

(19)대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(51) Int. Cl.⁷
G10F 1/02

(11) 공개번호 10-2005-0065415
(43) 공개일자 2005년06월29일

(21) 출원번호 10-2004-0111897
(22) 출원일자 2004년12월24일

(30) 우선권주장 JP-P-2003-00428990 2003년12월25일 일본(JP)

(71) 출원인 야마하 가부시키키가이샤
일본국 시즈오카켄 하마마츠시 나카자와쵸 10만 1고

(72) 발명자 후지와라유우지
일본국 시즈오카켄 하마마츠시 나카자와쵸 10만 1고 야마하 가부시키키가이샤 내

(74) 대리인 주성민
성재동

심사청구 : 있음

(54) 연주를 정확히 재현하기 위한 자동 연주 악기 및 그에포함된 자동 연주기

요약

자동 연주 피아노는 흑색 및 백색 건(72, 74) 각각을 위한 피드백 제어 루프(64)를 가지며, 제어기(100)는 먼저, 기준 궤적, 즉, 재생시 이동되는 각 건(72, 74)을 위한 시간과 함께 변하는 목표 위치(rx)를 결정하고, 구동 신호의 듀티비를 최적화하기 위해, 건 센서(27)로부터 보고된 실제 건 위치(yx) 및 실제 건 위치로부터 산출된 실제 건 속도(yv)를 목표 건 위치(rx) 및 목표 건 속도(rv)와 비교하며, 최적의 듀티비를 결정하기 위해, 위치 편차(ex) 및 속도 편차(ev)는 위치 이득(kx) 및 속도 이득(kv)으로 독립적으로 승산되며, 위치 이득(kx)에 대한 속도 이득(kv)의 비율이 1 내지 3이기 때문에, 건은 발진 및 오버슈트 없이 기준 궤적을 따라 이동한다.

대표도

도 4

색인어

자동 연주 피아노, 위치 이득, 속도 이득, 발진, 피드백 제어 루프

명세서

도면의 간단한 설명

- 도 1은 본 발명에 따른 자동 연주 피아노의 구조를 도시한 측면도.
- 도 2는 자동 연주 피아노에 통합된 제어기의 시스템 구성을 도시한 블록도.
- 도 3은 재생 모드의 흑색 및 백색 건상의 제어 시퀀스를 도시한 플로우차트.
- 도 4는 자동 연주 피아노에 통합된 피드백 루프에 사용되는 알고리즘을 도시한 블록도.
- 도 5는 실험에서 관찰된 피드백 제어 루프의 응답 특성을 도시한 다이어그램.
- 도 6은 다른 조건에 대한 피드백 제어 루프의 응답 특성을 도시한 다이어그램.

- 도 7은 또 다른 조건에 대한 피드백 제어 루프의 응답 특성을 도시한 다이어그램.
- 도 8은 또 다른 조건에 대한 피드백 제어 루프의 응답 특성을 도시한 다이어그램.
- 도 9는 또 다른 조건에 대한 피드백 제어 루프의 응답 특성을 도시한 다이어그램.
- 도 10은 실험을 통해 결정된 이득의 최적 범위를 도시한 표.
- 도 11은 다른 자동 연주 피아노에 통합된 피드백 루프에 사용되는 알고리즘을 도시한 블록도.
- 도 12는 또 다른 자동 연주 피아노에 통합된 피드백 루프에 사용된 알고리즘을 도시한 블록도.
- 도 13은 또 다른 자동 연주 피아노에 통합된 피드백 루프에 사용되는 알고리즘을 도시한 블록도.

<도면의 주요 부분에 대한 부호의 설명>

- 2 : 해머 3 : 자동 연주 시스템
- 4 : 현 5 : 기록 시스템
- 6 : 댐퍼 10 : 건 작동기
- 22 : 해머 센서 27 : 건 센서
- 28 : 속도 센서 30 : 펄스 폭 변조기
- 37 : A/D 변환기 42 : 조작 패널
- 60 : 버스 시스템 64 : 피드백 제어 루프
- 110 : 운동 설계기 120 : 운동 제어기
- 130 : 음악 데이터 생성기 140 : 후처리기
- rx : 기준 건 위치 rv : 기준 건 속도
- yx : 실제 건 위치 yv : 실제 건 속도

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

발명의 분야

본 발명은 악기의 매니플레이터(manipulator)를 위한 제어 기술에 관련하며, 보다 구체적으로, 자동 연주 악기 및 내부에 포함된 자동 연주기에 관련한다.

관련 기술의 설명

자동 연주 피아노는 내장 자동 연주기를 갖는 악기의 전형적인 예이다. 자동 연주기 또는 자동 연주 시스템은 연주자의 운지 없이 피아노상에서 악곡을 연주할 수 있게 한다. 자동 연주 시스템은 일반적으로, 건 작동기의 어레이, 제어기 및 위치 트랜스듀서로 나뉘어진다. 음악 데이터 코드는 제어기에 의해 순차적으로 분석된다. 제어기는 음악 데이터 코드를 분석하고, 이동 대상 건을 위한 기준 궤적과 건 운동의 시작 시기를 결정한다. 시기가 도래할 때, 제어기는 이동 대상 건과 연계된 건 작동기에 구동 펄스 신호를 공급하고, 위치 트랜스듀서에 의한 서보 제어를 통해 건을 기준 궤적을 따라 이동시킨다.

피드백 제어의 전형적인 예가 이하, 제1 종래기술이라 지칭되는 일본 특개평 7-175472호에 개시되어 있다. 일본 특허 출원 평5-344241호는 일본 특허 공개 공보로서 공개되었으며, 미국 특허 제5,652,399호로 허여된 미국 특허 출원의 조약 우선권을 제공한다. 제어기는 피드백 제어 동안 현재 건 위치를 고려한다. 제어기는 현재 건 위치, 즉, 실제 키스트로크를 기준 궤적상의 목표 건 위치, 즉, 목표 키스트로크와 비교하고, 건을 가속 또는 감속시키기 위해 구동 펄스 신호의 듀티비를 변경한다. 이 일본 특허 공개 공보는 실제 건 속도와 기준 궤적상의 목표 건 속도 사이의 비교를 통해 건 운동을 제어할 수 있다는 것을 추가로 교시한다.

음조의 음량은 현(string)상에 충돌할 때의 최종 해머 속도에 비례하기 때문에, 자동 연주 시스템은 건 속도를 통해 해머 속도를 제어하기를 기도한다. 최종 해머 속도는 기준 궤적상의 기준 지점에서의 건 속도에 대략 비례한다. 이는 음량이 건 작동기에 의해 제어가능하다는 것을 의미한다. 기준점은 표준 어쿠스틱 피아노의 휴지 위치에서 건 보다 9.0 - 9.5mm 낮다. 이 때문에, 제1 종래기술의 설명 대부분은 실제 키스트로크와 목표 키스트로크 사이의 편차의 추정을 통해 피드백 제어를 수행한다.

피드백 제어의 다른 예는 이하 "제2 종래 기술"이라 지칭되는 일본 특개평 2-275991호에 개시되어 있다. 일본 특허 출원 2-9551호는 국내 우선권 주장하에 일본 특허 출원 평1-10176호에 기초하여 출원되었으며, 일본 특개평 2-275991호로 공개되었다. 일본 특허 출원 평1-10176호는 미국 특허 제5,131,306호로 허여된 미국 특허 출원에 조약 우선권을 제공하였다.

종래 기술 피드백 제어는 어쿠스틱 피아노에 통합된 페달 시스템에 적용된다. 페달은 PWM(펄스 폭 변조) 신호로 제어되며, PWM 신호의 듀티비는 페달 위치에 기초한 피드백 제어를 통해 적절한 값으로 규제된다. 그러나, 연주자가 반복적으로 페달을 누를 때, 피드백 제어는 큰 이득을 필요로 하며, 이는 난조(hunting)를 유발한다. 피드백 루프의 난조를 방지하기 위해, 페달 속도로 듀티비를 보정하는 것이 제안되었다. 제2 종래 기술은 정규화를 통해 피아노 구성요소의 특성이 이용되는 것을 추가로 교시한다.

현재까지 설명된 바와 같이, 실제 건 속도를 기준점의 목표 건 속도로 조절하는 것이 중요하다. 그러나, 제어기는 실제 키스트로크와 목표 키스트로크 사이의 편차를 제거하기 위해 구동 펄스 신호의 듀티비를 증가 또는 감소시킨다. 달리 말해서, 건 속도는 제1 종래 기술에서 단지 간접적으로 제어된다. 불일치의 다른 이유는 피드백 이득의 작은 값이다. 피드백 이득이 증가되는 경우, 발진 및 오버슈트(overshoot)가 발생하기 쉽다. 피드백 루프의 이들 부적합한 현상을 방지하기 위해, 단순히 피드백 이득이 피드백 루프에 주어진다. 결과적으로, 실제 건은 목표 건을 따르기 어렵고, 기준점에서의 실제 건 속도는 기준점에서의 목표 건 속도와 불일치하는 경향을 갖는다.

제2 종래 기술에서는 페달 속도와 정규화를 사용한 보정이 고려된다. 보정 기술은 발진 및 오버슈트 없이 피드백 이득을 확대시킬 수 있게 한다. 이는 페달 운동이 제2 종래 기술에 기술된 피드백 루프를 통해 정확히 재현된다는 것을 의미한다.

비록, 제2 참조문헌에 기술된 피드백 제어 기술을 통해 페달이 정확히 목표 페달 위치에 배치되지만, 제2 참조문헌에 기술된 피드백 제어 기술을 건 작동기에 적용하는 것은 곤란하다. 이 곤란성의 첫 번째 이유는 건 작동기에서 위치 제어가 기대되지 않고, 속도 제어가 기대되기 때문이다. 제2 종래 기술에 기술된 피드백 제어 기술 및 정규화 기술은 있는 그대로의 건 작동기에 적용되기 어렵다. 곤란성의 다른 이유는 제어 대상 부하의 편차이다. 페달 작동기는 크고 무거우며, 느리게 이동한다. 다른 한편, 건 작동기는 작고 가벼우며, 건은 휴지 위치와 종료 위치 사이에서 고속으로 복잡하게 이동된다. 또한, 건 및 연계부는 변형되기 쉬우며, 음악 데이터의 단편 및 신호에 잡음이 도입되는 경향이 있다. 따라서, 제2 참조문헌에 기술된 피드백 제어 기술이 제1 참조문헌에 기술된 자동 연주 시스템에 적용되는 경우에도, 기준점에서 목표 속도가 부여되기 어렵다.

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

따라서, 본 발명의 중요한 목적은 악기의 매니플레이터가 기준 궤적상에서 정확하게 이동하게 하는 자동 연주기를 제공하는 것이다.

또한, 본 발명의 중요한 목적은 자동 연주기를 구비한 악기를 제공하는 것이다.

이 목적을 달성하기 위해, 본 발명은 위치 편차에 적용되는 이득 및 속도 편차에 적용되는 다른 이득을 소정의 수치 범위 내에 드는 적절한 값으로 조절하는 것을 제안한다.

본 발명의 일 양태에 따라서, 음조를 생성하기 위한 자동 연주 악기가 제공되며, 이는 음조를 생성하기 위한 음조 생성 서브-시스템, 및 음조 생성 서브-시스템을 향해 서로 직렬 접속된 복수의 구성부를 각각 가지며, 생성 대상 음조의 피치를 명시하기 위해 순차 이동되는 복수의 운동 전과 경로를 포함하는 어쿠스틱 악기, 및 복수의 운동 전과 경로에 각각 통합된 소정의 구성부의 운동을, 운동을 표현하는 현재 물리량을 나타내는 검출 신호로 각각 변환하는 복수의 센서, 소정의 구성부 중 하나를 위한 목표 물리량 및 목표 물리량의 변화율을 각각 나타내는 목표 데이터의 단편을 생성하기 위한 목표 상태 지시기, 각각 복수의 운동 전과 경로와 연계되며, 연계된 운동 전과 경로를 선택적으로 이동시키도록 선택적으로 구동 신호로 여기되는 복수의 작동기, 및 복수의 센서와 복수의 작동기 사이에 연결되고, 구동 신호를 최적화하는 복수의 피드백 제어 루프를 포함하는 자동 연주 시스템을 포함하고; 복수의 피드백 루프 각각은 복수의 센서에 연결되고, 현재 물리량에 기초하여, 실제 물리량 및 실제 물리량의 변화율을 결정하는 제1 데이터 프로세서, 목표 상태 지시기와 제1 데이터 프로세서에 연결되고, 목표 물리량과 실제 물리량 사이의 제1 편차 및 목표 물리량의 변화율과 실제 물리량의 변화율 사이의 제2 편차를 결정하는 제2 데이터 프로세서, 제2 데이터 프로세서에 연결되고, 각각 제1 제어 신호 및 제2 제어 신호를 생성하도록 제1 이득 및 제2 이득으로 제1 편차 및 제2 편차를 각각 승산하는 승산기, 및 승산기와 복수의 작동기 사이에 연결되고, 제1 제어 신호 및 제2 제어 신호에 기초하여 구동 신호를 최적화하는 신호 변조기를 구비하며; 제1 이득은 0.5와 2.0 사이의 범위 이내에 들고, 제2 이득은 0.5와 2.3 사이의 범위 이내에 들며, 제1 이득에 대한 제2 이득의 비율은 1 내지 3의 범위이다.

본 발명의 다른 양태에 따라서, 악기와 연계된 자동 연주기가 제공되며, 이는 악기에 통합된 복수의 운동 전과 경로의 소정의 구성부의 운동을, 운동을 표현하는 현재 물리량을 나타내는 검출 신호로 각각 변환하는 복수의 센서, 소정의 구성부 중 하나를 위한 목표 물리량 및 목표 물리량의 변화율을 각각 나타내는 목표 데이터의 단편을 생성하기 위한 목표 상태 지시기, 각각 복수의 운동 전과 경로와 연계되며, 음조를 생성하기 위해, 연계된 운동 전과 경로를 선택적으로 이동시키도록 선택적으로 구동 신호로 여기되는 복수의 작동기, 및 복수의 센서와 복수의 작동기 사이에 연결되고, 구동 신호를 최적화하는 복수의 피드백 제어 루프를 포함하고; 복수의 피드백 루프 각각은 복수의 센서에 연결되고, 현재 물리량에 기초하여, 실제 물리량 및 실제 물리량의 변화율을 결정하는 제1 데이터 프로세서, 목표 상태 지시기와 제1 데이터 프로세서에 연결

되고, 목표 물리량과 실제 물리량 사이의 제1 편차 및 목표 물리량의 변화율과 실제 물리량의 변화율 사이의 제2 편차를 결정하는 제2 데이터 프로세서, 제2 데이터 프로세서에 연결되고, 각각 제1 제어 신호 및 제2 제어 신호를 생성하도록 제1 이득 및 제2 이득으로 제1 편차 및 제2 편차를 각각 증산하는 증산기, 및 증산기와 복수의 작동기 사이에 연결되고, 제1 제어 신호 및 제2 제어 신호에 기초하여 구동 신호를 최적화하는 신호 변조기를 구비하고; 제1 이득은 0.5와 2.0 사이의 범위 이내에 들고, 제2 이득은 0.5와 2.3 사이의 범위 이내에 들며, 제1 이득에 대한 제2 이득의 비율은 1 내지 3의 범위이다.

