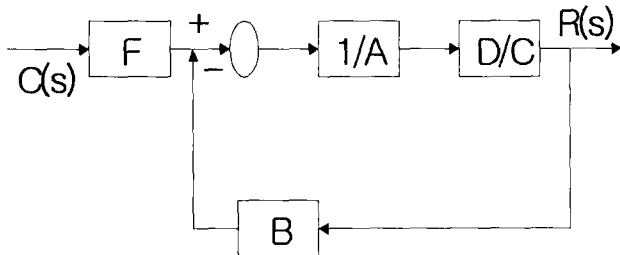


그림 1. 두 변수 구성 제어 시스템
Figure 1. Two Variable Control System

[그림 1]에 보여진 두 변수 구성 제어시스템은 임의의 극점과 영점을 설정할 수 있는 구조이다. 전체적인 페루프시스템의 전달함수는

$$\frac{R(s)}{C(s)} = \frac{F(s)D(s)}{A(s)C(s) + B(s)D(s)}$$

로 주어지며 주어진 플랜트는 서로 소(coprimeness)를 만족하고 진분수(strictly proper)라고 가정한다. 플랜트 다항식은

$$C(s) = \sum_{i=0}^l C_i s^i, \quad D(s) = \sum_{i=0}^m D_i s^i$$

$$A(s) = \sum_{i=0}^j A_i s^i, \quad B(s) = \sum_{i=0}^k B_i s^i$$

이라고 가정한다. 이때 전체적인 페루프 시스템의 특성방정식 $Y_d(s) = \sum_{i=0}^n a_i s^i$ 을 만족하도록 설계하고자 한다. 따라서

$$A(s)C(s) + B(s)D(s) = Y_d(s)$$

이 성립되도록 제어기의 계수를 구하기 위한 식은 다음과 같다:

$$X_d^T W = Y_d(s)$$

여기서

$$w = [A_\ell, A_{\ell-1}, \dots, A_0, B_k, B_{k-1}, \dots, B_0]^T;$$

$$Y_d = [a_n, a_{n-1}, \dots, a_0]^T;$$

$$X_d = \begin{bmatrix} C_j & C_{j-1} & \dots & C_0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & & & & 0 & C_j & C_{j-1} & \dots & C_0 \\ \vdots & & & & D_m & \dots & D_1 & D_0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & D_m & D_{m-1} & \dots & D_0 \end{bmatrix}$$

이며 X_d 는 $(\ell + k + 2) \times (j + \ell + 1)$ 의 차수를 가지며 이때 $(\ell + k + 2) < (j + \ell + 1)$ 이면 다음 사실이 성립한다.

사실 1[12]: $X_d^T W = Y_d(s)$ 의 해는 $W = (X_d X_d^T)^{-1} X_d Y_d$ 로 주어지며 이때 W 는 $\|Y_d - X_d^T W\|$ 를 최소화 한다.

또한 $(\ell + k + 2) = (j + \ell + 1)$ 인 경우 직접 역행렬을 이용하여 제어기의 계수를 구할 수 있다. 만약 $(\ell + k + 2) > (j + \ell + 1)$ 이 성립하면 제어기의 계수에 대한 해는 무수히 많으며 다음 정리를 얻는다.

보조정리 1[13]: $X_d^T W = Y_d(s)$ 의 해로서 $W = X_d (X_d^T X_d)^{-1} Y_d$ 로 주어지며 이때 W 는 $\|W\|$ 를 최소화 한다.

보조정리 1을 이용할 경우는 제어기 계수의 갯수가 원하는 페루프 다항식의 차수보다 하나 많은 경우이다. 외란 제거나 감도함수의 감소에 이용할 수 있도록 하기 위해 제어기 계수의 갯수를 증가시킬 경우에 보조정리 1을 이용할 수 있다.

다음 정리는 X_d 의 열(column)이 클 경우나 혹은 빠른 연산을 위해 역행렬을 이용하지 않을 경우 경사 알고리즘을 이용하여 제어기의 계수를 구하기 위해 사용할 수 있다.

