



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2024년09월04일

(11) 등록번호 10-2702797

(24) 등록일자 2024년08월30일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
 G01R 25/00 (2006.01) G01R 22/06 (2006.01)
 G01R 22/10 (2006.01) G06N 20/00 (2019.01)

(52) CPC특허분류
 G01R 25/00 (2021.05)
 G01R 22/06 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2022-0084814
 (22) 출원일자 2022년07월11일
 심사청구일자 2022년07월11일

(65) 공개번호 10-2024-0008010
 (43) 공개일자 2024년01월18일

(56) 선행기술조사문헌
 KR102036788 B1
 (뒷면에 계속)

(73) 특허권자
 연세대학교 산학협력단
 서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)

(72) 발명자
 신용준
 서울특별시 서대문구 연세로 50, 제3공학관 C511호(신촌동, 연세대학교)

이결
 서울특별시 서대문구 연세로 50, 제2공학관 B729호(신촌동, 연세대학교)

(74) 대리인
 특허법인우인

전체 청구항 수 : 총 14 항

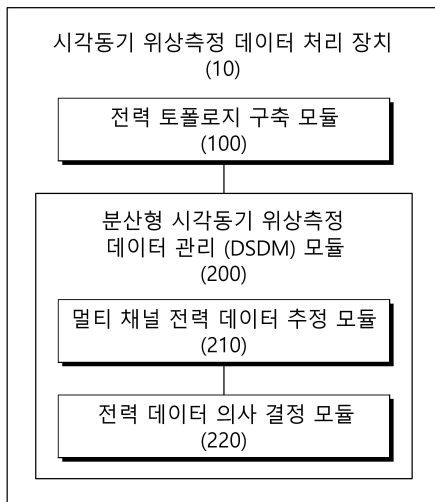
심사관 : 정우열

(54) 발명의 명칭 시각동기 위상측정 데이터의 품질 유지를 위한 실시간 분산 관리 방법

(57) 요약

본 실시예들은 모듈형 데이터 품질 감시 및 복원 모델을 구축하며, 대상 PMU가 배치된 지역 계통의 그래프 분석을 통해 소스 데이터(Neighbor PMUs)를 선정하고, 이웃 PMU들을 활용하여 대상 PMU 데이터를 실시간으로 추정하여, PMU의 데이터 품질 이슈를 실시간으로 해결할 수 있는 시각동기 위상측정 데이터의 품질 유지 방법 및 시각동기 위상측정 데이터 처리 장치를 제공한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류
G01R 22/10 (2013.01)
G06N 20/00 (2021.08)

(56) 선행기술조사문헌
 US20080140326 A1
 CN109659933 A
 JP2014142697 A
 KR101896043 B1
 KR1020160013268 A
 KR1020220052843 A

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711170335
과제번호	2020R1A2B5B03001692
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	중견연구자지원사업
연구과제명	수퍼 그리드 구현을 위한 차세대 전력망 진단 및 모니터링 기술 개발(3/3)
기여율	1/2
과제수행기관명	연세대학교
연구기간	2022.03.01 ~ 2023.02.28

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711153231
과제번호	2017K1A4A3013579
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	해외우수연구기관유치사업
연구과제명	한-미 연구재단 신 전력기술 국제 산학협력 연구센터
기여율	1/2
과제수행기관명	고려대학교
연구기간	2022.01.01 ~ 2022.12.31

공지예외적용 : 있음

명세서

청구범위

청구항 1

시각동기 위상측정 데이터의 품질 유지 방법에 있어서,

전력 계통에 설치된 복수의 전력 데이터 측정기(phasor measurement unit, PMU)에 대해서 토폴로지 그래프 분석을 통해 대상 PMU의 각 채널에 대한 이웃 PMU를 선정하는 단계;

상기 대상 PMU의 채널 개수 및 상기 선정된 이웃 PMU의 개수에 따라 구축된 멀티 채널 전력 데이터 추정 모듈에 상기 선정된 이웃 PMU의 전력 데이터 세트를 입력하는 단계;

상기 선정된 이웃 PMU의 전력 데이터 세트를 기반으로 상기 멀티 채널 전력 데이터 추정 모듈에서 시계열적으로 상기 대상 PMU에 대한 멀티 채널 전력 데이터를 추정하는 단계; 및

상기 대상 PMU에 대한 멀티 채널 전력 데이터를 이용하여 전력 데이터 의사 결정 모듈에서 상기 대상 PMU의 전력 데이터를 결정하는 단계를 포함하는 시각동기 위상측정 데이터의 품질 유지 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 이웃 PMU를 선정하는 단계는,

전력 데이터 측정기가 설치된 복수의 제1 버스 및 전력 데이터 측정기가 설치되지 않은 복수의 제2 버스가 그리드 설계에 따라 간선으로 연결된 제1 토폴로지 그래프를 너비 우선 검색을 수행하여 상기 전력 데이터 측정기가 설치된 상기 복수의 제1 버스 중에서 너비 우선 검색 순위가 기준 순위 보다 높은 제3 버스를 상기 대상 PMU에 간선으로 연결된 제2 토폴로지 그래프를 생성하고, 상기 제2 토폴로지 그래프에서 상기 제3 버스를 출력하는 것을 특징으로 하는 시각동기 위상측정 데이터의 품질 유지 방법.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 이웃 PMU를 선정하는 단계는,

상기 제3 버스 중에서 (i) 상기 대상 PMU와 데이터를 교환할 수 없는 다른 전력 데이터 집중기(Phasor Data Concentrator, PDC)에 속하거나 (ii) 다른 상호 접속된 그리드 영역에 배치되어 다른 특성을 나타내는 제4 버스를 제외하여 출력하는 것을 특징으로 하는 시각동기 위상측정 데이터의 품질 유지 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 이웃 PMU의 전력 데이터 세트를 입력하는 단계는,

상기 대상 PMU의 관계에서 이웃 버스의 불량 데이터를 고려하여 상기 채널 개수에서 버스 단선 개수를 선택하는 조합(Combination)의 수에 따라 상기 멀티 채널 전력 데이터 추정 모듈의 멀티 채널 개수를 설정하고,

상기 이웃 PMU의 전력 데이터 세트는 상기 이웃 버스의 시각동기 위상측정(Synchrophasor) 데이터 중에서 단선된 이웃 버스의 시각동기 위상측정 데이터를 제외한 조합 데이터에 해당하는 것을 특징으로 하는 시각동기 위상측정 데이터의 품질 유지 방법.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 대상 PMU에 대한 멀티 채널 전력 데이터를 추정하는 단계는,

상기 설정한 멀티 채널 개수에 따라 각각의 장단기 메모리(Long Short-Term Memory, LSTM)를 통해 상기 조합 데이터를 기반으로 상기 조합에 해당하는 전력 데이터를 병렬적으로 추정하고, 추정한 전력 데이터를 결합하여 상기 멀티 채널 전력 데이터를 출력하는 것을 특징으로 하는 시각동기 위상측정 데이터의 품질 유지 방법.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 전력 데이터 의사 결정 모듈은 입력 상태를 판단하는 제1 의사 결정 모듈 및 상기 입력 상태를 기반으로 최종 출력을 결정하는 제2 의사 결정 모듈을 포함하는 것을 특징으로 하는 시각동기 위상측정 데이터의 품질 유지 방법.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 제1 의사 결정 모듈은 상기 멀티 채널 전력 데이터의 통계 분포를 분석한 결과에 따라 정상 입력 상태 및 이상 입력 상태를 구분하는 것을 특징으로 하는 시각동기 위상측정 데이터의 품질 유지 방법.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 제1 의사 결정 모듈은 상기 멀티 채널 전력 데이터의 평균을 산출하고, 상기 멀티 채널 전력 데이터의 평균과 상기 멀티 채널 전력 데이터 간의 제1 전체 벡터 에러 평균 거리를 산출하고, 상기 제1 전체 벡터 에러 평균 거리의 평균 반경을 제1 기준 조건과 비교한 결과에 따라 상기 제1 기준 조건보다 작으면 상기 정상 입력 상태로 판단하는 것을 특징으로 하는 시각동기 위상측정 데이터의 품질 유지 방법.

청구항 9

제7항에 있어서,

상기 제1 의사 결정 모듈은 상기 정상 입력 상태에서 미리 학습된 완전 연결 네트워크로 정의된 조정 네트워크를 통해 조합된 상기 멀티 채널 전력 데이터의 출력을 결정하는 것을 특징으로 하는 시각동기 위상측정 데이터의 품질 유지 방법.

청구항 10

제7항에 있어서,

상기 제2 의사 결정 모듈은 상기 정상 입력 상태 및 상기 이상 입력 상태, 시스템 동작 조건, 데이터 품질 조건으로 구분되어 정의된 의사 결정 테이블을 참고하여 상기 대상 PMU의 최종 전력 데이터를 출력하는 것을 특징으로 하는 시각동기 위상측정 데이터의 품질 유지 방법.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 제2 의사 결정 모듈은 이전 시간에서 결정된 대상 PMU의 전력 데이터 및 현재 시간에서 추정된 대상 PMU의 전력 데이터 간의 제2 전체 벡터 에러 평균 거리를 산출하고, 상기 제2 전체 벡터 에러 평균 거리를 제2 기준 조건과 비교한 결과에 따라 상기 시스템 동작 조건을 정상 동작 상태 및 이벤트 발생 상태로 구분하는 것을 특징으로 하는 시각동기 위상측정 데이터의 품질 유지 방법.

청구항 12

제10항에 있어서,

상기 제2 의사 결정 모듈은 현재 시간에서 측정된 대상 PMU의 전력 데이터 및 상기 현재 시간에서 추정된 대상 PMU의 전력 데이터 간의 제3 전체 벡터 에러 평균 거리를 산출하고, 상기 제3 전체 벡터 에러 평균 거리를 제3 기준 조건과 비교한 결과에 따라 상기 데이터 품질 조건을 양호 상태 및 불량 상태로 구분하는 것을 특징으로 하는 시각동기 위상측정 데이터의 품질 유지 방법.

청구항 13

시각동기 위상측정 데이터 처리 장치에 있어서,

전력 계통에 설치된 복수의 전력 데이터 측정기(phasor measurement unit, PMU)에 대해서 토폴로지 그래프 분석을 통해 대상 PMU의 각 채널에 대한 이웃 PMU를 선정하는 전력 토폴로지 구축 모듈;

상기 대상 PMU의 채널 개수 및 상기 선정된 이웃 PMU의 개수에 따라 구축된 멀티 채널 전력 데이터 추정 모듈에 상기 선정된 이웃 PMU의 전력 데이터 세트를 입력하고, 상기 선정된 이웃 PMU의 전력 데이터 세트를 기반으로 상기 멀티 채널 전력 데이터 추정 모듈에서 시계열적으로 상기 대상 PMU에 대한 멀티 채널 전력 데이터를 추정하는 멀티 채널 전력 데이터 추정 모듈; 및

상기 대상 PMU에 대한 멀티 채널 전력 데이터를 이용하여 전력 데이터 의사 결정 모듈에서 상기 대상 PMU의 전력 데이터를 결정하는 전력 데이터 의사 결정 모듈을 포함하는 시각동기 위상측정 데이터 처리 장치.

청구항 14

제13항에 있어서,

상기 시각동기 위상측정 데이터 처리 장치는 지역 전력 데이터 집중기(Phasor Data Concentrator, PDC) 또는 복수의 지역 전력 데이터 집중기의 데이터를 집중시킨 상위 전력 데이터 집중기에 적용되는 것을 특징으로 하는 시각동기 위상측정 데이터 처리 장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명이 속하는 기술 분야는 시각동기 위상측정 데이터의 분산 품질 관리를 위한 멀티 채널 복구 방법 및 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 이 부분에 기술된 내용은 단순히 본 실시예에 대한 배경 정보를 제공할 뿐 종래기술을 구성하는 것은 아니다.

