



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2021년01월21일
(11) 등록번호 10-2205143
(24) 등록일자 2021년01월14일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G06Q 50/06 (2012.01) G06Q 10/06 (2012.01)
H02J 13/00 (2006.01) H02J 3/00 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
G06Q 50/06 (2013.01)
G06Q 10/06 (2020.05)
- (21) 출원번호 10-2018-7018117(분할)
- (22) 출원일자(국제) 2018년01월11일
심사청구일자 2019년01월11일
- (85) 번역문제출일자 2018년06월26일
- (65) 공개번호 10-2018-0075710
- (43) 공개일자 2018년07월04일
- (62) 원출원 특허 10-2017-7022356
원출원일자(국제) 2016년01월11일
심사청구일자 2017년08월10일
- (86) 국제출원번호 PCT/US2016/012787
- (87) 국제공개번호 WO 2016/115002
국제공개일자 2016년07월21일
- (30) 우선권주장
62/104,196 2015년01월16일 미국(US)
- (56) 선행기술조사문헌
JP2012141862 A*
JP2006202226 A*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

- (73) 특허권자
쓰리엠 이노베이티브 프로퍼티즈 컴파니
미국 55133-3427 미네소타주 세인트 폴 피.오.박스 33427 쓰리엠 센터
- (72) 발명자
브룩스 브라이언 이
미국 55133-3427 미네소타주 세인트 폴 포스트 오피스 박스 33427 쓰리엠 센터
베노이트 질 제이
미국 55133-3427 미네소타주 세인트 폴 포스트 오피스 박스 33427 쓰리엠 센터
루 양
싱가폴 768923 싱가포르 이순 애버뉴 7 1
- (74) 대리인
양영준, 조윤성, 김영

전체 청구항 수 : 총 3 항

심사관 : 배혜정

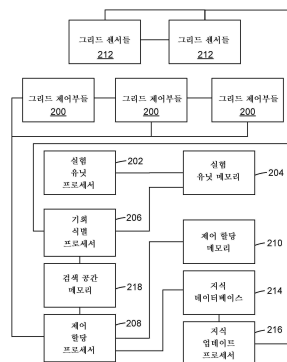
(54) 발명의 명칭 **그리드 결과를 개선하기 위해 그리드 액션을 선택하기 위한 시스템 및 방법**

(57) 요약

하나 이상의 유효성 매트릭들을 개선하는 액션들을 선택하면서 동시에 불확실성을 감소시키기 위해 유틸리티 그리드 상에 취할 액션들을 자동으로 선택하기 위한 시스템들 및 방법들이 개시된다. 그리드 액션 효과들은 신뢰 구간들로서 표현되는데, 신뢰 구간들의 중첩은 그리드 액션들의 제약된 검색 공간 내에서 액션들을 선택할 때 가

(뒷면에 계속)

대표도 - 도2



중치로서 사용된다. 그리드 액션들에 대한 유틸리티 그리드의 응답이 측정되고 그리드 액션의 시간적 및 공간적 도달에 의해 과징되어, 이어서 그 특정 선택된 그리드 액션에 대한 신뢰 구간들을 업데이트하는 데 사용될 수 있다.

(52) CPC특허분류

H02J 13/00001 (2020.01)

H02J 3/001 (2020.01)

H02J 2203/20 (2020.01)

명세서

청구범위

청구항 1

컴퓨터-구현 방법으로서,

복수의 가능한 그리드 제어 액션(grid control action)들을 포함하는 유틸리티 그리드(utility grid)에 대한 제어를 변경할 기회를 수신하는 단계;

각각의 가능한 그리드 제어 액션의 효과들 주위의 신뢰 구간들을 포함하는 가능한 그리드 제어 액션들에 대한 유효성 데이터를 수신하는 단계;

프로세서를 이용하여, 각각의 그리드 파라미터에 기초한 목표를 실현할 수 있도록, 신뢰구간이 서로 중첩되는 복수의 가능한 그리드 제어 액션에서 상기 목표를 실현할 전망에 기초하여 그리드 제어 액션을 선택하는 단계;

선택된 그리드 제어 액션을 유틸리티 그리드 상에 구현하는 단계; 및

유틸리티 그리드에 대한 제어들의 현재 상태들 및 가능한 그리드 제어 액션들을 표현하는 다차원 공간을 참조함으로써 유틸리티 그리드에 대한 제어를 변경할 기회를 결정하는 단계를 포함하고,

그리드 제어 액션의 선택은 무작위화되고, 무작위화는 효과들 주위의 신뢰 구간들에서의 중첩에 기초하여 가중되는 컴퓨터-구현 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

유틸리티 그리드 파라미터들에 대한 데이터를 수집하는 단계; 및

수집된 데이터를, 그리드 제어 액션의 공간적 도달 및 그리드 제어 액션의 시간적 도달에 적어도 부분적으로 기초하여 파싱(parsing)하는 단계를 추가로 포함하는 컴퓨터-구현 방법.

청구항 3

제2항에 있어서, 그리드 제어 액션의 시간적 도달 및 그리드 제어 액션의 공간적 도달 양쪽 모두 내에 있는 데이터를, 유효성 데이터를 저장하도록 구성된 데이터베이스에 추가하는 단계를 추가로 포함하는 컴퓨터-구현 방법.

발명의 설명

기술 분야

배경 기술

[0001]

전기, 물, 및 가스 분배 네트워크들을 포함한 유틸리티 그리드(utility grid)들에 대한 스마트 그리드 노력들의 궁극적인 목표는, 효율 개선, 재생가능한 자원들을 세대로 통합, 결함들을 국소화 및 특성화, 결함들 주위의 유틸리티들의 경로를 정하여 위험과 손실을 줄임, 제한된 정비 인력과 리소스들을 잠재적 그리드 병리학에 효과적으로 디스패칭, 및 다른 그러한 목표들과 같은 목표들을 촉진하기 위해 그리드 조건들의 연속, 실시간, 자동 최적화를 가능하게 하는 것이다. 그러나, 이러한 노력들은 현재 데이터 집합 및 분석 방식들을 통해 가능한 그리드 지능(grid intelligence)에 의해 제약되었다. 이러한 방식들은, 다수의 그리드 목표들을 추구하는 자동 실시간 최적화를 완전히 달성하기에 불충분할 수 있는 지식의 레벨인, 상관관계들에 기초하는 그리드 지능을 생성하는 데 시간이 걸리고, 특정 그리드 액션들 또는 이벤트들과 그러한 액션들 또는 이벤트들의 임의의 시간적으로 그리고/또는 공간적으로 먼 효과들 사이의 관계들을 식별하려고 고심할 수 있다.

[0002]

그리드 지능에 대한 현재의 빅 데이터 모델링 접근법들은 또한, 그리드에 대한 제어의 현재의 기존 포인트들을

고려하여 쉽게 작용할 수 없고 상관관계들에만 기초한다는 결론들을 얻는데, 상관관계들은, 정밀하게 산출이 불가능하며 관찰된 관계들을 이끌어내는 잠재적 제3 변수들로부터 야기되는 불확실성, 및 그러한 관계들의 지향성에 관한 불확실성을 포함한다. 이러한 불확실성은 종종, 관찰된 관계들을 추가로 해석하여 액션의 계획들을 개발하기 위해 전문가 참여를 요구하여, 실시간 최적화를 방해한다. 그리드 동작들의 제어와는 별개인 데이터를 캡처하고 처리함으로써, 현재의 접근법들은 그리드 제어부들과 최적의 그리드 조건들 사이의 링크들에 대한 추상적인 이해만을 달성할 수 있다. 능동 기계 학습 기법들은 완벽한 실험 제어들이 결여되어 있어, 제3 변수 및 지향성 문제들에서 생기는 불확실성에 대한 민감함이 남아 있다.

[0003] 실시간 다목적 최적화는 유틸리티 그리드 동작들에서의 고유한 트레이드오프(trade-off)들이 적절히 이루어질 수 있게 하기 위해, 제어 결정들의 특정 효과들에 관한 현재의 인과관계 지식을 요구한다. 그리드에 영향을 주는 잠재적 독립 변수들 및 제어들의 효과들에 관한 제어 중심의 인과관계 지식을 생성하고, 그리드 결함들을 검출하고 완화시키면서 바람직한 그리드 조건들을 이끌어내고 안전 및 효율을 촉진하는 데에 그 지식을 자동으로, 연속적으로 그리고 실시간으로 적용하는 능력이 필요하다.

발명의 내용

[0004] 본 발명의 실시 형태들은, 검색 공간을 수신하고, 시간적 및 공간적 불확실성에 기초하여 실험 유닛들을 계산하고, 능동 제어를 위한 기회들을 식별하고, 그러한 기회들에 대한 제어 상태들을 적어도 부분적으로 무작위화된 방식으로 선택하고, 실험 유닛들 동안 그러한 제어 결정들의 영향에 대해 수집된 데이터를 수집하고, 수집된 데이터를 사용하여 유틸리티 그리드에 미치는 제어 결정들의 전체 영향의 지식 데이터베이스를 업데이트함으로써, 하나 이상의 그리드 유효성 메트릭(metric)들을 개선하기 위해, 그리드 조건들에 대한 그리드 동작 결정들의 효과들의 인과관계 지식을 생성하고 활용하는 것에 관한 것이다.

도면의 간단한 설명

[0005] 도 1은 그리드 액션들의 유효성을 결정하고 효과적인 그리드 액션들을 선택하기 위한 방법의 흐름도이다.
 도 2는 그리드 액션들의 유효성을 결정하고 효과적인 그리드 액션들을 자동으로 선택하기 위한 예시적인 시스템의 계통도이다.
 도 3은 본 발명의 예시적인 시스템 실시 형태의 구성요소들 간의 정보의 흐름을 나타내는 데이터 흐름도이다.
 도 4는 인간 참여를 요구하는 그리드 액션들의 유효성을 결정하고 효과적인 인간 참여형(human-in-the-loop) 그리드 액션들을 선택하기 위한 방법의 흐름도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0006] 유틸리티 그리드 동작들은 다수의 개별 제어 및 큐잉(queueing) 결정들을 수반하는데, 이들은 종종 비교적 넓은 동작 범위들에 걸쳐 변한다. 그러한 개별 제어 결정들에 제어 및 조정을 추가하면, 유틸리티 그리드의 현재 동작 엔벨로프(operational envelope) 내에서의 실험을 가능하게 하는데, 이는 제어 결정들에 대한 그리드 응답들의 인과관계 지식의 구축을 가능하게 한다. 이것은, 제어들이 그리드 사건들에 자동으로 응답하고, 센서 및 구성요소 추가와 교체를 포함한 미래의 그리드 자본 계획을 지원하는 데이터를 개발할 수 있게 하고, 실험 및 최적화 시스템이 그리드 동작들을 감시하는 것을 통해 제공하는 개선들을 감사하고 검증한다. 실험은 유틸리티 그리드 관리에 대한 현재의 기계 학습 기반 접근법들에 존재하는 탐색과 활용 간의 트레이드오프에 대처하기 위한 적응적 실험 프로토콜들을 포함할 수 있다.

[0007] 도 1은 본 발명의 방법 예의 흐름도이다. 검색 공간을 수신하고(100), 시간적 및 공간적 불확실성을 사용하여 실험 유닛들을 계산하고(102), 능동 제어를 위한 기회들을 식별하고(104), 그러한 기회들에 대한 제어 상태들을 무작위화된 방식으로 선택하고(106), 적어도 실험 유닛 동안 그러한 제어 결정들의 영향에 대한 데이터를 수집하고(108), 단계(110)에서 실험 유닛으로부터의 수집된 데이터를 사용하여 유틸리티 그리드에 미치는 제어 결정들의 전체 영향의 지식 데이터베이스를 업데이트한다.

[0008] 단계(100)에서 검색 공간이 수신된다. 검색 공간은 시스템에 의한 능동 제어를 위해 이용가능한 그리드 제어부들인데, 이는 능동 제어가 그의 통상 동작 엔벨로프 밖에서 그리드를 취하지 않음을 보장하거나, 또는 그리드 제어 상태들의 능동 조작에 의해 위험한 조건들 또는 조건들의 조합들이 생성되지 않음을 보장하도록 제약될 수 있다. 바람직하게는, 검색 공간은 각각의 이용가능한 제어부가 하나의 차원인 다차원 공간인데, 이때 다수의 이산 포인트들이 그 제어부의 가능한 상태들을 표현한다. 검색 공간은, 예를 들어 이용가능한 그리드 제어부들

및 그들의 상태들을 인덱싱하고, 임의의 연속 제어 상태들을 유한 세트의 이산 포인트들로 감소시키고, 이어서 이력 그리드 동작 데이터에 적용되는 기계 학습과 같은 분석 기법들을 이용하여, 사용되는 이력 동작 데이터에 서의 그리드의 통상 동작들 동안 발생하는 그리드 제어 상태들 및 그들의 조합들만을 나타내는 검색 공간을 생성함으로써 결정될 수 있다. 검색 공간은 가능한 그리드 제어 상태들 및 그들의 조합들을 표현하는데, 이들은 그리드의 동작들을 조정하여 실험들을 행하고/하거나, 지식을 개발하고/하거나, 그리드 조건들 및 동작들에서 개선들을 추구하기 위해 이러한 예시적인 방법에 따라 선택 및 구현될 수 있다. 그리드 제어 상태들의 조합들은 한 번에 단일 제어들의 조작을 통해 가능한 것보다 그리드 파라미터들의 더 강력하거나 정밀한 제어를 제공할 수 있다.

