

위성망을 이용한 파워 그리드 위기관리 시스템의 테스트베드 구현

The Testbed System for Crisis Management System of the Power Grid Using Satellite Communication Network

이 승 호*
Seung-Ho Lee**

Abstract

In this paper, we propose a testbed system for the crisis management system of the power grid(CMS-PG) using satellite communication network. For the verification of CMS-PG, the proposed system composed of the simulator of satellite communication network and the simulator of phase measurement unit. Proposed satellite communication simulator can evaluate the delay and the robustness of the communication according to the rainfall and the humidity of local site. And the proposed simulator can calculate the voltage stability by hardware implementation using FPGA. Using the proposed testbed system, we adapted its function of crisis management system for the conventional power grid.

요 약

본 논문에서는 위성망을 이용한 파워 그리드의 위기관리 시스템을 검증하기 위한 테스트베드 시스템을 제안하였다. 위기관리 시스템의 검증을 위해, 제안된 테스트베드는 위성통신의 통신품질을 기상상황에 맞추어 시뮬레이션 하였으며, 파워 그리드의 동작과 이상상황에 대한 정확한 재현을 위해 FPGA 기반의 Phase Measurement Unit(PMU) 에뮬레이터를 구현하였다. 제안된 위성통신 시뮬레이터는 전국 각 지역의 순간 강수량 및 최대 강수량 데이터를 데이터베이스화하여, 습도와 강수량에 기반을 둔 위성통신의 신뢰성을 모델링 하였으며, 인터넷을 통한 실시간 순간 강수량 데이터를 이용해 실시간 위성통신 신뢰도 맵을 구현하였다. 또한 PMU 에뮬레이터는 FPGA를 이용한 하드웨어 기반의 에뮬레이터 구현을 통해 동작의 신뢰도를 높였다. 본 논문에서 제안한 테스트베드 시스템은 위성망을 이용한 파워 그리드 위기관리 시스템의 검증과 운영에 적용하였다.

Keywords : Testbed, Satellite Communication Network, Power Grid, Crisis Management System

1. 서론

Information Technology(IT)와 전통기술과의 융합은 전통산업의 혁명을 가져오고 있다. 이러한 융합기술은 새로운 기술적 영역을 만들어가고 있으며, 산업

계 전반에 걸쳐 혁명을 가져오고 있다. 특히 전통 기술 중의 하나인 전력산업분야는 오랫동안 안정성과 신뢰성을 이유로 운영과 관리에서 자동화가 타 분야에 비해 상대적으로 적게 이루어진 분야이다. 정보통신기술, 즉 IT 기술이 전력산업에 적용되기 시작하면서, 스마트 그리드의 개념이 생겨나고 있으며, 이는 에너지의 효율적인 생산과 이용을 위한 IT 기술이 접목되면서 효율적인 관리가 가능하게 되었다. 이러한 기술 융합형 컨버전스 사업이 전력 IT 사업이다. 전력 IT 사업은 IT 기술의 적용을 통해 기존 전력시스템의 고도화와 지능화를 추구하는 것으로, IT 분야의 강자로 떠오른 우리나라에서 기술적 강점을 지닐 수

* 국립 한밭대학교 전자공학 전공
(Department of Electronic Engineering, Hanbat National University)

★ 교신저자(Corresponding author)
接收日 : 2011년 3월 5日, 修正完了日 : 2011년 3월 29日

있는 분야이다. 특히 국가의 중요 인프라인 파워 그리드에 대한 이중, 삼중의 통신망을 적용하고 있는 사업이 진행 중에 있으며, 이를 통한 결과물중 하나가 위성통신망을 이용한 파워 그리드 감시시스템이다. 위성망을 이용한 파워 그리드 감시 시스템의 최종목표는 천체지변 등과 같은 불가항력의 재난에서도 통신의 신뢰성을 확보할 수 있는 위성통신망을 통해 전력 인프라의 관리를 수행하기 위한 시스템이다. 위성 통신망은 재난 재해와 무관한 통신의 고 신뢰도를 확보하고 있을 뿐 아니라, 넓은 지역에 동시에 데이터를 전송할 수 있는 능력을 가지고 있다. 이러한 동보성, 광역성의 특징은 다단의 통신 노드들로 구성되어 통신지연이 필수적으로 일어날 수 있는 유선통신에 비해 단 하나의 노드만을 가지고 있는 위성통신은 위성과의 통신에서 소요되는 통신지연에 대한 제약을 감안 하더라도 유선통신과의 비교에서 유리한 장점을 가지고 있다. 발전단과 송전단, 그리고 생산된 전력의 배전을 담당하는 배전단으로 구분되어 있는 전력 파워 그리드는 환상망의 형태로 복잡하게 연결되어 있다. 국내의 경우, 파워 그리드는 765Kv, 345 Kv, 그리고 154 Kv의 송전라인으로 구성되어 있으며, 각 송전단은 모선이라는 변전설비를 통해 연결되어 있다. 이때 환상망으로 구성되어 있는 파워 그리드의 특징으로 인해, 특정지점의 사고는 파워 그리드에 연결되어 있는 모든 모선에 파급이 된다. 특히 사고의 영향이 타 모선으로의 전파시간은 사고의 등급과 유형에 따라 수초에서 수분에 이르는 매우 짧은 시간을 가지고 있다. 따라서 발전단과 모선사이의 사고는 국내 파워 그리드에 연결된 모든 모선에 영향을 미칠 수 있다. 위성망을 이용한 파워 그리드의 위기관리 시스템의 목표는 파워 그리드의 보호에 있다. 계통의 보호를 위해 사고지점 연결된 모선과 전체 파워 그리드와의 분리를 통해 사고의 전파를 막는데 주 목적에 있다.

