(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(51) 。Int. Cl. [6]
G05B 13/04

(45) 공고일자 2003년03월15일
(11) 등록번호 10-0371728
(24) 등록일자 2003년01월27일

(21) 출원번호 10-1997-0707665
(22) 출원일자 1997년10월28일
번역문 제출일자 1997년10월28일
(86) 국제출원번호 PCT/US1996/05907
(86) 국제출원출원일자 1996년04월26일
(65) 공개번호 특1999-0008140
(43) 공개일자 1999년01월25일
(87) 국제공개번호 WO 1996/34324
(87) 국제공개일자 1996년10월31일

(81) 지정국 국내특허 : 아일랜드, 알바니아, 오스트레일리아, 바베이도스, 불가리아, 브라질, 캐나다, 중국, 체코, 에스토니아, 그루지야, 헝가리, 아이슬란드, 일본, 북한, 대한민국, 스리랑카, 라이베리아, 리투아니아, 라트비아,
AP ARIPO특허: 케냐, 레소토, 말라위, 수단, 스와질랜드, 케냐, 레소토,
EA 유라시아특허: 아르메니아, 아제르바이잔, 벨라루스, 키르기즈, 카자흐스탄,
EP 유럽특허: 오스트리아, 벨기에, 스위스, 독일, 덴마크, 스페인, 프랑스, 영국, 그리스, 이탈리아, 룩셈부르크, 모나코, 네덜란드, 포르투칼, 스웨덴, 핀랜드,

(30) 우선권주장 08/431244 1995년04월28일 미국(US)

(73) 특허권자 엑손 케미칼 패턴츠 인코포레이티드
미국 뉴저지주 07036 린덴 피오 박스 710 이스트 린덴 애비뉴 1900

(72) 발명자 바르투시악 레이몬드 도날드
미국 텍사스주 77062 하우스톤 리지웰 15210
폰테인 로버트 윌리암
미국 텍사스주 77062 하우스톤 레드우드 벤드 트레일14522

(74) 대리인 김창세
장성구

심사관 : 김재문

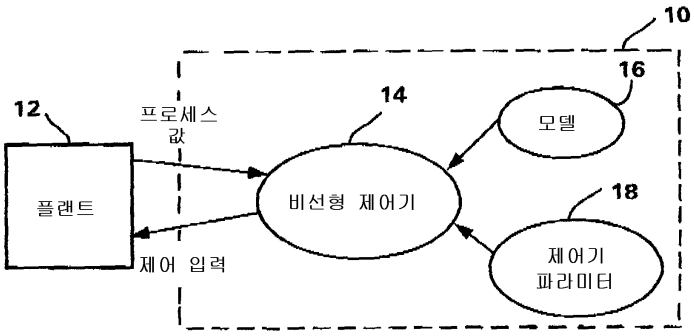
(54) 플랜트프로세스제어시스템

요약

본 시스템은 조정 변수(manipulated variables)(예를 들어, 입력 상태) 및 제어 변수(control variables)(예를 들어, 출력 상태)를 포함하는 플랜트 프로세스(plant process)(12)를 제어한다. 이 시스템은 제어 변수를 측정하기 위한 센

서 회로(sensor circuitry)와, 조정 시정수(correction time constant) 및 적어도 하나의 제어 변수에 대한 상한값과 하한값을 저장하기 위한 메모리를 포함한다. 상한값과 하한값은 하나의 제어 변수를 수용할 수 있다고 고려되는 대역값에 의해 분리된다. 프로세서는 조정 변수의 비용을 제어 변수와 관련시키도록 프로세스 모델(16)을 기술하는 데이터를 포함하며, 해(solution)를 구하는 즉시, 하나의 제어 변수에 대한 예측값(predicted values)을 더 제공한다. 프로세서 내의 논리 회로는 대역값밖에 존재하는 하나의 제어 변수의 측정된 값 함수(measured value function)에 응답하여, 하나의 제어 변수의 예측값을 수용가능한 대역값내로 리턴(return)시키는 최소 비용의 조정 변수를 결정한다. 플랜트 내의 제어 수단들은 프로세서로부터의 신호에 따라 조정 변수(및 입력 상태)를 바꾸는 동작을 수행한다.

대표도



명세서

기술분야

본 발명은 프로세스 제어 시스템(process control systems)에 관한 것으로, 특히, 플랜트 조정 변수(plant manipulated variables)와 플랜트 제어 변수(plant control variables)간에 비선형적인 관계(non-linear relationship)가 존재하는 모델 기반 피드백 제어 시스템(model-based feedback control system)에 관한 것이다.

배경기술

미국 특허 제 4,349,869 호에는 프레트(Prett) 등에 의해 " Dynamic Matrix Control Method" 란 명칭으로, 플랜트 환경하에서 일련의 상호 의존적 프로세스의 동작을 제어 및 최적화하기 위한 방법 및 장치가 기술되어 있다. 제어 동작을 수행하기 위해서는, 플랜트로의 입력 변수는 측정된 섭동(perturbation)의 영향을 받으며, 출력에 대한 동적 결과에 의해, 온 라인(on-line) 동작 동안에 프로세스의 미래 응답(future response)을 예측할 수 있도록 되어 있다. 제어 방법을 구현하기 위해, 프레트 등은 최초의 테스트 단계 동안에 도출된 값을 표로 만들었다. 이러한 표(table)에는 여러 입력 및 결과적인 출력이 포함되어 있으며, 이 표는 차후에 플랜트가 동작하는 동안 중요한 기준 포인트(reference point)의 역할을 한다.