[0003] 기존의 PMU(phasor measurement unit) 데이터 품질 관리 기술은 중앙집중적 관리기술(centralized synchrophasor data management, CSDM)이 있다. CSDM은 광역 계통에서 취득된 모든 PMU 데이터의 품질 이슈를 한번에 처리하므로, 사소한 데이터 이슈에 대해서도 모든 데이터가 활용되므로 계산적으로 비효율적이고, 지역적으로 나타나는 계통의 동적 특성이 왜곡되는 현상이 발생한다. 모든 데이터를 처리해야 하므로 데이터 복원 알고리즘 모델이 수학적으로 복잡하여, 실시간으로 변화하는 계통 상황(계통 토폴로지 변화 등)을 빠르게 반영할 수 없는 문제가 있다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0004] (특허문헌 0001) 한국공개특허공보 제10-2021-0037202호 (2021.04.06)
- (특허문헌 0002) 한국등록특허공보 제10-1664010호 (2016.10.04)
- (특허문헌 0003) 미국공개특허공보 제2014-0164377호 (2014.06.12)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 본 발명의 실시예들은 PMU의 데이터 품질 이슈를 실시간으로 해결하기 위한 모듈형 데이터 품질 감시 및 복원 모델을 구축하며, 대상 PMU가 배치된 지역 계통의 그래프 분석을 통해 소스 데이터(Neighbor PMUs)를 선정하고, 이웃 PMU들을 활용하여 대상 PMU 데이터를 실시간으로 추정하는 데 발명의 주된 목적이 있다.

[0006] 본 발명의 명시되지 않은 또 다른 목적들은 하기의 상세한 설명 및 그 효과로부터 용이하게 추론할 수 있는 범위 내에서 추가적으로 고려될 수 있다.

과제의 해결 수단

[0007] 본 실시예의 일 측면에 의하면, 시각동기 위상측정 데이터의 품질 유지 방법에 있어서, 전력 계통에 설치된 복수의 전력 데이터 측정기(phasor measurement unit, PMU)에 대해서 토폴로지 그래프 분석을 통해 대상 PMU의 각 채널에 연관도가 높은 이웃 PMU를 선정하는 단계; 상기 대상 PMU의 채널 개수 및 상기 선정된 이웃 PMU의 개수에 따라 구축된 멀티 채널 전력 데이터 추정 모듈에 상기 선정된 이웃 PMU의 전력 데이터 세트를 입력하는 단계; 상기 선정된 이웃 PMU의 전력 데이터 세트를 기반으로 상기 멀티 채널 전력 데이터 추정 모듈에서 시계열적으로 상기 대상 PMU에 대한 멀티 채널 전력 데이터를 추정하는 단계; 및 상기 대상 PMU에 대한 멀티 채널 전력 데이터를 이용하여 전력 데이터 의사 결정 모듈에서 상기 대상 PMU의 전력 데이터를 결정하는 단계를 포함하는 시각동기 위상측정 데이터의 품질 유지 방법을 제공한다.

[0008] 상기 이웃 PMU를 선정하는 단계는, 전력 데이터 측정기가 설치된 복수의 제1 버스 및 전력 데이터 측정기가 설치되지 않은 복수의 제2 버스가 그리드 설계에 따라 간선으로 연결된 제1 토폴로지 그래프를 너비 우선 검색을 수행하여 상기 전력 데이터 측정기가 설치된 상기 복수의 제1 버스 중에서 너비 우선 검색 순위가 기준 순위 보다 높은 제3 버스를 상기 대상 PMU에 간선으로 연결된 제2 토폴로지 그래프를 생성하고, 상기 제2 토폴로지 그래프에서 상기 제3 버스를 출력할 수 있다.

[0009] 상기 이웃 PMU를 선정하는 단계는, 상기 제3 버스 중에서 (i) 상기 대상 PMU와 데이터를 교환할 수 없는 다른 전력 데이터 집중기(Phasor Data Concentrator, PDC)에 속하거나 (ii) 다른 상호 접속된 그리드 영역에 배치되어 다른 특성을 나타내는 제4 버스를 제외하여 출력할 수 있다.

[0010] 상기 이웃 PMU의 전력 데이터 세트를 입력하는 단계는, 상기 대상 PMU의 관계에서 이웃 버스의 불량 데이터를 고려하여 상기 채널 개수에서 버스 단선 개수를 선택하는 조합(Combination)의 수에 따라 상기 멀티 채널 전력 데이터 추정 모듈의 멀티 채널 개수를 설정할 수 있다.

[0011] 상기 이웃 PMU의 전력 데이터 세트는 상기 이웃 버스의 시각동기 위상측정(Synchrophasor) 데이터 중에서 단선된 이웃 버스의 시각동기 위상측정 데이터를 제외한 조합 데이터에 해당할 수 있다.

[0012] 상기 대상 PMU에 대한 멀티 채널 전력 데이터를 추정하는 단계는, 상기 설정한 멀티 채널 개수에 따라 각각의 장단기 메모리(Long Short-Term Memory, LSTM)를 통해 상기 조합 데이터를 기반으로 상기 조합에 해당하는 전력 데이터를 병렬적으로 추정하고, 추정한 전력 데이터를 결합하여 상기 멀티 채널 전력 데이터를 출력할 수 있다.

[0013] 상기 전력 데이터 의사 결정 모듈은 입력 상태를 판단하는 제1 의사 결정 모듈 및 상기 입력 상태를 기반으로 최종 출력을 결정하는 제2 의사 결정 모듈을 포함할 수 있다.

[0014] 상기 제1 의사 결정 모듈은 상기 멀티 채널 전력 데이터의 통계 분포를 분석한 결과에 따라 정상 입력 상태 및 이상 입력 상태를 구분할 수 있다.

[0015] 상기 제1 의사 결정 모듈은 상기 멀티 채널 전력 데이터의 평균을 산출하고, 상기 멀티 채널 전력 데이터의 평균과 상기 멀티 채널 전력 데이터 간의 제1 전체 벡터 에러 평균 거리를 산출하고, 상기 제1 전체 벡터 에러 평균 거리의 평균 반경을 제1 기준 조건과 비교한 결과에 따라 상기 기준 평균 거리보다 작으면 상기 정상 입력 상태로 판단할 수 있다.

[0016] 상기 제1 의사 결정 모듈은 상기 정상 입력 상태에서 미리 학습된 완전 연결 네트워크로 정의된 조정 네트워크를 통해 상기 멀티 채널 전력 데이터의 최적 조합된 출력을 결정할 수 있다.

[0017] 상기 제2 의사 결정 모듈은 상기 정상 입력 상태 및 상기 이상 입력 상태, 시스템 동작 조건, 데이터 품질 조건으로 구분되어 정의된 의사 결정 테이블을 참고하여 상기 대상 PMU의 최종 전력 데이터를 출력할 수 있다.

[0018] 상기 제2 의사 결정 모듈은 이전 시간에서 결정된 대상 PMU의 전력 데이터 및 현재 시간에서 추정된 대상 PMU의 전력 데이터 간의 제2 전체 벡터 에러 평균 거리를 산출하고, 상기 제2 전체 벡터 에러 평균 거리를 제2 기준 조건과 비교한 결과에 따라 상기 시스템 동작 조건을 정상 동작 상태 및 이벤트 발생 상태로 구분할 수 있다.

[0019] 상기 제2 의사 결정 모듈은 현재 시간에서 측정된 대상 PMU의 전력 데이터 및 상기 현재 시간에서 추정된 대상 PMU의 전력 데이터 간의 제3 전체 벡터 에러 평균 거리를 산출하고, 상기 제3 전체 벡터 에러 평균 거리를 제3

기준 조건과 비교한 결과에 따라 상기 데이터 품질 조건을 양호 상태 및 불량 상태로 구분할 수 있다.

[0020] 본 실시예의 다른 측면에 의하면, 시각동기 위상측정 데이터 처리 장치에 있어서, 전력 계통에 설치된 복수의 전력 데이터 측정기(phasor measurement unit, PMU)에 대해서 토폴로지 그래프 분석을 통해 대상 PMU의 각 채널에 연관도가 높은 이웃 PMU를 선정하는 전력 토폴로지 구축 모듈; 상기 대상 PMU의 채널 개수 및 상기 선정된 이웃 PMU의 개수에 따라 구축된 멀티 채널 전력 데이터 추정 모듈에 상기 선정된 이웃 PMU의 전력 데이터 세트를 입력하고, 상기 선정된 이웃 PMU의 전력 데이터 세트를 기반으로 상기 멀티 채널 전력 데이터 추정 모듈에서 시계열적으로 상기 대상 PMU에 대한 멀티 채널 전력 데이터를 추정하는 멀티 채널 전력 데이터 추정 모듈; 및 상기 대상 PMU에 대한 멀티 채널 전력 데이터를 이용하여 전력 데이터 의사 결정 모듈에서 상기 대상 PMU의 전력 데이터를 결정하는 전력 데이터 의사 결정 모듈을 포함하는 시각동기 위상측정 데이터 처리 장치를 제공한다.

[0021] 상기 시각동기 위상측정 데이터 처리 장치는 지역 전력 데이터 집중기(Phasor Data Concentrator, PDC) 또는 복수의 지역 전력 데이터 집중기의 데이터를 집중시킨 상위 전력 데이터 집중기에 적용될 수 있다.

발명의 효과

[0022] 이상에서 설명한 바와 같이 본 발명의 실시예들에 의하면, 모듈형 데이터 품질 감시 및 복원 모델을 구축하며, 대상 PMU가 배치된 지역 계통의 그래프 분석을 통해 소스 데이터(Neighbor PMUs) 선정하고, 이웃 PMU들을 활용하여 대상 PMU 데이터를 실시간으로 추정하여, PMU의 데이터 품질 이슈를 실시간으로 해결할 수 있는 효과가 있다.

[0023] 여기에서 명시적으로 언급되지 않은 효과라 하더라도, 본 발명의 기술적 특징에 의해 기대되는 이하의 명세서에서 기재된 효과 및 그 잠정적인 효과는 본 발명의 명세서에 기재된 것과 같이 취급된다.

도면의 간단한 설명

- [0024] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 시각동기 위상측정 데이터 처리 장치를 예시한 블록도이다.
- 도 2는 본 발명의 다른 실시예에 따른 시각동기 위상측정 데이터의 품질 유지 방법을 예시한 흐름도이다.
- 도 3은 광역 모니터링 시스템을 예시한 도면이다.
- 도 4는 광역 그리드에서 측정된 PMU 신호를 예시한 도면이다.
- 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 시각동기 위상측정 데이터 처리 장치의 데이터 흐름을 예시한 도면이다.
- 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 시각동기 위상측정 데이터 처리 장치의 토폴로지 그래프 분석 동작에 관한 알고리즘을 예시한 도면이다.
- 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 시각동기 위상측정 데이터 처리 장치의 분산형 시각동기 위상측정 데이터 관리 모듈을 예시한 도면이다.
- 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 시각동기 위상측정 데이터 처리 장치의 멀티 채널 전력 데이터 추정 모듈을 예시한 도면이다.
- 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 시각동기 위상측정 데이터 처리 장치의 제1 의사 결정 추정 모듈의 상태 판단 조건을 예시한 도면이다.
- 도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 시각동기 위상측정 데이터 처리 장치의 제2 의사 결정 추정 모듈의 의사 결정 테이블을 예시한 도면이다.
- 도 11은 본 발명의 실시예들의 성능 평가를 위해 적용한 지역 그리드를 예시한 도면이다.
- 도 12는 본 발명의 실시예들이 수행한 토폴로지 탐색 결과를 예시한 도면이다.
- 도 13 내지 도 19는 본 발명의 실시예들의 데이터 복구 결과를 예시한 도면이다.
- 도 20은 본 발명의 실시예들의 성능 평가를 위해 적용한 모의 토폴로지 그래프를 예시한 도면이다.
- 도 21은 본 발명의 실시예들이 수행한 토폴로지 탐색 결과를 예시한 도면이다.
- 도 22는 본 발명의 실시예들의 데이터 복구 결과를 예시한 도면이다.