이때 사고지점의 분리는 사고의 유형과 등급에 따른 위기의 단계정의를 필요하다. 위기는 계통망에서의 과부하로 인한 동기탈조로 정의하였으며, 이에 대한 사고전파 등급을 상세히 정의하였다[1]. 정의된 사고의 등급은 차단, 경계, 안전의 3등급으로 구분하였으며, 이를 이용하여 차단영역을 구분하는 것이 사고대응방법론의 핵심이다.

특정 모선에서의 사고가 주변 모선으로 파급되는 것을 막기 위해, 위성통신 지연을 고려한 모선의 사고 파급시간과 파급범위를 계산하여, 파워 그리드의 지점별 대응 단계의 신호를 전송해주는 것을 위성망을 이용한 위기관리 시스템의 주목적으로 삼고 있다. 이것을 위기대응 시나리오로 정의하며, 이 대응 시나리오에 맞추어 위성을 통해 모선에 대응방안을 전송

하게 된다.

제안된 위성망을 이용한 위기관리 시스템은 현재 위성통신을 위한 Very Small Aperture Terminal(VSAT) 단말기를 각 모선에 설치할 하여야 하지만, 현재 전국 580여개의 모선에 모두 설치하려면 예산과 설치를 위한 시간이 많이 소요된다. 따라서 VSAT 설치를 위한 효율성 검증과 위성통신 시스템의 안정적인 관리와 위성통신을 통한 위기관리 시스템의 동작의 검증을 위한 검증 시스템이 필요하다.

따라서 본 논문에서는 위성망을 이용한 위기관리 시스템의 동작 검증과 다양한 모의사고 상정을 통한 사고대비, 그리고 위성통신 시스템이 적용될 주요 모선의 위치선정 등을 위한 테스트베드를 구현하고자 한다.

2장에서 제안하는 위성 통신망을 이용한 위기관리 시스템의 테스트베드의 구성에 관하여 논하고, 3장에서는 강수량에 기반한 위성 통신 모델링에 대하여 논하며, 하드웨어에 기반을 둔 PMU 에뮬레이터의 구현에 관하여 4장에서 기술한다. 5장에서는 실험결과에 대하여, 6장에서는 결론에 대하여 기술한다.

II. 제안하는 위성망을 이용한 위기관리 시스템용 테스트베드

위성망을 이용한 위기관리 시스템은 위성통신 시스템과 각 모선의 상황을 모니터링하고 이를 기록할 수 있는 Phase Measurement Unit(PMU)으로 구성되어있다. 제안하는 위성통신망을 이용한 위기관리 시스템용 검증시스템은 실제 위성통신망과 계통보호 시스템이 결합되어 운용될 시 나타날 수 있는 모든 상황에 대한 모의실험을 수행하는 것이 목적이다. 또한 VSAT의 설치를 위해, 위성통신의 가장 큰 위험요소인 기상상황에 대한 모의실험을 통해 통신의 안정성과 신뢰성을 검증하기 위함이 목적이다. 그림 1에 위성망을 이용한 파워 그리드 위기관리 시스템의 개념도를 나타내었다. 그림 1의 위기관리 시스템은 환상망으로 구성된 모선에 적용된 위성통신 단말기와 계통상황을 모니터링 하기위한 Phase Measurement Unit(PMU)으로 구성되어 있다. 위성통신 시스템의 경우 위성통신 모뎀의 동작을 실제 환경에 따른 정확한 시뮬레이션이 필요하다. 위성통신은 지표면에서 36,000Km 상공 정지궤도에 있는 무궁화 3호 위성을 사용하고 있으며, 통신거리에 따른 물리적인 통신 지연 외에 기상상황에 따른 통신품질 저하가 가장 큰 위험요소이다. 따라서 위성통신 기반의 계통상황 데이터 수집, 판단, 통보의 과정을 검증하고 관리하기 위해서는 위성통신의 정확한 구현과, 계통의 상황을 모니터링 해

주고, 이에 대한 통보와 조치를 수행하기 위한 PMU의 구현이 필수적이다. 따라서 제안하는 테스트베드는 위성통신의 정확한 시뮬레이션과 파워 그리드의 동작을 정확히 재현할 수 있는 PMU 에뮬레이터로 구성되었다. 그림 2에 제안하는 위성망을 이용한 위기관리 시스템용 테스트베드의 구성도를 나타내었다.