[0009] 그리드 제어부들은 또한 가능한 제어 상태들에 대하여 그들과 연관된 하위 특성들을 가질 수 있다. 이러한 연관들은 하위 특성들을 메타데이터로서 저장하거나, 또는 이들을 특정 제어들에 대한 차원들로서 추가함으로써 이루어질 수 있다. 이들 하위 특성은 특정 제어를 변경시키는 빈도를 포함할 수 있는데; 이들은, 예를 들어 여러 식별된 기회들에서 동일한 제어를 사용하지만, 그 제어의 효과들을 시험하는 데에 할당되는 상이한 기회들에서 제어가 활성화되는 빈도를 변경하여, 시스템 내의 실험들에 대한 독립 변수들로서 처리될 수 있다. 이러한 예에서, 제어는 선택되지만, 변경할 식별된 기회들에 적용하도록 선택되는 변경들은 제어의 레벨들 자체가 상이하지는 않지만 연관된 하위 특성의 레벨들이 다르다. 연속되는 하위 특성들은, 유클리드 공간(Euclidian space) 내의 특정 포인트들에 대한 특정 범위들의 연속 변수들을 비닝(binning)하고/하거나, 전력 분석으로부터 강력하게 시험될 수 있는 레벨들의 개수를 결정하고 그 개수의 레벨들을 사용하여 연속 범위 내에서 시험될 이산 포인트들을 생성하는 것을 통해, 이산 레벨들에 할당될 수 있다. 요인적 실험 설계를 사용하여 그 제어에 대해 식별되는 실험할 기회들에 제어 상태 및 하위 특성 상태의 할당의 상대 빈도들을 할당하는 것을 통해, 제어 상태 및 하위 특성 상태 양쪽 모두를 선택함으로써, 하위 특성들이 또한 제어들의 상태를 자체와 함께 실험 설계들 내에 포함될 수 있다.

[0010] 일부 실시 형태들에서, 그리드 제어부들은, 그리드의 요소들에 직접 작용하는 자동 그리드 제어부들에 대하여 또는 그 대신에 정비, 조사, 및 수리 작업들과 같은 인간 참여형 그리드 액션들의 스케줄링 및/또는 우선순위화를 포함할 수 있다. 이러한 경우들에, 이러한 제어들은, 인간 참여형 그리드 액션들에 지시하고 이메일들, 텍스트 메시지들, 또는 유사한 통신물들과 같은 자동 메시지들을 통해 디스패처들 또는 그리드 정비 인력으로 통신되는 큐 순서(queue order)들 또는 명령어들, 및 리소스들의 할당 및 작업들의 자동 스케줄링을 통해 시스템에 적용된다. 그 제어는 검색 공간 내에서 다른 그리드 제어부들에서와 마찬가지로 차원으로서 표현될 수 있는데, 이때 포인트들은 큐들을 구축할 때 사용될 수 있는 상이한 우선순위화 값들, 또는 인간 참여형 그리드 액션들이 수행될 기간들에 대응하고, 일부 경우에 포인트는 리소스들이 인간 참여형 액션을 수행하도록 지시되지 않는 "무 동작(do nothing)" 옵션을 표현한다.

[0011] 단계(102)에서 시간적 및 공간적 불확실성 데이터를 사용하여 실험 유닛들을 구성한다. 시간적 및 공간적 불확실성들은 그리드 제어부들의 변화 근처의 시간적 및 공간적 영역들인데, 이들에 걸쳐 그 변화의 효과들이 관찰 가능하게 발생할 수 있다. 전기 그리드(electrical grid) 상의 시간적 불확실성 기간의 일례는, 전력 라인들에서의 전류 증가들을 이끌어내어 온도를 변경하고, 이에 따라 전류의 그러한 증가를 경험한 전력 라인들의 레벨들을 약하게 하는(sag) 그리드 제어부들의 지연(lagging) 영향들에 걸리는 기간이다. 전력 그리드(power grid) 상의 공간적 불확실성 영역의 일례는, 라인들에서의 전류 흐름을 증가시키는 제어, 및 라인들이 그들의 온도의 변화들을 나타내고 이에 따라 그리드를 통한 그 증가된 전류의 흐름 및 제어에 대한 근접성에 기초하여 거동을 약하게 하는 영역이다. 이러한 불확실성 값들은 그리드에 대해 일반적일 수 있거나, 또는 상이한 제어들과 연관된 불확실성들에서의 차이들과 더 정밀하게 정렬하기 위한 소정 제어들의 조작에 대해 특정적일 수 있는데, 상이한 제어들은 그러한 제어들의 가능한 또는 가능성 있는 지연 또는 광역 효과들의 상당한 차이들을 가질 수 있다. 불확실성들은 그리드 제어부들과 상관된 응답들 사이의 연결들을 식별하기 위해 기계 학습 기법들을 이용하여 과거 데이터를 마이닝(mining)하고, 응답들이 관찰되는 기간들 및 영역들을 식별하는 것을 통해 결정될 수 있거나, 또는 구성요소 모델들을 사용한 그리드 응답의 모델링을 통해 결정될 수 있거나, 또는 특정 그리드 액션들을 이끌어내고, 가능한 한 작은 공간의 영역들 및 기간들을 식별하기 위해 측정된 그리드 응답들을 관찰하면서 그리드 제어부에 대한 충분한 양의 그리드 응답을 캡처함으로써 실험을 통해 자체적으로 결정될 수 있다. 공간적 및/또는 시간적 불확실성 기간 내에 캡처된 응답의 양은 그 시간 및/또는 공간이 그 응답을 포함하는 신뢰 구간으로서 표현될 수 있는데; 예를 들어, 불확실성 결정에 대한 기계 학습 접근법들은 지연/광역 효과들이 그 시간/공간 내에서 발생할 95% 또는 99% 신뢰도가 있는 공간의 영역 또는 시간의 양을 식별할 수 있다. 이러한 불확실성 데이터로부터, 실험 유닛들은, 제어들이 변할 때, 그리드 제어부들의 선택된 변경과 연관된 데이터의 수집을 방해하는 지연 및/또는 광역 효과들을 생성하는, 인접한 시간들 및 공간들에서 수행중인

제어들의 다른 변경들에 의해 그 데이터가 혼동되지 않고서 그 데이터가 수집될 수 있음을 보장하도록 구성될 수 있다. 실험 유닛은 그리드 제어부를 둘러싼 공간의 영역 및 기간을 한정하여서, 그 그리드 제어부가 그리드 파라미터들 및 조건들에 대한 그리드 제어부의 효과들의 시도의 일부로서 변동될 때, 다른 시도들의 실험 유닛들이 그 실험 유닛과 중첩되는 경우 다른 시도들이 발생하여 그 시도 동안 수집된 데이터를 잠재적으로 혼동시키는 것이 방지되게 할 수 있다. 실험 유닛들은 그리드 자체의 전체 공간적 범주보다 더 작게 커버할 수 있다. 실험 유닛들의 시간 성분은 또한, 효과들이 데이터 수집 기간 내에 캡처되는 것을 보장하고 이에 따라 다른 시도가 수행될 수 있기 전에 잠재적 이월 효과(carryover effect)들을 일소하도록(clear out) 함으로써, 하나의 시도가 후속 시도들을 혼동시키지 않는 것을 보장한다.

[0012] 제어들의 조합론들을 수반한 시도들은, 예를 들어 조합론 시도에서 제어들 중 임의의 것과 연관된 최대 영역 및 최장 기간을 취함으로써 결정되는 그들의 실험 유닛들을 가질 수 있거나, 또는 실험 유닛들은 검색 공간 내의 각각의 포인트에 대해 개별적으로 산출될 수 있는데, 여기서 검색 공간 내의 포인트들은 그리드 제어 상태들의 특정 조합들을 나타낸다. 불확실성 값들 및 실험 유닛들은 유사하게 산출될 수 있는데, 이때 기계 학습은 단지 하나의 제어 대신에 제어들의 특정 조합과 연관된 결과들을 발견하기 위해 이력 데이터에 적용되고, 효과들이 관찰될 수 있는 시간 및 영역을 결정하거나, 또는 그리드 모델에 대한 제어들의 복합 효과를 모델링하거나, 또는 연관된 데이터가 수집되는 시간 및/또는 공간을 변경하면서 제어들의 조합이 구현되는 실험을 행하고, 이러한 정보를 사용하여 그리드에 대한 제어들의 선택된 조합의 효과들에 대해 관찰하고 제어들의 그 조합의 특정 시도를 혼동시킬 수 있는 다른 제어 선택들을 배제할 기간들을 설정한다.

[0013] 공간적 및 시간적 불확실성 데이터는 그 자체가, 그리드 제어 상태들을 변경하고 상이한 기간들에 걸쳐 그 변동량의 효과들을 관찰하여, 상이한 레벨들의 공간적 및/또는 시간적 불확실성을 실험에서의 독립 변수들로서 처리함으로써 실험을 통해 발견될 수 있다. 이러한 실험들에서, 변화되는 제어들은 특정 시간적 및 공간적 불확실성들이 더 잘 이해되도록 요구되는 제어들이다. 이러한 실험들에서, 종속 변수는, 베이스라인으로서 사용될, 불확실성들이 시험되고 있는 그리드 액션으로부터 야기되는 전체 변화 값의 관찰을 보장하도록 선택된 더 큰 공간적 및 시간적 불확실성 값들을 갖는 시도들에 의해 결정되는, 베이스라인 변화 값과 비교하여, 그리드에서의 변화의 정도이다. 실험 공간적 및/또는 시간적 불확실성 내의 관찰된 변화가 유의성 임계치를 초과하는 양만큼 베이스라인 값으로부터 벗어날 때, 그것은, 효과들이 없어지고 있거나 또는 데이터 수집의 더 큰 부분들이 혼동들에 의해 영향을 받고 있음을 나타낸다. 유의성 임계치는, 제어되고 모니터링되고 있는 특정 변수들에 대한 허용오차들 또는 표준들에 의해 확립된 신뢰 구간들을 사용하여 산출될 수 있다. 공간적 및/또는 시간적 불확실성은, 지연 효과들을 캡처하고 상당한 혼동 문제들을 회피하는 유효한 샘플들을 여전히 제공하면서, 최소 불확실성 기간들 및 영역들을 제공하고 이에 따라 실험 기회들의 개수를 최대화하기 위해, 베이스라인과의 차이 (divergence)가 유의성 임계치를 가로지르는 포인트에서 선택될 수 있다.

[0014] 공간적 및 시간적 불확실성들을 발견하기 위한 시도 설계의 일례는, 그 제어 액션에 대한 알려진 또는 가능성 있는 공간적 불확실성 내에서 또는 동일한 위치에서 제1 제어 액션에 이어서 제2 제어 액션이 가깝게 뒤따르고, 제1 액션이 특정 유의성 임계치보다 더 크게 제2 액션에 대한 시스템 응답에 영향을 주지 않는 지속기간이 발견될 때까지 2개의 제어 상태 변화들 사이의 지연을 서서히 증가시켜, 제1 제어 액션에 대한 시간적 불확실성을 결정하는 것이다. 공간적 불확실성들은, 가장 가까운 제어들을 스위칭하고, 이어서, 공간적으로 근접한 액션들이 유의성 임계치를 초과하여 시스템 응답에 서로 영향을 주지 않는 공간적 거리가 발견될 때까지, 대신에 스위칭될 더 멀리 있는 제어들을 점진적으로 선택함으로써, 유사하게 발견될 수 있다.

[0015] 선택적으로, 예를 들어 그리드 제어부들과 연관된 시간적 및 공간적 불확실성들의 추정치들을 생성하기 위한 성분으로서 시간에 따른 주성분 분석을 적용함으로써, 그리드 액션들 및 응답들에 대한 이전에 수집된 이력 데이터의 분석으로부터 불확실성들에 대한 초기 값들이 유도될 수 있다. 대안적으로, 이전 데이터의 이러한 사용 없이 실험들로부터 수집된 데이터에만 기초하는 순수 경험적 접근법이 사용될 수 있다. 초기 불확실성 값들은 또한 인간 참여형 입력을 통해 획득될 수 있는데, 이는 불확실성 값들의 인간 예측들의 형태를 취할 수 있거나 또는 그것은 그러한 실험에 대한 외부 경계들, 예를 들어 그 시간적 불확실성의 값의 실험 발견을 국한시키기 위한 최대 가능한 시간적 불확실성을 제공하여, 탐색될 검색 공간을 한정할 수 있다. 선택적으로, 불확실성 값들은 시스템 구성요소들 및 그들의 동작의 물리적 특성에 기초한 산출로부터 산출될 수 있다.