도 23은 본 발명의 실시예들을 실시하는 컴퓨팅 디바이스를 예시한 블록도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0025] 이하, 본 발명을 설명함에 있어서 관련된 공지기능에 대하여 이 분야의 기술자에게 자명한 사항으로서 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략하고, 본 발명의 일부 실시예들을 예시적인 도면을 통해 상세하게 설명한다.
- [0026] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 시각동기 위상측정 데이터 처리 장치를 예시한 블록도이다.
- [0027] 시각동기 위상측정 데이터 처리 장치(10)는 전력 토폴로지 구축 모듈(100) 및 분산형 시각동기 위상측정 데이터 관리 (Distributed Synchrophasor Data Management, DSDM) 모듈(200)을 포함한다. 분산형 시각동기 위상측정 데이터 관리 모듈(200)은 멀티 채널 전력 데이터 추정 모듈(210) 및 전력 데이터 의사 결정 모듈(220)을 포함한다. 도 1에서 예시적으로 도시한 다양한 구성요소들 중에서 일부 구성요소를 생략하거나 다른 구성요소를 추가로 포함할 수 있다.
- [0028] 전력 토폴로지 구축 모듈(100)은 전력 계통에 설치된 복수의 전력 데이터 측정기(phasor measurement unit, PMU)에 대해서 토폴로지 그래프 분석을 통해 대상 PMU의 각 채널에 연관도가 높은 이웃 PMU를 선정한다.
- [0029] 멀티 채널 전력 데이터 추정 모듈(210)은 대상 PMU의 채널 개수 및 선정된 이웃 PMU의 개수에 따라 구축된 멀티 채널 전력 데이터 추정 모듈에 선정된 이웃 PMU의 전력 데이터 세트를 입력하고, 선정된 이웃 PMU의 전력 데이터 세트를 기반으로 멀티 채널 전력 데이터 추정 모듈에서 시계열적으로 대상 PMU에 대한 멀티 채널 전력 데이터를 추정한다.
- [0030] 전력 데이터 의사 결정 모듈(220)은 대상 PMU에 대한 멀티 채널 전력 데이터를 이용하여 전력 데이터 의사 결정 모듈에서 대상 PMU의 전력 데이터를 결정한다.
- [0031] 전력 데이터 의사 결정 모듈은 입력 상태를 판단하는 제1 의사 결정 모듈 및 입력 상태를 기반으로 최종 출력을 결정하는 제2 의사 결정 모듈을 포함할 수 있다.
- [0032] 제1 의사 결정 모듈은 멀티 채널 전력 데이터의 통계 분포를 분석한 결과에 따라 정상 입력 상태 및 이상 입력 상태를 구분할 수 있다.
- [0033] 제1 의사 결정 모듈은 멀티 채널 전력 데이터의 평균을 산출하고, 멀티 채널 전력 데이터의 평균과 멀티 채널 전력 데이터 간의 제1 전체 벡터 에러 평균 거리를 산출하고, 제1 전체 벡터 에러 평균 거리의 평균 반경을 제1 기준 조건과 비교한 결과에 따라 기준 평균 거리보다 작으면 정상 입력 상태로 판단할 수 있다.
- [0034] 제1 의사 결정 모듈은 정상 입력 상태에서 미리 학습된 완전 연결 네트워크로 정의된 조정 네트워크를 통해 멀티 채널 전력 데이터의 최적 조합된 출력을 결정할 수 있다.
- [0035] 제2 의사 결정 모듈은 정상 입력 상태 및 이상 입력 상태, 시스템 동작 조건, 데이터 품질 조건으로 구분되어 정의된 의사 결정 테이블을 참고하여 대상 PMU의 최종 전력 데이터를 출력할 수 있다.
- [0036] 제2 의사 결정 모듈은 이전 시간에서 결정된 대상 PMU의 전력 데이터 및 현재 시간에서 추정된 대상 PMU의 전력 데이터 간의 제2 전체 벡터 에러 평균 거리를 산출하고, 제2 전체 벡터 에러 평균 거리를 제2 기준 조건과 비교한 결과에 따라 시스템 동작 조건을 정상 동작 상태 및 이벤트 발생 상태로 구분할 수 있다.
- [0037] 제2 의사 결정 모듈은 현재 시간에서 측정된 대상 PMU의 전력 데이터 및 현재 시간에서 추정된 대상 PMU의 전력 데이터 간의 제3 전체 벡터 에러 평균 거리를 산출하고, 제3 전체 벡터 에러 평균 거리를 제3 기준 조건과 비교한 결과에 따라 데이터 품질 조건을 양호 상태 및 불량 상태로 구분할 수 있다.
- [0038] 시각동기 위상측정 데이터 처리 장치에 포함된 구성요소들이 도 1에서는 분리되어 도시되어 있으나, 복수의 구성요소들은 상호 결합되어 적어도 하나의 모듈로 구현될 수 있다. 구성요소들은 장치 내부의 소프트웨어적인 모듈 또는 하드웨어적인 모듈을 연결하는 통신 경로에 연결되어 상호 간에 유기적으로 동작한다. 이러한 구성요소들은 하나 이상의 통신 버스 또는 신호선을 이용하여 통신한다.
- [0039] 시각동기 위상측정 데이터 처리 장치는 하드웨어, 펌웨어, 소프트웨어 또는 이들의 조합에 의해 로직회로 내에서 구현될 수 있고, 범용 또는 특정 목적 컴퓨터를 이용하여 구현될 수도 있다. 장치는 고정배선형(Hardwired) 기기, 필드 프로그램 가능한 게이트 어레이(Field Programmable Gate Array, FPGA), 주문형 반도체(Application Specific Integrated Circuit, ASIC) 등을 이용하여 구현될 수 있다. 또한, 장치는 하나 이상의

프로세서 및 컨트롤러를 포함한 시스템온칩(System on Chip, SoC)으로 구현될 수 있다.

- [0040] 시각동기 위상측정 데이터 처리 장치는 하드웨어적 요소가 마련된 컴퓨팅 디바이스 또는 서버에 소프트웨어, 하드웨어, 또는 이들의 조합하는 형태로 탑재될 수 있다. 컴퓨팅 디바이스 또는 서버는 각종 기기 또는 유무선 통신망과 통신을 수행하기 위한 통신 모듈 등의 통신장치, 프로그램을 실행하기 위한 데이터를 저장하는 메모리, 프로그램을 실행하여 연산 및 명령하기 위한 마이크로프로세서 등을 전부 또는 일부 포함한 다양한 장치를 의미할 수 있다.
- [0041] 도 2는 본 발명의 다른 실시예에 따른 시각동기 위상측정 데이터의 품질 유지 방법을 예시한 흐름도이다.
- [0042] 시각동기 위상측정 데이터의 품질 유지 방법은 컴퓨팅 디바이스 또는 시각동기 위상측정 데이터 처리 장치에 의해 수행될 수 있다.
- [0043] 도 2를 참조하면, 단계 S10에서 전력 계통에 설치된 복수의 전력 데이터 측정기(phasor measurement unit, PMU)에 대해서 토폴로지 그래프 분석을 통해 대상 PMU의 각 채널에 연관도가 높은 이웃 PMU를 선정하는 단계를 수행한다.
- [0044] 단계 S20에서 대상 PMU의 채널 개수 및 선정된 이웃 PMU의 개수에 따라 구축된 멀티 채널 전력 데이터 추정 모듈에 선정된 이웃 PMU의 전력 데이터 세트를 입력하는 단계를 수행한다.
- [0045] 단계 S30에서 선정된 이웃 PMU의 전력 데이터 세트를 기반으로 멀티 채널 전력 데이터 추정 모듈에서 시계열적으로 대상 PMU에 대한 멀티 채널 전력 데이터를 추정하는 단계를 수행한다.
- [0046] 단계 S40에서 대상 PMU에 대한 멀티 채널 전력 데이터를 이용하여 전력 데이터 의사 결정 모듈에서 대상 PMU의 전력 데이터를 결정하는 단계를 수행한다.
- [0047] 이웃 PMU를 선정하는 단계(S10)는 전력 데이터 측정기가 설치된 복수의 제1 버스 및 전력 데이터 측정기가 설치되지 않은 복수의 제2 버스가 그리드 설계에 따라 간선으로 연결된 제1 토폴로지 그래프를 너비 우선 검색을 수행하여 전력 데이터 측정기가 설치된 복수의 제1 버스 중에서 너비 우선 검색 순위가 기준 순위 보다 높은 제3 버스를 대상 PMU에 간선으로 연결된 제2 토폴로지 그래프를 생성하고, 제2 토폴로지 그래프에서 제3 버스를 출력할 수 있다.
- [0048] 이웃 PMU를 선정하는 단계(S10)는 너비 우선 검색 순위가 기준 순위 보다 높은 제3 버스 중에서 (i) 대상 PMU와 데이터를 교환할 수 없는 다른 전력 데이터 집중기(Phasor Data Concentrator, PDC)에 속하거나 (ii) 다른 상호 접속된 그리드 영역에 배치되어 다른 특성을 나타내는 제4 버스를 제외하여 출력할 수 있다.
- [0049] 이웃 PMU의 전력 데이터 세트를 입력하는 단계(S20)는 대상 PMU의 관계에서 이웃 버스의 불량 데이터를 고려하여 채널 개수에서 버스 단선 개수를 선택하는 조합(Combination)의 수에 따라 멀티 채널 전력 데이터 추정 모듈의 멀티 채널 개수를 설정할 수 있다.
- [0050] 이웃 PMU의 전력 데이터 세트는 이웃 버스의 시각동기 위상측정(Synchrophasor) 데이터 중에서 단선된 이웃 버스의 시각동기 위상측정 데이터를 제외한 조합 데이터에 해당할 수 있다.
- [0051] 대상 PMU에 대한 멀티 채널 전력 데이터를 추정하는 단계(S30)는 설정한 멀티 채널 개수에 따라 각각의 장단기 메모리(Long Short-Term Memory, LSTM)를 통해 조합 데이터를 기반으로 조합에 해당하는 전력 데이터를 병렬적으로 추정하고, 추정한 전력 데이터를 결합하여 멀티 채널 전력 데이터를 출력할 수 있다.
- [0052] 도 3은 광역 모니터링 시스템을 예시한 도면이다. 도 4는 광역 그리드에서 측정된 PMU 신호를 예시한 도면이다.
- [0053] 시각동기 위상측정 데이터는 광역 모니터링 시스템(wide-area monitoring system, WAMS)에 적용된다. 시각동기 위상측정 데이터 측정 기술의 핵심 장치는 PMU(Phasor Measurement Unit)이다. PMU는 기존 계통감시 SCADA(supervisory control and data acquisition) 데이터에 비하여 높은 해상도를 가지며, 위치 시스템(GPS)을 이용하여 정확한 시간 정보에 동기화된 전압/전류 위상 및 주파수 등의 전기 값을 측정한다. 다만 취득 데이터 양이 많고, 실시간 계통 감시 및 제어에 활용하기에는 데이터 품질 이슈가 있다. 주요 데이터 품질 이슈로는 누락(missing), 지연(delay), 조작(manipulation or cyberattack) 등이 있다.
- [0054] 본 실시예에 따른 시각동기 위상측정 데이터 처리 장치는 광역 전력계통 감시시스템에서 측정되는 시각동기 위상측정 데이터의 품질 이슈(누락, 통신지연, 사이버공격)를 실시간으로 해결한다.
- [0055] 대상 PMU의 품질 관리를 위한 DSDM 모듈 설계의 첫번째로 계통 토폴로지의 그래프 분석을 통해 대상 PMU의 각

채널에 가장 연관도가 높은 이웃 PMU를 선정한다. 선정된 이웃 PMU의 데이터셋은 대상 PMU의 품질관리를 위한 소스로 활용된다.