프레트 등의 방법은 선형 시스템 동작 또는 선형으로 시뮬레이션 될 수 있는 동작을 제어하는데 특히 적합하다. 그러나, 비선형 플랜트 동작의 경우에 있어서는, 프레트 등의 방법은 적절히 수행될 수 없으며, 특히, 다수의 제어 변수 및 조정 변수가 존재하는 경우에 더욱 그러하다. 제어 변수는 하나 이상의 조정 변수, 예를 들어, 플랜트로의 입력의 변화에 의해 영향을 받는 플랜트 출력이다.

동적 매트릭스 제어 방법(dynamic matrix control method)을 중합 처리(polymerization process)에 적용하는 것이 피터슨(Peterson) 등에 의해 " A Non-linear DMC Algorithm and its Application to a Semibatch Polymerization Reactor" 란 명칭으로, Chem. Eng. Science, Vol. 47, No. 4, pp. 737-753(1992)의 문헌에 기술되어 있다. 피터슨 등은 해(solution)를 구하기 위해 비선형 제어기(non-linear controller) 및 수치 알고리즘(numerical algorithm)을 채용하고 있으나, 그들의 방법은 제어 해(control solution)에 도달시에 입력 상태 비용의 최소화를 꾀하지는 않고 있다. 브라운(Brown) 등은 " A Constrained Nonlinear Multivariable Control Algorithm" 이란 명칭으로, Trans I ChemE. Vol. 68(A), Sept. 1990, pp. 464-476의 문헌에서 제어 동작이 금지되는 특정 레벨의 수용가능한 출력값을 포함하는 비선형 제어기를 기술하고 있다. 그러나, 브라운 등은 어떠한 입력값이 최소 비용을 달성하며, 동시에 출력을 제어하는지를 테스트하지 않고 있다.

종래 기술의 특허에는 선형 및 비선형 표현을 둘다 채용하여 제어 및 조정 변수를 관련시키는 모델 기반 제어 시스템을 사용하는 여러 기법들을 개시하고 있다. 미국 특허 제 4,663,703 호에는 액셀비(Axelby) 등에 의한, 하부 시스템(subsystem)의 임펄스 모델을 채용하여 미래의 출력을 시뮬레이션 및 예측하는 기준 예측 모델 제어기(reference predictive model controller)가 기술되어 있다. 이 시스템은 심지어 동적 특성이 변하고 있을 때에도, 동적 시스템이 일정한 특성을 갖도록 조정되는 조정가능한 이득(gain) 피드백 및 제어 루프를 포함한다.

미국 특허 제 5,260,865 호에는 뷰포드(Beauford) 등에 의한, 비선형 모델을 채용하여 프로세스 증기 및 증류 흐름율(process vapor and distillate flow rates)을 계산하는 비선형 모델 기반 제어 시스템이 기술되어 있다. 산체즈(Sanchez)(제 4,358,822 호)는, 프로세스에 적용되어 프로세스 출력이 미래의 어느 순간에 소망의 값이 되게 하는 제어 벡터를 모델이 결정하는 적응-예측 제어 시스템(adaptive-predictive control system)을 기술하고 있다. 모델의 파라미터는 실시간으로 갱신되어, 출력 벡터가 실제 프로세스 벡터에 근접하게 한다. 미국 특허 제 5,268,834 호에서 새너(Sanner) 등은 통신망(neural network)을 채용하여 제어용 플랜트 모델을 구성하고 있다.

플랜트 동작이 동적, 비선형 프로세스 동작을 포함하고, 많은 조정 변수 및 제어 변수들을 포함할 때, 플랜트 동작에까지 모델 기반 제어 시스템을 확장하는 것은 간단한 문제가 아니다. 최근까지, 적당한 크기 및 비용의 프로세스 제어 컴퓨터는 이러한 동적 플랜트 처리의 모델링에 의한 여러 방정식의 해를 동시에 다루는 처리 능력이 부족하다.

비선형 제어 문제(예를 들면, pH 제어 문제)에 응용하기 위한 기준 시스템 합성 기법(reference synthesis techniques)이 개발되어 왔다. 기준 시스템 합성 기법에서는, 비선형 플랜트 시스템이 기준 궤도(reference trajectory)를 따르게 하고, 일단 플랜트 지연이 종료되면 제 1 및 제 2 차 궤도에 따라 설정 포인트(set point)에 도달하게 하는 것이 바람직하다. 바르투시악(Bartusiak) 등은 " Non-linear Feed Forward/Feedback Control Structures designed by Reference Systems Synthesis" 란 명칭으로 Chemical Engineering Science, Vol. 44, No. 9, pages 1837-1851(1989) 문헌에 매우 비선형적인 플랜트 동작에 적용될 수 있는 제어 프로세스를 기술하고 있다. 근본적으로, 바르투시악 등은 일련의 미분 방정식(differential equation)에 의해 제어되는 플랜트를 기술하고 있다. 비선형으로 설계될 수 있는 일련의 적분-미분 방정식(integro-differential equation)으로 폐쇄 루프 제어 시스템(closed loop control system)의 소망 동작을 표현할 수 있다. 소망의 동작은 기준 시스템이라고 지칭한다.