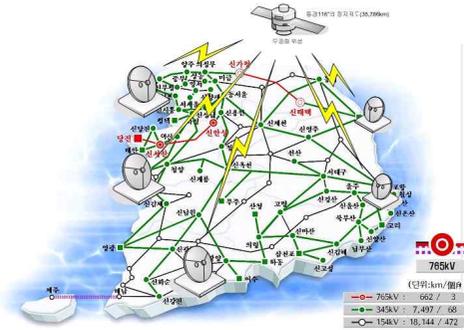


Fig. 1. Crisis management System of Power Grid using Satellite Communication Network

그림 1. 파워 그리드의 위성 통신망을 이용한 위기관리 시스템

서 새로운 문제로 부각되고 있다. 이에 대한 위성통신 품질과 관련된 통신의 신뢰성을 검증하기 위한 시스템은 필수적이다. 제안하는 위성통신 시뮬레이터는 위성통신의 신뢰성에 가장 큰 영향을 주는 습도요인을 통한 통신 신뢰성을 판단하고 이를 이용하여 지역별 위성통신 시스템의 통신 신뢰도를 제시하기 위한 시스템이다. 또한 위성과 기지국간의 거리로 인한 0.25sec의 통신지연 시간으로 인해 계통의 사고판단 및 제어신호의 전달이 늦게 이루어진다는 단점을 가지고 있다. 따라서 위성통신 모델링은 각 위성 통신 단말이 설치되어있는 지역의 raw 데이터가 통신채널을 통해 센터로 전달될 때까지의 정확한 지연시간과 위성통신의 품질에 관련된 외부 기상학적인 요소에 대한 반영이 가장 중요한 관점이다.

2. 경우정보의 구현

제안하는 위성통신 시뮬레이터는 통신 신뢰성을 판단하기위해, 습도에 따른 통신감쇠를 예측하는 모델을 사용하였다. 이미 제안된 기상학적인 고려를 통한 통신신호 감쇠모델은 ITU-R[3], Global[4], Simple[5], DAH[6], ETRI[7] 등이 있다. 특히 최근에는 아열대지방의 대표적 날씨특징인 스콜 현상에 의한 위성신호 감쇠에 대한 논문이 많이 진행되었으며, 이를 통해 국지성 폭우에 따른 위성통신신호감쇠를 모델링한 논문이 발표되었다[2].

제안된 위성통신 시뮬레이터는 통신 지연과 통신의 신뢰성을 실시간으로 표출하기위해 구현되었다. 이때 통신지연은 무궁화 위성의 물리적인 통신 지연을 통해 구현되며, 통신의 신뢰성은 강수량에 직접적인 영향을 받는다. 강수량의 직접적인 영향을 받는 통신의 신뢰성을 모델링하기 위하여 본 논문에서는 전국 주요지점의 강수량 이력 정보를 한 시간 간격으로 샘플링 하여 구현한 데이터베이스를 본 논문에 활용하였다.

강수량 정보의 샘플링을 위해 현재 기상청에 확보되어있는 강수량 정보를 사용하였으며, 논문의 정확도를 위해 필요한 최소 한 시간 간격의 강수량 데이터는 2003년 이후로 확보가 되어있는 실정이다. 또한 기상 데이터의 수집방법에 있어, 자동화된 장비로 기상 데이터를 실시간 수집할 수 있는 장비의 확보는 2003년 이후로 가능해진 상황이며, 그 외의 기간은 기상정보의 데이터베이스화가 이루어지지 않은 상태이다. 자동화된 지점과 수동지점으로 기상정보를 수집하고 있으며, 전국 각 지역에 74군데 날씨정보를 사람의 힘으로 직접 팩스와 같은 방법으로 수집하고 있었으며, 520군데에 Automatic Weather information Gathering System(AWS)으로 불리는 자동 수집 장비

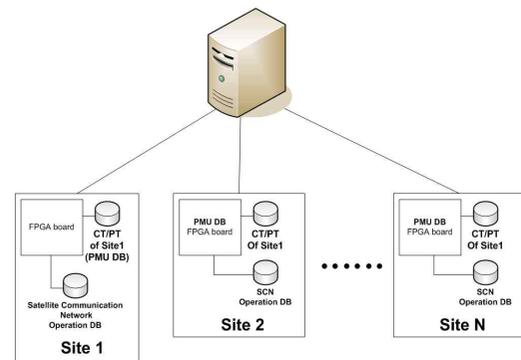


Fig. 2. Proposed Testbed

그림 2. 제안하는 테스트베드

III. 강수량 정보를 이용한 위성통신 시뮬레이터의 구현

1. 위성통신 모델링

위성통신의 신뢰성은 온도, 습도에 영향을 받는다 [1]. 특히 습도에 의한 신호감쇠가 주된 요인이며, 기상이변이 속출하고 있는 현재의 경우 우리나라의 각 지역별 국지성 폭우에 의한 통신 단절이 위성통신에

가 설치되어 기상정보를 수집하고 있었다.

본 논문에서는 32지역의 강수량 데이터와 지역정보를 바탕으로 데이터베이스를 구현하여, 이를 전국 지도와 함께 시각적으로 표출하였다.

● 위성통신 시뮬레이터의 시스템 사양

- Map 기반 데이터 표출(GIS 기반)
- 직관적 지도 표현(Flash 기반 구역 설정 및 선택)
- 시, 군, 구 지역의 상세 표현
- 추후 위성단말 설치 지역 입력
- 1시간 간격의 강수량을 이용한 강우강도 계산
- 구해진 강우강도와 위성의 각각, 관측지점의 위도, 경도 데이터를 이용, 강우감쇠 데이터를 연산
- 최적의 강우감쇠 연산 입력조건인, 1초 단위의 강우강도 연산을 위해 1시간 간격의 강수량 정보를 이용, 지리적 위치, 기후, 지형, 계절, 강우 등에 의해 통계적 랜덤 프로세스 연산을 적용

3. 날씨 데이터베이스의 구현

통신의 신뢰도를 연산하기위한 날씨 데이터베이스는 MS-SQL을 이용하여 구현하였다. 이때 구현된 데이터베이스 정보는 표 1과 같다.