- [0056] 대상 PMU의 채널 수와 선정된 이웃 PMU의 수에 따라 다중 채널 LSTM (Long-Short Term Memory) 구조가 구축된다. 각 채널은 특정 이웃 PMU의 손실을 고려하여 대상 PMU의 데이터를 생성해 내도록 학습된다. 대상 PMU가 설치된 계통 지역의 물리적인 토폴로지 변화에도 유연하게 대처할 수 있다.
- [0057] 각 LSTM 채널 출력값들을 활용하여, 현재 취득되고 있는 대상 PMU의 품질을 모니터링하고, 자동화된 의사결정 구조에 따라 손실, 노이즈, 사이버공격 등의 품질 이슈를 해결한다.
- [0058] 본 실시예에 따른 시각동기 위상측정 데이터 처리 장치는 DSDM 모듈이 멀티 채널 LSTM 구조로 되어 있어, 특정 이웃 PMU가 활용 불가능한 상황(계통 토폴로지 변화 등)에 유연한 대처가 가능하다. 의사 결정 과정을 통해 대상 PMU 데이터의 품질 상태 평가를 자동화하며, 최적의(고품질) 데이터를 출력값으로 제공한다. 지역 계통에 특화된 모델로, 지역적 동적 특성을 왜곡시키지 않는다. 사소한 데이터 이슈를 실시간으로 해결할 수 있어 기존 DSDM 기술에게 보다 나은 시작 데이터(initial data)를 제공할 수 있다.
- [0059] 시각동기 위상측정 데이터 처리 장치는 지역 전력 데이터 집중기(Phasor Data Concentrator, PDC) 또는 복수의 지역 전력 데이터 집중기의 데이터를 집중시킨 상위 전력 데이터 집중기에 적용될 수 있다.
- [0060] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 시각동기 위상측정 데이터 처리 장치의 데이터 흐름을 예시한 도면이고, 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 시각동기 위상측정 데이터 처리 장치의 토폴로지 그래프 분석 동작에 관한 알고리즘을 예시한 도면이다.
- [0061] 이웃 PMU를 선정하는 단계는 전력 데이터 측정기가 설치된 복수의 제1 버스 및 전력 데이터 측정기가 설치되지 않은 복수의 제2 버스가 그리드 설계에 따라 간선으로 연결된 제1 토폴로지 그래프를 너비 우선 검색을 수행하여 전력 데이터 측정기가 설치된 복수의 제1 버스 중에서 너비 우선 검색 순위가 기준 순위 보다 높은 제3 버스를 대상 PMU에 간선으로 연결된 제2 토폴로지 그래프를 생성하고, 제2 토폴로지 그래프에서 제3 버스를 출력할 수 있다.
- [0062] 이웃 PMU를 선정하는 단계는 제3 버스 중에서 (i) 대상 PMU와 데이터를 교환할 수 없는 다른 전력 데이터 집중기(Phasor Data Concentrator, PDC)에 속하거나 (ii) 다른 상호 접속된 그리드 영역에 배치되어 다른 특성을 나타내는 제4 버스를 제외하여 출력할 수 있다.
- [0063] B_0 는 대상 버스(시작 노드)이고, B는 버스(노드)이고 E는 전송선(엣지)이다. 큐, 버퍼 큐를 이용해서 최대 탐색 깊이를 고려하여 데이터 처리를 순환한다. 순환하는 과정에서 이웃 버스의 레벨링을 통해 우선 순위를 확인할 수 있다. PMU가 설치/미설치된 버스가 복잡한 구조로 연결된 제1 토폴로지 그래프는 이웃 PMU를 기반으로 단순한 트리 구조의 제2 토폴로지 그래프로 변환된다.
- [0064] 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 시각동기 위상측정 데이터 처리 장치의 분산형 시각동기 위상측정 데이터 관리 모듈을 예시한 도면이다.
- [0065] 분산형 시각동기 위상측정 데이터 관리 모듈은 이웃 PMU의 전력 데이터 세트를 입력하는 동작에서 대상 PMU의 관계에서 이웃 버스의 불량 데이터를 고려하여 채널 개수(N)에서 버스 단선 개수(m)를 선택하는 조합 (Combination, ${}_N C_m$)의 수에 따라 멀티 채널 전력 데이터 추정 모듈의 멀티 채널 개수를 설정할 수 있다.
- [0066] 이웃 PMU의 전력 데이터 세트는 이웃 버스의 시각동기 위상측정(Synchrophasor) 데이터 중에서 단선된 이웃 버스의 시각동기 위상측정 데이터를 제외한 조합 데이터에 해당할 수 있다.
- [0067] 전력 데이터 의사 결정 모듈은 입력 상태를 판단하는 제1 의사 결정 모듈 및 입력 상태를 기반으로 최종 출력을 결정하는 제2 의사 결정 모듈을 포함할 수 있다. 제1 의사 결정 모듈은 조정 네트워크를 포함할 수 있다.
- [0068] 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 시각동기 위상측정 데이터 처리 장치의 멀티 채널 전력 데이터 추정 모듈을 예시한 도면이다.
- [0069] 대상 PMU에 대한 멀티 채널 전력 데이터를 추정하는 동작에서 설정한 멀티 채널 개수에 따라 각각의 장단기 메모리(Long Short-Term Memory, LSTM)를 통해 조합 데이터를 기반으로 조합에 해당하는 전력 데이터를 병렬적으로 추정하고, 추정한 전력 데이터를 결합하여 멀티 채널 전력 데이터를 출력할 수 있다.
- [0070] 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 시각동기 위상측정 데이터 처리 장치의 제1 의사 결정 추정 모듈의 상태 관

단 조건을 예시한 도면이다.

[0071] 제1 의사 결정 모듈은 멀티 채널 전력 데이터의 통계 분포를 분석한 결과에 따라 정상 입력 상태(state 0) 및 이상 입력 상태(state 1)를 구분할 수 있다.

[0072] 제1 의사 결정 모듈은 멀티 채널 전력 데이터의 평균($\bar{d}_k^{B0,j}$)을 산출하고, 멀티 채널 전력 데이터의 평균($\bar{d}_k^{B0,j}$)과 멀티 채널 전력 데이터($\hat{d}_k^{B0,j}$) 간의 제1 전체 벡터 에러 평균 거리(averaged total vector error, ATVE)를 산출하고, 수학적 식 3과 같이 제1 전체 벡터 에러 평균 거리의 평균 반경을 제1 기준 조건(ϵ)과 비교한 결과에 따라 기준 평균 거리보다 작으면 정상 입력 상태로 판단할 수 있다. 제1 기준 조건은 모듈 설계 과정에서 출력 분산을 기반으로 정상 입력 상태의 최대 거리 및 이상 입력 상태의 최소 거리를 고려하여 설정될 수 있다.

수학적 식 1

$$\bar{d}_k^{B0,j} = \frac{1}{nC_m} \sum_{i=1}^{nC_m} \hat{d}_{k,i}^{B0,j}$$

[0073]

수학적 식 2

$$ATVE_i(\hat{d}_{k,i}^{B0}, \bar{d}_k^{B0}) = \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J \frac{|\hat{d}_{k,i}^{B0,j} - \bar{d}_k^{B0,j}|}{|\hat{d}_{k,i}^{B0,j}|}$$

[0074]

수학적 식 3

$$mean(ATVE_i(\hat{d}_{k,i}^{B0}, \bar{d}_k^{B0})) > \epsilon$$

[0075]

[0076] 제1 의사 결정 모듈은 정상 입력 상태에서 미리 학습된 완전 연결 네트워크로 정의된 조정 네트워크를 통해 멀티 채널 전력 데이터의 최적 조합된 출력을 결정할 수 있다.

[0077] 도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 시각동기 위상측정 데이터 처리 장치의 제2 의사 결정 추정 모듈의 의사 결정 테이블을 예시한 도면이다.

[0078] 제2 의사 결정 모듈은 정상 입력 상태 및 이상 입력 상태, 시스템 동작 조건, 데이터 품질 조건으로 구분되어 정의된 의사 결정 테이블을 참고하여 상기 대상 PMU의 최종 전력 데이터를 출력할 수 있다.

[0079] 제2 의사 결정 모듈은 이전 시간(t-1)에서 결정된 대상 PMU의 전력 데이터(d_{k-1}^{B0}) 및 현재 시간(t)에서 추정된 대상 PMU의 전력 데이터(d_k^{B0}) 간의 제2 전체 벡터 에러 평균 거리(ATVE)를 산출하고, 제2 전체 벡터 에러 평균 거리를 제2 기준 조건(γ)과 비교한 결과에 따라 시스템 동작 조건을 정상 동작 상태 및 이벤트 발생 상태로 구분할 수 있다. 제2 기준 조건은 정상 동작 조건의 트레이딩 데이터 세트를 이용하여 설정될 수 있다.

수학식 4

$$ATVE(d_{k-1}^{B0}, \hat{d}_{k,Ch}^{B0}) > \gamma$$

[0080]

[0081] 제2 의사 결정 모듈은 현재 시간에서 측정된 대상 PMU의 전력 데이터($d_{k,Meas}^{B0}$) 및 현재 시간에서 추정된 대상 PMU의 전력 데이터($\hat{d}_{k,Ch}^{B0}$) 간의 제3 전체 벡터 에러 평균 거리(ATVE)를 산출하고, 제3 전체 벡터 에러 평균 거리를 제3 기준 조건(δ)과 비교한 결과에 따라 상기 데이터 품질 조건을 양호 상태 및 불량 상태로 구분할 수 있다. 제3 기준 조건은 모듈의 가능한 예측 에러를 고려하여 설정될 수 있다.

수학식 5

$$ATVE(d_{k,Meas}^{B0}, \hat{d}_{k,Ch}^{B0}) > \delta$$

[0082]

[0083] 도 11은 본 발명의 실시예들의 성능 평가를 위해 적용한 지역 그리드를 예시한 도면이다. 도 12는 본 발명의 실시예들이 수행한 토폴로지 탐색 결과를 예시한 도면이다. 도 13 내지 도 19는 본 발명의 실시예들의 데이터 복구 결과를 예시한 도면이다.

[0084] 실제 그리드를 통해 테스트한 결과, 상태 0 및 상태 1 모두에서 우수한 성능을 보여주는 것을 확인할 수 있다.

[0085] 도 20은 본 발명의 실시예들의 성능 평가를 위해 적용한 모의 토폴로지 그래프를 예시한 도면이다. 도 21은 본 발명의 실시예들이 수행한 토폴로지 탐색 결과를 예시한 도면이다. 도 22는 본 발명의 실시예들의 데이터 복구 결과를 예시한 도면이다.

[0086] 시뮬레이션을 수행한 결과, 상태 0 및 상태 1 모두에서 우수한 성능을 보여주는 것을 확인할 수 있다.

[0087] 도 23은 본 발명의 실시예들을 실시하는 컴퓨팅 디바이스를 예시한 블록도이다.

[0088] 컴퓨팅 디바이스(1010)는 적어도 하나의 프로세서(1020), 컴퓨터 관독 가능한 저장매체(1030) 및 통신 버스(1070)를 포함한다.

[0089] 프로세서(1020)는 컴퓨팅 디바이스(1010)를 동작하도록 제어할 수 있다. 예컨대, 프로세서(1020)는 컴퓨터 관독 가능한 저장 매체(1030)에 저장된 하나 이상의 프로그램들을 실행할 수 있다. 하나 이상의 프로그램들은 하나 이상의 컴퓨터 실행 가능 명령어를 포함할 수 있으며, 컴퓨터 실행 가능 명령어는 프로세서(1020)에 의해 실행되는 경우 컴퓨팅 디바이스(1010)로 하여금 예시적인 실시예에 따른 동작들을 수행하도록 구성될 수 있다.

[0090] 컴퓨터 관독 가능한 저장 매체(1030)는 컴퓨터 실행 가능 명령어 내지 프로그램 코드, 프로그램 데이터 및/또는 다른 적합한 형태의 정보를 저장하도록 구성된다. 컴퓨터 관독 가능한 저장 매체(1030)에 저장된 프로그램(1040)은 프로세서(1020)에 의해 실행 가능한 명령어의 집합을 포함한다. 일 실시예에서, 컴퓨터 관독한 가능 저장 매체(1030)는 메모리(랜덤 액세스 메모리와 같은 휘발성 메모리, 비휘발성 메모리, 또는 이들의 적절한 조합), 하나 이상의 자기 디스크 저장 디바이스들, 광학 디스크 저장 디바이스들, 플래시 메모리 디바이스들, 그 밖에 컴퓨팅 디바이스(1010)에 의해 액세스되고 원하는 정보를 저장할 수 있는 다른 형태의 저장 매체, 또는 이들의 적합한 조합일 수 있다.

[0091] 통신 버스(1070)는 프로세서(1020), 컴퓨터 관독 가능한 저장 매체(1040)를 포함하여 컴퓨팅 디바이스(1010)의 다른 다양한 컴포넌트들을 상호 연결한다.

[0092] 컴퓨팅 디바이스(1010)는 또한 하나 이상의 입출력 장치를 위한 인터페이스를 제공하는 하나 이상의 입출력 인터페이스(1050) 및 하나 이상의 통신 인터페이스(1060)를 포함할 수 있다. 입출력 인터페이스(1050) 및 통신 인터페이스(1060)는 통신 버스(1070)에 연결된다. 입출력 장치(미도시)는 입출력 인터페이스(1050)를 통해 컴퓨팅

디바이스(1010)의 다른 컴포넌트들에 연결될 수 있다.