보조정리 2[13]: $X_d^T W = Y_d(s)$ 의 반복 해로서 $W^{k+1} = W^k + \alpha_k X_d e^k$ 의 형태로 표시할 수 있고 $e^k = Y_d - X_d^T W^k$ 가 되며 이 경우 k 가 증가할수록 $\|Y_d - X_d^T W^k\|^2$ 의 값이 감소한다.

제어기의 계수를 구하기 위한 식 $X_d^T W = Y_d(s)$ 에서 제어기 계수를 행렬로 표현한

$$W = [A_1, A_{l-1}, \dots, A_0, B_k, B_{k-1}, \dots, B_0]^T;$$

를 구하기 위한 보조정리 1, 2에 기초한 두 가지의 알고리즘을 제시한다. 이 알고리즘을 구현하기 위해서는 행렬 연산이 필요하다. 보조정리 1을 구현하기 위해서는 행렬의 곱 연산, 전치 연산, 역행렬 연산이 필요하고, 보조정리 2를 구현하기 위해서는 행렬의 곱 연산, 전치 연산, 행렬의 빼기 연산이 필요하다. 다음은 보조정리 1, 2에 대응하는 알고리즘이다.

보조정리 1의 계수 구하기 알고리즘

1. $Y_d(s)$ 를 구하기 위하여 Runge-kutta 기법에서 구한 계수를 이용한다.
2. 설계하고자 하는 제어기의 구조에서 적절한 X_d 를 계산한다.
3. 행렬 연산으로 $W = X_d(X_d^T X_d)^{-1} Y_d$ 를 구한다.

보조정리 2의 계수 구하기 알고리즘

1. $Y_d(s)$ 를 구하기 위하여 Runge-kutta 기법에서 구한 계수를 이용한다.
2. 설계하고자 하는 제어기의 구조에서 적절한 X_d 를 계산한다.
3. 다음을 500 번 반복한다
 - 3.1 $e^k = Y_d - X_d^T W^k$ 를 구한다.
 - 3.2 $W^{k+1} = W^k + a_k X_d e^k$ 를 구한다.

Manabe 표준형을 이용한 제어기 설계 방법을 기존의 방법들과 비교해 보기 위해 다음 예를 고려한다. 두 변수 구성 시스템에서 플랜트

$$\frac{D(s)}{C(s)} = \frac{0.1s+1}{s(0.25s^2+1.25s+1)}$$

가 주어지고 정정시간을 3.3 sec 이하로 유지하도록 제어기를 설계하도록 하고 $F(s)=1$ 로 가정한다. 그리고 제어기의 분모 분자가 각각 3차가 되도록 설계한다. 또한 기존의 역행렬과 의역 행렬의 경우 각각 제어기의 형태를 2차/3차 와 1차/3차로 구성하여 위의 경우와 비교한다. 비교 결과는 [표 1]에 보여 진다. 정정시간은 보조정리 2의 첫 번째 경우 3.4 sec로 나타난다. 따라서 Manabe 표준형의 등가시정수 $\tau = a_1/a_0$ 를 2.6667에서 2.3430으로 줄여 정정시간이 2.8 sec로 되어 명세를 만족시킬 수 있다. 보조정리 1를 사용하면 정정시간이 2.5 sec이므로 명세를 만족한다.

표 1. 제어기 설계 방법들의 비교

Table 1. The Comparison Results of Controller Design Methods

설계 방법	제어기의 종류	τ	정정시간
역행렬	2차/3차	2.6667	2.6 sec
의역행렬	1차/3차	2.6667	3.4 sec
보조정리 1	3차/3차	2.3430	2.5 sec
보조정리 2	3차/3차	2.6667	3.4 sec
보조정리 2	3차/3차	2.3430	2.8 sec