Table 1. The List of Implemented Area of Wether 데이터베이스

표 1. 데이터베이스 구축지역

도별 지역	상세지역
서울/경기지역	서울, 강화, 인천
강원지역	속초, 강릉, 동해, 원주, 홍천, 춘천, 대관령
충청남도지역	서산, 온양, 대진, 금산
충청북도지역	청주, 제천, 추풍령
전라남도지역	광주, 목포, 여수
전라북도지역	진주, 군산
경상남도지역	진주, 거창, 밀양, 부산, 울산
경상북도지역	의성, 영덕, 안동, 풍기, 대구

표 1의 데이터베이스는 MS-SQL을 통해 구현되었으며, 자바를 통해 연동되도록 구현하였다. 강우강도 연산과 랜덤 프로세스를 통한 1분당 예측치 연산과정 또한 자바를 통해 구현하였으며, 최종 연산 결과는 각 지점별 Packet Error Rate(PER)과 Bit Error

Rate(BER)를 그래프와 함께 표출되도록 구현 하였다. 그림 3에 구현된 지역별 위성통신 시뮬레이터의 실행 결과를 나타내었다. 또한 그림 4와 같이 실시간 순간 강수량 데이터를 기상청 웹기반 데이터베이스로부터 실시간으로 입력받아 현재시간의 위성통신 신뢰지역과 위험지역을 나타내어 위성통신의 신뢰성을 실시간으로 판단할 수 있도록 하였다.

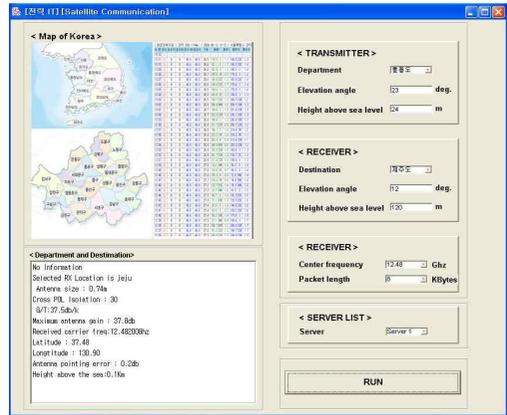


Fig. 3. The Result of Local Simulation of Satellite Communication

그림 3. 지역별 위성 시뮬레이터 실행결과

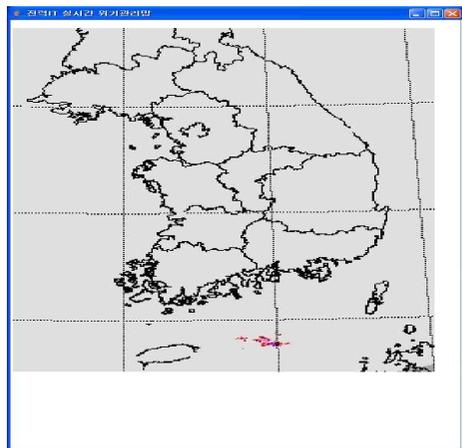


Fig. 4. The Alert Area of Satellite Communication with Real-time Rainfall 데이터

그림 4 실시간 순간 강수량에 따른 위성통신 위험지역

4. 기상환경에 따른 통신감쇠 모델

제안하는 위성통신 시뮬레이터는 ITU-R 모델을 사용하여 강수량에 따른 위성 통신의 신호세기 변화를 예측하였다. 특히 전국 각 지역의 지역별 20년 강수량데이터를 기반으로 국지성 폭우에 대한 빈도와 이를 기반을 둔 지역별 BER 및 PER를 계산하였다. 이를 통해 모선이 위치하고 있는 지역의 20년간 강수량을 측정하여, 지역별 신호감쇠 모델에 의한 정확한 통신감쇠 모델을 제시하였다.

ITU-R 모델은 기본적으로 식 1과 같이 강우에 따른 성능 감쇠를 실제 신호가 강우에 의해 영향을 받는 거리와 그 거리에 따른 일정한 감쇠 값을 이용한다.

$$A_{0.01} = kR_{0.01}^{\alpha} \times L_s \times \gamma \tag{식 1}$$

여기서 $kR_{0.01}^{\alpha}$ 는 감쇠식이며, L_s 는 수직거리, γ 는 감쇠상수이다. 또한 식 1의 km 당 감쇠식을 식 2와 같이 정의할 수 있다.

$$\gamma_R = k(R_{0.01})^{\alpha} \quad \text{dB/km} \tag{식 2}$$

여기서 R은 시간당 강수량을 의미하고 k와 α 는 위성 통신을 하는 지역마다 정해져 있는 상수 값이다 [1]. 이때 L_s 는 식 3과 같이 구해질 수 있으며, 지점별 위성까지의 도달거리를 의미한다. 또한 위성과 위성 안테나 사이의 각도를 양각이라 칭하는데 이를 통해 수직형태의 강수량에 대한 위성과의 각도를 의미한다. 이를 통해 L_s 를 구해보면 식 3과 그림 5와 같다. 여기서 θ 는 위성의 양각을 나타내며, H_s 는 지표면부터 위성까지의 수직거리 및 강우 수직거리를 나타내며, L_s 는 실제 신호의 각도를 고려한 강우 거