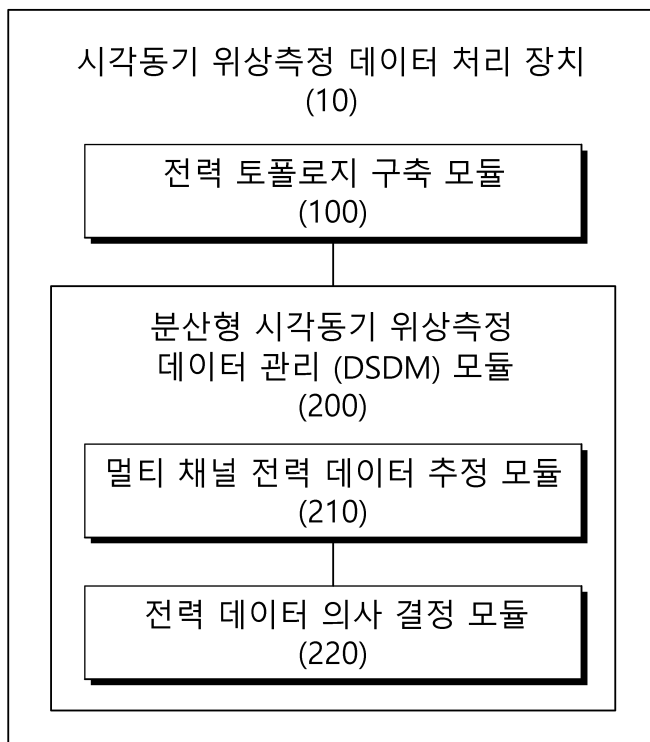
[0093] 도 2에서는 각각의 과정을 순차적으로 실행하는 것으로 기재하고 있으나 이는 예시적으로 설명한 것에 불과하고, 이 분야의 기술자라면 본 발명의 실시예의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 도 2에 기재된 순서를 변경하여 실행하거나 또는 하나 이상의 과정을 병렬적으로 실행하거나 다른 과정을 추가하는 것으로 다양하게 수정 및 변형하여 적용 가능할 것이다.

[0094] 본 실시예들에 따른 동작은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능한 매체에 기록될 수 있다. 컴퓨터 판독 가능한 매체는 실행을 위해 프로세서에 명령어를 제공하는 데 참여한 임의의 매체를 나타낸다. 컴퓨터 판독 가능한 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 또는 이들의 조합을 포함할 수 있다. 예를 들면, 자기 매체, 광기록 매체, 메모리 등이 있을 수 있다. 컴퓨터 프로그램은 네트워크로 연결된 컴퓨터 시스템 상에 분산되어 분산 방식으로 컴퓨터가 읽을 수 있는 코드가 저장되고 실행될 수도 있다. 본 실시예를 구현하기 위한 기능적인(Functional) 프로그램, 코드, 및 코드 세그먼트들은 본 실시예가 속하는 기술분야의 프로그래머들에 의해 용이하게 추론될 수 있을 것이다.

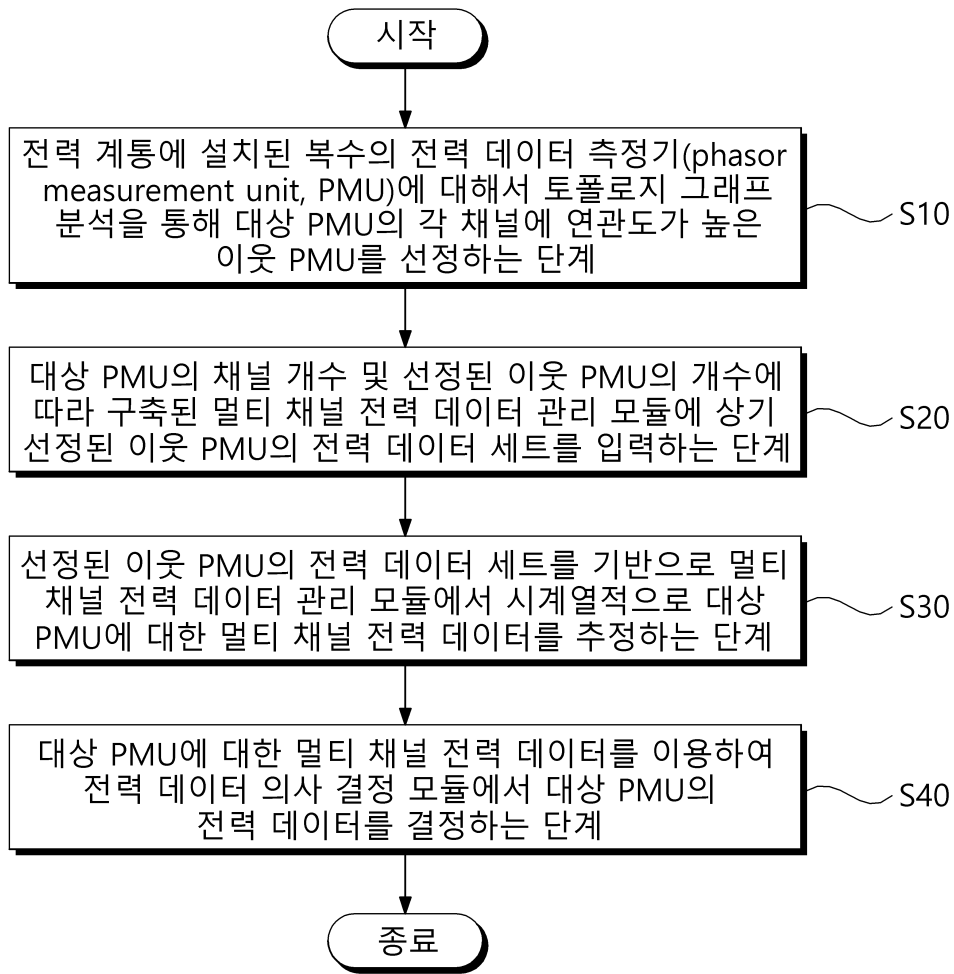
[0095] 본 실시예들은 본 실시예의 기술 사상을 설명하기 위한 것이고, 이러한 실시예에 의하여 본 실시예의 기술 사상의 범위가 한정되는 것은 아니다. 본 실시예의 보호 범위는 아래의 청구범위에 의하여 해석되어야 하며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 기술 사상은 본 실시예의 권리범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