바르투시악 등은 시스템이 가능한한 기준 시스템과 유사하게 동작하도록 조정 변수들을 조정함으로써 원하는 폐쇄 루프 동작이 실행되도록 한다. 조정 변수 동작은 개방 루프 시스템과 원하는 폐쇄 루프 시스템간의 차이를 같게 하거나, 또는, 일반적으로는 최소화함으로써 결정된다. 그 후, 원하는 플랜트의 동작이 정의된다. 제어 변수들은 제어 변수가 설정 포인트에 도달하는 속도(rate)를 제어하는 튜닝 파라미터(tuning parameter)와 함께 지정된다. 특히, 원하는 플랜트 출력 파라미터가 설정되고, 제어 단계에서 제어 시스템이 원하는 출력 파라미터에 도달하는 속도가 튜닝 파라미터에

의해 지시된다. 따라서, 출력을 각각의 조정 변수 비용 함수에 무관하게 그 지정된 파라미터값에 도달하도록 하는 제어 함수가 구동된다. 이러한 결과는 효율적인 플랜트 동작 제어 뿐만 아니라 비용을 최소화할 수 있는 조정 변수 비용의 변화를 고려하지 않고 있다.

따라서, 본 발명의 목적은 튜닝 파라미터가 제어 변수에 적용되도록 할 수 있는 비선형 프로세스를 제어하기 위한 개선된 방법을 제공하는 것이다.

본 발명의 다른 목적은 제어 방법에 의해 조정 변수 입력 비용을 최소화하면서 원하는 제어 변수를 동시에 달성할 수 있는 비선형 프로세스를 제어하기 위한 개선된 방법을 제공하는 것이다.

발명의 개요

본 시스템은 조정 변수(manipulated variables)(예를 들어, 입력 상태) 및 제어 변수(control variables)(예를 들어, 출력 상태)를 포함하는 플랜트 프로세스(plant process)를 제어한다. 이 시스템은 제어 변수를 측정하는 센서 회로(sensor circuitry)와, 조정 시정수(correction time constant) 및 적어도 하나의 제어 변수에 대한 상한값과 하한값을 저장하기 위한 메모리를 포함한다. 상한값과 하한값은 하나의 제어 변수를 수용할 수 있는 대역값(a band of values)에 의해 분리된다. 프로세서는 조정 변수의 비용을 제어 변수와 관련시켜서, 그 해(solution)에 따라 하나의 제어 변수에 대한 예측값(predicted values)을 더 제공하는 프로세스 모델을 기술하는 데이터를 포함한다. 프로세서내의 논리 회로는 대역값밖에 존재하는 하나의 제어 변수의 측정된 값 함수(measured value function)에 응답하여, 하나의 제어 변수의 예측값을 수용가능한 대역값내로 리턴(return)시키는 최소 비용 조정 변수를 결정한다. 플랜트내의 제어 수단들은 프로세서로부터의 신호에 따라 조정 변수(및 입력 상태)를 바꾸는 동작을 수행한다.

도면의 간단한 설명

도 1은 본 발명에 따른 시스템의 블럭도이다.

도 2는 본 발명에서 사용되는 제어 함수의 개략도이다.

도 3 및 도 4는 본 발명의 동작을 이해하는데 유용한 흐름도이다.

발명의 상세한 설명

이하에서, 본 발명을 기술하는데 다음의 용어들이 채용될 것이다.

프로세스 모델(Process Model) : 프로세스 모델은 플랜트 시스템의 동작을 정의하며, 연속적인 시간 영역에서 대수 방정식 및 미분 방정식의 형태로 공식화된다.

조정 변수의 이산화(Discretization of Manipulated Variables) : 조정된 이동은 불연속적인 시간의 변수이다. 제로 오더 홀드 함수(zero-order hold function)를 채용하여 프로세스 모델에서 사용하기 위한 불연속적인 조정된 이동 변수를 제공한다.

기준 궤도(Reference Trajectory) : 기준 궤도는 제어기의 성능을 제어 변수의 응답 속도(a rate of response)로서 표시한다.

목적 함수(Objective Function) : 목적 함수는 최적 제어 성능을 정의한다. 목적 함수는 제어 설정 포인트 및 경제적 비용(이익) 함수의 위반 페널티를 포함한다.

조정 변수 한계값(Manipulated Variable Limits) : 조정 변수 한계값은 범위의 한계값, 설정 포인트의 한계값 및 안티 와인드업 조건(anti wind-up condition)과 같은 2 차 제어기 한계값 또는 상태를 반영하도록 설정된다.

피드백(Feedback) : 피드백은 프로세스 측정(process measurements)과 모델 예측간의 에러를 나타내는 바이어스값(bias value)으로서 기준 궤도에 포함된다.

상태 평가(State Estimation) : 프로세스 모델 상태와 출력에 대한 예측은 조정 및 피드포워드(feed forward) 변수와, 이전의 제어기 스캔(scan) 시간 동안에 도출된 예측으로부터의 현재값을 기반으로 한 동적 모델의 적분에 의한 각 제어기 스캔으로 제공된다.

초기화(Initialization) : 제어기의 출력은 각 스캔에서 현재 조정 변수의 값을 읽고, 이러한 값에 제어기의 이동 증분량으로서 제공함으로써 초기화된다. 제어기 프로그램이 (폐쇄 루프 또는 개방 루프로)실행중일 때, 모델 상태 및 출력은 이전의 제어기 스캔 동안에 예측된 값으로 초기화된다. 모델 상태 및 출력은 프로그램이 처음에 턴 온(turned on)되었을 때, 현재의 조정 및 피드포워드값에 대한 안정 상태 모델(steady state model)을 구함으로써 초기화된다.

도 1을 보면, 디지털 컴퓨터 기반 제어 시스템이 플랜트(12)에서 발생중인 프로세스를 모니터링한다. 프로세스값은 디지털 제어 시스템(10)내에 위치한 비선형 제어기 함수(14)로 입력된다. 프로세스 모델(16)은 디지털 제어 시스템(10)내에 저장되며, 비선형 제어기(14)에 기준 시스템을 제공하는 일련의 비선형 방정식을 명시한다. 복수의 제어 파라미터들(18)은 비선형 제어기(14)에 의해 도출된 제어값을 제한한다. 프로세스값 측정(measurements)과 (제어 파라미터(18)를 구비한)해 모델(solution model)(16)을 통하여 도출된 예측값을 비교함으로써, 수정값이 도출되어 제어 입력으로서 플랜트(12)에 적용된다.