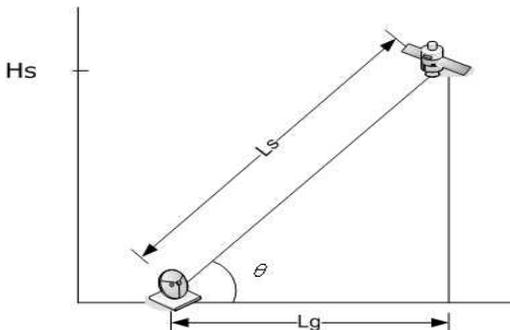


Fig. 5. The Relationship between Elevation and Distance of Satellite

그림 5. 위성통신에서의 통신거리와 고도와 관계

리를 의미한다. 따라서 주요모선 및 위성통신을 통해 감시와 제어를 위한 위성통신 설정지역의 통신품질을 모의실험 하기위해 위성의 정지 궤도상의 위도, 경도 값과 각 모선의 위도, 경도 값을 통한 값을 통해 지점별 강수량을 적용함으로써 최종의 신호감쇠를 계산할 수 있다.

$$L_s = \frac{H_s}{\sin\theta} \quad \text{km} \tag{식 3}$$

그림 6은 국지성 폭우환경에서의 신호감쇠를 나타내었으며, 그림 7은 ITU-R 837 모델에 근거한 강우 모델을 나타내었다.

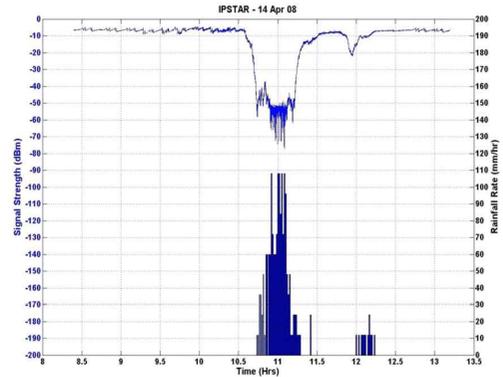


Fig. 6. The Attenuation of Signal Strength under the Local Heavy Rainfall

그림 6. 국지성 폭우환경에서의 신호감쇠

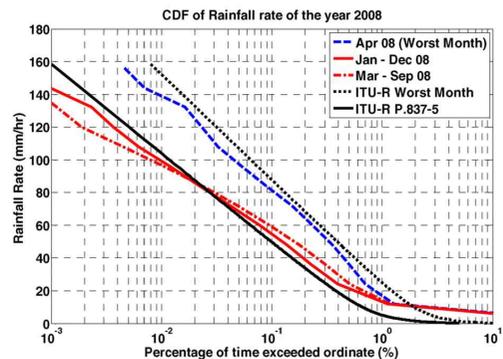


Fig. 7. ITU-R 837 Model with Rainfall Data

그림 7. 강수량에 따른 ITU-R 837모델

IV. PMU 에뮬레이터의 구현

PMU는 파워 그리드의 사고 및 동작상황을 모니터링하고 이를 위성 통신망을 통해 전송 해주는 역할을 수행한다. 파워 그리드 상에서의 사고는 계통의 동기탈조, 단락, 지락 사고 등의 여러 가지 상황에 의해 발생된다. 이때 계통에서의 위기는 동기탈조를 통해 정의하였으며 동기탈조에 의한 사고의 파급과 이의 영향단계는 위기관리 시스템에서 판단, 적절한 조치사항을 각 모선에 전달하는 시나리오를 포함하고 있다, 따라서 PMU의 주된 동작을 그대로 재현해 주기 위한 PMU 에뮬레이터는 모선의 CT, PT 값들을 모니터링하고 이에 대한 과부하 상황 같은 이상상황에 대한 판단 기능과 사고 기록을 수행하는 기능을 재현하여야 한다. 또한 PMU 에뮬레이터의 동작은 주요모선에 설치가 되어 동작하는, 다수의 협업동작을 재현하여야 한다. 제안하는 PMU 에뮬레이터는 FPGA를 기반으로 하는 계통사고 판단 모듈과 사고에 따른 이상상황 신호를 전송하는 모듈로 구현하였다. 또한 최대 13곳의 모선에 대한 계통 동작을 실제와 같이 동작하도록 하기위하여 하나의 PMU 에뮬레이터가 모선 하나의 동작을 재현하며, 13곳의 모선동작을 13개의 FPGA 보드로 병렬처리 하도록 구현하였다. 각각의 PMU 에뮬레이터 보드에는 플래시 메모리를 통해 최대 10분간 동작하는 전압, 전류의 파형을 하나의 전압과 전류주기를 128 샘플링하여 저장된 데이터를 사용하였으며, 이에 대한 사고의 감지와 이를 이용한 사고판단, 전송의 기능을 수행하도록 구현하였다. 13장의 FPGA 기반의 PMU 에뮬레이터 보드는 실제 각 모선에 설치되어있는 PMU의 동작을 그대로 모델링하기위해 동기신호를 제어신호로 적용하여 구현하였다.

1. GPS 시각동기의 에뮬레이션

실제 PMU는 GPS를 이용한 시각동기를 통해 파워 그리드상의 모선의 동작을 감시한다. 제안하는 PMU 에뮬레이터의 시각 동기는 유저에 의한 모의동작 시작 시점으로 정의를 할 수 있다. 따라서 정확한 시각동기를 위해 GPS의 신호를 이용하지 않고, 미리 저장되어있는 디지털 데이터를 바로 FFT로 입력하여 PQ, V, F 등의 연산모듈로 입력하게 된다. 따라서 시각동기에 의한 정확한 연산시점의 구현은 메모리에 저장되어있는 계통 데이터의 읽기 시점을 동기 시켜주는 것으로 구현 하였다. 싱크 신호의 구현은 13장의 보드에 동시에 싱크 신호를 전달해주는 것으로 구현하였으며, backplane 보드에 하나의 제어 신호가 할

당되어 구현 되었다.