[0016] 선택적으로, 시간적 및 공간적 불확실성들은 다수의 값들을 가질 수 있는데, 이들은 상이한 외부 조건들, 예컨대 하루 중 시간, 주변 온도들 또는 내부 조건들, 예컨대 다른 그리드 요소들 및 이들의 조합들의 상태, 또는 인근 결함들, 즉 특정 그리드 액션에 의해 영향을 받는 시간적 및/또는 공간적 영역에 영향을 줄 수 있는 조건들의 유무에 대응한다. 이러한 조건들은, 예를 들어, 불확실성들에 대한 특정 값들을 특정 조건들과 연관시키

는 불확실성 값들에 대한 메타데이터, 및 선택된 불확실성 값들을 그러한 값들이 적용되는 조건들에 매칭시킴으로써 상이한 가능한 값들 중에서 선택하는 데 사용되는 메타데이터로서 저장될 수 있다. 조건들은, 기회들을 결정하거나 또는 실험 유닛들을 구성할 때, 예를 들어, 조건이 방송 시간대(daypart)인 경우, 그 방송 시간대를 결정하기 위한 시스템 클록을 사용하거나, 또는 다른 예에서는 관련 조건 값들을 나타내는 그리드 센서들로부터의 데이터를 사용하고, 시간 및/또는 조건들에 대한 적절한 불확실성 값들을 선택하기 위해 그러한 조건 값들을 불확실성들에 대한 메타데이터와 비교함으로써 참조될 수 있다.

[0017] 선택적으로, 시간적 및 공간적 불확실성에 더하여 추가적인 변수들이 실험 유닛들을 구성하고 조정하는 데 사용될 수 있다. 제어들에 의해 영향을 받는 그리드 파라미터들과 같은 속성들은, 어떤 파라미터들이 제어의 이전 시도들에 의해 영향을 받거나 또는 받지 않는지를 관찰함으로써 특성화되고, 예를 들어 메타데이터로서, 그리드 제어부들에서의 특정 변경과 연관될 수 있다. 그러한 속성들은, 공간적 및 시간적 불확실성들 간의 중첩 및 일부 또는 모든 추가적인 변수들에서의 중첩을 사용하여 그리드 제어부들이 변경될 수 있는 경우를 결정하면서, 그 변경들이 실험과 시간적 및 공간적 영역들을 공유하는 그러한 추가적인 변수들에 또한 영향을 주는 진행 중인 또는 동시의 실험들을 혼동시키는 것을 방지함으로써 그리드에 걸쳐 실험들을 조정하기 위해 시간적 및 공간적 불확실성들과 조합될 수 있다. 예를 들어, 그리드 제어 변화들과 연관된 추가적인 변수들은, 어떤 그리드 파라미터들이 그 특정 제어 변화, 예컨대 전기 그리드 상의 가용 전력, 전력 품질, 및 라인 온도에 의해 영향을 받는지를 포함할 수 있다. 전력 품질 및 가용 전력에 영향을 주는 제어 변화가, 전력 품질에 또한 영향을 주는 제어 변화들과 연관된 시간적 및 공간적 불확실성들로부터 배제되어, 전력 품질에 대한 효과들이 서로 혼동되는 것을 방지할 수 있는 한편, 가용 전력에 대한 효과들 없이 라인 온도에만, 또는 라인 온도와 전력 품질에 영향을 주는 제어 변화는, 그의 공간적 및 시간적 불확실성들이 가용 전력에만 영향을 주는 제어 변화의 공간적 및 시간적 불확실성들과 중첩되도록 허용될 수 있는데, 이는 관련 없는 메트릭들만이 그들의 시간적 및 공간적 불확실성 영역들의 일부 또는 전부를 공유함에도 불구하고, 제어 변화들 각각에 의해 영향을 받고 있기 때문이다.

[0018] 실험 유닛들은 또한 그들과 연관된 잠재적 변수들을 가질 수 있다. 그들은 일부 예들에서, 실험 유닛을 설명하는 메타데이터로서 연관될 수 있다. 잠재적 변수들은, 실험 유닛에 영향을 주고 그리드에 미치는 가능한 또는 예상된 영향들을 갖는 특정 검출된 조건들, 예를 들어, 그 시간 및 위치에서의 주변 온도와 같은 실험 유닛 내의 현재 조건들을 나타내는 데이터이다. 잠재적 변수들은 그리드를 따라 배치된 센서들에 의해 검출되고, 실험 유닛에 대한 조건들이 변화함에 따라 동적으로 업데이트될 수 있고, 실험 유닛에 대한 제어들의 할당 시의 잠재적 변수들은 그 특정 실험 유닛과 연관된다.

[0019] 이러한 접근법은, 그리드들 상에 발생하는 공진 및 주기적 효과들뿐만 아니라 지연 효과들 또는 공간적 불확실성을 검출하여 불확실성 영역들을 결정하고, 주어진 제어 변화에 대한 시간적 불확실성을 변경하고 관찰되는 데이터에 대한 상이한 기간들의 효과들을 관찰하는 것을 통해, 실험 유닛들에서의 그러한 효과들 및 변동량을 도입할 기회들의 인식을 고려하기 위해 사용될 수 있다. 시간적 불확실성 기간의 지속기간을 변경함으로써, 시간적 불확실성이 그러한 주기적 또는 공진 효과들의 빈도에 비해 증가됨에 따라 차이들을 나타냄으로써 주기적 또는 공진 효과들이 드러나도록 할 수 있다. 다양한 시간적 불확실성들과 실험 유닛들의 길이들 사이의 관찰된 차이들의 푸리에(Fourier) 또는 웨이브릿(wavelet) 분석이 조화적(harmonic) 또는 주기적 효과들의 존재를 결정하는 데 사용될 수 있다.

[0020] 단계(104)에서 제어 상태를 변경할 기회들이 식별된다. 제어 상태를 변경할 기회들은, 검색 공간, 현재 그리드 조건들, 및 다른 시도들로부터의 실험 유닛들의 존재 및 그들이 잠재적 기회에 대한 실험 유닛들과 얼마나 맞는지에 기초하여, 그 검색 공간 내에 존재하는 다수의 실용적인 대안들이 있는 경우에 존재한다. 제어들의 변경은, 직접적으로 그리드 파라미터들, 또는 다수의 그리드 파라미터들을 조합하는 목적 함수의 출력에 관하여, 그리드 응답들에 대한 그리드 제어부들 또는 그리드 제어부들의 조합들의 효과들을 실험하는 시도들을 추가할 기회들을 제공한다. 목적 함수들은 그리드 파라미터들을 반영하기 위해 비선형, 유계(bounded), 및/또는 불연속일 수 있는데, 그리드 파라미터들은 특정 범위들, 또는 전체 그리드 성능에 미치는 그러한 그리드 파라미터의 영향이 특정 티핑 포인트(tipping point)들 또는 비선형성들을 적용받는 곳 내에 유지되어야 한다. 그리드 제어부들을 변경할 기회의 존재는, 그리드 조건들을 수신하고, 다양한 제어 상태들의 이미 진행 중인 시도들에 대한 임의의 실험 유닛 데이터를 수신하고, 검색 공간을 측량하여 검색 공간의 부재들을 식별함으로써 결정될 수 있는데, 여기서 제어 상태에 대해 이루어진 변화들은 공간 및 시간에 있어서 임의의 기존의 실험 유닛들과 중첩되지 않고, 검출된 현재 그리드 조건들의 경우, 선택될 수 있는 제어 상태들은 그리드의 정상 동작 엔벨로프 내에 있다. 다른 실험 유닛들과의 시간 및 공간에 있어서의 중첩을 방지함으로써, 그러한 진행 중인 시도들이 새로운 시도에 의해 혼동되지 않고, 새로운 시도가 진행 중인 시도들로부터의 이월 효과들을 적용받지 않음을 보

장한다.

- [0021] 제어 상태들은 또한, 그들의 효과들, 및 그러한 효과들이 현재 그리드 조건들에 대한 목적 함수 출력을 이끌어 내는 정도의 산출에 관한 지식의 현재 레벨에 의해 필터링되어, 엄밀하게 열등한 제어 상태들을 선택할 가능성을 제거할 수 있다. 이것은, 예를 들어 제어 유효성의 지식이 평균들 및 신뢰 구간들로서 저장되는 경우에, 각각의 가능한 제어 상태에 대한 신뢰 구간들의 범위들에 대해 목적 함수를 산출하고, 가능한 제어 상태의 범위와 중첩되는 예측된 목적 함수 출력의 범위들을 갖는 가능한 제어 상태들만을 식별함으로써 수행될 수 있는데, 가능한 제어 상태의 범위는 예측된 목적 함수 출력의 가장 높은 범위를 포함한다.
- [0022] 목적 함수는, 측정된 그리드 파라미터들의 세트에 대한 값을 생성함으로써 제어 유효성 스코어를 생성하기 위해 원하는 그리드 조건들과 결과들을 조합하고 가중시키는 데 사용될 수 있는데, 예를 들어 전기 그리드들에 대해, 목적 함수는 가용 전력, 태양 또는 바람과 같은 재생가능한 자원들에 의해 제공되는 전력의 양, 및 이상적인 60 Hz로의 전압 사인파의 충실도(fidelity)에 관한 항(term)들을 가질 수 있다. 목적 함수는, 다양한 그리드 목표들이 동시에 추구되고, 그러한 그리드 목표들 간의 트레이드오프들, 예컨대 예시적인 전기 그리드에 대해 더 많은 재생가능한 자원들이 이용됨에 따른 전력 품질의 열화를 관리할 수 있게 한다. 목적 함수는, 선택된 그리드 제어부들이 그리드 목표들을 촉진하는 정도를 예측하거나, 또는 하나 이상의 그리드 제어 상태들의 특정 변경과 연관된 수집된 그리드 파라미터 데이터에 적용될 때 그러한 그리드 제어부들의 전체 유효성을 결정하는 데 사용될 수 있다.
- [0023] 단계(106)에서 제어 상태들이 변경할 기회들에 할당된다. 제어 상태들의 할당은 단계(104)에서 식별된 기회에 할당될 수 있는 가능한 제어 상태들 또는 제어 상태들의 조합들 중 하나의 선택이고, 선택적으로, 선택된 제어 상태 또는 조합에 대한 실험 유닛을 생성하는 데 사용되는 공간적 및 시간적 불확실성들의 변동량을 포함할, 선택된 제어 상태 또는 제어 상태의 조합과 연관된 하위 변수(sub-variable)들의 할당을 포함할 수 있다. 할당은 단계(104)에서 식별된 각각의 기회를 그 단계에서 식별된 가능한 그리드 제어 상태들의 유효성을 비교하는 실험의 시도로서 처리하는, 실험 설계의 원리들을 따른다. 선택은 무작위화될 수 있는데; 무작위화는 주어진 기회에 대한 가능한 제어 상태들 사이에서 전적으로 확률적일 수 있거나, 또는 무작위화는 다른 실험 설계 원리들을 구현하고/하거나 적응적 실험에 영향을 주거나 또는 시간 경과에 따라 그리드에 걸친 많은 시도들로부터 나오는 그리드 제어 효과들에 대한 지식의 활용과 탐색 사이의 균형을 맞추도록 제약될 수 있다.
- [0024] 단계(106)의 제어 상태 할당 프로세스에서 구현될 수 있는 실험 설계 원리들의 예들은 균형을 맞춤(balancing), 카운터 밸런싱(counter-balancing) 및 블록화(blocking)를 포함한다. 균형을 맞춤은, 조사되고 있는 모든 제어 상태 조합들이 동일한 개수의 관찰들을 갖는 것 - 이는 그들이 동일한 횟수로 선택되는 것을 의미함 - 을 보장하는 것이다. 이것은, 예를 들어, 단계(104)에 따라 변경할 기회들의 세트를 식별하고, 제어 상태들의 각각의 변경의 동일한 수량들과 동시에 기회들의 세트에 대해 선택함으로써 수행될 수 있다. 카운터 밸런싱은, 그러한 제어 상태들이 그리드에 적용되는 순서를 변경하는 잠재적 효과들을 고려하기 위해, 제어 상태들을 적용하는 각각의 가능한 순서가 표현되는 것을 보장하도록 그리드 제어 상태들의 연속 변경들의 순서를 조정하는 것이다. 카운터 밸런싱은 또한, 단계(104)에서 다수의 기회들을 식별하고, 기회들의 그러한 세트에 걸쳐 적용할 그리드 제어 상태들의 카운터 밸런싱된 세트를 구성함으로써 수행될 수 있다. 카운터 밸런싱은 또한, 이미 실행된 시도들에서 다양한 가능한 순서들의 인스턴스(instance)들의 개수들 및 과거 선택들의 순서에 기초하여 제어 상태들의 선택의 빈도를 동적으로 가중시킴으로써 부분적으로 구현될 수 있다. 블록화는 유사성들에 의한 실험 그룹들의 배열인데; 이러한 유사성은, 기회 식별 단계(104)의 일부로서, 주어진 기회에 대한 그리드 조건들 및 위치, 및 그러한 기회들이 블록들 또는 서브 그룹들을 형성하거나 또는 기회들을 이미 존재하는 유사한 기회들의 블록들 또는 서브 그룹들에 할당하기 위해 계산된 유사성에 기초하여 식별될 수 있다. 이어서, 시도들은 블록 또는 서브 그룹 내에서의 적절한 범위의 그리드 제어 선택들을 보장하기 위해 그러한 서브 그룹들 내에서 균형을 맞춤, 카운터 밸런싱 및/또는 무작위화될 수 있다.
- [0025] 기회들에 대한 제어 상태들의 선택은, 적응적 실험 원리들을 적용하여 덜 유망한 가능한 제어 상태들을 신속하게 그만두고 그리드 동작들을 개선시킬 가능성이 더 많은 제어 상태들을 시험하는 것에 주력함으로써, 실험 프로세스를 간소화하기 위해 가중 또는 제어될 수 있다. 실험들을 간소화하는 것에 더하여, 특정 그리드 제어 상태들의 유효성을 발견하기 위한 시도들 및 검색 공간의 탐색과 그러한 그리드 제어 상태들의 효과들에 대한 현재 레벨의 지식의 활용 사이의 균형을 맞추기 위해 할당의 제어 또는 가중이 또한 수행될 수 있다. 기회에 대한 제어 상태들의 선택을 가중 또는 제어하는 것은, 그들의 영향들의 평균들 및 신뢰 구간들에 기초한 예측된 목적 출력들과 중첩되는 변경들만을 고려함으로써 기회 식별 단계(104)에서 수행될 수 있거나, 또는 예를 들어 확률 매칭에 의해, 목적 출력들을 예측하고 그것들을 선택 스테이지에서 사용함으로써, 또는 가장 높은 목적 출

력을 생성하기 위한 최소 임계치 우도(likelihood)들을 갖고 그 임계치 초과 가능한 제어 상태들 중에서만 확률적으로 선택함으로써 선택 스테이지에서 수행될 수 있다.