5. 제어기 설계 시스템 구현

5.1 시스템 구조

제어기 설계 시스템은 제어기 설계 기법을 구현한 프로그램이다. 이 시스템은 행렬 해(Matrix_Solution) 모듈, 플랜트 편집기(Plant Editor) 모듈, 런지 커타(RungeKutta) 모듈과 유전자 알고리즘 모듈로 구성되어 있다. 행렬 해 모듈은 주(main) 모듈로서 전체 시스템의 주요 흐름을 제어하고 제어기 시스템에 대한 정의와 구조가 기술된다. 플랜트 편집기 모듈은 플랜트를 나타내는 다항식을 입력받는다. 런지 커타 모듈은 안정 계수를 얻어내기 위해 사용된다. 유전자 알고리즘 모듈은 런지 커타 모듈 내에서 원하는 상승 시간과 정정 시간을 갖는 출력 파형을 검출하기 위해 사용된다. 제어기 설계 시스템의 구조는 [그림 2]와 같다. 각 모듈은 아래 절에 기술된다.



그림 2. 제어기 설계 시스템 구조
Figure 2. The Structure of the Controller Design System

제어기 설계 시스템은 자바 언어를 이용해 구현하였다. 개발 환경은 Windows 2000 Server에서 개발하고 자바의 버전은 JDK 1.3을 이용하였다. 프로그램은 자바 애플릿으로 구현하였다. 애플릿을 구현하는 컴포넌트는 JDK에서 지원하는 AWT와 JFC를 사용하고 2D 그래프는 자체적으로 개발한 그래픽 컴포넌트를 사용하였다.

5.2 런지 커타 모듈

제어기 설계를 위해서 안정된 출력을 가진 플랜트 전달함수의 계수를 찾아내야 한다. 단위 계단 응답에 의한 출력 파형을 검출하기 위해서 일반적으로 많이 사용되는 런지 커타 기법을 사용한다. 이 방법은 선형 시스템의 출력 파형에서 구간 값을 구할 수 있고 출력 파형에서 상승시간과 정정 시간을 구할 수 있다. 이를 이용하여 원하는 안정된 출력 파형을 만들어 낼 수 있다. 이 모듈을 실행할 때 사용자로부터 원하는 상승시간과 정정시간을 입력받고 이 시간들에 수렴하는 해를 구하기 위해서는 유전자 알고리즘을 사용한다.

5.3 유전자 알고리즘 모듈

런지 커타 모듈을 이용하여 안정 계수를 구하기 위해서 유전자 알고리즘을 이용한다. 이때 최적의 해를 구하기 위해서 유전자 알고리즘에서 사용되는 다양한 매개 변수들과 연산 방법을 이용하여 구할 수 있도록 한다. 유전자 알고리즘의 주요 연산 구조는 선택 연산, 교배 연산, 변이 연산, 변경/수정 연산(스케일링, 우성화) 의 순서로 진행된다. 이 연산들은 독립적으로 진행되는 특징을 가지기 때문에 본 구현에서는 완벽하게 독립된 모듈로 분리하였다. 유전자 알고리즘을 이용하여 반복적으로 해를 찾을 때 목적함수는 다음과 같이 정하였다:

$$1 / \{(ST-DST)^2 + (RT-DRT)^2\}$$

여기에서 ST와 RT는 런지 커타 모듈을 1회 실행한 결과에서 얻어낸 상승시간과 정정시간이고 DRT와 DST는 사용자가 원하는 상승시간과 정정시간이다.

5.4 플랜트 편집기 모듈

제어기 설계 시스템을 동작시키기 위해서는 먼저 시스템의 특성인 플랜트의 차수가 정의되어야 한다. 플랜트는 제어기의 설계를 하기 전에 이미 주어진 시스템의 특성이므로 사용자로부터 입력을 받아야 한다. 이 경우 사용자로부터 수식을 입력받아 설계 시스템을 정의하기 위해서는 제한된 형태의 수식 입력기가 필요하다. 수식의 입력은 플랜트의 분자, 분모 각각의 식을 차수에 따른 항으로 나누어 입력하고 저장한다.