도면

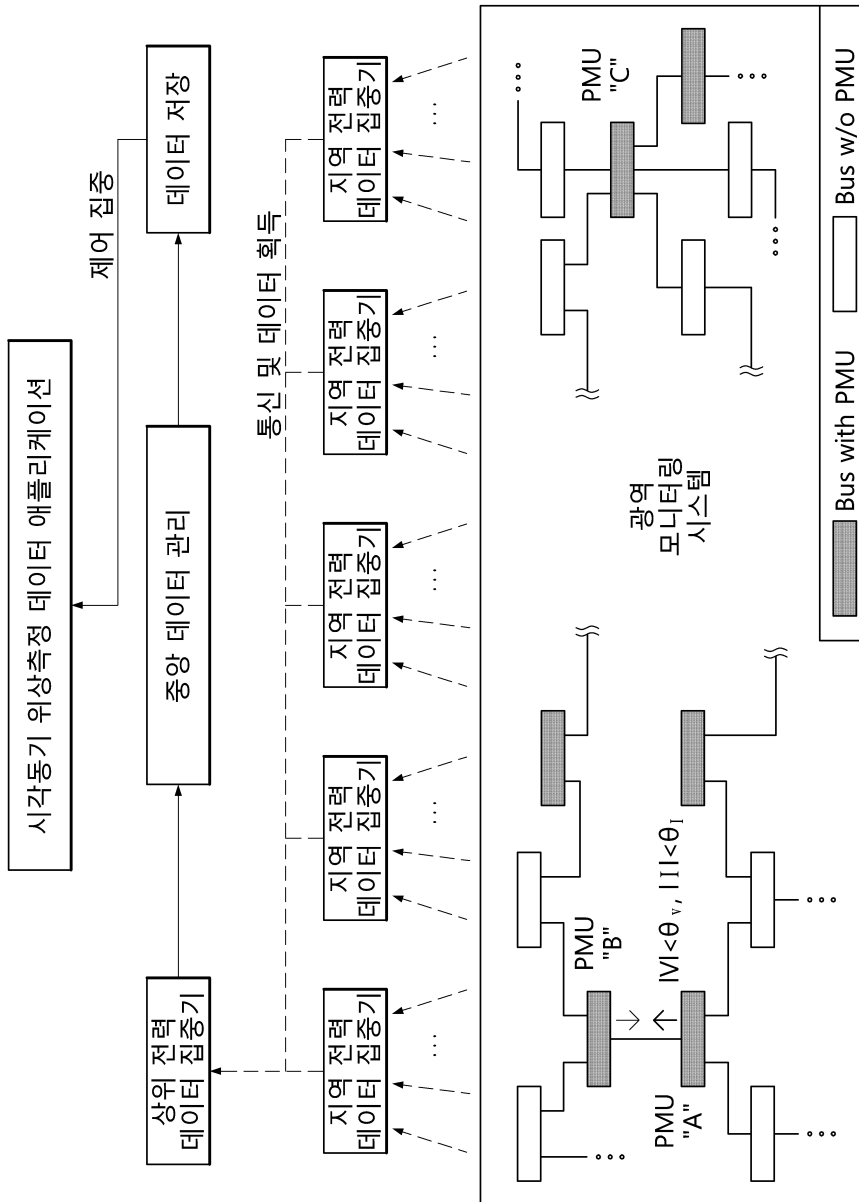
도면1



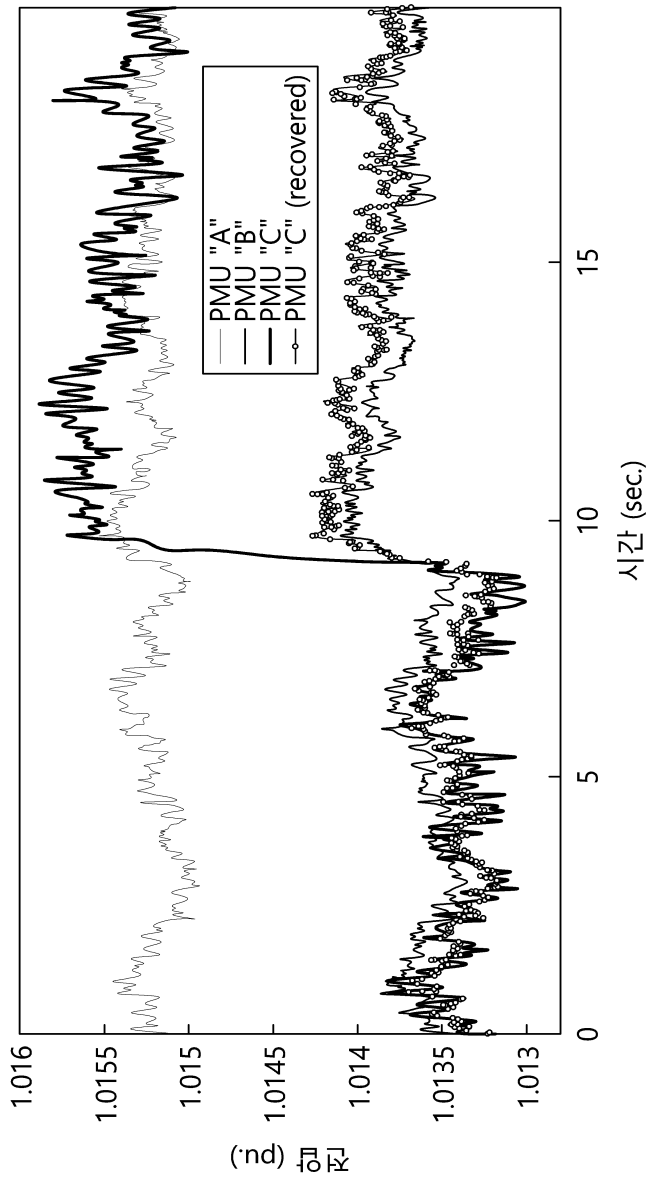
도면2



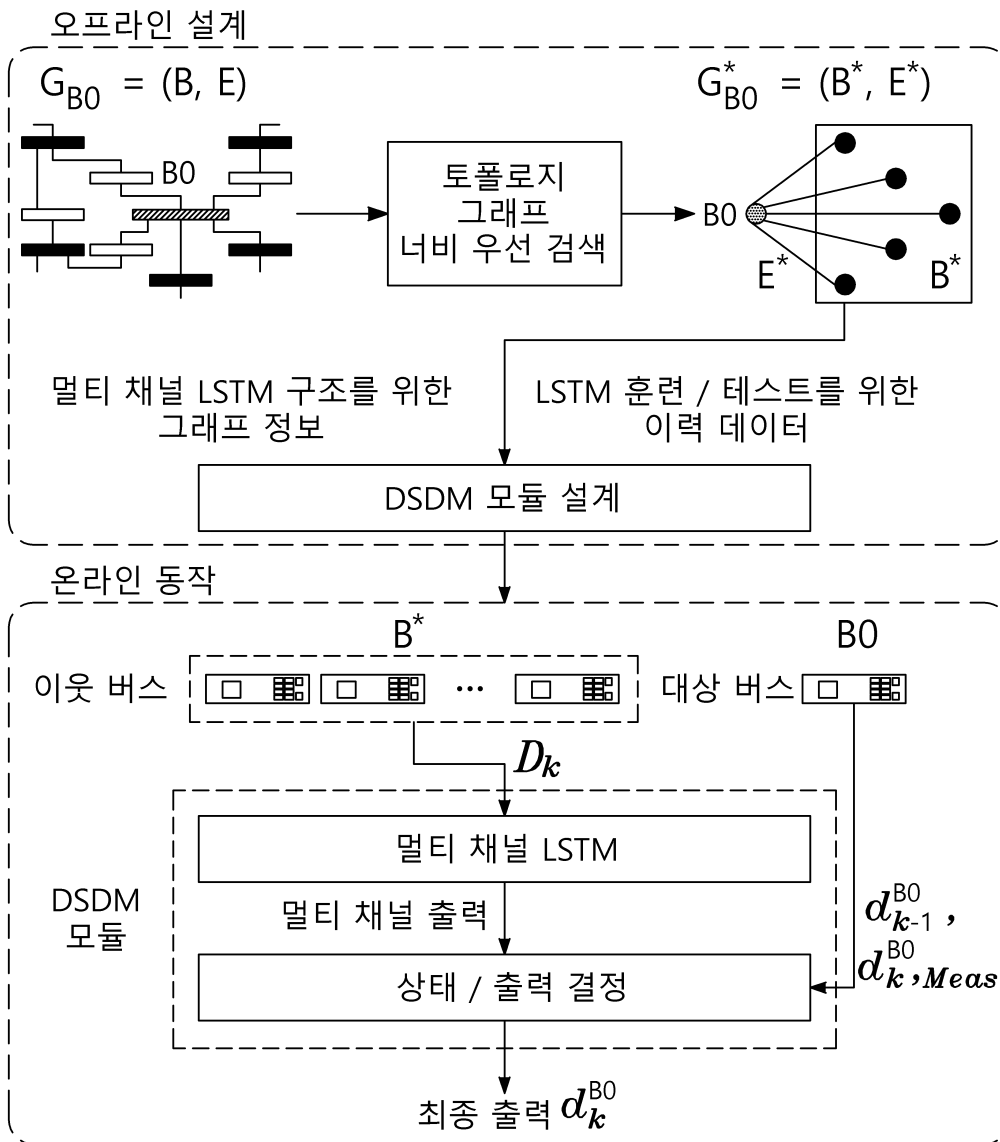
도면3



도면4



도면5

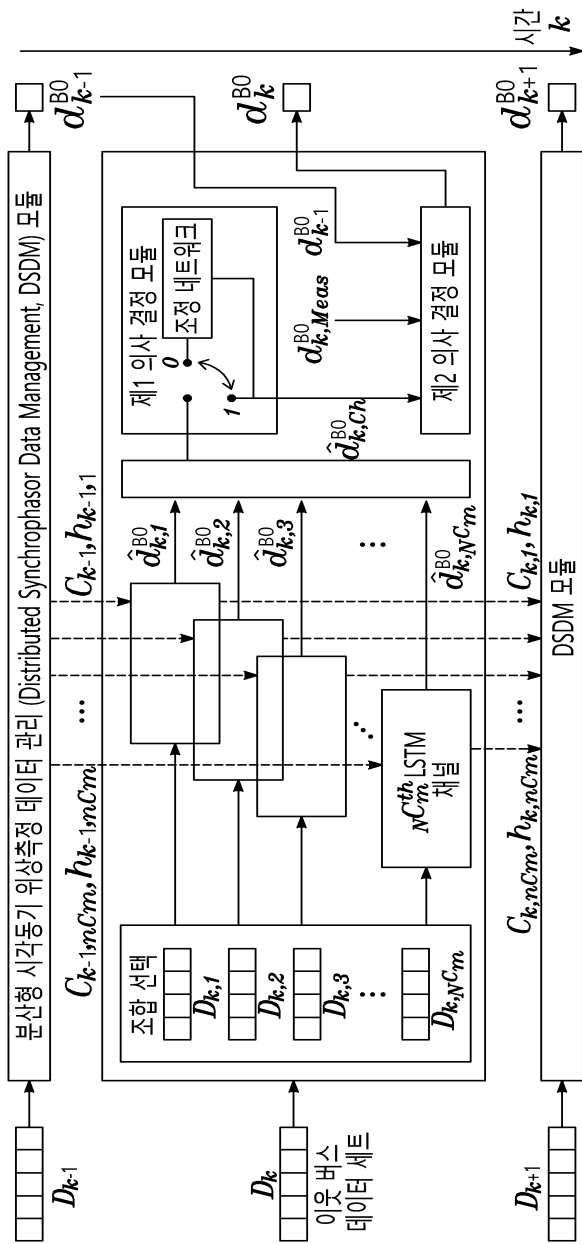


도면6

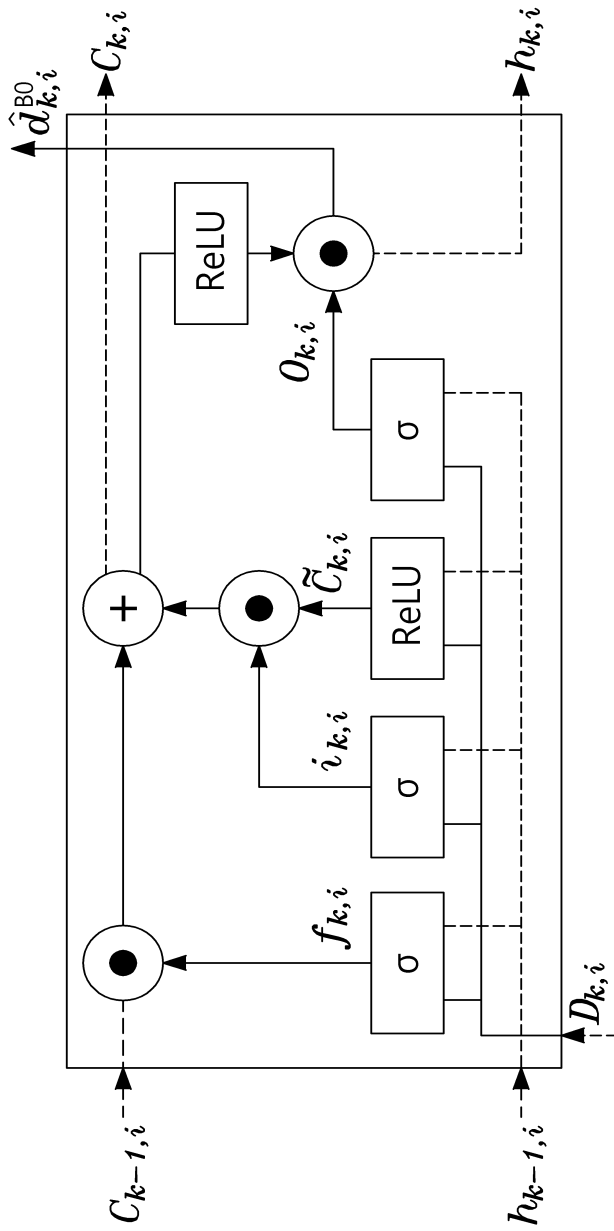
Algorithm 1: BFS of Topology Graph (BFSTG)

Data: Topology graph whose search start bus is B_0 ,
 $G_{B_0} = (B, E)$
Result: A "star" form graph, $G^*_{B_0} = (B^*, E^*)$
Procedure BFSTG (G_{B_0})
 let Q, Q_{buffer} be the queues
 $q.enqueue(B_0)$, and label B_0 as discovered
 $Q_{buffer} \leftarrow \emptyset, B^* \leftarrow \emptyset, \omega = 0$
while $\omega \neq \omega_{max}$ **do**
 while $Q \neq \emptyset$ **do**
 $B := Q.dequeue()$
 for for all adjacent buses B_{adj} of B **do**
 if B_{adj} is not labeled as discovered **then**
 if $B_{adj} \in B_{PMU}$ **then**
 label B_{adj} as discovered
 $B^* \leftarrow \{B_{adj}\} \cup B^*$
 create an edge E from B_0 to B_{adj}
 $E^* \leftarrow \{B\} \cup E^*$
 else
 label B_{adj} as discovered
 $Q_{buffer}.enqueue(B_{adj})$
 end
 end
 end
 $\omega \leftarrow \omega + 1$
 if $Q_{buffer} \neq \emptyset$ **then**
 break and return $G^*_{B_0}$
 else
 $Q \leftarrow Q_{buffer}$
 $Q_{buffer} \leftarrow \emptyset$
 end
end