발명의 구성 및 작용

본 방법, 컴퓨터 프로그램, 자동 연주기 및 악기의 특징 및 장점은 첨부 도면을 참조로 취해진 하기의 설명으로부터 보다 명확히 이해할 수 있을 것이다.

하기의 설명에서, 용어 "전방"은 운지를 위해 의자에 앉은 연주자에 대하여 용어 "후방"으로 수식되는 위치 보다 가까운 위치를 나타낸다. 전방 위치와 대응 후방 위치 사이에 그려진 선은 "전후 방향"으로 연장하며, 전후 방향은 "측방향"을 직각으로 횡단한다.

제1 실시예

자동 연주 피아노

도면 중 도 1을 참조하면, 본 발명을 구현하는 자동 연주 피아노는 크게 어쿠스틱 피아노(1), 자동 연주 시스템(3) 및 기록 시스템(5)을 포함한다. 자동 연주 시스템(3) 및 기록 시스템(5)은 어쿠스틱 피아노(1)내에 설치되며, 작업의 모드에 따라 선택적으로 활성화된다. 연주자가 기록 및 재생을 위한 어떠한 명령도 없이 어쿠스틱 피아노(1)상에서 악곡을 운지하는 동안, 어쿠스틱 피아노(1)는 표준 어쿠스틱 피아노와 유사하게 거동하며, 운지를 통해 지정된 피치로 피아노 음조를 생성한다.

사용자가 어쿠스틱 피아노(1)상에서의 사용자의 연주를 기록하기를 원할 때, 사용자는 기록 시스템(5)에 기록을 위한 명령을 제공하고, 기록 시스템(5)이 활성화된다. 사용자가 어쿠스틱 피아노(1)상에서 운지하는 동안, 기록 시스템(5)은 어쿠스틱 피아노(1)상의 운지를 나타내는 음악 데이터 코드를 생성하고, 연주가 음악 데이터 코드의 집합으로 기록된다.

사용자가 연주를 재현하기를 원하는 것으로 가정한다. 사용자는 자동 연주 시스템(3)에 음조를 재현할 것을 명령한다. 자동 연주 시스템(3)은 어쿠스틱 피아노(1)상에서 악곡을 운지하며, 연주자의 운지 없이 악곡을 재연한다.

이하, 어쿠스틱 피아노(1), 자동 연주 시스템(3) 및 기록 시스템(5)을 상세히 설명한다.

어쿠스틱 피아노

본 예에서, 어쿠스틱 피아노(1)는 그랜드 피아노이다. 어쿠스틱 피아노(1)는 해머(2), 현(4), 댐퍼(6), 건반(70) 및 작동 유닛(90)을 포함한다. 건 베드(98; key bed)는 피아노 캐비닛의 일부를 형성하며, 건 베드(98)상에 건반(70)이 장착된다. 건반(70)은 작동 유닛(90) 및 댐퍼(6)와 연동되며, 피아니스트는 건반(70)을 통해 선택적으로 작동 유닛(90) 및 댐퍼(6)를 작동시킨다. 건반(70)을 통해 선택적으로 작동되는 댐퍼(6)는 현(4)이 진동할 준비가 되도록 연계된 현(4)으로부터 이격된다. 한편, 건반(70)을 통해 선택적으로 작동되는 작동 유닛(90)은 연계된 해머(2)의 자유 회전을 유발하고, 해머(2)는 자유 회전의 종점에서 연계된 현(4)을 타격한다. 그 후, 현(4)이 진동하고, 현(4)의 진동을 통해 음조가 생성된다. 따라서, 건반(70), 작동 유닛(90), 댐퍼(6), 해머(2) 및 현(4)은 표준 어쿠스틱 피아노의 것과 유사하게 거동한다.

건반(70)은 복수의 흑색 건(72), 복수의 백색 건(74) 및 밸런스 레일(80)을 포함한다. 흑색 건(72) 및 백색 건(74)은 잘 알려진 패턴으로 배열되며, 밸런스 건 핀(80a)에 의해 밸런스 레일(80)상에 이동가능하게 지지된다.

사용자는 흑색 및 백색 건(72, 74)의 전방부를 누르는 것으로 가정한다. 전방부는 건 베드(98)를 향해 내려가고, 후방부가 상승된다. 건 운동은 연계된 건 작동 유닛(90)의 활성화를 유발하며, 전술된 바와 같이, 현(4)이 진동 준비상태가 되게 한다. 활성화된 작동 유닛(90)은 출구를 통해 자유 회전하도록 연계된 해머(2)를 구동한다. 해머(2)는 음조를 생성하기 위해 자유 회전의 종점에서 연계된 현(4)을 타격한다. 해머(2)는 현(4)상에서 반동되며, 다시 건 작동 유닛(9)상으로 떨어진 다.

사용자가 흑색 및 백색 건(72, 74)을 방임할 때, 작동 유닛(90)의 자중은 흑색 및 백색 건(72, 74)이 휴지 위치로 복귀하도록 반대 방향으로의 흑색 및 백색 건(72, 74)의 회전을 유발한다. 댐퍼(6)는 음조가 소멸되도록 연계된 현(4)과 접촉한다. 건 작동 유닛(90)은 다시 휴지 위치로 복귀한다. 따라서, 인간 피아니스트는 시소(seesaw) 같은 밸런스 레일(80a) 둘레에서의 각도방향 건 운동을 유발할 수 있다.

자동 연주 시스템

이하, 도 1과 동시에 도 2를 참조로 자동 연주 시스템(3)에 대하여 설명한다. 자동 연주 시스템(3)은 건 작동기(10)의 어레이, 해머 센서(22), 건 센서(27), 약어로 "FDD"라 표시되는 플렉시블 디스크 드라이브(40), 조작 패널(42) 및 제어기(100)를 포함한다. 기록 시스템(5)에 관련하여 후술될 바와 같이, 이들 구성부는 건 작동기(10)의 어레이를 제외하고 기록 시스템(5)과 공유된다. 본 예에서, 건 작동기(10)는 솔레노이드 작동식 작동기 유닛으로 구현된다. 건 작동기(10)는 흑색 및 백색 건(72, 74)을 이동시키기 위해 독립적으로 여기된다. 이는 필요한 건 작동기(10)가 흑색 및 백색 건(72, 74)의 수와 같다는 것을 의미한다.

각 솔레노이드-작동식 건 작동기 유닛(10)은 플런저(15) 및 솔레노이드와 요크의 조합 구조체(17)를 포함한다. 솔레노이드-작동식 건 작동기 유닛(10)의 어레이는 건 베드(98)로부터 현수되며, 플런저(15)는 건 베드(98)에 형성된 슬롯(99)을 통해 건 베드(98) 위로 돌출한다. 솔레노이드-작동식 건 작동기 유닛(10)은 어떠한 구동 신호도 없이 유희상태를 유지하는 동안, 플런저(15)는 솔레노이드 및 요크의 조합 구조체(17)내로 수축되며, 플런저(15)의 팁(tip)은 휴지 위치의 흑색 및 백색 건(72, 74)의 하부면으로부터 미소하게 이격된다. 제어기(100)가 구동 신호로 조합 구조체(17)를 여기할 때, 자기장이 생성되고, 자력이 플런저(15)상에 작용된다. 그 후, 플런저(15)가 조합 구조체(17)로부터 상향 돌출하며, 흑색 및 백색 건(72, 74)의 하부면을 밀어 각도방향 운동을 유발한다.

제어기(100)는 펄스 폭 변조기(30), 도면에서 "I/O"로 약어 표시된 인터페이스(37), "CPU"로 약어 표시된 중앙 처리 유닛(50), "FLASH EEPROM"으로 약어 표시된 플래시 전기적 삭제 및 프로그램가능 판독 전용 메모리(52), "RAM"으로 약어 표시된 임의 접근 메모리(54) 및 버스 시스템(60)을 포함한다. 이들 시스템 구성요소(30, 37, 50, 52, 54)는 버스 시스템(60)에 접속되며, 버스 시스템(60)을 통해 특정 시스템 구성요소로부터 다른 시스템 구성요소로 어드레스 코드, 제어 데이터 코드 및 음악 데이터 코드가 선택적으로 전파된다.

해머 센서(22), 건 센서(27) 및 조작 패널(42)은 인터페이스(37)에 접속되며, 펄스 폭 변조기(30)는 구동 신호를 솔레노이드 작동식 건 작동기(10)에 분배한다. 플렉시블 디스크 드라이버(40)는 버스 시스템(60)에 추가로 접속되며, 음악 데이터 코드는 버스 시스템(60)과 플렉시블 디스크 드라이버(40) 사이에서 전달된다.

해머 센서(22)는 해머(2)를 위해 각각 제공, 즉, 그들은 수가 해머(2), 따라서, 흑색 및 백색 건(72, 74)과 같다. 해머 센서(22)는 고정되어 있으며, 연계된 해머(2)를 감시한다. 각 해머 센서(22)는 두 개의 광 커플러를 포함하고, 각 광 커플러는 발광 다이오드와 광트랜지스터의 조합체이다. 발광 다이오드는 연계된 해머(2)의 해머 생크에 부착된 셔터판의 궤적을 따라 서로 이격 배치되고, 각각 광트랜지스터에 대치된다. 따라서, 두 쌍의 광 커플러는 셔터판이 통과 이동되는 간극을 광 빔으로 가교한다.

광 커플러 중 하나는 셔터판이 연계된 현(4)상에서의 해머(2)의 반동으로 인해 복귀하기 시작하는 궤적의 종점에 배치된다. 따라서, 해머(2)가 연계된 현(4)을 타격하는 시기가 하류측상의 광 커플러로 검출된다. 다른 광 커플러는 상류측에 제공되며, 소정의 거리 만큼 이격 배치되어 있다.

해머(2)가 회전하는 동안, 셔터판은 간헐적으로 광 빔과 교차한다. 광트랜지스터에 의해 수신되는 광량은 급속히 변화되고, 광트랜지스터가 수신된 광량에 기초하여 생성하는 디지털 해머 위치 신호가 온-상태로부터 오프-상태로 순차적으로 변경된다. 제어기(100)는 시간 러그(lug)를 측정하고, 광 커플러 사이의 거리가 알려진다. 그후, 제어기(100)는 해머 속도를 결정한다. 해머 속도는 현(4)상의 충격 강도에 비례하며, 충격 강도는 음조의 음량에 비례한다. 따라서, 제어기(100)는 해머 위치 신호에 기초하여 음조가 생성되는 시기 및 음조의 음량을 나타내는 음악 데이터 단편을 생성한다.

건 센서(27)가 건 베드(98)상에 제공되며, 각각 흑색 및 백색 건(72, 74) 아래에 배치된다. 이는 건 센서(27)가 수직으로 흑색 및 백색 건(72, 74)과 같다는 것을 의미한다. 건 센서(27)는 연계된 흑색 및 백색 건(72, 74)의 현재 건 위치를 건 위치 신호로 변환한다. 따라서, 건 센서(27)는 위치 트랜스듀서로서 기능한다.

건 센서(27) 각각은 그 불투명 그레이스케일이 투명관상에 인쇄되어 있는 셔터판(75) 및 한 쌍의 광 센서 헤드(77)를 포함한다. 발광 다이오드(미도시)는 광 섬유(미도시)를 통해 광 센서 헤드(77) 중 하나에 연결되고, 셔터판(75)의 궤적을 가로질러 광 빔을 측방향으로 방사한다. 다른 광 센서 헤드(77)가 궤적을 가로지르는 다른 측면상에 제공되며, 광섬유(미도시)를 통해 광트랜지스터(미도시)에 접속된다. 광 빔은 연계된 건(72, 74)의 하향 이동 동안 셔터판(75)이 광 빔을 점진적으로 차단하도록 넓은 단면을 갖는다. 흑색 및 백색 건(72, 74)이 휴지 위치로부터 종료 위치를 향해 이동하는 동안, 광트랜지스터상에 입사된 광량은 점진적으로 감소되며, 현재 건 위치가 수신된 광량에 기초하여 결정된다. 따라서, 건 센서(27)는 연계된 흑색 및 백색 건(72, 74)의 하향 운동시 연속적으로 변화되는 현재 건 위치를 나타내는 건 위치 신호를 생성한다.

건 센서(27)는 자동 연주 시스템에 고유한 다른 종류의 특성의 원인이 된다. 예로서, 투명관이 오염된 경우, 그를 통과하는 광량은 비의도적으로 감소된다. 셔터판이 연계된 건의 하부면상의 목표 위치로부터 편위될 때, 센서 헤드가 건 베드(98)상의 목표 위치로부터 편위될 때, 광트랜지스터상에서 광 강도는 변화된다. 발광 다이오드 및 광트랜지스터에서 시효 경과에 따른 열화는 불가피하다. 예로서, 바이어스 전압은 시간과 함께 변화된다. 발광 다이오드 및 광트랜지스터는 적절한 전압으로부터 전력을 공급받는다. 전원은 부적합한 전위 동요로부터 전력을 완전히 보호할 수 없다. 이들은 다른 종류의 특성의 다른 요인이 된다. 물론, 이들 요인은 균등하게 가중되지 않는다. 일부 요인은 무시가능하고, 다른 요인은 심각할 수 있다.

건 센서(27)는 재생 및 기록 양자 모두시 건 위치 신호를 생성한다. 제어기(100)가 연주를 기록하기 위해 작동하는 동안, 흑색 및 백색 건(72, 74)은 연주자에 의해 선택적으로 눌러지고 방임되며, 고유한 건 운동이 연속적으로 변화되는 현재 건 위치 신호로 변환된다. 아날로그 건 위치 신호는 아날로그-대-디지털 변환기에 의해, 역시 연속적으로 변화되는 이진 값의 디지털 건 위치 신호로 변환된다.