도 2에서, 비선형 제어기(14)는 시스템 조정 변수, 독립 변수, 및 바이어스값의 변화에 대한 프로세스 상태의 변화율을 정의하는 동적 프로세스 모델(16)을 포함한다. 비선형 제어기(14)는 폐쇄 루프 프로세스 응답 특성을 정의하는 하나 이상의 튜닝값(tuning value)을 더 포함한다. 특히, 각 프로세스 응답 특성은 조정 변수의 변화에 응답하여 제어 변수가 따르게 될 궤도를 정의한다. 측정값과 프로세스 모듈(16)로부터 도출된 예측값간에 차이가 있을 때, 최적화 함수(optimization function)(19)는 원하는 응답 궤도를 달성하는 최소화된 조정 변수 비용을 결정한다.

비선형 제어기(14)는 플랜트(12)로부터 나오는 하나 이상의 제어 변수(예를 들면, 출력)에 대한 한계값의 범위를 설정한다는 것을 알 수 있다. 일단 제어 변수에 대한 상한값과 하한값이 설정되면, 비선형 제어기(14)는 적어도 하나의 한계값에 관련하여 제어 변수의 원하는 이동율과 제어 변수간의 측정된 변화율을 비교하는 제어 절차를 실행한다. 만약 제어 변수가 상한값과 하한값내에 존재한다면, 제어 동작은 취해지지 않는다. 만약 제어 변수가 한계값밖에 존재한다면, 측정된 변화의 동적 율(dynamic rate)과 모델 변화의 동적 율을 비교하여 변화값의 에러율을 도출한다. 그 후, 변화값의 에러율은 목적 함수(objective function)에 의해 채용되어 최고 및 최저 한계값내의 제어 변수의 리턴을 얻기 위해 최소 비용을 나타내게 될 조정 변수를 결정할 수 있도록 한다. 최고 및 최저 한계값을 이용하여 수용가능한 범위의 제어 변수값을 정의함으로써, 어떤 조합이 제어 변수를 한계값내로 리턴할 수 있고, 동시에 조정 변수 비용을 최소화할 수 있는지를 결정하기 위해 여러 조정 변수 비용을 테스트할 수 있다.

도 3 및 도 4를 보면, 비선형 제어기(14)의 동작을 기술한 내용이 도시되어 있다. 비선형 제어기(14)는 플랜트(12)와 통합된 범용 컴퓨터상에서 실행된다. 비선형 제어기(14)는 지정된 주파수 또는 스캔율(scan rate), 예를 들어, 분당 1 회의 스캔율에서 실행되며, 이것에 의해 제어 변수가 모니터링되고, 제어 동작을 실현하도록 각각에 대한 이동을 도출하기 위해 조정 변수가 계산된다.

플랜트 데이터를 디지털 제어 시스템(10)내로 읽어들임으로써 절차가 시작된다(박스(30)). 이러한 데이터는 제어 변수, 조정 변수 및 보조 또는 피드포워드 변수에 대한 현재값을 포함한다. 플랜트 측정값은 필드 기구(field instruments) 또는 오프 라인 실험실 분석(off-line laboratory analyses)에 의해 제공된다. 다음, 각 제어 변수의 현재의 측정값은 대응되는 모델 예측과 비교된다. 플랜트/모델 불일치를 나타내는 바이어스값은 측정값과 예측값간의 차이로서 계산된다(박스(32)).

그 다음, 박스(34)에서 보는 바와 같이, 입력 데이터는 유효하게 된다(예를 들어, 이용할 수 없는 측정값 또는 범위를 벗어난 값과 같은 비정상적 상태는 버림). 또한, 데이터의 조건 설정이 수행되며, 이것은 동작자가 지정한 한계값 및 플랜트 제어 시스템 상태값을 기반으로 조정 변수 경계의 필터링 및 설정을 포함한다.

비선형 제어기(14)의 동작 개시시에, 콜드 스타트(cold start) 초기화가 수행된다(결정 박스(36) 참조). 독립 변수, 조정 또는 피드포워드 변수에 대한 값은 디지털 제어 시스템(10)내에 저장된 데이터베이스(database)로부터 읽혀진다(박스(38)). 초기화 동작은 온도, 구성 및 생산 특성과 같은 플랜트 조건을 나타내는 모델 상태 및 플랜트 출력을 계산한다. 모델은 수학식 형태가 될 수 있다.

이후, 절차를 기술하기 위해 상태 공간(state-space) 모델이 사용될 것이다. 각 상태는 "x" 벡터값으로 정의되며, 플랜트 출력은 "y" 벡터값으로 표현된다. 독립 변수는 값 "u" 로 표현된다.

수학식 1

$$o = F(x,u)$$

수학식 2

$$y = H(x)$$

그 후, 플랜트 상태에 대한 값은 비선형 제어기(14)에 대한 초기값으로서 사용된다(박스(40 및 42) 참조). 그 후, 상태값은 평가된 후 메모리에 기록된다(박스(44)). 이 시점에서, 비선형 제어기(14)는 프로세스 제어 알고리즘의 동작을 시작한다(박스(46)).

도 4에 도시된 바와 같이, 제어 프로세스는 플랜트 제어 시스템 하드웨어로부터 프로세스 데이터를 읽어들여(박스(48)) 프로세스의 현재 상태를 결정한다.