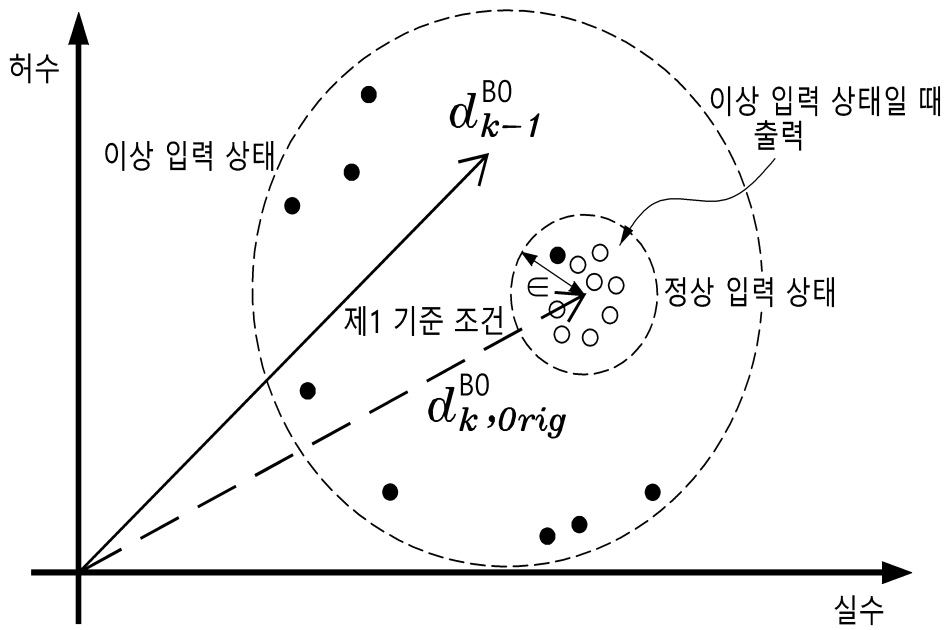
도면7



도면8



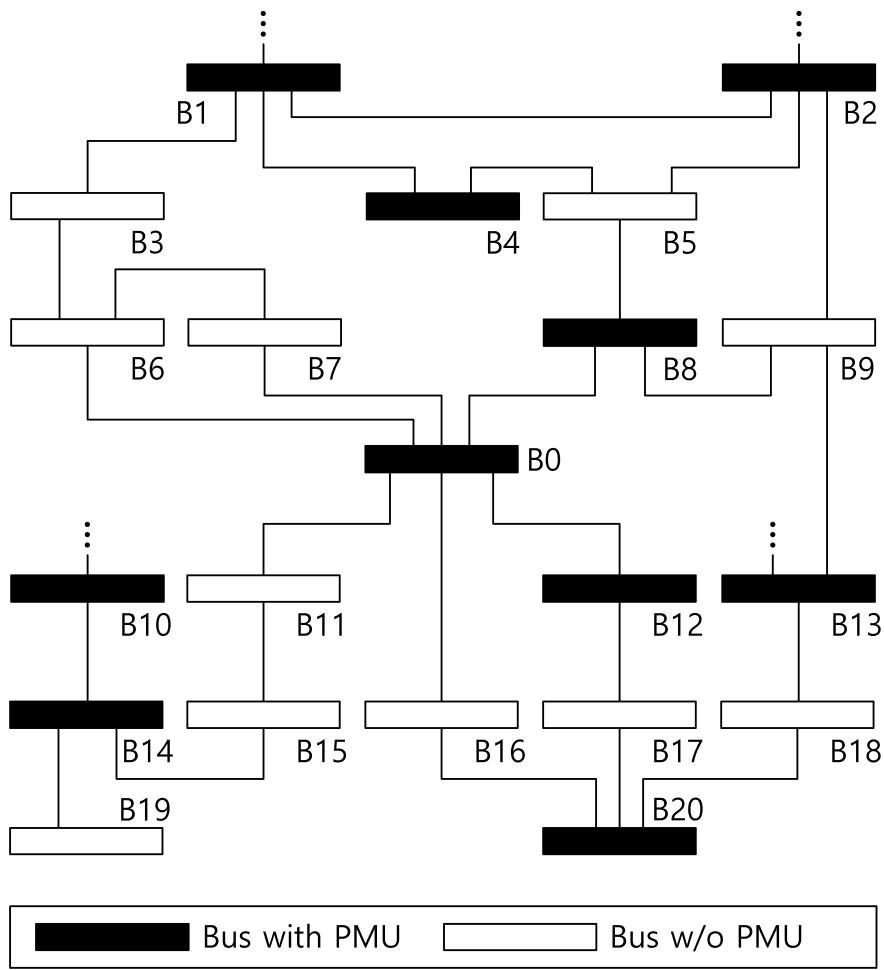
도면9



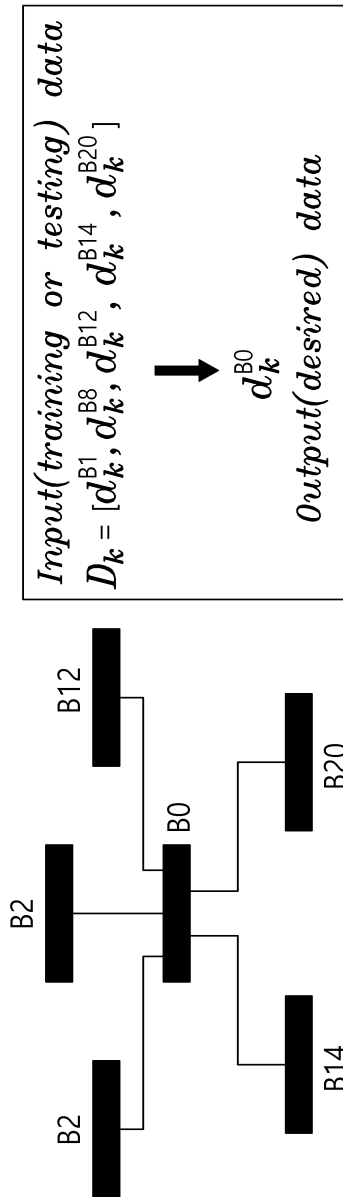
도면10

조건 입력 데이터	정상 입력 상태 (state "0")		이상 입력 상태 (state "1")	
	시스템 동작 조건	정상 동작 ($\leq \gamma$)	이벤트 발생 ($> \gamma$)	정상 동작
데이터 품질 조건	제2 기준 조건			
양호 ($\leq \delta$)	제3 기준 조건		$d_{k, Meas}^{BO}$	
불량 ($\leq \delta$)			$\hat{d}_{k, Ch}^{BO} (= \hat{d}_{k, Adj}^{BO})$	