한편, 제어기(100)가 재생을 위해 동작하는 동안, 건 센서(27)는 피드백 센서로서 기능하며, 제어기(100)는 건 작동기(10)가 목표 건 운동을 유발하는지 여부를 관찰하기 위해 건 위치 신호를 검토한다. 실제 건 운동이 목표 건 운동과 다른 경우, 실제 건 운동을 목표 건 운동과 일치시키도록 구동 신호가 변경된다.

건 위치 신호 및 해머 위치 신호는 인터페이스(37)에 도달한다. 인터페이스(37)는 해머 위치 신호 및 건 위치 신호의 파형을 적절히 재생형하고, 그후, 해머 위치 신호 및 건 위치 신호를 아날로그-대-디지털 변환기에 의해 디지털 해머 위치 신호 및 디지털 건 위치 신호로 변환한다. 도 2에 도시되지 않지만, 다른 인터페이스(37)가 플렉시블 디스크 드라이버(40)와 버스 시스템(60) 사이에 추가로 연결되며, 음악 데이터 코드가 이 인터페이스를 통해 플렉시블 디스크 드라이버(40)로부터, 그리고, 플렉시블 디스크 드라이버(40)로 전달된다. 건반(70)상의 연주를 나타내는 음악 데이터 코드의 집합은 기록시 플

렉시블 디스크 드라이버(40)에 의해 플로피 디스크(44)에 기록되며, 재생시 플렉시블 디스크 드라이버(40)를 통해 플로피 디스크(44)로부터 독출된다. 제어기(100)는 공중 통신망을 통해 원격 데이터 소스로부터 음악 데이터 코드를 공급받는 통신 인터페이스를 추가로 포함할 수 있다.

인터페이스(37)에 조작 패널(42)이 추가로 연결된다. 복수의 버튼 스위치, 디스플레이 윈도우 및 지시기가 조작 패널(42) 상에 제공된다. 버튼 스위치 중 하나는 제어기(100)에 전력을 공급한다. 사용자는 다른 버튼 스위치를 통해 제어기에 다양한 명령을 제공하며, 다른 버튼 스위치를 통해 재현 대상 악곡을 선택한다. 사용자가 연주를 기록하기를 원할 때, 사용자는 조작 패널(42)을 통해 제어기(100)에 기록 모드로 진입할 것을 명령한다. 사용자가 연주를 재연하기를 원할 때, 역시 사용자는 조작 패널(42)을 통해 제어기가 재생 모드로 진입할 것을 명령한다. 따라서, 조작 패널(42)은 인간-기계 인터페이스이다.

펄스 폭 변조기(30)는 재생시 건 작동기(10)를 위한 구동기로서 기능한다. 플런저(15)의 추력은 구동 신호와 함께 변한다. 본 예에서, 펄스 폭 변조기(30)는 플런저(15)의 추력을 변화시키기 위해 구동 신호의 듀티비를 변경한다. 펄스 폭 변조기(30)는 구동 신호의 크기를 추가로 변경할 수 있다. 펄스 폭 변조기(30)는 펄스 폭 변조기(30)가 복수의 건 작동기(10)에 구동 신호를 동시에 공급할 수 있도록 복수의 변조 회로를 포함한다. 실제 건 운동이 지연된 것으로 나타날 때, 펄스 폭 변조기(30)는 구동 신호의 듀티비를 증가시킨다. 한편, 흑색 및 백색 건(72, 74)이 앞서 이동되는 경우에, 펄스 폭 변조기(30)는 플런저(15)가 감속되도록 듀티비를 감소시킨다.

본 예에서, 중앙 처리 유닛(50), 펄스 폭 변조기(30), 건 작동기(10), 건 센서(27) 및 인터페이스(37)는 피드백 제어 루프(64)를 형성하며, 흑색 및 백색 건(72, 74)은 피드백 제어 루프(64)에 삽입된다.

메인 루틴 프로그램, 서브-루틴 프로그램 및 파라미터 표가 플래시 전기적 삭제 및 프로그램 가능 메모리(52)내에 저장되며, 임의 접근 메모리(54)는 중앙 처리 유닛(50)을 위한 작업 메모리로서 기능한다. 중앙 처리 유닛(50)은 메인 루틴 프로그램을 운용하며, 메인 루틴 프로그램은 선택적으로 서브-루틴 프로그램으로 분기한다. 재생 모드에서의 거동이 상세히 후술된다.

기록 시스템 및 기록 모드에서의 거동

기록 시스템(5)은 건 센서(27), 해머 센서(22), 플렉시블 디스크 드라이버(40), 조작 패널(42) 및 제어기(100)를 포함한다. 따라서, 기록 시스템(5)은 재생 시스템(3)과 시스템 구성요소(22, 27, 40, 42, 100)를 공유한다.

사용자가 조작 패널(42)을 통해 제어기(100)에 사용자의 연주를 기록할 것을 명령할 때, 중앙 처리 유닛(50)이 메인 루틴 프로그램을 운용하기 시작하며, 연주를 기록하기 위해 주기적으로 서브루틴 프로그램으로 진입한다. 중앙 처리 유닛(50)은 시간의 경과를 측정하기 위해 내부 클럭을 시동한다.

서브루틴 프로그램에서, 중앙 처리 유닛(50)은 현재 건 위치를 나타내는 음악 데이터의 단편 및 현재 해머 위치를 나타내는 음악 데이터의 단편을 패치하고, 이들 음악 데이터의 단편을 임의 접근 메모리(54)내에 축적한다. 후속하여, 중앙 처리 유닛(50)은 현재 건 위치를 이전 건 위치와 비교하여 사용자가 흑색 및 백색 건(72, 74) 중 어느 하나를 누르거나 방임하는지 여부를 관찰한다.

중앙 처리 유닛(50)이 사용자가 흑색 및 백색 건(72, 74) 중 하나를 누르는 것을 나타내는 경우에, 중앙 처리 유닛(50)은 건-온 이벤트를 수신통지하고, 눌러진 건(72, 74)을 명시한다. 해머(94)에 부착된 서터판은 건-온 이벤트 이후 팽 커플러 하류의 광 빔과 교차하는 것으로 가정된다. 중앙 처리 유닛(50)은 해머 속도를 산출하고, 연주의 개시로부터 또는 이전 이벤트로부터 현재의 노트-온(note-on) 이벤트까지의 경과 시간을 결정한다. 중앙 처리 유닛(50)은 노트-온 이벤트 코드 및 기간 코드를 생성하고, 눌러진 건에 할당된 건 코드, 해머 속도 및 노트-온 이벤트 코드의 경과 시간 및 기간 코드를 나타내는 음악 데이터의 단편을 저장한다. 노트-온 이벤트 코드 및 기간 코드는 다른 종류의 음악 데이터 코드이다. 노트-온 이벤트 코드는 기간 코드를 동반한다.

한편, 중앙 처리 유닛(50)이 사용자가 눌러진 건을 방임한 것을 나타내는 경우, 중앙 처리 유닛(50)은 방임된 건(72, 74)을 명시하고, 음조가 소멸되는 시기를 결정한다. 이 시기는 댐퍼(92)가 진동하는 현(96)과 접촉하는 시기와 거의 같다. 중앙 처리 유닛(50)은 음조가 소멸되는 시기 및 이전 이벤트로부터의 경과 시간을 결정한다. 중앙 처리 유닛은 노트-오프 이벤트 코드 및 기간 코드를 생성하고, 건 코드 및 노트-오프 이벤트 코드의 경과 시간과 연계된 기간 코드를 나타내는 음악 데이터의 단편을 저장한다. 노트-오프 이벤트 코드는 다른 종류의 음악 데이터 코드이며, 기간 코드를 동반한다. 용어 "이벤트 코드"는 이하 노트-온 이벤트 코드 및 노트-오프 이벤트 코드 양자 모두를 나타낸다.

비록, 도면에 도시되어 있지 않지만, 자동 연주 피아노는 댐퍼, 연성 및 소스테누토(sostenuto) 페달 및 연계된 페달 센서를 추가로 포함하며, 중앙 처리 유닛(50)은 또한 임의 접근 메모리(54)내에 현재 페달 위치를 나타내는 음악 데이터의 단편을 축적한다. 중앙 처리 유닛(50)이 사용자가 페달을 밟는 것을 수신통지할 때, 중앙 처리 유닛은 영향을 나타내는 음악 데이터 코드를 생성한다.

사용자가 건반(70)상에서 악곡을 운지하는 동안, 중앙 처리 유닛(50)은 음악 데이터 코드가 간헐적으로 생성되어 임의 접근 메모리(54)내에 축적되도록 주기적으로 서브루틴 프로그램에 진입하고, 메인 루틴 프로그램으로 복귀한다. 음악 데이터의 단편은 정규화되고, 음악 데이터의 단편으로부터 일부 특성이 제거된다. 따라서, 기록 시스템(5)의 임무는 도 1에 도시된 바와 같은 음악 데이터 생성기(130) 및 후 프로세서(140)의 직렬 조합체로서 요약된다.

연주의 완료시, 사용자는 연주를 나타내는 음악 데이터 코드의 집합을 전달할 것을 중앙 처리 유닛(50)에 명령할 수 있다. 그런 경우, 중앙 처리 유닛(50)은 음악 데이터 코드의 집합을 임의 접근 메모리(54)로부터 플렉시블 디스크 드라이버(40)로 전달하고, 플로피 디스크(44)에 저장한다.

재생 모드시의 시스템 거동

자동 연주 시스템(3)은 도 1에 도시된 바와 같이 운동 설계기(110)와 운동 제어기(120)의 직렬 조합체로서 표현되는 임무를 달성한다. 도 3은 재생 모드시의 흑색 및 백색 건(72, 74)에 대한 제어 시퀀스를 도시한다. 사용자가 연주를 재현할 것을 제어기(100)에 명령할 때, 중앙 처리 유닛(50)은 흑색 및 백색 건(72, 74)을 선택적으로 이동시키기 위한 제어 시퀀스를 시작하고, 건반(70)상에서 연주를 재현한다. 제어 시퀀스는 서브루틴 프로그램의 형태로 플래시-형 전기적 삭제 및 프로그램가능 판독 전용 메모리(52)내에 저장된다. 중앙 처리 유닛(50)은 타이머 중단시 주기적으로 서브루틴 프로그램으로 진입하고 메인 루틴 프로그램으로 복귀한다. 이는 중앙 처리 유닛(50)이 주기적으로 실행을 중단하고, 서브루틴 프로그램으로 진입시 이를 재시동한다는 것을 의미한다. 그럼에도 불구하고, 단순성을 위해, 제어 시퀀스는 중앙 처리 유닛(50)이 태스크를 연속적으로 달성하는 것처럼 후술된다.

연주를 재현하기 위한 사용자의 명령의 수신시, 중앙 처리 유닛(50)은 임의 접근 메모리(54)에 연주를 나타내는 음악 데이터 코드의 집합을 전달할 것을 플로피 디스크 드라이버(40)에 요청한다. 플로피 디스크 드라이버(40)는 플로피 디스크(44)로부터 음악 데이터 코드의 집합을 독출하고, 이어서, 단계 SP2에서 음악 데이터 코드를 임의 접근 메모리(54)에 전달한다. 어드레스는 동기 증분되며, 음악 데이터 코드는 임의 접근 메모리(54)에 기록된다.

이어서, 중앙 처리 유닛(50)은 제1 노트-온 이벤트를 나타내는 음악 데이터 코드를 패치한다. 중앙 처리 유닛(50)은 단계 SP4에서 음악 데이터 코드내의 음악 데이터의 단편을 정규화하고, 이동 대상 흑색 및 백색 건(72, 74)을 위한 기준 레적을 결정한다. 중앙 처리 유닛(50)이 기준 레적을 결정할 때, 단계 SP6에서, 중앙 처리 유닛은 기준 레적을 미분하고, 기준 레적상의 다음 감시 시기의 목표 건 속도를 결정한다. 중앙 처리 유닛(50)은 단계 SP8에서 소정의 시간 동안 유휴 상태가 된다.

소정의 시간의 경과시, 중앙 처리 유닛(50)은 단계 SP10에서 감시 시기의 현재 목표 위치(rx)를 결정한다. 현재 건 위치는 아날로그 건 위치 신호를 통해 연계된 건 센서(27)로부터 지속적으로 보고되며, 아날로그 건 위치 신호는 인터페이스(37)에 통합되어 있는 아날로그-대-디지털 변환기를 통해 디지털 건 위치 신호로 변환된다. 중앙 처리 유닛(50)은 단계 SP12에서, 아날로그-대-디지털 변환기로부터 현재 건 위치(yxd)를 나타내는 위치 데이터의 단편을 패치한다.

중앙 처리 유닛(50)은 단계 SP14에서, 실제 건 위치(yx)를 획득하기 위해 현재 건 위치(yxd)를 정규화한다. 중앙 처리 유닛(50)은 단계 SP16에서 현재 목표 위치(rx)로부터 실제 건 위치(yx)를 차감하고, 위치 편차(ex)를 결정한다. 중앙 처리 유닛(50)은 단계 SP16에서 제어 인자(ux)를 결정하기 위해 소정의 이득(kx)으로 위치 편차를 승산한다.

이어서, 중앙 처리 유닛(50)은 단계 SP20에서, 이전 감시 시기의 실제 건 위치를 패치하고, 현재 감시 시기의 실제 건 위치(yx) 및 이전 감시 시기의 실제 건 위치에 기초하여 실제 건 속도(yv)를 산출한다. 중앙 처리 유닛(50)은 단계 SP22에서 속도 편차를 결정하기 위해 목표 건 속도(rv)로부터 실제 건 속도(yv)를 차감한다. 중앙 처리 유닛은 단계 SP24에서 소정의 이득(kv)으로 속도 편차(ev)를 승산하고, 제어 인자(uv)를 결정한다.