프로세스 데이터는 다음과 같은 내용을 포함한다.

각 모델 상태에 대한 초기값.

예측된 플랜트 출력에 대한 초기값.

플랜트/모델 에러를 나타내는 바이어스값.

모델 파라미터.

독립 변수의 현재 측정값.

제어 변수 및 제한 사항에 대한 설정 포인트 또는 목표값.

조정 변수의 범위.

입력 상태 조건.

모델 상태 및 예측된 플랜트 출력에 대한 값은 최종 제어기 실행으로부터 또는 콜드 스타트 초기화값으로부터의 이전값이다. 제어 변수(들)(예를 들어, 제어될 출력) 및 한계값 설정 포인트는 동작자에 의해 입력된다. 설정 포인트는 상한값 및 하한값으로서 입력된다. 이러한 값을 이용함으로써 조정변수(입력)를 조정하며, 그 결과, 상한값과 하한값내의 제어 변수값에 도달시의 비용을 최소화한다. 모델 파라미터값은 사전결정된다. 독립 변수의 현재 측정값은 플랜트 필드 기구 또는 실험실 분석에 의해 도출된다. 조정 변수의 범위는, 전술한 바와 같이, 동작자가 지정한 한계값 및 플랜트 제어 시스템 상태값을 기반으로 한다.

그 후, 제어기의 동작 모드가 설정된다(박스(50)). 하나의 제어기 모드는 제어 신호를 플랜트에 적용하지 않고서도, 모델 예측값을 계산 및 제어 신호를 도출할 수 있다. 이후, 디지털 제어 시스템은 완전한 동작 모드로 설정된 것으로 가정하며, 조정 변수는 모델 계산 및 측정된 시스템 상태에 따라 능동적으로 제어된다.

입력 데이터는 모델/제어 시스템에서 사용되기 위한 형태로 변환되며(박스(52)), 상태 평가 절차가 시작된다(박스(54)). 각 상태는 플랜트의 동적 모델을 이용하여 평가된다. 아래의 수학식 3 및 수학식 4에서 도시된 상태/공간 모델에서, 상태는 " x" 변수로, 플랜트 출력은 " y" 변수로, 독립 변수는 " y" 로 표현된다.

수학식 3

$$dx/dt = F(x,u)$$

수학식 4

$$y = H(x)$$

수학식 3은 모델 상태의 변화율이 모델 상태 및 독립 변수의 함수라는 것을 의미한다. 수학식 4는 출력이 모델 상태의 함수라는 것을 의미한다. 모델의 평가는 비선형 제어기(14)의 최종 실행으로부터 현재 시간까지의 수학식 3 및 수학식 4의 적분(integration)에 의해 얻어진다. 바람직한 계산 방법은 직교 배열(orthogonal collocation)을 포함하며, 여기서 수학식 3 및 수학식 4는 시간으로 분할되며, 이로 인해 동일한 시간 증가에 대해, 미분 방정식을 병렬적으로 풀 수 있다.

비선형 제어기(14)에 의해 수행된 제어 계산은 순차적 2차 프로그래밍 기법(sequential quadratic programming technique)을 채용함으로써 수행된다(박스(56)). 제어 계산은 시간선상(time horizon)에서 미래의 성능 지정을 제어하기 위해 최상으로 조화시키는 조정 변수의 미래의 이동을 결정한다. 비선형 제어기(14)는 플랜트의 모델, 지정된 제어기 성능을 정의하는 기준 궤도, 목적 함수(후술됨) 및 조정 변수의 범위를 이용한다. 조정 변수의 이동은 시간선상에서 장차 분리된다.

수학식 3 및 수학식 4에 도시된 모델이 사용된다. 전술한 바와 같이, " u" 변수는 독립 변수를 의미하며, 이것의 서브셋은 조정 변수(즉, 입력)이다. 모든 독립 변수에 대한 값은 각 시간의 스텝 k에서의 분리된 조정 변수 U_k의 " 제로 오더 홀드 함수(zero-order hold function)" 이다. 제로 오더 홀드 함수는 조정 변수의 값이 프로그램 실행간에 일정하게 유지되는 것으로 가정한다.

기준 궤도는 적용된 한계 사항에 따라 제어 변수의 변경시 제어기 성능을 지정한다. 기준 궤도 수학식 5 및 수학식 6은 제어 변수의 변화율간의 관계와, 제어 변수 설정 포인트와 측정된 제어 변수간의 에러(차이)를 나타낸다.

수학식 5

$$dy_k/dt = (SPH_k - (y_k + b))/T + Vhp_k - Vhn_k$$

수학식 6

$$dt_k/dt = (SPL_k - (y_k + b))/T + Vlp_k - Vln_k$$

$$k = 1 \text{ 내지 } K$$

$$Vlp \geq 0.0$$

$$Vln \geq 0.0$$

$$Vhp \geq 0.0$$

$$Vhn \geq 0.0$$

여기서,

SPH = 제어 변수 또는 제한 사항에 대한 상한값;

SPL = 제어 변수 또는 제한 사항에 대한 하한값;

y = 예측된 제어 변수;

b = 예측 및 측정에서의 에러와 관련된 바이어스;

Vhp = 측정된 변수의 SPH로부터의 양의 변이;

Vhn = 측정된 변수의 SPH로부터의 음의 변이;

Vln = 측정된 변수의 SPL로부터의 양의 변이;

Vln = 측정된 변수의 SPL로부터의 음의 변이;

k = 미래로의 시간 스텝;

K = 제어기에 의해 사용된 시간선상에서의 미래로의 시간 스텝,

T = 제어된 변수의 응답의 원하는 폐쇄 루프 속도에 대한 시정수.