[0026] 기회들에 대한 제어 상태 할당들의 무작위화를 가중시키는 접근법들은 연속적으로 활성화될 수 있거나, 또는 지식이 소정 임계치들을 초과할 때에만 활성화될 수 있다. 이러한 임계치들은 사용자에게 의해 설정될 수 있고, 예를 들어 신뢰 구간들의 폭, 또는 목적 함수에 따른 주어진 그리드 조건들에 대해 최적인 특정 제어 상태들의 우도들의 차이와 같은 요인들에 기초할 수 있다.

[0027] 단계(104)에서 식별된 기회들에 대해 단계(106)에서 그리드 제어 상태들의 선택의 무작위화를 조정하는 하나의 특정 예에서, 그 기회에 대해 선택되는 다양한 제어 상태들의 가능성(chance)들을 결정하는 데 확률 매칭이 사용된다. 이러한 예에서, 확률 매칭의 적용은 먼저, 현재 그리드 조건들 및 목적 함수와 함께 제어 상태들의 영향의 신뢰 구간들 및 포인트 추정치들을 사용하여 이러한 예에서 3개의 잠재적 제어 상태들 각각이 목적 함수에 대한 가장 높은 출력을 생성할 가능성이 있는 우도를 산출함으로써 결정된다. 각각의 잠재적 제어 상태에 대한 포인트 추정치들 주위의 신뢰 구간들의 중첩은 그러한 제어 상태들이 가장 높은 목적 함수 출력을 생성하기 위해 다른 것들보다 우수할 수 있는 범위, 및 이에 따라 제어들이 구현될 때의 그리드에 대한 가장 바람직한 조건들을 나타낸다. 여기서 산출되는 확률들은 잠재적 제어 상태들 간의 순수 확률적인 무작위화를 사용하는 것과는 대조적으로 확률 매칭하는 시기를 결정하는 데 사용되는 임계 값과 비교되는데, 임계치는 확률들의 차이들이다. 이러한 예에서, 잠재적 제어 상태 A는 목적 출력을 최상으로 촉진할 65% 가능성을 갖고, 잠재적 제어 상태 B는 목적 출력을 최상으로 촉진할 25% 가능성을 갖고, 잠재적 제어 상태 C는 목적 출력을 최상으로 촉진할 10% 가능성을 갖는다. 잠재적 제어 상태 A가 다른 것들과 비교하여 우수할 가능성이 매우 높기 때문에, 이는 확률 매칭을 이행하는 데 필요한 임계치를 초과한다. 이어서, 임계치를 시험하기 위해 처음 사용되는 확률들은 각각의 제어 상태가 그 기회에 대해 선택되고 기회의 위치 및 시간에서 그리드 상에 구현될 우도를 결정하는 데 사용된다. 이 예의 경우, 이것은 선택 프로세스가 그 기회에 잠재적 제어 상태 A를 할당할 65% 가능성, 그 기회에 잠재적 제어 상태 B를 할당할 25% 가능성, 및 그 기회에 잠재적 제어 상태 C를 할당할 10% 가능성을 갖는 것을 의미한다. 이것은, 이루어진 결정이, 제어 상태가 그리드 상에 구현될 때 목적 함수의 출력을 최상으로 촉진하며 이에 따라 그리드에 대한 가장 바람직한 조건들 및 결과들을 이끌어내는 결정일 우도를 증가시키도록 선택들을 가중시키면서, 각각의 잠재적 제어 상태가 그리드 상에 구현되며 그 잠재적 제어 상태의 추가적인 시도를 제공하여 제어 상태 효과들의 지식을 개량시킬 가능성을 갖는 것을 보장한다.

[0028] 식별된 실험할 기회들에 대한 지연 기간들 또는 그리드 제어 상태들의 선택에 의해 구현되는 실험 설계들은 복잡한 설계들, 예컨대 (특정 제어 상태들의 조합들과 같은) 조정가능한 변수들 및/또는 (스위치들의 빈도와 같은) 하위 변수들의 조합들을 시험하기 위한 요인적 실험들, 및 그리드 액션들이 취해지는 특정 순서로부터 얻어지는 효과들에 대해 시험하기 위한 라틴 방진(Latin Square) 및 부분 라틴 방진(Partial Latin Square) 설계들을 포함할 수 있다. 이러한 실험 설계들은, 예를 들어 그 기회에 대한 하나의 독립 변수가 결정되는 단단식 선택 프로세스를 가짐으로써 구현될 수 있고, 요인적 설계들에서의 다른 변수들 또는 하위 변수들의 선택, 및 부분 및 전체 라틴 방진 설계들에서의 후속 선택들의 우도들은, 요인적 설계에서 특정 조합들에 대한 선택의 우도를 증가시키도록, 또는 부분 라틴 방진 설계에 따른 샘플을 제공하는 특정 순서가 시험되는 우도를 증가시키도록 동적으로 업데이트된다.

[0029] 기회에 대한 콘텐츠의 할당은 또한, 그리드 제어부들이 할당되고 있으며 기회가 존재하는 실험 유닛과 연관된 잠재적 변수들에 의해 영향을 받을 수 있다. 잠재적 변수 데이터는, 예를 들어 유사 조건들에 존재하는 기회들을 클러스터링하기 위해 특정 세트의 선택 기준들에 기회를 할당하거나, 또는 연관된 잠재적 변수들에 의해 나타내는 다양한 조건들 하에서 특정 응답들의 효과들을 시험하는 데 사용될 수 있다. 주어진 실험 유닛에 존재하는 잠재적 변수들에 대해 특정적인 유효성 데이터는 또한 특정 제어 결정들이 우수할 가능성이 있는 확률들을 특정적으로 결정하기 위해 사용될 수 있고, 잠재적 변수 조건들에 대해 특정적인 평균들 및 신뢰 구간들은 선택에 영향을 주기 위해 사용될 수 있다.

[0030] 단계(108)에서 선택된 제어 상태들의 영향이 측정된다. 예를 들어, 가스 그리드(gas grid)들 상의 압력들, 워터 그리드(water grid)들 상의 유량들, 또는 전력 그리드들 상의 전압 파형의 품질과 같은 다양한 그리드 파라미터들을 측정하는, 그리드를 따라 배치된 센서들에 의해 측정이 수행된다. 측정치들은 교정된 센서들 상의 그러한 그리드 파라미터들에 관하여 센서들에 의해 보고될 수 있거나, 또는 자동 실험 교정 및 해석 시스템들에 의한 분석을 위해 미가공(raw) 센서 출력 파형들로서 보고될 수 있다. 데이터는 실험 기회에 할당된 제어 상태들에 대한 실험 유닛 내에서 수집되는데, 이는 그것이 할당된 제어 상태들의 효과들이 혼동 없이 관찰될 수 있는 기간 및 영역이기 때문이다. 선택적으로, 센서 모니터링은 연속적 및/또는 그리드 전체에 걸칠 수 있는데,

이때 실험 유닛들 동안 기록된 데이터 포인트들은 그러한 특정 실험 유닛들에 비닝된다.

[0031] 측정치들은 단계(110)에서 제어 액션들에 대한 그리드 응답의 지식을 업데이트하는 데 사용된다. 제어 액션들에 대한 그리드 응답의 지식은, 특정 제어 상태 또는 제어 상태들의 세트가 그리드 파라미터들에 얼마나 영향을 주는지의 척도인데, 이는 제어 상태들이 변경될 때 그리드 파라미터 데이터를 수집하는, 그리드를 따른 센서들에 의해 측정될 수 있다. 그리드 응답의 지식은 가능한 그리드 제어 상태들의 세트를 표현하는 검색 공간에서의 포인트들 각각에 대한 신뢰 구간들 및 포인트 추정치들의 데이터베이스로서 저장될 수 있다. 지식은 그리드 파라미터들 자체에 관하여 유지될 수 있거나, 또는 선택적으로, 측정된 그리드 파라미터들에 대한 바람직한 값들 또는 다수의 범위들로 구성되는 그리드 목표들을 표현하는 목적 함수들의 출력들에 관하여 유지될 수 있다. 평균들 및 신뢰 구간들로서 저장된 그리드 응답의 지식의 경우, 평균은 현재 시도에서 관찰된 결과들(그 할당된 제어 상태 또는 상태들의 세트에 대한 실험 유닛 내에서 수집된 데이터)을, 평균을 계산하는 데 사용된 관찰들의 그룹에 대한 샘플로서 추가하고 추가적인 새로운 데이터 포인트로 새로운 평균을 산출함으로써 업데이트될 수 있고, 신뢰 구간들은 데이터 세트에 추가되는 시도들의 개수에 기초하여 샘플 크기를 증분하고, 데이터 세트에 추가되는 새로운 시도 또는 시도들을 포함한 업데이트된 샘플 크기를 사용하여 업데이트된 신뢰 구간들을 산출함으로써 업데이트될 수 있다. 평균들 및 신뢰 구간들은 지식 데이터베이스를 구축하기 위해 샘플 다음에 샘플을 추가하여, 반복적으로 업데이트될 수 있다.

[0032] 본 발명의 시스템들 및 방법들은, 일부 예들에서, 감산 방법을 적용함으로써, 그리드 액션의 공간적 및/또는 시간적 불확실성들, 그리드 파라미터들에 대한 그의 효과들, 또는 그의 하위 특성들을 분리시키는 것을 포함하여, 다른 그리드 액션들 및 응답들의 복잡한 배경으로부터 특정 그리드 액션의 효과들을 분리시킬 수 있다. 감산 방법은, 통상 진행 중인 다른 그리드 액션들 및 응답들에 기초하여, 그리드의 진행 중인 거동에 대한 베이스라인 그리드 파라미터들을 결정하고, 그러한 베이스라인 그리드 파라미터들을 특정 선택된 그리드 액션에 대한 실험 유닛 동안 발생하는 그리드 파라미터 측정치들로부터 감산하여, 측정되는 그리드 파라미터들에 대한 그 그리드 액션의 효과들을 분리시킴으로써 적용될 수 있다. 이러한 베이스라인은, 메모리에 저장되며 소정 기간 내의 그리드 파라미터들을 측정하는 센서들의 시간 경과에 따른 센서 데이터의 집합체로부터 결정될 수 있고, 시스템의 지식 또는 제어 내에 또한 있는 특정 제어들에 의해 추가로 파싱(parsing)될 수 있거나 또는 제어들이 확률적으로 기회들에 할당되는 경우 베이스라인 기간들에 걸쳐 정기적으로 업데이트될 수 있다.

[0033] 잠재적 변수들이 실험 유닛들과 연관되는 경우, 그러한 잠재적 변수들은 또한, 예를 들어 평균들 및 신뢰 구간들을 산출할 때 클러스터링을 사용하기 위해, 인입 데이터를 파싱하고 실험 유닛들로부터의 데이터를 특정 데이터 세트들에 할당하는 데, 또는 특정 잠재적 변수 값들이 있는 제어들을 구현하는 것에 대해 특정한 데이터 세트들을 구성하고 업데이트하는 데 사용될 수 있다.

[0034] 제어 액션들에 대한 그리드 응답의 지식은 그리드 제어 결정들을 연속적으로 그리고 실시간으로 개선시켜 목적 값을 이끌어내기 위해 사용될 수 있다. 이것은 응답들이 그리드 목적들을 이끌어내는 그리드 제어부들을 선택하기 위해 그리드 제어부들의 검색 공간의 탐색과 활용 사이에서 균형을 맞추도록 적응적 실험 또는 가중된 무작위화의 맥락에서 수행될 수 있거나, 또는 그들은 그리드 조건들에 대한 그리드 제어부들의 효과들의 산출들에 기초하여 제어들을 선택하는 것을 통해 목적 함수를 최대화하기 위해 모색하는 별개의 활용 루틴들에 의해 사용될 수 있고; 이것은 목적 함수 출력들 또는 현재 그리드 조건들에 관하여 데이터베이스 내에 저장된 지식을 사용하여 직접 수행될 수 있고, 그리드 파라미터들에 대한 그리드 제어부의 효과들은 제어를 적용하는 것으로부터 야기될 그리드 파라미터들을 추정하는 데 사용될 수 있고, 그러한 추정된 파라미터들로부터, 목적 함수 출력들이 계산될 수 있고, 최상의(대부분의 예들에서, 가장 높은) 목적 값을 촉진하는 제어가 선택되어 그리드에 적용될 수 있다.