중앙 처리 유닛(50)은 단계 SP26에서, 제어 인자(u)를 결정하도록 속도 제어 인자(uv)에 위치 제어 인자(ux)를 가산한다. 중앙 처리 유닛(50)은 단계 SP28에서 펄스 폭 변조기(30)에 제어 인자(u)를 전송하고, 구동 신호의 펄스 폭을 최적화할 것을 펄스 폭 변조기(30)에 요청한다. 흑색 및 백색 건(72, 74)이 목표 건 위치에 선행하는 경우, 제어 인자(u)는 감속을 나타내며, 펄스 폭 변조기(30)는 구동 신호의 듀티비를 감소시킨다. 구동 신호는 이전 보다 자기장을 약화시키며, 플런저(15)는 흑색 및 백색 건(72, 74)을 감속시킨다. 한편, 흑색 및 백색 건(72, 74)이 목표 위치에 도달하지 못한 경우, 제어 인자(u)는 가속을 나타내며, 펄스 폭 변조기(30)는 구동 신호의 듀티비를 증가시킨다. 구동 신호는 자기장을 이전 보다 강화시키며, 플런저(15)는 연계된 흑색 및 백색 건(72, 74)을 가속시킨다.

이어서, 중앙 처리 유닛(50)은 단계 SP30에서, 흑색 및 백색 건(72, 74)이 기준 레적의 중점에 도달하였는지 여부를 관찰하기 위해 목표 건 위치를 검토한다. 흑색 및 백색 건(72, 74)이 여전히 기준 레적의 중점까지의 경로 중에 있는 경우, 단계 SP30에서의 답변은 부정으로 주어지고, 중앙 처리 유닛(50)은 단계 SP6으로 복귀한다. 따라서, 중앙 처리 유닛(50)은 단계 SP6 내지 SP30으로 구성되는 루프를 되풀이하고, 흑색 및 백색 건(72, 74)이 가속 또는 감속되는지를 관찰하기 위해 주기적으로 감시점에서의 건 운동을 검토한다.

흑색 및 백색 건(72, 74)이 기준 레적의 중점에 도달할 때, 단계 SP30에서의 답변은 긍정으로 주어지며, 중앙 처리 유닛(50)은 단계 SP32에서 모든 노트-이벤트가 재현되었는지 여부를 관찰하기 위해 임의 접근 메모리(54)를 점검한다. 단계 SP32에서의 답변이 부정으로 주어지는 동안, 중앙 처리 유닛(50)은 단계 SP4 내지 단계 SP32로 구성되는 루프를 되풀이한다. 단계 SP32가 긍정으로 바뀌어질 때, 중앙 처리 유닛(50)은 메인 루틴 프로그램으로 복귀하며, 메인 루틴 프로그램은 연주의 재현을 위한 사용자의 명령의 수신시까지 서브-루틴 프로그램으로 분기하지 않는다.

중앙 처리 유닛(50) 및 단계 SP4, SP6, SP8 및 SP32에 대응하는 명령 코드는 운동 설계기(110)를 실행하며, 중앙 처리 유닛(50) 및 단계 SP10 내지 SP30에 대응하는 명령 코드는 운동 제어기(120)를 실행한다.

이하의 설명은 피드백 루프(64)에 집중한다. 도 4는 자동 연주 피아노에 통합된 피드백 제어 루프(64)에 사용되는 알고리즘을 나타낸다. 전술된 바와 같이, 중앙 처리 유닛(50), 펄스 폭 변조기(30), 건 작동기(10), 건반(70), 건 센서(27) 및 인터페이스(37)는 피드백 루프(64)를 형성한다.

건 센서(27), 즉, 위치 트랜스듀서(27)는 현재 건 위치 "yxa"를 아날로그 건 위치 신호로 변환하고, 현재 건 위치(yxa)를 나타내는 아날로그 건 위치 신호는 인터페이스(37)에 공급된다. 박스(202)는 단계 SP4, SP6 및 SP10에서의 중앙 처리 유닛(50) 이전의 태스크를 나타내며, 중앙 처리 유닛(50)은 기준 레적에 기초하여 목표 건 위치(rx) 및 목표 건 속도(rv)를 결정한다. 기준 레적은 시간과 함께 변화하는 키스트로크의 일련의 값이다. 시간이 박스(202)에 주어질 때, 박스(202)는 주어진 시기의 목표 건 위치(rx)를 출력하며, 주어진 시기의 기준 레적의 구배, 즉, 목표 건 속도(rv)를 산출한다.

중앙 처리 유닛(50)은 서브-루틴 프로그램의 실행을 통해 원(203, 206, 210)과 박스(204, 208, 216, 218)로 표시된 기능을 추가로 실현한다. 실제 건 속도(yv)는 실제 건 위치(yx)에 기초하여 산출되며, 실제 건 위치(yx) 및 실제 건 속도(yv)는 구동 신호의 최적의 듀티비 또는 건 작동기(10)에 공급될 평균 전류를 결정하기 위해, 목표 건 위치(rx) 및 목표 건 속도(rv)에 각각 비교된다.

상세히, 원(203)은 단계 SP16에서의 중앙 처리 유닛(50) 이전의 태스크를 나타내며, 중앙 처리 유닛(50)은 감산을 통해 목표 건 위치(rx)와 실제 건 위치(yx) 사이의 위치 편차(ex)를 결정한다. 유사하게, 원(206)은 단계 SP22에서의 중앙 처리 유닛(50) 이전의 태스크를 나타내며, 중앙 처리 유닛은 감산을 통해 목표 건 속도(rv)와 실제 건 속도(yv) 사이의 속도 편차(ev)를 결정한다. 박스(204, 208)는 단계 SP18 및 SP24에서의 중앙 처리 유닛(50) 이전의 태스크를 나타내며, 중앙 처리 유닛(50)은 각각 이득(kx 및 kv)에 의한 승산을 통해 위치 제어 인자(ux) 및 속도 제어 인자(uv)를 결정한다. 원(210)은 단계 SP26에서의 중앙 처리 유닛(50) 이전의 태스크를 나타내며, 중앙 처리 유닛(50)은 가산을 통해 제어 인자(u)를 결정한다.

제어 인자(u)는 건 작동기(10)에 공급될 평균 전류 또는 구동 신호의 최적 듀티비를 나타내며, 펄스 폭 변조기(30)에 공급된다. 펄스 폭 변조기(30)는 구동 신호를 최적 듀티비(u)로 조절하고, 플러저(15)상에 작용되는 주력이 변화된다.

이제, 플러저(15)가 이미 돌출을 시작하고, 위치 트랜스듀서(27)가 현재 건 위치 "yxa"를 결정하며, 아날로그 건 위치 신호를 인터페이스(37)에 공급한 것으로 가정한다. 아날로그 건 위치 신호는 이진 코드 "yxd"를 나타내는 디지털 건 위치 신호로 변환되고, 그 이진수는 아날로그 건 위치 신호의 크기와 동가이다. 위치 데이터의 단편, 즉, 이진 코드 "yxd"는 중앙 처리 유닛(50)에 의해 패치되고, 현재 건 위치 "yvd"를 나타내는 위치 데이터의 단편은 박스(216)에서 실제 건 위치 "yx"로 정규화된다. 정규화는 흑색 및 백색 건(72, 74)의 특성 및 위치 트랜스듀서(27)의 특성의 제거를 목적으로 하며, 하기의 수학적 식 1로 표현되고,

[수학적식1]

$$yx=R*yxd+S[\text{mm}]$$

여기서, R은 이득의 보정 인자이고, S는 편위의 보정 인자이다. 보정 인자(R 및 S)는 경험을 통해 주어진다. 보정 인자(R/S)의 값은 플래시-형 전기적 삭제 및 프로그램가능 판독 전용 메모리(52)에 목록화되어 있으며, 중앙 처리 유닛(50)은 적절한 값을 패치하기 위해 표를 액세스한다.

중앙 처리 유닛(50)은 실제 건 위치를 나타내는 정규화된 위치 데이터 "yx"의 단편을 패치하고, 하기와 같이, 실제 건 위치 "yx"에 대한 미분을 통해 목표 건 속도 "yv"를 산출한다.

[수학적식2]

$$yv=(yx0-yx1)/T[\text{mm/sec.}]$$

여기서, yx0은 현재 실제 건 위치이고, yx1은 이전 실제 건 위치이다.

중앙 처리 유닛(50)은 실제 건 위치 "yx"와 실제 건 속도 "yv"를 박스(202)에서 이미 산출되어 있는 목표 건 위치 "rx" 및 목표 건 속도 "rv"로부터 차감한다.

비록, 기준 궤적이 결정되는 방식이 일본 특허 공개 제7-175472호에 상세히 기술되어 있지만, 흑색 및 백색 건(72, 74)이 균일한 운동을 취한다는 가정상에서 기준 궤적에 대하여 간단히 설명한다. 기준 궤적은 목표 건 위치의 값의 집합이다. 목표 건 위치 "rx"는 하기와 같이 표현된다.

[수학적식3]

$$rx=f(vm)*t + rx0$$

여기서 f는 함수를 나타내고, vm은 MIDI 프로토콜에 규정된 속도이며, t는 시간이고, rx0은 초기값이다. 목표 건 속도 "rv"는 수학적식4와 같이 주어진다.

[수학적식4]

$$rv=d(rx)/dt=f(vm)$$

f(vm)는 지수 함수이다. 목표 건 위치(rx) 및 목표 건 속도(rv)는 중앙 처리 유닛(50)에 의해 산출되거나 표로서 준비되어 있다.

편차 "ex" 및 "ev"는 박스(204, 208)에서 각각 이득 "kx" 및 "kv"로 승산된다. 위치 제어 인자(ux) 및 속도 제어 인자(uv)는 가산기(210)에 공급되고, 서로 가산된다. 합 또는 제어 인자 "u"는 펄스 폭 변조기(30)가 구동 신호를 조절하는 최적 듀티비를 나타낸다. 합 "u"는 펄스 폭 변조기(30)에 공급되고, 펄스 폭 변조기(30)는 구동 신호를 최적 듀티비로 조절한다.

자기장의 강도는 평균 구동 전류에 따라 변화되며, 플린저(15)상에 작용하는 추력도 변화된다. 플린저(15)는 피드백 제어 루프(64)를 통해 감속, 가속 또는 유지된다. 따라서, 피드백 제어 루프(64)는 다른 흑색 및 백색 건(72, 74)의 원래의 건 운동을 유발한다.

이해할 수 있는 바와 같이, 플린저 운동 및 이에 따른 건 운동은 피드백 제어 루프(64)를 통해 제어되며, 건 위치 및 건 속도 양자 모두가 피드백 제어에 고려된다. 위치 편차(ex)를 위한 이득(kx) 및 속도 편차(ev)를 위한 이득(kv)은 서로 독립적으로 피드백 제어 루프(64)에 주어진다. 이 특징은 피드백 제어 루프(64)의 응답 특성이 쉽게 최적화되기 때문에 바람직하다.

본 발명자는 피드백 제어 루프(64)의 응답 특성에 대한 이득(kx/kv)의 영향을 연구하였다. 도 5는 이득(kx 및 kv) 양자 모두가 작은 조건에서 피드백 제어 루프(64)의 응답 특성을 나타낸다. 이득(kx 및 kv)은 각각 0.2 및 0.0으로 조절되었다. 목표 건 속도 "rv"는 시간 t1에서 급격히 증가되고, 시간 t2에 복원되었다. 목표 건 속도 "rv"는 시간 t3에 급격히 감소되고, 시간 t4에 복원되었다. 비록, 가산기(210)가 제어 인자 "u"를 변경하였지만, 실제 건 속도 "yv"는 작은 이득(kx 및 kv)으로 인해 거의 일정하였으며, 실제 건 위치 "yx"는 목표 건 위치 "rx"를 추종하지 않는다. 흑색 및 백색 건(72, 74)이 최대 스트로크(mx1)에 도달하지 않기 때문에, 연계된 현(4)은 해머(2)로 타격되지 않으며, 자동 연주 피아노로부터 어떠한 음조도 들을 수 없다.

도 6은 다른 조건에서의 피드백 제어 루프(64)의 응답 특성을 도시한다. 이득(kx 및 kv)은 각각 0.5 및 1.4로 조절되었다. 목표 건 속도는 시간 t1과 시간 t3 사이에서 높게 유지되었으며, 시간 t5와 시간 t6 사이에서 낮게 유지되었다. 목표 건 속도 "yv"는 시간 t2에 상승하기 시작하였으며, 시간 t4 부근에서 정점에 도달하였다. 비록, 실제 건 위치 "yx"가 도 5에 도시된 바 보다 조기에 응답하였지만, 실제 건 위치 "yx"는 최대 스트로크(mx2)에 도달하지 않으며, 자동 연주 피아노는 음조를 가늘게 생성하였다. 따라서, 재생시 생성된 음조는 원본 음조보다 음량이 작았다.

도 7은 또 다른 조건에서의 피드백 제어 루프(64)의 응답 특성을 나타낸다. 이득(kx 및 kv)은 각각 0.2 및 3.2로 조절되었다. 목표 건 속도는 또한 시간 t1과 시간 3t 사이에서 높게 유지되었고, 시간 t3과 시간 t4 사이에서 낮았다. 이득 kv가 이득 kx 보다 매우 크기 때문에, 실제 건 속도 "yv" 및 실제 건 위치 "yx" 양자 모두가 발전하고, 제어 인자 "u"는 넓게 진동하였다. 따라서, 피드백 제어 루프(64)는 재생시 자동 연주 피아노를 불안정하게 하였다.

도 8은 또 다른 조건에 대한 피드백 제어 루프(64)의 응답 특성을 도시한다. 이득(kx 및 kv)은 0.5 및 0.2로 각각 조절되었다. 목표 건 속도는 또한 시간 t1과 시간 t2 사이에서 높게 유지되었으며, 시간 t4와 시간 t5 사이에서 낮았다. 속도 제어 인자 "uv"를 사용한 보정은 너무 열악하여 실제 건 위치 "yx"가 최대 키스트로크(mx3)를 초과하였다. 실제 건 위치 "yx"는 시간 t3에 정점에 도달하였기 때문에, 연계된 현(4)은 해머(2)로 격렬히 타격되며, 재생시 생성된 어쿠스틱 피아노 음조는 원본 음조 보다 음량이 컸다.

도 9는 또 다른 조건에 대한 피드백 제어 루프(64)의 응답 특성을 도시한다. 이득(kx 및 kv)은 1.1 및 2.0으로 각각 조절되었다. 목표 건 속도는 또한 시간 t1과 시간 t2 사이에서 높게 유지되었으며, 시간 t3과 시간 t4 사이에서 낮았다. 이득(kx 및 kv)은 최적화되었으며, 서로 잘 균형화되었다. 실제 건 속도 "yv"는 목표 건 속도 "rv"와 함께 변화되었으며, 실제 건 위치 "yx"는 목표 건 위치 "rx"를 잘 추종하였다. 결과적으로, 실제 건 위치 "ymx4"는 최대 키스트로크(mx4)에 근접 도달하였다. 이는 원본 음조 만큼 음량이 큰 음조를 초래하였다.