플랜트 편집기 모듈의 한 실행 화면은 [그림 3]에 보여진다. 상단의 Plant라는 부분에 표시된 수식은 사용자로부터 표를 통해서 입력된 플랜트의 수식을 보기 쉽도록 보여주는 부분이다. 아래에 Editor라는 부분이 실제로 사용자가 주어진 셀에 플랜트 수식의 분자와 분모의 계수를 0차부터 n차까지 차례대로 입력하는 곳이다. 셀에 원하는 계수를 입력하고 분자와 분모의 차수를 입력한 다음 Edit 버튼을 누르게 되면 플랜트 편집기 모듈 내부에 있는 Plant 클래스의 객체에 입력된 다항식의 계수가 저장되고, Delete 버튼을 누르면 임시 저장소에 저장되어 있는 계수의 값들이 삭제된다. 입력을 마치고 OK 버튼을 누르게 되면 완성된 Plant 객체가 호출된 메인 프로그램으로 넘겨지게 된다.

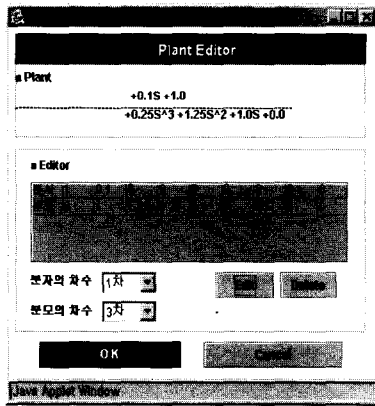


그림 3. 플랜트 편집기 모듈의 실행 화면

Figure 3. An Execution Screen of the PlantEditor Module

5.5 행렬 해 모듈

이 모듈은 제어기 시스템 설계를 위한 주 모듈로서 다른 모듈들을 이용하여 제어기의 계수를 구한다. 플랜트 편집기 모듈을 이용하여 주어진 플랜트를 나타내는 수식을 입력한다. 런지 커타 모듈을 통해서 원하는 출력 파형을 갖는 안정된 시스템의 계수를 구한다. 이 계수를 구하기 위해 유전자 알고리즘 모듈을 이용하여 안정 지수를 구한다. 다음으로 이 모듈에서는 제어기 설계 기법의 3가지 방법들을 이용하여 제어기의 계수를 구한다. 프로그램의 주 화면은 [그림 4]에서 보는 바와 같이 A 영역부터 K 영역까지 크게 11개의 실행 영역으로 나누어 볼 수 있다. 각 영역에 대한 설명은 [표 2]에 주어진다.

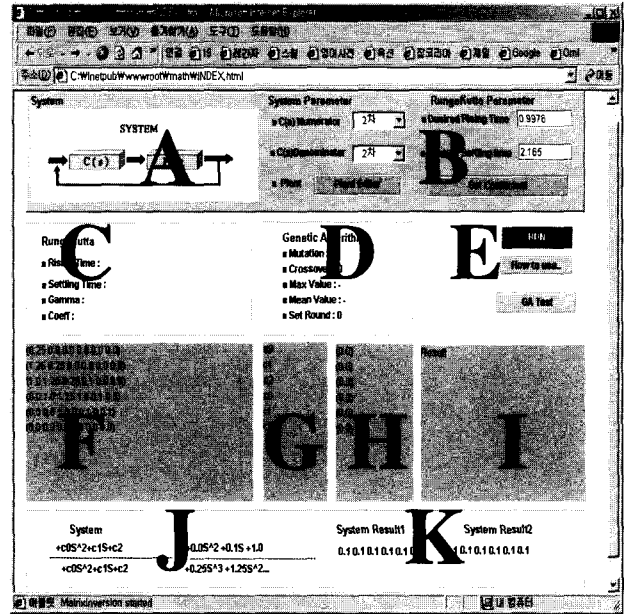


그림 4. 프로그램의 주 화면

Figure 4. The Main Screen of the Program

표 2. 제어기 설계 시스템의 GUI 구성 요소
Table 2. The GUI Components of the Controller Design System