이후, 각 변수들 Vlp, Vhp, Vln, 및 Vhn은 " 위반(violation)" 변수라고 지칭된다. 각 위반 변수는 비동일성을 동일성 관계(equality relationship)로 변환할 수 있으며, 목적 함수내의 가중치 함수(weighting function)의 응용을 통한 제한 사항의 우선화(prioritization)를 허용한다. 목적 함수(즉, 제어 동작에 의해 만족될 관계)는 다음의 수학식 7과 같이 주어진다.

수학식 7

$$MinSum(Wh^{*}Vhp_k + Wl^{*}Vln_k) + C(x,u)$$

여기서,

Wh, Wl = 페널티 가중치(Penalty weights);

Vhp_k, Vlp_k = 위에서 정의된 위반 변수(violation variables);

C(x, u) = 비용 페널티 함수(cost penalty function).

수학식 7은 제어 변수의 상한값 또는 하한값을 위반한 경우 사용하기 위한 합 최소화 함수(sum minimization function)를 나타낸다. 수학식 7은 양의 위반값 또는 음의 위반값이 만약의 경우, 강조(또는 비강조) 되도록 할 수 있는 가중치 요인을 적용한다. 또한, 수학식 7은 항(즉, C(x, u))을 포함하며, 이것은 조정 변수 u와 모델 상태 x 두가지 모두에 대해 의존하는 비용 함수이다.

제어 시스템은 수학식 7을 풀어, 조정 변수의 여러 변화가 일어나려고 할 때 각 해(solution)로부터의 합산을 평가한다. 제어 변수 y를 상한값(SPH) 및 하한값(SPL)에 의해 정의되는 범위내로 리턴하는 것이 목적이다. SPH 및 SPL은 수용가능한 제어 변수의 범위를 정의하는 변수의 폭(span)에 의해 분리되므로, 조정 변수 내에서의 가능한 여러 변화가 계산되어 어떠한 조합이 제어 변수를 수용가능한 범위로 리턴하면서도 조정 변수에 대한 최저 비용이 되는지를 결정한다. (임의의 제어 동작에서) 조정 변수는 플랜트의 출력을 SPH와 SPL 사이의 폭내로 리턴할 수 있으며, 수학식 7에서의 첫 번째 두 개의 표현 각각은 각각 0으로 되며, 함수의 해는 조정 변수에 의해 표현된 비용과 밀접한 관계가 있다.

수학식 7의 최적화 해는 다음의 수학식 8 및 수학식 9에서 표현되는 추가적인 조정 변수의 범위를 필요로 한다.

수학식 8

$$ulb < u_k < uhp$$

수학식 9

$$ABS(u_k - u(_k - 1) < dub$$

여기서,

uhb = 조정 변수의 상위 범위;

ulb = 조정 변수의 하위 범위;

dub = 시간 스텝간의 u에서의 변화의 범위.

일단 수용가능한 해가 달성되면, 미래의 각 시간 단계에 대한 조정 변수값으로 구성된 출력이 시스템 제한 사항에 대해서 체크된다(박스(58)). 출력 데이터의 유효성을 가정하면, 데이터는 메모리에 기록되며(박스(60)), 계산된 조정 변수는 플랜트로 전달되어(박스(62)) 필드 제어 요소(즉, 밸브)를 동작시킨다.

전술한 내용은 단지 본 발명을 도시하기 위한 것임을 이해할 수 있을 것이다. 본 발명을 벗어나지 않고서도 당업자에 의해 여러 대안 및 변형이 고안될 수 있다. 따라서, 본 발명은 첨부된 특허 청구 범위의 범주내에 해당되는 모든 대안, 변형 및 변화를 포함하는 것을 목적으로 한다.

(57) 청구의 범위

청구항 1.

입력 상태를 포함하는 조정 변수, 및 출력 상태를 포함하는 제어 변수를 포함하는 플랜트 프로세스를 제어하는 시스템에 있어서,

적어도 상기 제어 변수를 측정하기 위한 센서 수단;

적어도 하나의 제어 변수에 대해, 상기 적어도 하나의 제어 변수가 수용가능하다고 고려되는 대역값(a band of values)에 의해 분리되어 있는 상한값과 하한값들과, 수정 시정수(time constant)를 저장하기 위한 메모리 수단;

상기 센서 수단 및 상기 메모리 수단에 결합되어 있으며, 조정 변수의 비용을 제어 변수와 결부시키는 상기 플랜트 프로세스의 모델을 기술하는 데이터를 포함하고, 해(solution)를 구하는 즉시, 상기 적어도 하나의 상기 제어 변수에 대해 예측값을 제공하고, 제어 신호를 발생하여 최소 비용을 얻는 방향으로 상기 조정 변수를 변경시키기 위해, 상기 대역값 밖에 존재하는 상기 적어도 하나의 제어 변수의 측정된 값 함수(a measured value function)에 응답하는 논리 수단을 더 포함하는 프로세서 수단으로서, 상기 조정 변수는 상기 적어도 하나의 제어 변수의 예측값이 상기 대역값내에 존재하게 하는 방향으로 변경되는 상기 프로세서 수단; 및

상기 제어 신호에 응답하며, 상기 플랜트내의 수단들을 동작시켜 조정 변수를 제어하는 제어 신호 수단을 포함하는 플랜트 프로세스 제어 시스템.

청구항 2.