본 발명자는 서로 다른 조건에 대하여 실험을 반복 수행하였으며, 도 10에 도시된 표를 얻었다. 행은 이득 kx를 나타내고, 이득 kx는 0.0 내지 2.3으로 변화되었다. 한편, 열은 이득 kv를 나타내며, 이득 kv는 0.0 내지 3.5로 변화되었다. 본 발명자는 이득(kx 및 kv)을 표의 값으로 조절하였으며, 원본 음조를 재현하도록 자동 연주 피아노에 명령하였다. 결과가 열과 행 사이의 교차점에 표시되어 있다. 표시 "*"는 어떠한 음조도 생성되지 않은 것을 의미하며, 표시 "+"는 음조가 원본 음조 보다 음량이 큰 것을 의미하고, 표시 "ok"는 음조가 원본 음조와 음량이 동일한 크기라는 것을 의미하고, 표시 "-"는 음조가 원본 음조 보다 음량이 작다는 것을 의미하며, 표시 "#"은 예로서, 발전으로 인해 건 운동이 불안정한 것을 의미한다.

표로부터, 최소 이득(kx 및 kv)은 0.5와 같다는 것을 이해할 수 있다. 한편, 최대 이득(kx 및 kv)은 각각 2.0 및 2.3과 같다. 이득 kx에 대한 이득 kv의 비율이 1 내지 3 이내에 들 때, 피드백 제어 루프(64)는 양호 표시 "ok"를 얻는 경향이 있다. 따라서, 본 발명자는 목표 음량으로 음조를 재현하기 위한 수치 범위를 발견하였다.

제2 실시예

도 11은 본 발명을 구현하는 다른 자동 연주 건반 악기에 통합된 피드백 제어 루프(64C)에 사용되는 다른 알고리즘을 도시한다. 자동 연주 건반 악기는 또한 어쿠스틱 피아노, 기록 시스템 및 자동 연주 시스템(3C)을 포함한다. 어쿠스틱 피아노 및 기록 시스템은 제1 실시예를 구현하는 자동 연주 건반 악기의 어쿠스틱 피아노 및 기록 시스템과 유사하며, 속도 센서(28)가 기록 시스템 및 자동 연주 시스템(3C)에 사용되었다. 그러나, 재생 모드의 서브루틴 프로그램 및 피드백 제어 루프(64C)는 자동 연주 시스템(3)의 것들과 상이하다. 이 때문에, 이하, 피드백 제어 루프(64C)에 대한 설명에 집중한다. 자동 연주 시스템(3C)의 시스템 구성요소는 이하 자동 연주 시스템(3)의 대응 시스템 구성요소를 나타내는 참조부호를 부여하였으며, 상세한 설명은 하지 않는다.

중앙 처리 유닛(50), 펄스 폭 변조기(30), 건 작동기(10), 건반(70), 속도 센서(28) 및 인터페이스(37)는 피드백 제어 루프(64C)를 형성한다. 속도 센서(28)는 현재 건 속도 "yva"를 아날로그 건 속도 신호로 변환하며, 아날로그 건 속도 신호는 인터페이스(37)에 공급된다. 중앙 처리 유닛(50)은 서브루틴 프로그램이 실행을 통해 박스(202, 204, 208, 220) 및 원(203, 206, 210)으로 표시된 기능을 실현한다. 본 예에서, 실제 건 위치 "yx"는 실제 건 속도 "yv"에 기초하여 산출되며, 목표 듀티비를 결정하기 위해, 실제 건 위치 "yx" 및 실제 건 속도 "yv"가 각각 목표 건 위치 "rx" 및 목표 건 속도 "rv"와 비교된다. 원(203, 206) 및 박스(204, 208)에서의 기능은 제1 실시예의 것들과 동일하며, 박스(220, 222)는 박스(216, 218)의 것들과 상이하다. 하기의 정규화가 박스(220)에서 수행된다.

[수학식 5]

$$yv = P * yvd + Q \text{ [mm/sec]}$$

여기서, P는 이득의 보정 인자이며, Q는 편위의 보정 인자이다. 보정 인자(P 및 Q)는 실험을 통해 결정되며, 플래시-형 전기적 삭제 및 프로그램가능 판독 전용 메모리(52)에 저장된다. 한편, 실제 건 속도(yv)가 박스(222)에서 적분되며, 실제 건 위치(yx)가 적분을 통해 결정된다.

이제, 플런저(15)가 이미 돌출을 시작하고, 속도 센서(28)가 현재 건 속도 "yva"를 결정하며, 아날로그 건 속도 신호를 인터페이스(37)에 공급하는 것으로 가정한다. 아날로그 건 속도 신호는 이진 코드 "yvd"를 나타내는 디지털 건 속도 신호로 변환되며, 그 이진수는 아날로그 건 속도 신호의 크기와 등가이다. 속도 데이터의 단편, 즉, 이진 코드 "yvd"는 중앙 처리 유닛(50)에 의해 패치되고, 위치 데이터의 단편 "yvd"가 박스(220)에서 실제 건 속도 "yv"로 정규화된다. 그러나, 설계자가 보정 인자를 결정할 때, 사용자는 박스(204, 208)에서의 증폭을 고려한다.

중앙 처리 유닛(50)은 실제 건 속도를 나타내는 정규화된 속도 데이터 "yv"의 단편을 패치하고, 하기와 같이 실제 건 속도 "yv"에 대한 적분을 통해 실제 건 위치 "yx"를 산출한다.

[수학식 6]

$$yx = yx1 + yv0 * T \text{ [mm]}$$

여기서, yx1은 이전 실제 건 위치이고, yv0은 현재 실제 건 속도이며, T는 yx1로부터의 경과시간이며, *는 승산 기호이다. 경과시간은 샘플링 시간 간격과 같다.

중앙 처리 유닛(50)은 원(203, 206)에서, 실제 건 위치 "yx"와 실제 건 속도 "yv"를 이미 산출되어 있는 목표 건 위치 "rx" 및 목표 건 속도 "rv"로부터 차감한다.

편차 "ex" 및 "ev"는 각각 박스(204, 208)에서 이득 "kx" 및 "kv"로 증산된다. 이 적, 즉, 위치 제어 인자 "ux" 및 속도 제어 인자 "uv"는 평균 구동 전류, 즉, 상이한 관점으로 부터의 듀티비의 목표값을 나타낸다. 듀티비 "ux" 및 "uv"의 목표값을 나타내는 제어 데이터의 단편이 가산기(210)에 공급되고, 서로 가산된다. 이 합, 즉, 제어 인자 "u"는 구동 신호의 듀티비가 조절되어야 하는 듀티비의 목표값을 나타낸다. 이 합 "u"는 펄스 폭 변조기(30)에 공급되고, 펄스 폭 변조기(30)는 구동 신호를 목표 듀티비로 조절한다.

자기장의 강도는 목표 듀티비에 의존하여 변화되며, 플런저(15)에 작용하는 추력도 변화된다. 이는 플런저(15)가 속도가 가속, 감속 또는 유지되게 한다.

비록, 연계된 흑색 및 백색 건(72, 74)에 작용되는 힘이 변화되지만, 건 운동은 즉시 따라오지 않는다. 추력의 변화와 건 운동의 변화 사이에 시간 지연이 발생하며, 이는 연계된 속도 센서(28)의 특성 및 건반(70)의 특성에 의존한다. 이 때문에, 속도 센서(28)가 현재 건 속도 "yva"를 아날로그 건 위치 신호로 정확히 변환한 경우에도, 현재 플런저 위치의 변화는 현재 건 속도 "yva"로 정확하게 옮겨지지 않는다. 아날로그 건 속도 신호는 디지털 건 속도 신호로 변환되며, 현재 건 속도 "yva"는 이진 코드 "yvd"로 표현된다.

중앙 처리 유닛(50)은 인터페이스(37)로부터 위치 데이터의 단편 또는 이진 값 "yvd"을 패치하고, 박스(220)에서 현재 건 속도를 정규화한다. 실제 건 위치 "yx"는 적분을 통해 산출된다. 따라서, 중앙 처리 유닛(50)은 실제 건 위치 "yx" 및 실제 건 속도 "yv"를 형성한다.

중앙 처리 유닛(50)은 제어 데이터의 단편을 독출하며, 다음 목표 위치 "rx" 및 다음 목표 속도 "rv"를 박스(202)에서 산출한다. 편차 "ex" 및 "ev"가 산출되며, 목표 듀티비가 최종적으로 상술된 바와 같이 결정된다. 따라서, 중앙 처리 유닛(50)은 상술된 피드백 제어 루프(64C)를 통해, 듀티비, 즉, 플런저(15)상에 작용되는 추력이 플런저(15)가 기준 궤적상에서 이동하게 하기에 적합한지 여부를 관찰하기 위해 실제 건 속도 "yv" 및 실제 건 위치 "yx"를 주기적으로 점검한다. 이 때문에, 펄스 폭 변조기(30)는 항상 구동 신호를 최적의 듀티비로 조절할 수 있다.

본 발명자는 이득(kx 및 kv)의 상술된 수치 범위가 피드백 제어 루프(64C)에 대하여 유효하다는 것을 확인하였다.

제3 실시예

도 12는 본 발명을 구현하는 또 다른 자동 연주 건반 악기에 통합된 피드백 제어 루프(64D)에 사용된 알고리즘을 도시한다. 자동 연주 건반 악기는 또한 어쿠스틱 피아노, 기록 시스템 및 자동 연주 시스템(3D)을 포함한다. 어쿠스틱 피아노 및 기록 시스템은 어쿠스틱 피아노(1) 및 기록 시스템(5)과 유사하고, 위치 트랜스듀서(27)가 기록 시스템 및 자동 연주 시스템(3D)에 사용되었다. 그러나, 재생 모드의 서브루틴 프로그램 및 피드백 제어 루프(64D)는 자동 연주 시스템(3)의 것들과 상이하다. 이 때문에, 이하, 설명은 피드백 루프(64D)에 집중한다. 자동 연주 시스템(3D)의 시스템 구성요소는 이하 자동 연주 시스템(3)의 대응 시스템 구성요소를 나타내는 참조부호를 부여하며, 상세한 설명은 하지 않는다.

중앙 처리 유닛(50), 펄스 폭 변조기(30), 건 작동기(10), 건반(70), 건 센서 또는 위치 트랜스듀서(27) 및 인터페이스(37)는 피드백 루프(64D)를 형성한다. 위치 트랜스듀서(27)는 현재 건 위치 "yxa"를 아날로그 건 위치 신호로 변환하고, 아날로그 건 위치 신호가 인터페이스(37)에 공급된다. 아날로그 건 위치 신호는 인터페이스(37)를 통해 디지털 건 위치 신호로 변환된다.

중앙 처리 유닛(50)은 서브루틴 프로그램의 실행을 통해, 박스(232, 203, 204, 206, 208, 210, 216, 218, 234)에 의해 표현된 기능을 실현한다. 도 12를 도 4와 비교하면, 제3 실시예와 제1 실시예 사이의 차이가 박스(232) 및 원(234)에 관련한다는 것을 발견할 수 있다. 목표 건 위치 "rx" 및 목표 건 속도 "rv" 뿐만 아니라, 바이어스 "ru"도 박스(232)로부터 출력된다. 목표 건 위치 "rx" 및 목표 건 속도 "rv"는 도 4에 도시된 것들과 동일하다. 바이어스 "ru"는 건 작동기(10)에 공급된 바이어스 전압을 나타낸다. 건 작동기(10)를 위해 바이어스 전압이 필요한 이유는 구동 신호에 대한 신속한 응답 때문이다. 구동 신호는 0으로부터 상승하는 것으로 가정된다. 건(72, 74)의 저항 및 복귀 스프링의 탄성력 같은 다양한 종류의 저항이 자기력에 대하여 플런저(15)상에 작용되기 때문에, 플런저(15)는 솔레노이드 및 요크의 조합 구조체(17)로부터 즉시 돌출하지 않는다. 자기력이 총 저항을 초과할 때, 플런저는 돌출하기 시작한다. 바이어스 전압 "ru"는 솔레노이드 및 요크의 조합 구조체(17)가 플런저(15)상의 총 저항과 동가인 임계 자기력을 작용하게 한다. 펄스 폭 변조기(30)는 항상 솔레노이드와 요크의 조합 구조체(17)에 바이어스 전압을 인가한다. 펄스 폭 변조기(30)가 구동 신호를 발생시킬 때, 플런저(15)는 솔레노이드와 요크의 조합 구조체(17)로부터 즉시 돌출한다. 따라서, 건 작동기(10)는 바이어스 전압 "ru"에 의해 신속성이 향상된다.

본 예에서, 일정한 바이어스 "ru"가 박스(232)로부터 출력되고, 바이어스 "ru"는 원(234)에서 "ux"와 "uv"의 합에 가산된다. 다른 박스 및 원에서의 기능은 도 4에 도시된 것들과 같다. 이 때문에, 이하, 반복을 피하기 위해, 피드백 루프(64D)의 추가 설명은 하지 않는다. 상술된 수치 범위는 실질적으로 제3 실시예에 대해 최적이다.

상기 설명으로부터 알 수 있는 바와 같이, 위치 편차(ex) 및 속도 편차(ev)는 각각 이득(kx 및 kv)으로 승산되며, 이득(kx 및 kv)은 적절한 값으로 독립적으로 조절된다. 결과적으로, 제어 인자 "u"는 흑색 및 백색 건(72, 74)이 기준 궤적상에서 이동하게 하는 방식으로 최적화된다. 이는 자동 건반 악기를 통한 원본 연주의 충실한 재연을 초래한다.

제4 실시예

도 13은 본 발명을 구현하는 또 다른 자동 연주 건반 악기에 통합된 피드백 제어 루프(64E)에 사용되는 알고리즘을 도시한다. 자동 연주 건반 악기는 또한 어쿠스틱 피아노, 기록 시스템 및 자동 연주 시스템(3E)을 포함한다. 어쿠스틱 피아노 및 기록 시스템은 제2 실시예의 어쿠스틱 피아노 및 기록 시스템과 유사하며, 속도 센서(28)가 기록 시스템 및 자동 연주 시스템(3E)에 사용된다. 그러나, 재생 모드의 서브루틴 프로그램 및 피드백 루프(64E)는 제2 실시예의 자동 연주 시스템의 것들과 다르다. 이 때문에, 이하 피드백 루프(64E)의 설명에 집중한다. 이하, 자동 연주 시스템(3E)의 시스템 구성요소는 자동 연주 시스템(3)의 대응 시스템 구성요소를 나타내는 참조번호가 부여되며, 상세한 설명은 하지 않는다.