영역	설명
A	콤보 박스를 통해 제어기의 차수를 입력하고 플랜트 편집기 모듈을 구동한다. 그 결과로 J 영역의 수식이 바뀐다
B	런지 커타 모듈을 호출하기 위한 desired rising time과 desired settling time을 입력한 후 Get Coefficient 단추를 호출하면 모듈이 실행된다
C	런지 커타 모듈의 실행 결과를 보여 준다
D	유전자 알고리즘 모듈에서 사용되는 주요 파라미터의 값을 보여 준다
E	제어기의 계수를 얻기 위한 프로그램 실행 단추, 이용 방법을 보기 위한 단추, 유전자 알고리즘 시험을 위한 단추가 있다
F	전달함수 최고차 항의 차수와 플랜트의 계수 입력을 통해 얻은 행렬로서 4절에 정의된 X_d 에 대응된다
G	구하고자 하는 제어기의 계수를 나타낸다
H	일반화된 Manabe 형을 이용하여 런지커타 모듈을 수행한 결과로 얻은 값을 나타낸다
I	행렬 해 모듈을 실행하여 얻은 제어기 계수 결과를 보여준다
J	제어기와 플랜트의 식을 보여준다
K	기타 연산 결과를 보여 준다

5.6 실험 결과

개발된 애플릿을 이용하여 제어기를 설계하는 시스템의

예를 기술하고자 한다. [그림 5]에 보여진 시스템의 제어기의 계수 $d_2, d_1, d_0, c_2, c_1, c_0$ 를 구하고자 한다.

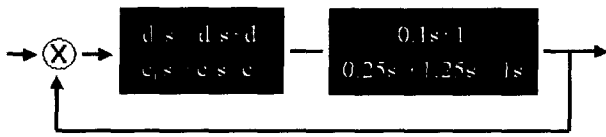


그림 5. 제어기 시스템 예제
Figure 5. Example of An Control System

먼저, 제어기의 차수를 입력한다. 예제 시스템에서는 제어기의 분자, 분모의 차수가 모두 2차이므로 영역 A에 각각 2차로 입력한다. 이때 제어기의 차수를 입력하게 되면 영역 J에 입력한 제어기의 형태가 적절한 수식으로 보여지게 된다. 두 번째로, 플랜트 편집기를 호출하여 플랜트의 차수를 정의하고 플랜트 수식의 계수를 입력한다. 주 화면의 영역 A의 Plant Editor 단추를 누르면 제어기 편집을 위한 Plant Editor 창이 나온다. 화면에 플랜트의 입력 창이 나오면 분자와 분모의 차수를 입력한다. 그 다음 [그림 3]와 같이 표의 분자와 분모 열에 0차부터 플랜트의 계수를 차례대로 입력하면 이 화면의 F 영역에 [그림 6]과 같이 행렬이 계산되어 보여진다.

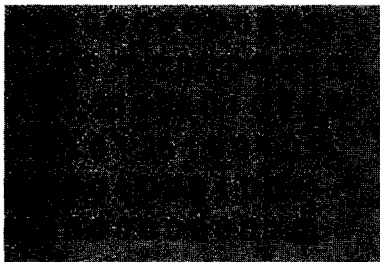


그림 6. 플랜트의 수식 입력후 생성된 행렬
Figure 6. The Matrix after Input of Coefficients of the Given System

다음으로 제어기의 차수와 플랜트 전달함수의 입력이 끝나면 원하는 시스템의 출력 파형을 얻기 위한 계수를 얻어 오기 위해서 런지 커터 모듈을 호출하여야 한다. 영역 B의 Get Coefficient 단추를 누르면 [그림 7]과 같은 런지 커터 모듈의 실행 화면이 뜬다. 이때 우리가 원하는 차수의 시스템에 대한 출력 파형에 따른 계수를 얻기 위해서는 입력한 전달함수의 최고차 항의 차수 + 1을 Order 항목에 입력한다. 또한 원하는 상승시간과 정정시간을 입력한다. 이때 유전자 연산의 파라미터는 다음과 같다:

- 모집단 크기 : 80
- 염색체 길이 : 40
- 최대 세대수 : 300 세대
- 선택연산 : 룰렛휠 연산
- 변이 확률 : 0.02
- 교배 확률 : 0.25