[0035] 선택적으로, 자본 계획 및 그리드 내로의 새로운 요소들의 통합을 위해 그리드 요소 성능의 인과관계 지식이 사용될 수 있다. 본 발명의 예시적인 실시 형태들에 따라 자동으로 제어될 수 있는 새로운 제어들을 제공하고 그리드 파라미터들을 변경시키는 그리드 요소들에 대해, 그리드 요소 성능의 예상된 영향들은 본 발명의 시스템들 및/또는 방법들의 적용에 의해 과거의 설치 및 통합들 동안 개발된 그리드 동작 데이터에 기초하여 산출될 수 있다. 이러한 데이터는, 예를 들어, 전기 그리드 상에 이미 설치된 광기전 인버터에 대한 제어 상태들을 변경하는 시도들을 사용하여, 요구 만족 및 전력 품질에 미치는 인버터들의 영향들과 같은 그리드 파라미터들에 미치는 설치된 인버터의 영향을 결정하고, 이어서 그 지식을, 제안된 위치에 설치될 수 있는 유사한 인버터에 대해 제안된 위치에서 검출된 그리드 조건들과 조합하여 제안된 위치에 인버터를 설치하는 효과들을 예측함으로써 개발될 수 있다.

[0036] 이러한 실험들로부터 유도된 정보는, 결합전 메트릭(pre-fault metric)들 - 이들은, 예를 들어 결합들의 발생을 둘러싼 기간들로부터의 제어 데이터 및 집합된 그리드 센서에 적용되는 패턴 매칭, 베이저안 인과관계망(Bayesian Causal Network)들, 마르코프 체인 모델링(Markov Chain Modeling), 및/또는 주성분 분석을 통해 유도될 수 있음 - 을 발견하고, 변경할 기회들 동안 특정 그리드 제어 액션들을 선택하는 데 사용되는 목적 함수들에 그러한 결합전 메트릭들을 통합함으로써 시간 경과에 따른 그리드 상의 결합들의 개수를 감소시키는 데 적용될 수 있다. 그러한 목적 함수들은, 예를 들어, 식별된 결합전 메트릭들 이외의 나머지에, 예를 들어 제어 상태들의 통상 더 최적인 조합이 결합들의 더 높은 발생 정도와 연관되는 그리드 상의 응력을 생성할 수 있을 때, 잠재적으로 제어 상태들의 통상 덜 최적인 조합이 제어 상태들의 통상 더 최적인 조합에 걸쳐 선택되게 하는 값을 할당하는 항들을 포함할 수 있다. 결합전 메트릭들은, 예를 들어 전기 그리드들 상의 라인 온도, 라인 새그(line sag), 또는 전력 품질, 가스 그리드들 상의 압력, 또는 워터 그리드들 상의 유량들과 같은 그리드 파라미터들일 수 있다.

[0037] 본 발명의 이러한 방법 또는 다른 예들을 통해 유도된 지식은 유틸리티 그리드 상의 사건 응답에서 적용되어, 그리드 상의 폭풍 피해(storm damage)와 같은 이벤트들의 효과들을 완화시키려고 자동으로 시도할 수 있다. 제어 상태들 및/또는 그러한 제어 상태들의 조합들의 알려진 효과들은 소정 영역들을 통한 전력, 물 또는 가스 흐름의 감소와 같은 특정 국부적 그리드 조건 효과들을 포함할 수 있다. 이것은 통상 요구를 충족하거나 또는 소비 목표들을 적중하는 것과 같은 유틸리티 서비스 메트릭들을 손상시킬 수 있지만, 시스템은 물 또는 가스 라인들 상의 누출들 또는 전기 그리드들 상의 결합들 또는 다운된 라인들과 같은 상황들의 검출에 응답하여 목적 함수들에서의 항들 또는 대안적인 목적 함수들을 적용하고, 그리드 파라미터들의 값들을 조정하여 영향받은 영역의 분리를 평가하고 이러한 대안적인 목적을 달성하는 검색 공간으로부터 그리드 제어부들 및 그리드 제어부들의 조합들을 선택하도록 스위칭할 수 있다. 영향을 받는 영역들 및 시간들은 인간 그리드 조작자들로부터의 입력에 의해 나타낼 수 있거나, 또는 특정 센서 응답들이 그리드 결합들, 누출들 또는 분리를 요구하는 손상을 나타냄을 나타내는 분류기들에 따라 센서 및 그리드 지능 시스템들에 의해 자동으로 검출될 수 있다. 선택적으로, 분류기들은 기계 학습 또는 실험 데이터 수집을 통해 개발될 수 있다. 일부 예들에서, 관계들의 변화들 및 그리드 요소들 간의 예상된 거동으로부터의 편차들은 그리드를 따른 결합들의 존재 및 가능하게는 그들의 위치 및 성질을 나타낸다. 예상된 응답 거동으로부터의 편차들을 사용하여 결합들을 식별하고 분류하는 예의 경우, 서로 독립적으로 사용되는 그리드의 세그먼트들이 이제 서로 영향을 주는 제어들의 변화들에 대한 상관된 응답들을 증명하는 전기 그리드 상에서, 이러한 상관관계의 출현은 그리드의 그러한 세그먼트들 사이의 단락을 나타낼 수 있다.

[0038] 도 2는 본 발명의 예시적인 실시 형태에 대한 계통도이다. 메모리는 플래시 메모리, 자기 매체를 이용하는 하드 디스크 드라이브(hard disk drive), 또는 데이터를 저장하고 빈번하게 규칙적으로 액세스될 수 있는 다른 데이터 저장 방법과 같은 알려진 컴퓨터 저장 수단일 수 있다. 프로세서는 소프트웨어 명령어를 통해 연산을 하도록 구성될 수 있다. 구성요소들 사이의 연결은 고정 배선이거나, 다중 단계에 대해 공통의 프로세서를 이용하거나, 또는 다양한 802.11 프로토콜, 지그비(ZigBee) 또는 블루투스(Bluetooth) 표준, 이더넷(Ethernet)과 같은 유선 또는 무선 수단, 또는 별도의 센서, 프로세서, 메모리 및 모듈 사이에서 데이터를 전송하는 다른 알려진 수단을 통해 연결된 통신망일 수 있다. 센서, 메모리, 프로세서, 및 모듈은 센서 자체를 비롯한 여러 위치들에 배포되거나 또는 중간 또는 중앙 위치에 함께 배치될 수 있다.

[0039] 그리드 제어부들(200)은 시스템에 의해 자동으로 제어될 수 있고 그리드에서의 변화를 생성하도록 그리드에 작용하는 그리드의 제어가능한 요소들이다. 이들은, 예를 들어, 전기 그리드들 상에 스위치들, 제어가능한 전력 저장 디바이스들, 인버터들 및 전력 조절기들을 포함할 수 있고, 이들은 워터 그리드들 상에, 예를 들어 밸브들, 스위치들, 펌프들, 및 처리 설비들을 포함할 수 있고, 이들은 가스 그리드들 상에, 예를 들어 공급원들, 밸브들 및 스위치들을 포함할 수 있다. 이러한 제어부들은 시스템의 나머지와 네트워크로 연결되는데, 이는 이러한 제어부들의 특정 상태들이 그러한 제어부들에 의해 영향을 받는 다양한 그리드 파라미터들, 예컨대, 일부 예들의 경우, 전기 그리드들 상의 가용 전력, 전력 품질, 전류, 전압, 및/또는 라인 새그, 가스 그리드들 상의 압력, 누출들 및 요구 만족, 또는 워터 그리드들 상의 누출들, 요구 서비스 및 수질(water purity)에 미치는 그들의 영향을 탐색 및 활용하도록 지시한다.

[0040] 실험 유닛 프로세서(202)는 그리드 제어부들의 변화들에 대한 버퍼링 및 관찰의 영역들 및 일소 및 데이터 기록 기간들의 지속기간을 산출하도록 구성된 프로세서이다. 프로세서들은 여러 접근법들 중 하나 이상을 통해 이러한 지속기간들 및 영역들을 산출하도록 구성될 수 있다. 지속기간들 및 영역들을 산출하기 위한 하나의 예시적인 접근법은, 그리드 제어부들의 이전에 관찰된 지연 효과들에 대한 수신된 데이터를 변환하고, 그의 조작 후에

그리드 제어부의 효과들이 관찰되는 시간들 및 영역들의 신뢰 구간들(예컨대, 95% 또는 99% 신뢰 구간들)을 결정하기 위한 그 데이터의 분석을 통해, 그것을 지속기간들 및 영역들로 전환하는 것이다. 지속기간들 및 영역들을 산출하기 위한 다른 예시적인 접근법은 그리드 응답의 모델을 사용하여 가능성이 있는 지연 효과들을 시뮬레이팅하고 예측하는 것이다. 지속기간들 및 영역들을 산출하기 위한 다른 예시적인 접근법은, 예를 들어, 동일한 세트의 그리드 제어 결정들에 대해 40분 및 1시간의 일소 기간들 둘 모두를 갖는 시도들을 수행하는, 시간들 및 영역들 그 자체가 그리드 파라미터들에 대한 그리드 제어부들에서의 변화들의 효과들에 대한 실험 동안 독립 변수들로서 사용되는 데이터를 생성하고 - 이때 관찰된 효과들에서의 차이들은 순수 데이터로부터 혼동된 데이터로 임계치들이 교차된 시기를 나타냄 -, 그러한 임계치들을, 그리드 제어부들에 대한 특정 변화들과 연관될 수 있는 데이터 기록 및 일소를 위한 지속기간들 및 영역들로서 사용하는 것이다.

[0041] 실험 유닛 메모리(204)는 실험 유닛 프로세서(202)에 의해 산출된 실험 유닛 데이터를 수신 및 저장하도록 구성된 메모리인데, 이어서 실험 유닛 데이터는 그리드 제어부들을 변경할 기회들을 식별하고 특정 그리드 제어 결정들과 연관된 데이터를 수집하는 시간들 및 영역들을 결정하는 데 사용된다. 실험 유닛 데이터는, 그리드 제어 상태들에 대한 많은 변화들로부터 야기되는 지연 효과들을 고려하고, 그리드 파라미터들에 대한 그러한 지연 효과들의 관찰, 및 그리드 파라미터들에 대한 그리드 제어부들의 효과들을 결정할 때 그러한 효과들이 상이한 그리드 제어 상태들의 후속 시도들을 혼동시키는 것을 방지할 필요성을 보장하도록 산출되는, 그리드 제어부들에 대한 특정 변화에 대한 관찰 및 일소를 위한 지속기간들 및 영역들이다.

[0042] 기회 식별 프로세서(206)는 실험 유닛 메모리(204)로부터의 실험 유닛 데이터, 그리드 센서들(212)에 의해 검출된 다양한 그리드 파라미터들의 조건들, 및 검색 공간 메모리(218) 내에 저장된 검색 공간에 기초하여 특정 장소들 및 시간들에 그리드 제어부들(200)을 변경할 가능성을 산출하도록 구성된 프로세서이다. 검색 공간을 산출하는 일례는, 특정 시간에 이용가능할 수 있는 그리드의 일부들을 식별하고 - 이는 그러한 영역들이 그 시간에, 제어 할당 메모리(210) 내에 저장된 다른 그리드 제어 선택 결정들에 대해 실험 유닛 메모리(204) 내에 저장된 실험 유닛 정의들에 의해 정의된 기록 또는 일소 기간들 내에 있지 않기 때문임 -, 이어서 그러한 이용가능한 시간들 및 위치들에 대해, 그리드 센서들(212)에 의해 검출된 그리드의 현재 상태를 취하고, 검색 공간 메모리(218) 내에 저장된 검색 공간 내에서 이용가능한 그리드 제어 상태들을 식별하고, 검색 공간의 얼마나 많은 가능한 부재들이 그리드 파라미터들에 기초하여 목적을 촉진할 때의 그러한 제어 상태들의 유효성에 관한 중첩 신뢰 구간들을 현재 갖는지를 결정하는 것일 수 있다. 중첩 신뢰 구간들을 갖는 하나 초과와 잠재적 제어 상태가 있는 경우, 제어 할당 프로세서(208)는 그리드 제어부들(200) 상에 구현될 제어 상태를 선택하는 데 사용된다.

[0043] 제어 할당 프로세서(208)는 기회 식별 프로세서(206)에 의해 식별된 기회들에 대한 제어 상태들의 가능한 대안적인 세트들 중에서 선택들을 결정한다. 제어 할당 프로세서는 순수 확률적인 하기 방식들 중 하나 이상으로 선택을 하도록 구성되는데, 여기서 제어 상태들의 선택은 검출된 기회에 할당될 수 있는 검색 공간의 부재들 사이에서 무작위화되거나, 또는 선택은 탐색과 활용 사이에서 균형을 맞추거나 또는 적응적 실험을 구현하도록 제약 또는 가중될 수 있다. 이것의 일례는 확률 매칭인데, 여기서 검색 공간 내의 특정 포인트에 대한 목적 함수의 출력 값에 관한 신뢰 구간들 및 포인트 추정치들은 검색 공간 내의 그 포인트가 목적의 가장 높은 출력을 얻을 우도를 산출하는 데 사용되고, 선택은 그러한 산출된 우도들과 매칭되도록 무작위화되는데, 예를 들어, 검색 공간의 3개의 부재들이 일정 기회에 할당될 수 있고 제어 상태들이 가장 높은 목적 출력을 제공할 가능성이 각각 65%, 25%, 및 10%인 경우, 그러한 상태들은 각각 그 특정 기회에 대해 선택될 가능성이 65%, 25% 및 10%로 할당되어서, 그러한 제어 상태들 중 임의의 것이 그 제어 상태의 다른 시도를 이행함으로써 그들의 포인트 추정치들 및 신뢰 구간들을 개량시킬 잠재력을 허용할 것이고, 한편 가중시키는 것은, 목적 함수에 대한 최상의 결과를 제공할 가능성이 있는 제어 상태를 할당할 가능성을 더 크게 한다. 프로세서는 가능하게는 다수의 접근법들을 적용하도록 구성될 수 있고, 지식의 레벨, 예를 들어 순수 확률적인 모드를 적용하는 것으로부터 특정 식별된 기회에 대한 그리드 제어 상태들을 선택하는 것에 제약된 또는 가중된 접근법을 적용하는 것으로 스위칭하기 위해 목적을 최대화하는 우도에서의 최소 차이 또는 신뢰 구간들의 임계치 엄밀성을 요구하는 것에 기초하여 접근법을 선택한다.