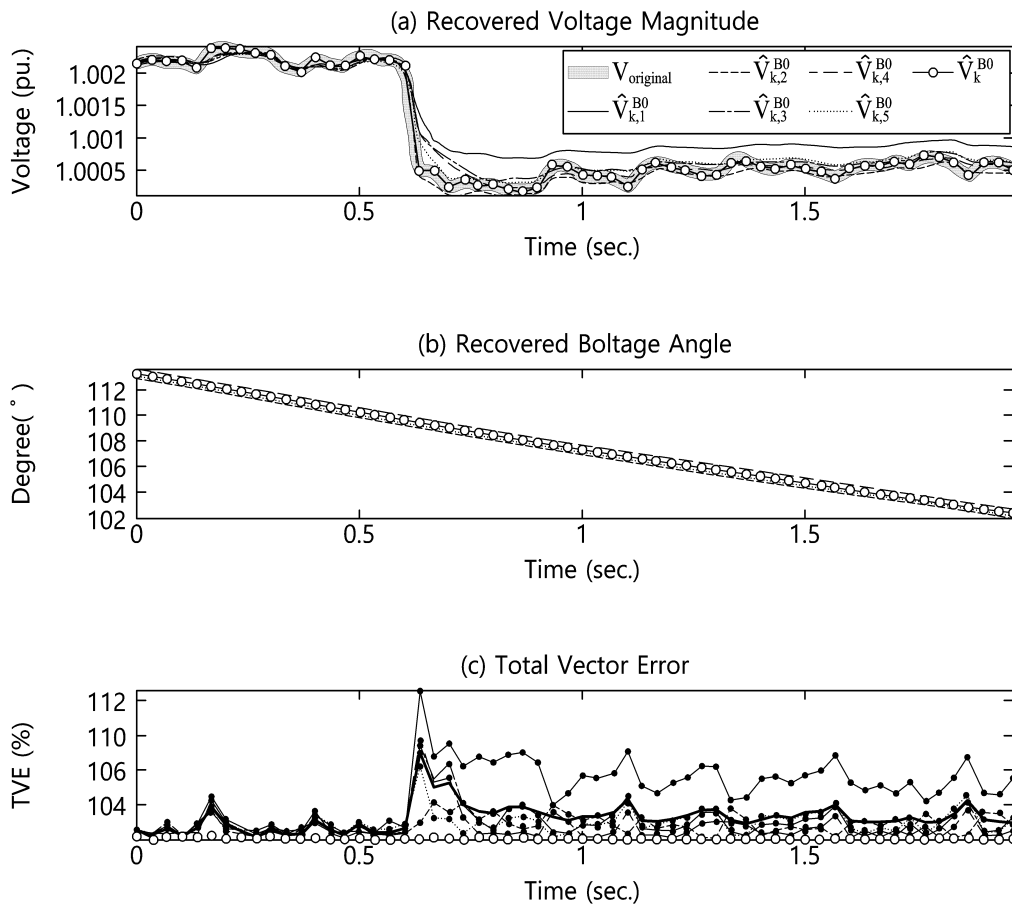
도면11



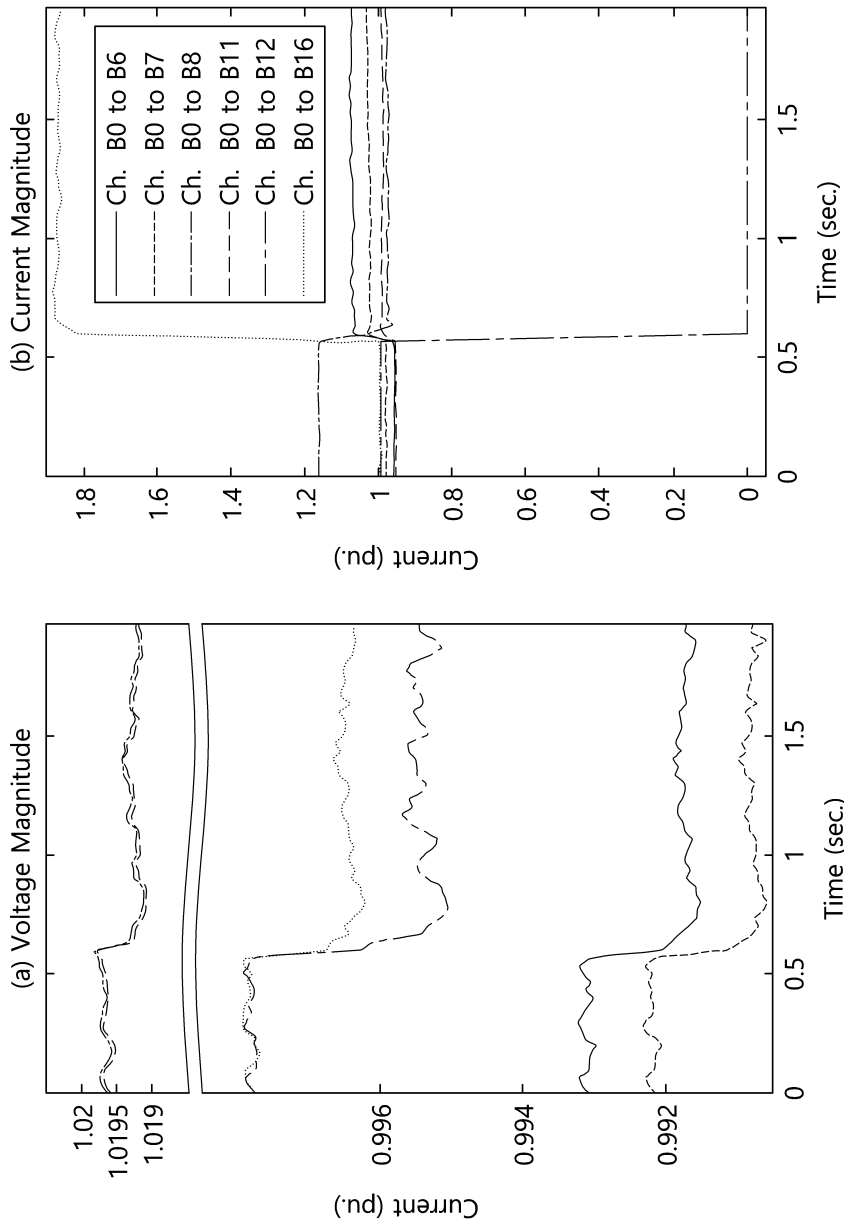
도면12



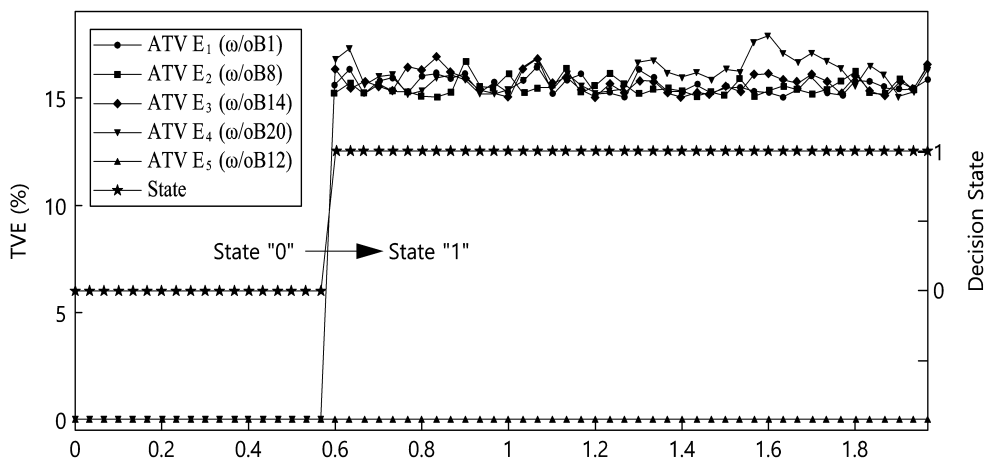
도면13



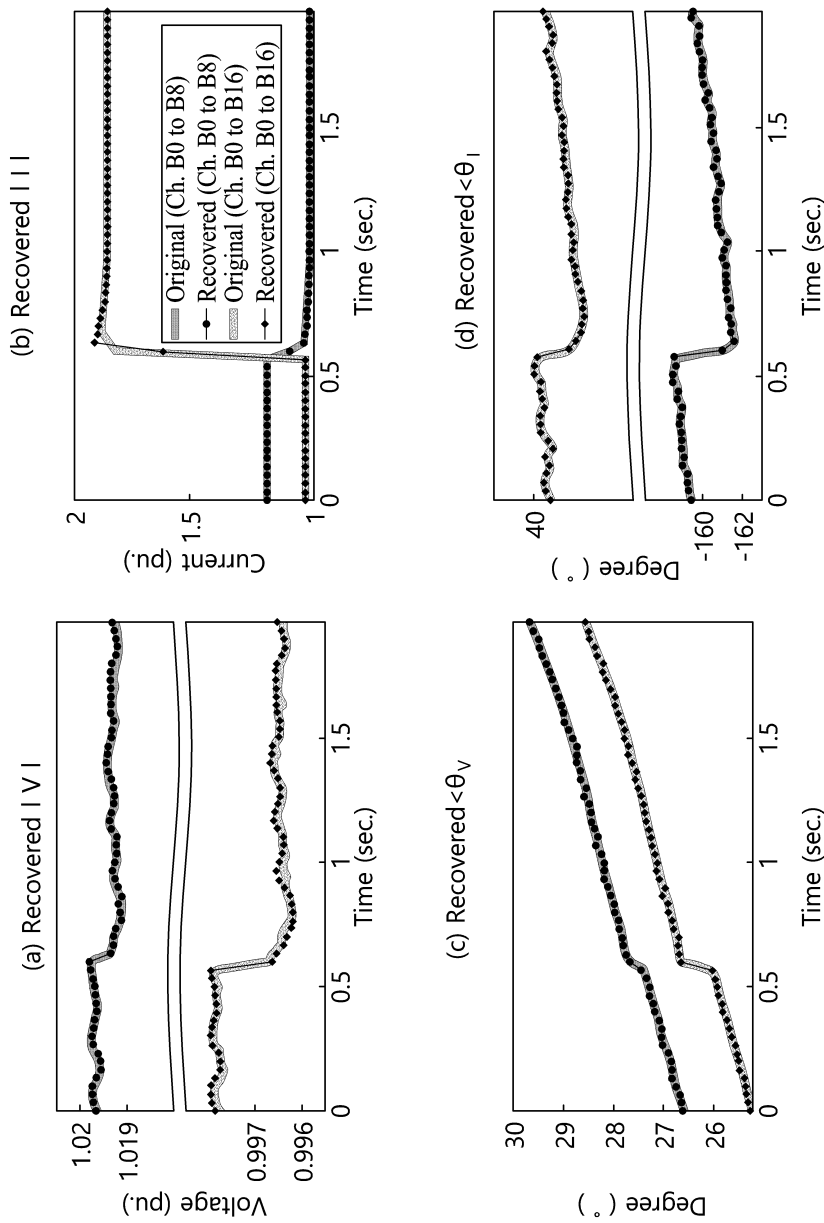
도면14



도면15



도면16



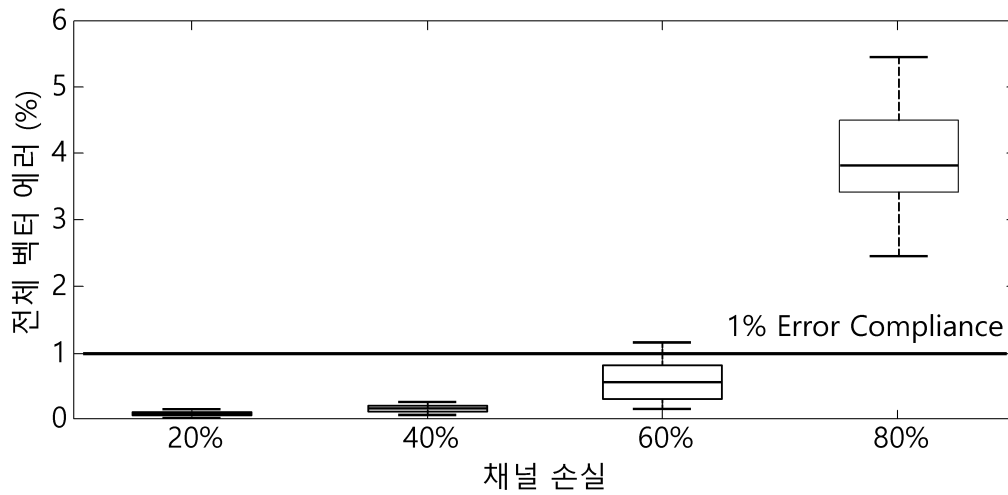
도면17

m	채널 개수	전압		전류	
		MTVE(%) (Maximum)	ATVE(%) (Average)	MTVE	ATVE
0	1	1.48e-03	7.01e-03	1.22e-02	5.21e-03
1	5	9.01e-04	2.28e-04	7.94e-04	3.84e-04
2	10	8.84e-03	4.57e-04	6.55e-03	5.54e-03
3	20	1.52e-01	2.34e-02	9.14e-01	5.49e-01
4	5	2.24	1.48e-01	5.10	1.23

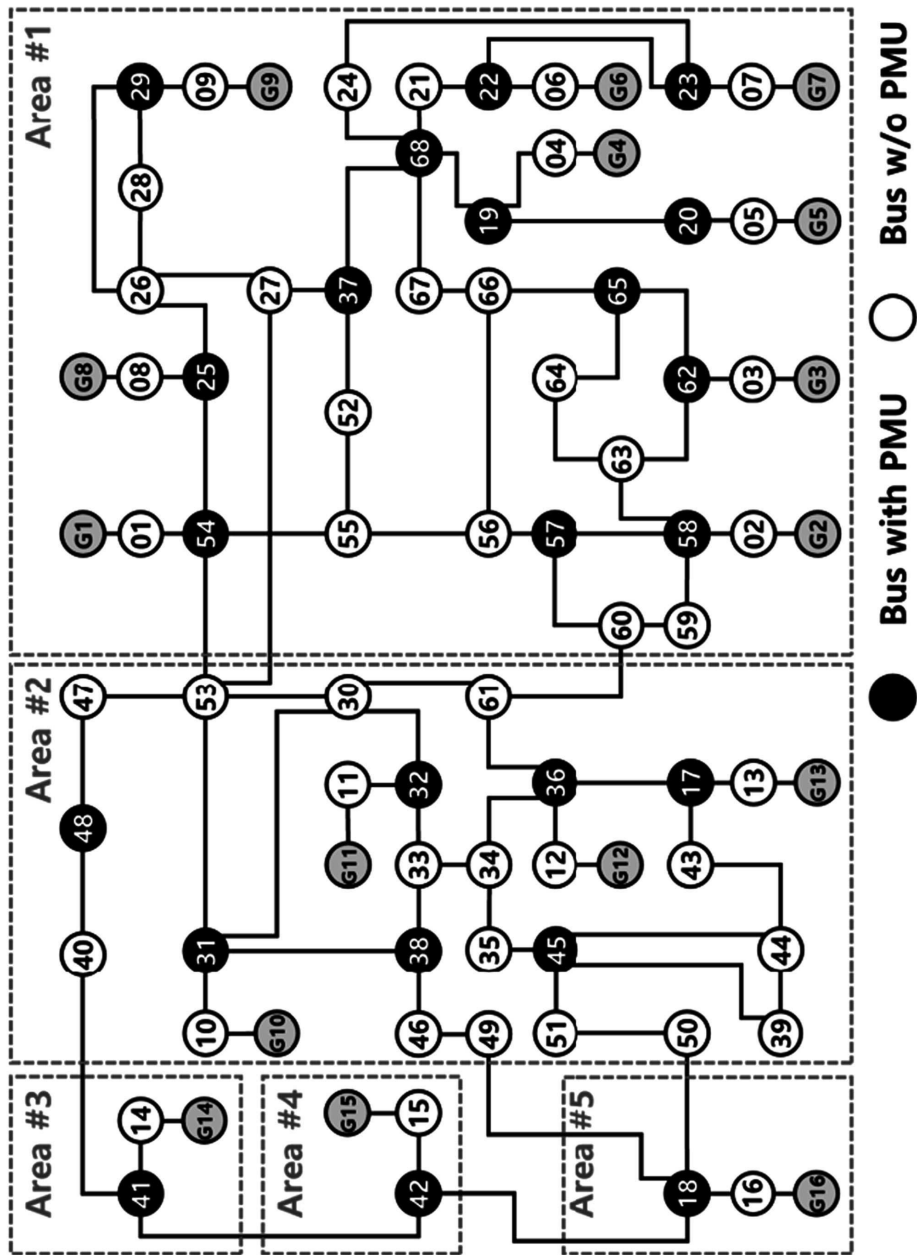
도면18

m	채널 개수	전압		전류	
		MTVE(%)	ATVE(%)	MTVE	ATVE
0	1	10.23	5.75	15.56	12.46
1	5	1.01e-03	3.34e-04	3.55e-04	7.64e-04
2	10	2.01e-02	1.22e-03	7.54e-02	3.12e-03
3	20	9.17e-01	2.34e-02	9.14e-01	5.49e-01
4	5	6.14	9.87e-01	7.43	1.22

도면19



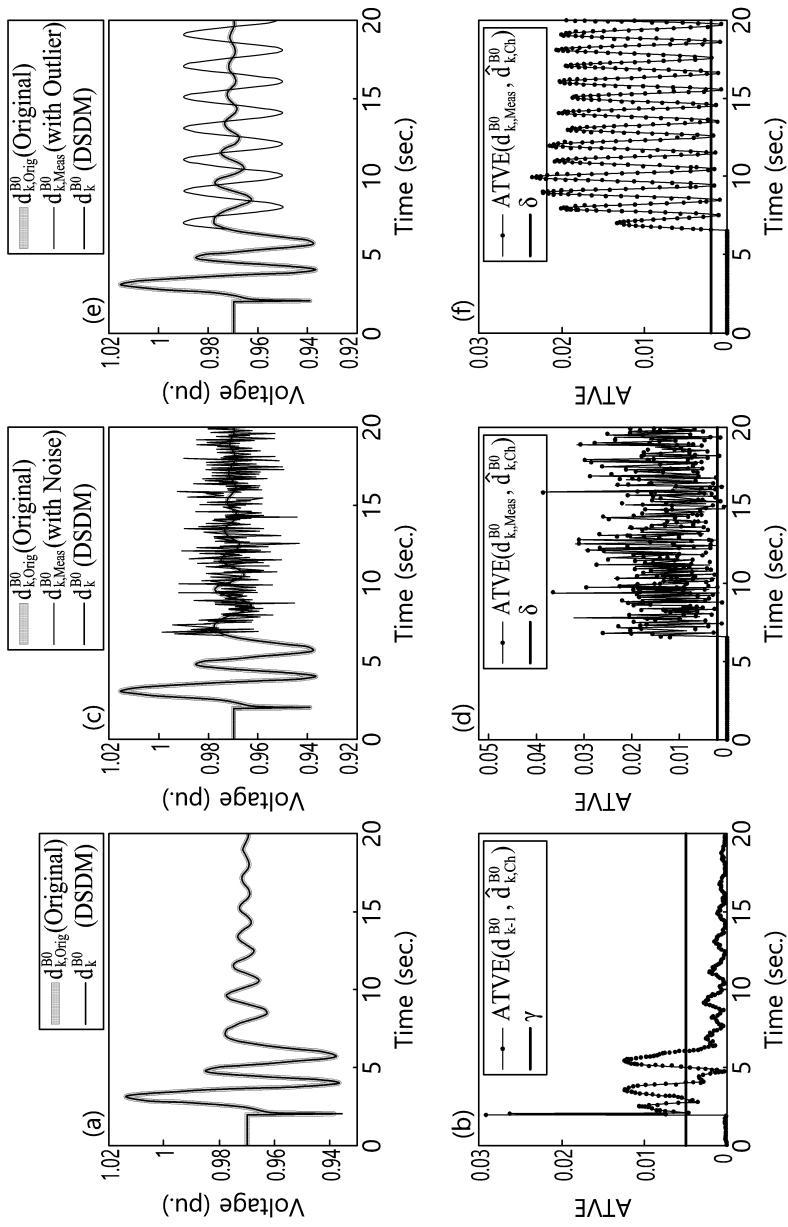
도면20



도면21

이웃 버스 개수	2	3	4	5	6
대상 PMU (버스) 번호	17, 19, 22, 23, 29, 48, 62	25, 54, 58	31, 38, 45	32, 36, 37, 57, 65	68

도면22



도면23