중앙 처리 유닛(50), 펄스 폭 변조기(30), 건 작동기(10), 건반(70), 속도 센서(28) 및 인터페이스(37)는 피드백 루프(64E)를 형성한다. 속도 센서(28)는 현재 건 속도 "yva"를 아날로그 건 속도 신호로 변환하며, 아날로그 건 속도 신호는 인터페이스(37)에 공급된다. 아날로그 건 속도 신호는 인터페이스(37)를 통해 디지털 건 속도 신호로 변환된다.

중앙 처리 유닛(50)은 서브루틴 프로그램의 실행을 통해 박스(202, 204, 208, 220, 222, 240, 242) 및 원(203, 206, 244)으로 표현된 기능을 실현한다. 도 13을 도 11과 비교하면, 제4 실시예와 제2 실시예의 차이는 박스(240, 242)와 원(244)에 관련함을 알 수 있다.

실제 가속도 "ya"가 박스(240)에서의 미분을 통해 실제 건 속도에 기초하여 산출되고, 박스(242)에서 이득 "ka"으로 증폭된다. 이 적 또는 제어 인자 "ua"는 가속도를 나타내며, 가산기(244)에 공급된다. 가산기(244)는 속도 제어 인자 "uv"에 위치 제어 인자 "ux"를 가산하며, 합으로부터 제어 인자 "ua"를 차감한다. 즉, $u = ux + uv - ua$ 이다. 따라서, 제어 인자 "ux" + "uv"는 가속도 "ua"로 변경된다. 제어 인자 "u"는 펄스 폭 변조기(30)에 공급되며, 펄스 폭 변조기(30)는 구동 신호를 목표 듀티비로 조절한다. 설계자가 이득을 위한 보정 인자를 결정할 때, 사용자는 박스(204, 208, 242)에서의 증폭을 고려한다. 다른 기능은 제4 실시예의 것들과 동일하며, 단순성을 위해 더 이상의 설명은 생략한다.

가속도 "ua"를 사용한 변경은 위치 및 속도로 구동 신호를 조절하는데 적합하다. 구체적으로, 가속도가 클 때, 큰 가속도는 플런저(15), 및, 그에 따라 건(72, 74)이 오버슈트되는 것을 방지하도록 합 "ux+ uv"이 감소되게 한다.

상기 설명으로부터 인지할 수 있는 바와 같이, 위치 편차(ex), 속도 편차(ev) 및 가속도는 각각 이득(kx, kv 및 ka)으로 승산되며, 이득(kx, kv 및 ka)은 적절한 값으로 독립적으로 조절된다. 결과적으로, 제어 인자 "u"는 흑색 및 백색 건(72, 74)이 기준 궤적상에서 정확히 이동하도록 하는 방식으로 최적화된다. 이는 자동 건반 악기를 통한 원본 연주의 충실한 재연을 초래한다.

또한, 본 예에서 가속도가 고려된다. 이 특징은 바람직하다. 가속도가 급속히 커지는 경우에도, 제어 인자 "u"는 완만히 증가하며, 흑색 및 백색 건(72, 74)은 오버슈트가 방지된다.

비록, 본 발명의 특정 실시예를 예시 및 설명하였지만, 본 기술의 숙련자는 본 발명의 개념 및 범주를 벗어나지 않고, 다양한 변경 및 변용이 이루어질 수 있다는 것을 명백히 알 것이다.

예로서, 다른 자동 연주 피아노가 업라이트 피아노에 기초하여 제조될 수 있다. 어쿠스틱 피아노는 본 발명의 기술적 범주에 어떠한 제한도 부여하지 않는다. 자동 연주기는 예로서, 하프시코드, 오르간, 현악기, 타악기 및 관악기 같은 다른 종류의 악기에 설치될 수 있다.

본 발명에 따른 자동 연주 피아노에 묵음 시스템(mute system)이 추가로 포함될 수 있으며, 묵음 시스템을 구비한 자동 연주 피아노는 뮤트 피아노라 지칭된다. 뮤트 피아노는 어쿠스틱 피아노, 자동 연주 시스템, 해머-정지부 및 전자 음조 생성 시스템의 조합체이다. 해머 정지부는 자유 위치와 차단 위치 사이에서 변한다. 해머 정지부가 자유 위치에 계류하는 동안, 현은 자유 회전의 종점에서 해머로 타격되고, 어쿠스틱 피아노 음조가 현의 진동을 통해 생성된다. 해머 정지부가 차단 위치로 변경될 때, 해머 정지부는 해머의 궤적에 진입한다. 비록, 해머가 자유 회전하도록 구동되지만, 해머는 자유 회전의 종점 이전에 해머 정지부상에서 반동되고, 어떠한 어쿠스틱 피아노 음조도 생성되지 않을 수 있다. 전자 음조 생성 시스템은 연주자에 의해 선택적으로 눌러진, 그리고, 방임된 건을 감시하며, 전자적으로 눌러진 건에 할당된 피치와 같은 피치로 음조를 생성한다.

컴퓨터 프로그램은 예로서, 플렉시블 디스크 같이 자동 연주 악기의 외측으로부터 또는 예로서 인터넷 같은 공중 통신망을 통한 공급자로부터 공급될 수 있다.

위치, 속도 및 가속도는 본 발명의 기술적 범주에 어떠한 제한도 부여하지 않는다. 압력 센서의 어레이가 그 위에 작용된 힘을 나타내는 검출 신호를 제어기에 공급하도록 흑색 및 백색 건(72, 74) 아래에 제공될 수 있다.

건 센서(27) 및 건 속도 센서(28)는 본 발명의 기술적 범주에 어떠한 제한도 부여하지 않는다. 플런저 센서가 플런저(15)를 감시할 수 있다. 본 예에서, 플런저 위치 또는 플런저 속도가 플런저 센서로부터 제어기에 보고된다.

박스(202)는 기준 궤적상의 목표 가속도를 추가로 산출할 수 있다. 본 예에서, 가산기가 박스(240)과 박스(242) 사이에 삽입되며, 실제 가속도(ya)와 목표 가속도 사이의 편차를 산출한다.

이득은 가변적일 수 있다. 본 예에서, 최적의 이득이 이득 제어기로부터 박스(204, 208)로 공급된다.

펄스 폭 변조기(30)는 본 발명의 범주에 어떠한 제한도 부여하지 않는다. 구동 신호는 적절한 저항 배열을 통해 전위 레벨이 변경될 수 있다.

솔레노이드-작동식 건 작동기(10)는 본 발명의 기술적 범주에 어떠한 제한도 부여하지 않는다. 공압식 작동기 또는 소형 모터가 자동 연주 시스템(3)에 사용될 수 있다.

센서(27 또는 28)는 예로서, 해머(2) 같은 다른 종류의 구성부를 감시할 수 있다. 유사하게, 솔레노이드-작동식 작동기(10)는 예로서, 작동 유닛(90) 같은 다른 종류의 구동부를 구동할 수 있다.

실시예의 구성부는 하기와 같은 청구항 언어와 상관된다. 현(4)은 총체적으로 "음조 생성 서브시스템"을 구성하고, 해머(2), 댐퍼(4), 흑색 및 백색 건(72, 74) 및 작동 유닛(90)은 조합으로 각 "운동 전과 경로"를 형성한다. 박스(202, 232)는 "목표 상태 지시기"로서 기능한다. 위치 트랜스듀서(27) 또는 속도 센서(28)는 복수의 "센서"로서 기능한다. 흑색 및 백색 건(72, 74)은 복수의 운동 전과 경로의 "소정의 구성부"에 대응한다.

현재 건 위치 또는 현재 건 속도는 "현재 물리량"에 대응한다. 압력은 변용에 관련하여 설명된 바와 같이 현재 물리량으로서 기능할 수 있다. 현재 물리량이 현재 건 위치인 경우에, 현재 건 속도는 "물리량의 변화율"로서 기능한다. 실제 건 위치 또는 실제 건 속도는 "실제 물리량"에 대응하며, 실제 건 속도 또는 실제 건 가속도는 "실제 물리량의 변화율"로서 기능한다.

박스(216, 218, 220, 222)는 총체적으로 "제1 데이터 프로세서"를 구성하고, 원(204,206)은 조합하여 "제2 데이터 프로세서"를 형성한다. 박스(204, 206)은 총체적으로 "승산기"를 구성하고, 원(210) 및 펄스폭 변조기(30)는 조합으로 "신호 변조기"를 형성한다. 이득(kx 및 kv)은 각각 "제1 이득" 및 "제2 이득"과 등가이다.

발명의 효과

본 발명은 위치 편차에 적용되는 이득 및 속도 편차에 적용되는 다른 이득을 소정의 수치 범위내에 드는 적절한 값으로 조절하여, 악기의 매니플레이터가 기준 궤적상에서 정확하게 이동하게 하는 자동 연주기 및 이를 구비한 악기를 제공한다.

(57) 청구의 범위

청구항 1.

음조를 생성하기 위한 자동 연주 악기이며,

어쿠스틱 악기(1)로서,

상기 음조를 생성하기 위한 음조 생성 서브-시스템(4), 및

상기 음조 생성 서브-시스템(4)을 향해 서로 직렬 접속된 복수의 구성부(72, 74, 90, 2)를 각각 가지며, 생성 대상 음조의 피치를 명시하기 위해 순차 이동되는 복수의 운동 전과 경로를 포함하는 어쿠스틱 악기(1), 및

자동 연주 시스템(3)으로서,

상기 복수의 운동 전과 경로에 각각 통합된 소정의 구성부(72, 74)의 운동을 상기 운동을 표현하는 현재 물리량을 나타내는 검출 신호로 각각 변환하는 복수의 센서(27; 28),

상기 소정의 구성부(72, 74) 중 연계된 하나를 위한 목표 물리량 및 상기 목표 물리량의 변화율을 각각 나타내는 목표 데이터의 단편을 생성하기 위한 목표 상태 지시기(202, 232),

각각 상기 복수의 운동 전과 경로와 연계되며, 상기 연계된 운동 전과 경로를 선택적으로 이동시키도록 선택적으로 구동 신호로 여기되는 복수의 작동기(10), 및

상기 복수의 센서(27, 28)와 상기 복수의 작동기(10) 사이에 연결되고, 상기 구동 신호를 최적화하는 복수의 피드백 제어 루프(64, 64C; 64D, 64E)를 포함하는 자동 연주 시스템(3)을 포함하고,

상기 복수의 피드백 루프(64, 64C, 64D, 64E) 각각은

상기 복수의 센서(27, 28) 중 하나에 연결되고, 상기 현재 물리량에 기초하여, 실제 물리량 및 상기 실제 물리량의 변화율을 결정하는 제1 데이터 프로세서(216, 218, 220, 222),

상기 목표 상태 지시기(202, 232)와 상기 제1 데이터 프로세서(216, 218; 220, 222)에 연결되고, 상기 목표 물리량과 상기 실제 물리량 사이의 제1 편차(ex) 및 상기 목표 물리량의 변화율과 상기 실제 물리량의 변화율 사이의 제2 편차(ev)를 결정하는 제2 데이터 프로세서(203, 206),

상기 제2 데이터 프로세서(203, 206)에 연결되고, 각각 제1 제어 신호(ux) 및 제2 제어 신호(uv)를 생성하도록 제1 이득(kx) 및 제2 이득(kv)으로 상기 제1 편차(ex) 및 상기 제2 편차(ev)를 각각 승산하는 승산기(204, 208), 및

상기 승산기(204, 208)와 상기 복수의 작동기(10) 사이에 연결되고, 상기 제1 제어 신호 및 상기 제2 제어 신호에 기초하여 상기 구동 신호를 최적화하는 신호 변조기(210, 30)를 구비하는 자동 연주 악기에 있어서,

상기 제1 이득(kx)은 0.5와 2.0 사이의 범위 이내에 들고,

상기 제2 이득(kv)은 0.5와 2.3 사이의 범위 이내에 들며,

상기 제1 이득(kx)에 대한 상기 제2 이득(kv)의 비율은 1 내지 3의 범위인 것을 특징으로 하는 자동 연주 악기.

청구항 2.

제1항에 있어서, 상기 제1 이득(kx)이 0.5, 0.8, 1.1, 1.4 및 1.7인 조건에서 상기 제2 이득(kv)은 각각 0.5 내지 1.1, 1.1 내지 2.3, 1.4 내지 2.3, 2.0 내지 2.3, 2.0 내지 2.3의 범위이고, 상기 제1 이득이 2.0 정도인 조건에서 상기 제2 이득은 2.0 정도인 자동 연주 악기.

청구항 3.

제1항에 있어서, 복수의 위치 트랜스듀서(27)가 상기 복수의 센서로서 기능하여 상기 소정의 구성부(72, 74) 중 하나의 현재 위치를 검출하고, 상기 목표 상태 지시기(202; 232)는 상기 실제 물리량 및 상기 실제 물리량의 상기 변화율로서 목표 위치 및 목표 속도를 결정하는 자동 연주 악기.

청구항 4.

제3항에 있어서, 상기 제1 데이터 프로세서(216, 218)는 상기 현재 위치를 정규화하고, 상기 목표 위치에 대한 미분을 통해 상기 목표 속도의 변화율을 결정하는 자동 연주 악기.

청구항 5.

제1항에 있어서, 복수의 속도 센서(28)가 상기 복수의 센서로서 기능하여, 상기 소정의 구성부(72, 74) 중 하나의 현재 속도를 결정하고, 상기 목표 상태 지시기(202)는 상기 목표 물리량 및 상기 목표 물리량의 상기 변화율로서 목표 위치 및 목표 속도를 결정하는 자동 연주 악기.

청구항 6.

제5항에 있어서, 상기 제1 데이터 프로세서(220, 222)는 상기 현재 속도를 정규화하여 상기 실제 물리량의 상기 변화율을 획득하고, 상기 실제 물리량의 상기 변화율로서 기능하는 실제 속도의 적분을 통해 상기 실제 물리량을 결정하는 자동 연주 악기.

청구항 7.