제 1 항에 있어서,

상기 메모리 수단은, 상기 제어 변수가 상기 상한값을 벗어날 때 상기 하나의 제어 변수를 상기 수용될 수 있는 대역값으로 리턴하는 속도를 기술하는 상기 모델에 대한 궤도 응답 함수, 및 상기 적어도 하나의 제어 변수가 상기 하한값을 벗어날 때 상기 하나의 제어 변수를 상기 수용될 수 있는 대역값으로 리턴하는 속도를 기술하는 상기 모델에 대한 궤도 응답 함수를 기술하는 데이터를 더 저장하되, 이때 두 개의 상기 궤도 응답 함수는 수정 시정수를 포함하는 한편, 상기 적어도 하나의 제어 변수의 측정된 변화율과 원하는 변화율간의 관계를 표현하며, 상기 논리 수단은 상기 데이터를 이용하여 상기 최소화된 비용 입력 상태를 결정하는 플랜트 프로세스 제어 시스템.

청구항 3.

제 2 항에 있어서,

상기 적어도 하나의 제어 변수에 대한 상기 궤도 응답 함수는,

$$dy_k/dt = (SPH_k - (y_k + b))/T + Vhp_k - Vhn_k$$

$$dy_k/dt = (SPL_k - (y_k + b))/T + Vlp_k - Vln_k$$

$k = 1$ 내지 K

$Vlp \geq 0.0$

$Vln \geq 0.0$

$Vhp \geq 0.0$

$Vhn \geq 0.0$

이며,

여기서,

SPH = 제어 변수 또는 제한 사항에 대한 상한값;

SPL = 제어 변수 또는 제한 사항에 대한 하한값;

y = 예측된 제어 변수;

b = 예측 및 측정에서의 에러와 관련된 바이어스;

Vhp = 측정된 변수의 SPH로부터의 양의 변이;

Vhn = 측정된 변수의 SPH로부터의 음의 변이;

Vln = 측정된 변수의 SPL로부터의 양의 변이;

Vln = 측정된 변수의 SPL로부터의 음의 변이;

k = 미래로의 시간 스텝;

K = 제어기에 의해 사용된 시간선상에서의 미래로의 시간 스텝,

T = 제어된 변수의 응답의 원하는 폐쇄 루프 속도에 대한 시정수인 플랜트 프로세스 제어 시스템.

청구항 4.

제 3 항에 있어서,

상기 논리 수단은 소정의 최소화 관계에 해를 제공하도록 동작하여, 상기 적어도 하나의 제어 변수를 상기 값들의 대역 내로 이동시키기 위한 최소화된 비용 조정 변수를 결정하며, 상기 소정의 최소화 관계는,

$$\mathrm{MinSum}(Wh^{*}Vhp_{k}+Wl^{*}Vln_{k})+C(x,u)$$

여기서,

Wh, Wl = 페널티 가중치(Penalty weights);

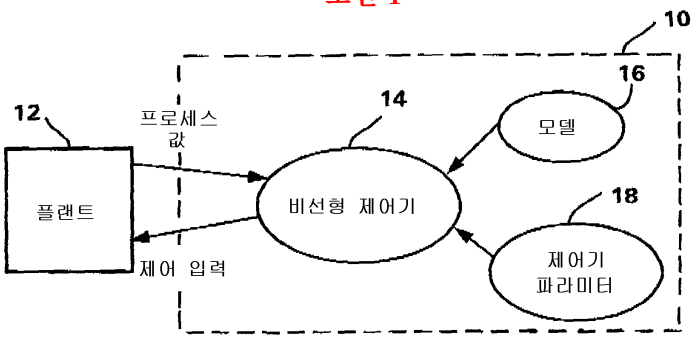
Vhp_{k}, Vlp_{k} = 위반 변수(violation variables);

C(x, u) = 비용 페널티 함수(cost penalty function)

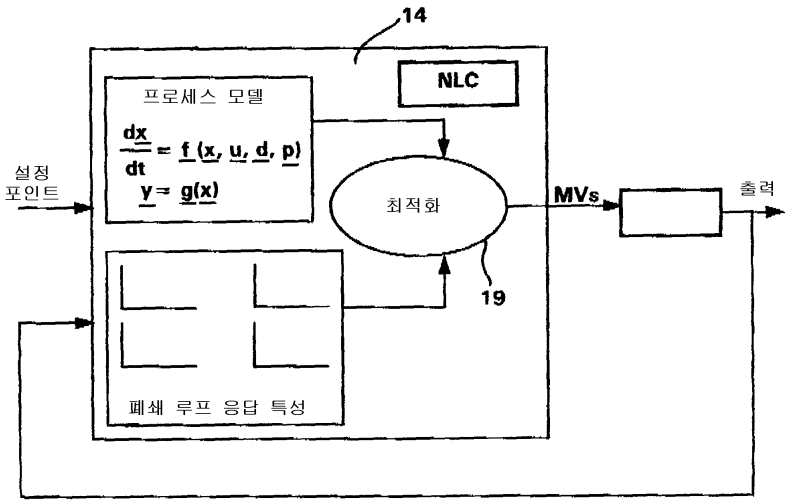
로 표현되는 플랜트 프로세스 제어 시스템.