출력 파형 생성 단추를 누르면 연산이 수행되고 원하는 상승시간과 정정시간에 가장 근접한 출력 파형일 때 안정 지수 값들과 유전자 알고리즘을 통한 연산결과와 출력 파형이 화면에 보여지게 된다. 또한 이때 자동적으로 이때의 각 차

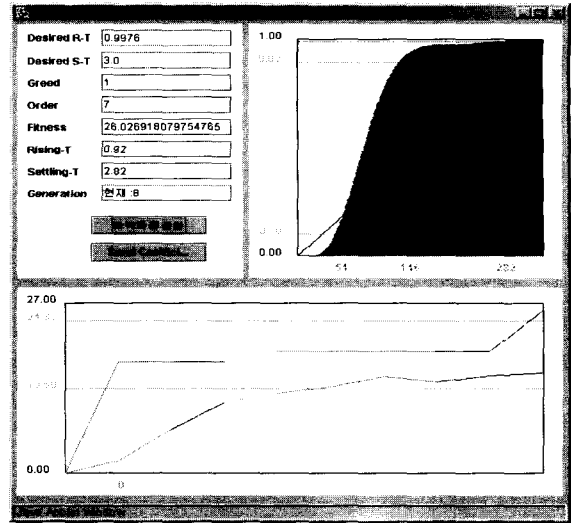


그림 7. 유전자알고리즘을 이용한 런지커터모듈의 실행 화면
Figure 7. An Execution Screen of the Runge-Kutta Module using the Genetic Algorithm

수에 대한 계수들의 값은 자동적으로 주 프로그램에 전달되며, 유전자 알고리즘과 런지 커터의 실행 결과는 C와 D 영역에 표시되며 찾아낸 안정 계수들은 행렬의 형태로 H 영역에 보여지게 된다

마지막으로 영역 E의 RUN 버튼을 누르면 지금까지 구한 값들을 이용하여 행렬 해 모듈의 연산을 수행하게 된다. 이때 제어기의 차수에 따라서 제어기의 분모의 차수가 분자의 차수보다 크면 사실 1을 이용한 방법으로 제어기의 계수를 찾아낸다. 제어기의 분자의 차수가 분모의 차수보다 크거나 같으면 보조정리 1과 보조정리 2에 기초한 알고리즘들을 이용하여 제어기의 계수를 얻어낸다. 이와 같이 구한 제어기의 계수는 I 영역에서 볼 수 있다. 예제 시스템에서는 제어기의 분자의 차수와 분모의 차수가 같으므로 후자의 알고리즘들을 이용하여 구한다. 이와 같이 얻은 프로그램의 최종 실행 결과는 [그림 8]에 보여진다. Case 2 해법과 Case 3 해법은 각각 보조정리 1과 보조정리 2에 기초한 알고리즘을 이용하여 얻은 결과이다. 두 해법의 결과가 거의 같음을 확인할 수 있다. 이와 같이 구한 제어기의 계수를 통해서 사용자가 원하는 출력 파형을 갖는 안정된 제어기 시스템은 [그림 9]에 보여진다.

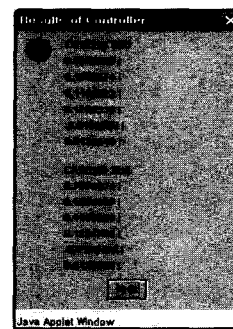


그림 8. 제어기 설계 시스템의 실행 결과
Figure 8. An Execution Result of the Controller Design System



그림 9. 구현 안정된 제어기 시스템
Figure 9. A Produced Stable Controller System

6. 결 론

본 논문은 제어시스템에서 원하는 출력 파형을 보이는 제어기 설계를 위해서 상승 시간과 정정 시간이 Manabe 표준형보다 더 빠른 특성을 갖는 일반화된 Manabe 표준형을 사용하여 단위 응답 파형을 얻어내고, 유전자 알고리즘을 통해서 최적의 제어기 계수를 얻어냄으로써, 제어기를 설계하는 프로그램을 개발한다. 단위 계단 응답에 의한 플랜트 전달 함수의 출력 파형 검출에서의 상승 시간과 정정 시간을 구하는 문제를 풀기 위해서 런지 커타 기법을 이용한다. 이 기법을 통하여 전달함수를 나타내는 상미분 방정식의 해를 구할 수 있다. 이 과정에서 유전자 알고리즘을 이용한다.