제1항에 있어서, 상기 신호 변조기는

상기 제1 제어 신호(ux)의 값을 상기 제2 제어 신호(uv)의 값에 가산하는 가산기(210), 및

상기 가산기(210)의 출력 노드에 연결되고, 상기 값의 합에 기초하여 상기 구동 신호의 듀티비를 결정하는 펄스 폭 변조기(30)를 구비하는 자동 연주 악기.

청구항 8.

제1항에 있어서, 상기 변조기(210, 30)가 상기 구동 신호의 최적화시 바이어스 신호를 고려하도록 상기 복수의 작동기(10)의 저항을 나타내는 바이어스 신호(ru)가 상기 변조기(210, 30)에 공급되는 자동 연주 악기.

청구항 9.

제1항에 있어서, 피아노가 상기 어쿠스틱 악기로서 기능하는 자동 연주 악기.

청구항 10.

제9항에 있어서, 상기 제1 이득(kx)이 0.5, 0.8, 1.1, 1.4 및 1.7인 조건에서 상기 제2 이득(kv)은 각각 0.5 내지 1.1, 1.1 내지 2.3, 1.4 내지 2.3, 2.0 내지 2.3, 2.0 내지 2.3의 범위이고, 상기 제1 이득이 2.0 정도인 조건에서 상기 제2 이득은 2.0 정도인 자동 연주 악기.

청구항 11.

제9항에 있어서, 현(4)이 상기 음조 생성 서브-시스템으로서 기능하고, 건(72, 74), 작동 유닛(90) 및 해머(2)가 조합하여 상기 복수의 운동 전파 경로 각각을 형성하는 자동 연주 악기.

청구항 12.

제11항에 있어서, 상기 건(72, 74)은 상기 복수의 센서(27, 28) 중 하나와 상기 복수의 작동기(10) 중 하나가 상기 건과 연계되어 제공되도록 상기 소정의 구성부 중 하나로서 기능하는 자동 연주 악기.

청구항 13.

악기와 연계된 자동 연주기(3)이며,

상기 악기에 통합된 복수의 운동 전파 경로(72, 74, 90, 2)의 소정의 구성부(72, 74)의 운동을 상기 운동을 표현하는 현재 물리량을 나타내는 검출 신호로 각각 변환하는 복수의 센서(27, 28),

상기 소정의 구성부(72, 74) 중 하나를 위한 목표 물리량 및 상기 목표 물리량의 변화율을 각각 나타내는 목표 데이터의 단편을 생성하기 위한 목표 상태 지시기(202; 232),

각각 상기 복수의 운동 전파 경로(72, 74, 90, 2)와 연계되며, 음조를 생성하기 위해, 연계된 운동 전파 경로를 선택적으로 이동시키도록 선택적으로 구동 신호로 여기되는 복수의 작동기(10), 및

상기 복수의 센서(27, 28)와 상기 복수의 작동기(10) 사이에 연결되고, 상기 구동 신호를 최적화하는 복수의 피드백 제어 루프(64, 64C, 64D, 64E)를 포함하고,

상기 복수의 피드백 루프(64, 64C, 64D, 64E) 각각은

상기 복수의 센서(27, 28)에 연결되고, 상기 현재 물리량에 기초하여, 실제 물리량 및 상기 실제 물리량의 변화율을 결정하는 제1 데이터 프로세서(216, 218; 220, 222),

상기 목표 상태 지시기(202; 232)와 상기 제1 데이터 프로세서(216, 218; 220, 222)에 연결되고, 상기 목표 물리량과 상기 실제 물리량 사이의 제1 편차(ex) 및 상기 목표 물리량의 변화율과 상기 실제 물리량의 변화율 사이의 제2 편차(ev)를 결정하는 제2 데이터 프로세서(203, 206),

상기 제2 데이터 프로세서(203, 206)에 연결되고, 각각 제1 제어 신호(ux) 및 제2 제어 신호(uv)를 생성하도록 제1 이득(kx) 및 제2 이득(kv)으로 상기 제1 편차(ex) 및 상기 제2 편차(ev)를 각각 증산하는 증산기(204, 208), 및

상기 증산기(204, 208)와 상기 복수의 작동기(10) 사이에 연결되고, 상기 제1 제어 신호(ux) 및 상기 제2 제어 신호(uv)에 기초하여 상기 구동 신호를 최적화하는 신호 변조기(210, 30)를 구비하는 자동 연주기에 있어서,

상기 제1 이득(kx)은 0.5와 2.0 사이의 범위 이내에 들고,

상기 제2 이득(kv)은 0.5와 2.3 사이의 범위 이내에 들며,

상기 제1 이득에 대한 상기 제2 이득의 비율은 1 내지 3의 범위인 것을 특징으로 하는 자동 연주기.

청구항 14.

제13항에 있어서, 상기 제1 이득(kx)이 0.5, 0.8, 1.1, 1.4 및 1.7인 조건에서 상기 제2 이득(kv)은 각각 0.5 내지 1.1, 1.1 내지 2.3, 1.4 내지 2.3, 2.0 내지 2.3, 2.0 내지 2.3의 범위이고, 상기 제1 이득이 2.0 정도인 조건에서 상기 제2 이득은 2.0 정도인 자동 연주기.

청구항 15.

제13항에 있어서, 복수의 위치 트랜스듀서(27)가 상기 복수의 센서로서 기능하여 상기 소정의 구성부(72, 74) 중 하나의 현재 위치를 검출하고, 상기 목표 상태 지시기(202; 232)는 상기 실제 물리량 및 상기 실제 물리량의 상기 변화율로서 목표 위치 및 목표 속도를 결정하는 자동 연주기.

청구항 16.

제15항에 있어서, 상기 제1 데이터 프로세서(216, 218)는 상기 현재 위치를 정규화하고, 상기 목표 위치에 대한 미분을 통해 상기 실제 물리량의 상기 변화율로서 기능하는 실제 속도를 결정하는 자동 연주기.

청구항 17.

제13항에 있어서, 복수의 속도 센서(28)가 상기 복수의 센서로서 기능하여, 상기 소정의 구성부(72, 74) 중 하나의 현재 속도를 결정하고, 상기 목표 상태 지시기(202)는 상기 목표 물리량 및 상기 목표 물리량의 상기 변화율로서 목표 위치 및 목표 속도를 결정하는 자동 연주기.

청구항 18.

제17항에 있어서, 상기 제1 데이터 프로세서(220, 222)는 상기 현재 속도를 정규화하여 상기 실제 물리량의 상기 변화율을 획득하고, 상기 실제 물리량의 상기 변화율로서 기능하는 실제 속도의 적분을 통해 상기 실제 물리량을 결정하는 자동 연주기.

청구항 19.

제13항에 있어서, 상기 신호 변조기는

상기 제1 제어 신호(ux)의 값을 상기 제2 제어 신호(uv)의 값에 가산하는 가산기(210), 및

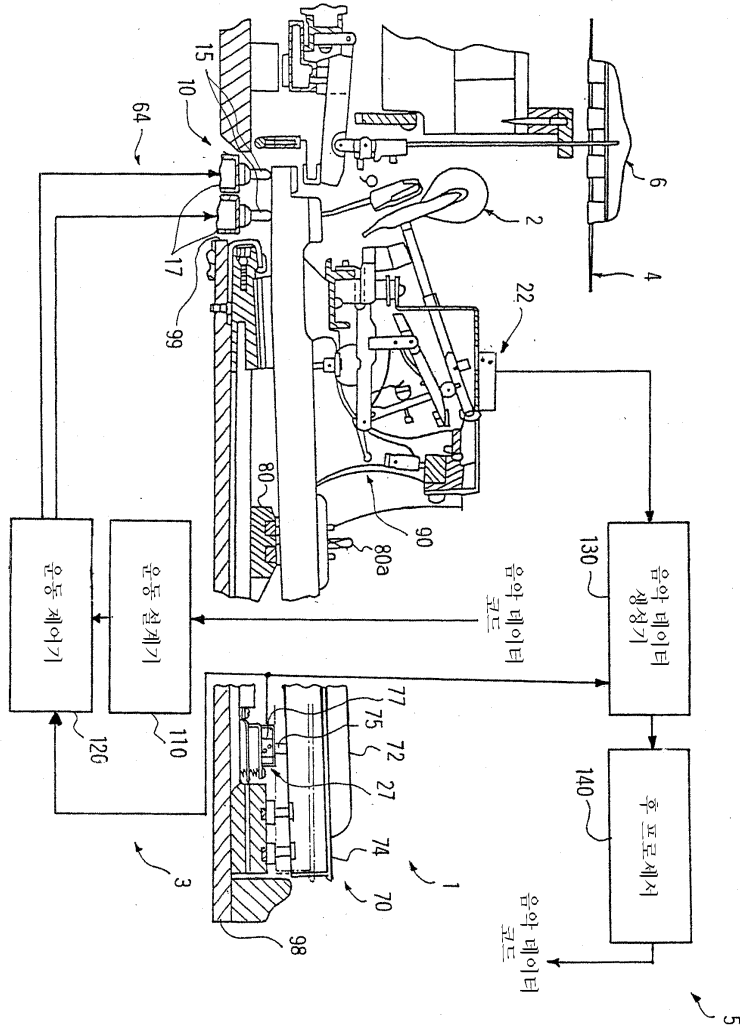
상기 가산기(210)의 출력 노드에 연결되고, 상기 값의 합에 기초하여 상기 구동 신호의 듀티비를 결정하는 펄스 폭 변조기(30)를 구비하는 자동 연주기.

청구항 20.

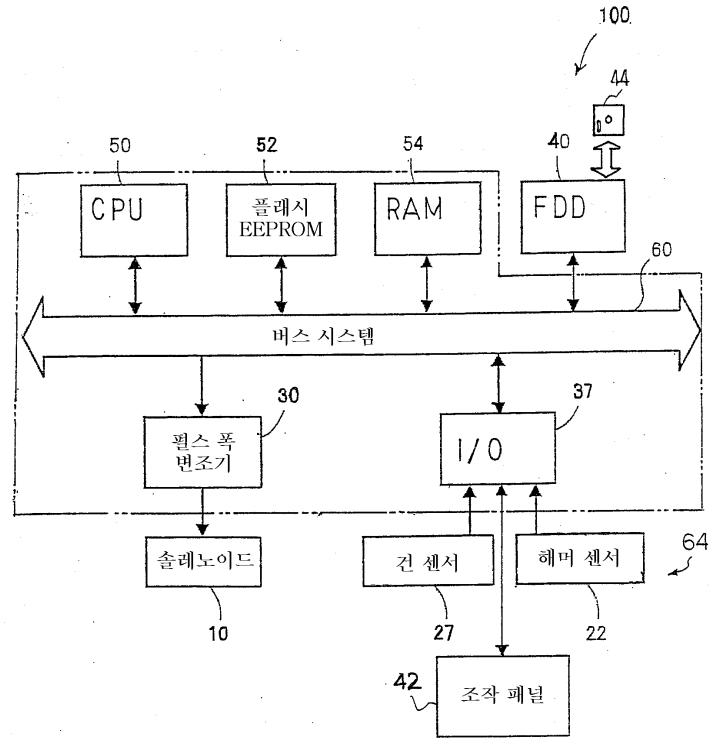
제13항에 있어서, 상기 변조기(210, 30)가 상기 구동 신호의 최적화시 바이어스 신호를 고려하도록 상기 복수의 작동기(10)의 저항을 나타내는 바이어스 신호(ru)가 상기 변조기(210, 30)에 공급되는 자동 연주기.