도면

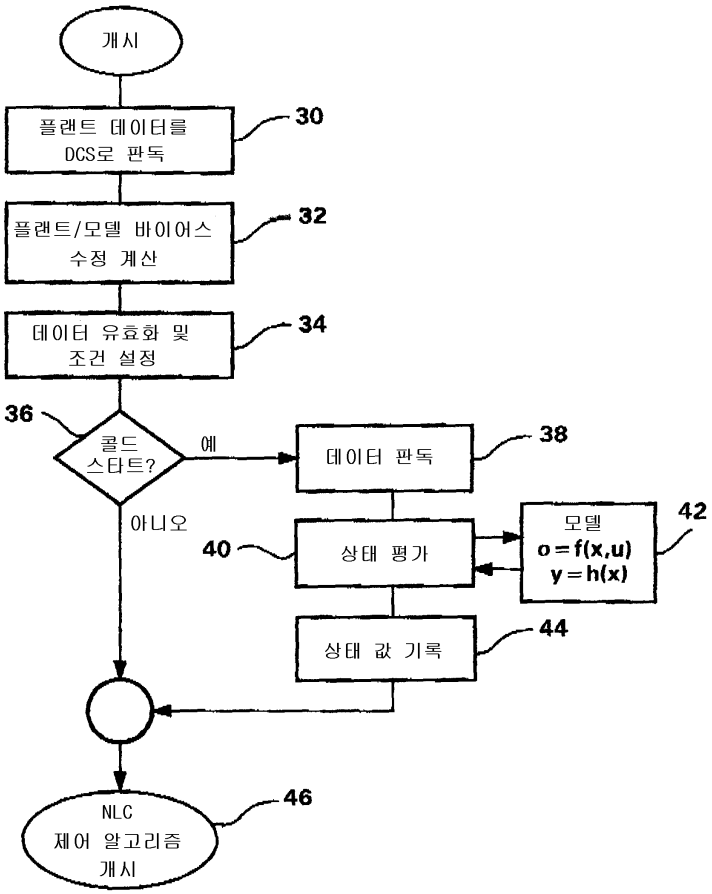
도면 1


10
16
14
12
프로세스
값
모델
플랜트
비선형 제어기
18
제어기
파라미터
제어 입력

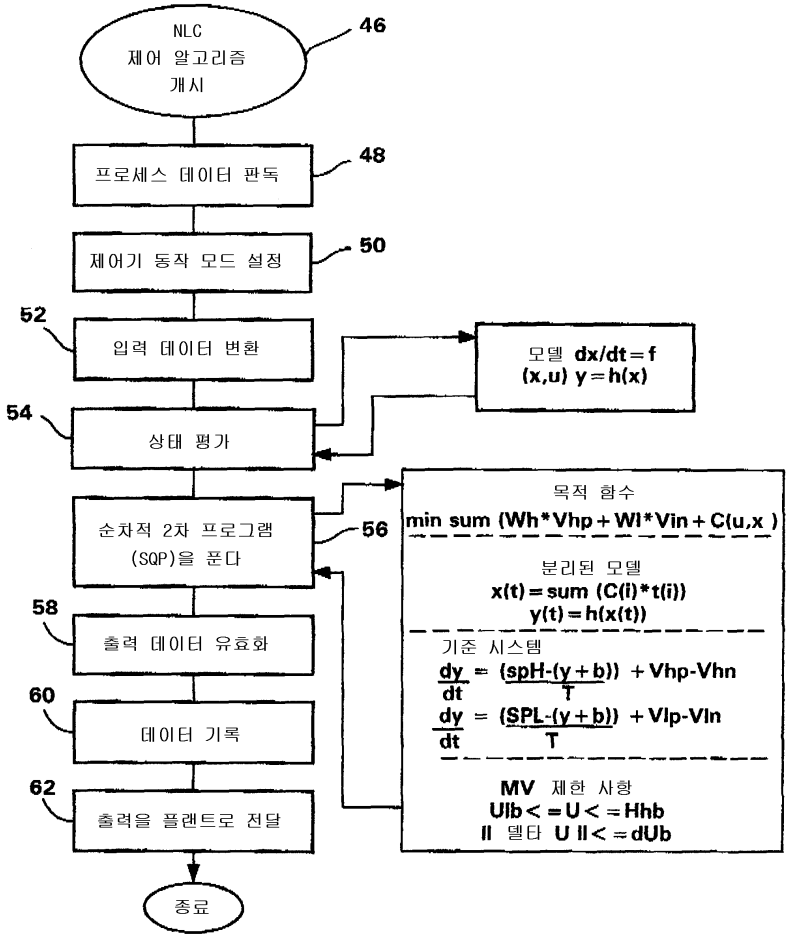
도면 2


14
NLC
프로세스 모델
dx/dt = f(x, u, d, p)
y = g(x)
설정
포인트
최적화
MVs
출력
19
폐쇄 루프 응답 특성

도면 3


개시
플랜트 데이터를 DCS로 판독
30
플랜트/모델 바이어스 수정 계산
32
데이터 유효화 및 조건 설정
34
36
콜드 스타트?
예
데이터 판독
38
아니오
40
상태 평가
모델
o=f(x,u)
y=h(x)
42
상태 값 기록
44
NLC 제어 알고리즘 개시
46

도면 4


NLC
제어 알고리즘
개시
46
프로세스 데이터 판독
48
제어기 동작 모드 설정
50
52
입력 데이터 변환
54
상태 평가
모델 dx/dt = f
(x,u) y = h(x)
순차적 2차 프로그램
(SQP)을 푼다
56
목적 함수
min sum (Wh*Vhp + Wl*Vln + C(u,x)
분리된 모델
x(t) = sum (C(i)*t(i))
y(t) = h(x(t))
기준 시스템
dy/dt = (spH-(y+b)) + Vhp-Vhn
T
dy/dt = (SPL-(y+b)) + Vlp-Vln
T
MV 제한 사항
Ulb <= U <= Hhb
|| 델타 U || <= dUb
58
출력 데이터 유효화
60
데이터 기록
62
출력을 플랜트로 전달
종료