2. 계통합수 연산부의 구현

계통합수의 측정을 위하여 시각동기 샘플링에 의한 데이터를 이용한다. A/D 후의 데이터는 4바이트의 실수형 변수를 사용한다. 측정 데이터는 각 채널별 실효치 및 위상 데이터와 전력 및 무효전력 데이터, 기준채널에 대한 주파수 데이터를 연산한다.

데이터 중 아날로그 실효치 및 위상 데이터는 시각 동기 데이터 취득시점에서 연산되며, 전력, 무효전력 및 주파수 데이터는 1주기 당 1회 연산을 수행하도록 되어있다. 1주기 당 1회 연산되는 데이터는 1주기 취득이 완료되는 시점에서 연산되며 매 샘플링 순간에 취득되는 데이터는 사고를 감지하는 데 사용된다. 측정되는 값의 범위는 PT비, CT비에 의존하여 계산되는 값이다. 계통 데이터를 연산하는 시점은 순시 데이터 1주기의 데이터 취득이 완료되면 수행된다. 따라서 계통 데이터의 연산은 1초에 60회 연산이 수행된다. 이때 처리되는 연산의 종류는 다음과 같다.

- ① phasor 연산 구현
- ② 유효 및 무효전력 연산
- ③ 주파수 연산

제안하는 PMU 에뮬레이터는 입력되는 row 데이터를 통해 하드웨어 기반의 연산모듈을 통해 구현하였다.

1) FFT의 하드웨어 구현

PMU의 Phasor 연산을 위해 FFT의 연산이 가장 많은 처리시간을 차지한다. 이 FFT 고속 알고리즘을 이용하여 직접 하드웨어로 구성시키는 방법을 적용하였다. 적용한 FFT의 하드웨어 구조는 MDC (Multipath Delay Commutator) 구조이다. SDF 구조 보다는 데이터를 병렬로 처리할 수 있는 MDC 구조가 효과적이다.

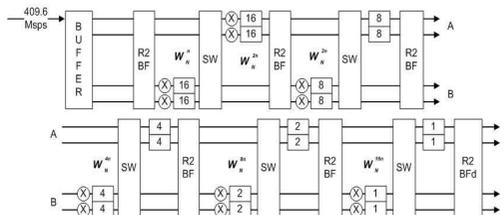


Fig. 8. The Architecture of Parallel Pipelined 128-point FFT MDC

그림 8. 128-Point FFT 병렬 파이프라인 MDC 구조

128-Point는 Radix-4 알고리즘을 적용하기 어려운 형태이므로 Radix-2 알고리즘을 적용하고 MDC 구조를 이용하게 되면, FFT 동작 속도를 낮출 수 있다. 여기서 R2MDC를 두 개를 겹쳐놓은 형태로 병렬 파이프라인 구조로 잡으면 동작 속도를 그 반까지 낮출 수 있다. 그림 8에 128-Point FFT 병렬 파이프라인 MDC 구조를 나타내었다.

2) 디지털 Interpolation 필터의 구현

제안하는 PMU 에블레이터에 적용된 Interpolation 필터는 계통사고의 감지를 위한 연산부에 적용하기 위하여 구현하였다. 제안하는 Interpolation 필터의 시간 영역과 주파수 특성을 나타내면 그림 9와 같다.

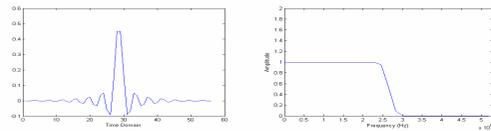


Fig 9. The Frequency Characteristics of Proposed Interpolation Filter

그림 9. 제안된 Interpolation 필터의 시간 영역과 주파수 특성

제안하는 PMU 에블레이터에 적용한 필터의 구조는 그림 10과 같다.

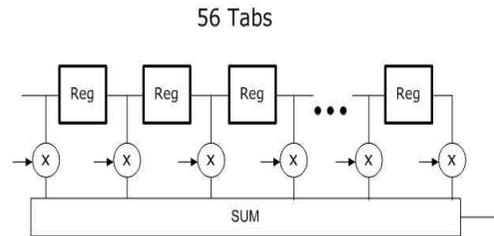


Fig 10. The Architecture of Proposed Interpolation Filter

그림 10. 제안하는 Interpolation 필터 구조

Interpolation 필터의 설계 결과 필요한 Tab 수가 56개가 필요하게 된다. 이를 하드웨어 구현 시 필요한 레지스터의 수는 55개가 필요하게 되고 SUM 블록에 필요한 Complex Adder의 경우에는 56-1=55개가 필요하게 된다. 필터 구현 시 계수가 정해져 있는 형태이므로 계수를 Canonical Form으로 바꾸게 되면 Complex Multiplier 부분을 Adder로 바꿀 수 있다. 이때, 128-Point FFT 출력이 9비트 이므로 Interpolation 필터의 Fixed-Point 값도 모두 9비트로 정해진다. 위의 필터를 이용하여 주파수 변동과 레벨

변화 등을 감지하여 트리거 신호를 만들어 내게 된다.