도면

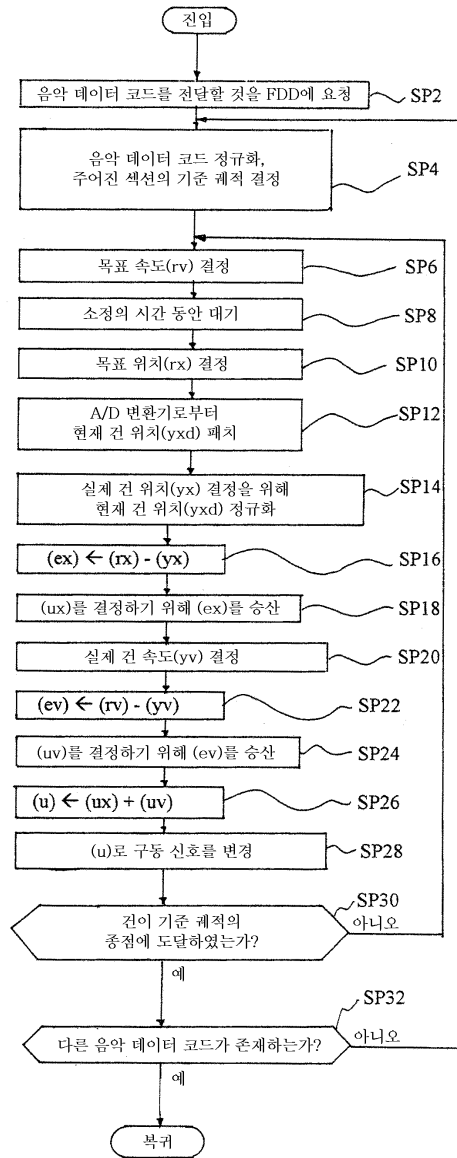
도면1



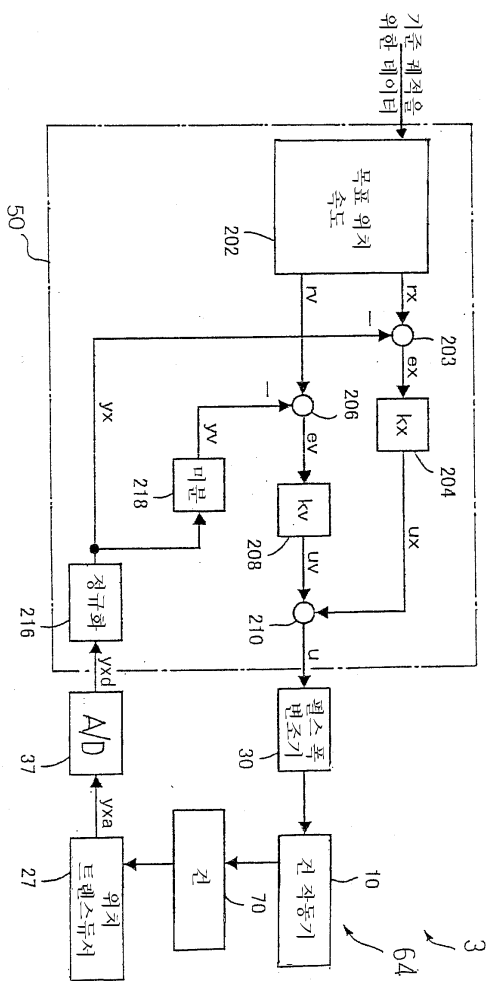
도면2



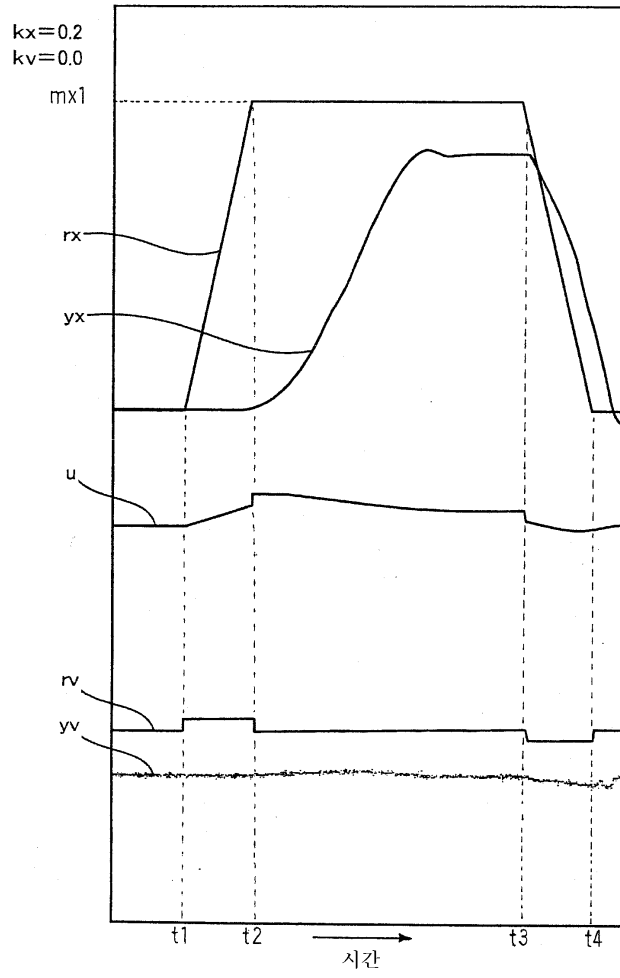
도면3



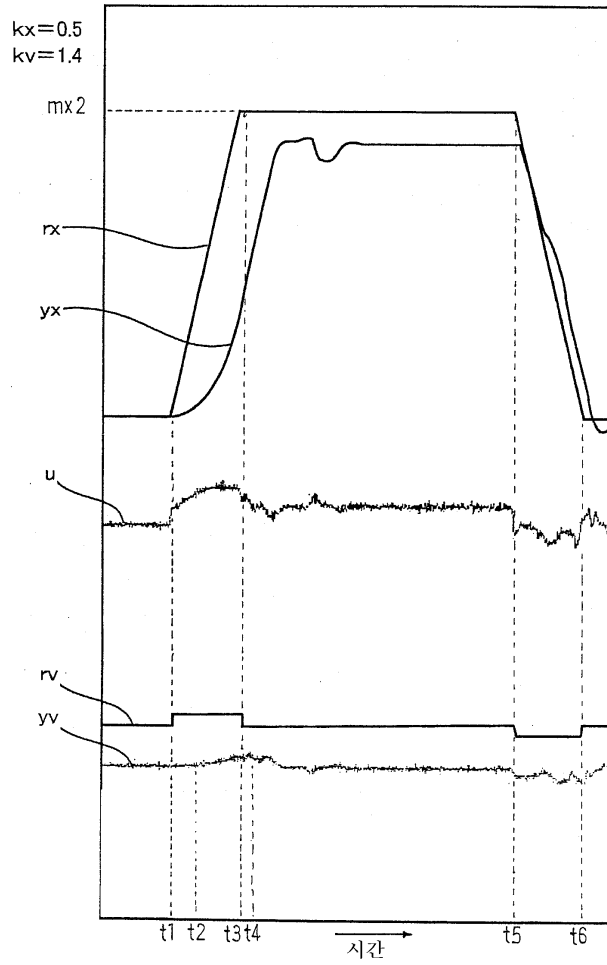
도면4



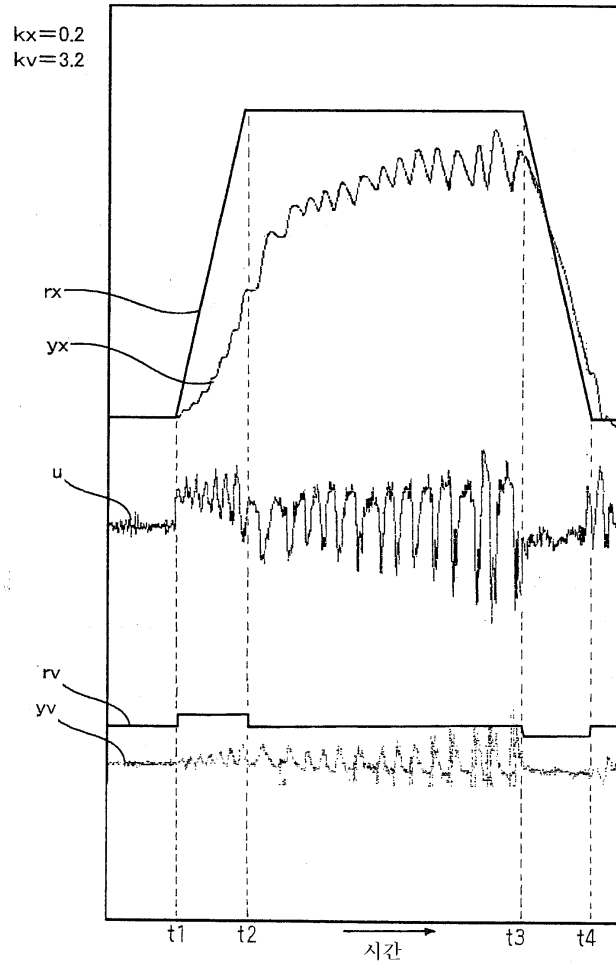
도면5



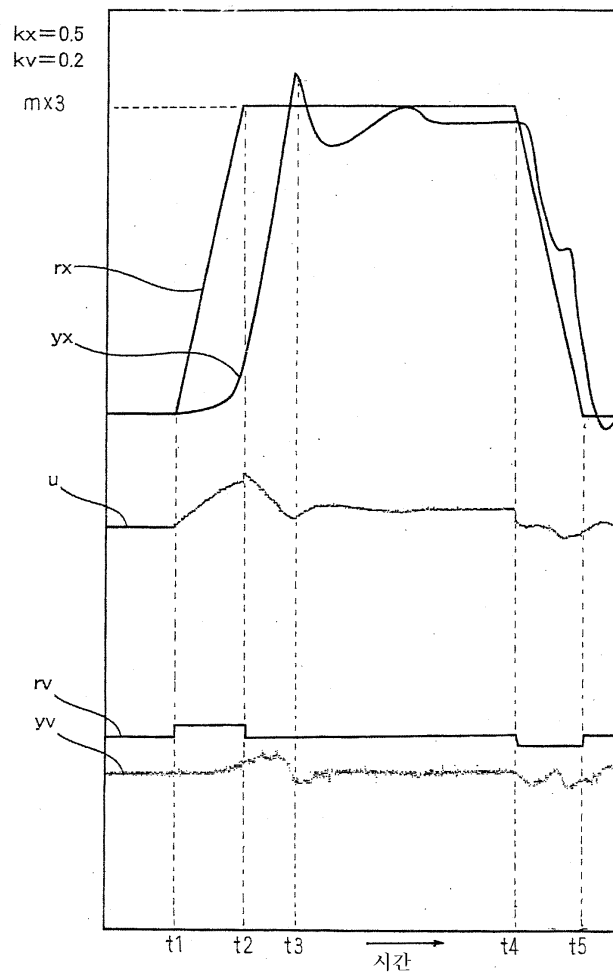
도면6



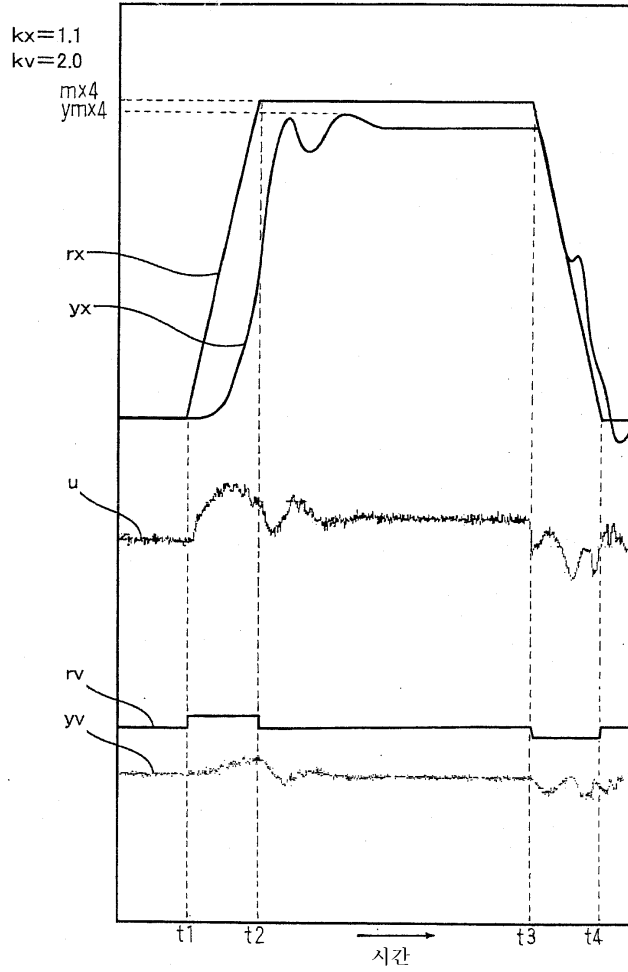
도면7



도면8



도면9

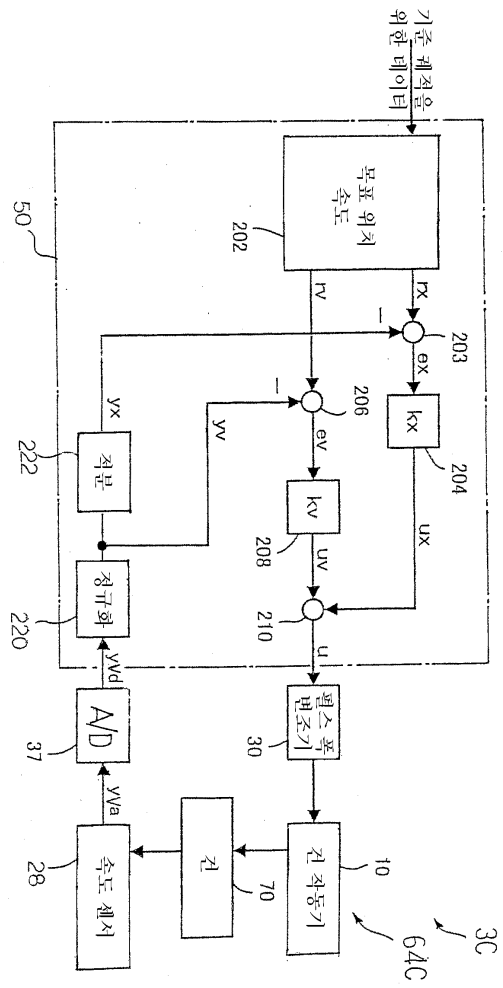


도면10

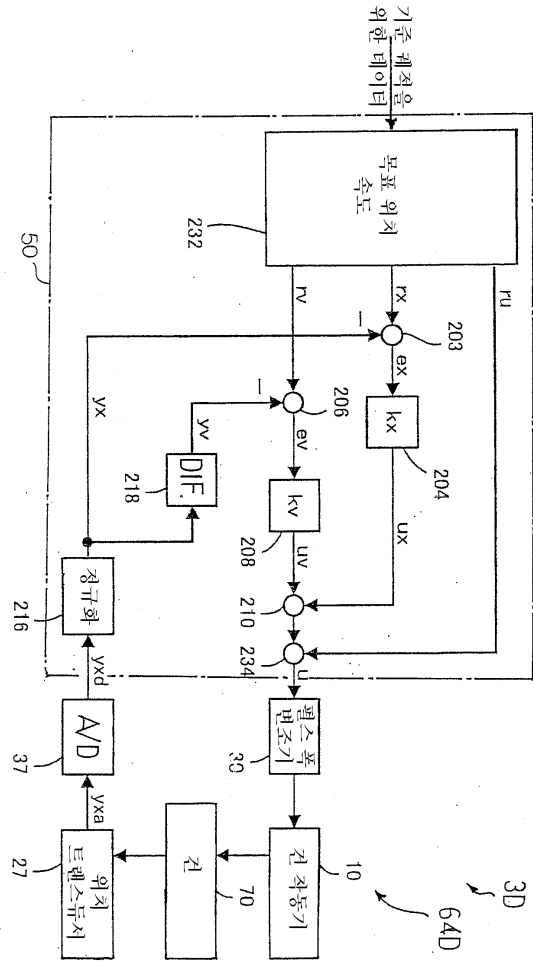
kx \ kv	0.0	0.2	0.5	0.8	1.1	1.4	1.7	2.0	2.3	2.6	2.9	3.2	3.5
0.0	*										*	#	#
0.2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	#
0.5	+	+	ok	ok	ok	-	*	*	*	#	#	#	
0.8	+	+	+	+	ok	ok	ok	ok	ok	-			
1.1				+	+	ok	ok	ok	ok	#			
1.4					+	+	+	ok	ok	#			
1.7						+	+	ok	ok	#			
2.0							+	ok	#				
2.3							+	+	#				

표시 "*"는 어떠한 음조도 생성되지 않는 것을 의미함.
 표시 "+"는 음조가 원본 음조 보다 음량이 큰 것을 의미함.
 표시 "ok"는 음조가 음량이 거의 원본 음조 만큼 큰 것을 의미함.
 표시 "-"는 음조가 음량이 원본 음조 보다 작은 것을 의미함.
 표시 "#"은 예로서, 발진으로 인해 건 운동이 불안정함을 의미함.

도면11



도면12



도면13