[0044] 제어 할당 메모리(210)는 그리드 상의 구현을 위해 선택된 제어 상태들의 세트들, 및 선택적으로 그러한 제어 상태들이 구현될 시간뿐만 아니라, 그리드 제어부들에 대한 그 변화의 위치 - 그것이 제어 상태 정보 내에 이미 본질적으로 포함되어 있지 않은 경우 - 를 저장한다. 이러한 데이터는 제어 할당 프로세서(208)에 의해 산출되며 그리드 제어부들(200)을 지시하기 위해 사용되고, 또한 그리드 파라미터들에 미치는 그 제어 상태의 영향을 둘러싼 신뢰 구간들 및 포인트 추정치들을 개량시키도록 지식 데이터베이스(214)를 업데이트하기 위해 특정 그

리드 제어 상태들과 연관될 수 있는 데이터 기록 영역들 및 기간들 내에서 발생하는 데이터의 세그먼트들을 식별하기 위해 지식 업데이트 프로세서(216)에 의해 사용된다.

- [0045] 그리드 센서들(212)은 관심 대상의 그리드 파라미터 메트릭들, 예를 들어 전력 그리드들 상에서, 전류, 전압, 라인 온도 및/또는 라인 새그, 예를 들어 워터 그리드들 상에서, 유량들 및/또는 수질을 모니터링하는 센서들, 및 예를 들어 가스 그리드들 상에서, 압력, 유량들, 및/또는 라인들의 외부에 있는 가스 및 누출들의 존재 및 강도를 측정하기 위해 유틸리티 그리드에 연결된 센서들이다.
- [0046] 지식 데이터베이스(214)는 시스템에 의해 선택되며 구현된 제어 상태들에 대한 그리드 응답들에 관한 데이터를 저장한다. 데이터는 행해진 시도들의 개수의 전력 분석에 기초한 제어 영향의 포인트 추정치들 및 그러한 포인트 추정치들에 대한 신뢰 구간들로서 저장될 수 있는데, 이때 포인트 추정치들 및 신뢰 구간들은 그리드 제어부들(200)의 상태들의 조합을 표현하는 각각의 포인트에 대해 유지된다. 포인트 추정치들 및 신뢰 구간들은 특정 그리드 제어 상태들이 식별된 기회에 할당될 때 기록 기간들 동안 발생하는 그리드 센서들(212)로부터의 관독들에 기초하고, 새로운 관독들이 이루어질 때 업데이트되는데, 업데이트는 지식 업데이트 프로세서(216)에 의해 수행된다.
- [0047] 지식 업데이트 프로세서(216)는, 지식 데이터베이스(218)로부터의 제어 효과들의 현재 지식에 더하여, 그리드 센서들(212)로부터의 데이터, 실험 유닛 메모리(204)로부터의 실험 유닛 정의들, 및 제어 할당 메모리(210)로부터 그리드 제어부들(200) 상에 구현된 제어 할당들을 수신한다. 지식 업데이트 프로세서는 그 정보를 사용하여, 그리드 제어부들의 효과들에 대한 업데이트된 데이터를, 그러한 그리드 제어부들과 연관된 그리드 센서들(212)로부터의 데이터에 기초하여 산출하도록 구성된다. 예를 들어, 그리드 지식이 주위 신뢰 구간들을 갖는 포인트 추정치들로서 유지되는 경우, 포인트 추정치들은 샘플들의 기존의 세트에 실험 유닛 프로세서(202)에 의해 결정된 수집 기간 동안 그리드 센서들에서의 수집 기간 동안 수집된 데이터를 샘플로서 추가하고, 그 새로운 시도를 이전 시도들의 데이터베이스에 추가하는 것에 기초하여 평균 값을 산출함으로써 업데이트된다. 업데이트된 포인트 추정치에 대한 신뢰 구간들이 산출되고, 포인트 추정치와 연관된 신뢰 구간 값은 새로운 시도의 추가를 반영하도록 업데이트된다.
- [0048] 검색 공간 메모리(218)는 검색 공간 정보를 수신 및 저장하도록 구성된 메모리이다. 검색 공간은 그리드 파라미터들 또는 그리드 파라미터들에 기초한 목적 함수를 개선시키기 위한 시도들로부터 야기되는 지식의 활용 및 시도들을 위해 시스템에 이용가능한 그리드 제어부들의 잠재적 변경들이다. 예를 들어, 검색 공간 정보가 다차원 공간을 한정하는 매트릭스로서 저장될 수 있는데, 여기서 각각의 제어에 대응하는 차원이 있고, 그 차원은 그 제어에 대한 상이한 가능한 상태들 또는 상태들의 범위들을 표현하는 유한 세트의 포인트들을 갖는다. 이러한 예에 의하면, 차원들은 또한 차원수 및 복잡도를 감소시키기 위해 축소되거나(collapsed) 또는 조합될 수 있는데, 여기서 차원들은 조합될 수 있거나, 또는 시스템의 제어 외부에 배치될 수 있다.
- [0049] 도 3은 본 발명의 실시 형태의 구성요소들 간의 정보의 교환을 나타내는 데이터 흐름도이다. 이러한 예에서 사용되는 중요 데이터 유형들은 검색 공간(300), 공간적 및 시간적 불확실성 요인들(302), 실험 유닛들(304), 그리드 조건들(306), 제어 결정들(308), 연관된 센서 데이터(310), 및 제어 효과들의 지식(312)이다.
- [0050] 검색 공간(300)은 본 발명의 예들에서 그리드 상에 구현되며 선택될 수 있는 제어 상태들 및/또는 제어 상태들의 조합들의 정의이다. 검색 공간은 다차원 공간일 수 있는데, 여기서 차원들은 본 발명의 예들에 의한 제어에 이용가능한 그리드 제어부들을 표현하고, 각각의 차원 내의 유한 개수의 포인트들은 그 제어의 가능한 상태들 또는 그 제어에 대한 상태들의 범위들을 표현하며, 여기서 제어들은 연속적이다. 검색 공간(300)은 검색 공간 메모리(314) 내에 저장되고, 기회 식별 프로세서(316) 및 제어 선택 프로세서(318)로 전달된다.
- [0051] 공간적 및 시간적 불확실성 요인들(302)은 그리드 제어 상태들에 대한 특정 변화들에 대해 그리드 응답들이 기대될 수 있는 시간 및 공간을 나타내는 데이터이다. 공간적 및 시간적 불확실성 요인들은 입력 데이터로부터 산출되거나, 이력 동작 데이터로부터 유도되거나, 또는 실험 시도들에서의 독립 변수들로서 불확실성 기간들 및 영역들을 변경하는 것에 기초한 데이터에 대한 변화들을 관찰하는 실험들을 통해 결정될 수 있다. 공간적 및 시간적 불확실성 요인들(302)은 실험 유닛 프로세서(320)에 의해 수신되고 실험 유닛들(304)을 결정하기 위해 사용되는데, 실험 유닛들은 그리드 제어 결정들(308)의 다양한 선택들을 위한 영역들 및 데이터 수집 및 일소 기간들을 결정한다.
- [0052] 실험 유닛들(304)은 공간적 및 시간적 불확실성 요인들(302)에 기초하여 실험 유닛 프로세서(320)에 의해 결정된다. 실험 유닛들은 그리드 제어부들의 효과들이 관찰될 수 있는 공간의 영역들 및 시간의 지속기간들이고,

여기서 그러한 효과들은 그리드 제어부들의 유효성의 다른 시도들을 혼동시킬 수 있다. 실험 유닛들(304)은 실험 유닛 프로세서(320)로부터 기회 식별 프로세서(316)로 전달되어, 특정 시간 및 위치가 다른 시도들에 의해 혼동될 수 있는지 여부를 결정함으로써 그리드 제어부들(322)을 변경할 기회의 존재를 산출하는 데 사용되고, 특정 시간들 및 위치들에서 수집된 데이터를 선택 및 구현된 특정 그리드 제어 상태들과 연관시키기 위해 지식 업데이트 프로세서(324)에 의해 사용된다.

[0053] 그리드 조건들(306)은 그리드 센서들(326)에 의해 결정되는, 관심 대상의 그리드 파라미터들의 현재 상태이다. 그들은 데이터를 특정 그리드 제어부들과 연관시키고 연관된 센서 데이터(310)를 사용하여 지식 데이터베이스(326)를 업데이트함으로써 그리드 지식을 업데이트하는 데 사용하기 위해 지식 업데이트 프로세서(324)로 전달되고, 다수의 잠재적으로 목적-최대화 가능한 제어 상태들 중에서 선택할 기회가 있는지 여부를 결정하기 위해 기회 식별 프로세서(316)에 의해 사용될 수 있고, 특정 제어 상태 또는 제어 상태들의 조합이 제어 결정(308)으로서 선택되는 우도에 영향을 주는 제약들 또는 가중을 결정하기 위해 제어 선택 프로세서(318)에 의해 사용될 수 있다.

[0054] 제어 결정들(308)은 각각의 식별된 기회에 대해 제어 선택 프로세서(318)에 의해, 그 기회에 대한 검색 공간(300) 내에 존재하는 가능한 제어 상태들 중에서 선택함으로써 선택된다. 제어 결정들(308)은 잠재적 제어들 중에서 확률적으로 이루어질 수 있거나, 또는 그들은 적응적 실험을 행하거나 또는 무작위화를 제공하면서 목적을 또한 이끌어내기 위해 가중 또는 제약들과 함께 이루어질 수 있다. 제어 선택 프로세서(318)에 의해 이루어지는 제어 결정들(308)은 그리드 제어부들(322)에 제공되어 제어 결정(308)에 의해 지시되는 상태들에 대한 그러한 제어들을 이끌어내고 그리드의 동작들에 영향을 준다.

[0055] 실험 유닛들(304) 및 제어 결정들(308)을 사용하여 특정 그리드 조건(306)의 시간 및 위치에 기초하여 데이터 포인트들을 할당하고 - 특정 제어 상태들에 대한 그러한 데이터 포인트들은 그 특정 시간 및 위치에 영향을 줌 -, 그 시간 및 위치로부터의 데이터가 데이터 기록에 공간적 및 시간적으로 근접하여 발생하는 다른 제어 상태 변화들에 의해 혼동되지 않는 것을 보장하여, 지식 업데이트 프로세서(324)가 그 데이터 포인트를 야기한 제어 상태에 관한 특이성(particularity)을 갖도록 지식 데이터베이스(330)를 업데이트할 수 있게 함으로써, 지식 업데이트 프로세서(324)에서의 그리드 조건들(306)로부터 연관된 센서 데이터(310)가 산출된다.

[0056] 제어 상태들을 선택하고 선택된 제어 상태들에 의해 영향을 받는 위치들 및 시간들 동안 그리드 조건들(306)을 수집함으로써 연관된 센서 데이터(310)의 새로운 데이터 포인트들이 생성됨에 따라 제어 효과들의 지식(312)이 지식 데이터베이스(330) 내에 저장되고 지식 업데이트 프로세서(324)로 그리고 그로부터 전달되어 반복적으로 업데이트되게 한다. 제어 효과들의 지식은 특정 제어 상태 또는 제어 상태들의 조합에 의해 영향을 받는 각각의 그리드 파라미터에 대한 포인트 추정치 및 주위 신뢰 구간으로서 저장될 수 있다. 포인트 추정치들은 수집된 데이터 포인트들의 평균들일 수 있는데, 이때 그러한 평균들에 대한 신뢰 구간들은 평균을 산출하는 데 사용된 샘플들의 개수에 기초하여 실험 전력 분석을 통해 확립된다. 선택적으로, 제어 효과들의 지식은 그리드 파라미터들 자체에 관한 것일 수 있거나, 또는 그들은, 모두 목적 함수를 통해 조합되며 가중된, 다수의 그리드 파라미터들의 복합물에 기초하여 목적 메트릭에 관하여 유지될 수 있고; 이것은 포함된 그리드 파라미터들의 일부 또는 전부에 관한 비선형 또는 유계 함수를 포함할 수 있는데, 예를 들어 여기서 일정 범위 내에서 허용가능하지만 일단 그들이 특정 임계치를 가로지르면 허용불가능한 압력 또는 전력 품질과 같은 특정 그리드 파라미터들의 효과들에서의 뚜렷한 비선형성이 있다.