본 연구가 기존 연구와의 차이점은 상승 시간과 정정 시간을 임의로 조정할 수 있는 오버슈트가 없는 전달 함수를 구하는 것과 자바 언어를 이용하여 제어기 설계를 구현하여 인터넷상에서 누구나 사용할 수 있게 한 것이다. 웹 상에 구동시킨 제어기 설계 애플릿은 제어공학을 공부하는 학생이나 관심 있는 다양한 분야에서 누구나 접속하여 사용할 수 있도록 하였다.

참고문헌

[1] D. Goldberg, *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*, Addison-Wesley, 1989.
 [2] J. Koza, *Genetic Programming*, MIT Press, 1992.
 [3] Z. Michalewicz, *Genetic Algorithm + Data Structure = Evolution Program*, Springer Verlag, 1994.
 [4] M. Mitchell, *An Introduction To Genetic Algorithms*, MIT Press, 1997.
 [5] 김신구, 최용희, 김영철, "새로운 성능지수," *Korea Automatic Control Conference*, pp. 796-799, 1998.
 [6] 정슬, 박영우, "선형시스템의 자동제어기 설계 프로그램의 개발," *추계 자동제어 학술회의*, pp. 1841-1844, 1998.
 [7] L. Jason, *An algebraic approach to control system design*, M.S. thesis, University of Waterloo, 1996.
 [8] A. Lipatov and N. Sokolov, "Some sufficient conditions for stability and instability of continuous linear stationary systems," *Avtomatika I Telemekhanika*, No. 9, pp. 30-37, 1978.

[9] S. Manabe, "Coefficient Diagram Method," *The 14th IFAC Symposium on Automatic Control in Aerospace*, pp. 199-210, August 1998.
 [10] Y. Jung and H. Kang, "A Study on the Generalization of the Manabe Standard Forms by GA," *American Control Conference*, July 2000.
 [11] S. Chapra and R. Cande, *Numerical Methods for Engineers*, WCB/McGraw Hill Company, Singapore, 1998.
 [12] 정재운, 김한실, "CDM을 이용한 역진자 제어기 설계," *Korea Automatic Control Conference*, pp. 788-791, 1998.
 [13] P. Chong and S. Zak, *Introduction to Optimization*, John Wiley & Sons, 1996.

저 자 소개

이충기(Chungki Lee)

1979 : 서울대학교 계산통계학과 이학사
 1981 : 서울대학교 계산통계학과 이학석사
 1993 : 조지아공과대학교 전산과학대학 전산학박사
 1994~1996 : 한국전산원 전산망표준본부 선임연구원
 1996~현재 명지대학교 컴퓨터소프트웨어학과 부교수

관심분야 : 인터넷응용, 유전자컴퓨팅, 콘텐츠 분배 네트워크
 E-mail : cklee@mju.ac.kr

강환일(Hwanil Kang)

1980 : 서울대학교 전자공학과 공학사
 1982 : 한국과학기술원 전기전자공학과 공학석사
 1992 : 위스콘신(매디슨) 대학교 전기컴퓨터공학과 공학박사
 1983~1984 : 경북대학교 전자공학과 전임강사
 1993~1995 : 경상대학교 제어계측공학과 조교수
 1996~현재 명지대학교 정보공학과 교수

관심분야 : 디지털 정보보호, 인포매틱스, 진화 프로그래밍, 암호학
 E-mail : hwan@mju.ac.kr

유일규(Ilkyu Yu)

2001 : 명지대학교 전자정보통신공학부 공학사
 2003 : 명지대학교 정보통신공학과 공학석사
 2003~현재 (주) 프리챌 플랫폼팀 대리

관심분야 : 인터넷 응용, 네트워크 자원관리
 E-mail : yul9@dreamchal.com