3. Event 판단모듈의 구현

PMU는 현장에 발생하는 전력계통 사고를 판단하기 위하여 측정모듈에서 측정된 전압 및 전류 실효치 데이터와 디지털 입력 데이터를 감시하여 특정한 상태로 판정되면 사고로 판정한다. 사고 판단의 조건으로 사용되는 요소는 아날로그 채널의 실효 데이터가 사용자가 설정한 상한값 또는 하한값을 벗어나는 경우와 측정된 디지털 입력상태가 normal한 상태에서 벗어나는 경우로 둘 수 있다. 따라서 그림 11에 트리거의 신호의 예를 기술하였으며, 표 2는 PMU 트리거의 요소를 나타내고 있다.

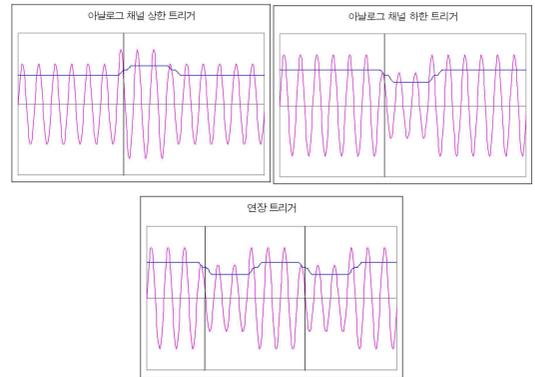


그림 11. 적용한 트리거 신호의 예

Fig 11. The example of trigger signal

제안하는 PMU 에블레이터의 이상상황 판단을 위한 트리거의 종류는 표 2와 같다.

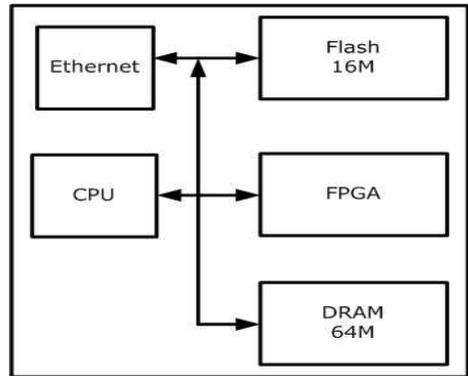
Table. 2 The List of Trigger Element

표 2 PMU 트리거 요소

종 류	감시요소	내 용
레벨 트리거	P, Q, V, I, F	측정값이 설정한 범위를 벗어날 때 기동
변동 트리거	P, Q, V, I, F	측정값의 1주기 동안의 변화가 설정한 값을 벗어날 때
동요 트리거	P, Q	측정값이 설정한 폭 이상으로 진동할 때
이벤트 트리거	디지털 상태	디지털 입력 상태가 변화할 때

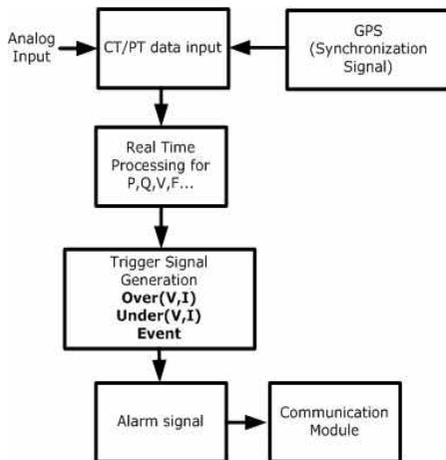
4. PMU 에뮬레이터 구현결과

제안된 시스템은 멀티보드 형태로 구현되었으며, 13장의 stratix II 보드로 각 사이트의 이상상황을 판단하여 연산결과를 서버로 전송하도록 구현하였다. 따라서 각 보드는 안정도 판단의 시점을 동시에 수행하여야 하며 동시에 실행하기 위한 싱크 신호를 인터페이스 하여야 한다. 이를 위해 backplane과 multi-board 형태로 구현 되었다. 적용한 메모리는 플래시 메모리와 SDRAM을 사용하였으며, 데이터 폭은 32비트이며, 32M 메모리 4개를 사용하여 총 128Mbyte 플래시 메모리와 SDRAM 메모리를 사용하였다. 또한 UART는 RS232 통신을 위해 MAX3243 칩을 사용한 RS485 통신 포트 1개와, SP3232를 사용한 RS485 통신 포트 1개를 적용하였으며, RS485/422 통신을 위해 MAX3070E를 사용하여 통신하도록 구현하였다. 그림 12의 (a)에 트리거 신호에 기반을 둔 이벤트 신호 발생 모듈을 나타내었으며, 그림 12의 (b)는 FPGA 기반의 PMU 에뮬레이터 구조를 나타내었다. 또한 그림 13에 단일보드로 구현된 PMU 에뮬레이터를 나타내었으며, 그림 14에는 여러개의 단일 보드를 사용하여 구현된 멀티보드 PMU 에뮬레이터를 나타내었다.