[0057] 그리드 액션들의 직접 자동 제어에 더하여, 본 발명의 일부 예시적인 시스템들 및 방법들은 그리드 정비 및 수리와 같은 인간 참여형 프로세스들을 실험하고 최적화하도록 구성될 수 있어서, 자산(asset)들을 특정 검출된 그리드 조건들에 디스패칭하고, 누출들, 결함들, 또는 노화된 장비와 같은 특정 그리드 조건들에 대처하기 위해 임계적 기간들 및 우선순위들을 확립할 수 있다. 이러한 예들에서, 그리드 액션들은 그리드 자산들의 직접 자동 제어가 아니지만, 인력 및 특정 도구들 둘 모두, 교체 부품들, 및/또는 그리드를 따른 포인트들에 대한 정비 및 수리 능력들을 비롯한, 그리드 리소스들을 지시하는 큐 순서들 및 우선순위들을 통신하는 디스패칭 또는 리소스 할당 도구들의 자동 제어들이다.

[0058] 인간 참여형 액션들에 관한 예들에서, 응답들은, 소정 결함들, 누출들, 또는 그리드 정비 리소스들의 할당을 요구하는 다른 이벤트들의 우도와 대응하도록 그리드 센서 데이터를 특성화 및/또는 분류함으로써 식별될 수 있는, 검출된 잠재적인 병리학에 대응하는 공간을 생성함으로써 인덱싱되는데, 이때 그러한 차원들은 검출된 이벤트가 다양한 정비 리소스들에 응답되어야 하는 특정 응답 기간들에 대한 포인트들, 및 일부 예들에서, 검출된 이벤트에 응답하지 않는 "무 동작" 옵션을 표현하는 포인트를 포함한다.

- [0059] 도 4는 가능한 액션들을 인덱싱하고, 다양한 지연 기간들이 시험될 수 있는 실험 유닛들을 생성하고, 그러한 가능한 액션들과 연관된 지연 시간들을 변경할 기회들을 식별하고, 결과들을 측정하고, 결과들을 특정 지연들과 연관시키고, 특정 지연들과 연관된 결과들을 사용하여 큐잉 규칙들을 생성 및/또는 업데이트함으로써, 자동 실험을 통해 인간 참여형 그리드 액션들에 대한 큐잉 규칙들을 결정하기 위한 단계들을 상세하게 나타내는 흐름도이다.
- [0060] 단계(400)에서 그리드 액션들 및 대응하는 변수들의 인덱스가 생성된다. 그리드 액션들은 이러한 실시 형태에서, 인간 참여형 액션들인데, 이는 자동으로 스케줄링 또는 조정될 수 있고, 언제 및/또는 어떤 순서로 그리드를 따라 포인트들에 특정 액션들을 수행할지를 나타내는 기계-생성된 큐들 또는 순서들을 입력에 자동으로 분배함으로써 수행될 수 있다. 이러한 그리드 액션들은, 예를 들어, 결함들, 구성요소 마모 또는 고장, 및/또는 누출들을 나타내는 특정 그리드 파라미터들, 또는 그리드 구성요소들이 특정 노화 또는 사용 임계치들에 적중함과 같은 특정 그리드 사건들과 연관될 수 있다. 각각의 그리드 액션은 그것과 연관되는 다수의 대응하는 변수들을 갖는데, 변수들은 인덱스에서 차원 및 선택적으로 하위 차원들로서 표현될 수 있다. 차원은 사건의 검출로부터 그 사건에 대한 액션의 적용까지의 이산 개수의 시간 범위들을 포함하고, 또한 액션이 적용되지 않을 수 있는 "무 동작" 옵션을 포함할 수 있다. 액션을 수행하도록 지시되는 특정 리소스들에 응답하는 그리드 사건의 심각도(severity), 또는 자동으로 큐잉된 리소스들에 의해 액션이 그리드에 결국 적용되는 방송 시간대, 또는 그리드 액션의 유효성에 영향을 주고 제어될 수 있는 다른 그러한 하위 변수들과 같은, 액션에 대응하는 하위 차원들이 있을 수 있다.
- [0061] 단계(402)에서 액션을 둘러싸는 시간적 및 공간적 불확실성들에 기초하여 실험 유닛들이 구성된다. 시간적 및 공간적 불확실성들, 및 선택적으로 다른 변수들, 예를 들어 이러한 그리드 액션들과 연관된 특정 그리드 사건 유형들 또는 인덱싱된 그리드 액션들과 연관되는, 그러한 그리드 액션들의 적용 동안 영향을 받는 그리드 파라미터들이 수신되고 사용되어, 그리드 액션들이 그리드에 대한 서로의 효과들에 관하여 수신된 데이터를 혼동시키는 공간의 영역들 및 시간들을 결정한다. 장비 교체들 또는 수리들과 같은 인간 참여형 액션들의 경우, 특정 결정들과 연관된 장기간 결과들에 관한 데이터를 수집하기 위해 긴 시간적 불확실성들이 요구될 수 있다.
- [0062] 자동 직접 제어 그리드 액션들에서와 마찬가지로, 시간적 및 공간적 불확실성들 자체는, 식별된 기회들에 대해 액션들을 일정하게 유지하지만, 가능한 혼동들의 배제를 지시하고/하거나 데이터가 특정 그리드 액션과 연관되어 그리드 거동에 대한 그의 효과를 결정하게 되는 경계들을 결정하는 데 사용되는 불확실성들을 변경함으로써, 실험을 통해 유도될 수 있다.
- [0063] 단계(404)에서 인간 참여형 그리드 액션을 변경할 기회들이 식별된다. 인간 참여형 그리드 액션을 선택할 기회들은, 그리드 파라미터들의 센서 측정치들을 수신하고 그러한 측정치들에 분류기들을 적용하거나 또는 그들을 분석하여 그리드 사건들을 식별함으로써, 또는 그들의 노화 또는 마모 조건들에 관한 그리드 요소들로부터의 통지들, 또는 사람 조작자에 의한 입력과 같은 그리드 사건의 존재를 나타내는 다른 통신물들을 수신함으로써 한정될 수 있다. 그리드 파라미터 측정치들로부터 그리드 사건들을 결정하는 데 사용되는 분류기들은 심각도뿐만 아니라 센서 데이터에 의해 나타내는 특정 그리드 사건의 존재를 분류할 수 있다. 그 사건에 응답하여 그리드 액션들은, 예를 들어 정비 요원을 디스패칭하여 전기 그리드 상의 결함 있는 국부 변압기를 조사하거나, 또는 특정 심각도 분류의 누출에 정비 요원을 디스패칭한다. 현재 실험 유닛들은 또한 인간 참여형 그리드 액션들을 변경할 기회들을 식별하는 데 사용된다. 진행 중인 실험 유닛들은, 기회들이 존재하지 않거나, 또는 새로운 시도와 진행 중인 시도가 서로를 혼동시킬 가능성을 제거하기 위해 어떤 시도들이 행해질 수 있는지에 관하여 제약될 수 있게 되는 기간 및 공간의 영역들을 생성한다. 진행 중인 실험 유닛들은 검출된 사건들이 인간 참여형 그리드 액션들을 변경할 기회들로서 분류되는 것을 방지할 수 있거나, 또는 식별된 기회에 대한 그리드 액션들 및 연관된 변수들과 하위 변수들의 후속 할당을 제약할 수 있다. 검출된 사건 주위의 실험 유닛들에 의해 생성된 제약들은, 예를 들어, 단계(406)에서의 할당에 대한 가능성들에 영향을 주는, 기회 식별에 부속된 메타데이터로서, 식별된 기회와 연관될 수 있다.
- [0064] 단계(406)에서 인간 참여형 그리드 액션들이 식별된 기회들에 할당된다. 이러한 할당은 그리드 액션, 그리드 액션이 실행될 기간, 및 기회에 대한 그 액션을 갖는 특정 연관된 하위 변수들의 선택을 포함할 수 있다. 선택은 실험 설계에 따른 시도를 생성한다. 실험 설계들은, 예를 들어 무작위화된 시도들, 라틴 방진 및 부분 라틴 방진 설계들, 적응적 설계들 또는 매칭된 제어 연구들을 포함할 수 있다. 개별 기회에 대한 선택은 무작위화를 통해 이루어지는데, 이는 실험 설계의 필요성들, 과거 샘플들, 및/또는 그리드 액션들, 연관된 변수들, 및/또는 하위 변수들의 결과들에 관한 현재 실험 데이터에 기초한 결과의 예측들에 기초하여 제약될 수 있다.

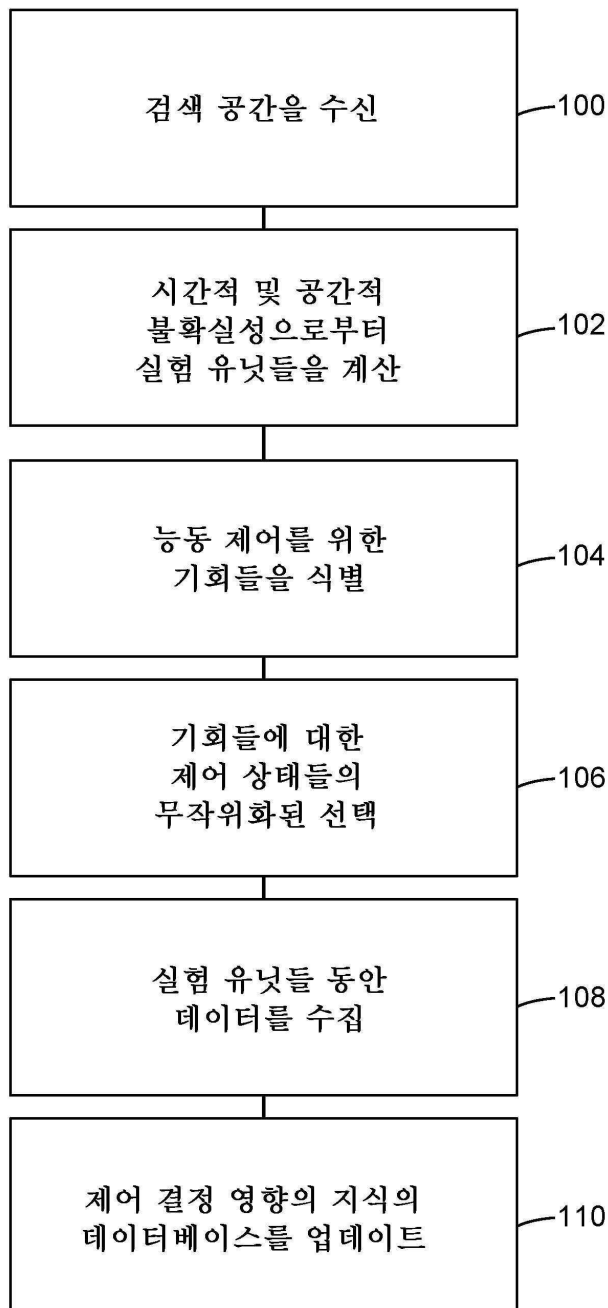
- [0065] 기회와 연관된 제약들은 기회에 대해 선택될 수 있는 가능한 변경들을 한정하는 데 사용될 수 있다. 제약들은, 예를 들어 식별된 기회와 연관된 메타데이터로서 수신된다. 제약들은, 예를 들어 사건에 대한 하나의 세트의 잠재적 응답들을 제거함으로써 - 그 세트의 잠재적 응답들은, 공간적 및 시간적 불확실성들이 기회의 그것들과 중첩되는 진행 중인 실험 유닛의 시도를 혼동시킬 것이기 때문에 - 가능한 변경들을 한정할 수 있거나, 또는 잠재적으로 중첩되는 진행 중인 실험 유닛들에서 시험되는 연관된 변수들 또는 하위 변수들에 영향을 주는 그리드 액션들을 선택으로부터 배제함으로써 특정 연관된 변수들 또는 하위 변수들 간의 혼동을 한정할 수 있다.
- [0066] 선택은 사건의 심각도뿐만 아니라 사건의 유형 및 유사한 유형의 사건들에 기초할 수 있지만, 다양한 심각도가 선택 프로세스 동안 매우 상이하게 처리될 수 있다. 센서 데이터로부터 사건들을 식별하는 데 사용되는 분류기들은, 사건에 대한 심각도 레벨을 결정하는 능력을 갖는, 특정 유형의 이벤트, 예를 들어 가스 또는 워터 그리드 상의 누출들에 대한 다수의 또는 단계형(tiered) 분류기들을 포함할 수 있다. 심각도 레벨은, 기존의 인간이 개발한 위험 분류 구조의 측면에서, 예컨대 가스 그리드 상의 카테고리 1, 2, 및 3 누출들로 있을 수 있다. 각각의 심각도 레벨 분류는 시험에 대한 응답 시간들의 그 자신의 범위를 갖는 상이한 그리드 액션으로서 처리될 수 있고, 그리드 사건의 심각도 또는 그 특정 카테고리에 대처할 응답 시간들의 허용가능한 범위들에 대한 그 자신의 제약들을 가질 수 있다.
- [0067] 실험 설계는 적응적 설계일 수 있고/있거나, 각각의 가능한 선택의 가능성 있는 결과에 기초하여 무작위화를 제약함으로써 상이한 변수들의 유효성의 탐색과 그러한 변수들의 유효성에 대해 현재 데이터를 활용하는 것 사이에서 균형을 맞출 수 있다. 이것은 예를 들어, 확률 매칭을 통해 수행될 수 있는데, 여기서 기회에 대한 특정 가능한 선택들에 대한 목적 함수 출력들 또는 그리드 파라미터들에 대한 현재 평균들과 신뢰 구간들이 비교된다. 그리드 파라미터들이 사용된 데이터인 경우, 그러한 평균들 및 신뢰 구간들이 목적 함수에 입력되어 그리드 액션 및 선택적인 연관된 변수들 및 하위 변수들의 그 특정 선택에 대해 예상될 수 있는 값들의 범위를 결정한다. 각각의 선택에 대한 평균들의 값 및 신뢰 구간들의 중첩은 가장 높은 목적 함수 출력 값을 각각 생성하는 우도를 산출하는 데 사용되고, 각각의 잠재적 선택에 대한 그 우도는, 특정 선택이 기회에 대해 선택되며 그에 할당된 선택일 우도로서 사용된다.
- [0068] 선택된 인간 참여형 그리드 액션은 큐 순서에 할당되고, 그리드 정비 리소스들 및 인력에 분배된다. 큐 순서는 선택된 그리드 액션들, 및 그들이 구현되어야 하는 기간들에 따라 구성되어, 각각의 선택된 액션을 순서대로 할당한다. 각각의 액션의 시간 및 위치는 그 액션 및 큐에서 그것을 뒤따르는 후속 액션들이 수행될 기간들을 산출하는 데 사용되고, 그러한 시간들은 선택된 기간들과 일치하는 시간들에 선택된 그리드 액션들의 완료를 지시하는 큐 순서를 생성하는 데 사용된다. 선택된 그리드 액션들, 기간들, 및 선택적으로, 연관된 변수들 및 하위 변수들로부터의 큐 순서의 생성은 또한 사건들에 대한 인간 정의된 위험 평가 계층들에 의해 제약될 수 있는데, 이는, 예를 들어 전문가 시스템과의 인간 인터페이스를 통해 인간이 생성할 수 있고, 데이터베이스에 저장될 수 있다. 예를 들어, 가스 그리드 상에, 카테고리1 누출들, 카테고리2 누출들, 카테고리3 누출들, 및 조사 중인 비정상적인 압력 변경들에 대해, 4개의 계층들이 있을 수 있다. 그러한 경우들에, 카테고리1 누출들에 대한 계층들은 다른 계층들에 비해 완벽한 우선순위를 취하여, 카테고리1 누출로서 분류된 사건에 대처하는 임의의 액션이 모든 다른 계층들에 대처하는 선택된 액션들보다 앞의 큐 순서에 배치되는 것을 보장하고, 리소스들이 액션들을 큐잉할 시의 변경의 위험들을 완화시킬 수 있는 계층들에 따라 큐잉된 사건들 및 그리드 액션들에 디스패치되는 것을 보장하고, 응답 시간들 및 순서들을 변경할 수 있다.
- [0069] 이러한 큐 순서는, 예를 들어 이메일들 또는 텍스트 메시지들과 같은 자동 전자 통신 수단, 또는 디스패칭 애플리케이션들 또는 도구들 내의 메시지들을 통해 그리드 정비 인력에 분배된다. 분배는 사건들이 발생하거나, 또는 규칙적인 간격으로 큐 순서의 현재 버전이 분배됨에 따라 연속적일 수 있다.
- [0070] 단계(408)에서 선택된 인간 참여형 그리드 액션의 유효성에 대한 데이터가 수집된다. 하나 이상의 그리드 파라미터들을 측정하는 그리드 센서들에 의해 데이터가 수집된다. 데이터는 특정 그리드 액션에 대해 한정되는 적어도 실험 유닛 내에서 이러한 센서들에 의해 수집되고, 그 그리드 액션 및 그의 수반되는 변수들, 예컨대 사건의 검출로부터 인간 참여형 그리드 액션의 실제 적용까지의 시간 및 검출된 사건의 심각도 또는 액션을 수행하기 위해 사건에 디스패칭되는 특정 리소스들과 같은 하위 변수들과 연관된다. 결과 데이터는 수집된 그리드 파라미터 데이터 자체, 예를 들어 전기 그리드로부터의 전력 품질 데이터, 또는 그리드 파라미터 데이터를 사용하여, 예를 들어 전기 그리드 상에서 함수를 통해, 인간 참여형 그리드 액션의 결과에 대한 유효성 메트릭을 산출하는 목적 함수의 출력일 수 있는데, 이 함수는 다수의 그리드 파라미터들, 예를 들어 전력 품질의 개선들, 가용 전력의 레벨들, 및 전기 그리드 상의 검출된 결함들 사이의 시간에 기초하여 가중된 목적 값을 산출한다.

[0071]

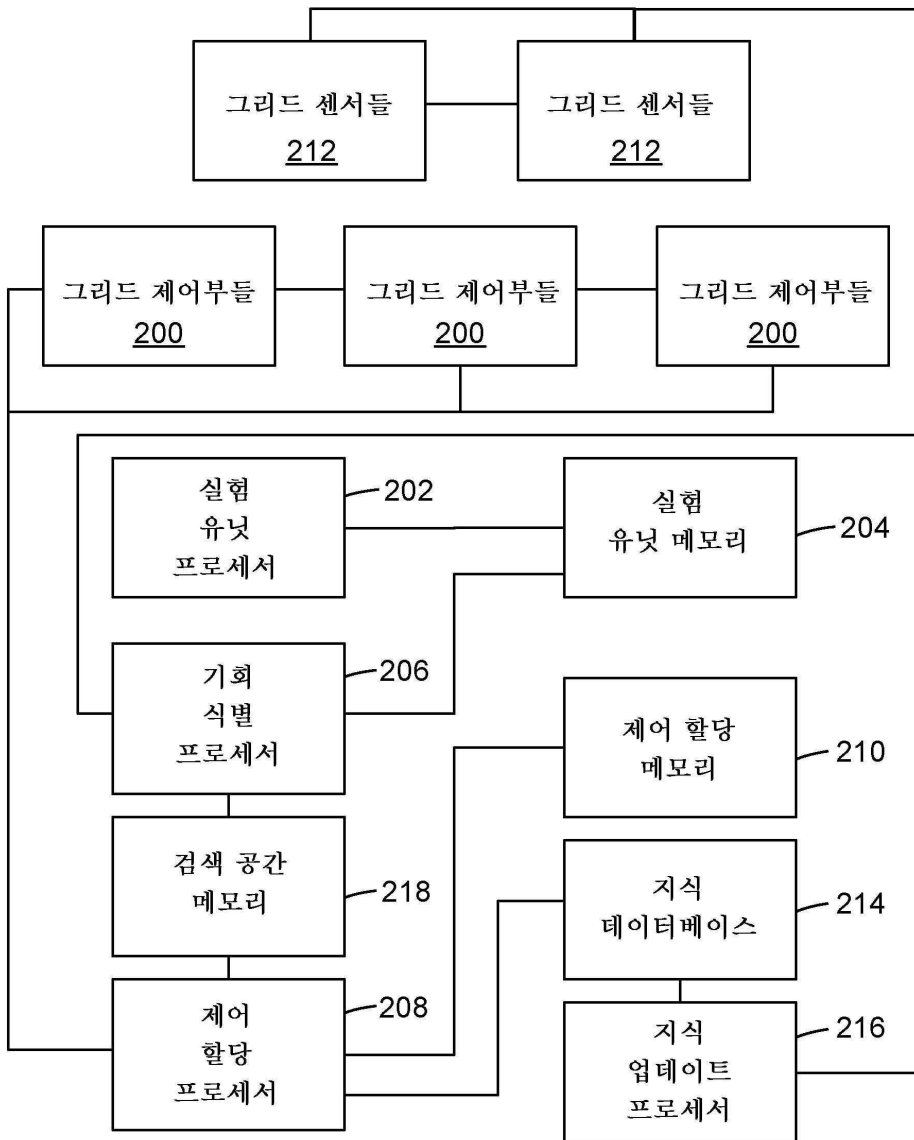
단계(410)에서 개입 유효성 데이터의 데이터베이스가 업데이트된다. 데이터는, 그 데이터가 수집되는 실험 유닛을 통해 특정 개별 그리드 액션들과 연관된다. 그리드 액션에 기초하여, 식별된 기회에 대한 그 인간 참여형 그리드 액션의 적용으로부터의 변수들 및 임의의 하위 변수들의 선택된 레벨들의 지식이 알려져 있고, 특정 그리드 액션과 연관된 수집된 데이터는, 예를 들어 사건을 나타내는 데이터 및 분류기들에 기초한 사건의 특정 심 각도 분류를 위해, 검출된 그리드 사건에 응답하여 액션이 구현되는 시간 프레임을 비롯한, 그 특정 그리드 액션의 변수들 및 선택적으로 하위 변수들에 대한 결과 데이터 세트들에 대한 샘플로서 추가될 수 있다. 이러한 업데이트들은, 새로운 샘플을 각각에 대한 데이터 세트에 추가하고, 그 데이터에 기초하여 평균들을 재계산하고, 이러한 새로운 샘플을 추가한 후의 데이터의 샘플 크기에 기초하여 그러한 평균들 주위의 신뢰 구간들을 재계산함으로써, 각각의 대응하는 변수 및 하위 변수에 대한 데이터 세트들의 평균들 및 신뢰 구간들을 업데이트함으로써 수행된다. 이러한 데이터베이스는 이러한 예시적인 방법의 추가적인 반복들을 통해, 그리고 선택 단계(406)를 통해 추가로 개선되고 활용될 수 있다.

도면

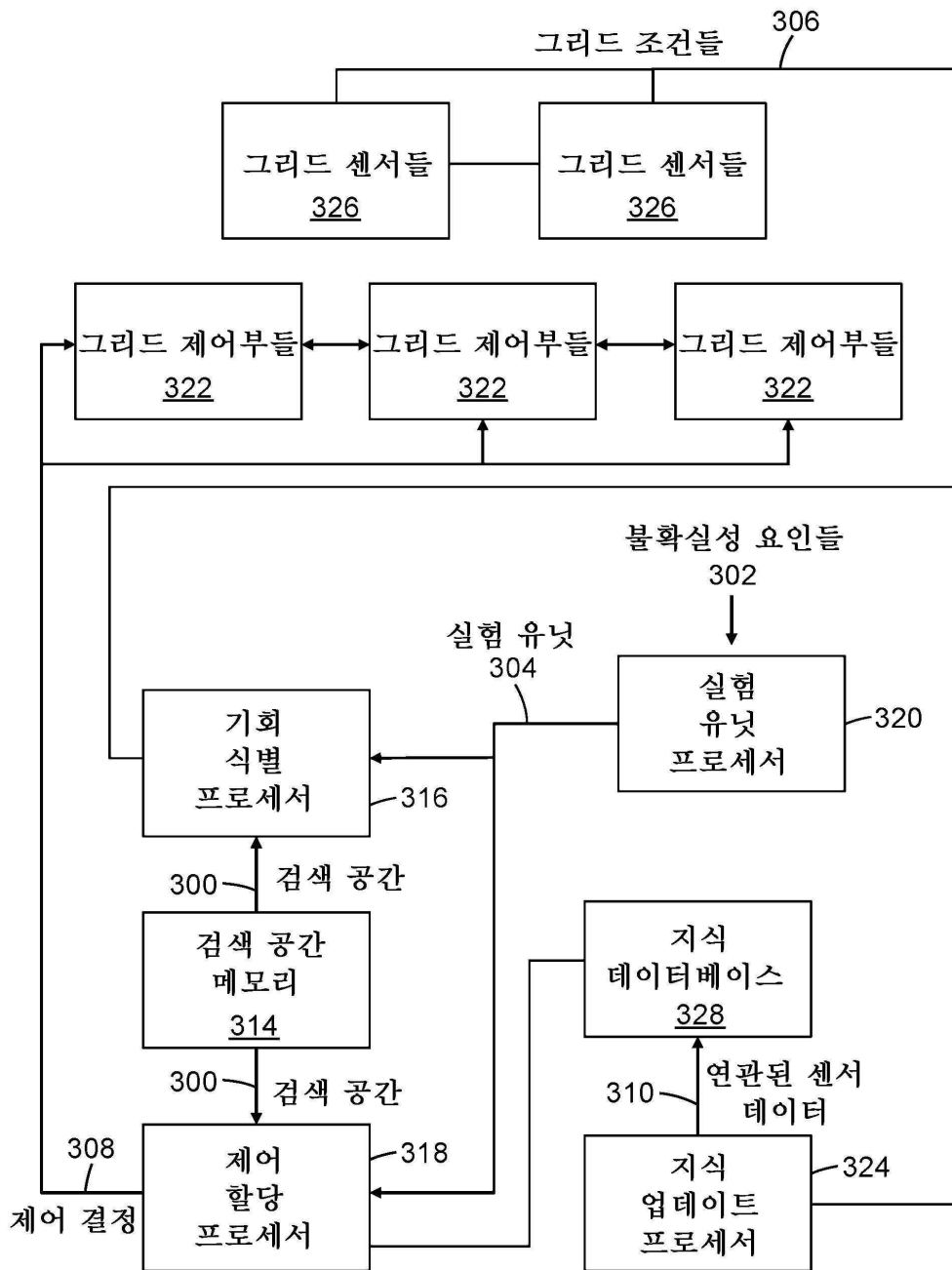
도면1



도면2



도면3



도면4