b) The FPGA-based Emulator Architecture
b) FPGA 기반의 PMU 에뮬레이터구조

Fig. 12. FPGA-based PMU Emulator
그림 12. FPGA 기반의 PMU 에뮬레이터



a) The Event Generation Module
a) 이벤트 생성 모듈

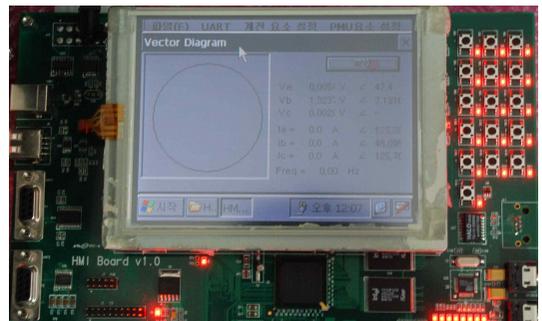


Fig. 13. Single Board of PMU Emulator
그림 13. PMU 에뮬레이터 단일보드



Fig. 14. The Implementation of PMU Emulator with Multi-board
그림 14. 멀티보드 PMU 에뮬레이터의 구현

5. 테스트베드 통합구현

제안된 테스트베드는 위성 시뮬레이터, 하드웨어 기반의 PMU 에뮬레이터, 그리고 전체 제어를 위한 통합 응용 프로그램으로 구현되어 있다. 구현된 각 모듈은 자바기반의 응용 프로그램 구현기법을 통해 구현하였으며, 하드웨어 제어를 위한 제어신호를 발생, 모니터링을 수행할 수 있도록 구현하였다. 특히 사용자 인터페이스 구현방법, 플래시 기반의 디자인, 응용프로그램 구현방법, 플래시 액션 스크립트를 통하여 세부 동작을 정의하였으며, 이를 통하여 직관적인 응용 프로그램이 구현 가능하였다.

V. 실험결과

제안된 테스트베드 시스템은 멀티보드 형태의 임베디드 시스템 기반 FPGA 보드와 테스트베드용 서버 시스템을 통하여 인공위성을 이용한 위기관리 시스템용 테스트베드 시스템을 구현하였다. 기상청 서버로부터 수집되는 실시간 기상정보에 기반을 둔 통신의 신뢰도를 실시간으로 측정할 수 있는 위성통신 시뮬레이터와 임베디드 시스템 기반 FPGA 보드를 이용한 PMU 에뮬레이터를 효율적으로 구현하였다. 그림 15에 구현된 테스트베드 시스템을 나타내었다.



Fig. 15. The Implemented Testbed System

그림 15. 구현된 테스트베드 시스템

VI. 결론

본 논문에서는 위성망을 이용한 파워 그리드의 위기관리 시스템을 검증하기 위한 테스트베드 시스템을 제안하였다. 제안된 테스트베드 시스템은 실시간 날씨의 정보를 이용하여 순간 위성통신 품질을 구하였으며, 10여년의 기상정보를 이용하여 순간 최대 강우

량과 평균 강우량등 위성통신의 주요요인 분석을 통해 위성통신의 신뢰도를 구하였으며, 이를 이용하여 위성 통신망의 신뢰성을 확인할 수 있게 구현하였다. 또한 FPGA를 기반으로 하여 실시간 PMU의 기능을 에뮬레이션 하였으며, 실제의 파워 그리드의 위기관리 시스템 동작의 정확한 구현을 위해 병렬구조의 멀티보드 구조를 제안하였다. 제안된 테스트베드를 통해 위성망 기반의 파워 그리드 위기관리 시스템의 검증과 신뢰성을 높일 수 있으며, 이중 삼중의 통신 신뢰성을 확보하여 국가 주요 인프라의 관리에 적용할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] C. N. Zhu, "Characterization of Rainfall Rate and Rain Attenuation at Ku-band for EarthSpace Communication", Thesis (Master of Engineering), School of Electrical and Electronic Engineering, Nanyang Technological University, 1998.
- [2] Yeo, J.X.; Lee, Y.H.; Ong, J.T.; , "Ka-band satellite beacon attenuation and rain rate measurements in Singapore - comparison with ITU-R models," Antennas and Propagation Society International Symposium, 2009. APSURSI '09. IEEE , vol., no., pp.1-4, 1-5 June 2009
- [3] ITU-R, "Propagation 데이터 and prediction methods required for the design of earth-space telecommunications systems," Recommendation ITU-R P.618-5, 1997
- [4] R. K. Crane, "Prediction of attenuation by rain," IEEE Transactions on Communications, Vol. COM-28, No. 9, pp. 1717-1733, Sep. 1980
- [5] W. L. Stutzman, "Prediction of rain effects on earth-space communication links operating in the 10 to 35 GHz frequency range," International Journal of satellite Comms., Vol.7, pp. 37-45, 1989
- [6] A. Dissanayake, J. Allnutt, and F. Haidara, "A prediction model that combines rain attenuation and other propagation impairments along earth-satellite paths," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 45, No. 10, Oct. 1997
- [7] Y. S. Choi, J. H. Lee, and J. M. Kim, "Rain attenuation measurements of the Koreasat beacon signal on 12 GHz," sCLIMPARA, Ottawa, Canada, pp.208-211, Apr. 1998

저 자 소 개

이 승 호 (정회원)



1986년 : 한양대학교 전자공학과
졸업(공학사)

1989년 : 한양대학교 대학원 전자
공학과 졸업(공학석사)

1994년 : 한양대학교 대학원 전자
공학과 졸업(공학박사)

1994년 3월 ~ 현재 : 국립 한밭대
학교 전기·전자·제어 공학부 전자공학 전공 교수

<주관심분야> 집적회로설계(VLSI&CAD), 디지털시
스템설계, 마이크로프로세서, 임베디드시스템설계, 전
력IT, 컴퓨터응용